

Ш. М. Камолов, А. Ш. Аҳмедов

ЭЛЕКТРО- ТЕХНИКА МАТЕРИАЛЛАРИ



Ш. М. КАМОЛОВ, А. Ш. АХМЕДОВ

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА МАТЕРИАЛЛАРИ

Ўзбекистон Олий ва махсус ўрта таълим
вазирлиги техника олий ўқув юртлиари
учун ўқув қўлланма сифатида тавсия этган

ISLOM KARIMOV NOMIDAGI TOSHKENT DAVLAT
TEXNIKA UNIVERSITETI TERMIZ FILIALI
AXBOROT-RESURS MARKAZI
INV. № 1377
" 15 " 03 2019 yil

~~8/4~~

TERMIZ MUHANDISLIK-
TEKNOLOGIYA INSTITUTI
AXBOROT-RESURS MARKAZI
INV. № 4207
" 2 " 7 2022 yil

ТОШКЕНТ «УҚИТУВЧИ» 1994

Китобда электротехника материалларини ўрганиш ва текшириш асослари, уларнинг таркиби, ишлаб чиқарилиши, электрик, физик ва механик хоссалари келтирилган. Диэлектрик, ўтказгич, ярим ўтказгич ва магнит материаллар тўғрисида маълумотлар, бу материалларнинг электро- (радио) техникадаги аҳамияти ва амалда қўлланилиши келтирилган.

Китоб олий ўқув юртларининг электротехника ва энергетика ихтисослиги бўйича таълим олувчи талабаларига мўлжалланган бўлиб, ундан инженер-электриклар ҳам фойдаланишлари мумкин.

СЎЗ БОШИ

Ушбу қўлланма Ўзбекистон Олий ва махсус ўрта таълим вазирлиги томонидан тасдиқланган дастур ҳамда ТДТД нинг энергетика, саноат энергетикаси факультетларида кўп йиллар давомида ўқиб келинаётган лекциялар асосида яратилди.

Электротехникада вужудга келаётган муаммоларни ижобий ҳал этиш учун янгидан-янги материалларни ишлаб чиқариш, шу билан бирга мавжуд материаллар хоссаларини узлуксиз такомиллаштириб бориш ва уларнинг сифатини яхшилаш керак бўлади. Бу эса янги технология асосидаги юқори сифатли электротехника материаллари ишлаб чиқарувчи корхоналарни жуда тез ривожлантиришни тақозо этади. Қўйилган мақсадга амалий равишда ёндашиш учун қўлланилиши мумкин бўлган материалларнинг кимёвий, физик ва механик хоссаларини чуқур талқин эта билиш керак. Бунда фан ва техникада эришилган ютуқлар, олинган маълумотларни талабаларга атрофлича ёритиб бериш зарур. Замонавий электротехникада қўлланиладиган материалларни тадқиқ этиш ва юқорида қайд этилган мақсадларга эришиш учун «Электротехника материаллари» курси ўқитилади.

«Электротехника материаллари» китоби талабаларни мазкур фанга оид маълумотлар, материалларининг электротехникадаги ўрни ҳамда уларнинг амалда қўлланилиши билан таъиништиради.

Китоб ҳажмининг чекланганлиги шу курс бўйича барча материалларни унга киритиш имконини бермади. Мазкур ўқув қўлланмаси ўзбек тилида биринчи бор чоп этилаётганлиги сабабли, уни баъзи камчиликлардан холи деб бўлмайди. Шу боис китоб тўғрисидаги фикр-мулоҳазаларини билдирган ўқувчиларга муаллифлар ўз миннатдорчиликларини изҳор этадилар.



К 20 Камолов Ш. М., Аҳмедов О. Ш.

Электротехника материаллари. Техника олий ўқув юртлари учун ўқув қўлланма. Т., Уқитувчи, 1994. — 160 б.

1. Автордош.

Камалов Ш. М., Аҳмедов О. Ш.
Электротехническия материаллы.
07—93.

«Уқитувчи» нашриёти, 1994

31.23я73

© «Уқитувчи» нашриёти, 1994.

К 2202040000 — 185 107—93
353 (04) — 93

ISBN 5—645—01578—9

КИРИШ

Ҳозирги пайтда — фан ва техника ривожланган, технологик жараёнлар такомиллашган бир вақтда электротехника ҳам янги босқичларга кўтарилиб, турли хилдаги материаллар ишлаб чиқарилмоқда ва ўзлаштирилмоқда. Ишлаб чиқарилаётган электротехника материалларининг янги хоссаларга эга турлари кўп миқдорда тайёрланмоқда. Янги турдаги материалларни яратишга уларнинг физик, кимёвий ва механик хоссаларини чуқур ўрганиш орқали эришилмоқда.

Электротехника ускуналарини лойиҳалаш, ишлаб чиқариш ва текширишда мутахассис турли-туман хоссага эга бўлган электротехника материаллари билан тўқнашади. Бу материаллар электр машинаси ва жиҳозларида кузатиладиган электромагнит жараёнида иштирок этади. Электротехника материалларидан маълум даражада электр, механик ва магнит хоссалар талаб этилади.

Электротехника материаллари фанида ўқувчилар эътиборига қуйидагилар ҳавола этилади ва ўрганилади: электротехника материалларини ўрганиш ва текшириш асослари; уларнинг хоссалари ва тузилиши; муайян хоссалари орқали материалларни электротехникада ишлатишни аниқлаш ва амалий жиҳатдан қўллаш.

Электротехника материаллари асосан 4 турга — ўтказгич, диэлектрик, ярим ўтказгич ва магнит материалларига бўлинади. Электр станцияларида ишлаб чиқарилган электр токини ҳаво ва кабель орқали узатувчи узатгичлар билан истеъмолчиларга етказиб беришда ўтказувчи материаллар ишлатилади. Бу материаллар катта электр ўтказувчанликка эга соф металллардан тайёрланади. Агар материалнинг қаршилиги катта бўлиши талаб этилса, у ҳолда металллар аралашмасидан иборат қотишмалардан фойдаланилади.

Изоляция материаллар ёки диэлектриклар аппарат ва ускуналарда электр токи оқимини чеклаш учун ишлатилгани сабабли, улар жуда катта электр қаршиликка эга бўлиши шарт. Диэлектриклар сифатида жуда ҳам кўп турдаги органик ва анорганик материаллар қўлланилади. Бу материаллар газ, суюқ ва қаттиқ агрегат ҳолатда бўлиши мумкин.

Ярим ўтказгичлар ўзининг электр ўтказувчанлиги жиҳати-

дан ўтказгич билан диэлектриклар орасида жойлашган бўлиб, замонавий техникада кенг қўлланилади. Материалларда ярим ўтказувчанлик хоссалари, кўпинча, тайёр маҳсулот олиш пайтида ҳосил қилинади.

Магнитли электротехника асбоб-ускуналарида магнит оқимини ҳосил қилиш ёки ўтказиш мақсадида магнит материаллари қўлланилади. Бу материаллардан маълум даражада магнит хоссалари талаб этилади. Бу хусусият темир ёки унинг турли (никелли, кобальтли ва ҳоказо) қотишмаларида мавжуддир.

Электротехниканинг ривожланиши электротехника материалларига боғлиқ бўлиб, у ўз навбатида янги хоссали материаллар ишлаб чиқиш кераклигини тақозо этади. Хоссалари яхшилانган, иссиққа чидамли изоляция ва магнит материаллари кичик ҳажмли, енгил ва ихчам электр машина ва аппаратларини яратиш имконини беради. Юқори иш температурасига эга бўлган янги турдаги диэлектриклар авиация, ракета техникаси ва бошқа соҳаларда ишлатилмоқда.

Сўнгги пайтда кўплаб ишлаб чиқарилаётган янгидан-янги синтетик материаллар халқ ҳўжалигининг турли соҳаларида, жумладан, электротехникада кенг миқёсда қўлланилмоқда.

Бўлажак инженер-электрик учун электротехника материалларини чуқур ўрганиш катта амалий аҳамиятга эга. Электротехника асбоб-ускуналарини такомиллаштиришни ишлаб чиқарилаётган замонавий материалларсиз тасаввур этиш қийин.

$$(1.1) \quad H = \frac{2\pi r I}{2\pi r} = I$$

$$(2.1) \quad E = \frac{U}{d}$$

$$(3.1) \quad \frac{U}{d} = E$$

1-боб. ДИЭЛЕКТРИКЛАРНИНГ ҚУТБЛАНИШИ

1.1. Электр майдонидаги диэлектрик

Диэлектрикнинг муҳим хусусиятларидан бири, унинг ташқи электр майдони таъсирида қутбланишидир. Қутбланиш деганда диэлектрикда электр майдони таъсирида зарядланган заррачаларнинг фазовий жойлашувини ўзгартириш ҳолати тушунилади. Электр майдони таъсирида бўлган диэлектрик икки вектор қиймат — электр майдон кучланганлиги (\vec{E}) ва қутбланганлик (\vec{P}) билан ифодаланади. Электр майдон кучланганлиги зарядланган жисм ёки заррачаларнинг электр майдонидаги таъсир кучини ифодалайди. Электр майдон кучланганлиги векторининг йўналиши сифатида жисм нуқтавий зарядининг мусбат куч чизиги йўналиши қабул қилинган.

Электростатиканинг асосий қонуни (Кулон қонуни)га асосан бир жинсли диэлектрикнинг бирор-бир муҳитда жойлашган ва бир-биридан R масофада бўлган икки нуқтавий заряди (q_1, q_2) орасидаги механик таъсир кучи қуйидагича аниқланади (1-расм):

$$\vec{F} = \frac{q_1 \cdot q_2}{\epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot 4\pi R^2}, \quad \text{Н} \quad (1.1)$$

бунда R — нуқтавий зарядларни туташтирувчи чизик йўналишидаги бирлик вектори, ϵ_r — нисбий диэлектрик сингдирувчанлик; ϵ_0 — электр донмийси ($\epsilon_0 \approx \frac{10^{-9}}{36\pi} = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$). q қийматли нуқтавий заряднинг R масофада вужудга келтирилган электр майдон кучланганлиги Кулон қонунига асосан қуйидагича ифодаланади:

$$E = \frac{q}{\epsilon_r \epsilon_0 \cdot 4\pi R^2}, \quad \text{В/м} \quad (1.2)$$

Икки яси қоплама (электрод) лар орасига ўзгармас қалинлик (h) даги диэлектрик жойлаштирилса, бу диэлектрикнинг исталган нуқтасидаги электр майдонининг кучланганлиги ўзгармас бўлиб, у қуйидагича аниқланади:

$$E = \frac{U}{h}, \quad (1.3)$$

бунда U — яси қопламалар орасидаги кучланиш, В.

Агар ички ва ташқи радиуслари r_1, r_2 бўлган қопламалар орасига диэлектрик жойлаштирилса ва цилиндрик конденсатор вужудга келтирилса, ўқ йўналиши бўйлаб x масофадаги электр майдон кучланганлиги қуйидагича аниқланади

$$E = \frac{U}{x \ln \frac{r_2}{r_1}}. \quad (1.4)$$

Қутбланганлик ёки қутбланиш интенсивлиги (P) диэлектрикнинг ташқи электр майдони таъсири остида қутбланишини ифодалайди. Ташқи электр майдони бўлмаганида диэлектриклар ҳажмидаги заррачалар электр моментига эга бўлмайди. Чунки диэлектрик ҳажмидаги молекула зарядларининг алгебраик йиғиндиси нолга тенг бўлади, яъни мусбат ва манфий зарядларнинг оғирлик марказлари фаза жиҳатдан бир-бирига мос келади.

Ташқи электр майдони таъсирида диэлектрик молекулалари тартибли жойлашади (2-расм). Бунда диэлектрикнинг электр momenti ($\sum P$ — диэлектрик барча қутбланган моментларининг геометрик йиғиндиси) нолдан фарқ қилади. Қутбланганлик диэлектрикнинг маълум бир нуқтаси учун электр майдон кучланганлигига тўғри пропорционал бўлади:

$$\vec{P} = k_3 \epsilon_0 E, \quad (1.5)$$

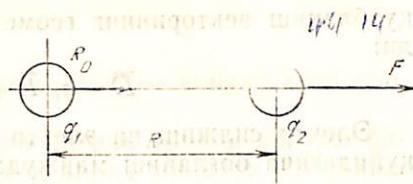
бунда k_3 — диэлектрик қабулчанлик; $k_3 \epsilon_0$ — абсолют диэлектрик қабулчанлик.

Қутбланиш модули қуйидагича ифодаланади:

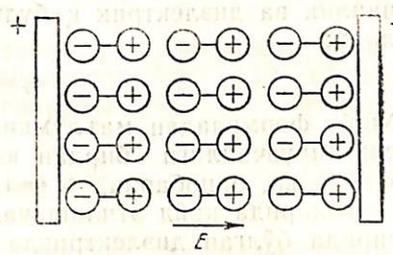
$$|P| = \sigma_6 \text{ Кл/м}^2. \quad (1.6)$$

Бу ифодадан, қутбланганликнинг диэлектрикдаги боғланган зарядларининг сирт зичлигига тенглиги келиб чиқади.

Юқорида келтирилган P ва E вектор катталиклардан ташқари, электр силжиш ёки электр индукция вектор катталиги ҳам киритилади. Электр силжиш ёки электр индукция диэлектрикнинг берилган нуқтасида электр майдони кучланганлиги векторининг электр донмийсига кўпайтмаси билан шу нуқта



1-расм.



2-расм. Электр майдони таъсирида қутбланган диэлектрикда зарядларнинг жойлашуви.

қутбланиш векторининг геометрик йиғиндисидан иборат бўлади:

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}. \quad (1.7)$$

Электр силжиш ва электр майдон кучланганлиги орасида қуйидагича боғланиш мавжуд:

$$\vec{D} = \epsilon_r \epsilon_0 \vec{E}. \quad (1.8)$$

Сўйинги икки формула таққосланиб, диэлектрик сингдирувчанлик ва диэлектрик қабулчанлик орасидаги боғланиш топилади:

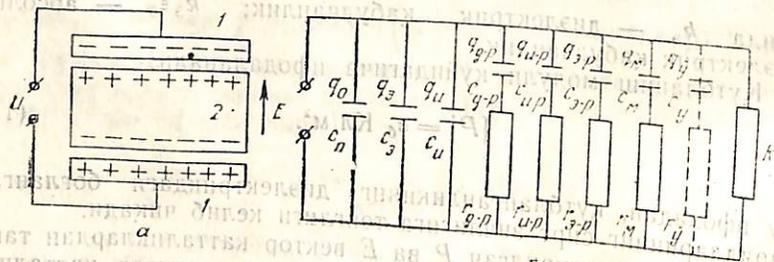
$$\epsilon_r = 1 + k_p.$$

Ушбу формуладан маълумки, барча моддаларнинг диэлектрик сингдирувчанлиги бирдан юқори бўлиб, фақат вакуум учун $k_p = 0$ ва, бинобарин, $\epsilon_r = 1$ бўлади.

Юқорида қайд этилишича, қутбланиш электр майдони таъсирида бўлган диэлектрикда содир бўладиган жараёнлардан ҳисобланиб, бунда заряд маълум йўналишга эга бўлади. Бу жараён бутун диэлектрик ҳажми бўйича кузатилади ва зарядлар қоплама яқинида тўпланиши билан давом этади. Қоплама яқинида жойлашган диэлектрикда йиғилган зарядларнинг ишораси қопламалардаги электр майдони ишорасига тескари бўлиб, мусбат ишорали қоплама яқинида жойлашган диэлектрикда манфий заряд ва манфий ишорали қоплама яқинидаги диэлектрикда эса мусбат заряд тўпланади (3-расм, а). Шунинг учун ҳам бу жараён *қутбланиш* деб аталади. Агар диэлектрик электр майдонидан ташқарига чиқарилса, зарядлар ўзининг асл ҳолатига қайтади.

Икки металл қоплама орасига диэлектрик жойлаштириб, конденсатор ҳосил қилиш мумкин. Конденсатор қопламаларидаги эркин зарядлар йиғиндисини q билан белгиласак, у ҳолда:

$$q = C U \text{ Кл}, \quad (1.9)$$



3-расм. Металл қопламалар орасига жойлаштирилган диэлектрик электр майдони таъсирида бўлганида зарядларнинг тақсимланиши (а) ва мураккаб диэлектрикда содир бўладиган қутбланиш схемаси (б).

бунда C — конденсаторнинг сифими, Φ ; U — конденсатор қопламасига берилган кучланиш, V .

Агар қопламалар орасидаги диэлектрик ўрнини вакуум билан алмаштирилса, конденсатордаги заряд миқдори (q_0) қопламаларда йиғилган заряд миқдори (q_d) йиғиндисидан иборат бўлади:

$$q = q_0 + q_d. \quad (1.10)$$

Конденсаторнинг сифимини ва диэлектрик қийматини аниқлайдиган ифода *диэлектрик сингдирувчанликдир*. (1.10) ифода ёрдамида нисбий диэлектрик сингдирувчанлик ϵ_r аниқланади:

$$\epsilon_r = \frac{q}{q_0} = \frac{q_0 + q_d}{q_0} = 1 + \frac{q_d}{q_0}. \quad (1.11)$$

Одатда, нисбий диэлектрик сингдирувчанлик жумласидаги нисбий сўзи тушириб қолдирилади ва ϵ_r диэлектрик сингдирувчанлик деб юритилади.

Электр майдонда жойлашган диэлектрикнинг сифати унинг қутбланиш мобайнида аниқланадиган диэлектрик сингдирувчанлиги қиймати билан ифодаланади. Диэлектрик қутбланиш хусусиятининг қизиқ томони, унинг сифим қийматини ифодалашидир. Агар вакуумли конденсатор қопламаларига кучланиш берсак, у зарядланади. Бу заряд қиймати кучланиш бирлигига, конденсатор ўлчамига, қоплама юзи ва улар орасидаги масофага боғлиқ бўлади. Конденсатор сифими C_0 ифодаси ёрдамида аниқланади.

Конденсатор қопламалари ўрнини ўзгартирмаган ҳолда вакуумни диэлектрик билан алмаштирилса, диэлектрикда қутбланиш содир бўлади. Қоплама юзасига яқин жойда унга қарама-қарши ишорали заряд пайдо бўлади ва натижада қопламадаги маълум миқдордаги зарядни нейтраллайди. Бунинг ҳисобига қопламалардаги заряд миқдори маълум қиймат $|\Delta|q$ га кўпайиши мумкин, натижада конденсатор сифими қуйидагича ифодаланади:

$$C = \frac{q_2 + \Delta q}{U} > C_0.$$

Бу сифимларнинг бир-бирига нисбати ($C/C_0 = \epsilon_r$) материалнинг диэлектрик сингдирувчанлигини билдиради.

Конденсаторнинг сифими диэлектрикнинг материалига, металл қопламаларининг геометрик ўлчами ва уларнинг шакллари боғлиқдир. Ихтиёрий шакл ва ўлчамга эга электродларни вакуумда жойлаштирадиган, C_0 сифимли конденсатор ҳосил бўлади. Электродлар орасига диэлектрик сингдирувчанлиги ϵ_r га тенг бўлган диэлектрик киритсак, у ҳолда конденсатор сифими ортади:

$$C = \epsilon_r \cdot C_0.$$

Демак, берилган шакл ва геометрик ўлчамга эга бўлган конденсаторнинг сизими диэлектрикнинг ϵ_r қийматига тўғри пропорционалдир.

Қоплама юзалари S ва диэлектрикнинг қалинлиги h га тенг бўлган ясси конденсатор сизими қуйидагича аниқланади:

$$C = \epsilon \frac{\epsilon_0 S}{h} = \epsilon \frac{8,854 \cdot 10^{-12} \text{ С}}{h} \text{ Ф.} \quad (1.12)$$

Агар конденсатор цилиндрик шаклли (қоплама радиуслари r_1, r_2 , узунлиги l) бўлса, у ҳолда:

$$C = \epsilon \epsilon_0 \frac{2\pi l}{\ln \frac{r_2}{r_1}} = \frac{5,56 \cdot 10^{-11} l}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \text{ Ф.} \quad (1.13)$$

Бир-бирига параллел жойлашган сим, кабель ва ҳоказоларда солиштира сизим (c) дан фойдаланилади:

$$c = \frac{C}{l} \text{ Ф/м.}$$

Кучланиши U , сизими C га тенг бўлган конденсатордаги электр майдон энергияси:

$$\mathcal{E} = \frac{1}{2} C U^2 \text{ Ж} \quad (1.14)$$

ёки қувватнинг ҳажм бирлигидаги қиймати:

$$\mathcal{E} = \frac{1}{2} E D = \frac{1}{2} \epsilon \epsilon_0 E^2 \text{ Ж/м}^3. \quad (1.15)$$

Агар диэлектрикнинг ϵ_r қиймати қанча катта бўлса, ундан ясалган конденсатор сизими шунча юқори бўлади. Шу сабабли, конденсатор ишлаб чиқаришда ϵ_r қиймати юқори бўлган диэлектрик олиш мақсадга мувофиқдир. Сизими кам бўлиши учун, юқори кучланишли ва юқори тўлқинли кабель изоляция материалларнинг ϵ_r қиймати кичик қилиб олинади.

Диэлектрик сингдирувчанликнинг энг кичик қиймати вакуум учун тегишли бўлиб, унда $\epsilon_r = 1$ бўлади. Диэлектриклар трик сингдирувчанлик (ϵ_r) газларда бўлиб, унинг қиймати одатдаги шароит (муҳит температураси 20°C , ҳаво босими $760 \text{ мм. с.м. уст.}$, ҳавонинг нисбий намлиги 65%) учун $1,0006$ га тенг. Қолган барча изоляция материаллар учун ϵ_r қиймати бирдан юқоридир. 1-жадвалда турли агрегат ҳолатдаги диэлектрикларнинг нисбий диэлектрик сингдирувчанлик қийматлари келтирилган.

Турли диэлектрикларнинг нур синдириш кўрсаткичи (n) ва нисбий диэлектрик сингдирувчанлиги ϵ_r қийматлари

Диэлектрик	агрегат ҳолати	n	n^2	ϵ_r
<i>Қутбсиз диэлектриклар</i>				
Гелий (He)	газсимон	1,000035	1,00007	1,000072
Водород (H_2)		1,00014	1,00028	1,00027
Кислород (O_2)		1,00027	1,00054	1,00055
Азот (N_2)		1,00030	1,00060	1,00060
Этилен (C_2H_4)		1,00065	1,00130	1,00138
Тетраформ (CCl_4)	суюқ	1,46	2,13	2,24
Бензон (C_6H_6)		1,50	2,25	2,28
Толуол (C_7H_8)		1,50	2,25	2,24
Парафин	қаттиқ	1,44	2,10	2,2
Полистирол		1,55	2,40	2,6
Олтин угурт		1,92	3,69	2,8
Олмос		2,40	5,76	5,7
<i>Қутбли (газ, суюқ ва ионли) кристаллар</i>				
Аммиак (NH_3)	газсимон	1,00018	1,00037	1,00072
Хлороформ (CHCl_3)		1,446	2,09	5,1
Монохлорбензол	суюқ	1,523	2,33	10,1
Сув (H_2O)		1,333	1,78	81
Натрий хлори (NaCl)	қаттиқ	1,54	2,37	6,0
Рутил		2,7	7,3	110

1.2. Қутбли ва қутбсиз диэлектриклар

Диэлектриклар, асосан, қутбли ва қутбсиз турларга бўлинади. Исталган модданинг молекулалари заррачалардан (атом ёки атом гуруҳлари, ионлардан) иборат бўлиб, уларнинг ҳар бири мусбат ёки манфий электр зарядига эгадир. Бу зарядлар орасидаги ўзаро тортишиш кучи жисмнинг механик муштаҳкамлигини ифодалайди. Турли хил моддаларнинг молекулаларидаги зарядларнинг фазовий жойлашуви ҳар хил бўлиши мумкин. Агар молекулаларнинг барча мусбат ва манфий зарядларини битта умумий манфий ва битта умумий мусбат заряд билан алмаштирадик, мос равишда мусбат ва манфий зарядларнинг оғирлик марказларида жойлашган мазкур зарядлар фазода бир-бирига мос тушиши ёки мос тушмаслиги мумкин. Фазовий бир-бирига мос тушган зарядлар қутбсиз молекулага эга бўлгани сабабли, бундай молекулалардан ташкил топган жисмлар *қутбсиз жисмлар* дейилади. Иккинчи ҳолда молекула ташқи электр майдони таъсир этмаган ҳолатда ҳам ўз электр

моменти нолдан фарқли бўлиб, дипол ҳосил қилгани сабабли, молекула қутбли ҳисобланади ва улар асосида ташкил топган жисмлар *қутбли жисмлар* деб аталади.

Молекуланинг электр momenti қуйидагича аниқланади:

$$p = ql, \quad \text{Кл} \cdot \text{м} \quad (1.16)$$

бунда q — молекуланинг жами мусбат (ёки унга сон жиҳатдан тенг бўлган жами манфий) электр заряди, Кл; l — дипол елкаси, м.

Қутбли молекуланинг электр momenti 10^{-30} Кл·м атрофида, қутбсиз молекуланики эса $l=0$ бўлгани сабабли $p=0$ бўлади.

Жисмнинг электр хоссасидан қатъи назар, унинг қутблилиги молекуланинг кимёвий тузилиши орқали аниқланади. Симметрия маркази бўлганда симметрик равишда жойлашган молекулалар қутбсиз, носимметрик равишда жойлашган молекулалар эса қутбли бўлади. Бир атомли молекулалар (He, Ne, Kr, Xe) ва икки атомли гомеокутбли боғланишли (H_2 , Cl_2 ва ҳоказо) молекулалар қутбсиздир. Ион боғланишли молекулалар қутбли боғланишлар қаторига киради. Углеродородли моддалар эса қутбсиздир. Масалан, қутбсиз боғланишли моддаларга парафин, церезин, полипропилен, полиизобутилен, полистирол, эскапон, нефтли изоляция мойи ва ҳоказолар, қутблиларига эса поливинилхлорид, целлюлоза ва унинг маҳсулотлари, фенолформальдегид ва бошқалар киради.

Диэлектрик қутбланишининг асосий турлари. Диэлектрикда кузатиладиган қутбланиш асосан икки турга: электр майдони таъсирида жуда тез содир бўладиган (электрон-ион) ва секин ўсиб ҳамда секин пасаядиган (релаксация) қутбланишларга бўлинади. Биринчи турдаги қутбланиш жуда тез ўтиши натижасида диэлектрикда электр энергияси сарфланмайди, иккинчи турдагисид а эса қутбланиш аста-секин содир бўлиб, диэлектрик қизиши натижасида энергия сарфланади.

Конденсатор сизими ва конденсаторда йиғилган заряд диэлектрикда содир бўладиган қутбланиш жараёнларини ўзида акс эттиради. Диэлектрикларнинг эквивалент чизмаси 3-расм, бунда U — кучланиш манбаи; C_0, q_0 — вакуумдаги сизим ва заряд; C, q — электрон-ион, дипол-релаксация, ион-релаксация, электрон-релаксация, миграция, ўз-ўзидан (спонтан) қутбланишларнинг сизим ва заряди, r — юқорида қайд этилган қутбланиш механизмларида сочилган энергияга мос қаршилиқлар; R — изоляция қаршилиги.

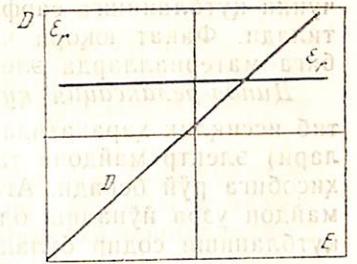
Электрон қутбланиши (q_0, C_0) атом ёки ионлар электрон қобилигининг силжиши ва эзилиши ҳисобига содир бўлиб, бутурдаги қутбланиш катта тезликда (10^{-15} сек) кечади ва қиймат жиҳатидан ёруғликнинг синдириш кўрсаткичи квадратига (n^2) тенгдир. Бундай қутбланиш барча диэлектрикларда кузатомон силжийди. Қутбли бўлмаган суюқ ҳолатдаги ва қаттиқ

диэлектрикларда қутбланиш суст кечиб, ϵ_r қиймати $2 \div 2,5$ атрофида бўлади. Электрон қутбланишида электр силжиш (D) майдон кучланганлиги (E) га мос равишда ўзгаради, шунинг учун ҳам ϵ_r кучланганликка боғлиқ бўлмайди (4-расм). ϵ_r нинг температурага қараб ўзгариши жисмнинг шу температурадаги зичлигига боғлиқ (5-расм), жисм қиздирилганда зичлиги камаяди, бинобарин, ҳажм бирлигидаги атом сони камайиб, қутбланиш сусаяди; жисм қаттиқ ҳолатдан суюқ ҳолатга ўтганида зичлиги камаяди, натижада қутбланиш ҳам кескин сусаяди. Электрон қутбланишида электр энергияси сарф бўлмайди. Бундай қутбланиш нефть мойларида (октол), қаттиқ моддалар — парафин, полистирол, полиэтилен ва бошқаларда кузатилади.

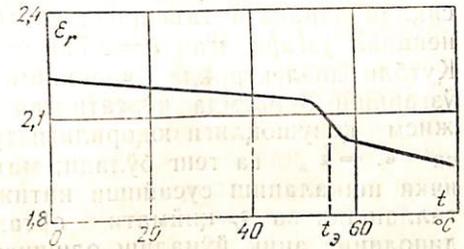
Ионли қутбланиши (C_n, q_n) кристалл панжарали қаттиқ жисмларда бўш боғланган ионлар силжиши натижасида рўй беради. Ионли қутбланиш электрон қутбланишга нисбатан кучлироқ кечади ва ϵ_r нинг қиймати $5 \div 30$ оралиғида бўлади. Ион ўлчам жиҳатдан электрондан катта бўлиб, қутбланиш тезлиги эса, аксинча, паст бўлади ($\tau \approx 10^{-8}$ с). Бунда ϵ_r қиймати частотага боғлиқ эмас. Ион қутбланишида электр силжиш майдон кучланганлиги E га, ϵ_r қиймати эса мазкур кучланганликка боғлиқ бўлмайди (4-расм).

Температура қўтарилиши билан кристалл панжарадаги ионлар орасидаги масофа ортади. Натижада оралиқдаги тортишиш кучи пасаяди ва ион қутбланиши кучаяди, яъни ионли диэлектрикларда масалан, слюда, баъзи турдаги сополларда ϵ_r қиймати ўсиб боради (6-расм).

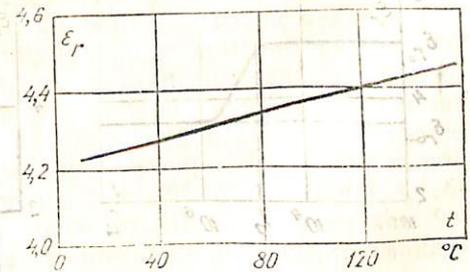
Ион қутбланишида энергия исрофи кузатилмайди,



4-расм. Қутбсиз диэлектрик электр силжиши ва диэлектрик синдирувчанлигининг электр майдон кучланганлигига боғлиқлиги.



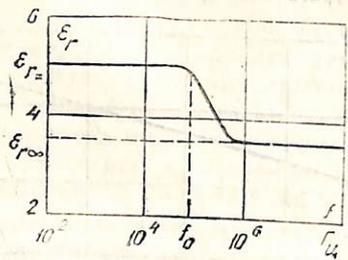
5-расм. Қутбсиз диэлектрик (парафин) диэлектрик синдирувчанлигининг температурага боғлиқлиги.



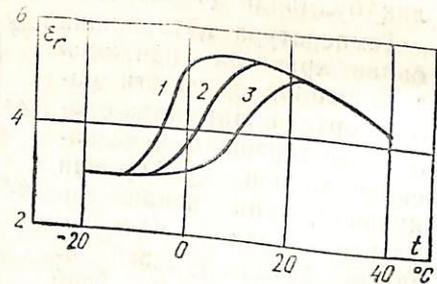
6-расм. Ион кристалл модда (КСИ) диэлектрик синдирувчанлигининг температурага боғлиқлиги.

чунки қутбланишга сарфланган энергия манбага тўлиқ узатилади. Фақат юқори частотада ионларнинг резонанси ҳисобига материалларда электр энергия исрофи кузатилади.

Дипол-релаксация қутбланиши ($C_{д-р}$, $q_{д-р}$, $r_{д-р}$) бетартиб иссиқлик ҳаракатида бўлган заррачалар (дипол молекулалари) электр майдони таъсирида ўз йўналишини ўзгартириши ҳисобига рўй беради. Агар молекуляр кучлар диполларнинг майдон узра йўналиш олишига халал бермаса, у ҳолда дипол қутбланиши содир бўлади. Қутбланиш диэлектриклардаги дипол молекулаларнинг мусбат ва манфий зарядларининг оғирлик марказлари бир-бирига мос келмай, балки молекула чеккасига силжиган ҳолда электр momenti ҳосил қилади. Электр майдонида унинг манфий чекка қисми мусбат қопламага, мусбат қисми эса манфий қопламага томон бурилишга интилади. Дипол мазкур бурилишда маълум қаршиликка ($r_{д-р}$) учрайди ва уни енгиш учун энергия сарф этади. Дипол қутбланиш анча секин ($\tau = 10^{-6} - 10^{-8}$ с) кечиши сабабли радио тўлқинида ($10^5 - 10^8$ Гц) майдон ўзгариши қутбланиш вақтига яқинлашиб қолади; оқибатда юқори частотада дипол молекулалар майдон йўналишининг ўзгаришига улгуролмай қолади ва қутбланиш сусайиб, ϵ_r қиймати пасаяди (7-расм). Дипол қутбланиш қутбланиш газлар, суюқликлар ва баъзи органик қаттиқ моддаларга хосдир. Кучланганлик узилгандан сўнг диполнинг иссиқлик ҳаракати таъсирида тартиблани сусайиш вақти (экспоненциал ўзгарадиган $e=2,71$) релаксация вақти деб аталади. Қутбланиш диэлектрикда ϵ_r қийматининг температурага қараб ўзгариши 8-расмда кўрсатилган бўлиб, паст температурада жисм қовушоқлиги юқорилиги туфайли диполлар ҳаракатсиз ва $\epsilon_r = \epsilon_\infty$ га тенг бўлади; материал қиздирилса, у юмшаб, ички ишқаланиш сусайиши натижасида дипол бурилиши енгиллашади ва ϵ_r қиймати ортади; юқори температурада эса диполнинг аниқ йўналиш олишига зарраларнинг бетартиб иссиқлик ҳаракатининг ортиши халал беради ва ўз навбатида ϵ_r қиймати камаяди.



7-расм. Қутбланиш суюқлик (совол) диэлектрик сингдирувчанлигининг частотага боғлиқлиги.



8-расм. Қутбланиш суюқлик (совол) диэлектрик сингдирувчанлигининг температурага боғлиқлиги: 1—50 Гц; 2—400 Гц; 3—1000 Гц.

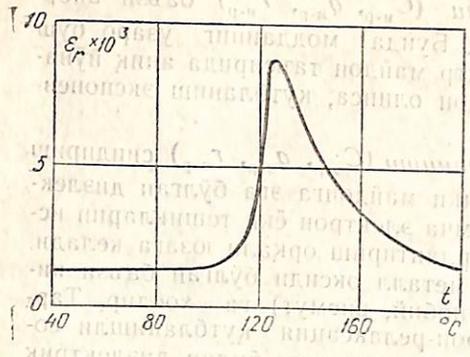
Ион-релаксация қутбланиши ($C_{и-р}$, $q_{и-р}$, $r_{и-р}$) баъзи аорганик моддаларда кузатилади. Бунда модданинг ўзаро бўш боғланган ионлари ташқи электр майдон таъсирида аниқ йўналиш олади. Агар электр майдон олинса, қутбланиш экспоненциал қонун бўйича пасаяди.

Электрон-релаксация қутбланиши ($C_{э-р}$, $q_{э-р}$, $r_{э-р}$) синдириши кўрсаткичи юқори ва катта ички майдонга эга бўлган диэлектриклар учун хос бўлиб, қўшимча электрон ёки тешикларни иссиқлик энергияси билан таъсирлантириш орқали юзага келади. Бу турдаги қутбланиш асоси металл оксиди бўлган баъзи кимёвий бирикмалар (титан, ниобий, висмут) га хосдир. Таркибида титан бўлган электрон-релаксация қутбланишли сополда электр майдон частотаси ортиши билан диэлектрик сингдирувчанлик камаяди.

Миграцион қутбланиш (C_M , q_M , r_M) таркиби бир жинсли бўлмаган қаттиқ жисмларда қутбланишнинг қўшимча механизми сифатида рўй беради. У паст частотада юзага келади ва электр энергияси кўп миқдорда сарфланиши билан характерланади. Бундай қутбланишни келтириб чиқарадиган омиллар техник диэлектриклардаги ўтказувчи ва ярим ўтказувчи қисмлар ҳамда ўтказувчанлиги турлича бўлган қатламлардир. 3-расмда келтирилган $R_{из}$ қаршилиги изоляциянинг ички тоқларга нисбатан олинган умумий қаршилигини ифодалайди.

Ўз-ўзидан (спонтан) қутбланиш (C_τ , q_τ , r_τ) сегнетоэлектрикларга хос бўлиб, биринчи бор у сегнет тузи ($KNaC_4H_4O_6 \cdot 4H_2O$) да кузатилди. Ташқи майдон бўлмаганда сегнетоэлектрикнинг маълум қисмида диполлар ўз-ўзидан бир-бирига нисбатан мослашиб, аниқ йўналиш олади. Ўз-ўзидан қутбланувчи моддаларнинг алоҳида соҳаларида (доменларида) электр momenti йўналиши турлича бўлади. Ташқи майдон таъсирида доменларнинг электр momenti майдон томон йўналади ва шу сабабли кучли қутбланиш содир бўлади. Сегнетоэлектрикнинг диэлектрик сингдирувчанлиги жуда ҳам юқори (500—20000) бўлиб, у майдон кучланганлиги ва температурага узвий равишда боғлиқдир. Диэлектрик гистерезис сегнетоэлектрикнинг характерли хусусиятларидан биридир. Кюри нуқтаси билан боғлиқ температура қийматларида доменли қутбланиш кузатилади ва у электр майдони кучланганлигида ночизиқли боғланишга эга бўлади. Ташқи майдон кучланганлигининг маълум қийматидан бошлаб тўйиниш рўй бериб, қутбланиш ўзгармай қолади, аксинча, майдон таъсири пасайтирилганда ва у ордината ўқини кесиб, нолга тенг бўлганда жисм қутбланиши маълум қийматгача пасаяди. Шунинг учун ҳам ўз-ўзидан қутбланиш жараёнида диэлектрикнинг сингдирувчанлиги электр майдон кучланганлигига боғлиқ бўлади.

Диэлектрик сингдирувчанликнинг температурага боғлиқлигида кузатиладиган юқори қиймат Кюри температураси ёки **Кюри нуқтаси** дейилади (9-расм). Ана шу мақбул температу-



9-расм. Кучсиз электр майдони таъсирдаги барий титанати диэлектрик сингдирувчанлигининг температурага боғлиқлиги.

температурада содир бўлади. Агар тасигача қизитилиб, сўнгра кескин сингдирувчанлиги ўзининг асл қийматига қайтади. Диэлектрик сингдирувчанликни тиклаш, сегнетоэлектрикка юқори кучли электр майдони таъсир эттирилиб ҳам амалга оширилади.

Газларнинг молекулалари орасидаги масофа нисбатан катта бўлганлиги сабабли уларнинг зичлиги кичик бўлади. Шунинг учун барча газларнинг диэлектрик сингдирувчанлик қиймати бирга яқин бўлади. Газ молекуласининг радиуси (r_m) қанча катта бўлса, ϵ_r қиймати шунча юқори бўлади. Газнинг ҳажм бирлигидаги молекулалар сони унинг температура ва босимига боғлиқ бўлади. Молекулалар сонининг ўзгаришига қараб газнинг ϵ_r қиймати ҳам ўзгаради. Газда ϵ_r қиймати ҳаво намлигига ҳам боғлиқ бўлади.

Суяқ ҳолатдаги диэлектриклар қутбли ва қутбсиз молекулалардан ташкил топади. Қутбсиз диэлектрикнинг ϵ_r қиймати унча катта бўлмайди ($\epsilon_r \leq 2,0-2,5$) ва у ёруғликнинг синиш кўрсаткичи квадратига деярли тенг бўлади. Қутбсиз диэлектрикда ϵ_r қийматининг температура ортиши билан камайиши ҳажм бирлигидаги молекулалар сонининг камайишига асосланади. Дипол молекулали суяқ диэлектрик бир вақтнинг ўзида электрон ва дипол қутбланишга эга бўлади. Қутбда суяқ диэлектрикларда ϵ_r қиймати асосан 3,5—5 атрофида бўлади.

Қаттиқ жисмларнинг диэлектрик сингдирувчанлиги диэлектрикнинг гузилишига боғлиқ равишда ўзгаради. Уларда турли хилдаги қутбланишлар бўлиши мумкин. Бунга мисол тариқасида парафин учун ϵ_r қийматининг температурага боғлиқлик характеристикасини кузатиш мумкин (5-расм). Парафин қат-

рада юқори доменли қутбланиш кузатилиб, катта нисбий сингдирувчанликка эришилади, бунда жисмда структура ўзгариши содир бўлади. Бу нуқтадан юқори температурада материал ўзининг сегнетоэлектриклик хусусиятини, яъни ϵ_r қийматининг электр ёки магнит майдонига бўлган боғлиқлигини йўқотади. Вақт бирлигида доменлар тўпланиши жойи ўзгариши ҳисобига сегнетоэлектрикларда электр эскириши кузатилади ва ϵ_r қийматининг кескин ўзгариши Кюри сегнетоэлектрик Кюри нуқ-

тиқ ҳолатдан суяқ ҳолатга ўтишида (t_c) унинг зичлиги пайсайиши туфайли ϵ_r қиймати кескин камаяди.

Қаттиқ диэлектрикларнинг зарралари зич жойлашган бўлиб, улар нон кристаллари тузилишига эга. Бу диэлектрикларда ϵ_r қиймати кенг ораликда ўзгаради. Зарралари унча зич бўлмаган электротехник чининида бир йўла электрон, нон ва ион-релаксация қутбланиши кузатилади. Шишада эса ϵ_r қийматининг ўзгариши оралиги ($\epsilon_r \approx 4-20$) каттадир.

Қаттиқ жисмларда ϵ_r қиймати температура ва майдон частотасига боғлиқ бўлиб, унинг қонуниятлари қутбли суяқликни кабилдир. Масалан, музда ϵ_r қиймати температура ва частотага нисбатан кескин ўзгаради. Температураси полга яқин бўлган музнинг диэлектрик сингдирувчанлиги наст частотада сувники каби 81 га яқин бўлиб, температура янада пасайтирилса, музнинг ϵ_r қиймати 2,85 гача тушиб кетади.

Қўпичча диэлектрикларда диэлектрик сингдирувчанлик ва конденсатор сифмининг температурага боғлиқлигини аниқлашда диэлектрик сингдирувчанликнинг температура коэффициенти:

$$TK \epsilon_r = \frac{1}{\epsilon_r} \frac{d\epsilon_r}{dT} \quad (1.16)$$

ва сифмининг температура коэффициенти:

$$TK C = \frac{1}{C} \frac{dC}{dT} \quad (1.17)$$

дан фойдаланилади.

Бу икки коэффицент орасидаги боғланиш қуйидаги кўринишга эга:

$$TK C = TK \epsilon_r + \alpha, \quad (1.18)$$

бунда α — диэлектрикнинг чизикли температура коэффициенти.

Ташқи муҳит температураси ўзгарадиган шаронда ишлайдиган электр ва радиоаппаратларни лойиҳалашда конденсатор сифмининг температурага боғлиқ бўлмаслигини таъминлаш зарур. Сифмининг температурага нисбатан барқарорлиги қуйидаги икки усул орқали амалга оширилади. Биринчи усулда иккита бир-бирига параллел ёки кетма-кет уланган конденсаторлар занжири олинади, бунда занжирдаги сифмларнинг температура коэффицентларидан бирининг ишораси — мусбат, иккинчисиники — манфий бўлади. Сифмлари C_1 ва C_2 сифмининг температура коэффицентлари α_1 ва α_2 бўлганда, ҳамда бир-бирига параллел уланган конденсаторларнинг умумий сифми қуйидагича аниқланади:

$$C^* = C_1 + C_2 \quad \Phi.$$

Бундай умумий сифмининг температура коэффицентини қуйидаги

$$TK C^* = \frac{1}{C^*} \left(\frac{dC_1}{dT} + \frac{dC_2}{dT} \right) \quad (1.20)$$

TKCERMITEKCHANDISLIK-TEKNOLOGIYA INSTITUTI
AXBOROT-RESURS MARKAZI
INV. № 4207/91
2022 yil

ISLON KARTALOV JOMDAGI TOSHIKEN DAVLAT
TEKNIKA UNIVERSITETI TASHKENT RIZALI
AXBOROT-RESURS MARKAZI
INV. № 1378
"15.07" 2019 yil

бунда

$$\frac{dC_1}{dT} = C_1 \text{TK } C_1, \quad \frac{dC_2}{dT} = C_2 \text{TK } C_2$$

бўлгани сабабли умумий сифимнинг температура коэффициентини қуйидагича ифодаланади:

$$\text{TK } C^* = \frac{C_1 \text{TK } C_1 + C_2 \text{TK } C_2}{C_1 + C_2} \quad (1.21)$$

Температуранинг мувозанатлаш шартига асосан $\text{TK } C = 0$ бўлгани учун

$$C_1 \text{TK } C_2 + C_2 \text{TK } C_1 = 0 \quad (1.22)$$

бўлади.

Агар икки конденсатор ўзаро кетма-кет уланган бўлса, у ҳолда умумий сифимнинг температурага нисбатан мувозанатланиш шarti қуйидагича бўлади:

$$C_1 \text{TK } C_2 + C_2 \text{TK } C_1 = 0, \quad (1.23)$$

яъни сифимлар ўз температура коэффициентига эмас, балки бошқа температура коэффициентига кўпайтирилади.

Ушбу шартларга асосан сифимнинг температура оралиғида ўзгаришидаги тўла мувозанат $\text{TK } C_1$ ва $\text{TK } C_2$ нинг ўзгармас бўлган ҳолатларида бажарилади.

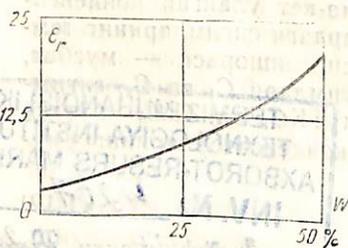
Иккинчи усулда сифимнинг температурага нисбатан мувозанати фақат бир конденсаторни, яъни мураккаб диэлектрик конденсаторни қўллаш орқали амалга оширилади. Мураккаб диэлектрик эса икки турли диэлектрик аралашмасидан тайёрланиб, улар сифимнинг температура коэффициентлари турли ишорали бўлади.

Агар диэлектрикнинг диэлектрик сингдирувчанлиги сувнинг диэлектрик сингдирувчанлигидан жуда кичик бўлса, намлик таъсирида мазкур диэлектрикнинг ϵ_r қиймати сезиларли даражада ортади (10-расм). Натижада диэлектрик ўз диэлектрик хоссасини ёмонлаштиради.

2-БОБ. ДИЭЛЕКТРИКЛАРНИНГ ЭЛЕКТР УТКАЗУВЧАНЛИГИ

2.1. Асосий тушунчалар

Жисмда электр зарядларининг тартибли ҳаракати электр токини ҳосил қилади. Зарядларнинг бундай тартибли ҳаракати электр токини ҳосил қилади. Зарядларнинг бундай тартибли ҳаракати электр майдон кучланганлиги таъсирида вужудга келади. Диэлектрикда электр ўтказувчанлик унинг таркибидagi эркин



10-расм. Ёғочнинг намликка нисбатан диэлектрик сингдирувчанлик характеристикаси ($f=300$ кГц)

зарядлар ҳисобига содир бўлади. Ҳажм бирлигида n та заряд элтувчиси бўлган ва заряд қиймати q га тенг бўлган диэлектрикка ташқи электр майдони (E) таъсир эттирилса, шу электр майдони таъсирида заряд куч чизиқлари йўналишида маълум тезлик v олади. Жисмнинг кўндаланг юзасидан вақт бирлигида ўтадиган электр миқдори, яъни ток зичлиги:

$$J = nqv \quad \text{А} \cdot \text{м}^{-2} \quad (2.1)$$

ёки

$$J = \frac{E}{\rho}$$

$\rho = 1/\gamma$ эканлигини ҳисобга олсак:

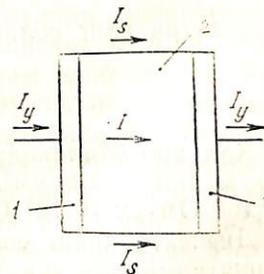
$$J = E \gamma,$$

бу ерда ρ — солиштирма электр қаршилиги, Ом \cdot м; γ — солиштирма электр ўтказувчанлик, См/м.

Жисм электр ўтказувчанлиги *электронли*, *ионли* (ёки *электролитик*) ва *молионли* (ёки *электрофоретик*) кўринишларга эгадир. Диэлектрикларда асосан ионли электр ўтказувчанлик кузатилади, баъзи диэлектрикларда молионли электр ўтказувчанлик ҳам кузатилади. Одатда, диэлектрик оз бўлса-да маълум миқдордаги электр токини ўздан барибир ўтказади. Бу эса эркин заряд элтувчилар мавжудлиги билан тушунтирилади.

Изоляция материали одатда жуда катта солиштирма қаршиликка эга бўлади. Бу қиймат қанча юқори бўлса, диэлектрикдан шунча кам миқдорда электр токи ўтади. Бундай ҳоссага эга диэлектриклар юқори сифатли ҳисобланади. Электр майдони таъсирида газ, суюқлик ва қаттиқ ҳолатдаги диэлектрикдан қандайдир миқдорда электр токи ўтиб, диэлектрикда электр энергия исрофи кузатилади. Бундай исрофларни аниқлашда диэлектрикларнинг электр ўтказувчанлигини ўрганиш катта амалий аҳамиятга эгадир. Электр ўтказувчанликни ўрганишда изоляция материалдан ясалган ва металл электродлар билан жиҳозланган (11-расм) намунага кучланиш берилади. Намуна асосан яссини тахтача шаклида тайёрланиб, электродлар унинг бир ёки қарама-қарши икки юзасига ўрнатилади. Диэлектрикнинг ҳажмий қаршилигини аниқлаш учун электр токи намунанинг ҳажми бўйича ўтказилади ва электродлар қарама-қарши юзга ўрнатилади. Мазкур электродлар гальванометр орқали электр манбаига уланади. Диэлектрикнинг юза қаршилигини аниқлашда эса электродлар намунанинг бир юзасига ўрнатилиши мумкин.

Диэлектрикка ўзгармас кучланиш улангандан сўнг маълум вақт (бир минут) ўтгандан сўнг, ток ўзининг қандайдир ўзгармас қийматига эришади ва бу



11-расм. Диэлектрик орқали ўтаётган ички ва юза ток оқимлари.

ток *ички ток* ($I_{ич}$) дейлади. Диэлектрикнинг қаршилиги (R) берилган кучланиш (U) га тўғри пропорционал, диэлектрикдан яъни диэлектрикнинг умумий қаршилиги бир-бирига параллел ўтаётган ички токка эса тескари пропорционал бўлади:

$$R = \frac{U}{J_{ич}} \text{ Ом.} \quad (2.2)$$

(1.2) Диэлектрикнинг электр ўтказувчанлиги, аксинча, қаршиликка тескари пропорционалдир:

$$\gamma = \frac{1}{R} = \frac{J_{ич}}{U} \quad (2.3)$$

Диэлектрик сирти бўйлаб ўтадиган токни *сирт токи* (I_s) деб аталиб, бу ток миқдорининг ҳажмий ток I миқдори билан йиғиндиси эса диэлектрикдан ўтадиган умумий ток I_y ни ташкил этади:

$$I_y = I_s + I \text{ А,} \quad (2.4)$$

бунда

$$I = U\gamma = \frac{U}{R}; \quad I_s = U\gamma_s = \frac{U}{R_s}$$

Диэлектрикнинг умумий электр ўтказувчанлиги қуйидагича аниқланади: $\gamma = \gamma + \gamma_s$ ёки

$$\frac{1}{R_y} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R_s}; \quad R_y = \frac{R \cdot R_s}{R + R_s},$$

яъни диэлектрикнинг умумий қаршилиги бир-бирига параллел равишда уланган ҳажмий ва юза қаршиликлар йиғиндисидан иборат бўлади.

Кўндаланг кесим юзаси S ва узунлиги h бўлган диэлектрикнинг ҳажмий қаршилиги R қуйидаги ифодадан аниқланади:

$$R = \rho \frac{h}{S} \text{ Ом.} \quad (2.5)$$

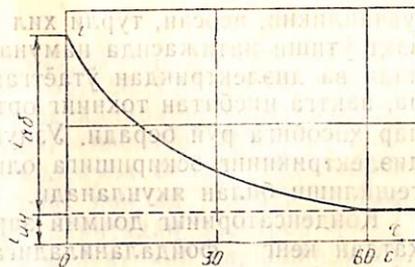
Диэлектрикнинг солиштирма юза қаршилиги эса:

$$\rho_s = R \frac{S}{h} \text{ Ом} \cdot \text{м} \quad (2.6)$$

Халқаро birlikлар системаси (СИ) га асосан бу қаршилик Ом·м ёки Ом·мм²/м birlikларда олинади: $1 \text{ Ом} \cdot \text{м} = 100 \text{ Ом} \cdot \text{см} = 10^6 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м} = 10^8 \text{ мкОм} \cdot \text{м} = 10^8 \text{ мкОм} \cdot \text{см}$.

Диэлектрикнинг солиштирма ҳажмий ўтказувчанлиги унинг солиштирма ҳажмий қаршиликка тескари пропорционалдир. Электр ўтказувчанлик жисмнинг ҳолати (газ, суюқ, қаттиқ) га, унга таъсир этувчи кучланиш тури ва миқдорига, муҳит температураси, намлиги ва бошқа таъсирларга боғлиқ бўлади.

Ўзгарувчан электр майдони таъсиридаги диэлектрикдан ўтувчи ток оқими ички ва абсорбция тоқлари йиғиндисидан ташкил топади (12-расм). Ўзгармас кучланиш таъсирида бўлган диэлектрикдан эса фақат ички ток ўтиб, абсорбция тоқи фақат кучланишни улаш ёки узини пайтида кузатилади. Паст сифатли суюқ ва қаттиқ изоляция материалларида $\rho \equiv 10^5 - 10^8 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ бўлиб, юқори (олий) сифатлиларида эса, бу қиймат $10^{14} - 10^{18} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ га тенг бўлади. Яхши сифатли диэлектрик ва электр ўтказувчи материални орасидаги солиштирма ҳажмий қаршиликлар фарқи $10^{22} - 10^{25}$ га етиб боради. Диэлектрикнинг солиштирма юза қаршилиги электродлар ўзаро тенг ва юзага параллел равишда ўрнатилганда:



12-расм. Диэлектрикдан ўтаётган токнинг вақт бўйича характеристикаси.

$$\rho_s = R_s \frac{d}{l} \quad (2.7)$$

бунда: R_s — диэлектрикнинг юза қаршилиги, Ом; d — электроднинг узунлиги, м; l — мазкур электродлар орасидаги масофа, м.

Бу катталик ёрдамида диэлектрикнинг солиштирма юза ўтказувчанлиги ($\gamma = 1/\rho$) аниқланади. Электр ўтказувчанликнинг ўлчов бирлиги сифатида сименс (См) қабул қилинган. Қаттиқ диэлектрикнинг тўлиқ электр ўтказувчанлиги унинг юза ва ҳажмий электр ўтказувчанликлари йиғиндисидан иборатдир. Кучли ва кучсиз электр майдонларида жойлашган диэлектрикларда заряд элтувчилар турли ҳолда содир бўлади. Диэлектрикнинг қандай агрегат ҳолатдалигига қараб, унинг электр ўтказувчанлиги турлича бўлади. Кўпгина диэлектриклар кучсиз электр майдони таъсирида ионли электр ўтказувчанликка эгадир. Электр ўтказувчанликка диэлектрик таркибидаги қўшимча ва бегона заррачалар ҳам сабабчи бўлади. Булар диэлектрикнинг электр ўтказувчанлигини оширибгина қолмай, унинг электр мустақамлигининг пасайишига ҳам олиб келади. Кучли электр майдони таъсирида заряд элтувчилар нейтрал заррачалар билан тўқнашиб, уларни ионлаштиради ва натижада, урилиш ионлашиши содир бўлади. Электр майдони ўзининг критик қийматидан ўтганида эркин заряд элтувчилар миқдори кескин ортади ва диэлектрик ўз изоляция хоссасини йўқотади. Бундай ҳолатда диэлектрикда *тешилиш ҳодисаси* содир бўлади.

Қаттиқ ва суюқ диэлектриклар узоқ вақт кучланиш таъсирида бўлганда улардан ўтадиган ток миқдори камайиши ёки ортиши мумкин. Биринчи ҳолда диэлектрикдаги электр ўтка-

зувчанликни, асосан, турли хил қўшимчалар келтириб чиқариб, вақт ўтиши натижасида намунада электр тозаланиш содир бўлади ва диэлектрикдан ўтаётган ток миқдори камаяди. Аксинча, вақтга нисбатан токнинг ортиши эса диэлектрикдаги зарядлар ҳисобига рўй беради. Узлуксиз таъсир этадиган кучланиш диэлектрикнинг эскиришига олиб келади ва бу жараён унинг тешилиши билан яқунланади.

Конденсаторнинг доимий зарядсизланиш вақти амалий жиҳатдан кенг фойдаланиладиган катталик бўлиб, у қуйидаги ифода билан аниқланади:

$$\tau_0 = R_{из} \cdot C = \rho \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \quad (2.8)$$

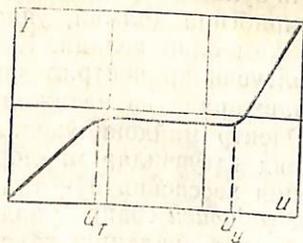
бунда $R_{из}$ — конденсатор изоляциясининг қаршилиги, Ом; C — конденсаторнинг сифими, Ф.

2.2. Газларнинг электр ўтказувчанлиги

Газларда электр токи эркин электрон ёки ионлар ҳисобига содир бўлади. Кучсиз электр майдонидаги газ нейтрал электр заррачалар — молекула ёки атомлардан ташкил топади. Ташқи таъсир ионизатор орқали содир бўладиган газ электр ўтказувчанлиги мустақил бўлмаган электр ўтказувчанлик дейилади. Урилиш ионлашиши орқали рўй берадиган электр ўтказувчанлик эса мустақил электр ўтказувчанлик дейилади. Иккита ясси электрод ионлаштирилган газ муҳитига киритилиб, уларга кучланиш берилса, ионлар ҳаракати келиб занжирдан электр токи ўтади. Газ вольт-ампер характеристикасининг бош қисми Ом қонунига бўйсунди (13-расм). Унда мусбат ва манфий ионларнинг бир қисми электродларда нейтралланиб, бошқа бир қисми рекомбинация ҳисобига йўқолади. Кучланишнинг маълум (тўйиниш ва ионлашиш кучланишлари оралигидаги (U_T , U_n) қийматида газда зарядсизланиш ҳисобига ток ўзгармас бўлиб қолади.

Нормал шароит ($t = 20^\circ\text{C}$, $\varphi = 65\%$, $\rho = 790$ мм сим. уст) да ҳавода тўйинган ток зичлиги i жуда кичик қийматга, яъни кучланишнинг $0,6$ В/м қийматида 10^{-15} А/м² га тўғри келади. Шунинг учун ҳам, ҳаво яхши диэлектрик ҳисобланади. Кучланишнинг U_n қийқатидан бошлаб газда урилиш ионлашиши ва оқибатда мустақил электр ўтказувчанлик содир бўлади. Газларда мустақил бўлмаган электр ўтказувчанлик ташқи ионизатор, космик ёки радиоактив, нурлар бартараф этилсагина тўхтайдди. Бунда заряд элтувчилар кескин камайиши сабабли газдан ўтаётган ток нола да интилади.

Юқори қийматли электр майдон-



13 расм. Газдан ўтаётган токнинг кучланиш бўйича характеристикаси.

нинг эркин заряд элтувчиларга кучли таъсир этини натижасида зарядларнинг ҳаракат тезлиги ортади. Газ молекулалари билан тўқнашуви оқибатида мазкур зарядларнинг кинетик энергияси молекулаларнинг ионлашиш энергиясидан ортиб кетади. Тезкор электронларнинг нейтрал молекула билан тўқнашуви натижасида нейтрал молекула мусбат ион ва электронларга парчаланаяди. Ҳар бир тўқнашувда иккитадан электрон ҳосил бўлиб, улар ўз навбатида яна икки молекула ион парчалайди ва ҳоказо. Бу жараён урилиш ионлашиши дейилади.

Фотонлашиш деб, молекулаларнинг уйғонган ҳолатидан асл ҳолатига ўтиши тушунилиб, бу жараёнда маълум миқдордаги энергия нурланишга сарф бўлади. Нур молекулага таъсир этиб, янгидан-янги эркин заряд элтувчиларни келтириб чиқаради. Урилиш ионлашиши ва фотонлашиш жараёнлари бир вақтнинг ўзида содир бўлади.

Агар ионлаштирилган газ ўзаро параллел жойлашган иккита ясси электрод оралигида бўлиб, бу электродларга кучланиш берилса, мазкур кучланиш таъсирида ионлар майдон йўналиши томон силжийди ва занжирдан ток ўта бошлайди. Бунда ионларнинг бир қисми электродларда нейтралланади, қолган қисми эса рекомбинация ҳисобига йўқолади. Характеристиканинг бош қисмида (U_T қийматигача) газда мусбат ва манфий ионлар миқдори ўзаро тенг бўлганлиги сабабли газдаги ток кучланишга пропорционал равишда ўзгаради. Кучланиш ошириб борилса, ионлар электродларга томон йўналади ва рекомбинация қилишга улгурмайдилар. Бунда, газ оралигидаги барча ионлар кучланишнинг маълум қийматида фақат электродларда зарядсизланади.

Тўйиниш токи (U_T , U_n оралигидаги ўзгармас ток) нормал шароитдаги ҳаво учун электродлар оралиги 10 мм ва майдон кучланганлиги $0,60$ В/м бўлганда содир бўлади. Бу ток қиймати ҳавода жуда кам бўлиб, тахминан 10^{-15} А/м² га тенг бўлади. Шу сабабли, урилиш ионлашиши содир бўладиган ҳолатга қадар ҳаво яхши диэлектрик ҳисобланади. Урилиш ионлашиши содир бўлганда газларда мустақил электр ўтказувчанлик ҳосил бўлади. Кучланишнинг U_n қийматидан юқори ҳолатларида ва кучланиш ўсиши билан ток кескин ўса бошлайди. Ҳавода бу ҳолат майдон кучланганлиги $E_n \approx 10^5 - 10^6$ В/м га тенг бўлган пайтда содир бўлади.

2.3. Суюқ диэлектрикларнинг электр ўтказувчанлиги

Суюқликнинг электр ўтказувчанлиги унинг молекула тuzилиши ва таркибидаги қўшимчаларга боғлиқдир. Қутбли суюқлик қутбсиз суюқликдан ўзининг кам электр ўтказувчанлиги билан фарқланади. Аксарият суюқликларнинг молекулалари ионлашмаганлиги сабабли, уларнинг электр ўтказувчанлигига қўшимча (нам, туз, ишқор, кислота ва ҳоказо) ларнинг таъсири катта бўлади. Суюқлик таркибида жуда оз миқдорда бўлган

бундай қўшимчалар диэлектрикнинг электр ўтказувчанлигини сезиларли даражада оширади. Суyoқликда ионларнинг ёки зарядланган коллоид заррачаларнинг силжиши ундан ток ўтишини таъминлайди.

Қутбли суyoқликлар юқори электр ўтказувчанликка эга бўлиб, уларнинг диэлектрик сингдирувчанлиги ортиши натижа-сида диэлектрикнинг электр ўтказувчанлиги ҳам ортади. Ута қутбли суyoқликлар юқори электр ўтказувчанликка эгаллиги сабабли бундай суyoқликлар ионли электр ўтказувчанликка эга ўтказгичлар деб қаралади.

Суyoқ диэлектрик таркибидаги қўшимчалардан тозаланса, унинг солиштирма қаршилиги бирмунча ортади. Масалан, қутб-сиз суyoқ диэлектрик орқали узоқ вақт электр токи ўтказилса, эркин ионларнинг электродларда йиғилиши натижасида мазкур суyoқлик қўшимчалардан тозаланади ва диэлектрик қар-шилиги ортади. Натижада суyoқ диэлектрикда электр тозала-ниши содир бўлади.

Суyoқ диэлектрикларнинг солиштирма ўтказувчанлиги тем-пературага узвий равишда боғланган бўлиб, температуранинг ортиб бориши билан унинг қовушоқлиги камаяди. Оқибатда ионларнинг силжувчанлиги ортиб, суyoқликнинг электр ўтка-зувчанлиги кўпаяди.

Суyoқ диэлектрикнинг солиштирма ўтказувчанлиги қуйнда-гича аниқланади:

$$\gamma = A \exp\left(-\frac{a}{T}\right), \quad (2.9)$$

бунда A , a — берилган суyoқликни ифодалайдиган ўзгармас катталиклар.

Суyoқликнинг солиштирма ўтказувчанлиги ва қовушоқлиги орасидаги боғланиш қовушоқ муҳитда доимий куч таъсирида силжувчи шар ҳаракатига асосланган Стокс қонунидан фойда-ланиб ўрганилади. Ушбу қонунга асосан суyoқ муҳитда жой-лашган шарнинг ҳаракат тезлиги:

$$v = \frac{F}{6\pi r \eta} \text{ м/с}, \quad (2.10)$$

бунда F — куч, Н; r — шар радиуси, м; η — суyoқликнинг динамик қовушоқлиги.

Агар ион шар кўринишли, унинг заряди q ва ҳаракатлан-тирувчи кучи $F = Eq$ деб олсак, у ҳолда суyoқликнинг солиш-тирма электр ўтказувчанлиги Ом қонунига асосан қуйндагича аниқланади:

$$\gamma = \frac{n_0 q^2}{6\pi r \eta}, \quad (2.11)$$

бунда n_0 — заряд элтувчилар миқдори. Ушбу ифодага асосан суyoқлик қизиганда унинг қовушоқ-лиги камайиши сабабли диэлектрикнинг электр ўтказувчанли-ги ортади. Яхши тозаланган суyoқ диэлектрикларнинг вольт-

ампер характеристикаси (ВАХ) (14-расм), газларнинг ВАХидан го-ризонтал қисм бўлмаслиги билан фарқланади.

Электр ўтказувчанлик коллоид би-рикмаларда ҳам кузатилиб, уларда заряд элтувчи вазифасини моллионлар бажаради. Электротехникада коллоид бирикмалардан эмульсия, суспензия (суyoқликдаги қаттиқ заррачалар) ва аэрозоллар (газ таркибидаги қаттиқ ва суyoқ заррачалар) ишлатилади. Электр майдонида моллионлар ҳарака-ти электрофорез кўринишида бўлади ва бу жараён электролиздан янги мод-да ҳосил қилмаслиги билан фарқла-нади. Электрофоретик электр ўтказувчанлик, таркибида сув зарраси бўлган ёғда, қатрон (смола)ли органик суyoқликларда кузатилади.

Баъзи суyoқ диэлектрикларда ρ қийматининг ϵ_r қийматига боғлиқлиги 2-жадвалда келтирилган.

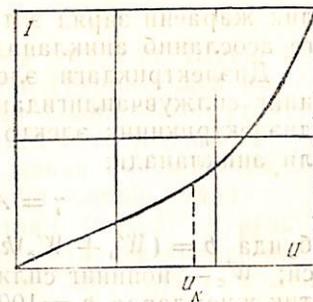
2-жадвал

Баъзи суyoқликларнинг 20 С даги солиштирма ҳажмий қаршилиги ва диэлектрик сингдирувчанлиги

Суyoқлик	Тузилиш хусусияти	ρ , Ом·м	ϵ_r
Трансформатор мойи	Қутбсиз	$10^{10} - 10^{13}$	2,3
Бензин	Қутбсиз	$10^8 - 10^{10}$	2,0
Канакунжут мойи	Қутбсиз	$10^8 - 10^{10}$	4,5
Ацетон	Ута қутбли	$10^4 - 10^5$	22
Дистилланган сув	Ута қутбли	$10^2 - 10^4$	81

2.4. Қаттиқ диэлектрикларнинг электр ўтказувчанлиги

Қаттиқ жисмларнинг электр ўтказувчанлиги улар тарки-бидаги ионларнинг ёки бошқа зарраларнинг силжиши ҳисоби-га содир бўлади. Баъзи қаттиқ жисмларда эса электр ўтказув-чанликни эркин электронлар келтириб чиқаради. Кучли электр майдони таъсирида жисмда электронли электр ўтказувчанлик кузатилади. Электр ўтказувчанлик тури Фарадей қонунини қўл-лаш орқали тажриба йўли билан аниқланади. Ион тузилишли диэлектрикларда электр ўтказувчанлик, асосан, ионлик ҳа-ракати таъсирида озод бўладиган ионлар силжиши ҳисобига рўй беради. Паст температурада кристалл панжарада бўш боғ-ланган ионларгина, хусусан, қўшимчаларнинг ионлари сил-жиди. Атом ёки молекула панжарали диэлектрикнинг электр ўтказувчанлиги қўшимчалар ҳисобига рўй беради. Бу ҳолда унинг солиштирма электр ўтказувчанлиги жуда кичик қиймат-ни ташкил этади. Ҳар бир муайян ҳол учун электр ўтказувчан-



14-расм. Суyoқ ҳолатдаги диэлектрикдан ўтаётган токнинг кучланиш бўйича характеристикаси.

лик жараёни заряд элтувчининг активация энергияси қиймати-га асосланиб аниқланади.

Диэлектрикдаги электронларнинг силжувчанлиги ионларнинг силжувчанлигидан анча юқори бўлади. Ион структурали диэлектрикнинг электр ўтказувчанлиги қуйидаги ифода орқали аниқланади:

$$\gamma = A \exp(-b/T), \quad (2.12)$$

бунда $b = (W_0 + W_c)/k$; W_0 — ионларни озод этиш энергияси; W_c — ионнинг силжиш энергияси; b — коэффициент (қаттиқ жисмларда $b = 10000-22000$ К га тенг); T — температура, $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Ж/К — Больцман доимийси.

(2.12) га асосан, диссоциация ва силжиш энергиялари қанча катта қийматга эга бўлса, солиштирама электр ўтказувчанлик билан температура шунча кучли равишда ўзгаради.

Агар диэлектрикдаги ток турли хил ионлар силжишидан келиб чиқса, (2.12) ифода қуйидагича кўринишга келади:

$$\gamma = \sum_i A_i \exp\left(-\frac{W_i}{kT}\right). \quad (2.13)$$

Ушбу ифодада γ ни $1/\rho$ га алмаштириб, соддалаштирсак, солиштирама ҳажмий қаршиликнинг температурага боғлиқлигини аниқлаймиз:

$$\rho = B \exp\left(\frac{b}{T}\right) \text{ ёки } \rho = \rho_0 \exp(-at) \quad (2.14)$$

(2.14) ифодага асосан солиштирама қаршиликнинг температура коэффициенти қуйидаги кўринишга эга:

$$TK\rho = a\rho = -\frac{b}{T^2}. \quad (2.15)$$

Ион панжарали кристалл тузилишга эга жисмларда электр ўтказувчанлик ион валентлиги билан боғлиқдир. Бир валентли ионли кристаллларнинг электр ўтказувчанлиги кўп валентли ионли кристалларга нисбатан юқори бўлади. Масалан, NaCl кристаллининг электр ўтказувчанлиги MgO ёки Al₂O₃ кристалларининг электр ўтказувчанлигига қараганда юқори бўлади.

Кристалларда электр ўтказувчанлик кристалл ўқлари бўйича бир хил бўлмайди, аморф жисмларда эса электр ўтказувчанлик турли йўналиш бўйича бир хил бўлади. Юқори молекулали органик полимерларда солиштирама электр ўтказувчанлик уларнинг полимерланиш ва вулканланиш даражаси билан аниқланади. Органик кутбсиз аморф диэлектрик (полистирол ва ҳоказо) нинг солиштирама электр ўтказувчанлиги (полистирол) кичикдир. Шишанинг электр ўтказувчанлиги анча кичикбига боғлиқ бўлгани сабабли мазкур қийматни технологик жараёнда бошқариш мумкин бўлади. Масалан, кварцли шиша жуда кичик солиштирама электр ўтказувчанликка эга. Агар унинг таркибига турли хил металл оксидлари киритилса, ши-

шанинг электр ўтказувчанлиги бирмунча ўзгаради. Шиша таркибига Менделеев жадвалининг биринчи группасидаги ишқорли металл оксидлари киритилса, унинг солиштирама ўтказувчанлиги кескин ўсади ва бу ўсиш қиймати металл ионининг радиусига боғлиқ бўлади. Ион радиуси қанча кичик бўлса, солиштирама ўтказувчанлик қиймати шунча юқори бўлади.

Агар шиша таркибига оғир оксидлар (барий, кўрғошин оксидлари) киритилса, унинг солиштирама ўтказувчанлиги анчага пасаяди. Қуйида баъзи шишаларнинг 200°C даги солиштирама ҳажмий қаршилиги келтирилган:

Натрий пероксиди	2 · 10 ⁶ Ом · м
Қалий пероксиди	8 · 10 ⁹ Ом · м
Кўрғошинли шиша	2 · 10 ¹⁰ Ом · м

Таркибда шиша бўлган электротехника чиннисига барий оксиди киритилганда, диэлектрикнинг солиштирама электр ўтказувчанлиги бирмунча пасаяди. Говакли қаттиқ диэлектрикка оз миқдорда нам кириши натижасида унинг солиштирама электр ўтказувчанлиги кескин ортади. Агар нам муҳитда сақланган бундай диэлектрик қуритилса, унинг солиштирама қаршилиги кўтарилади.

Қаттиқ жисмнинг юқорида келтирилган электр ўтказувчанлиги электр майдон кучланганлигининг нисбатан кичик қийматларига тегишлидир. Майдон кучланганлиги қиймати оширилса, кристалл тузилишга эга жисмларда электронли ток оқими ҳосил бўлади ва натижада Ом қонуни бузилади. Майдон кучланганлиги 10—100 МВ/м дан юқори бўлганда солиштирама электр ўтказувчанликнинг майдон кучланганлигига боғлиқлиги Пулининг эмпирик формуласи орқали ифодаланади:

$$\gamma_E = \gamma \exp \beta E, \quad (2.16)$$

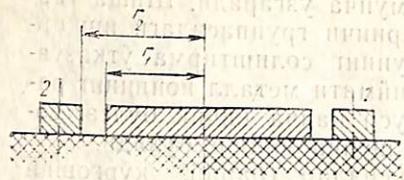
бунда E — майдон кучланганлиги, МВ/м; β — (Ом қонуни бузилмайдиган соҳага тегишли солиштирама электр ўтказувчанлик, См; β — материални ифодайдиган коэффициент.

Майдон кучланганлигининг қиймати тешилиш кучланганлигига яқин бўлганда солиштирама ўтказувчанлик Френкель ифодаси орқали аниқланади:

$$\gamma_E = \gamma \exp(\beta \sqrt{E}) \quad (2.17)$$

Электр майдон таъсирида бўлган диэлектриклар эскириш хусусиятига эга бўлиб, бунда материалларнинг диэлектрик, механик ва бошқа хоссалари ёмонлашади. Сополда бундай ўзгариш жуда кам бўлса ҳам, лекин унда электр-кимёвий эскириш кузатилади. Бу жараён сополнинг кристалл панжарасидан кислород чиқиб кетиши ва электр ўтказувчанликда ионнинг иштироки билан тушунтирилади.

Қаттиқ диэлектрикларда сирт (юза) орқали электр ўтказувчанлик. Диэлектрик сиртига чанг ёки нам қатлами ўтириши натижасида сирт орқали электр ўтказувчанлик содир бўлиб, унинг қиймати мазкур қатламлар қалинлиги билан аниқ-



15-расм. Диэлектрик сирт қарши-
лигини аниқлаш үчүн шилатиладиган
доирасимон ички (1) ва ташқи (2)
электродлар.

мумкин (15-расм). Бунда диэлектрикнинг
ва солиштирма юза қаршилиги R_s
дагича бўлади:

$$R_s = \frac{\rho_s}{2\pi} \ln \frac{r_2}{r_1} = \frac{\rho_s}{2\pi} \ln \frac{d_2}{d_1}, \quad (2.18)$$

бу ерда r_1, d_1 — биринчи ички ҳалқа радиуси ва диаметри, м;
 r_2, d_2 — иккинчи ташқи ҳалқа радиуси ва диаметри, м.

Агар $r_2 - r_1 \ll r_1$, бўлса, юқоридаги ифода қуйидаги кўри-
нишда ёзилиши мумкин:

$$R_s = \frac{\rho_s (r_2 - r_1)}{\pi (r_1 + r_2)} = \frac{\rho_s (d_2 - d_1)}{\pi (d_1 + d_2)}. \quad (2.19)$$

Қутбди диэлектрикнинг юза қаршилиги атроф-муҳитнинг
намлик даражаси қанча юқори бўлса, шунча кам бўлади. Қутб-
ли диэлектрикка чанг қатлами яхши ўтиради ва бу қатлам-
нинг тўйиниб намланиши R_s қийматини кескин тушириб юбо-
ради. Ҳовак жисмда намлик бутун юза бўйича унинг ҳажмига
сингиб, юзада қўшимча сув пардаси ҳосил қилиши натижа-
да диэлектрикнинг юза қаршилиги пасайиб кетади.

Диэлектрикнинг солиштирма юза қаршилигини ювиш,
иссиқда тоблаш ва бошқа турли усуллар орқали кўтарилади.
Диэлектрик юзасини тозалаш усулларидан бири уни дистил-
ланган сувда қайнатишдан иборатдир. Диэлектрикнинг юза-
сини локлаш билан ҳам унинг юза қаршилигини ошириш мум-
кин. Агар жисм юзаси турли бирикма ва ифлосликлардан халос
қилинса, у катта юза қаршилигига эришади ва бу қиймат (ρ_s)
намли муҳитда кўп ўзгармайди. Диэлектрик таркибда диссо-
циацияланган ионли қўшимчалар бўлса, намлик таъсири-
да унинг солиштирма юза қаршилиги кескин пасаяди.

Атроф-муҳит ҳавоси таркибида маълум миқдорда сув буғи
бўлади. Нормал шароитда ҳавонинг иобий намлиги 65% ни
ташкил этади. Диэлектрик сиртига ўтирган ёки унга сингган
намлик изоляция қаршичилиги кескин (10% мартагача) пасай-
тиради. Бу сувнинг паст солиштирма қаршилиги ($\rho_s \approx 10^3$ —
— 10^4 Ом·м) билан тушутирилади. Сув диэлектрикка сингиб
бориши натижасида унинг таркибда эркин ионлар миқдори
кўпаяди. Диэлектриклар намликка бўлган чидамлилиги жиҳа-

тидан қуйидаги уч турга:
нам сингдирадиган ёки нам-
ланадиган (16-расмдаги, 1);
нам сингдирмайдиган, лекин
юзаси намланадиган (16-
расмдаги, 2); намланмайдиган
ва нам сингдирмайдиган
(16-расмдаги, 3) диэлек-
трикларга бўлинади. Сўнгги
турдаги материаллар кам
учрайди. Буларга мисол та-
риқасида парафин, церезин,
фторопласт каби қутбсиз
диэлектрикларни кўрсатиш
мумкин.



16-расм. Турли диэлектриклар учун
солиштирма сирт қаршилигининг нис-
бий намликка боғлиқлиги:

1—фенопласт; 2—ишқорли шиша, 3—парафин

Материалларнинг ўзига
нам сингдириш қобилияти
уларнинг таркибдаги макро ёки микро, ёхуд субмикроскопик
бўшлиқларга боғлиқ бўлади ва у *гигроскопиклик* ёки *сув синг-
дириш* билан ифодаланади. Материал юзасининг намланиши
изоляция қутбланиш табиатида боғлиқдир. Ионли қутбланув-
чи жисм юзасида қарама-қарши ишорали ионлар жойлашиб,
улар қутбди сув молекулаларини ўзига тортади ва изоляция
юзасида бир неча молекулалар қатламини ҳосил қилади.

Дипол қутбланувчи жисм юзасида зарядланган диполлар
бетартиб жойлашиб, сувни юқоридаги (ион қутбланиш)га нис-
батан камроқ миқдорда ўзига сингдиради ёки юққа қатлам
ҳосил бўлади. Фақатгина электрон қутбланишга эга нейтрале
диэлектриклар электр майдон иштирокисиз тортмайди. Шу са-
бубди ионли диэлектрик сув билан яхши намланади, дипол-
лиси нисбатан камроқ намланади, нейтрал диэлектрик эса умум-
ман намланмайди.

Иссиқлик таъсирида диэлектрикда эркин ионлар кўпайиши
натижасида унинг солиштирма қаршилиги кескин пасаяди.
Диэлектрикда солиштирма юза қаршилигининг температура-
га нисбатан ўзгариши қуйидагича ифодаланади:

$$\lg \rho_t = \lg \rho_{20} - \beta(t - 20^\circ\text{C}). \quad (2.20)$$

Анорганик материалларда $\beta \approx 0,01$ — $0,02$, органикларидан
эса $\beta \approx 0,03$ — $0,04$. Агар температура 15 дан 25°C гача ўзгар-
тирилса, у ҳолда ρ_s қиймати икки баробар ўзгаради. Бу қий-
мат 100°C га фарқ қилса, диэлектрикнинг ρ_s қиймати 1000
марга ўзгаради. Шу сабаб юқори температурага мўлжаллан-
ган диэлектрикнинг ρ_s қиймати катта, иш температурасида
эса ундаги ток оқими кам бўлиши керак.

Электр машина ва аппаратларнинг изоляция қаршилиги
деганда, сым изоляцияси ва шу жиҳоз қисмлари орасидаги
қаршилик тушутилади. Изоляция қаршилигининг ўлчов бир-

лиги қилиб $1 \text{ ТОМ} = 10^6 \text{ МОМ} = 10^{12} \text{ Ом}$ қабул қилинган. Изоляциянинг умумий солиштирма қаршилиги юза ва ички қаршиликлари йиғиндисидан иборатдир. Шу сабабли изоляция қаршилиги намлик ва температура таъсирида ўзгаради. Амалда изоляция қаршилиги тайёр электр ускунасининг иш шароитида температура ва намлик таъсирида текширилади. Диэлектрикда ρ қиймати материалнинг ўзгармас кучланиш таъсирида ишлаши мумкинлигини ифодалайди. Унинг қиймати қанча юқори бўлса, изоляция шунча яхши бўлади. Аммо бу характеристика диэлектрикнинг ўзгарувчан кучланишда ишлаши ёки ишлай олмаслигини ифодаламайди.

3-б-б. ДИЭЛЕКТРИКЛАРДА ЭНЕРГИЯ ИСРОФИ

3.1. Асосий тушунчалар

Агар диэлектрикка электр майдони таъсир эттирилса, диэлектрик аста-секин қизий бошлайди, чунки таъсир этаётган энергиянинг бир қисми унинг қизишига сарф бўлади. Қизишга сарф бўладиган электр қуввати диэлектрикдаги исроф ёки диэлектрикдаги энергия сочилиши дейилади. Диэлектрикдан ички ток ўтиши натижасида ундаги электр энергиясининг исрофи ўзгармас ва ўзгарувчан кучланиш таъсирида рўй беради. Ўзгармас кучланиш таъсирида жисмда даврий қутбланиш кузатилмаганлиги сабабли диэлектрикдаги энергия исрофи унинг солиштирма юза ва ҳажмий қаршилигига боғлиқ бўлади. Ўзгарувчан кучланишда диэлектрикда ички тоқлардан ташқари қўшимча сабаблар (қутбланиш) вужудга келиб, ундаги электр энергияси исрофи ортади. Электр майдонида жойлашган диэлектрикда сарфланадиган қувват миқдорини аниқлаш учун диэлектрикдаги исроф бурчаги δ ёки шу бурчак тангенсини $\text{tg } \delta$ дан фойдаланилади. Буни яхши тушуниб етиш учун ўзгарувчан ток тўғрисида умумий тушунчага эга бўлиш керак. Электротехникада синусоидал токли электр занжири энг кўп тарқалган. Синусоидал ток кучланиши ўз шаклини сақлагани ҳолда ўзгариши мумкинлиги билан ўзгармас токдан фарқ қилади. Ўзгарувчан ток турли усулларда ҳосил қилинади. Бундай усуллардан энг оддийси генератор ёрдамида ток ҳосил қилишдир. Электромагнит қонунига асосан, ўзгармас магнит майдонида жойлаштирилган ва ўзгармас бурчак тезлик (ω) билан тўғри бурчакли рамка айлантирилганда ўтказгичда электр юритувчи куч ҳосил бўлади:

$$e = Blv \sin(\omega t + \psi_c) = E_m \sin(\omega t + \psi_c), \quad (3.1)$$

бунда B — магнит индукцияси; l — ўтказгичнинг узунлиги; v — ўтказгичнинг қизиқли тезлиги, ψ_c — рамка ва текислик ораллигидаги бурчак, E_m — электр юритувчи куч амплитудаси. Занжирда синусоидал ток ва кучланиш вақт бирлигига нисбатан синусоидал функцияга эга (17-расм):

$$u = U_m \sin(\omega t + \psi_u); \quad i = I_m \sin(\omega t + \psi_i) \quad (3.2)$$

бунда u, i — кучланиш ва токнинг оний қиймати; $\omega t + \psi$ — синусоидал функциянинг фазовий бурчаги.

Бир давр ичида R қаршилиқдан синусоидал ток ўтганда ажраладиган иссиқликка тенг қувват ажратувчи ўзгармас қийматли ток I_s синусоидал токнинг эффе́ктив қиймати деб қабул қилинади:

$$I_s^2 RT = \int_0^T i^2 RT \quad (3.3)$$

$$I_s = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \approx 0,707, \text{ чунки } \int_0^T \sin^2 \omega t dt = \int_0^T \frac{1 - \cos 2\omega t}{2} dt = \frac{1}{2} \int_0^T dt - \int_0^T \frac{\cos 2\omega t}{4\omega} d 2\omega t = 0.$$

Синусоидал кучланишнинг эффе́ктив қиймати.

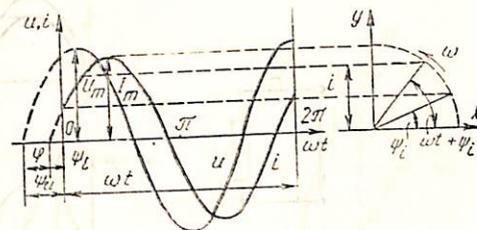
$$U_s = \frac{U_m}{\sqrt{2}}.$$

Синусоидал ток кучланишнинг ўртача қиймати ярим давр ичидаги оний қийматларга асосан топилган ўртача арифметик қийматидан иборатдир:

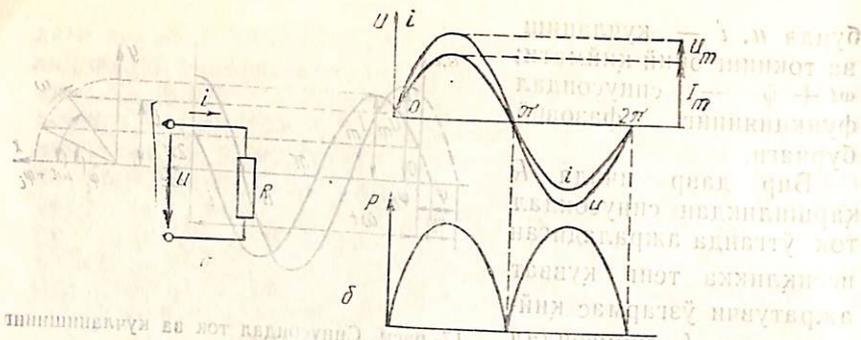
$$I_s = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} I_m \sin \omega t dt = \frac{2I_m}{\pi} \approx 0,637 I_m. \quad (3.4)$$

Бир хил частотали синусоидал катталикларнинг соат мили йўналишига тескари векторлар орқали ифодаси синусоидал токнинг вектор диаграммаси дейилади. Синусоидал катталикларнинг бошланғич фазаси $\psi = 0$ бўлса, уларнинг юқори ва эффе́ктив қийматини ифодалайдиган вектор абсцисса ўқи бўйлаб йўналади. Вектор диаграмма синусоидал катталикларни қўшиш ёки айриш амалларини анча содалаштиради. Ўзгармас ток занжири элементларидаги ток, кучланиш ва қувват қийматлари ўзгармас бўлса, ўзгарувчан ток занжиридаги бу параметрлар вақт давомида ўзгариб туради. Актив қаршилиқ R_a , индуктивлик (L) ва сифим (C) лар синусоидал ток занжирини ифодалайдиган физик параметрлардир.

Электр энергиясини бошқа турдаги энергия (иссиқлик, ёруғлик, механик)га айлантирувчи занжир элементи *актив*



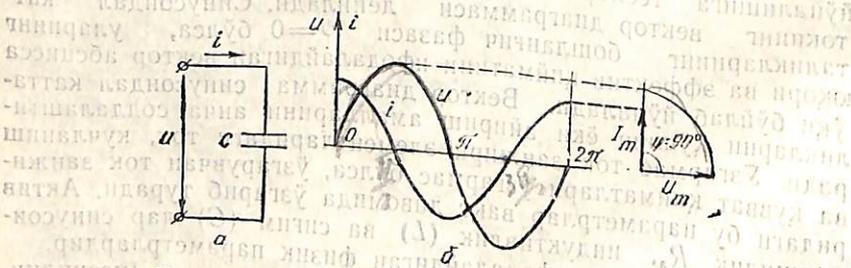
17-расм. Синусоидал ток ва кучланишнинг вақт бўйича ўзгариши.



18-расм. Қаршиликли электр занжири (а) ҳамда кучланиш ва токнинг синусоидал функцияси (б).

(8.8) қаршилик дейилади. Агар занжирдаги қаршиликдан (18-расм) ўзгарувчан ток ўтса, ундаги электр қуввати Жоуль-Ленц қонунига биноан қаршилик (R_a) нинг қизишига сарфланади ва қизишга сарфланган қувват (P) нинг ўртача қиймати актив қувват дейилади. Сигими C бўлган конденсатор занжирга (19-расм) синусоидал кучланиш $u = U_m \sin \omega t$ берилса, қопламалар гоҳ мусбат, гоҳ манфий зарядланиб туради ва ундан $i = I_m \sin(\omega t - 90^\circ) = \omega C U_m \cos \omega t$ ўзгарувчан ток ўтади. Ифодага асосан, сифимли занжирдаги ток фазаси кучланиш фазасидан 90° илгарилаб кетади. Сигим ёки реактив қаршилик ($x_c = \frac{1}{\omega C}$) ток частотаси ва занжир сифимига тескари пропорционал бўлади.

Конденсатор зарядланиб, қопламаларидаги кучланиш ортганида электр майдоннинг қуввати $\frac{CU^2}{2}$ га тенг бўлади ва зарядсизланиш даврида ток манба томон йўналади. Натижада электр занжиридаги қувват фойдали ишга сарфланмай, ток манба билан конденсатор оралиғида иккиланган частота билан тебраниб туради. Мазкур тебранишга сарфланган қувват реактив қувват дейилади. Сигим қаршиликли занжирдан ўтайдиган ток сифимий ёки реактив ток дейилади.



19-расм. Сигимли электр занжири (а) ҳамда кучланиш ва токнинг синусоидал функцияси (б).

Диэлектрик исроф бурчаги деб, сифимли занжирдаги кучланиш ва токнинг фазовий силжиш бурчагини 90° гача тўлдирадиган бурчакка айтилади. Идеал диэлектрикда ток вектори кучланиш векторидан роса $\frac{\pi}{2} = 90^\circ$ ил-

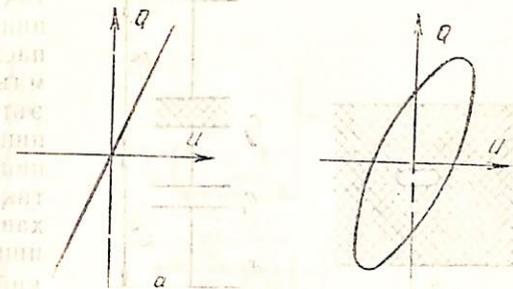
гарилаб, бу векторлар орасидаги исроф бурчаги нолга тенг бўлади.

Аксинча, диэлектрикда энергия исрофи қанча катта бўлса, фазовий силжиш бурчаги шунча кичик ва δ бурчак ёки унинг функцияси $\operatorname{tg} \delta$ шунча катта бўлади. Жисмнинг агрегат ҳолати (газ, суюқ ва қаттиқ) га қараб ундаги диэлектрик исрофининг табиати турлича бўлади. Диэлектрикдаги исроф қутбланиш туфайли содир бўлганда заряд ва кучланиш орасидаги боғланиш эллипс кўринишига эга бўлади (20-расм, б). Аксинча, ўтказувчанлик туфайли содир бўлса, бу боғланиш чизикли ўзгаради (20-расм, а). Характеристикадаги эллипс юзаси бир давр мобайнида диэлектрикда исроф бўлган энергия миқдорига тўғри келади. Электр майдон кучланганлигининг катта қийматида ёки юқори частотада содир бўладиган исрофлар, диэлектрикда содир бўладиган ионланиш ҳисобига рўй беради.

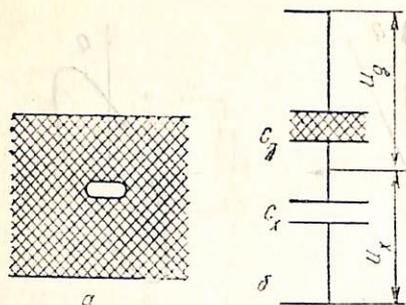
Дипол қутбланишида содир бўладиган қувват исрофи диэлектрикда ўзгарувчан электр майдони таъсирида дипол бурилиши жараёнида ички ишқаланиш натижасида пайдо бўлади. Ионланиш шаронтидаги исрофлар ҳавода ёки таркибида ҳаво бўшлиқлари бўлган жисмларда, масалан, чинни, қоғоз ҳамда зич диэлектриклар орасидаги бўшлиқларда содир бўлади. Қаттиқ диэлектрик ичидаги ҳаво бўшлиғини (21-расм, а) изоляцияси ҳаволи конденсатор деб қараш ва уни (21-расм, б) қаттиқ диэлектрикли конденсатор билан кетма-кет уланган деб фараз қилиш мумкин. Бундай диэлектриклардаги кучланиш ва сифим орасидаги боғланиш қуйидагича бўлади:

$$U = U_d + U_x; \quad \frac{U_d}{U_x} = \frac{C_x}{C_d}; \quad U = U_x \left(1 + \frac{C_x}{C_d} \right).$$

Диэлектрик ва ҳаво бўшлиғидаги кучланишлар (U_d, U_x) тегишли сифимлар (C_d, C_x) орқали аниқланади. Диэлектрикдаги кучланиш (U) ошириб борилса, U_x қиймати тешилиш кучланиши (U_{xt}) қийматигача ортиб, ҳаво молекулаларида аввал ионланиш, сўнгра тешилиш ҳодисаси рўй беради. Қат-



20-расм. Чизикли диэлектрикда заряднинг кучланишга боғлиқлиги (а — исрофли ҳолат; б — исрофсиз ҳолат).



21-расм. Ички қисмида ҳаво бўшлиғи бор диэлектрик (а) ва унинг эквивалент чизмаси (б).

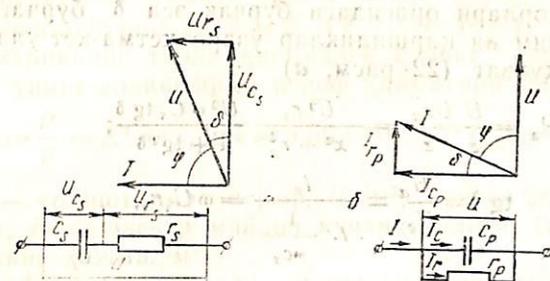
электр ўтказувчанликнинг ва электр энергияси исрофининг ортишига олиб келади. Диэлектрикдаги электр ўтказувчанлик, дипол қутбланиш ва ионланиш унинг қизишига олиб келади. Бунда диэлектрикда электр энергиясининг маълум миқдори иссиқликка айланади.

Сегнетоэлектрикларда энергия исрофи ўз-ўзидан (спонтан) қутбланиш ҳисобига рўй бериб, унинг қиймати Кюри нуқтасидан паст температурада катта бўлади, сегнетоэлектриклардаги энергия исрофи диэлектриклардагидан анча юқори бўлади. Сегнетоэлектрикларда температура ўзгариши туфайли ўз-ўзидан қутбланиш Кюри нуқтасигача содир бўлади. Сегнетоэлектриклардаги диэлектрик исрофлар Кюри нуқтасигача жуда кам ўзгаради. Ундан юқори нуқталарда, яъни сегнетоэлектрикнинг ўз-ўзидан қутбланиши йўқолган ҳолатида $\tan \delta$ қиймати кескин пасаяди.

Агар диэлектрикда электр энергияси исроф бўлмайди, деб фараз қилсак, сиғимли занжирда ток вектори кучланиш векторидан $\delta = \frac{\pi}{2} = 90^\circ$ илгарилаб кетиб, сиғим (конденсатор)нинг актив қуввати нолга тенг бўлади:

$$P_a = UI \cos \varphi = UI \cos 90^\circ = 0 \quad (3.5)$$

Аmmo ҳақиқий диэлектрикли сиғимда бу бурчак 90° га тенг бўлмайди ($\varphi \neq 90^\circ$), шу сабабли $\cos \varphi \neq 0$ ва актив қувватнинг исрофи содир бўлишини кўрсатади. Диэлектрик исроф бурчак (δ) ни 90° гача тўлдиради. Сиғимдаги электр энергия исрофи иссиқлик ажралиб чиқиши билан кечиши сабабли сиғимли занжирда актив қаршилик ҳам иштирок этади. Шу боис сиғимнинг эквивалент чизмаси сиғим ва қаршилик билан параллел (22-расм) уланган ҳоллари келтирилган. Улар ўзга-



22-расм. Диэлектрик исрофини ифодалайдиган вектор диаграмма ва унинг эквивалент чизмаси (а — кетма-кет уланганда, б — параллел уланганда).

рувчан кучланиш занжирига уланган ва маълум электр энергияси исрофига эга, деб фараз қилинади. Чизмадаги актив қаршиликдан ажралаётган қувват миқдори конденсатор изоляциясидан ажралаётган қувватга тенг деб олинади, ток эса кучланишдан маълум бурчакка илгарилаб кетган бўлсин. Занжирдаги конденсаторлардан бирининг диэлектригида қувват исроф бўлмайди, яъни бу конденсаторни идеал конденсатор деб фараз қилинади. Бундай эквивалент чизма ҳақиқий диэлектрикдаги диэлектрик исроф жараёнини қисман ифодалайди ва исроф бурчаги (δ) ни аниқлаш учун хизмат қилади. Ўзгарувчан ток занжирдаги актив қувват:

$$P_a = UI \cos \varphi \quad \text{Вт.} \quad (3.6)$$

21-расмда келтирилган қаршилик ва сиғими ўзаро кетма-кет ва параллел уланган занжир чизмаларида қувват исрофи сиғимлар (C_s ва C_p) ва бурчак δ ёрдамида ифодаланади. Қаршилик ва сиғими кетма-кет уланган занжир қаршилигида қувват исроф бўлади (22-расм, а). Бу занжир учун кучланишнинг вектор диаграммасини қураимиз. Токнинг умумий вектори сиғимдаги кучланиш вектори (U_C) дан 90° илгарилаб кетади, актив қаршиликдаги кучланиш вектори (U_R) эса ток вектори билан устма-уст (бир фазали бўлгани учун) тушади. (U_C , U_R) ларнинг геометрик йиғиндиси умумий кучланиш вектори (U) ни беради. U билан ток вектори орасидаги бурчак диэлектрик исроф бурчаги (δ) бўлади. Худди шундай усулда қаршилик ва сиғими ўзаро параллел ҳолда уланган занжир чизмаси учун токнинг вектор диаграммасини қураимиз. Бунда (U) сиғимдаги ток вектори I_C дан 90° илгарилаб кетади. Қаршиликдаги ток вектори I_R эса U билан бир фазада бўлиб, устма-уст тушади. Сўнгра умумий ток вектори I_C , I_R ларнинг геометрик йиғиндисидан келтириб чиқарилади. Умумий ва сиғи-

ми ток векторлари орасидаги бурчак эса δ бурчагини ифодалайди. Сигим ва қаршиликлар ўзаро кетма-кет уланган ҳол учун актив қувват (22-расм, а)

$$P_a = \frac{U}{z} \frac{U r_s}{z} = \frac{U^2 r_s}{x^2 + r_s^2} \frac{U^2 \omega C_s \operatorname{tg} \delta}{1 + \operatorname{tg}^2 \delta}; \quad (3.7)$$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{U_a}{U_c} = \frac{I_r}{I_c} = \omega C_s r_s, \quad (3.8)$$

бу ерда z — тўлиқ қаршилик.

Худди шунингдек, сигим ва қаршилик ўзаро параллел уланган занжир учун (22-расм, б):

$$P_a = U \cdot I_a = U^2 \omega C_r \operatorname{tg} \delta, \quad (3.9)$$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{\omega C_r r_r}, \quad (3.10)$$

бунда P_a — актив қувват, Вт; U — занжирдаги кучланиш, В; C — сигим, Ф.

(2.27) ва (2.29) ҳамда (2.28) ва (2.30) ифодаларни тенглаштириш орқали сигим ва қаршилик орасидаги муносабат аниқланади.

$$C_r = \frac{C_s}{1 + \operatorname{tg}^2 \delta}; \quad r_r = r_s \left(1 + \frac{1}{\operatorname{tg}^2 \delta}\right) \quad (3.11)$$

Агар $C_p = C_s = C$ бўлса, у ҳолда изоляцияда исроф бўладиган қувват нқкала (кетма-кет ва параллел уланган) занжир учун бир хил бўлади:

$$P_a = U^2 \omega C \operatorname{tg} \delta. \quad (3.12)$$

Демак, диэлектрикдаги қувват исрофини аниқлаш учун $\operatorname{tg} \delta$ қийматидан ташқари изоляция сигими, таъсир этувчи кучланиш қиймати ва унинг частотаси (ω) ни билиш керак. Юқори кучланиш ва катта частоталарда изоляцияда энергия исрофи кўп бўлади. Изоляцияси ўта қизиб кетишининг олдини олиш мақсадида $\operatorname{tg} \delta$ қиймати кичик бўлган диэлектрик танлаб олинади. $\operatorname{tg} \delta$ ни актив (I_a) ва реактив (I_c) ток қийматининг нисбати орқали ҳам топиш мумкин:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_a}{I_c}. \quad (3.13)$$

Ушбу катталик электр изоляция материали ва унинг асосида ишлаб чиқарилган асбобларнинг муҳим параметрларидан бири ҳисобланади.

Диэлектрикнинг сифатлилиги (Q) исроф бурчаги тангенсига тескари пропорционал катталикдир:

$$Q = \frac{1}{\operatorname{tg} \delta} = \operatorname{ctg} \delta = I_c / I_a. \quad (3.14)$$

Диэлектрикнинг сифати қанча яхши бўлса, $\operatorname{tg} \delta$ қиймати шунча кичик бўлади: ($\operatorname{tg} \delta = 2 \cdot 10^{-4} \div 5 \cdot 10^{-4}$).

Диэлектрикнинг турли қисмидаги қувват исрофини аниқлаш учун унинг солиштирма исроф қийматини билиш керак:

$$\rho = \frac{P}{V} = E^2 \omega \varepsilon_0 \varepsilon_r \operatorname{tg} \delta = 5,56 \cdot 10^{-11} E^2 f \varepsilon_r \operatorname{tg} \delta, \quad (3.15)$$

бунда ρ — солиштирма исроф, Вт/м³; $\omega = 2\pi f$ — бурчак частотаси; E — электр майдон кучланганлиги, В/м; V — диэлектрикнинг ҳажми, м³.

Ушбу ифода бир жинсли бўлмаган диэлектрик учун мос келади. Изоляция материаллари сифатини аниқлаш учун диэлектрик исроф коэффициентини ($\varepsilon_r \cdot \operatorname{tg} \delta$) дан фойдаланиш мақсадга мувофиқдир. Синусоидал кучланиш таъсирида бўлган диэлектрик учун нисбий диэлектрик сингдирувчанлик комплекс кўринишда ифодаланади:

$$\varepsilon_r = \varepsilon_r' + j\varepsilon_r'', \quad (3.16)$$

бунда $\varepsilon_r' = \varepsilon$ — диэлектрик сингдирувчанликнинг ҳақиқий ташкил этувчиси; $\varepsilon_r'' = \varepsilon_r' \operatorname{tg} \delta = \varepsilon_r \operatorname{tg} \delta$ — сингдирувчанликнинг мавҳум қисми; j — коэффициент ($j^2 = -1$).

Агар диэлектрикнинг ҳажми 1 м³ деб олинса, унинг сигими $C_1 = C_0 \varepsilon_r$ га тенг бўлиб, солиштирма ўтказувчанликнинг реактив ташкил этувчиси қуйидагига тенг бўлади:

$$\gamma_c = \omega C_1 = \frac{\varepsilon_r f}{1,8 \cdot 10^{10}}, \quad (3.17)$$

унинг актив ташкил этувчиси эса:

$$\gamma_a = \frac{\varepsilon_r f \operatorname{tg} \delta}{1,8 \cdot 10^{10}}. \quad (3.18)$$

Диэлектрик исрофи кўп бўлган материалда $\operatorname{tg} \delta$ қиймати у ёки бу занжирнинг эквивалент чизмасига боғлиқ эмас. Агар кенг частота оралиғида берилган диэлектрик учун исроф фақат ички электр ўтказувчанлик орқали аниқланса, бундай диэлектрикли конденсатордаги исроф бурчаги исталган частотада ҳисоблаб топилиши мумкин:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{\omega C r_p},$$

бунда C , r_p мазкур частотада ўлчанган ўзгармас сигим ва қаршилик.

Бундай конденсатордаги қувват исрофи частотага боғлиқ эмас ва унинг қиймати қуйидагига тенг:

$$P_a = \frac{U^2}{r_p}.$$

Аксинча, агарда конденсатордаги қувват исрофи кириш симларининг, шунингдек электроддаги юпқа кумуш қатлами-

нинг қаршиликлари билан ифодаланса, конденсаторда исроф бўладиган қувват частота квадратига пропорционал равишда ўсади:

$$P = U^2 \omega C \operatorname{tg} \delta = U^2 \omega C \omega C r_s = U^2 \omega^2 C r_s. \quad (3.19)$$

Демак, юқори частотада ишлайдиган конденсатор электроллари, бирлаштирувчи симлар ва ўтиш контактларининг қаршиликлари иложи борича кичик бўлиши керак.

Ички электр ўтказувчанликка эга барча диэлектрикларда $\operatorname{tg} \delta$ қиймати қуйидагича аниқланади:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1,8 \cdot 10^{10}}{\epsilon_r f \rho}. \quad (3.20)$$

Бу диэлектрик исроф температурага нисбатан қуйидаги экспоненциал қонун бўйича ортиб боради:

$$P_{\text{и}} = A \exp\left(-\frac{b}{T}\right), \quad (3.21)$$

бунда A , b — диэлектрик (жисм)нинг материалига боғлиқ ўзгармас катталиклар.

Ионланиш газ ҳолатидаги диэлектрикларга хос бўлиб, у бир жинсли бўлмаган электр майдони таъсирида юзага келади. Ионланишда исроф бўладиган қувватни қуйидагича ҳисоблаш мумкин:

$$P_{\text{и.и}} = A_1 f (U - U_n)^3, \quad (3.22)$$

бунда A_1 — ўзгармас коэффициент; f — майдон частотаси, Гц; U_n — ионланиш бошланадиган кучланиш, В; U — диэлектрикка берилган кучланиш, В.

Ана шундай диэлектрик исроф суюқликка шимдирилган қоғоз ва тўқимали диэлектрикларда, газ тўлатилган пластмассаларда, говакли сопол, миканит, микалекс ва бошқаларда кузатилади.

3.2. Газсимон, суюқ ва қаттиқ диэлектриклардаги исрофлар

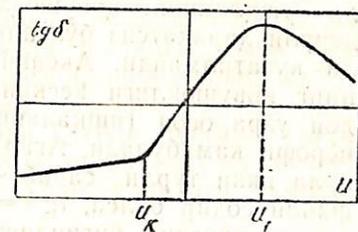
Газларда диэлектрик исроф асосан электр ўтказувчанлик ҳисобига содир бўлади. Газларнинг электр ўтказувчанлиги жуда кичик бўлгани учун уларда $\operatorname{tg} \delta$ қиймати ҳам кичик бўлади. Газларнинг солиштирма ҳажмий қаршилиги тахминан 10^{16} Ом·м, диэлектрик синдирувчанлиги $\epsilon_r \approx 1$, $\operatorname{tg} \delta \approx 4 \cdot 10^{-8}$ га тенг. Электр майдон кучланиши (U) газ молекулаларининг ионлашиш кучланиши (U_n) қийматидан паст бўлганда диэлектрик исроф деярли содир бўлмайди ва бу ҳолда газни идеал диэлектрик деб қаралади. Кучланиш ўзининг критик қиймати (U_k) дан ўтганда газ молекулаларида ионланиш бошланади ва газда диэлектрик исроф ($\operatorname{tg} \delta \approx 10^{-5}$) орта бoди (23-расм). $\operatorname{tg} \delta = f(U)$ характеристикаси газнинг ионланиш эгри чизиғи деб аталади.

Қаттиқ диэлектрик бўшлиқларида газнинг ионланиш жараёни рўй бериб, ҳавонинг ионланиши оқибатида эса, озон ва азот оксид ҳосил бўлиб, диэлектрикнинг емирилишга сабаб бўлади.

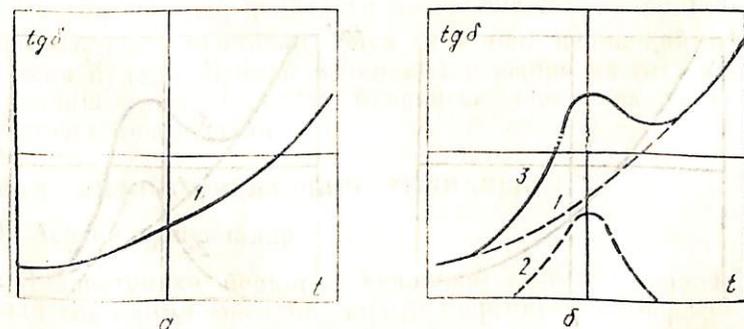
Қутбсиз суюқликлар (конденсатор мойлари) да диэлектрик исроф электр ўтказувчанлик туфайли содир бўлади. Қутбли суюқликларда эса бу исроф электр ўтказувчанликдан ташқари, дипол-релаксация қутбланиши ҳисобига содир бўлади. Бундай суюқликнинг солиштирма электр ўтказувчанлиги $10^{-10} - 10^{-11}$

См/м бўлади. Суюқликлардаги диэлектрик исроф қиймати уларнинг қовушоқлигига ҳам боғлиқдир. Ўзгарувчан кучланиш таъсиридаги қутбли қовушоқ суюқликнинг диполли молекулалари электр майдон ўзгариши туфайли қовушоқ муҳитда бурилади ва бунда электр энергиясининг бир қисми ишқаланишга сарфланиб, иссиқлик ажралиб чиқади. Суюқлик нисбатан қуюқ бўлса, молекулалар электр майдон таъсирида ўз ҳолатини ўзгартиришга улгурмайди. Бу ҳолда диэлектрик исроф жуда кам бўлади. Худди шундай ҳолат суюқлик жуда суюқ бўлганида ҳам кузатилади, бунда молекулалар майдон таъсирида ўз ўрнини деярли ишқаланишсиз ўзгартиради. Суюқлик ўртача қовушоқликка эга бўлганида ундаги диэлектрик исроф анча юқори бўлади ва унинг маълум бир қийматида максимумга эришади.

Ўтказувчанлик ҳисобига содир бўладиган диэлектрик исрофлар ток квадратига тўғри пропорционал бўлгани учун $\operatorname{tg} \delta$ қиймати аввалига секин, сўнгра кескин ортади (24-расм, а). Дипол қутбланиш ҳисобига рўй берадиган диэлектрик исрофларда $\operatorname{tg} \delta$ қиймати температурага нисбатан юқори нуқтадан ўтиб, сўнгра пасаяди (24-расм, б). Температура паст бўлгани-



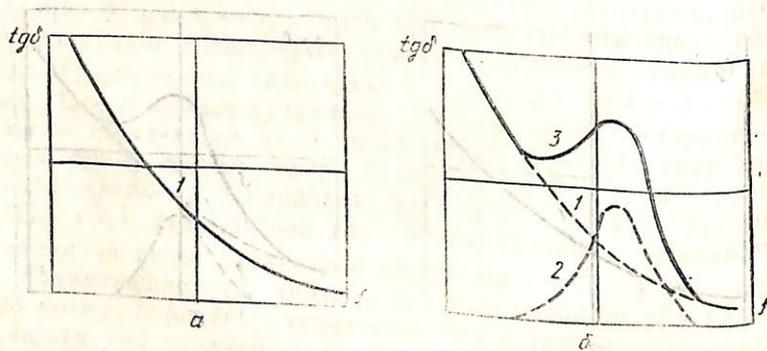
23-расм. Ҳаво бўшлиқлари бор изоляция учун келтирилган қийматнинг кучланишга боғлиқлиги.



24-расм. Суюқликда $\operatorname{tg} \delta$ қийматининг температурага боғлиқлиги.

да суюқликнинг қовушоқлик даражаси юқори, диполлар эса деярли ҳаракатсиз бўлгани сабабли унда электр исрофи деярли кузатилмайди. Акенича, юқори температурада суюқликнинг қовушоқлиги кескин камайиши сабабли диполлар майдон узра осон (ишқаланишсиз) бурилади, натижада энергия исрофи кам бўлади. Агар суюқ диэлектрикдаги исрофлар бир йўла икки турли сабаб — ўтказувчанлик ва қутбланиш туфайли содир бўлса, $\text{tg } \delta = t, l$ характеристика илгариги икки характеристика йиғиндисидан иборат бўлади (24-расм, б). Барча ҳолларда ҳам температура ортини оқибатида жисм ўтказувчанлиги ортади ва натижада $\text{tg } \delta$ қиймати кўпаяди.

Диэлектрикка таъсир этувчи намлик $\text{tg } \delta$ қийматининг ўсишига олиб келади. Агар суюқ диэлектрикдаги исрофлар фақат электр ўтказувчанлик туфайли содир бўлса, частота ортини билан (25-расм, а) $\text{tg } \delta$ қиймати камаяди. Бунда диэлектрикда ички ўтказувчанликдан келиб чиққан токнинг актив қиймати частотага нисбатан деярли ўзгармайди. Реактив ёки сифимий ток частотага пропорционал равишда ўсади. Шу сабабли актив токнинг реактив токка нисбати ($\frac{I_a}{I_c} = \text{tg } \delta$) частота ортини билан камаяди. Диэлектрик исрофлар дипол қутбланиш сабабли рўй берганда частота ортини билан $\text{tg } \delta$ ўзининг юқори қийматига эришади (25-расм, б). Паст частоталарда дипол бурилиш тезлиги кичик бўлади, бунда ишқаланиш суст ўтади ва диэлектрикдаги исроф камаяди. Юқори частотада эса дипол электр майдонида бурилишга улгура олмайдди. Оралик частоталарда эса $\text{tg } \delta$ қиймати ўзининг юқори қийматига эришади. Жисмдаги диэлектрик исроф ўтказувчанлик ва қутбланиш туфайли содир бўлса, умумий характеристика қуйидагича (25-расм, б) бўлади. Бу характеристикага асосан $\text{tg } \delta$ қиймати частота ортини билан пасая боради. Паст частоталарда дипол-релаксация исрофи электр ўтказувчанликдаги исрофга нисбатан кам бўлади. Масалан, қутбсиз трансформатор мойида $\text{tg } \delta = 0,001$; қутбли кичакунжут мойида эса $\text{tg } \delta = 0,02$ бўлади.



25-расм. Суюқликда $\text{tg } \delta$ қийматининг частотага боғлиқлиги.

Қаттиқ диэлектрикларнинг диэлектрик исрофи материал тузилишига боғлиқдир. Шу сабабли, улар юқорида келтирилган 4 туркумга бўлиб ўрғанилади. Молекулали тузилишга эга диэлектриклардаги исрофлар молекула шаклига узвий боғлиқдир. Қутбсиз диэлектриклар (церезин, полиэтилен, полистирол, политетрафторэтилен ва ҳоказо) даги диэлектрик исрофлар жуда камдир. Тузилиш жиҳатдан қутбли бўлган диэлектриклар (целлюлоза, полиамид, полиуретан, бакелит ва ҳоказо) дипол-релаксация қутбланишга эга бўлиб, улардаги диэлектрик исрофлар қиймати каттадир.

Ион структурали қаттиқ жисмдаги диэлектрик исрофлар ионларнинг панжарада жойлашиш ҳолати билан боғлиқ; ионлари зич жойлашган диэлектрикларда диэлектрик исроф кам бўлади. Ионлари зич жойлашмаган кристалл структурали жисмларда релаксация қутбланиши кузатилиб, диэлектрик исроф қиймати катта бўлади. Буларга муллит, кордиерит, циркон ва бошқа материалларни мисол тариқасида келтириш мумкин. Температура ортини билан электротехник чинида ионлар кўпаяди ва $\text{tg } \delta$ қиймати экспоненциал қонун бўйича ўсиб боради. Ион структурали аморф жисм (органик шиша) ларда диэлектрик исрофлар электр ўтказувчанлик ва қутбланиш ҳисобига рўй беради. Таркиби бир жинсли бўлмаган шишанинг соддаштира қаршилиги ўсиши натижасида $\text{tg } \delta$ қиймати пасаяди. Уларда температура ошириб борилса, $\text{tg } \delta$ қиймати ҳам кескин ортади. Шиша таркибида ишқор оксидлари (Na_2O ; K_2O) бўлса, ундаги диэлектрик исрофлар бирмунча кўпаяди.

Сегнетоэлектриклардаги диэлектрик исрофлар оддий диэлектрикларга нисбатан юқори бўлади. Бунга асосий сабаб унинг ўз-ўзидан қутбланишидир. Сегнетоэлектриклардаги диэлектрик исрофлар температурага нисбатан кам ўзгаради, қутбланиш Кюри нуқтасидангина, қутбланиш сусайиши натижасида, кескин пасайиб кетади.

Тузилиши бир жинсли бўлмаган қаттиқ жисмларга таркибидаги компонентлар сони камда иккита бўлган сопол кирди. Сополдаги диэлектрик исрофлар унинг таркибидаги кристалли ва шишасимон фаза миқдорининг ўзаро нисбатига боғлиқ бўлади, турли бегона қўшимчалар сополдаги диэлектрик исрофларни оширади.

Қаттиқ ва суюқ ҳолатдаги баъзи диэлектриклар (слюда ва айрим турдаги чинчилар) учун $\text{tg } \delta$ нинг кичик қиймати 10^{-4} га яқин бўлади. Бундай материаллар юқори частота ва юқори кучланиш таъсири остида бўладиган электр ва радио ускуналарида ишлатилади.

4.6 о б. ДИЭЛЕКТРИКЛАРНИНГ ТЕШИЛИШИ

4.1. Асосий тушунчалар

Диэлектрикка берилган кучланиш қиймати ошира борилганда ток оқими юксалиб, электр энергиясининг исрофи кўпаяди. Электр изоляцияси чекланмаган қийматдаги ўта юқори

электр кучланишига бардош бера олмайди. Кучланиш қиймати кўтарила бориши натижасида диэлектрикда тешилиш содир бўлади. Бунда диэлектрикда ток оқими кескин ортади. Тешилиш пайтида диэлектрикда содир бўладиган ўта ўтказувчан канал электродларнинг қисқа туташувига олиб келади. Тешилиш содир бўлган жойда чақнаш ёки электр ёни юзага келиб, диэлектрикнинг тешилган қисмида эриш, куйиш, ёрилиш ва ҳоказоларни кузатиш мумкин. Бошқача қилиб айтганда, электр майдонида жойлашган диэлектрик ўз изоляцион хусусиятини электр майдони кучланганлигининг маълум қийматида йўқотади. Диэлектрик ҳажмининг аниқ бир қисмида кескин ўзгариш рўй бериши оқибатида электродлар орасида диэлектрик орқали катта ток ўтиб, қисқа туташув ҳодисаси рўй беради. Диэлектрикнинг тешилиш лаҳзасидаги кучланиш тешилиш кучланиши (U_T) дейилади. Электр майдонининг шу лаҳзага мос келувчи қиймати эса диэлектрикнинг электр мустаҳкамлиги дейилади. Диэлектрикнинг электр мустаҳкамлиги тешилиш кучланишининг диэлектрикнинг тешилиш жойидаги қалинлиги (h) га нисбати билан аниқланади.

$$E_T = \frac{U}{h}. \quad (4.1)$$

Диэлектрикнинг электр мустаҳкамлиги СИ га асосан МВ/м ларда ўлчанади.

$$1 \text{ МВ/м} = 1 \text{ кВ/мм} = 10^6 \text{ В/м}$$

Агар диэлектрикда ρ , ϵ_r , $\text{tg } \delta$ қийматлари қаноатли даражада бўлмаса, материални ишлатса бўлади, лекин E қиймати қаноатли даражада бўлмаса, бундай диэлектрикларни умуман ишлатиб бўлмайди. Тешилиш натижасида диэлектрикдан катта ток ўтиб, электротехника ускунаси ишдан чиқади. Қувватли генератор, трансформатор ва кабелларда изоляция тешилиши энергетик система учун жиддий фалокат ҳисобланади. Шунинг учун ҳам, тешилиш нима сабабдан келиб чиқиши, изоляция кучланишининг қандай қийматини ушлай олишини билиш жуда зарурдир.

4.2. Газларнинг тешилиши

Электротехника конструкцияларининг каттагина қисми — трансформатор, конденсатор, выключатель (узиб-улагич), электр ҳаво линиялари ва ҳоказоларда ташқи изоляция вазифасини камлиги суюқ ва қаттиқ диэлектрикларнинг электр мустаҳкамлигидан анча кичикдир.

Газ таркибидаги ион ва электронлар иссиқлик таъсирида синиқ чизиқли бетартиб ҳаракатда бўлади. Агар газга электр майдони таъсир этирилса, электрон ёки ионлар аниқ йўналиш олиб, қўшимча тезлик билан ҳаракатланади. Бунда газнинг

зарядланган заррачалари қўшимча энергия олади:

$$W = qU_\lambda, \quad (4.2)$$

бу ерда: q — заряд; U_λ — эркин ҳаракат узунлиги (λ) даги кучланиш фарқи.

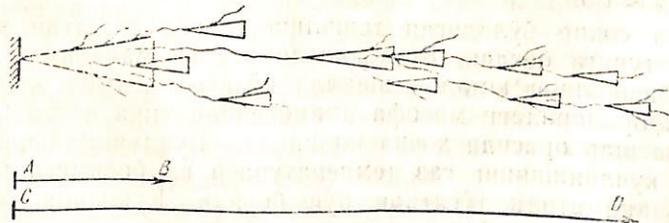
Электрон ядродан ўзоқроқ қобикқа ўтиб, молекула ионланади, натижада у манфий электрон ва мусбат ионларга ажралади. Ион ва электронлар ўз йўлида учраган газ молекула-ларини ионлантиради. Ионланиш содир бўлиши учун зарур шароит $W > W_n$ бўлиб, текис майдонда $W = Eq\lambda$ бўлади. Бунда λ — эркин ўтиш узунлиги. Ионланиш энергияси W_n ва ионланиш кучланиши $U_n = \frac{W_n}{q}$ муносабат орқали боғланган.

Кўпчилик газлар учун U_n қиймати 4—25 В ораллиғида ўзгариб, ионланиш энергияси 4—25 эВ га тўғри келади.

Ҳар бир газ учун q ва λ қийматлари ўзгармасдир. Маълум масофани тўқнашувсиз ўтган электроннинг тезлиги $v = 600U_n$ бўлади; электрон газ молекулаларининг катта тезликда ионланишини таъминлайди. Газ молекулаларининг ионланиши учун электроннинг ҳаракат тезлиги 1000 км/с дан юқори бўлиши лозим.

Электроннинг силжиши ион силжувчанлигига нисбатан анча юқори бўлади. Ионланиш пайтида ажралиб чиққан электрон молекулаларнинг ионланишини таъминламай, уларни зарядларга тортилади. Электродлар орасидаги газда разряд бўлганида мусбат ионлар катод юзасини бомбардимон қилиб, электроддан электронларни озод этади.

Айрим ҳолларда электр майдонида тезланиш олган электрон молекулаларнинг ионланишини таъминламай, уларни уйғонган ҳолатга олиб келади, холос. Бундай молекулалар ортиқча энергияни нурлатиш ҳисобига ўзидан фотон ажратади. Фотон ўз навбатида бошқа молекулага ютилиб, уни ионлантиради. Газларда содир бўладиган ички фотон ионланиши нурланиш орқали катта тезликда ўз йўли — электрод ораллиғида юқори электр ўтказувчан газ канали ҳосил қилади (26-расм). Чизмада электрон кўчки штрихланган конус шаклида, фотоннинг ҳаракат йўналиши эса тўлқин чизиқлар шаклида келтирилган. Электрон молекулаларга урилиши натижасида газда ионланиш содир бўлади. Натижада анод томон силжи-



26-расм. Газ тешилишида стример тарқалиши.

ётган электронлар сони кескин ортиб, улар ўз йўлида катод томон йўналган мусбат ионлар сонини ошириб боради. Электрон урилиши натижасида атомлардан тўлқинли нурлар — фотонлар ажратади. Фотон тезлиги ёруғлик тезлигига тенг бўлгани сабабли, кўчкidan анча илгарилаб кетиб, йўлида дуч келган газ заррачаларининг ионланишини таъминлайди. Анод томон силжиётган электрон биринчи содир бўлган кўчкини анча илгарилаб, янги кўчки ҳосил қилади.

Шундай қилиб, биринчи кўчки АВ узунликка ўсиб етгунча, стример СД ораликда юқори ўтказувчанликка эга йўл ҳосил қилади. Кейинги босқичда манфий стримердаги алоҳида кўчклар бир-бирини қувиб, бирлашиб умумий ионланган канал ҳосил қилади.

Катоддан анодга томон ҳаракатланаётган стримернинг ўсиши билан бир вақтда, қарама-қарши томондан мусбат зарядланган кўчки оқими ҳосил бўла бошлайди. Мусбат зарядли стример газ разряд плазмали йўлдан ташкил топади. Электрон кўчклар ўз йўлида кўп миқдорда янгидан пайдо бўлган мусбат ионлар қолдиради ва бу ионларнинг катта қуюни анод яқинида содир бўлади.

Мусбат заряд билан тўлган ва электрон билан тўйинган электродлар орасидаги масофада катта ўтказувчанликка эга газ плазмаси ҳосил бўлади. Катодга мусбат ионлар урилиши натижасида металл юзасида доғ ҳосил бўлиб, у ўзидан электронлар ажратади. Келтирилган жараёнлар асосида газда тешилиш содир бўлади. У одатда катта тезликда, яъни 1 см оралик 10^{-7} — 10^{-8} секундда босиб ўтилади. Электродлар орасига берилган кучланиш қанча юқори бўлса, газда электр тешилиши шунча катта тезликда содир бўлади. Агар таъсир этувчи кучланиш вақти кам бўлса, тешиш кучланишининг қиймати ўсади ва бу ўсиш импульс коэффициентини билан ифода-

$$\beta = \frac{U_T}{U_{T50}}, \quad (4.3)$$

бунда U_T — берилган импульсдаги тешиш кучланиши, кВ; U_{T50} — 50 Гц частотали ўзгарувчан ёки ўзгармас кучланишдаги тешиш кучланиши, кВ.

Бир жинсли бўлмаган электр майдонидаги импульс коэффициенти $\beta \approx 1,5$.

Газда содир бўладиган тешилиш таъсир этаётган электр майдон турига боғлиқ. Бир жинсли электр майдони — яси юзали, чеккалари юмалоқ шаклли кўзиқоринсимон электродган икки шар орасида ҳосил қилинади. Бундай майдонда темаълум қийматида тўсатдан рўй беради. Кучланиш манбаи катта қувватга эга бўлса, электродлар орасида учқун разряди эмас, балки ёй разряди содир бўлади.

Газнинг электр мустаҳкамлиги температурага тесқари, босимга эса тўғри пропорционалдир. Газнинг температура ва босими кам ўзгарганда тешиш кучланиши газнинг зичлигига боғлиқ бўлади:

$$U_T = U_{T0} \cdot \delta, \quad (4.4)$$

бунда U_{T0} — нормал шароит ($t=20^\circ\text{C}$; $p \approx 0,1$ МПа) даги тешиш кучланиши; U_T — берилган температура ва босимдаги тешиш кучланиши.

Ҳавонинг нисбий зичлиги δ қуйидагича ҳисобланади:

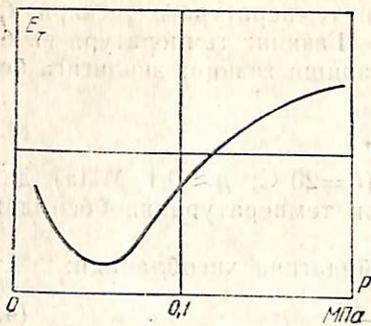
$$\delta = 0,386 \frac{p}{t + 273}, \quad (4.5)$$

бунда t — температура, $^\circ\text{C}$; p — газ босими, мм сим. уст.

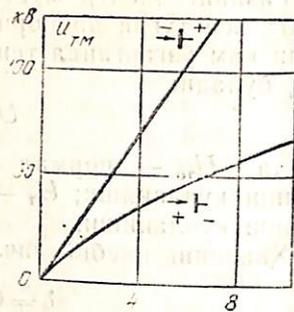
Босим юқори бўлганда газ зичлиги ортиб, молекулалар орасидаги масофа қисқаради ва электронларнинг эркин ҳаракатланиш масофаси (λ) қисқаради. Натижада тешилиш кучланишининг катта қийматларида содир бўлади. Газ босими камайтирилса, унинг электр мустаҳкамлиги пасаяди ва босимнинг маълум қийматидан ($p \approx 0,1$ МПа) бошлаб электр мустаҳкамлик орта боради (27-расм). Бу газ ҳажмидаги молекулалар сонининг кескин камайиши ва электронлар газ молекулалари билан тўқнашувининг пасайиб кетиши орқали исботланади. Кучли вакуумда электр тешилиш электронларнинг электрод юзасидан ажраб чиқиш ҳодисаси (совуқ эмиссия) билан тушунтирилади. Бунда электр мустаҳкамлик анча юқори қийматга эришади. Бу эса юқори частотали кучланиш учун мўлжалланган вакуум конденсаторларини ясашда қўл келади. Юқори босимли газлар юқори кучланишли аппаратлар учун изоляция сифатида, шунингдек кабеллар ва юқори кучланишли конденсаторлар тайёрлашда ишлатилади.

Бир жинсли бўлмаган электр майдонида газнинг тешилиш жараёни ўзгача бўлиб, кучланганлик юқори қийматга эга нуқтада тож кўринишидаги разряд вужудга келади. Майдон кучланиши юксалтирилса, тож разряд учқун ёки ёй разрядга ўтади. Агар игна — текислик электродлари ораллигидаги газнинг электр мустаҳкамлигини текширсак, игнага мусбат кучланиш (импульс) берилганда оралликда содир бўлган тешилиш кучланишининг қиймати (28-расм) игнага манфий кучланиш берилган ҳолдигидан анча паст бўлади (игна деганда учу конус шаклли электрод назарда тутилмоқда). Бу қуйидагича тушунтирилади. Газнинг ионланиши игна яқинида вужудга келади, чунки бу ерда майдон кучланганлиги ўзининг юқори қийматида эга бўлади. Игна атрофида мусбат зарядланган ион (молекула)лар «булути» ҳосил бўлади. Игнада мусбат кучланиш бўлганида эса бундай ҳажмий заряд игна узунлигининг сунъий ўсишига ва электродлар орасидаги разрядланиш масофасининг қисқаришига олиб келади.

Қаттиқ диэлектрик юзаси яқинида ҳавода ҳосил бўладиган разряд юза қопланиш разряди деб аталади. Мазкур разряд,



27-расм. Газ электр мустаҳкам-
лигининг босимга боғлиқлиги
($n = \text{const}$).



28-расм. Нотекис майдон-
да электродлар орасидаги
ҳаво тешилиш кучланиши-
нинг электродлараро масо-
фага қараб ўзгариши
($p = 0,1$ МПа).

одатда, электродлар орасида фақат ҳаво бўлган ҳолдагига қараганда анча паст кучланишларда рўй беради. Разряд кучланишининг қиймати электр майдон тузилиши (электрод ва диэлектрикнинг шакли)га, майдон частотаси, диэлектрик юзасининг ҳолати ва ҳаво босимига боғлиқдир. Ҳаво нисбий намлигининг ортиши изоляторнинг разряд кучланишини анча пайсантиради.

4.3. Суяқ диэлектрикларнинг тешилиши

Суяқ диэлектрикларнинг электр мустаҳкамлиги нормал шароитда газларникига нисбатан анча юқори бўлади. Суяқликда λ қиймати газлардагига нисбатан анча кичикдир. Шу сабабли, тоза суяқликда E_T катта қийматга (50—70 МВ/м) эришади.

Одатда, суяқлик таркибида доимий қўшимчалар сифатида газ, сув ва қаттиқ жисм зарралари иштирок этади. Бундай қўшимчалар суяқликнинг электр мустаҳкамлигига (тешилиш қонуниятларига ҳам) салбий таъсир этиб, E_T қийматини кесрлар майдонда чизиклари бўйлаб электродлар орасида занжир кўринишидаги «бўш жойлар»ни шакллантиради.

Агар суяқлик таркибида газ пуфакчалари бўлса, тешилиш ана шу пуфакчалардан бошланиб, суяқликда тугайди. Суяқ диэлектрик — нефть маҳсулоти бўлган трансформатор мойининг таркибидаги оз миқдордаги сув унинг электр мустаҳкамлигини кескин пасайтиради (29-расм). Мойдаги сув шар шаклига эга бўлади, кучли майдон таъсирида диполли ушбу сув томчилари қутбланиш натижасида эллипс шаклига ўтади. Бунда электродлар орасида вужудга келган ўта ўтказувчан канал орқали тешилиш рўй беради.

Тоза мойларда E_T қиймати 80°C гача температура қийматларига боғлиқ бўлмайди. $t > 80^\circ\text{C}$ бўлганда мойнинг енгил фракцияси қайнаб, унда кўплаб пуфакчалар ҳосил бўлиши натижасида суяқликнинг электр мустаҳкамлиги кескин пасаяди.

Агар таркибида бир оз сув бўлган мойнинг температураси оширилса, ундаги сув эмульсия ҳолатидан молекуляр эритма ҳолатига ўтиши натижасида E_T қиймати кўтарилади.

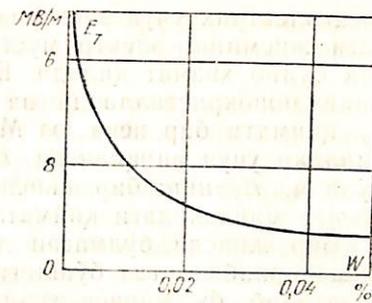
Паст температураларда суяқликнинг электр мустаҳкамлиги ортиши унинг қуюқлашиши ва таркибидаги сувнинг музга айланиши натижасида ϵ_r қийматининг камайиши ($\epsilon_r = 2,85$) билан боғлиқдир. Мой таркибидаги механик қўшимчалар, жумладан тола, кукун зарраси ва ҳоказолар ҳам суяқ диэлектрикнинг электрик мустаҳкамлиги пасайишига олиб келади. Шунинг учун электротехникада ишлатиладиган суяқ диэлектриклар механик тозалогич, босқичли фильтр, марказдан қочма мослама, вакуум қуритгич ва газсизлангирадиган ускуналарда бегона қўшимчалардан тозаланади. Суяқ диэлектрик қўшимчалардан тозаланганда унинг E_T қиймати сезиларли даражада ортади. Масалан, тозаланмаган трансформатор мойида $E_T = 4$ МВ/м бўлса, тозаланганида $E_T = 25—45$ МВ/м. Электр аппарат (трансформатор, кабель, конденсатор ўчиргич) ларига мой тозалангандан кейингина қўйилади.

4.4. Қаттиқ диэлектрикларнинг тешилиши

Қаттиқ диэлектрикларнинг тешилиши қуйидаги турларга бўлинади: макроскопик жиҳатдан бир жинсли диэлектрикларнинг электрик тешилиши; бир жинсли бўлмаган диэлектрикларнинг электрик тешилиши; иссиқлик (электр-иссиқлик) дан тешилиш; электр-кимёвий тешилиш.

Макроскопик жиҳатдан бир жинсли диэлектрикларнинг электрик тешилиши жуда тез ривожланиб ўтиши ($10^{-7}—10^{-8}$ с) билан характерланади. Бунда қаттиқ жисмдаги баъзи электронлар электрон қўчки ҳосил қилади. Бу тешилиш ўз табиати жиҳатидан соф электрон жараёнга киради. Электронлар электр майдонда олган энергиясини ўз ҳаракатлари давомида тарқатади ва кристалл панжаранинг қайишқоқ тебранишини вужудга келтиради. Муайян критик тезликка эришган электронлар янгидан-янги электронларни узиб чиқариб, мувозанат ҳолатни бузади, яъни қаттиқ жисмда электронларнинг урилиши туйғулган ионланиш содир бўлади.

Бир жинсли электр майдонида жойлаштирилган бир жинс-



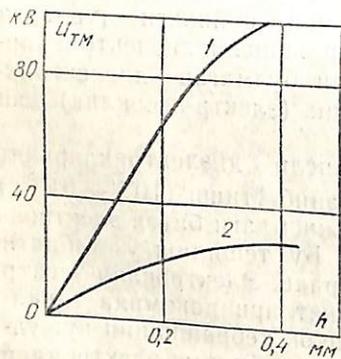
29-расм. Мой электр мустаҳкам-
лигининг таркибидаги сув миқдо-
рига қараб ўзгариши ($f = 50$ Гц).

ди диэлектрик учун электрик тешилишдаги майдон кучланган-
лини жисмининг электр мустақкамлигини аниқлайдиган катта-
лик бўлиб хизмат қилади. Бундай ҳолат ишқор-галонд бирик-
мали монокристалларда ва баъзи полимерларда кузатилиб,
 E_T қиймати бир неча юз МВ/м га етади. Бир жинсли мате-
риаллар учун аниқланган E_T қиймати майдон турига боғлиқ
бўлади. E_T нинг бир жинсли (I) ва бир жинсли бўлмаган (2)
электр майдонидаги қийматлари турлича бўлади (30-расм).

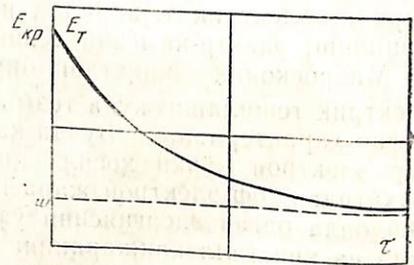
Бир жинсли бўлмаган диэлектриклардаги электрик теши-
лиш таркибида газ бўшлиғи бўлган техник диэлектрикларда
кузатилиб, бу жараён худди бир жинсли диэлектриклардаги-
дек жуда тез содир бўлади. Бир жинсли майдонда жойлашти-
рилган диэлектриклар (шиша, чинни) нинг электр мустақ-
камлиги материал қалинлигига боғлиқ эмас. Лекин, диэлек-
трикнинг қалинлиги орта бориши билан унинг таркибида ўзга-
риш бўлиб, газ бўшлиқлари сони ортиши натижасида жисм-
нинг электр мустақкамлиги сезиларли даражада пасаяди (30-
расм). Агар электроднинг юзаси кичрайтирилса, майдоннинг
таъсир юзаси камайиши оқибатида ундаги нуқсонлар сони
озайиб, диэлектрикнинг электр мустақкамлиги орта боради.
Температуранинг маълум қийматигача E_T қиймати ўзгармай-
ди, унинг янада ортиши натижасида E_T қийматининг пасайи-
ши кузатилади. Бу, диэлектрикда иссиқликдан тешилиш жа-
раёни содир бўлиши билан тушунтирилади.

Ғовак диэлектриклар (ёғоч, қоғоз, ғовак сопол)да E_T қий-
мати ҳавонинг электр мустақкамлигига яқин бўлади. Агар
қаттиқ диэлектрикдаги бўшлиқлар тўлатилса (масалан, суюқ
диэлектрикни шимдириш орқали), жисмнинг электр мустақ-
камлиги кескин ортади. Бу жараён жисм таркибидаги ҳаво ва
газ бўшлиқларининг сиқиб чиқарилиши эвазига содир бўлади.

Иссиқликдан тешилиш. Диэлектрикда диэлектрик исрофлар
ҳисобига ажраладиган иссиқлик миқдори берилган шароит



30-расм. Тезис майдонда жойлашган техник шиша тешилиш кучланишининг қалинликка қараб ўзгариши ($f=50$ Гц).



31-расм. Электр майдонда жойлаштирилган баъзи органик изоляция материаллари электр мустақкамлигининг хизмат муддатига қараб ўзгариши.

учун тарқаладиган иссиқлик миқдоридан юқори бўлганида, иссиқликдан тешилиш рўй беради. Бунда иссиқлик мувозанати бузилади.

Иссиқликдан тешилиш электр майдонда жойлашган материалнинг қизиш температураси унинг эриш ёки куйиш нуқтасига етганида рўй беради. Бу турдаги электр мустақкамлик материалнинггина эмас, балки тайёр маҳсулотнинг ҳам хarakterистикасини ифодалайди.

Диэлектрикнинг қизиши билан боғлиқ тешилиш кучланиши кучланиш частотасига, муҳит ҳароратига ва материалнинг иссиқликка бўлган чидамлилигига боғлиқдир. Иссиқлик тешилишидаги тешилиш кучланишини ҳисоблашнинг соддалаштирилган усулини кўриб чиқамиз. Бир жинсли, диэлектрик исрофга эга диэлектрик икки электрод орасига жойлаштирилган бўлсин. Электродларга ўзгарувчан ток манбадан кучланиш берилади ва унинг қийматини тешилиш содир бўлишига қадар ошириш имкони бор, деб фараз қиламиз. Иссиқликдан тешилиш жараёни юқори температурада, яъни ички ўтказувчанликдаги исроф катта бўлганида кузатилади. Диэлектрикда исроф бўладиган қувватнинг температурага боғлиқлиги қуйидаги ифода орқали аниқланади:

$$P_a = \frac{U^2 f \epsilon_r t g \delta e^2 (t - t_0)}{1,8 \cdot 10^{10} h} \quad (4.6)$$

Бунда: U — берилган кучланиш, В; f — частота, Гц; ϵ_r — нисбий диэлектрик синдирувчанлик; α — диэлектрик исроф бурчаги тангенсининг температура коэффициентини; t — диэлектрикнинг исроф ҳисобига қизиш температураси, °С; t_0 — электрод температураси, °С; S — электрод юзаси, м²; h — диэлектрикнинг қалинлиги, м.

Диэлектрикда ажраладиган иссиқлик ташқи муҳитга электроднинг металл қисми орқали тарқалади, чунки металлнинг иссиқлик ўтказувчанлиги диэлектрикнингкига нисбатан икки-уч баробар юқоридир. Диэлектрикдан ажралиб чиқадиган қувват Ньютон формуласи орқали қуйидагича ифодаланади:

$$P_T = 2\sigma S (t - t_0)$$

бунда σ — электродлар диэлектрик-металл системасининг иссиқлик узатиш коэффициентини.

Диэлектрик электр майдонга жойлаштирилиб унга U_1 кучланиш таъсир эттирилса, материал ҳарорати t гача кўтарилиб, барқарор тенглик, яъни материалнинг иссиқлик ажратиш қуввати шу иссиқликнинг тарқалиш қувватига тенг ҳолат юзга келади. Агарда кучланиш U_2 қийматигача оширилса, диэлектрикдан иссиқлик ажралиб чиқиши ва унинг аτροφ-муҳитга тарқалиш тенглиги бузилиб, диэлектрикнинг температураси ўса боради. Натижада жисмда емирлиш (куйиш) содир бўлади.

Шундай қилиб, барқарорлик ҳолати чегарасидаги кучланиш иссиқлик тешилиш кучланиши U_T деб қабул қилиниб,

қуйидаги икки шарт билан аниқланади:

$$\begin{cases} \rho_a = \rho_r \\ \frac{d\rho_a}{dt} = \frac{d\rho_r}{dt} \end{cases} \quad (4.8)$$

Биринчи тенглик кучланиш таъсиридаги барча диэлектриклар барқарор ишлашининг ҳамма ҳолати учун мос келса, иккинчиси фақат бир чегаравий ҳолат учун бажарилади.

Юқорида келтирилган тенгликлар асосида қуйидагини келтириб чиқарамиз:

$$U_T = k \sqrt{\frac{ch}{\epsilon_r \rho g \delta a}}, \quad (4.9)$$

бунда $\frac{1}{a} = t - t^0$, $k = 1,15 \cdot 10^5$ — коэффициент.

Ушбу формулага асосан, диэлектрик қанча қалин бўлса ва унинг иссиқлик тарқатиши қанча яхши бўлса (σ катта бўлса), U_T кучланиши шунча юқори қийматга эга бўлади. ϵ , ρ , g қийматлари катта бўлганда эса U_T қиймати кичик бўлади. Умуман олганда, иссиқликдан тешилиш анча мураккаб жараён ҳисобланади. Электрод яқинида қаршилиқ пасайиб, кучланиш диэлектрик қалинлиги бўйича потекис тақсимланади ва иссиқлик унинг ўрта қисмида юқорироқ бўлади. Натижада, тешилиш кучланишининг ҳисобдагига нисбатан кичикроқ қийматларда рўй беради. Электр-иссиқлик тешилишининг диэлектрикка кучланиш берилган вақтга боғлиқлиги 31-расмда кўрсатилган.

Қаттиқ диэлектрикларнинг электр мустаҳкамлигини ҳисоблаб топish мураккаб бўлгани сабабли уни тажриба йўли орқали аниқлаш маъқулдир.

Электр-кимёвий тешилиш. Тешилишнинг бу тури диэлектрикда температура ва намлик нисбатан юқори бўлган ҳолда кузатилади. Бундан ташқари, электр-кимёвий тешилиш материал бўшлиқларида иссиқлик ҳодисаси билан боғлиқ газ ионлашиши содир бўлганида ҳам рўй беради. Электр-кимёвий тешилиш рўй бериши учун узоқ вақт талаб қилинади, чунки у электр ўтказувчанлик ҳодисаси билан боғлиқ. Бу турдаги электр тешилиши кўпгина органик материалларда, чунончи, чиннининг баъзи турларида кузатилади, шунингдек, диэлектрикда ишлатиладиган электрод материалига ҳам боғлиқ бўлади.

5-б-б. ДИЭЛЕКТРИКЛАРНИНГ ФИЗИК-КИМЁВИЙ ВА МЕХАНИК ХУСУСИЯТЛАРИ

5.1. Диэлектрикнинг намланиши

Электр изоляция материаллари оз ёки кўп даражада гигроскопик хусусиятга, яъни атроф-муҳитдан ўзига намлик тортиб олиш хусусиятига ёки нам сингдириш, яъни ўзидан сув

буғларини ўтказиш хусусиятига эга. Атмосфера ҳавосида маълум миқдордаги сув буғлари доимо бўлади. Ҳавонинг *абсолют намлиги* унинг ҳажм бирлигидаги сув буғи массаси билан ифодаланади. Температуранинг ҳар бир қийматига тўйинишдаги абсолют намликнинг аниқ қиймати m , тўғри келади. Абсолют намликнинг ҳавони тўйинтириш учун зарур қиймати температура ўсиши билан кескин ортади, яъни сув буғининг босими ҳам ортади.

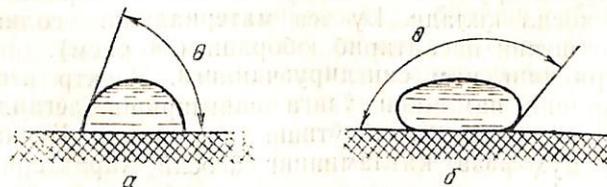
Ҳавонинг *нисбий намлиги* қуйидагича аниқланади:

$$\varphi = \frac{m}{m_r} \cdot 100\% = \frac{p}{p_r} \cdot 100\%. \quad (5.1)$$

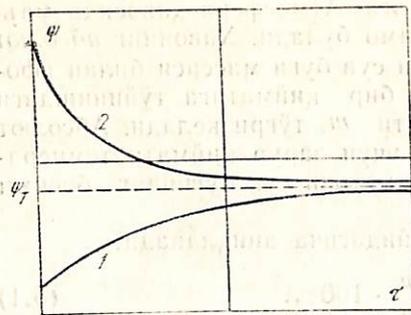
Нормал атмосфера босимида ($p = 0,1$ МПа) ва температурасида ($t = 20^\circ\text{C}$) $m_r = 17,3$ г/м³. $\varphi = 65\%$ бўлганда ҳавонинг намлиги нормал, деб қабул қилинади, бундай шароитда сув буғининг миқдори $m = 17,3 \cdot 0,65 = 11,25$ г/м³ бўлади. Сув ўта қутбли диэлектрик бўлиб, унинг солиштирма қаршилиги $10^3 \div 10^4$ Ом·м ни ташкил этади. Шу сабабли, сув қаттиқ диэлектрикнинг бўшлиқларига кириб бориши натижасида унинг электрик хусусиятларини кескин ўзгартириб юборади. Бундай ҳолат, айниқса, иссиқ иқлим шароитида ($\varphi = 98-100\%$ ва $t = +30 + 40^\circ\text{C}$) вужудга келади. Нисбий намликнинг юқори бўлиши электр аппарати ва машиналарнинг ишига салбий таъсир кўрсатади.

Диэлектрикнинг сув (ёки бошқа бирор суюқлик) билан ҳўлланиш хусусияти *ҳўлланиш бурчаги* θ билан ифодаланади. Бу бурчак сув томчиси чеккасига ўтказилган уринма ва текширилатган текис юза орасида жойлашган (32-расм). Диэлектрикнинг ҳўлланиш бурчаги $\theta < 90^\circ$, $\theta > 90^\circ$ оралиқда бўлади. θ қиймати қанча кичик бўлса, жисмнинг ҳўлланиши шунча юқори бўлади. Ҳўлланадиган юзалар учун $\theta < 90^\circ$ ҳўлланмайдиган юзалар учун $\theta > 90^\circ$.

Материалнинг намлиги. Муайян намлик ва температурага эга бўлган муҳитга электр изоляция материал намунаси киритилса, маълум вақтдан сўнг жисмнинг намлиги мувозанат ҳолатга эга бўлади. Агар нисбатан қуруқ диэлектрик нам ҳавога киритилса, намлик жисм ҳажми бўйича унинг ичига сўнгиб боради. Материалдаги намлик маълум вақт давомида ўзининг тўйинган қийматига (I) эришади ёки, аксинча, нисбатан қуруқ сақланган ҳавода нам материал вақт ўтиши билан ўзи



32-расм. Намланадиган (а) ва намланмайдиган (б) диэлектрик сиртдаги сув томчиси.



33-расм. Материал намунаси намлавиши (1) ва қуриши (2) жараёнида ундаги намликнинг вақт бўйича ўзгариши.

даги намликни (2) йўқота боради (33-расм).

Электр изоляцион материалдаги намлик унинг электр хоссаларини ўрганишда қўл келади, чунки ҳар хил материалларнинг ҳавонинг нисбий намлиги ўзгармас бўлгандаги намлик мувозанати турлича бўлиши мумкин. Гигроскопик материалнинг намлигини тўғри аниқлаш уни масса орқали қабул қилиш ёки топириш ишларида катта аҳамиятга эга. Тўқимачилик материаллари учун *кондицион намлик* тушунчаси киритилади. Кондицион намлик деганда, материал намлигининг нормал шароит ҳавосидаги мувозанат ҳолатдаги қиймати тушунилади. Масалан, кабель қоғози учун кондицион намлик 8% деб олинади. Зич тузилишга эга материаллар ғовак ёки толали материалларга нисбатан намликни ўзига кам сингдиради.

Турли диэлектрик материалларда учрайдиган бўшлиқларнинг тахминий ўлчамларини (мм — нанометрларда) келтириб ўтамиз:

Сополдаги микробўшлиқлар	10 ² —10 ³
Целлюлоза толаси ичидаги микробўшлиқлар	10 ²
Тола атрофидаги бўшлиқлар	1—10
Турли материал молекулалари орасидаги бўшлиқлар	1—5
Молекулалар ичидаги бўшлиқлар	1

Сув молекуласининг диаметри 0,27 нм бўлгани сабабли у кўп материалларнинг ҳатто молекулалари ичидаги бўшлиқларигагина сингиб бориши юқоридаги мисолдан кўриниб турибди.

Агар намлик тола ёки парда юзасига бир текис ўтирса, у ҳолда материалнинг диэлектриклик хусусияти кескин ёмонлашади. Намлик материалда ҳажм бўйича потекис ва узлукли тарқалса, диэлектрикнинг электр хусусияти жуда кам ўзгаради.

Ғовак, сувда эрувчан жисмлар намлик таъсирида қисман электролит ҳосил қилади. Бу эса материалнинг солиштирма ҳажм қаршилигини пасайтириб юборади (34-расм).

Диэлектрикнинг нам сингдирувчанлиги. Электр изоляцион материалларнинг намликни ўзига сингдириши деганда сув буғининг жисм орқали сизиб ўтиши тушунилади. Бу катталиқ диэлектрик муҳофаза қатламининг асосий характеристикаси ҳисобланади. Аксарият материалларда майда ҳаво бўшлиқлари бўлгани сабабли улар нам сингдириш хусусиятига эга. Маълум юза (S) ва қалинлик (h) даги ясси материалдан сув

буғи босимининг фарқи $p_1 - p_2$ таъсирида вақт бирлиги (τ) ичида ўтувчи намлик миқдори қуйидагича аниқланади:

$$m = \frac{\Pi(p_1 - p_2) S \tau}{h}, \quad (5.2)$$

бунда m — масса; Π — жисмнинг нам сингдириш коэффициентини.

Электр аппаратлари тропик иқлим шароитда узлуксиз ишлатилса, органик диэлектрикларда моғор кўринишидаги емирилиш содир бўлади. Бу ҳодиса диэлектрик юза қаршилигини ва механик мустаҳкамлигини камайтириб, диэлектрик исрофини кўпайтиради ва унинг металл билан бирлашадиган қисмида емирилиш содир қилади.

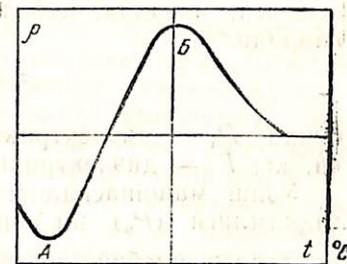
Моғор-канифоль, таркибида мой бўлган лок, целлюлоза ва шимдирилган материалларда тез ва яхши ривожланади. Бундан ташқари, материаллар сақланиш ёки эксплуатация мобайнида термит ва керилувчи жониворлар томонидан ҳам шикастланиши ёки емирилиши мумкин.

Тропик иқлим шароитига чидамлиликини текшириш мақсадида электр изоляция материаллари ва электротехника ускуналари юзасига микроорганизмлар киритилиб, улар намлиги юқори (95—98%) ва ўртача ҳароратли ($t = +40 \div 50^\circ\text{C}$) ҳавода узоқ муддат ушлаб турилади. Текшириладиган материалларнинг электр ва механик хоссаларидаги ўзгаришлар бўйича моғорнинг ривожланиш интенсивлиги аниқланади. Органик электр изоляция материалларнинг табиий емирилишга бўлган қаршилигини ошириш мақсадида изоляция таркибига турли хил фунгицид ва заҳарли моддалар киритилади ёки диэлектрик юзасига улар қўшилган лок қопламалари берилди. Фунгицидлар таркибида азот, хлор, симоб каби моддалари бўлган органик бирикмалардан ташкил топади.

5.2. Диэлектрикнинг механик хоссалари

Изоляцион материаллардан ишлаб чиқарилган конструкциялар механик куч таъсири остида бўлиши сабабли уларнинг механик мустаҳкамлиги ва деформациясини ўрганиш катта аҳамиятга эга. Статик чўзилиш, сиқилиш ва эгилишнинг оддий кўринишлари амалий механиканинг асосий қонуниятларига бўйсунди ва бундаги мустаҳкамлик чегараларининг қийматлари ($\sigma_4, \sigma_5, \sigma_3$ СИ да Паскалда ўлчанади ($1 \text{ ПА} = 1 \text{ Н/м}^2 = 10^{-5} \text{ кгс/см}^2$)).

Чўзилишдаги мустаҳкамлик юпқа варақ ва тасма шаклидаги диэлектрикларга хос бўлиб, бу материаллар ўтказгич



34-расм. Таркибида электролитик қўшимчаси бор намланган материал солиштирма ҳажмий қаршилигининг температурага қараб ўзгариши.

юзасига, масалан, кабель ўзагига қўпланаётганда ҳисобга олинади:

$$\sigma_n = \frac{P_n}{F} \text{ Па.} \quad (5.3)$$

буида P_n — диэлектрикнинг узиллиш ҳаққасидаги таъсир кучи, кг; F — диэлектрикнинг кўндаланг кесим юзаси, м².

Узиш машинасида материалнинг емирилишга бўлган мустаҳкамлиги (P_n) ни аниқлаш билан бирга, жисмнинг узиллиш пайтидаги нисбий чўзилиши $i = \frac{\Delta l}{l} \cdot 100\%$ ҳам аниқланади.

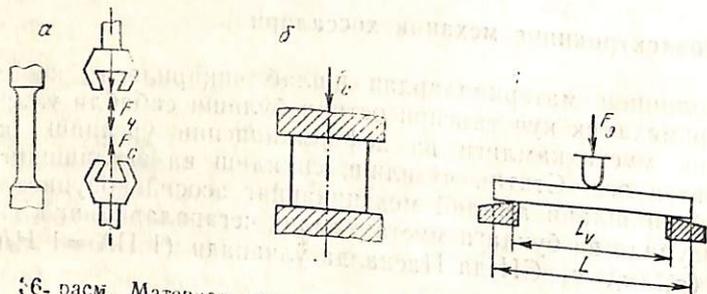
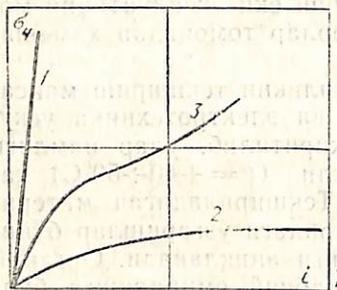
Нисбий чўзилишнинг кичик қийматлари (35-расм) мўрт ва қаттиқ жисмлар (чинни, шиша, гетинакс) учун тегишли бўлиб, қайишқоқ материаллар (резина, эластомер) да эса i кўрсаткичи нисбатан катта қийматларга эга бўлади. Чунки қайишқоқ материалнинг механик мустаҳкамлиги кичик қийматларга эга. Баъзи пластик материалларда i қиймати қаттиқ ва қайишқоқ материалларнинг характеристикалари оралиғида бўлади. Материалларнинг механик мустаҳкамлиги махсус тайёрланган намуналар (36-расм) ёрда ида аниқланади. Материалдан тайёрланадиган намуналарнинг шакли уларга қўйиладиган куч йўналишини ҳисобга олган ҳолда ишлаб чиқилади. Масалан, 36-расмда диэлектрикнинг чўзилиш (a), сиқилиш (b) ва эгилиш (c) га бўлган мустаҳкамлигини аниқлаш учун тайёрланган намуналарнинг шакллари келтирилган.

Материалларнинг сиқилишга бўлган вақтинча қаршилиги σ_c юқорида келтирилган ифодага ўхшаш бўлиб, қўйидагича аниқланади:

$$\sigma_c = \frac{P_c}{F} \text{ Па.}$$

35-расм. Материал намунасининг емирилишдаги мустаҳкамлиги билан нисбий чўзилиши орасидаги боғлиқлик;

1—мўрт материал; 2—эластик материал; 3—пластик материал.



36-расм. Материалларнинг чўзилиш (a), сиқилиш (b) ва эгилишдаги (c) механик мустаҳкамлигини синашда қўлланадиган намуналар.

Таърибага асосан, металлларда $\sigma_n = \sigma_c$ бўлгани сабабли уларда сиқилишдаги кучланишни аниқлаш шарт эмас. Диэлектрикларда эса $\sigma_n \neq \sigma_c$ бўлганлиги сабабли механик мустаҳкамлик иккала йўналишда алоҳида-алоҳида аниқланади. Тоғлали ва қатламли диэлектрикларни синаш учун намуналар тайёрлашда улардаги тола йўналиши эътиборга олинади. Кўпчилик диэлектрикларнинг сиқилишга бўлган мустаҳкамлиги чўзилишга бўлган мустаҳкамлигидан анча юқорилиги ($\sigma_n \ll \sigma_c$) сабабли уларни, асосан, сиқилиш йўналиши бўйича ишлатиш мақсадга мувофиқдир.

Жисмнинг эгилишидаги зўриқиши эгувчи момент (M) нинг қаршилик momenti (W) га нисбати орқали аниқланади:

$$\sigma_s = \frac{M}{W}. \quad (5.4)$$

Аксарият материалларнинг механик мустаҳкамлиги уларнинг кесим юзасига узвий равишда боғлиқ бўлади. Диэлектрикнинг механик хоссаси температурага ҳам боғлиқ бўлиб, иссиқлик таъсирида унинг механик мустаҳкамлиги камаёди. Гигроскопик материалларда намлик орта борган сари уларнинг механик мустаҳкамлиги пасайиб боради.

Мўртлик пластик деформациясиз емирилиш турига кириб, у материал структураси ва текшириш шароитига боғлиқ бўлади. Материалга таъсир эттириладиган кучланиш тезлиги ошириб борилиб, унинг температураси эса кескин камайтирилса, жисмнинг мўртликка бўлган механик мустаҳкамлиги камаёди. Кўпгина материаллар катта статик емирилиш кучланишга эга бўлиши билан бир қаторда мўртлиги сабабли, уларнинг динамик емирилиш кучланиши кичик бўлади. Материалларнинг динамик кучланишини аниқлайдиган усул — бу урилиш эгилювчанлиги ёки урилиш қовушоқлиғидир. Жисмнинг урилиш қовушоқлиги σ_k уни синдиришга сарф этиладиган қувватнинг (A) шу жисм кесим юзасига (F) бўлган нисбати ($\sigma_k = \frac{A}{F} \text{ Ж/м}^2$) орқали аниқланади. Бу қиймат полиэтиленда 100 кЖ/м^2 бўлгани ҳолда, сопол ва микалексада бор-йўғи $2\text{—}5 \text{ кЖ/м}^2$ га тенгдир.

Суяқ диэлектриклар (мой, лок, компаунд) нинг механик хоссаларини ўрганишда қовушоқлик қўл келади. Қовушоқлик дегадда суяқлик ва газ молекулаларининг силжишидаги ички ишқаланиш туфайли юзага келадиган ички қаршилик тушунилади. У η билан белгиланиб, динамик қовушоқлик (ички ишқаланиш) дейилади ва $1 \text{ Па}\cdot\text{с} = 10\text{П} = 1000 \text{ сП}$ (Пуаз) да ўлчанади.

$\nu = \frac{\eta}{\rho}$ кинематик қовушоқлик дейилади ва Стоксларда ўлчанади.

5.3. Диэлектрикнинг физик хоссалари

Диэлектрикнинг зичлиги γ ни бириш маҳсулот тайёрлашда материалга бўлган эҳтиёжни, унинг ҳажми ёки массасини аниқлаш учун зарурдир. Зичлик жисм массаси (m) нинг унинг ҳажми V га нисбати орқали аниқланади:

$$\gamma = \frac{m}{V} \text{ кг/м}^3. \quad (5.5)$$

Органик материалларда $\gamma = (0,5-1,5) \cdot 10^3$, анорганик эса бу қиймат бир оз юқорироқ: $\gamma = (2,5-4,0) \times 10^3$ кг/м³.

Материалнинг гигроскопиклиги жисмини (намунани) маълум вақт сувда ушлаб туриш орқали аниқланади:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m} \cdot 100\%, \quad (5.6)$$

бунда m_1 — қуруқ намунанинг массаси, г; m_2 — намунанинг сувда маълум вақт ушлангандан кейинги массаси, г.

Бу катталиқ диэлектрикнинг намга чидамлилигини баҳолашда ёрдам беради. Кўпгина диэлектриклар маълум даражада гигроскопик бўлгани сабабли изоляцияни намдан ҳимоя қилинади.

Изоляцияни намликдан ҳимоя қилиш. Шимдириш усулида изоляция бўшлиқлари гигроскопик бўлмаган ёки кам гигроскопик қаттиқ ёки суюқ диэлектрик билан тўлатилади. Шимдирилган материалларга аввалига нам сингмай, маълум вақт ўтгандан сўнг бу хосса ёмонлаша боради. Баъзи шимдирилган материаллар ўзига нам олмайди. Масалан, шимдирилган мрамарда ρ қиймати узоқ вақт ўзгармай туради. Толали шимдирилган материал (қоғоз, картон, мато, целлюлоза)ларда эса ρ қиймати аста-секин пасая боради. Шимдирилмагандаги каби шимдирилган қалин қоғоз (картон) да ҳам намлик материалга аста-секин сингиб боради ва маълум вақтдан сўнг W қиймати иккала қоғозда деярли бир хил қийматга эга бўлади. Ҳаво бўшлиқлари бўлган ва шимдирилган матолар қисқа муддатли намликка бардошли бўлиб, уларда E_t қиймати қуруқ шимдирилган материалларга нисбатан юқори бўлади.

Изоляция характеристикасини ўзгартирмасдан сақлаш ва намлик таъсирини камайтириш мақсадида шимдириш усулидан ташқари, локлаш усулидан ҳам фойдаланилади. Бунда, шимдирилган жисм қалинлиги 0,1—0,2 мм ли лок қатлами билан қопланади. Лекин бу усул намлик 80% дан ортганда ўзини оқламайди.

Бундан ташқари, сиқилш усули ёрдамида маҳсулот юзаси қалинлиги 1—2 мм бўлган пластмасса қопламаси билан қопланади. Бундай қопламанинг механик характеристикалари лок қоплама механик мустаҳкамлигидан анча юқори бўлади. Сўнгги усул маҳсулотни ҳаво намлиги 90% гача бўлган ҳолларда ишончли ҳимоя қилади.

Маҳсулот юзасини қоплаш усулларида бири ишлов бериладиган юзага тайёрланган компаунд қуйиш усулидир. Бунда деталнинг ташқи қисмига мос қилиб махсус қолип ясалади ва унга суюқ ҳолдаги пластмасса тўлдирилади. Масалан, эпоксид смоласидан тайёрланган қопламанинг қалинлиги 10—20 мм қилиб олинади. Маҳсулот юзасини намликдан муҳофаза қилиш усулларида бири бўшлиқларни тўлдиришдир. Бунда тайёрланган маҳсулот суюлтирилган компаундга ботириб олинади. Бу усул диэлектрикларни 95% гача намлик таъсиридан ҳимоя қилади.

Барча ҳолларда ҳам жисмини намликдан ҳимоя қилишда органик материаллар қўлланилади. Бу материаллар гигроскопик хусусиятига эга бўлгани учун ўзидан намликни ўтказиши мумкин. Исталган органик диэлектрик қандайдир миқдорда нам сингдирувчанликка эга.

Баъзи органик диэлектриклар учун нам сингдириш коэффициентини қуйидагичадир:

Парафин	$5 \cdot 10^{-10}$ с
Полиэтилен	$3 \cdot 10^{-10}$ с
Эпоксид смоласи	$5 \cdot 10^{-9}$ с
Нефтли битум	$1 \cdot 10^{-8}$ с

Диэлектрикни намликдан ишончли ҳимоя қилиш мақсадида босим остида қуйиш усули қўлланилади. Чунки бу усулда олинмаган қопламанинг қалинлиги катта қийматга эга бўлади ва маҳсулотни намликдан яхши ҳимоя қилади. Агарда ҳимоя қопламасида дарз ёки емирилиш содир бўлса, намлик қоплама ичига тезда кириб боради.

Вакуумли зичлаш усулида ҳимоя қилинадиган маҳсулот металл қоқибқа жойлаштирилади ва қоқибқа билан кавшарланади. Металл қоплама диэлектрикни намдан аъло даражада ҳимоя қилади.

Қоғоз изоляцияли юқори кучланишли кабелларни намдан муҳофаза қиладиган ҳимоя қопламаси сифатида изоляция юзасига узлуксиз қопланадиган металл (қўрғошин, алюминий, пўлат) қоплама ишлатилади. Бу қопламалар изоляция юзига махсус прессларда қопланади. Электр машиналарнинг изоляцияси намлик таъсиридан локлаш, шимдириш ва компаунд қуйиш усуллари орқали ҳимоя қилинади. Узлуксиз ишлайдиган электр машинаси намликка чидамли бўлади. Бу, машинанинг муттасил иш мобайнида қизиши натижасида изоляциясининг намланмаслиги билан тушунтирилади. Узоқ муддат ишламаган (омборда сақланган) электр двигатели ёки генераторларнинг изоляция ҳолати текширилиб, зарур ҳолатларда уларнинг изоляцияси қуритилиши шарт.

Диэлектрикларнинг иссиқлик хоссалари. Диэлектрикнинг иссиққа чидамлилиги унинг муҳим хоссаларидан биридир. Диэлектрикнинг иссиқ ва совуққа чидамлилиги, иссиқлик ўтказувчанлиги ва иссиқдан кенгайиши унинг иссиқлик хоссалари-га киради. Анорганик диэлектрикларнинг иссиққа чидамлили-

ги уларнинг электр хоссалари ($\text{tg } \beta, \rho$) қийматларининг ўзгаришига қараб баҳоланади. Органик диэлектрикларнинг иссиққа чидамлилиги уларнинг чўзилиши ва эгилиши орқали ёки қизитилган диэлектрикка игна ботириб кўриш орқали аниқланади.

Изоляция материалининг температура таъсирига чидамлилиги Мартенс усули орқали ҳам аниқланади. Бу усулда жисмининг қисқа муддатда иссиқликка бардошлилиги унинг механик хоссалари ўзгаришига қараб аниқланади. Диэлектрикларнинг иссиқликдан юмшаш температураси қиздирилган намунага шар ёки доирани маълум куч билан таъсир эттириб аниқланади.

Суyoқликнинг чақнаш температураси унинг ҳароратини кўтара бориб, чўғ яқинлаштирилганда суyoқликнинг ҳаводаги буғи ёниб кетиши билан аниқланади.

Суyoқликнинг алангаланиш температураси текширилаётган суyoқликка алангани яқинлаштирилганда унинг ёниб кетиши билан аниқланади. Суyoқликнинг алангаланиш температураси унинг чақнаш температурасидан бирмунча юқоридир. Бундай характеристикалар трансформатор мойи ва эритувчи суyoқликлар сифатини аниқлашда кенг қўлланилади.

Изоляциянинг жоиз иш температураси жисмининг қисқа ёки узoқ муддатли қизишга чидамлилигини текшириш орқали аниқланади. Диэлектрикнинг қизиши мобайнида унда кимёвий ўзгариш содир бўлади. Бу ҳолат изоляция материалининг иссиқлик таъсирида эскириши дейилади. Бундай эскириш целлюлоза ва локланган жисмининг қаттиқлиги ва мўртлиги ортиси ёки жисм юзасида ёриқлар пайдо бўлиши билан белгиланади. Диэлектрикнинг иссиқлик таъсирида эскириши унинг илк бор тайёрланган ҳолатига нисбатан ўзгаришига қараб аниқланади. Жисмининг эскириш муддати (τ) температура билан қуйидагича боғланган:

$$\ln \tau = \frac{A}{T} + B, \quad (5.7)$$

бунда A, B — берилган материалнинг иссиқлик таъсирида эскиришига тааллуқли ўзгармас коэффициентлар.

Иссиқлик таъсиридаги эскириш УБ (ультрабинафша) нурлари, электр майдони, механик кучланиш ва бошқа таъсирлар остида тезлашади.

Электр-машина ва аппаратларининг қувватини ўзгартирмаган ҳолда диэлектрикнинг иссиқликка чидамлилигини ошириш орқали уларнинг ҳажми ва нархини бирмунча камайтириш мумкин. Бу самолётсозлик ва ракетасозликда, электр двигатели, трансформатор ва бошқа ихчам, қулай асбоб-ускуналар тайёрлашда жуда қўл келади.

ГОСТ 8865-70 ва Халқаро электротехника комиссияси кўрсатмаларига асосан, нормал шароитда ишлайдиган электр машина ва аппаратлари изоляция материалларининг жоиз иш

температуралари иссиққа чидамlilik бўйича бир неча синфга бўлинади:

Иссиққа чидамlilik синфи У А Е В Ө Н С
 Жоиз иш температурасининг
 энг юқсри қиймати, °С 90 105 120 130 155 180 >180

Очиқ шароитда ишлатиладиган изоляция материалининг совуққа чидамlilik ҳам катта аҳамиятга эга. Паст температураларда, одатда, изоляция материаллари ўз диэлектриклик хусусиятларини яхшилайдди. Нормал шароитда эластик ва эгилювчан бўлган материаллар паст температураларда ($-30 \div -50^\circ\text{C}$) қаттиқ ва мўрт бўлиб қолади. Бу эса кучланиш таъсири остида бўлган материалнинг синиши (емирилиши) ва ускунанин ишдан чиқишига олиб келиши мумкин.

Жисмининг иссиқлик ўтказувчанлиги иссиқлик тарқалишининг бир туридир. Диэлектрик изоляциясидаги иссиқлик унинг қизиган қисмидан совуқроқ қисмга ёки ташқи муҳитга тарқалади. Диэлектрикнинг иссиқлик ўтказувчанлиги изоляциянинг иссиқликдан тешилишига ва температура зарбига нисбатан чидамlilikга таъсир кўрсатади.

Жисмининг ΔS юзасидан ўтувчи иссиқлик оқимининг қуввати Фурье тенгламасига асосан қуйидагича бўлади:

$$\Delta P_u = \gamma_u \frac{dT}{dl} \Delta S \quad (5.8)$$

бунда $\frac{dT}{dl}$ — температура градиенти, °С/м; γ_u — жисмининг иссиқлик ўтказиш коэффициенти, Вт/мК.

Диэлектрикларда γ_u қиймати металл материалларга нисбатан анча пастдир. Ҳовак ва бўшлиқлари кўп бўлган диэлектрикларда иссиқлик ўтказиш коэффициенти энг кичик қийматга эга бўлиб, улар шимдирилувчи модда билан тўлатилган ҳолатда мазкур катталиқ қиймати ўсади (3-жадвал). Кристалл диэлектрикларда γ_u қиймати аморф диэлектриклардагига нисбатан катта бўлади.

3-жадвал

Баъзи диэлектрикларнинг иссиқлик ўтказиш коэффициенти

Материал	$\gamma_u, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$	Материал	$\gamma_u, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$
Ҳаво (тирқишлардаги)	0,05	Чинни	1,6
Битум	0,07	Стеатит	2,2
Қоғоз	0,10	Титан кўшюксиди	6,5
Локланган мато	0,13	Кристалли кварц	12,5
Текстолит	0,35	Алюминий оксиди	30,0
Сув	0,58	Магний оксиди	36,0
Кварц	1,25	Бериллий оксиди	218,0

Диэлектрикларнинг иссиқликдан кенгайиши, бошқа материаллар каби, чизиқли кенгайишининг температура коэффициенти

енти орқали аниқланади:

$$TKl = \alpha_l = \frac{1}{l} \frac{d}{dt} K^{-1}. \quad (5.9)$$

Органик диэлектриклар анорганикларига нисбатан (4-жадвал) анча юқори α_l га эга. Шунинг учун ҳам анорганик жисмдан ясалган қисмлар температура ўзгаришида ўзининг кам ўзгарувчан α_l қиймати билан ажралиб туради.

4-жадвал

Баъзи диэлектриклар чизиқли кенгайишининг температура коэффициентлари

Материал	$\alpha_u \cdot 10^3, K^{-1}$	Материал	$\alpha_e \cdot 10^3, K^{-1}$
Поливинилхлорид	235	Поливинилформальдегид	64,0
Поливинилхлорид пластинкаси	160	Эпоксид қатрони	55,0
Полиэтилен	165	Слюда	37,0
Целлюлоза ацетати	120	Силикатли шиша	9,2
Нейлон	115	Сопол	7,0
Политетрафторэтилен	100	Стеатит	6,6
Полистирол	68	Чинни	3,5
Полиметилметакрилат	70	Эритилган кварц	0,55

5.4. Юқори энергияли нурланишнинг диэлектрик хоссаларига таъсири

Радио ва электр аппаратларининг куччилигида ишлатиладиган диэлектриклар узлукли ёки узлуксиз, корпускуляр ёки тўлқинли юқори энергияли нур таъсирида бўлади. Техниканинг ривожланиши ракета ва коинот техникасида ишлатиладиган электротехника материалларининг юқори энергияли радиоактив нурланиш таъсири остида бўлишини тақозо этади. Шунинг учун ҳам материалларнинг нурланишга, яъни радиацияга чидамлилиги (диэлектрик ва механик хусусиятларни сақлай олиши) муҳим аҳамиятга эга. Масаланинг бошқа томонидан қаралса, радиация таъсирини технологик жараёнда ишлатиш орқали янги хоссали материаллар ҳосил қилинади. Бунда мавжуд усуллар билан олиб бўлмайдиган ноёб хоссали (юқори механик мустаҳкамликка эга ва иссиқбардош) материаллар вужудга келтирилади.

Корпускуляр нурланишга тезкор ёки суст ҳаракатли нейтронлар, ядро бўлакчалари, α -заррачалари ва β -нурлари, тўлқинли нурланишга эса γ -нурлари ва рентген нурлари мисол бўла олади. Нурланиш интенсивлиги Вт/м² ларда ўлчанади.

Материал юзасига таъсир этаётган нурланиш энергиясининг материал ичига сингиб боришидаги сустраниши қуйидаги қонунга бўйсунди:

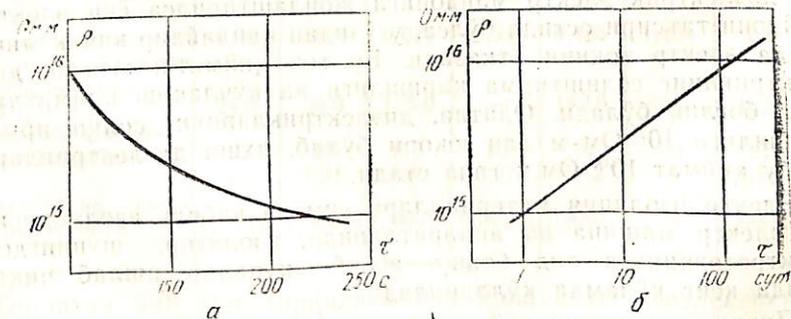
$$P_x = P_0 \exp(-\mu x), \quad (5.10)$$

бунда P_0 — материал юзаси яқинидаги муҳитдаги энергия; x — нурланишнинг сингиш чуқурлиги; μ — материалда нурланиш сусайишини ҳисобга олувчи коэффициент.

Оддий моддалар учун $\mu \approx \lambda \lambda^2 \rho$ бўлиб, бунда λ — нурланиш тўлқини узунлиги; λ — элементнинг Менделеев жадвалидаги тартиб сон; ρ — жисмнинг зичлиги; K — пропорционаллик коэффициенти.

Жисмнинг нур ютиши унинг тузилишига, табиатига ва нурланиш сифатига боғлиқ. Нурланиш энергиясининг сочилиши ионланиш (ички фотоэффект) ва атомларнинг галаёнланиши ҳисобига содир бўлади. Нурланиш таъсирида молекулаларнинг қайта тузилиши ва кимёвий реакция рўй беради. Ионлаш жараёни электронларнинг оний оқимини келтириб чиқариб, кимёвий боғланишларнинг узиллиши ва силжишига ёки эркин радикалларнинг ҳосил бўлишига олиб келади. Электронлар эса нуқсонли жойларда тўпланади.

Органик жисмга нурланиш узоқ вақт таъсир эттирилса, унда емирилиш содир бўлади. Юқори энергияли нурнинг қисқа муддатли таъсири натижасида диэлектрикнинг кимёвий, физик, механик ва электр хоссалари ўзгаради. Диэлектрикка нурланиш таъсир эттирилганда унинг электр ўтказувчанлиги маълум стационар ҳолатгача ортади. Бу ўзгариш радиация интенсивлиги билан аниқланади. Нурланиш тўхтатилса, диэлектрикнинг электр ўтказувчанлиги ўзининг аввалги қийматига қайтади. β -нур таъсирида тоза полистиролда ρ қийматининг вақт бирлигида ўзгариши 37-расмда кўрсатилган. Хarakterистикага асосан диэлектрикнинг қаршилиги нурланиш таъсир вақтининг маълум қийматигача камайиб, сўнгра нурланиш таъсир кучи оширилганда кўпаяди. Нурланиш иссиқлик билан биргаликда таъсир эттирилганда полимернинг ρ қиймати кескин ўзгаради. Сифатли диэлектрикда температура ортиши билан ρ қиймати нисбатан камроқ ўзгаради. Масалан, нормал шароитда нурланган ва нурланмаган полиети-



37-расм. Соф полистиролга β нур таъсири эттирилганда солиштирма ҳажмий қаршилигининг вақт бўйича ўзгариши; а—нур таъсири кучсиз; б—нур таъсири кучли.

лен ρ қийматларининг нисбати 10^4 га тенг бўлиб, температура 90° га етганда ушбу нисбат $\rho_n/\rho_{нм} \approx 10$ гача пасаяди.

Ҳозирги пайтда диэлектриклар ишлаб чиқариш технологиясида радиоактив нурланиш таъсиридан фойдаланилмоқда. Масалан, муайян шароитда γ -нури билан ишлов берилган полиэтиленнинг иссиққа чидамчилиги 160°C дан 250°C гача ортиб, унинг диэлектрик хоссалари тўла сақланиб қолади.

6-6 о б. ДИЭЛЕКТРИК МАТЕРИАЛЛАР

6.1. Асосий тушунчалар

Изоляция материаллари мажмуидан иборат электротехника тузилмаси *электр изоляцияси* деб аталади. Электротехникага оид бирор-бир ускуна, асбоб ва тузилмаларни изоляция материалларисиз тасаввур қилиб бўлмайди. Энг оддий ҳисобланган электр занжирини ҳам электр ўтказгич ва изоляция материалларисиз йиғиб бўлмайди. Электр изоляцияси ток оқинининг керакли йўналиши бўйича ўтишини таъминлайди.

Электр изоляция материаллари (диэлектриклар) агрегатнинг ичида қаттиқ ҳолатдаги материаллар энг кўп учрайди. Кимёвий тузилишига кўра изоляция материаллари органик ва анорганик турларга бўлинади.

Диэлектрикларнинг физик ва кимёвий хоссаларига баҳо беришда уларни қутбли ва қутбсиз турларга ажратилади. Қутбли диэлектрикларда молекуланинг доимий электр моменти нолдан фарқли, қутбсиз диэлектрикларда эса нолга тенгдир.

Одатда, диэлектрикларнинг солиштирма электр ўтказувчанлиги ўтказгич ёки ярим ўтказгичларнинг солиштирма электр ўтказувчанлигига нисбатан жуда ҳам кичик бўлганлиги сабабли улар электр токини ўтказмайди, деб ҳисобланади. Ваҳоланки, диэлектрик электр майдонига жойлаштирилса ёки электр майдони таъсири остида бўлса, у ўзидан қандайдир кичик миқдорда электр токини ўтказади. Бу ток қиймати, асосан, диэлектрикнинг солиштирма қаршилиги ва кучланиш қийматларига боғлиқ бўлади. Одатда, диэлектрикларнинг солиштирма қаршилиги 10^{17} Ом·м дан юқори бўлиб, яхши диэлектрикларда бу қиймат 10^{18} Ом·м гача етади.

Электр изоляция материаллари сим ва кабель изоляциясида, электр машина ва аппаратларида, изолятор, шунингдек электротехникага оид бошқа асбоб-ускуналар ишлаб чиқаришда кенг кўламда қўлланилади.

Диэлектриклардан халқ хўжалигида тобора кўпроқ фойдаланилмоқда. Сўнгги пайтларда улар частота кучайтиргич, хотира тузилмаси, датчиклар ишлаб чиқаришда, қўлланилмоқда.

6.2. Газсимон диэлектриклар

Газ ҳолатидаги диэлектрикларнинг нормал атмосфера босимидаги электр мустаҳкамлиги суяқ ва қаттиқ диэлектрикларникига нисбатан анча кичикдир. Бир хил шароитда бўлган азот ва ҳавонинг электр мустаҳкамлиги 3 МВ/м , *элегаз* («электр» ва «газ» сўзларидан олинган)ники $7,5 \text{ МВ/м}$ бўлса, бу қиймат қаттиқ диэлектрикларда $20\text{—}500 \text{ МВ/м}$ атрофида бўлади.

Газларнинг асосий хусусиятларидан бири разряд содир бўлгандан сўнг, улар ўзининг электр мустаҳкамлигини қайта тиклай олишидир. Газ босимини ошириб, унинг электр мустаҳкамлигини анча кўтариш мумкин. Аксарият электр аппаратлари ва ускуналарида, электр узатгичлари ва подстанцияларда асосий изоляция вазифасини ҳаво бажаради. Газларнинг электр мустаҳкамликни қайта тиклаш хусусиятидан ҳаволи ва элегазли викиючателларда (узгичларда) ва бошқа юқори кучланишли электр аппаратларида фойдаланилади.

Газ жуда енгил ва шу билан бирга жуда яхши диэлектрик хусусиятларга эгадир. Газ узлуксиз юқори кучланиш таъсирида бўлганда ҳам эскирмайди ва ўз хоссаларини ўзгартирмайди. Табиатда учрайдиган ва махсус ишлаб чиқарилган газларнинг бир қисмигина электротехникада қўлланилади. Электротехникада қўлланадиган газларнинг аксарияти қутбсиз бўлади. Кенг тарқалган айрим газларнинг асосий хоссалари 5-жадвалда келтирилган.

5-жадвал

Айрим газларнинг асосий хоссалари

Кўрсаткич	Ҳаво	Азот N_2	Водород H_2	Элегаз SF_6	Гелий He	Неон Ne	Аргон Ar
Молекуляр массаси	28,961	28,013	2,016	146,05	4,003	20,183	39,95
Қайнаш температураси, К	79,0	77,4	20,4	209,3	4,2	27,2	87,5
Зичлиги, кг/м^3	1,29	1,25	0,09	6,39	0,18	0,9	1,78
Суяқлик ҳолатидаги зичлиги, мг/м^3	0,92	0,804	0,071	1,91	0,125	1,204	1,4
Иссиқлик ўтказиш коэффициенти, $\text{мВт/(М} \cdot \text{К)}$	24,0	24,0	166,0	—	142,0	45,5	16,3
Динамик қовушқоқлиги, $\text{кПа} \cdot \text{с}$	10	18	9,5	15	19	30	21
	—	1,91	1,85	3,07	1,12	—	1,83
Диэлектрик синдирувчанлиги	1,00059	1,00058	1,00027	1,00191	1,00072	—	1,00056

Табиатда энг кўп тарқалган газ ҳолатидаги диэлектрикларга ҳаво яққол мисол бўла олади. Барча электр узатгич, ускуна ва аппаратлари асосан ҳаво муҳитида жойлашади. Бунда ҳаво асосий изоляция вазифасини бажаради. Азот га-

вининг электр мустаҳкамлиги ҳавонинг электр мустаҳкамлигига яқин бўлади. Азот газини муҳитида жойлашган материаллар иш мобайнида оксидланмайди. Шу сабабли газли конденсаторларда ҳаво ўрнига азот ишлатилади.

Юқори молекулали газлар ва таркибида галоген моддалар (фтор, хлор) бўлган газларнинг электр мустаҳкамлиги ҳавонинг электр мустаҳкамлигидан анча устундир. Масалан, элегаз (SF_6) нинг электр мустаҳкамлиги ҳавоникига нисбатан 2,5 баробар юқоридир. Элегаз заҳарли бўлмаган, кимевий барқарор газ бўлиб, юқори температурада (800°C) ҳам парчаланмайди. Юқори босим остида бўлган элегаз ўз электр мустаҳкамлигини кескин оширади. Шу сабабли, элегаз электр энергиясини узатиш линиялари, кабель, узгич ва конденсаторларда кенг қўлланилади.

Баъзи углеводородли газ молекулаларидаги водород атоми фтор атоми билан алмаштирилса, мазкур газнинг (CF_4 — тетрофторметан, C_2F_6 — гексафторэтан, C_3F_8 — перфторпропан) электр мустаҳкамлиги ҳавоникига нисбатан камида 6 баробар ортади. Ана шу хусусият таркибида фтор бўлган баъзи суюқлик буғлари билан тўйинтирилган муҳитда ҳам кузатилади. Газнинг электр мустаҳкамлиги унинг молекула тузилишига боғлиқ бўлади. Газларнинг ионланиш потенциаллари бир-биридан фарқ қилади (6-жадвал). Мазкур потенциал қиймати қанча кичик бўлса, газнинг электр мустаҳкамлиги шунча юқори бўлади ва аксинча, газнинг ионланиш потенциаллари қанча юқори бўлса, унинг электр мустаҳкамлиги шунча паст бўлади.

6-жадвал

Газ	H_2	N_2	O_2	Cl_2	CO_2	H_2O	He	Kr	Ar	Ne	Ke
Ионланиш потенциаллари	15,4	15,6	12,1	11,5	13,8	12,6	12,1	14	15,8	21,6	24,6

Ўзгармас температура ва текис электр майдонидаги газнинг тешилиш кучланиши (U_T) шу газ босими (p) ва электродлараро масофанинг функциясидир: $U_T = f(p, h)$. Бу хarakterистика U кўринишига эга бўлиб, Пашен қонунига бўйсунади. Агар газ босими ўзгармас бўлса, унинг электр мустаҳкамлиги электродлар орасидаги масофа қисқариши билан ортади. Бу ўз навбатида, газ муҳитида ишлайдиган конструкция ва аппаратларнинг ҳажмини кичрайтириш имконини беради.

Газнинг тешилиш кучланиши электр майдони, кучланиш тури ва температурага узвий равишда боғлиқ бўлади. Кўпгина газларнинг разряд кучланиши атмосфера босими шароитида Пашен қонунига бўйсунади. Ушбу қонуният нотекис электр майдонидаги газ учун ҳам ўриши. Бунда тешилиш кучланиши

(U_T) газ босими (p), электрод радиўслари (ички ва ташқи) га боғлиқ равишда ўзгаради: $U_T = f(p, R/r)$. Инерт газлар ва уларнинг аралашмалари ҳамда аргон билан симоб буғи аралашмаларида E_T нинг қийматлари кичик бўлади.

Юқори электр мустаҳкамлик электр манфий газларда кузатилиб, бунда газнинг молекуляр массаси қанча катта бўлса, E_T қиймати шунча юқори бўлади. Масалан, $\text{C}_{14}\text{F}_{24}$ бирикмасининг электр мустаҳкамлиги ҳавонинг электр мустаҳкамлигидан 10 марта юқоридир.

Газ разряд кучланишига электрод шакли, электродлараро масофа, электрод юзасининг ҳолати катта таъсир кўрсатади. Шунинг учун ҳам кўпгина тузилмаларда электрод юзаси махсус ишлов бериб сайқалланади ва унга ёй разряди таъсир эттирилади. Ёй таъсирида ишлов бериш натижасида электрод юзасидаги жуда майда чиқиқлар емирилиб куяди, электрод юзасидаги нотекисликлар (майда чиқиқ, чуқурча ва ҳоказо) унга изоляцияли парда қоплаш орқали ҳам бартараф этилиши мумкин. Бу усул электр мустаҳкамликни 20—30% оширади.

Одатда, электр узатиш линиялари ва подстанцияларда ҳаво муҳитида жойлашган электр изоляция конструкциялари бир жинсли бўлмаган нотекис электр майдонини ҳосил қилади. Қурилма электродлари асосан игна — текислик, игна — игна системасини вужудга келтиргани сабабли ҳавонинг электр мустаҳкамлиги худди шу турдаги электродлар ёрдамида ўрғанилади. Электродлар ораллигидаги майдонни текислаш (электрод шакли, ўлчам, сони, ораллиги ва ҳоказоларни танлаб) ҳавонинг электр мустаҳкамлигини оширишнинг асосий омилларидандир. Шу сабабли изоляция конструкциясида электр майдонини бошқариб нотекисликни камайтиришга алоҳида аҳамият берилади. Изоляция конструкцияларда электр майдонни текислаш учун махсус экран кенг қўлланилади.

Вакуумнинг электр мустаҳкамлиги оддий атмосфера ҳавосининг электр мустаҳкамлигига нисбатан юқори бўлади. Унинг қиймати электрод шакли, юзаси ва материалга боғлиқ бўлади. Вакуумда юқори электр мустаҳкамликка эришиш учун разряд камерадаги барча элементлар яхшилаб ишлов бериб, тозаланиши ва электродлар разряд таъсирида сайқалланиши керак. Титан қотишмасидан ясалган электроддан фойдаланилганда вакуумда юқори электр мустаҳкамликка эришилади.

Энергетик ускуналарда газ электр разряддан сўнг ўз электр мустаҳкамлигини тез тиклаш, ёнамаслиги, иссиқликни ўзидан яхши ўтказиши, ёйни ўчириши ва бошқа муҳим хоссаларга эга бўлиши зарур. Бу хоссалар элегазда жамлангани учун у аксарият электротехника ускуналарида қўлланади.

Қаттиқ изоляцияга нисбатан газ изоляциясининг электр сиғими ва диэлектрик исрофи кичиклиги, яхши совитиш хоссасига эгаллиги сабабли газли электр узатгич орқали катта қувват узатиш имкони яратилади.

Одатда, водород газини юқори солиқликка иссиқлик сиғими

ми ва ўтказувчанликка эга бўлганлиги сабабли электр машиналарида ҳаво ўрнига ишлатилади. Водород газини электр машинасининг ишқаланишга сарфланадиган энергия миқдорини пассивлаштириши билан бирга, унинг чулғамига қопланган органик изоляция материалларнинг эскиришини чеклайди. Водород газининг ана шу хусусиятларидан турбогенератор ва синхрон конденсаторларда фойдаланилади.

Баъзи инерт газлар (неон, аргон) ҳамда симоб ёки натрий бугларининг электр мустаҳкамлиги кичик бўлганлиги сабабли улар газ разряд асбобларини тўлатишда ишлатилади. Суяқ ҳолатга ўтган газлар (гелий, водород, азот) нинг температураси жуда паст бўлади. Шу сабабли бундай газлар махсус кабелларда ишлатилади. Суяқ ҳолатдаги мазкур газларнинг диэлектрик сингдирувчанлиги кичик бўлиб, иссиқлик ўтказувчанлиги ва иссиқлик сифмининг катталиги билан ажралиб туради.

Элегаз қимматбаҳо бўлганлиги сабабли кўпгина электротехника ускуналарида унинг азот билан аралашмасидан фойдаланилади. Азот ва элегаз бирикмасининг электр мустаҳкамлиги азот газининг электр мустаҳкамлигидан бирмунча юқори бўлади. Шу боис мазкур бирикма муҳитида бўлган металл ўтказгичнинг совитилиш сифати нисбатан яхшиланади. Азот ва элегаз бирикмаси газ билан тўлатиладиган юқори кучланишда электр ускуналарида қўлланилади.

Газнинг иссиқлик сифми ва диэлектрик сингдирувчанлигининг кичиклиги газли изоляцияга эга бўлган юқори кучланишда кабелларнинг мой шимдирилган қоғоз изоляцияли кабелларга нисбатан устуңлигини таъминлайди. Бу эса юқори кучланишда ли кабель узатиш линияларининг қувватини кескин оширишга кенг йўл очиб беради.

Сўнги пайтларда элегаз билан тўлатилган катта қувватга эга трансформаторлар ишлаб чиқарилиб, синовдан ўтказилган кабелларда ҳам татбиқ этилмоқда.

6.3. Суяқ ҳолатдаги диэлектриклар

Электротехникага онд конструкция ва ускуналарни ишлаш шароитларидан келиб чиқиб, суяқ диэлектрикларга юқори электр мустаҳкамлик ва солиштирма ҳажмий қаршилик кичик миқдорли диэлектрик сингдирувчанлик, электр ва иссиқлик майдонларига бўлган бардошлилик, иш мобайнида ҳосилаларининг барқарорлиги, ёнғинга бардошлик каби талаблар қўйилади. Нефть маҳсулотидан олинадиган трансформатор мойи электротехникада энг кўп ишлатиладиган суяқ диэлектриклардан ҳисобланиб, у қувватли трансформаторларда, асосан, электр изоляцияси ва совиткич вазифасини бажаради. Трансформаторга трансформатор мойи қўйилганда симларда қопланган изоляция қопламасидаги ҳаво бўшлиқлари мой билан тўлади. Натижада трансформаторнинг электр изоляция

мустаҳкамлиги ортиб, электр кучланиши таъсиридаги чулғамлардан ва пўлат ўзакдан ажралаётган иссиқлик ташқи муҳитга мой орқали яхши тарқатилади. Бунда трансформаторнинг иш қуввати бирмунча ортади.

3. Трансформатор мойини электр ёи разряди содир бўлганда уни тезда сўндириши билан бирга, ёи каналини кескин совитиш қобилиятига ҳам эга. Трансформатор мойидан реактор, реостат, контактор, юқори кучланишли электр узгичи, кабель ва бошқа электр аппаратларида фойдаланилади.

Нефтдан олинадиган трансформатор мойи парафин, нафтаин, ароматик углеводород каби мураккаб бирикмалардан ташкил топган бўлиб, унинг таркибида олтингугурт, кислород ва азот каби қўшимчалар ҳам бўлади. Мойдаги зарарли қўшимчалар нефтни қайта ишлаш орқали бартараф этилади. Трансформатор мойини тозалаш қислота ёрдамида, селектив ёки адсорбция каби усуллар орқали амалга оширилади. Бу мойнинг ранги оч сариқ бўлиб, зичлиги 861—895 кг/м³, қотиш температураси — 45°C, чақнаш (алангаланиш) температураси 135—140°C, нур синдириш коэффициентини 1,47—1,49, кинематик қовушоқлиги (17,6÷26,6) · 10⁻⁶ м²/с ва сирт таранглик кучи 40—45 кН/м. Трансформатор мойи ёнувчан суяқлик бўлган сабабли, уни ишлаш мобайнида техника хавфсизлигига амал қилиниши шарт. Бу суяқликнинг диэлектрик сингдирувчанлиги 2,2—2,3, диэлектрик исроф бурчагининг тангенсини 0,001—0,02 га тенг.

Трансформатор мойи таркибидаги жуда кам (0,05%) миқдордаги сув ҳам унинг электр мустаҳкамлигини кескин (5—10 баробар) тушириб юборади. Бу, асосан, сувнинг диэлектрик сингдирувчанлиги катта ($\epsilon_r \approx 81$) ва солиштирма ҳажмий қаршилигининг кичиклиги ($\rho \approx 10^3 \div 10^4$ Ом·м) билан тушунтирилади. Мой таркибидаги механик қўшимчалар (тола, заррача ва ҳ. к.), ҳам суяқликнинг электр мустаҳкамлигини пассивлаштиради. Трансформатор мойи мазкур қўшимчалардан тозаланиб, сўнгра қуритилса, у ўзининг асл электр мустаҳкамлигини қайта тиклайди. 7-жадвалда трансформатор мойининг кучланишга нисбатан электр мустаҳкамлиги келтирилган. Электр ускуналарида ишлатилаётган трансформатор мойига кучли электр майдони, иссиқлик, кислород ва оксидловчи моддалар таъсир этиши натижасида унинг эскириши кузатилади.

7-жадвал

Трансформатор мойининг кучланишга нисбатан электр мустаҳкамлиги

Аппаратдаги кучланиш, кВ	Мойнинг электр мустаҳкамлиги, кВ/мм ($h=2,5$ мм)	
	қуруқ ҳолатда	эксплуатация шароитда
< 6	25	20
35	30	25
110, 220	40	35
> 330	50	45

Бу жараён ёруғлик, қувватли нур ва актив катализаторлар таъсирида тезлашади. Эскириш жараёнида трансформатор мойнинг ранги тўқариб, қуюқлашади, $tg \delta$ қиймати катталашади. Филтрлаш, регенерация қилиш ва бошқа усуллар орқали трансформатор мойи эскиришининг олди олинади.

Нефтьдан тайёрланадиган конденсатор мойининг тозаланиш сифати трансформатор мойига нисбатан бирмунча юқори бўлади. Конденсатор мойининг зичлиги $866-901 \text{ кг/м}^3$, қотиш температураси -45°C , диэлектрик хоссалари: $\epsilon_r = 2,1 \div 2,3$; $tg \delta = 0,002$; $E_m = 20 \text{ МВ/м}$. Қаттиқ диэлектрик ҳисобланган қоғозга конденсатор мойи шимдирилса, у ҳолда мазкур қоғознинг диэлектрик хоссалари яхшиланади. Натижада, унинг асосида ишлаб чиқарилган конденсаторнинг ҳажми ва массаси, шунингдек нархи ҳам камаяди. Конденсатор мойи электротехникада конденсатор ишлаб чиқаришда фойдаланилади.

Кабель мойи бир неча навда ишлаб чиқарилиб, унинг асосини нефть маҳсулоти ташкил этади. Бундай мой шимдирилган қоғоз ўзидан иссиқликни яхши тарқатади ва изоляциянинг электр мустақамлиги анча кўтарилади. Кабель мойининг ана шу хоссалари ундан катта қувватга эга, юқори кучланишли кабель ишлаб чиқаришда фойдаланиш имконини беради. Кабель мойларининг чақнаш температураси ва қовушоқлигининг нисбатан юқорилиги уни бошқа мойлардан ажратиб туради. 8-жадвалда баъзи кабель мойларнинг физик ва кимёвий хоссалари келтирилган.

8-жадвал

Нефть асосидаги баъзи кабель мойларининг физик ва кимёвий хоссалари

Кўрсаткичлар	Мойнинг нав			
	С-220	МН-4	КМ-25	МВ
Зичлиги кг/м^3	840	< 900	> 900	860
Кинематик қовушоқлиги, $10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$	800	40	—	150
Алангаланиш температураси, $^\circ\text{C}$	180	135	225	95
Қотиш температураси, $^\circ\text{C}$	-30	-45	-10	-70
$tg \delta$ (50 Гц, $t=100^\circ\text{C}$)	0,002	0,003	0,005	0,005
ϵ_r	2,25	2,2	2,15	—
ρ , Ом·м	10^{12}	10^{11}	$2 \cdot 10^{10}$	—
E_m , МВ/м	21	18	15	—

КМ-25 навли кабель мойи иш кучланиши $1 \div 35 \text{ кВ}$ бўлган кабелнинг қоғоз изоляциясини шимдиришда ишлатилади. МН-4 навли кабель мойи эса юқори босимли, катта кучланишли ($110-500 \text{ кВ}$) кабелларнинг махсус каналларини тўлатишда қўлланилади. Қувур ичидан ўтказиладиган, $110-500 \text{ кВ}$ кучланишли юқори босимда ишлайдиган кабелларнинг қувури яхшилаб тозаланган С-220 навли кабель мойи билан тўлдирилади.

Суюқ синтетик диэлектриклар. Нефть маҳсулотидан ишлаб чиқарилган изоляция мойлари ўзининг афзал томонлари билан бирга баъзи камчиликлар (эскириш, чақнаш ва алангаланиш хавфи, портлашдан ҳам ҳоли эмас. Ана шу сабабли шунингдек, юқори қийматли диэлектрик сингдирувчанликка эришиш мақсадида суюқ синтетик диэлектриклар ишлаб чиқарилди. Бунга мисол қилиб, кенг миқёсда қўллаб келинаётган хлорланган углеводородларни олиш мумкин. Турли хил углеводородлар молекулаларидаги водород атоми ўрнига хлор атомини киритиш орқали хлорланган углеводородлар, яъни хлорланган дифенил олинади. Хлорланган дифенил таркибидаги хлор миқдори 43 дан 67% гача оширилса, қуюқ ёки мумсимон модда ҳосил бўлади. Водород атоми ўрнидаги хлор атомларининг миқдори оширилиши натижасида модда қуюқлашиб, зичлиги ортади ва унинг қотиш температураси пасаяди (9-жадвал).

9-жадвал

Баъзи синтетик диэлектрикларнинг физик ва кимёвий хоссалари

Кўрсаткичлар	Трихлордифенил	Совтол-10	Гексол
Зичлиги, кг/м^3	1360	1510	1640
Кинематик қовушоқлиги, $10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$	40 — 70	650	3,5 — 4,0
Қотиш температураси, $^\circ\text{C}$	— 19	— 6	— 60
Иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти, $\text{Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$	0,0363	—	0,15
$tg \delta$ (50°C)	0,015	0,03	0,03
ρ , Ом·м (90°C)	$3 \cdot 10^9$	10^{12}	$13 \cdot 10^{10}$
ϵ_r	5,9	—	2,7 — 2,9
E_m , МВ/м	20	22	18

Ўрта даражада хлорланган пентахлордифенил (совол) қуюқ масса бўлгани сабабли суюлтириш мақсадида унга хлорланган суюқ углеводород қўшилади. Конденсатор мойи суюқ дифенил билан аралаштирилиб, ҳосил бўлган суюқлик қоғозли изоляцияга шимдирилса, конденсаторнинг реактив қуввати ортади, ҳамда ҳажми бирмунча кичраяди.

Совтол-10 нинг таркиби 90% пентахлордифенил ҳамда 10% трихлорбензолдан иборат бўлиб, ундан юқори кучланишли трансформаторларни тўлатишда, шунингдек қаттиқ изоляцияга шимдирилувчи сифатида фойдаланилади.

Гексол кимёвий жиҳатдан барқарор суюқлик бўлиб, таркиби 80% гексахлорбутадиеен ва 20% пентахлордифенилдан иборат. У температура ва чўғ таъсирида чақнаш ёки алангаланиш хусусиятига эга эмаслиги билан ажралиб туради ва жуда паст температурада ҳам қотмайди. Гексол сифати яхши суюқ диэлектрик ҳисобланиб, ундан трансформаторларда изоляция ўрнида фойдаланилади.

Кўриб ўтилган барча дифениллар заҳарли ҳисобланганлиги сабабли, улар билан ишлаш мобайнида техника хавфсизлиги чоралари кўрилиши лозим.

Кремний-органик (КО) суюқликлар заҳарли бўлмай, экологик жиҳатдан хавфсиз бўлгани сабабли улар электротехникада кенг миқёсда қўлланилмоқда. КО суюқликлар гигроскопик эмас ҳамда юқори температурага бардошлидир. Бу суюқликларга полиорганосилоксан полиэтилсилоксан, полифенилсилоксан ва бошқа суюқликлар киради (10-жадвал). Полиорганосилоксан (161-123, 161-45 навли) импульсли трансформатор, махсус конденсатор, радио ва электрон аппаратларида қўлланилмоқда.

10-жадвал

Баъзи кремний-органик суюқликларнинг физик ва кимёвий хоссалари

Кўр. атиқчилар	ПМС-0	ПМС-10	ПЭС-3	ФМ-5	161-123	161-45
Зичлиги, кг/м ³	942	914	960	914	1080	1145
Қотиш температураси, °С	-65	-60	-70	-110	-100	-90
Динамик қовушоқлиги, 10 ⁻⁶ м ² /с	10	60	15	16	18	55
ϵ_r	2,6	2,6	2,4	2,8	5,4	5,8
$\operatorname{tg} \delta$	0,0002	0,0002	0,0003	0,002	0,02	0,01
ρ , Ом·м	$2 \cdot 10^{12}$	$2 \cdot 10^{12}$	10^{11}	10^{11}	$5 \cdot 10^{10}$	$4 \cdot 10^{11}$
E_m МВ/м	14	18	18	14	—	—
Иссиқлик ўтказувчанлик коэф. фициенти, Вт/м·°С	0,0138	0,154	0,138	0,135	0,115	0,127

Хлор-фтор-углеродли ва фтор-углеродли суюқлик молекуларида водород атоми ўрнини хлор ва фтор атомлари қисман ёки тўлиқ эгаллайди. Фтор-органик суюқликларда $\operatorname{tg} \delta$ қиймати жуда кичик бўлиши билан бирга, юқори даражали температурага чидамлиги сабабли, уни 200°С ва ундан юқори температурада ишлатиш мумкин. Бу суюқликнинг сирт таранглик кучи ва қовушоқлиги нисбатан кичикдир. Фтор-органик суюқлик учувчан бўлганлиги сабабли у билан тўлатилган электр аппаратини яхшилаб зичлаш талаб этилади. Бу суюқ диэлектрик ёрдамида чулғамлар ва магнит ўтказгичлардан ажралиб чиққан иссиқлик атрофга тез ва яхши тарқатилади.

Электротехника ускуналарига қўйиладиган фтор-органик суюқлиги (хладон) ток ўтаётган сим ва чулғамдан ажралиб чиқаётган иссиқлик таъсирида буғланиб, иссиқликни ютади, сўнгра совиткичда конденсацияланиб, яна асосий системага суюқ ҳолда қайтади. Натижада ускуна бўшлиқларида катта бокамлиги ортади. Ҳаво таркибидаги фтор-органик суюқлик буғлари портлаш хавфини туғдирмайди. Суюқ ҳолатда бу диэлектрик деярли ёнмайди. Юқори диэлектрик сингдирувчанлик мисол қилиб нитробензол ($\text{H}_5\text{C}_6-\text{NO}_2$) синтетик суюқликларга $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$), цианоэтилсахароза ($\text{C}_{38}\text{H}_{46}\text{N}_8\text{O}_{11}$) каби суюқ-

ликларни келтириш мумкин. Электр майдони таъсирига чидамли, ўзида электр қувватини жуда кам исроф этадиган синтетик углеводородли қутбсиз суюқликларга *полиизобутилен*, *полибутилен* ва *алкилбензол* мисол бўла олади. Агар конденсаторнинг қоғоз изоляцияси полиизобутиленга шимдирилса, конденсаторнинг зарядланиш вақти кескин ортади.

Октол суюқлигининг зичлиги 860—875 кг/м³, алангаланиш температураси 138—165°С, диэлектрик хоссалари: $\epsilon_r = 2,2-2,3$; $\operatorname{tg} \delta = 10^{-4} - 10^{-3}$. Бу суюқликлар асосида тайёрланган қоғозли конденсаторнинг хизмат муддати нефт мойи асосида тайёрланган конденсаторга нисбатан 1,8—2,3 баробар юқоридир. Октолнинг вазелин билан аралашмаси қоғозли конденсаторларда қўлланилганда конденсаторнинг хизмат муддати бошқа шимдирилган суюқликли конденсаторларга нисбатан 20—40 баробар юқори бўлади.

6.4. Органик диэлектриклар

Электротехника, радиотехника, электроника ва халқ хўжалигининг бошқа соҳаларида полимерлардан кўп сонли турли хил маҳсулотлар ишлаб чиқарилади.

Юқори молекуляр бирикмаларнинг юзта, мингта ва ундан кўп атомларнинг ўзаро ковалент боғланишидан вужудга келган молекуласи *макромолекула* дейилади. Аксарият табиий ва синтетик полимерларнинг макромолекулалари такрорланган бир хил атомлар группаси — элементар ҳалқалардан ташкил топади. Бундай макромолекулага эга бирикмалар *полимерлар* деб аталади. Полимерларни синтез қилишда ишлатиладиган қуйи молекуляр бирикмалар *мономерлар* дейилади.

Диэлектриклар ичида юқори молекулали органик материаллар алоҳида аҳамиятга эгадир. Таркибида углерод моддаси бўлган бирикмалар органик моддалар деб аталади. Углерод молекулаларининг тузилиши турли-тумандир. Бу молекулалар кўп сонли кимёвий бирикмалар ҳосил қилади: молекула тузилиши бўйича улар занжирли, тармоқланган, доирасимон ва бошқа шаклларда бўлиши мумкин. Юқори молекулали материалларга целлюлоза, шойи, каучук ва бошқалар киради.

Сунъий равишда олинандиган юқори молекуляр материаллар икки туркумга ажратилиши мумкин. Биринчисига табиий юқори молекуляр моддаларга кимёвий ишлов бериш йўли билан тайёрланадиган сунъий материалларни келтириш мумкин. Масалан, целлюлозани қайта ишлаш орқали целлюлоза эфирин олинади. Иккинчи туркумга паст молекуляр моддалардан тайёрланадиган юқори молекуляр синтетик материаллар кириб, улар электр изоляциясида алоҳида аҳамиятга эгадир.

Реакция натижасида мономерлардан полимерлар ҳосил бўлиши *полимерлаш* дейилади. Полимерлаш натижасида модданинг молекуляр массаси, суюқланиш ва қайнаш температураси ортади; полимерлаш жараёнида модда газ ёки суюқ ҳолатдан, қуюқ, ёки қаттиқ ҳолатга ўтади.

Полимерлар асосан чизиқли ва фазовий полимер гуруҳларига бўлинади. Чизиқли полимер молекулаларининг тузилиши занжир ва тола кўринишида бўлади. Табiiй каучуқ, полиэтилен, силоксан каучуклари чизиқли полимерларга мисол бўлади. Фазовий (ёки тармоқланган) полимер молекулалари учала координата ўқлари бўйича текис жойлашиб, ихчам тузилишга эга қайтарилувчи гуруҳлардан ташкил топади. Чизиқли ва фазовий полимерлар хоссалари жиҳатидан бир-биридан кескин фарқ қилади. Чизиқли полимерлар эгилувчан ва қайишқоқ бўлиб, температура таъсирида уларнинг кўпчилиги аввал юмшаб, сўнгра эрийди. Фазовий полимерлар эса эримайдиган қаттиқ ҳолатда бўлиб, уларга температура таъсир эттирилганда кимёвий емирилиш содир бўлади.

Полимерларнинг *термопластик* ва *термореактив* турлари бўлади (11-жадвал). Термопластик (пластик) полимерлар қизитилганда юмшаб, осонгина деформацияланади; эритувчи таъсирида эса улар осон эрийди, температура таъсирида электр хоссаларини деярли ўзгартирмайди. Термореактив (реактопласт) полимерлар қизитилганда қаттиқ (механик мустаҳкам) ҳолатга ўтиб, эгилувчанлик ва эрувчанлик хусусиятларини йўқотади. Температура таъсирида ушбу материаллар фазовий полимерларга ўхшаш тузилишга эга бўлади.

Сўнги йилларда иссиқлик таъсирига чидамли термопластик материаллар (полиимид, политетрафторэтилен) ишлаб чиқарилган бўлиб, улар юқори ҳароратда ишлай олиш хусусиятига эгадирлар.

Табiiй қатрон

Табiiй қатрон ўсимлик ва биоген бирикмалардан ташкил топган органик моддадир. Тропик ўсимликларда табiiй қатрон кўп бўлади. У паст температурада аморф ҳолатда бўлиб, қизитилганда аввалига юмшаб, пластик, сўнгра эса суюқ ҳолатга ўтади. Электротехникада ишлатиладиган табiiй қатронлар сувда эримайди, аммо спиртда, эфирда ва ўзи билан кимёвий табиати бир хил бўлган органик эритувчиларда яхши эрийди. Ҳосил бўлган эритма қуритилганда юпқа парда ҳосил бўлади. Табiiй қатрон ёпишқоқ бўлиб, суюқ ҳолатдан қаттиқ ҳолатга ўтишида жисм юзасига мустаҳкам ёпишади. Бу материал лок, компаунд, пластик масса, сунъий ёки табiiй толасмон материалларнинг таркибий қисми бўлиб хизмат қилади.

Шеллак — тропик дарахт қумурсқалари (гуммилак) маҳсулидир. Шеллак тангасимон кўринишли, рангли (оч сариқдан кўнғир тусгача), спирт, ацетон ва эфирда яхши эрийди. У эритилган ҳолатда канифоль, копал, глифтал, битум ва новолак билан яхши бирикади. Шеллакнинг зичлиги $1000-1040 \text{ кг/м}^3$, чизиқли кенгайиш коэффициенти $4,4 \cdot 10^{-4}$... $9 \cdot 10^{-5}$ га тенг. Унинг диэлектрик хоссалари қуйидагича: $\epsilon_r = 3,5$; $\text{tg } \delta = 0,01$
 $\rho = 10^{12} - 10^{14} \text{ Ом} \cdot \text{м}$; $E_m = 20-30 \text{ МВ/м}$.

11-жадвал

Синтетик қатронларнинг айрим хоссалари

Номи	Кимёвий табиати	Зичлиги, кг/м^3	Қузилишдаги мустаҳкамлик, МПа	Иссиқлик ўтказиш коэффициенти, $\text{Вт/м} \cdot \text{К}$	ρ , Ом·м	ϵ_r	E_m , МВ/м
Полиэтилен	термопластик	918 — 968	10 — 15	0,30 — 0,40	10^8 — 10^{10}	2,3 — 2,4	15 — 20
Полистирол		1020 — 1390	35 — 60	0,10	10^{14} — 10^{15}	2,4 — 2,1	20 — 35
Политетрафторэтилен		2150 — 2240	15 — 30	0,23	10^{15} — 10^{18}	1,9 — 2,1	20 — 30
Поливинилхлорид	термореактив	1350 — 1460	30 — 50	0,10	10^{13} — 10^{14}	3,0 — 5,0	15 — 20
Полиметилметакрилат		1180 — 1220	40 — 70	0,11 — 0,18	10^{11} — 10^{12}	3,5 — 4,5	20 — 35
Полиамид		1100 — 1160	70 — 90	0,30	10^{11} — 10^{12}	3,0 — 4,0	15 — 20
Эпоксидли		1100 — 1250	80 — 90	0,20	10^{12} — 10^{13}	3,0 — 4,0	20 — 80
Фенолформальдегили		1250 — 1300	50 — 60	0,13 — 0,25	10^{11} — 10^{12}	5,0 — 6,0	10 — 20
Полиэфирли	1060 — 1470	30 — 70	0,30	0,30	10^{11} — 10^{14}	3,0 — 4,5	15 — 25
Кремнийорганикли	1600 — 1750	20 — 45	0,08	0,08	10^{12} — 10^{14}	3,5 — 5,0	15 — 25

Шеллакдан қопловчи ёки елимловчи локлар тайёрланиб, кўпинча, ундан электр асбобларининг қисмларини локлашда фойдаланилади.

Канифоль — тўқ сариқ рангли мўрт модда бўлиб, даракт елимидан ажратиб олинади. Канифоль спирт, бензин, бензол, скипидар, ацетон, нефть ва ўсимлик мойларида осонгина эрийди, сувда эса мутлақо эримайди. Унинг диэлектрик хоссалари куйидагича: $\epsilon_r = 2,8$; $\operatorname{tg} \delta = 0,003$; $\rho = 10^{13} - 10^{14}$ Ом·м; $E_m = 10 - 15$ МВ/м.

Электр изоляциясида канифоль лок ва компаунд тайёрлашда, қатрон таркибида ва юқори кучланишли кабеллар учун нефть мойига қўшимча сифатида ишлатилади.

Қаҳрабо — оч сариқ-қўнғир тусли ўсимлик маҳсулидир. Қаҳрабонинг зичлиги $1050 - 1096$ кг/м³, юмшаш температураси $175 - 200^\circ\text{C}$. Унинг диэлектрик хоссалари: $\epsilon_r = 2,8$; $\operatorname{tg} \delta = 0,001$; $\rho = 10^{15}$ Ом·м; $\rho_s = 10^{17}$ Ом. Бу қатрон скипидар, бензин ва мойларда яхши эрийди. Қаҳрабо қиммат бўлганлиги сабабли, ундан фақат махсус ўлчов асбобларида ва катта қаршиликлар ишлаб чиқаришда фойдаланилади.

Сунъий қатронлар

Полиэтилен унча тиниқ бўлмаган қаттиқ термопластик материалдир. Унинг механик ва диэлектрик хоссалари 12-жадвалда келтирилган. Полиэтилен, намга, агрессив кимёвий муҳитга чидамли қайишқоқ материал ҳисобланади.

12-жадвал

Полиэтиленнинг асосий механик ва физик хоссалари

Курсаткич	Юқори босимли	Паст босимли	Уртача босимли
Зичлиги, кг/м ³	918 - 930	954 - 960	960 - 968
Мустаҳкамлиги, МПа: чўзилишда	10 - 17	18 - 45	18 - 40
эгилишда	17 - 20	20 - 40	25 - 40
сиқилишда	14 - 17	20 - 36	20 - 37
Нисбий чўзилиш, %	15 - 20	10 - 12	5 - 8
ρ , Ом·м	10^{15}	10^{15}	10^{15}
ρ_s , Ом	10^{15}	10^{15}	10^{15}
ϵ_r (1 МГц)	2,2 - 2,3	2,2 - 2,4	2,3 - 2,4
$\operatorname{tg} \delta$	(2 - 3) 10^{-4}	(2 - 4) 10^{-4}	(2 - 4) 10^{-4}
E_m , МВ/м	45 - 55	45 - 55	45 - 55
Эриш температураси, $^\circ\text{C}$	103 - 110	124 - 132	128 - 135
Сув ютиши (30 сутка), %	0,02	0,005	0,01
Иш температураси, $^\circ\text{C}$	90	90	90

Полиэтилен нормал шароитда қисман кристалл ҳолда бўлиб, температура оширилганда унинг аморф ҳолатга ўтиши орта боради. Бу полимер заҳарли эмас, температура таъсирида ўзаро яхши бирикади. Агар полиэтиленга юқори температура ва ультрабинафша нурлари таъсир эттирилса, материал оксидланиб, унинг диэлектрик ва механик хўсусиятлари ёмонлашади.

Ушбу таъсири камайтириш мақсадида материалга антиоксидант (ароматик аминлар, алкилфенол, фосфит) ва ёруғлик стабиллизаторлари (қурум) қўшилади.

Полиэтилен юқори кучланишли кабель ва конденсатор изоляцияларида турли хил қопламалар олишда, радио аппаратлари ва бошқа ускуналарда ишлатилади. Агар полиэтиленга юқори қувватли нур таъсир эттирилса, унинг иш температураси кўтарилиб, диэлектрик ва механик хоссалари анча яхшиланади. Полиэтилен ўтказувчи материаллар юзасига экструзия усули билан қопланади. Бу жараён махсус экструдер (босимли машина) ёрдамида амалга оширилади. Полиэтилен таркибига порофор қўшилиши натижасида ғовак модда пенополиэтилен ҳосил бўлади. Бунда материал зичлиги $400 - 500$ кг/м³, диэлектрик сингдирувчанлиги эса $1,4 - 1,5$ гача, яъни салкам 2 барабар пасаяди. Бу эса пенополиэтиленни радио тўлқинида ишлайдиган электр асбоб-ускуналарни изоляциясида қўллаш имконини беради. Пенополиэтилен олис масофаларга мўлжалланган алоқа ва юқори частотали кабель изоляцияларида ҳам ишлатилади.

Полипропилен термопластик полимер бўлиб, унинг зичлиги $920 - 930$ кг/м³, совуққа чидамлилиги $-5 - 25^\circ\text{C}$, диэлектрик хоссалари: $\epsilon_r = 2,0$; $\operatorname{tg} \delta = 0,0003$; $\rho = 10^{12} - 10^{15}$ Ом·м; $\rho_s = 10^{16}$ Ом; $E_m = 30 - 35$ МВ/м. Соф полипропилен полиэтилен каби зарарсиздир. Ундан электр ва радиотехникада изоляция материали сифатида фойдаланилади. Полипропилендан тола, плёнка, пенопласт ва бошқа пластмасса маҳсулотлари олинади. Полипропиленнинг полиэтилен билан бирикмаси полиэтиленга нисбатан механик мустаҳкамроқ, қайишқоқроқ, ёруғликка ва иссиқликка бардошлироқ бўлиб, жуда паст даражали совуқ муҳитда ҳам ишлай олиш қобилиятига эгадир.

Полистирол шаффоф аморф полимер бўлиб, турли рангларга осон бўялади. Полистирол стиролни полимерлаш орқали ҳосил қилинади. Унинг зичлиги 1050 кг/м³, иш температураси $-60 - 75^\circ\text{C}$, диэлектрик хоссалари: $\epsilon_r = 2,5 - 2,7$; $\operatorname{tg} \delta = 0,0002 - 0,0009$; $\rho = 10^{15}$ Ом·м. Полистирол ўзинга нам ютмайди ва -40°C га қадар ўз хоссаларини яхши сақлайди. Ундан электр конденсаторлари учун плёнкалар, кабель изоляцияси учун толалар тайёрланади.

Поливинилхлорид аморф полимер бўлиб, зичлиги $1350 - 1430$ кг/м³, диэлектрик хоссалари: $\epsilon_r = 3,1 - 3,5$; $\operatorname{tg} \delta = 0,02$; $\rho = 10^{13} - 10^{15}$ Ом·м; $E_m = 35$ МВ/м. Бу материал бензол, керосин, эфир ва нефтдан олинган бошқа мойларнинг таъсирига чидамли бўлиши билан бирга, деярли ёнмайди. Температура ортиши натижасида поливинилхлориднинг диэлектрик ва механик хоссалари ёмонлашади. У, асосан, қаттиқ ва қайишқоқ ҳолатда ишалб чиқарилади. Қаттиқ поливинилхлорид винилпласт деб номланиб, ундан конструкция материали сифатида фойдаланилади. Қайишқоқ ҳолатдагиси поливинилхлорид пластикати деб аталади. Унинг зичлиги $1150 - 1360$ кг/м³, иш

температураси $+105^{\circ}\text{C}$, солиштирма қаршилиги $\rho = 10^{10} - 10^{12}$ Ом·м бўлиб, юқори кучланишли кабель ва алоқа симларининг изоляцияси вазифасини бажарди. Юқори температура, ёруғлик ва нам таъсирга чидамлик хусусиятлари поливинилхлорид пластикатини алоқа кабелларининг устки қопламасида ишлатиш имконини беради.

Полиакрилат қаттиқ, қайишқоқ ва мустаҳкам материал бўлиб, мой, ишқорлар таъсирига ва совуққа чидамдир. Полиметилметакрилат (плексиглас, органик шиша) полиакрилат асосидаги энг кенг тарқалган материал бўлиб, унинг зичлиги 1180 кг/м^3 , диэлектрик хоссалари: $\epsilon_r = 3,0 - 3,6$; $\text{tg } \delta = 0,02$; $\rho = 10^{14}$ Ом·м; $E_m = 25 \text{ МВ/м}$. Полиметилметакрилат кислота ва ишқорли эритмаларга чидамли, сувни ўзига деярли сингдирмайди. У осон пайвандланувчан материалдир. Бу материал ёй разряди таъсирида ўздан кўп миқдорда газ ажратиши туфайли ҳосил бўлган юқори босимли газдан ёй разрядини сўндиришда фойдаланилади. Ана шу хусусиятлар полиметилметакрилатни юқори кучланишли включателларда қўллаш имконини беради. Бу материал электротехника ва радиотехника соҳасида конструкция ва изоляция материаллари сифатида кенг қўлланилмоқда.

Политетрафторэтилен — оқ рангли термопластик полимер бўлиб, кислота ёки ишқорларда эримайди, сувни ўзига сингдирмайди. Ушбу полимернинг юқори иш температураси бошқа полимерларга қараганда анча баланд ($+250^{\circ}\text{C}$) дир.

Барча диэлектриклар ичида политетрафторэтилен (фторопласт-4) энг яхши диэлектрик хоссаларга эга бўлиб, бу хоссаларни $-60^{\circ}\text{C} \div +250^{\circ}\text{C}$ оралиғида деярли ўзгартмайди. Бу материал ташқи таъсирга жуда чидамли. Политетрафторэтиленнинг зичлиги $2150 - 2240 \text{ кг/м}^3$, чўзилишга бўлган мустаҳкамлиги $14 - 25 \text{ МПа}$, қуйи иш температураси -80°C . Унинг диэлектрик хоссалари: $\epsilon_r = 1,9 - 2,2$; $\text{tg } \delta = 0,0002$; $\rho = 1,2 \cdot 10^{16}$ Ом/м; $\rho_s = 10^{17}$ Ом; $E_m = 25 - 27 \text{ МВ/м}$ га тенг. Политетрафторэтилен пластмассалар ичида кимёвий таъсирга энг чидамлиси бўлиб, радио аппаратлари, кабеллар, конденсаторлар изоляциясида, симларни қоплашда ва изоляция учун плёнка олишда қўлланилади.

Полиамид қаттиқ, эриш температураси юқори бўлган полимер бўлиб, яхши механик хоссаларга эга; эритувчиларга анчагина чидамдир. Айрим полнамидларнинг хоссалари 13-жадвалда келтирилган. Полиамиднинг яхши механик хусусиятлари уни электр аппарати, сим ва кабелларда ишлатиш имконини беради. Бу материалдан ҳимоя қопламаси олишда, изоляция локлари тайёрлашда, сим, электр машина ва аппарати чулғамлари сиртига изоляция қопламаси беришда, плёнкалар тайёрлашда фойдаланилади. Полиамид асосида локланган шиша материалларининг электр мустаҳкамлиги 40 МВ/м , диэлектрик сингдирувчанлиги $3,5$, диэлектрик исроф бурчагининг тангенси $0,006$. Ҳозирги пайтда полиамид плёнкалари елимловчи қатлам

билан ишлаб чиқарилмоқда. Бу плёнка сим юзасига ўралганда унинг сиртида изоляция қопламаси ҳосил бўлади.

13-жадвал

Полиамиднинг айрим физик ва кимёвий хоссалари

Курсагич	Найлон 66	Капрон	Энант	Уидекан
Зичлиги, кг/м^3	1140	1150	1130	1100
Чўзилишдаги мустаҳкамлиги, МПа	80	60 - 80	—	60 - 80
Нисбий чўзилиши, %	80 - 100	25 - 320	100 - 200	90 - 120
ρ , Ом·м	$4 \cdot 10^{11}$	$10^{11} - 10^{12}$	$2 \cdot 10^{12}$	10^{12}
$\text{tg } \delta$	0,04	0,06 - 0,1	0,02	0,02 - 0,03
E_m , МВ/м	20 - 22	22	—	3,2
ϵ_r	4,6	5,0 - 14,0	4,4	—
Эриш температураси, $^{\circ}\text{C}$	264	220	223	185

Фенолформальдегид қатрони таркибда қутбли молекулалар бўлгани сабабли, унинг диэлектрик хоссалари: $\epsilon_r = 5 - 6$; $\rho = 10^{10} - 10^{12}$ Ом·м; $\text{tg } \delta = 0,05 - 0,1$; $E_m = 10 - 14 \text{ МВ/м}$ дан иборат. Фенолформальдегид асосидаги қатрон электр аппарати ва машиналари ишлаб чиқаришда кенг қўлланилмоқда. Ундан турли конструкцияли изоляция материаллари, ўзақлар, қуйма ёки прессланган материаллар ишлаб чиқаришда фойдаланилади. Фенолформальдегид қатрони термопластик да термореактив усулларда тайёрланади. Термореактив усулда ва термореактив қатронга мисол қилиб бакелитни келтириш ҳосил қилинган қатронга мисол қилиб бакелитни келтириш мумкин. Бу қатроннинг механик мустаҳкамлиги юқори ва қайишқоқлиги пастдир. Бакелит, асосан, ёғоч ва бошқа матери-алларда шимдирувчи сифатида, шунингдек, гетинакс, текстолит каби пластик массалар тайёрлашда ишлатилади. Унинг асосий камчилиги электр разряди таъсирига чидамсизлигидир. Термопластик қатронга мисол қилиб новолакни олиш мумкин. Бу қатрон қиздирилганда юмшаб, $100 - 120^{\circ}\text{C}$ да суюқланади. Новолак пластик масса ишлаб чиқаришда кенг қўлланилади. У этил спирти, ацетон ва бошқа органик эритувчиларда осон эрийди.

Полиэфир қатрони турли хил кислота ва спиртларга ишлов бериш орқали олинади. У яхши электр изоляция ва механик хоссаларга эга. Полиэфир қатрони атмосфера, мой ва бензин таъсирига чидамли, намликни ўзига яхши сингдиради, температура таъсир этиши натижасида электр характеристикалари ўзгартиради. Бу камчиликлар полиэфир қатронларини модификациялаш орқали йўқотилади.

Полиэтилентерефталат (лавсан) термопластик полимер бўлиб, мураккаб полиэфир маҳсулидир. Унинг чўзилишдаги механик мустаҳкамлиги 170 МПа , эриш температураси 265°C , диэлектрик хусусиятлари қуйидагича: $\epsilon_r = 3,1 - 3,2$; $\rho = 10^{15}$ Ом·м; $\text{tg } \delta = 0,003$; $E_m = 180 \text{ МВ/м}$. Полиэтилентерефталат

қайишқоқ, температура таъсиринга чидамли, кўпгина эритувчиларга бардошли материалдир. Электротехникада ундан плёнка, тола ва синтетик қоғоз олинади.

Эпоксид қатрони таркиби бўйича диан (бисфенол) ва циклоалифатик турларга бўлинади. Циклоалифатик турдаги эпоксид қатрони диан турдагисига нисбатан учқун ва тож электр разрядларига чидамлилиги билан фарқ қилади. Диан қатрони суюқ ва қаттиқ ҳолатда турли молекуляр массаларда олинади. Унинг юмшаш температураси 100°C дан юқори. Соф ҳолатдаги эпоксид қатрони термопластик модда бўлиб, бу хоссасини узоқ вақт сақлай олади. У ацетон ва эритувчиларда яхши эрийди. Ушбу қатронга қотирувчи модда қўшиб аралаштирилса, аралашма полимерланиши натижасида тезда қотади. Шунинг учун қотирувчи модда эпоксид қатронига фақат ишқали олинган маҳсулот терморезистив материал ҳисобланади. Бундай материал асосида тайёрланадиган детал ёки конструкцияларни катта ҳажмда олиш мумкин. Қотирувчи модданинг турига қараб эпоксид қатрони хона температурасида (20°C) ёки қизитиш ($80\text{—}150^{\circ}\text{C}$) орқали қотирилади. Эпоксид қатронини хона температурасида полимерлаш учун таркибида азот бирикмалари (аминлар) бўлган қотирувчилар олинади. Юқори температурали қотирувчилар сифатида эса органик кислота диган компаунднинг қайишқоқлик, иссиққа чидамлик ва бошқа хоссаларини яхшилаш учун унинг қотирувчисини тўғри танлаш керак.

Кремний-органик (КО) полимерлар юқори молекуляр бирикмалардан ташкил топиб, унинг таркибига углероддан ташқари кремний ҳам кирди. Макромолекулаларининг тузилиши бўйича КО полимерлар чизиқли ва фазовий (тўрсимон) бўлади. КО полимерлар қўлланилиши ва хусусиятлари жиҳатидан қуйидаги (1. суюқ, 2. қайишқоқ, 3. терморезистив) КО қатрон бири узоқ муддат юқори температурада (180°C) ишлай олишидир. КО полимери яхши диэлектрик хоссага эга бўлган, совуқлик ва намлик таъсиринга чидамли эластик материалдир. Суюқ ҳолатдаги ушбу полимернинг диэлектрик хоссалари: $\epsilon_r = 2,4\text{—}2,7$; $\text{tg } \delta = 0,0001\text{—}0,0002$; $\rho = 10^{13}$ Ом·м. КО қатрони *резина ёки эластомер* деб, вулканизациялангани эса *каучук* деб аталади. Бундай каучук ўз эластиклигини юқори температурада ($t = 250^{\circ}\text{C}$) ҳам сақлайди.

КО суюқликлар махсус трансформатор изоляциясида ишлатилади, КО каучугидан эса симларнинг юзасини изоляциялаш мақсадида фойдаланилади. КО резина иш температура-си юқори бўлган сим ва кабель изоляциясида қўлланилади. Бундай резина 65°C даражали совуққа бемалол бардош беради. КО терморезистив қатронига эритувчи ва тезлатувчи қў-

шимчалар қўшиш натижасида лок ёки сирлар олинади. Бундай лок ва сир электр моторидаги сим чулғамларини шимдириш ва шу каби ишларда қўлланилади.

Целлюлоза

Целлюлоза юқори молекулали чизиқли полимер бўлиб, ёғочга ишлов бериш орқали олинади. Целлюлоза юқори молекуляр массага эга. Целлюлоза таркибида қутбли гидроксил группа бўлганлиги сабабли у қутбли полимер ҳисобланади. Мазкур полимернинг диэлектрик хоссалари қуйидагича: $\epsilon_r = 6,5\text{—}7,0$; $\text{tg } \delta = 0,005\text{—}0,01$. Электротехникада изоляция материали сифатида кўпгина целлюлоза материаллардан фойдаланилади. Улардан электр машинаси ва трансформаторлар учун турли хил изоляция материаллари ёки конструкция деталлари ишлаб чиқарилади. Целлюлоза асосида олинган қоғоз эса юқори кучланишли кабел, телефон кабел, трансформатор ва конденсаторлар изоляциясида ишлатилади.

Целлюлоза ацетати яхши тозаланган пахта целлюлозасидан олинади. Бу материалнинг метилхлориддаги эритмасидан тола ва плёнка олинади. Уларга эгилувчанлик хусусиятини бериш мақсадида эритмага пластификатор (дибутилфталат) қўшилади.

Триацетат плёнкаси, одатда, электр машинасининг паз изоляциясида қўлланилади.

Нитроцеллюлоза локи паст кучланишли симларнинг изоляциясида ишлатилади. Этилцеллюлоза ноёб хоссаларга эга бўлганлиги сабабли, ундан кабель саноатида сим усти ва тола юзасига қоплама беришда фойдаланилади.

Тўқимачилик материаллари

Тўқимачилик материаллари таркиби толалардан иборат хом ашёга махсус ишлов бериш орқали олинади. Электр изоляциясида тола сим ва шнур юзасига ўраб ёки тўқиб чиқилади. Электр машина ва аппаратларининг асосий изоляциясини ташқи механик таъсирдан ҳимоя қилишда ҳам тасма ва газлама мато-лар ишлатилади.

Тола диаметри цилиндрсимон бўлмагани сабабли, унинг қалинлигини аниқлашда рақамлаш усулидан фойдаланилади. Тола рақами тола узунлигининг унинг массасига нисбати орқали аниқланади. Демак, тола рақами қанча катта бўлса, тола шунча ингичка бўлади. Агар бир неча толалар бирлаштириб тўқилса, тўқима қалинлиги каср сонда ($75/3$) кўрсатилиб, унинг суратида тола рақами, махражида эса тола сони кўрсатилади.

Толасимон материаллар зичлиги $920\text{—}2500$ кг/м³ атрофида бўлиб, унинг қуйи чегараси полиэтиленга, юқори чегараси эса асбест ва шиша материалларига хосдир. Электротехникада қўлланиладиган газламаларга мисол қилиб шифон (қалинли-

ги 0,15 мм), батист (0,12 мм) ва бўз (0,40 мм) ни олиш мумкин.

Электр машина изоляциясида, кабелларда ва электр ускуналарини ремонт қилишда кипер, миткал ва батист тасмалари ишлатилади. Бу тасмаларнинг эни 10 мм бўлиб, қалинлиги кипер тасмасида 0,45 мм, миткал ва батистда — 0,12 мм қилиб олинади.

Табиий шойи толасининг ташқи қисми ипак елими серици билан қопланган бўлади. Изоляцияда ишлатиладиган ипак толаси серици ва бошқа минерал қўшимчалардан тозаланади. Табиий шойи толалари жуда ингичка бўлиб, сим юзаларига қоплама сифатида ишлатилади. Бу материал яхши диэлектрик хоссага ва мустаҳкамликка эга. Табиий ипак газламаларига лок шимдириш орқали механик ва электр мустаҳкамлиги юқори бўлган материаллар олинади. Бундай шойи тўқималаридан шойи-слиуда тасмалари ишлаб чиқарилади. Изоляцияда ишлатиладиган шойи газламаларининг қалинлиги 0,07—0,08 мм бўлиб, улардан жуда юпқа изоляция қатлами тайёрланади. Шойи ишлаб тайёрланган изоляция юпқалиги ва нафислиги билан ажралиб туради.

Синтетик тола ва улардан олинган турли материаллар электротехникада триацетат шойиси, капрон, лавсан номин билан танишдир.

Триацетат шойиси асосан триацетат целлюлозаси эритмасидан тайёрланадиган толалардан ишлаб чиқарилади. У сим ва кабелларнинг изоляциясида ишлатилади. Капрон газламаси капрон толаларидан тайёрланади, лавсан газламаси эки тасмаси полиэтиленерефталатдан олинандиган лавсан толаларидан тайёрланади. Бу газламадан, ўз навбатида, миткал ва батист деб номланган тасмалар тайёрланади. Мазкур тасмаларнинг эни 15—30 мм, қалинлиги 0,14—0,16 мм бўлиб, улар қайишқоқлиги ва механик мустаҳкамлиги билан илгаригиларидан фарқ қилади.

Ўсимлик мойлари

Ўсимлик мойлари турли ўсимлик уруғларидан олинади. Электротехникада ёруғлик, иссиқлик, кислород ва бошқа таъсирлар остида қотадиган ўсимлик мойлари катта аҳамиятга эгадир. Бирор-бир мато эки қаттиқ жисм юзасига юпқа суртилган мойнинг қуриши натижасида қаттиқ, ялтироқ ва жисмга яхши ёриққан қоплама ҳосил бўлади.

Мойларни қуришни тезлиги ҳароратни ошириш, ёруғлик таъсир эттириш эки бирор турдаги катализатор (сиккатив) қўйиш орқали амалга оширилади. Қурийдиган мойлар кимёвий таркиби бўйича глицерин эфири ва органик кислоталардан ташкил топади. Энг кенг тарқалган қурийдиган мойларга *зиғир* ва *тунг мойи* мисол бўлади. *Зиғир* мойининг зичлиги 930 кг/м³, қотиш температураси — 20°С га тенг. *Тунг мойи* заҳарли бўлиб, зичлиги 940 кг/м³, қотиш температураси — 5°С.

У ўзининг тез қотиши ва нам ютмайдиган анча қалин қатлам ҳосил қилиши билан ажралиб туради. Ушбу мойлар электротехникада, асосан, лок ва локланган газмоллар тайёрлашда ва ёғоч материалларни шимдиришда ишлатилади.

Қанакунжут мойи ҳам ўсимлик уруғидан олиниб, унинг зичлиги 950—970 кг/м³, қотиш температураси — 10÷—18°С, диэлектрик хоссалари: $\epsilon_r = 4,0—4,5$; $\operatorname{tg} \delta = 0,01—0,03$; $E_m = 15—20$ МВ/м. Бу мой этил спиртида эрийди. Ундан қоғозли конденсаторларни шимдиришда фойдаланилади.

Битумлар

Битум — мураккаб углеводород бирикмаларидан иборат бўлган, қора ёки тўқ қўнғир рангли термопластик аморф моддadir. Унинг солиштирама оғирлиги 980—1050 кг/м³. Битум гигроскопик бўлмаган ва ўзига сув сингдирмайдиган материалдир. У бензол ва толуолда осон эрийди, спирт ва сувда эса мутлақо эримайди. Табиий (қазиб олинандиган) битум *асфальт* деб ҳам аталади.

Сунъий битум нефтни қайта ишлаш орқали олинади. Нефдан олинандиган битумларга БН-III, БН-IV, БН-V навли битумлар ҳамда қийин эрувчан битумлар мисол бўлади. Мазкур битумларнинг юмшаш температураси 50 ÷ 125°С ни ташкил этади.

Асфальт яхши электр изоляция хоссасига эга бўлиб, мўрт ва қаттиқдир. Унинг юмшаш температураси 200° С гача етади. Битумларнинг диэлектрик хоссалари қуйидагича: $\epsilon_r = 2,5—3,0$; $\operatorname{tg} \delta = 0,01$; $\rho = 10^{13}—10^{14}$ Ом·м; $E_m = 10—25$ МВ/м. Битумлар, асосан, лок ва компаундлар тайёрлашда ишлатилади.

Мумсимон диэлектриklar

Мумсимон диэлектриklar кристалл тузилиши жиҳатидан қатрон ва битумлардан фарқ қилиб, қаттиқ ҳолатдан суюқ ҳолатга ўтишда ўзининг аниқ температурасига эгадир. Бу материаллардан электр изоляциясида шимилувчи ва қуйилувчи моддалар сифатида фойдаланилади. Улардан фойдаланилганда конденсатор ва бошқа электр асбобларининг конструкцияларини соддалаштириш имкони яратилади.

Мумсимон диэлектриklar намга чидамли бўлгани сабабли, улар қўлланилган конструкцияларни зичлаш (герметизациялаш) талаб этилмайди. Мазкур диэлектриklarнинг асосий камчилиги қотишда улар ҳажмий киришининг нисбатан юқорилигидир (15—20%).

Қутблилиқ даражаси бўйича мумсимон диэлектриklar уч гуруҳга бўлинади: 1) қутбсиз (парафин, церезин); 2) қисман қутбли (полиэтилен, полиизобутилен); 3) қутбли (олевакс).

Полиэтилен ва **полиизобутилен** муми юқори кучланишли кабелнинг қоғоз изоляциясини шимдиришда қўлланилади. Улар

оқ ёки кулранг, солиштира ҳажмий қаршилиги юқори ($\rho = 10^{14}$ Ом·м) диэлектриклардир. Полнэтилен муми шимилувчи кабель мойлари (МН-3, МН-5) таркибида канифоль билан биргаликда, полиизобутилен муми эса МН-4 навли шимилувчи мой таркибида қўлланилади.

Парафин рангсиз, ҳидсиз, кристалл структурали мумсимон модда бўлиб, бензол, нефть мойлари, бензин ва эфирда яхши эрийди. Парафин парафинли нефть дистиллатини қайта ишлаш орқали олинади. Парафиннинг бир нечта тури бўлиб, улар бир-биридан эриш температураси билан фарқ қилади. Парафиннинг эриш температураси қанча юқори бўлса, унинг сифати шунча яхши ҳисобланади. Парафиннинг зичлиги 850—900 кг/м³, эриш температураси 50—62°C, диэлектрик хоссалари: $\epsilon_r = 2,1—2,2$; $\text{tg } \delta = 0,0003—0,0007$; $\rho = 10^{13}—10^{15}$ Ом·м; $\rho_s = 10^{15}—10^{16}$ Ом; $E_m = 20—30$ МВ/м. Сифатли тозаланган парафин нави $B_1—B_4$, ўртача тозаликдагиси T, C ба тозаланмагани H_c, H_b ҳарфлари орқали белгиланади. Парафин конденсатор изоляциясини шимдиришда, унинг черезин билан аралашмаси эса сим ва кабель ўрамларида ишлатилади.

Черезин нефть маҳсулотларидан олиндиб, диэлектрик хусусиятлари жиҳатидан парафиндан устун туради. Черезиннинг эриш температураси 65—85°C, ундан қайишқоқ юпқа қоплама олиш мумкин. Черезин кабель саноатида резина маҳсулотлашори тайёрлашда (резинанинг ёруғлик нурига чидамлилигини оширади) ишлатилади.

Синтетик черезин оч сариқ рангли кристалл структурали модда бўлиб, қоғоз, слюда изоляцияли конденсаторлар тайёрлашда ишлатилади.

Вазелин — қаттиқ ва суюқ углеводородлар аралашмасидан ташкил топган қуюқ моддадир. Унинг диэлектрик хоссалари қуйидагича: $\epsilon_r = 0,0002$; $\rho = 5 \cdot 10^{12}$ Ом·м; $E_m = 20$ МВ/м. Вазелин конденсаторларни тўлатишда ёки уларнинг қоғозли изоляция тасмаларини шимдиришда ёки уларнинг қоғозли

Олевакс — канакунжут мойини гидрогенерация қилиш усули орқали олиндиган яхши диэлектрик хоссали моддадир. Олевакснинг диэлектрик сингдирувчанлиги юқори бўлганлиги сабабли ундан конденсаторлар сифimini оширишда фойдаланилади.

Лок ва компаундлар

Лок табиий ва синтетик қатронлар, битум, қурийдиган мой, целлюлоза эфири ва бошқа бирикмаларнинг коллоид эритмачи моддалар учиб кетади, натижада лок пардаси ҳосил бўлади. Алифатик (бензин, уайт-спирит, керосин) ва ароматик (толуол, ксиллол, сольвент) углеводородлар органик эритувчиларнинг кенг тарқалган хилларидир.

Вазифасига кўра электр изоляция локлари уч гуруҳга (шимилувчи, қопловчи ва елимловчи) бўлинади.

Шимилувчи локлар говак ва толасимон изоляция материаллари (қоғоз, ёғоч, газлама)га шимиллиши натижасида улар ҳажмидаги ҳаво бўшлиқларини сиқиб чиқаради. Лок қуригандан сўнг изоляция материалнинг механик ва электр мустаҳкамлиги кескин ортиб, унинг гигроскопиклик хусусияти камаяди; иссиқлик ўтказувчанлиги яхшиланиб, изоляциянинг иссиққа чидамлилиги ортади. Мазкур локлардан электр машина ва аппарати чулғамларини шимдиришда, локли газмоллар ва қатламли пластиклар ишлаб чиқаришда фойдаланилади.

Қопловчи локлар қаттиқ изоляция материаллари юзасига суртилиши натижасида силлиқ, ялтироқ, механик мустаҳкам, намга чидамли қоплама олинади. Қоплама локли изоляция қаршилигини кескин ошириб, юзани заряддан яхши муҳофаза қилади. Ушбу лок юзани кимёвий эритувчи ва бошқа реагентларга бардошли қилиши билан бирга унга чанг ўтиришини ҳам камайтиради.

Бундай локлар суюқ ҳолатда сим ёки пўлат варақларга юпқа қилиб суртилади. Натижада, металл юзасида керакли хоссага эга электр изоляция қопламаси ҳосил бўлади.

Елимловчи локлар икки қаттиқ изоляция материални ўзаро ёки изоляция материални металл билан бириктириш вазифасини ўтайди. Бу локларга материалларни яхшилаб елимлаш билан бирга юқори даражали электр изоляция хоссасини бериш вазифаси ҳам юклатилади. Елимловчи локлар материалларни бириктириш билан бирга уларга қуриш хусусиятига эга-Бундай локлар хона температурасида қуриш хусусиятига эга-дир. Одатда, юқори температура ва керакли муҳитда қурилади-ган локлардан яхши ва сифатли парда ва ҳамда қопламалар олинади.

Қатронли локлар синтетик, сунъий ва табиий қатрон эритмаларидан иборатдир. Уларга қуйидагиларни мисол қилиб келтириш мумкин:

Бакелит локи бакелитнинг спиртдаги эритмаси бўлиб, терморектив турдаги лок ҳисобланади. Бу лок шимилувчи ёки бириктирувчилик вазифасини ўтайди. Бакелит локи қуририлганда жисм юзасида қайишқоқ бўлмаган қаттиқ парда қатлами ҳосил бўлади. Бу лок гетинакс, текстолит ишлаб чиқаришда, электр аппаратларининг изоляциясига шимилувчи сифатида кенг қўлланилади.

Глифтал локи глифтал қатронининг спиртларнинг суюқ углеводородлар аралашмасидаги эритмаси бўлиб, терморектив елимловчи лок ҳисобланади. Ундан миканит ва микаленталарни бириктиришда фойдаланилади.

Целлюлоза локи — целлюлоза эфирининг эритмасидир. Бу лок қуриганда ҳосил бўлган парда қатлами термопластиклиги билан ажралиб туради. Нитролак қуришидан ҳосил бўлган пардалар ялтироқ, механик мустаҳкам бўлиб, ҳаво, намлик ва мой таъсирига чидамлидир. Мазкур лок, асосан, сим юзасидаги қоғоз-пахта ўрамини шимдириш учун қўлланилади.

ЭПСК, УП-5-105, УП-592 навли ҳар хил қотирувчи ва пластификаторли компаундлар киради. Баъзи эпоксидли компаундларнинг диэлектрик ва механик хоссалари қуйидагича: $\rho = 10^{13}$ Ом·м; чўзилишдаги мустаҳкамлиги 60—90 МПа; уришиш қовушоқлиги 11—20 кЖ/м².

Иссиқлик таъсирида қотадиган, қуйилувчи компаундларга ЭД-16 қатрони, қотирувчиси сифатида — малени ангидриди, тўлатувчи сифатида кварц қуми ёки кальций фториди ишлатилади. Компаунд компонентлари бир-бирига маълум кетма-кетликда ва аниқ миқдорда қўшиб, аралаштирилади. Тайёрланган суюқ ҳолатдаги компаунд қолипларга қуйилади. Компаунд қотгандан сўнг яхши электрик ва механик хоссаларига эга бўлади. Бундай конструкцияли изоляция мой, намлик ёки сув таъсирига чидамли бўлади. Ана шу хоссалари туфайли компаундларни зичловчи модда сифатида қўллаш мумкин. Уларга ПЭК-18, ПЭК-19, ПЭК-20, ПЭКЛ-19 навли компаундлар мисол бўлади. Бу компаундлар пўлат юзасига яхши ёпишади, поливинилхлорид ва кабель резинаси билан яхши бирикади.

КП-18, КП-34, КП-50 навли полиэфир компаундларидан электр ускуналарининг чулғамларини шимдиришда фойдаланилади. КП-101 ва КП-103 навли компаундлардан эса мураккаб электр ускуналарнинг чулғамларини шимдиришда фойдаланилади.

МБК, КМ-9 навли метакрил компаундлари намлик таъсирига чидамли бўлиб, ташқи атмосфера шароитида ёрилмайди. Бу компаундлар бошқа материаллар билан яхши бирикиб, тож ёки электр разряд таъсиринга чидамли бўлиши билан бирга органик эритувчиларда эримайди. КМ-9 навли компаунд яхши зичловчи компаундлар қаторига киради.

Б-ПЭ-9128 навли компаунд электр машина ва аппаратлари чулғамини шимдиришда, Б-ИД-9127 навли эса махсус асинхрон двигателъ, трансформатор чулғамларини шимдиришда ишлатилади. СПП-БИ навли компаунд шиша толаларини боғловчи сифатида ишлатилади.

МФВГ-1, МФВГ-3 навли ҚО компаундлари иссиқлик таъсирида ва катализатор ёрдамида қотади. Бу компаунд ўзининг изоляция хоссаси юқорилиги ва иссиқлик таъсиринга чидамлилиги (250—260°С) билан ажралиб туради. У қайишқоқлик хосларнинг ҚЛ тури уч: ҚЛТ-30, ҚЛСЕ-305, ҚЛФ-120 навда ишлатилади. Уларнинг сақланиш муддати 6 ой бўлиб, улар мослама ва ускуналарни зичлаштиришда ишлатилади.

Лок ва компаунд шимдирилган ғоваксимон изоляция материаллари яхшилаб қуритилади, сўнгра унга яна лок шимдирилади ёки қопланади, кейин эса иккинчи босқичли қуритиш амалга оширилади ва лок таркибидаги эритувчи моддалар чиқариб юборилади.

Терморреактив лок ёки компаундлар иссиқлик таъсирида қуритилади. Локлаш, одатда, локланадиган қисм қуриткичда

маълум муддат (масалан, электр чулғамини 100—110°С да 5—10 соат) ушлаб турилгандан сўнг ундан олиниб, бироз совилади. (60—70°С гача) ва локли идишга ботирилади. Қисм идишда ҳаво пуфакчалари ажралиб чиқиши тугагунча ушлаб турилади. Сўнгра олиб, қуритилади. Намга чидамли машина изоляциясига лок ёки компаунд бир неча марта берилади. Де-талларни лок ёки компаунд билан қоплаш суюқликни юзага қуйиш, томизниш, пуркагичда сепиш, мўйқаламда суртиш каби усулларда амалга оширилади. Қуритиш жараёни термостатда, автоклавда, инфрақизил нур, ёритиш чироқлари ва бошқа усуллар орқали амалга оширилади.

Полимер плёнкалар ва суюқ кристаллар

Электр изоляция плёнкалари юққа ва эгилувчан материал бўлиб, улар ҳар хил кенгликда ва қалинликда тайёрланади. Плёнкаларнинг электр ва механик хоссалари яхши бўлганлиги сабабли улардан конденсатор, электр машина ва аппарати, кабеллар ишлаб чиқаришда фойдаланилади. Плёнкалар экстрюзия, қуйиш ва пуфлаб чиқариш усуллари орқали тайёрланади. Эгилувчан плёнкалар юқори молекуляр массали чизикли полимерлардан тайёрланиб, эгилувчанликка материалга пластификатор қўшиш ёки температура таъсирида полимер молекулаларини маълум йўналишга бурниш орқали эришилади.

Электр изоляциясида триацетат целлюлозаси кўп ишлатилади. Унинг асосида олинган плёнка хоссалари қуйидагича: $\epsilon_r = 3,6$; $\operatorname{tg} \delta = 0,007$; гигроскопиклиги 2—3%; иш температураси 90—100°С. Бу плёнканинг механик мустаҳкамлиги кичик бўлганлиги сабабли, у кўпинча қалин қоғоз юзасига қопланган ҳолда ишлатилади.

Синтетик қутбли плёнкаларга полиэтилентерефталат плёнкалари лавсан, мелинекс, хостафон ва ҳоказолар мисол бўлади. Бу плёнкалар 0,04—0,35 мм қалинликда тайёрланиб, уларнинг хоссалари қуйидагичадир: зичлиги 1400 кг/м³; чўзилишдаги мустаҳкамлиги 120—180 МПа; $\rho = 10^{14}$ Ом·м; $\epsilon_r = 3,0$; $\operatorname{tg} \delta = 0,007$; иш температураси — 60 ÷ +150°С; узилишдаги нисбий чўзилиши 50 ÷ 100%.

Поликарбонат макрофоль плёнкасининг хоссалари: зичлиги 1200 кг/м³; чўзилишдаги мустаҳкамлиги 100—2000 МПа; $\rho = 10^{14}—10^{15}$ Ом·м; $\epsilon_r = 2,9$; $\operatorname{tg} \delta = 0,006$; $E_t = 60—90$ МВ/м; узилишдаги нисбий чўзилиши 100—300%.

Политетрафторэтилен асосида олинган плёнканинг хоссалари: зичлиги 2100 кг/м³; чўзилишдаги механик мустаҳкамлиги 10—15 МПа; $\epsilon_r = 2,0$; $\operatorname{tg} \delta = 0,0003$; $\rho = 10^{14}—10^{15}$ Ом·м; $E_t = 45—100$ МВ/м бўлиб, иш температураси анча юқори (260°С) дир.

Полиэтилен асосидаги плёнка экстрюзия асосида олиниб, унинг зичлиги 920 кг/м³, чўзилишдаги механик мустаҳкамлиги 14—16 МПа, диэлектрик хоссалари $\epsilon_r = 2,2$; $\operatorname{tg} \delta = 0,0003$;

$\rho = 10^{14} - 10^{15}$ Ом·м; $E_T = 300$ МВ/м, иш температураси 85—120°C.

Полистирол асосидаги плёнка (стирофлекс)нинг хоссалари қуйидагича: чўзилишдаги механик мустаҳкамлиги 60—70 МПа; $\epsilon_r = 2,1 - 2,6$; $\tan \delta = 0,0003 - 0,0004$; $\rho = 10^{15} - 10^{16}$ Ом·м; $E_T = 110 - 190$ МВ/м; иш температураси 70—85°C.

Полипропилен плёнкасининг хоссалари: зичлиги 900 кг/м³; чўзилишдаги механик мустаҳкамлиги 100—200 МПа; $\epsilon_r = 2,0$; $\tan \delta = 0,0002$; $\rho = 10^{15} - 10^{17}$ Ом·м; $E_T = 300$ МВ/м ва юқори иш температураси 90—100°C га тенгдир.

Кутбсиз плёнкаларнинг изоляция қаршилиги юқори бўлиб, ўздан электр токини жуда кам миқдорда ўтказди. Шу сабабли улардан ўзгармас сизимли конденсаторлар ишлаб чиқарилади. Кутбли плёнкаларда ϵ' қиймати катта бўлгани сабабли, улардан кичик ҳажмли конденсаторлар олиш мумкин.

Стирофлекс плёнкалари юқори частотали кабелларда ишлатилади, поликарбонатлиси эса қувватли (юқори кучланиш-ли) кабель ишлаб чиқаришда қўлланилади. Плёнкаларнинг қалинлигини камайтирилса, уларнинг электр мустаҳкамлиги ортади.

Суюқ кристаллар. Суюқ кристаллар маълум даражадаги қовушоқлик, оптик, электрик ва магнит хоссаларига эга бўлган органик бирикмалардир. Бу суюқликларнинг температуранинг ўзгаришига сезгирлиги юқори бўлиб, бунда улар ўз рангини ўзгартиради. Электроника соҳасида суюқ кристаллардан юққа плёнка олиш мақсадида фойдаланилади. Ушбу кристалл бирикмалардан —20 ÷ 250°C оралиғида ишлайдиган индикаторлар ишлаб чиқарилади. Суюқ кристаллар электр ва магнит майдони кучланганлигига жуда ҳам боғлиқ бўлиб, бунда улар ўзининг шаффофлигини ва бошқа оптик хоссаларини ўзгартиради. Бирор юзага суртилган суюқ кристаллда нурнинг кутбланиш текислигининг бурилиши, нурнинг икки бор синиши, нур ютилишидаги спектрал ўзгариш ва бошқа хусусиятлар суюқ кристалларни амалда кенг қўллаш имконини беради.

Суюқ кристалларнинг анизотроп хоссаси молекулаларнинг тартибланиш даражаси (S) орқали аниқланади:

$$S = \frac{1}{2} (3 \cos^2 \theta - 1),$$

бунда θ —алоҳида олинган молекула ўқи билан бир йўналишдаги бошқа молекулаларнинг йўналиш ўқи орасидаги бурчак. Суюқ кристалларда $0 < S < 1$ оралиғида бўлиб, температурага боғлиқ равишда ўзгаради. Температура кўтарилганда тартибланиш даражаси нолга интилади. Суюқ кристаллар учун қайишқоқлик ва қовушоқлик муҳим роль ўйнайди. Бунда қовушоқлик қиймати оқим тезлиги қийматигагина эмас, балки ёндош қатламдаги молекуланинг йўналиш ўқиға ҳам боғлиқдир. Суюқ кристалларнинг солиштирма электр ўтказувчанлиги кичик қийматни (10^{-11} См/м) ташкил этади. Бир неча

буюқ кристалларни ўзаро таралаштириб, керакли диэлектрик сингдирувчанликка эга аралашма олинади. Бу аралашма диэлектрик анизотропияси ($\Delta\epsilon$) билан ифодаланиб, унинг қиймати —4 ÷ 20 оралиғида бўлади.

Суюқ кристалларнинг электр-оптик хоссаларидан электроникада кенг миқёсда қўлланилади. Ушбу кристаллар асосида яратилган асбобда тасвир ҳамда ахборотни қайта ишлаш сифати бошқа худди шу каби асбобга нисбатан анча юқори-дир. Мазкур асбобларда сарфланадиган қувват (10^{-9} Вт/м²) ва иш шаронтидаги кучланиш қиймати (2—50 В) кичик бўлади.

Суюқ кристаллар маълумот, ахборот берадиган асбоблар (электрон соат, калькулятор, компьютер ва б.) да кенг қўлланилмоқда. Ҳозирги пайтда электрон трубкалар ўрнига матрицали экран яратиш устида қизғин иш олиб борилмоқда.

Ёғоч ва қоғозлар

Бу материалларнинг асосини ўсимликлар таркибидаги органик моддалар ташкил этади. Электротехникада дастлабки электр изоляция материалларидан бири сифатида табиатда кенг тарқалган ёғочдан фойдаланилган. Ёғочнинг тола йўналиши бўйича электр мустаҳкамлиги унинг кўндаланг кесим йўналишига нисбатан 3—4 баробар, қаршиликлари эса 10 баробар кичикдир. Қуруқ ҳолатдаги ёғочнинг зичлиги 400—800 кг/м³ оралиғида бўлади. Ёғочнинг зичлиги қанча юқори бўлса, унинг механик мустаҳкамлиги шунча юқори бўлади. Ёғочнинг механик мустаҳкамлиги тола йўналишига қараб турлича бўлади. Унинг тола йўналиши бўйича механик мустаҳкамлиги шу толага кўндаланг йўналишидагига нисбатан анча юқори бўлади. Ёғочнинг асосий камчиликлари қуйидагилардан иборат: юқори даражада гигроскопиклик; иссиқлик ёки аланга таъсирига чидамсизлик; ўз хоссаларини ташқи таъсир натижасида кескин ўзгартириши ва ҳоказо.

Ёғочнинг диэлектрик ва механик хоссалари унга мой, қатрон каби шимилувчи суюқликлар шимдириш орқали яхшиланади. Қуришиб шимдирилган ёғоч ўзининг электр ва механик мустаҳкамлигини оширади. Унинг изоляция хоссалари шимилувчи модда тури (парафин, алиф, нефть мойи, синтетик қатрон)га бевосита боғлиқ бўлади. Ёғочнинг гигроскопиклигини камайтириш учун унга мой шимдиришнинг ўзигина етарли бўлмайди. Шунинг учун мой шимдирилгандан сўнг материал юзаси қўшимча равишда локланади. Трансформаторларда элементларни бириктириш мақсадида оқ қайин, қайин ва бутадан тайёрланган ёғоч материаллар ишлатилади. Алоқа ва электр энергиясини узатиш линияларида ёғочдан тайёрланган таянчлар ишлатилади. Ёғочлардан, шунингдек ўчиргич, узгич, трансформатор ва бошқа электр аппаратларида, электротехникада техника хавфсизлигини таъминловчи қурилмаларда фойдаланилади.

Каучук $+50^{\circ}\text{C}$ да юмшайди ва ёпишқоқ бўлади, паст температурада эса мўрт ҳолатга ўтади. Каучукнинг бензиндаги эритмасидан резина елими олинади. Каучук таркибига олтингурут киритиб, вулканизация қилинса, каучукнинг температурага чидамлилиги ортиб, механик мустаҳкамлиги кўтарилади. Каучук таркибидagi олтингуруртнинг миқдори 1—3% бўлса, юмшоқ резина (қайишқоқ ва чўзилувчан), олтингурут миқдори 30—35% бўлганида эса қаттиқ резина (эбонит) олинади.

Резина ва эбонит тайёрлашда каучук ва олтингурутдан ташқари, резинали аралашма таркибига тўлатувчилар (бўр-тальк), катализатор ва бошқа қўшимчалар ҳам киритилади.

Резина электротехникада кенг қўлланилади. Ундан сим ва кабеллар юзасини изоляциялашда қопловчи сифатида, шунингдек химоя қўлқопи, калишлар, гиламчалар тайёрлашда фойдаланилади.

Соф каучук қутбсиз диэлектрик материал бўлиб, унинг диэлектрик хоссалари қуйидагича: $\epsilon_r = 2,4$; $\text{tg } \delta = 0,002$; $\rho = 10^{14}$ Ом·м. Электр изоляциясида ишлатиладиган резинанинг диэлектрик хоссалари резинали аралашма ва ишлаб чиқариш технологиясига боғлиқ равишда қуйидагича бўлади: $\epsilon_r = 3-7$; $\text{tg } \delta = 0,02-0,1$; $\rho = 10^{13}$ Ом·м; $E_t = 20-30$ МВ/м.

Резина яхши диэлектрик бўлгани билан, иссиқлик, ёруғлик ва ультрабинафша нурлари таъсирида тез эскиради. Резина ўзидан электр токини ўтказмайди. Агар унинг таркибига кўмир кукуни киритилса, электр токини яхши ўтказди. Бундай резиналар машина, конструкция, ускуналарда пайдо бўладиган зарядни ўзи орқали ерга тез ўтказиб юборади.

Синтетик каучуклар (СК) кабель саноатида изоляция ва химоя қопламаси сифатида кенг қўлланилмоқда. Уларни тайёрлашда спирт, нефть ва табиий газдан фойдаланилади.

Бутадиенли каучук (СК) яхши электр изоляция ва эластик хоссаларига эга бўлиб, бутадиен (дивинил)ни полимерлаш орқали олинади. Унинг диэлектрик хоссалари қуйидагича: $\epsilon_r = 2,3$; $\text{tg } \delta = 0,008$; $\rho = 8,5 \cdot 10^{11}$ Ом·м; $E_t = 42$ МВ/м.

Бутадиенли каучукнинг юқори иш температураси $60 \div 65^{\circ}\text{C}$. Бутадиен-стиролли каучук (СКС) бутадиен ва стиролни биргаликда полимерлаш натижасида олинади. У хоссалари жиҳатидан ТҚ га яқин бўлиб, диэлектрик кўрсаткичлари қуйидагича: $\epsilon_r = 2,3$; $\text{tg } \delta = 0,003$; $\rho = 1,1 \cdot 10^{13}$ Ом·м; $E_t = 46$ МВ/м. Бутадиен-стиролли каучукнинг зичлиги 940 кг/м³, иш температураси $-35 \div +65^{\circ}\text{C}$. Ундан кабель изоляциясида қоплама сифатида фойдаланилади.

Бутилкаучук изобутиленни изопрен билан биргаликда полимерлаш орқали ишлаб чиқарилади. Унинг зичлиги 930 кг/м³, иш температураси $-40 \div +105^{\circ}\text{C}$, диэлектрик хоссалари: $\epsilon_r = 2,4$; $\text{tg } \delta = 0,004$; $\rho = 2,1 \cdot 10^{13}$ Ом·м; $E_t = 22$ МВ/м.

Кремнийорганикли каучук таркибида кремний ва органик радикаллар бўлиб, юқори даражада эгилувчан ва яхши диэлектрик хоссаларига эга. У сувда, намлик шароитида ва паст

босимда ишлаши билан бирга, мой ва ишқор таъсирига ҳам чидамлидир. КО каучукнинг зичлиги 2000 кг/м³, диэлектрик хоссалари: $\epsilon_r = 2,9$; $\text{tg } \delta = 0,008$; $\rho = 1,2 \cdot 10^{12}$ Ом·м; $E_t = 29,3$ МВ/м.

Босма плата учун базис материаллар

Базис материаллар паст кучланишли асбобларда ва радиотехника аппаратларида, ҳисоблаш техникасида, электроника, телефония ва бошқа соҳаларда қўлланиладиган босма плата ишлаб чиқаришда фойдаланилади.

Илгарилари босма плата учун базис материаллар сифатида зарланган (фольгаланган) материаллар қўлланилиб, улар қатламли пластмасса ёки синтетик пардадан тайёрланиб, вақтинчалик бир ёки иккала юзаси қалинлиги 35 мкм дан ортиқ металл зарқоғози билан қопланарди. Кейинги пайтда металл қоплама қалинлиги 5 мкм гача камайтирилиб, материал юзасига қоплама субтрактив (металл қоплама селектив равишда юпқалаштирилади) услубнинг ярим аддитив ва аддитив (мис қатлам гальваник усулда ётқизилади) усуллари қўлланилмоқда.

Базис материалнинг бир ёки икки юзасига мисни кимёвий ҳамда гальваник усулларда ётқизиб (зарлаб), босма плата ишлаб чиқариш мумкин. Зар қоплаш аралаш усулида ҳам амалга оширилади.

Қоплаш учун изоляция юзаси текис бўлиши, металл ўтказгич сифатида электролитик мисли зарқоғоз қўлланилиши ва буни асос билан (изоляция варағи) бириктиришда турли хил елим ва адгезивлар қўлланилиши мумкин. Одатда, бириктирувчи елим юзага $40-50$ мкм қалинликда махсус машина ёрдамида суртилади.

Юқори частотали асбоблар учун базис материаллар гетинакс асосида тайёрланиб, уларнинг юзасига электролитик мис қопланади. Бундай плата варағи қалинлиги $1-3$ мм, ўлчами камида 800×900 мм қилиб тайёрланади.

Зарланган шиша-текстолит (шиша тола терморектив борлагич билан шимдирилади) юзасига мисли зарқоғоз қопланган ҳоллардаги варақ қалинлиги $1,5$ мм гача, ўлчами камида 600×700 мм қилиб олинади. Зарланган СФТ-230 навли диэлектригининг қалинлиги $0,13-2,5$ мм, ўлчами камида 400×600 мм, ФДГ навли зарланган диэлектрикнинг қалинлиги эса $1,5-2$ мм, ўлчами камида 200×250 мм, СОНФ навли шиша-текстолит қалинлиги $0,8-3$ мм, ўлчами камида 400×600 мм, ФДМЭ навли шиша-текстолит қалинлиги $0,1-0,15$ мм, ўлчами эса камида $400-600$ мм қилиб олинади.

Иссиққа бардошли СГПА-5-1, СТПА-5-2 навли шиша-текстолитлар (қатлами шиша тўқимаси асосидаги) $0,1-2$ мм қалинликда, ўлчами эса камида 400×600 мм бўлади. Зарланган ЛФ-1 навли зарланган (полиэтилен терефтлат асосидаги)

юзасига 35 мкм қалинликдаги электролитик мис зарқоғози ёпиштирилади. Зарланган ПФ-1 навли босма платаси полиимид асосида тайёрланади.

Кўп қатламли босма платасига СП-1, СП-2, СПТ-3, СП-4, СПО, СПС навли шиша тўқима асосида тайёрланган материаллар мисол бўла олади. Уларнинг қатламларини босим остида елимлаб, ўзаро бириктирилади ва мисли зарқоғоз уларнинг юзасига ёпиштирилади.

Юқори частотали асбобларда ФЛАН навли арилак билан тўйинтирилган, зарланган диэлектриклар қўлланилади. Ушбу диэлектрик материалларнинг қалинлиги 1; 2 мм, ўлчамини 260×340 мм, зарқоғоз қалинлиги 35 мкм қилиб олинади. Шу частоталарда ишловчи асбобларда поликарбон билан тўйинтирилган, зарланган варақсимон материаллар ҳам ишлатилади. Уларнинг кўрсаткичлари қуйидагича: $\epsilon_r = 2,8 \div 10$; $\operatorname{tg} \delta = (1,5 \div 5) \cdot 10^{-3}$ (частота 10^{10} Гц); $\rho \approx 10^{12}$ Ом·м; $\rho_s \approx 10^{11} \div 10^{12}$ Ом.

Анорганик диэлектриклар

Анорганик диэлектрикларга шиша, ситалл, сопол, слюда ва слюдали материаллар киради. Бу материаллар иссиққа чидамлилиги, эскирмаслик, турли хил нурланишга бардошлилик, кимёвий чидамли, сиқилишга бўлган механик мустаҳкамлик ва металл билан бирикканда зич бирикма ҳосил қилиш хусусиятларига эга.

Анорганик материаллар оддий усулларда ишлаб чиқарилади. Бу материалларнинг камчиликлари сифатида уларнинг зичлиги катта қиймат ($2500-8000$ кг/м³) га эга эканлигини ва келтириш мумкин. Кимёвий таркиби бўйича анорганик материаллар ўзида турли хил металл (алюминий, титан, кальций, натрий ва ҳоказо) оксидларини жамлаган мураккаб бирикмадан ташкил этади. Улар ион тузилишли моддалар қаторига киради. Нормал температурада анорганик материалларнинг электр ўтказувчанлиги ионли характерга эга бўлади. Бу, асосан, ионли қўшимчаларнинг мавжудлиги билан тушунтирилади. Электрон ўтказувчанлик эса фақат юқори кучланишда кузатилади. Анорганик диэлектрик материаллар учун $\operatorname{tg} \delta \approx 10^{-2}$ оралиғида бўлади. Бу диэлектрикларда кутбланишнинг электрон, ион, электрон-релаксация ва спонтан кўринишлари кузатилади. Диэлектрик сингдирувчанлик қиймати эса 3 дан бир неча ўн минггача оралиқда бўлади.

Анорганик диэлектрикларда электр иссиқлик, кимёвий ва ионизация тешилишлари кузатилади. Мазкур диэлектрик материалларнинг электр мустаҳкамлиги катта оралиқда ($5-700$ МВ/м) ўзгаради. Уларнинг иссиққа чидамлилиги $400-1500^\circ\text{C}$

ни ташкил этади. Баъзи сопол материаллар сегнет ва пьезо-электрик хоссаларга эга бўлади.

Анорганик материалларнинг радиация нурланишига бўлган чидамлилиги органик материалларга нисбатан анча юқоридир. Ана шу хусусиятлар анорганик материалларни халқ хўжалигининг кўп соҳаларида қўллаш имконини беради.

Шиша

Шиша мураккаб тузилишли бирикмалардан ташкил топган бўлиб, унинг таркибига турли металл оксидлари киради. Шиша тузилиши жиҳатидан бир жинсли бўлмаган аморф моддалар қаторига киради. Бошқа анорганик материаллардан фарқли ўлароқ, шиша қуйидаги хоссалари билан ажралиб туради: юпка парда ва толалар олинмиши; оптик жиҳатдан тиниқлиги; турли хил металллар билан бирикиши; юзасининг текислиги; мўртлиги; намга чидамлилиги.

Шиша таркибига шиша ҳосил қилувчи оксидлар (SiO_2 , B_2O_3 , P_2O_5) ҳамда унинг эриш температурасини пасайтирадиган ишқорли оксидлар (Li_2O , Na_2O , K_2O) ишқорли-ер металлларнинг оксидлари (CaO , MgO , BaO ва ZnO , Al_2O_3 , BeO) шунингдек, шиша таркибининг ўзгартирадиган бошқа қўшимчаларнинг оксидлари (SiO_2), алюкиради. Шиша ҳосил қилувчи оксидлар силикатли (SiO_2), алюминсиликатли ($\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$), борсиликатли ($\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$), титансиликатли ($\text{SiO}_2-\text{TiO}_2$), цирконатсиликатли ва алюминтансиликатли ($\text{SiO}_2-\text{ZrO}_2$, $\text{Al}_2\text{O}_3-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$) турларига бўлган оксидлар ($\text{SiO}_2-\text{ZrO}_2$, $\text{Al}_2\text{O}_3-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$) турларига бўлиниди.

Техник шиша қуйидаги хилларга бўлинади:

1. Таркибида оғир металл оксиди бўлмаган ишқорли шиша,
 2. Таркибида бир қанча оғир металл оксидлари бўлган ишқорли шиша.
 3. Таркибида ишқор бўлмаган соф шиша (кварц)ларга бўлинади.
- Силикатли ва борли соф шишалар таркибида SiO_4 , $\text{B}-\text{O}_3$ элементлари бўлади. Таркибига оксидлар кириши билан шиша фоваклашади. Бир валентли металл ионлари шишанинг диэлектрик хоссаларини, иссиққа ва намликка чидамлилигини кескин камайтиради.

Шишанинг юмшаш температураларининг оралиғи катта бўлганлиги сабабли, ундан маҳсулот тайёрлаш жараёни оддий бўлади. Суяқ шиша температураси $800-900^\circ\text{C}$ атрофида бўлганда ундан турли хил маҳсулотлар тайёрланади. Шиша маҳсулотлари пуфлаш, сиқил, чўзиш ва босим билан ишлов бериш усули ёрдамида тайёрланади. Тайёр шиша маҳсулотлари тезлик билан совитилса, унда ички механик кучланганлик юзага келади. Шиша емирилишининг олдини олиш мақсадида уни қайта қиздириб, ички кучланганлик бартараф этилади.

Одатда, шишанинг бир қанча турига пардоз бериш мумкин бўлиб, улар кесилиш хоссасига ҳам эгадир. Шишадан аниқ ўлчамли жуда юпка маҳсулот ишлаб чиқариш учун унинг таркибига мис, кумуш, олтин, платина заррачалари киритилади. Бунда шишанинг ёруғликка нисбатан созувчанлик хоссаси ҳам

ошади. Сўнгра фотокимёвий усул ёрдамида шишадан аниқ ўлчамли маҳсулот тайёрланади.

Нур таъсир эттириб ёки термик ишлов бериб, шиша таркибида текис кристалланиш амалга оширилади. Бунинг натижасида шишага керакли хоссалар бериш мумкин.

Шшанинг солиштирма ҳажмий қаршилиги 10^9 — 10^{18} Ом·м бўлиб, бунда ρ нинг юқори қиймати кварцга ва қуйи қиймати ишқорли шишага тааллуқлидир. Таркибида икки ёки уч хил ишқорли оксидлари бўлган шишага ишлов бериш (нейтрализациялаш) орқали унда электр ўтказувчанлик ҳолати юзага келтирилади. Агар ишқорли шиша таркибига икки валентли металл (Ва, Рb) оксидлари киритилса, структураси мустаҳкамланиши ҳисобига ρ қиймати ортади; температура ортиши натижасида ионларнинг силжувчанлиги ортиб, шшанинг электр ўтказувчанлиги кўтарилади. Одатда, шиша юзасига намлик ўтириши натижасида ρ_s қиймати ρ қийматидан анчагина (10 баробар) паст бўлади. Шишада ρ_s қийматни ошириш учун, унинг юзасига химоя қатлами (ҚО локи) юритилади ёки кимёвий таъсирга бардошли шиша қўлланилади.

Соф шишаларда, асосан, электрон ва ион қутбланиш содир бўлиши сабабли, унда ϵ_r қиймати кичик ($3,1 \div 3,2$) бўлади. Агар шишага ишқорли оғир металл оксидлари киритилса, унда ион-релаксация қутбланиши кузатилиб, материалнинг ϵ_r қиймати 20 гача ортади.

Ўзгарувчан электр майдонда ва паст частоталарда шишадаги диэлектрик исрофлар ўтказувчанлик ҳисобига содир бўлса, юқори частоталарда бу ҳодиса ион-релаксация қутбланиши ҳисобига содир бўлади. Таркибида металл ионлари бўлган шишада $\text{tg } \delta$ қиймати юқори бўлади.

Соф шиша, ишқорсиз ёки таркибида оғир металл оксидлари бўлган ишқорли шишалар яхши диэлектрик ҳисобланади. Шиша температураси оширилганда, кучсиз боғланган ионларнинг сони кўпайиши ҳисобига диэлектрикнинг электр ўтказувчанлиги ортади. Ион-релаксация қутбланиши натижасида эса шишада $\text{tg } \delta$ қиймати юксала боради. Юқори частота ва температура оралиқларида шишада $\text{tg } \delta$ қиймати ўзгаришсиз қолади.

Юқори кучланишларда шишада электр ва иссиқликдан тешилиш ҳодисаси содир бўлади. Бир жинсли майдонда юкка (50—100 мкм) шишада электр тешилиши $E_T = 100$ —600 МВ/м, қалин шишада эса иссиқлик тешилиши $E_T = 15$ —30 МВ/м содир бўлади.

Шшанинг солиштирма оғирлиги 2000—8100 кг/м³, чўзилишдаги механик мустаҳкамлиги 100—300 МПа, сиқилишдаги механик мустаҳкамлиги эса 6000—2100 МПа. Шшанинг юмшаш температураси 400—1600°C оралиғида бўлади. Техник шшанинг диэлектрик хоссалари: $\epsilon_r = 3,8$ —16,2; $\text{tg } \delta = 0,002$ —0,01; $\rho = 10^6$ — 10^{15} Ом·м; $E_T = 500$ МВ/м га тенг бўлади.

Шиша электротехникада кенг қўлланилади. Ундан асосан юқори кучланишли изоляторлар, турли изоляция маҳсулотлари, шунингдек эгиловчан, ўта ингичка (4—16 мкм) узун толалар тайёрланади. Тола олиш учун шиша синиқлари маҳсуотешик — фильерларда эритилади, сўнгра уни оқизиб ўраб олинадн ёки керакли узунликда кесилади. Бир нечта шиша толаларини ўзаро бирлаштириб шиша ипи олинади. Улардан тасма, турли матолар ишлаб чиқарилади. Шиша толаларининг органик толалардан устунилиги уларнинг юқори температурага бардошлилиги, юқори механик мустаҳкамлик ва диэлектрик хоссаларга эгаллиги ва кам миқдорда нам сингдирувчанлигидадир. Шиша толасидан ясалган қаламчаларнинг чўзилишига бўлган мустаҳкамлиги пўлатнинг мустаҳкамлигидан қолишмайди.

Кварцли шиша конденсаторларда, индукцион ғалтакларда, вакуумли асбоблар ва ҳоказоларда қўлланилади. Кам ишқорли ва ишқорсиз шишалардан юқори кучланишли ва юқори частотали асбобларнинг конденсаторларида, импульсли генераторларда кенг фойдаланилади.

Айрим турдаги шишалар, лампалар тайёрлашда ишлатиладн. Тола ва тўқима тайёрлашда ишқорсиз шиша қўлланилади. Шиша тола ва тўқималардан механик мустаҳкамликка эга шиша пластлари тайёрланади. Улар иссиққа чидамли кабель изоляцияларида қўлланилади. Шиша тўқималарининг таркибида ҳаво бўшлиқлари бўлгани сабабли, уларнинг диэлектрик хоссалари шиша толасиникига нисбатан юқоридир. Масалан, шиша толасида $\text{tg } \delta = 4,5 \cdot 10^{-3}$; $\epsilon_r = 9,2$ бўлса, шиша тўқимада $\text{tg } \delta = 1 \cdot 10^{-3}$; $\epsilon_r \approx 1,8$ —2,0 бўлади. Шиша тўқималар иссиқлик ва γ нурлари радиацияси таъсиридан химоя қилувчи воллита сифатида ҳам қўлланилади. Плёнка шиша 5—100 мкм қалинликда ишлаб чиқарилади. Агар плёнканинг қалинлиги камайтирилса, унинг эгиловчанлиги ва E_T қиймати ортади. Бундай плёнкаларнинг электр мустаҳкамлиги $E_T = 70$ —600 МВ/м ни ташкил этади. Плёнка шиша электр машинасининг изоляциясида, конденсатор, мустаҳкам шиша қатламлари тайёрлашда қўлланилади.

Кўпиксимон шиша енгил, механик мустаҳкам, яхши диэлектрик хоссали, иссиққа чидамли материал бўлгани учун у радио қурилмалари ва иссиқлик изоляцияларида ишлатилади.

Сопол материаллар

Сопол — тошсимон анорганик материал бўлиб, анорганик пластмасса ёки унинг кукунига юқори ҳароратда ишлов бериш орқали олинади. Сопол материалларда, асосан, кристалл, шшасимон ва газ фазалари бўлади.

Кристалл фаза сополнинг асосий хоссалари (ϵ_r , ТК ϵ , $\text{tg } \delta$, E_T , ρ , σ ва ҳоказолар)ни аниқлайди. Бу фаза, асосан, кислородли бирикма ва уларнинг қаттиқ қотишмалари (SiO₂, TiO₂, ZrO₂ ва ҳоказо) ёки кислородсиз бирикма (Nb, N₂Si, NaI) лрдан иборатдир.

яъши суюқ фаза орқали ўта кристалланиш ёки рекристалланиш жараёни содир бўлади. Эритманинг таркиби ўзида эрувчан қаттиқ фаза билан тўйина боради.

Ҳар бир турдаги сопол материал учун маълум пишириш температураси хос бўлиб, бундан паст температурада сополда очик бўшлиқлар ҳосил бўлади. Агар температура оптимал қийматдан юқори бўлса, рекристалланиш жараёнида сополда майда ёриқчалар ва йирик ички бўшлиқлар юзага келади. Бундай бўшлиқлар сополнинг электрик ва механик хоссаларига салбий таъсир кўрсатади. Пишириш температурасининг қиймати масса тайёрлашда хом ашёнинг майдаланиш даражасига ҳам боғлиқдир. Майдалаш майин бўлганда маҳсулотнинг механик мустаҳкамлигини ошириш учун пишириш пастроқ температурада ўтказилиши керак. Сополни пиширишда температура маълум тезликда ошириб борилади. Сўнгра маҳсулот пишириш температурасида маълум муддат ушлаб турилади, кейин эса бир маромда совитилади. Совитиш тезлиги ҳам сопол хоссаларига кучли таъсир этади. Чунки кескин совитишда кристалл заррачалар чегарасида ва шишасимон қатламларда дарзлар пайдо бўлиш эҳтимоли ортади. Тоблаш туфайли сополда сиқилиш деформацияси содир бўлиб, унинг механик мустаҳкамлиги 2—3 марта ортади. Лойсимон пластик масса уқаланган сопол толқонини намлаш усули билан олинади. Масса қоқисми қуритиш орқали унинг таркибидаги намликнинг маълум механик ишлов бериллади.

Кристалл кўринишга эга, пластик бўлмаган сопол массасининг пластиклигини ошириш учун унинг таркибига органик қўшилмалар (елим, парафин, стеарин, қатрон) киритилади ва улар пишириш жараёнининг ўзидаёқ қуйиб кетади. Пластиклаштирилган ва қотирилган маҳсулотлар пиширилишининг охириги боғичи унга механик ишлов берилгандан сўнг амалга оширилади.

Кўпгина сопол турларининг электр ўтказувчанлиги ионли характерга, таркибда титан бўлганларининг электр ўтказувчанлиги эса электрон характерга эгадир. Сополнинг солиш-тирма ҳажмий қаршилиги (10¹¹ ÷ 10¹⁸ Ом·м) температурага, материалнинг намлиги ҳамда унинг таркибидаги газ бўшлиқларига боғлиқ бўлади. Уларнинг миқдори қанча катта бўлса, изолятор қаршилиги шунча паст бўлади.

Сополларда ϵ_r қиймати кенг миқёсда 3—4 дан бир неча ўн минггача ўзгаради. Кўпгина сополларда ϵ_r қиймати частота ортиши билан камаяди. Конденсаторлар учун ишлатиладиган сополлар чизикли ва чизикли бўлмаган (сегнетоэлектрик) кутбланишга эга.

Ўзгарувчан электр майдонида сополдаги энергия исрофи ички ток ўтказувчанлик ва кутбланиш электрон-релаксация, ион-релаксация, спонтан ҳисобига содир бўлади. Сопол материалларининг tg δ қиймати 10⁻⁴—10⁻² ни ташкил этади. Со-

полнинг электр кучланиши таъсирида тешилиши иссиқлик, кимёвий ва ионлашни турларига бўлинади. Сополнинг электр мустаҳкамлиги 20—25 МВ/м. Сополнинг зичлиги (2300—4000 кг/м³) унинг механик мустаҳкамлигига, пишириш температураси ва кристалл фаза турига қараб кучли равишда ўзгаради. Унинг чизикли кенгайиш коэффициенти (4—7) 10⁻⁶ град⁻¹ оралиқда бўлади. Ўрнатилувчи буюмларда ишлатиладиган сопол материалларида $\epsilon_r = 6 \div 10$ бўлиб, механик мустаҳкамлик $\sigma_{\text{тик}} \approx 40—200$ МПа ни ташкил этади. Ундан, индуктив еалтак қобиғи, ўзгарувчан сифимли ҳаво конденсаторининг ўзаги, лампа платалари, босма схема асоси, қаршиликлар ва ҳоказоларни тайёрлашда фойдаланилади. Мазкур турдаги сопол зич ва говаксимон бўлади. Бу сопол яхши диэлектрик ва механик хоссаларга эга бўлиши керак. Ўрнатилувчи буюмларда ишлатилувчи ўрнатилувчи сополлар таркиби жиҳатидан BaO—Al₂O₃—SiO₂, MgO—Al₂O₃—Si каби системалардан иборатдир. Аллюминийсиликат сополи BaO—Al₂O₃—SiO₂ системасининг кристалл асоси сифатида корунд (Al₂O₃) ва муллит 3Al₂O₃·2SiO₂ олинади. Сопол таркибида Al₂O₃ қанча кўп бўлса, унинг механик мустаҳкамлиги ва иссиққа чидамлиги, диэлектрик хоссалари шунча юқори бўлади. Аллюминоксид майда дондор (2—3 мкм) структурали, пластик бўлмаган абразив материалдир. У лампаларнинг изоляция қисмида, босма схема асосларида, авнасвеча ва ҳоказоларда қўлланилади.

Ультратрачнининг диэлектрик, иссиқлик ва механик хоссалари юқоридир. Ультратрачнини таркибида Al₂O₃ (35—80%) миқдори қанча кўп бўлса, у хоссалари жиҳатидан аллюминоксид сополига яқинлаша боради. Ультратрачнининг пиширилиш температураси 1350—1400° С.

Радиочинини таркибидаги материалнинг юқори даражада пластик бўлишини таъминлайди. Al₂O₃ ва тупроқ миқдори материалнинг юқори даражада пластик бўлишини таъминлайди. Унинг пиширилиш температураси 1280—1320°С. Радиочининдан турли хил деталлар тайёрланади.

Қордиерит — диэлектрик исрофи юқори ва чизикли кенгайиш коэффициенти кичик (1—2) 10⁻⁶ град⁻¹ ҳамда ёй разряди таъсирига чидамли материал бўлиб, ундан иссиққа бардошли маҳсулотлар, разряд сўндирувчи асбоблар ва ҳоказолар тайёрлашда фойдаланилади.

Конденсатор сополи учун ϵ_r юқори қийматга эга бўлиши кераклиги сабабли, унинг кристалли асосида рутил, титанат, цирконат, ишқорли металл станнатлари қўлланилади.

Юқори частотали конденсатор сополи вазифасига кўра қуйидаги турларга бўлинади: 1) ўзгарувчан сифимли конденсатор сополи ($\epsilon_r = 150 - 230$; ТК $\epsilon = (300 - 1400) \cdot 10^{-6}$ град⁻¹); 2) термокомпенсаторли конденсатор сополи ($\epsilon_r = 35 - 95$; ТК $\epsilon = (750 \div 150) \cdot 10^{-6}$ град⁻¹); 3) термостабил конденсатор сополи ($\epsilon_r = 12 - 48$; ТК $\epsilon = (-75 \div -33) \cdot 10^{-6}$ град⁻¹).

Слюдинит — мусковит чиқиндиларидан олиниб, унга асосан, боғловчисиз слюдалар қўғоз киради. Слюдинит бир хил қалинликка эга, юқори диэлектрик хоссали ва турли мураккаб тузилишли маҳсулот олиш имконини берадиган материалдир.

Микалекс — минерал шиша таркибига қўшимча сифатида слюда қуқун кириши орқали олинадиган маҳсулотдир. У механик мустаҳкамлиги, иссиққа чидамлилиги, $\text{tg } \delta$ қийматининг кичиклиги ва намга бардошлилиги билан ажралиб туради. Микалексдан қувватли лампа туткичлар, ҳаволи конденсатор панели, ёй разрядига чидамли материал ва вакуумли асбоблар тайёрлашда фойдаланилади.

Синтетик слюда. Табиий слюданинг камёблиги ва баъзи камчиликлари сунъий (синтетик) слюда ишлаб чиқарилишини тақозо этади. Сунъий слюда табиий слюдадан шуниси билан фарқ қиладики, унинг кристалл панжарасида гидрооксил ўрнини фтор ионлари эгаллайди. Синтетик слюданинг энг кўп тарқалган турларидан бири фторфлогопитдир. Мазкур слюда турли таъсирлар (иссиқлик, намлик)га бардошлидир. Фторфлогопитнинг диэлектрик хоссалари жуда яхши бўлиб, унинг ρ ва E_t қийматлари бошқа диэлектрикларга нисбатан юқорироқдир.

Слюдалар чинни фторфлогопит қуқунига боғловчи бўлган ортофосфат кислота қўшиб пишириб олинади. Бу материал фоваксимон бўлгани сабабли (нам ютиш даражаси 1,0—1,5%) шиша фазали қўшимчалар кириши натижасида материалнинг фоваклиги камайтиради. Слюдалар чинни ўзининг диэлектрик хоссалари жиҳатидан оддий материалларга яқин бўлиши билан бирга, чинни материалларга нисбатан иссиқлик зарбасига (700°C) ўта чидамлилиги билан фарқланади. Унинг ТК₁ коэффициентини температурага боғлиқ бўлмай, қиймат жиҳатидан пўлатнинг ТК₁ коэффициентига яқиндир. Слюдалар чиннига механик ишлов бериш мумкин. Бу материалнинг асосий хоссалари: $\text{tg } \delta = (3 \div 5) \cdot 10^{-4}$; $\epsilon_r = 6-7$; $E_t = 10 \text{ МВ/м}$; $\rho = 10^{14} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ (100°C да); иссиққа чидамлилиги 770°C , $W = 0,6-1,5\%$, зичлиги $2600 \div 2800 \text{ кг/м}^3$ ва $\alpha_t = 8,5 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹ га тенг.

Новомикалекс ва микапласт майда кристалл синтетик слюда ва шиша асосида тайёрланади. Шиша боғлагич асосидаги слюдадан қуйиш йўли билан пластина ва мураккаб кўринишдаги деталлар тайёрланади. Бундай маҳсулотлар 500°C ҳароратгача ўз геометрик ўлчамларини ўзгартирмайди.

Новомикалекс фторфлогопит ва қийин эрувчан шиша асосида тайёрланади. Унинг диэлектрик хоссалари табиий микалексга нисбатан юқоридир. Микалекс уч фазали мураккаб гетероген система бўлиб, таркиби эриган слюда кристаллари ва хоссаси ўзгартirilган янги шишадан ташкил топган. Бунда слюда шиша билан бирга эритилади. Новомикалекс ва ми-

калекснинг диэлектрик хоссалари қуйидагича: $\epsilon_r = 6-9$; $\text{tg } \delta = 8 \cdot 10^{-4}$; $\rho = 10^{12} \text{ Ом} \cdot \text{м}$; $t = 150^\circ\text{C}$; $E_t = 20 \text{ МВ/м}$, зичлиги 2800 кг/м^3 ; иш температураси -350°C , $W = 0,0006\%$, $\alpha_t = 70 \div 140 \text{ МПа}$ га тенг. Новомикалекс металл (ковар, титан, тантал, махсус пўлат) билан яхши бирикади, шу билан бирга унга механик ишлов бериш мумкин. Ундан юқори частотали изоляция материали сифатида босма схемаларда, вакуум ва электрон асбобларда, атом усқуналарида, самолёт антенналарида фойдаланилади.

Кўпиксимон слюда синтетик слюда (фторфлогопит), шиша ва кўпиртирувчи модда (кремний карбиди, сода, доломит) асосида олинадиган изоляция материалидир. Унинг асосий диэлектрик хоссалари: $\epsilon_r = 1,4$; $\text{tg } \delta = (7 \div 50) \cdot 10^{-4}$, иссиққа чидамлилиги $700-800^\circ\text{C}$. Кўпиксимон слюда металл билан яхши бирикади. Ундан турли деталлар сиртини қоплашда ва радиолокация антенналарида фойдаланилади.

Асбест

Асбест — тоғли тузилишга эга минераллар гуруҳининг номидир. Асбестнинг энг кўп тарқалган тури хризотилли асбестдир. У тошлоқ жойлардан қазиб олинади. Ундаги тоғлар бир-бирига параллел жойлашган бўлиб, уларнинг узунлиги миллиметрнинг ўндан бир улушидан бир неча сантиметргача етади. Асбестнинг нисбатан узун тоғларини бутун ҳолда олиш учун у қўлда ажратиб олинади. Қалта тоғли асбестни қазиб олиш механизациялашган.

Асбест юқори температурага чидамли бўлиб, 1150°C дан юқори температурадагина суюқланади. Унинг қўзилишга бўлган мустаҳкамлиги $30-40 \text{ МПа}$, бироқ температура ошириб борилиши натижасида унинг кристалл структураси ўзгариб, механик мустаҳкамлиги пасая боради. Асбест гигроскопик материал бўлиб, кислотада қисман эрийди. Унинг гигроскопиклигини камайтириш учун, материалга қатрон шимдирилади. Асбестнинг диэлектрик хоссалари нисбатан паст бўлганлиги сабабли, бу материал юқори кучланиш ва катта частоталарда қўллаб-қўлланмайди. Шунга қарамай, асбест электротехникада кенг миқдорда ишлатилади. Мазкур материалдан тўқима, тасма, мато, ёсда ишлатилади. Мазкур материалдан маҳсулотлар тайёрланади. Асқоғоз ва бошқа кўринишдаги маҳсулотлар тайёрланади. Асқоғоздан тайёрланган материаллар органик тоғли материалларга нисбатан анча қалин ва қаттик бўлади. Масалан, асбест тасмаларининг қалинлиги $0,4-0,5 \text{ мм}$, эни $25-30 \text{ мм}$, асбест газламачининг қалинлиги $15-29 \text{ мм}$, қоғозининг қалинлиги эса $0,2-1,0 \text{ мм}$ да олинади.

Асбест тасмалари чала ўтказувчи лок билан шимдирилиб, юқори кучланишли электр машинасининг газдаги чулғамларида электромагнит майдонини маромлаш (текислаш)да ишлатилади. Ундан пластмассалар учун тўлдирувчи сифатида ҳам

фойдаланилади. Асбест қоғози ва газламаларидан қатламли пластиклар (асбогетинакс ва асботекстолитлар) тайёрланади.

Цементли асбест совуқ ҳолда прессланган аорганик бирикмали қаттиқ материал бўлиб, бунда тўлдирувчи сифатида асбест, боғловчи модда ўрнида эса цемент ишлатилади. Цемент билан асбест аралашмасига сув қуйиб тайёрланган масса прессланади. Сув таъсирида цемент қотиши натижасида асбест толалари мустаҳкам бирикиб, қаттиқ жисм ҳосил бўлади. Цементли асбестдан қувур, қалинлиги 4—40 мм ли тахта ва бошқа шаклли маҳсулотлар тайёрланади. Бу материал механик мустаҳкам, иссиққа чидамли, чақмоқ ва ёй разрядларига бардошли бўлгани сабабли ундан тақсимловчи шчит, ёй разряди ўчирадиган камеранинг деворлари ва тўсиқлар тайёрланади. Цементли асбест маҳсулотларига механик ишлов бериб қуритилгандан сўнг, мойга ботириш орқали уларнинг намга чидамлилиги оширилади. Сўнгга жисм юқори температурада ушлаб турилиб, таркибидаги мой қуритилади. Шундай қилиб, бу материалнинг гигроскоплиги кескин пасайтирилади.

Аорганик диэлектрик пардалар

Электротехникада аксарият металл ёки ярим ўтказгичлар юзаси иссиққа бардошли юпқа диэлектрик пардалар билан қопланади. Бу пардалар юзага вакуумда буглатиш ёки бошқа кимёвий усулларда ҳам қопланади. Қўпинча, алюминий юзасида унинг оксид пардаси ҳосил қилинади. Бу парда юқори электр мустаҳкамликка эга. Алюминий оксидидан иборат изоляция алюминийни электр-кимёвий (анодли) ишлов бериш орқали ҳосил қилинади. Бу, асосан, электролитли идишга иккита алюминийли электродни тушириб, уларга кучланиш бериш билан амалга оширилади. Олиниш усули, хоссаси ва қўлланиши жиҳатидан алюминий оксидидан иборат пардалар икки синфга бўлинади. Биринчи синфга мансуб диэлектрик парда юпқа (2 мкм) бўлиб, зичлиги 3200 кг/м^3 ни, иккинчи синфга мансуб диэлектрик парда эса говаксимон бўлиб, зичлиги 2500 кг/м^3 ни ташкил этади. Говаксимон парда фақат электр изоляция қопламасидагина эмас, балки коррозияга қарши қопламалар учун ҳам қўлланилади. Иккинчи синфга тегишли оксид парда кучли электролитларда электр-кимёвий оксидлаш усулида олинади. Бу жараён анодирлаш деб аталади. Бунда сирти яхшилаб тозаланган металл сим электролитли ванна орқали ўтказилади. Алюминий оксидли изоляция иссиққа чидамлилигининг S туркумига эга бўлиб, эриш температураси (2050°C) жуда юқоридир.

Оксидланган алюминий симидан ток зичлиги катта бўлган галтаклар тайёрлашда фойдаланилади. Оксид парданинг юпқа бўлиши иссиқлик таркалишини енгиллаштиради.

Биринчи синфга мансуб оксидли парда изоляциясидан катта сифимли ихчам конденсаторлар ишлаб чиқаришда фойдаланилади. Бу парданинг диэлектрик сингдирувчанлиги 10 га

яқин бўлади. Сўнгги вақтларда тантал ($\epsilon_r = 27$) ва ниобий ($\epsilon_r = 40$) оксидли конденсаторлар кенг кўламда қўлланилмоқда.

Сегнетоэлектриклар

Ўз-ўзидан қутбланувчан ва бу қутбланиш векторларининг йўналишини ташқи таъсир остида ўзгартира оладиган диэлектриклар сегнетоэлектриклар деб аталади. Уларнинг кимёвий таркиби турли-туман (фосфатлар, арсенатлар, боратлар, нитрат ва нитратлар, кўпгина қўш оксидлилар, қаттиқ эритмалар) бўлиб, бунга монокристалл ва поликристалл сополлар мисол бўлиши мумкин. Сегнетоэлектрикларда Кюри нуқтаси -263°C дан $+1212^\circ\text{C}$ гача, диэлектрик сингдирувчанлик бирдан ўн мингларгача ўзгариши мумкин. Сегнетоэлектрикнинг диэлектрик сингдирувчанлиги юқори бўлиб, у диполли ва нондиполли турларга бўлинади. Биринчисига сегнет тузи ($\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6\text{KNaX} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) мисол бўла олади. Унинг зичлиги 1770 кг/м^3 бўлиб, диэлектрик сингдирувчанлиги кучланганлик ва частотага кучли равишда боғлиқдир.

Калий дигидрофосфати, триглицисульфат, натрий нитрити, сульфатлар ва бошқа бирикмаларда сегнетоэлектрик хоссалар кузатилади.

Ионли сегнетоэлектрикка мисол қилиб барий титанатини (BaTiO_3) келтириш мумкин. Унинг структураси куб панжара бўлиб, температура таъсирида панжара ўз кўринишини ўзгартиради (-120°C да тетрагонал, -80°C да ромбоэдрик). Барий титанати (BaTiO_3) юқори диэлектрик сингдирувчанликка эга бўлиб, ϵ_r қиймати температура ва майдон кучланганлигига кескин боғлиқдир. Майдон кучланганлиги ортини натижасида ϵ_r таъсир қийматлари анчагина ортади. Барий титанатли конденсатордаги заряд миқдори кучланишга нисбатан ночизикли боғланишга эга.

Калий тантанати паст температурада ($4,2 \text{ K}$) ва юқори частотада ночизик диэлектрик сингдирувчанлик ва кичик диэлектрик исрофликка эга.

Қўрғошин титанатида (PbTiO_3) сегнетоэлектриклик хоссалари хона температурасида кузатилади ($\epsilon_r = 50$), паст температурада эса бу қиймат кескин ўса боради.

Мураккаб бирикмали сегнетоэлектрикларнинг 340 хили маълум бўлиб, уларда Кюри нуқтаси 1200 дан 0 K оралиққа тўғри келади. Кюри нуқталарида кристалларда электр ва сегнетоэлектрик хоссалар намоён бўлади. Материалнинг диэлектрик сингдирувчанлиги, ўз-ўзидан қутбланиш, солиштирилган иссиқлик сифими, оптик ютилиш чегараси, электр-оптик хусусиятлари Кюри нуқталарида нисбатан секинлик билан ўзгариши. Бунда диэлектрик сингдирувчанлик температура ва тр майдонни частотасига боғлиқдир. Катта частотали (LiTaO_3) катта частотали (LiNbO_3) ва литий танталати (10^{16} Ом) эга бўлиб, иштирма ҳажмий қаршилликка (10^{16} Ом) эга бўлиб,

зоэлементлар ва охириги гурппага юқори температурада ишлайдиган пьезоэлементлар киради.

Кўргошин титанати ва цирконати ($PbTiO_3$, $PbZrO_3$) асосида ЦТС навли қаттиқ пьезоэлектрик сополли қотишма олинади. Бу материалда Кюри нуқтаси $250^\circ C$ дан юқори ораликқа тўғри келади, унинг диэлектрик сингдирувчанлиги эса барқарор бўлади. ЦТС материали электр акустика асбоби, ультратовуш техникаси, пьезоўлчов ва турли радиотехник фильтрли резонатор тайёрлашда қўлланилади. НБС навли кўргошин метаннобати $[(Pb, Ba) Nb_2O_6]$ қотишмаси пьезоэлектрик фильтрли резонаторлар учун материал сифатида қўлланилади. Поливинилиденфторид полимерида пьезоэлектриклик ҳодисаси кузатилиб, ундан турли хил ўзгарткичлар тайёрланади. Бу материал нисбатан енгил ва эгиловчан бўлгани сабабли, келажаги порлоқ материал ҳисобланади. Пьезоэлементлар, асосан, шарсенмон вибратор ва бошқа қисмлар тайёрлашда ишлатилади.

2-бўлим. УТКАЗГИЧЛАР, ЯРИМ УТКАЗГИЧЛАР ВА МАГНИТ МАТЕРИАЛЛАР

7-ббб. УТКАЗГИЧ МАТЕРИАЛЛАР

7.1. Утказгич материалларнинг асосий хоссалари

Электр токи ўтказгичлари сифатида қаттиқ жисмлар, суюқликлар ва маълум шаронларда эса газ ҳам қўлланилиши мумкин. Электротехникада қўлланиладиган аксарият қаттиқ ўтказувчи материалларга металл ва унинг қотишмалари киради.

Юқори электр ўтказувчанликка эга бўлган ўтказгич материалларга нормал температура шаронтида солиштирма қаршилиги $\leq 0,05$ мкОм·м бўлган металллар киради. Нормал температурада солиштирма қаршилиги камида $0,3$ мкОм·м бўлган қотишмалар юқори қаршиликка эга қотишмалар деб аталади. Юқори ўтказувчанликка эга металллар сим, ток ўтказувчи кабелларда, электр машинаси ва трансформаторларнинг чулғамларида ва бошқа асбоб-ускуналарда ишлатилади. Юқори қаршиликка эга металл ва қотишмалар резисторлар, электр иситкич асбоблари, чўгланма лампаларнинг толаларини тайёрлашда фойдаланилади.

Ўта паст (криоген) температураларда солиштирма қаршилиги ўта кичик бўлган материаллар — ўта ўтказгичлар ва криоўтказгичлар алоҳида аҳамиятга эга.

Суюқ ўтказгичларга эриган металллар ҳамда турли электролитлар киради. Бунга мисол тариқасида суюқланиш температураси $-39^\circ C$ бўлган симобни келтириш мумкин.

Қаттиқ ва суюқ ҳолатдаги металллардан электр токи ўтиш қараёни электр майдони таъсирида озод электронларнинг тарқалиб ҳаракатига асосланади. Шу сабабли, металллар электрон-электр ўтказгич ёки биринчи даражали ўтказгичлар дейилади. Иккинчи даражали электр ўтказгич ёки электролитларга қислота, ишқор ва тузли эритмалар киради. Мазкур моддалардан ўтқиш, Фарадей қонунига асосан, электр зарядлари билан иргаликда ионларнинг силжиши билан тушунтирилади. Ток узлуксиз ўтиши жараёнида бундай электролит таркиби аста-секин ўзгара боради ва электродларда электролиз маҳсулотлари ўпилана боради. Эриган ҳолатдаги ион кристаллари ҳам иккинчи даражали ўтказгичларга киради.

Газ ёки металл буғи кучсиз электр майдонида ўзидан электр токни ўтказмайди. Агар электр майдон кучланганлиги ўзининг урилиш ва фотононлашиш содир қиладиган кескин

қийматидан ўтса, газлар электронли ва ионли электр ўтказувчанликка эга бўлади.

Қаттиқ ўтказгич ион панжарали кристалл система кўринишида бўлиб, ички қисмида озод электронлар жойлашган деб фараз қилинади. Одатда, бу электронлар иссиқлик таъсирида бетартиб, электр майдони таъсирида эса аниқ йўналиш бўйича ҳаракатланади. Электронлар ҳаракат давомида кристалл панжара тугунлари билан тўқнашиши натижасида ажралиб чиқадиган энергия ўтказгичнинг металл асосига узатилади ва натижада у қизий бошлайди. Бунинг асосида Жоул—Ленц қонуни келтириб чиқарилган, яъни металлларда электр ўтказувчанлик ва электр энергия исрофи тушунтириб берилган. Бундан ташқари, мазкур қонун металлларнинг электр ва иссиқлик ўтказувчанликлари орасидаги боғланишни ҳам изоҳлайди. Металлларнинг асосий хоссалари 15-жадвалда келтирилган. Ўтказгич материалларнинг хоссаларини ифодалайдиган асосий кўрсаткичлар қуйидагилардан иборат:

1) солиштирма қаршилиқ (ρ) ёки солиштирма ўтказувчанлик ($\gamma = 1/\rho$);

2) солиштирма қаршилиқнинг температура коэффициентини (ТК ρ) ёки α_ρ ;

3) иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентини (γ_T);

4) контакт потенциаллар фарқи ва термоэлектр юритувчи куч (ТЭЮК);

5) электронларнинг металлдан чиқиш иши;

6) чўзилишдаги мустақамлик чегараси (σ_r) ва узинлиш олдидаги нисбий чўзилиш ($\Delta l/l$).

Ўтказгичдаги ток зичлиги ва электр майдон кучланганлиги ўзаро қуйидагича боғланишга эга:

$$J = \gamma \cdot E$$

бунда: J — ток зичлиги, А/м²; γ — ўтказгич материалнинг солиштирма электр ўтказувчанлиги, См·м; E — электр майдон кучланганлиги, В/м.

Металларда солиштирма ўтказувчанлик электр майдони кучланганлигига боғлиқ бўлмайди. Солиштирма ўтказувчанликка тесқари катталиқ солиштирма қаршилиқ ($\rho = 1/\gamma$) дейилган бўлган ўтказгич учун у қуйидагича ҳисобланади:

$$\rho = R \frac{S}{l} \text{ Ом} \cdot \text{м.}$$

Металларнинг классик қонуниятига асосан металл ўтказгичларнинг солиштирма ўтказувчанлиги қуйидагичадир:

$$\gamma = \frac{e^2 n_0 \lambda}{2m v_n}$$

бунда: e — электроннинг заряди; n_0 — металлнинг ҳажм бирлигидаги озод электронлар сони; λ — электрон эркин боғлиқ ўтган йўлининг ўртача узунлиги; v_n — металлдаги озод электрон иссиқлик ҳаракатининг ўртача тезлиги.

Металларнинг асосий хоссалари

Металлнинг номи	Зичлиги, $\times 10^3$ кг·м ⁻³	Эриш температураси, °С	Солиштирма иссиқлик сыйлими, Ж/кг·К	Чизилган кенгайиш ТК, $\times 10^{-6}$ К ⁻¹	Солиштирма қаршилиқ, м·Ом·м	Электронларнинг чиқиш иши, эВ	Қайноқлик модули, ГДж
Симоб	13,60	— 38,9	138	61,0	0,958	4,5	—
Цезий	1,87	26,5	234	95,5	0,210	1,9	—
Галлий	5,91	29,7	381	18,0	0,560	—	—
Калий	0,87	63,7	753	80,0	0,09	2,2	—
Натрий	0,97	97,8	1260	70,0	0,046	2,3	10
Индий	7,28	156,0	243	25,0	0,090	—	10,5
Литий	0,53	186,0	362,0	—	—	—	4,9
Қалай	7,31	232,0	226	23,0	0,120	4,4	54,0
Кадмий	8,65	321,0	230	39,0	0,076	4,0	62,3
Кўрғошин	11,4	327,0	130	29,0	0,210	—	15,7
Рух	7,14	420,0	90	31,0	0,059	—	92,2
Магний	1,74	651,0	1040	26,0	0,045	3,6	44,3
Алюминий	2,7	657,0	922	24,0	0,08	4,3	70,8
Барий	3,5	710,0	268	17,0	0,560	—	12,6
Кумуш	10,5	961,0	234	19,0	0,016	4,4	80
Олтин	19,3	1063	126	14,0	0,024	4,8	77,5
Мис	8,94	1083,0	385	16,0	0,017	4,3	129
Бериллий	1,85	1284,0	200	13,0	0,04	3,9	287
Никель	8,9	1455,0	444	12,0	0,073	5,0	196
Кобальт	8,71	492,0	435	12,0	0,062	—	200
Темир	7,87	1535,0	452	11,0	0,098	4,5	211
Палладий	12,1	1554,0	247	12,0	0,110	—	121
Титан	4,5	1724,0	577	8,1	9,480	—	104
Хром	7,1	1850,0	—	6,5	0,210	—	245
Платина	21,4	1770,0	134	9,0	0,105	—	170
Торий	11,5	1850,0	113	11,2	0,186	3,3	79,2
Цирконий	6,5	1860,0	276	5,1	0,410	3,7	68,4
Иридий	22,5	2350,0	—	—	—	—	52,8
Нийоби	8,57	2410,0	272	7,2	0,140	4,1	100
Молибден	10,2	2620,0	264	5,1	0,057	4,2	294
Тантал	16,7	2850,0	142	6,5	0,35	4,1	177
Рений	20,5	3180,0	138	4,7	0,210	4,8	45
Вольфрам	19,3	3380,0	218	4,4	0,155	4,5	407

Турли хил металллар учун электронларнинг бетартиб иссиқлик ҳаракат тезлиги v_n тахминан бир хилдир. Шу сабабли, солиштирма ўтказувчанлик қиймати электронлар эркин босиб ўтган йўлининг ўртача тезлиги ва ўтказгич материалнинг узинлишига боғлиқ бўлади. Нисбатан тўғри кристалл панжарали соф металлларнинг солиштирма қаршилиги энг кичик қийматга эга. Агар металл таркибига қўшимча киритилса, унинг кристалл панжараси деформацияланиб, ρ қийматининг ўсишига олиб келади.

Температура кўтарилиши натижасида металл ўтказгичдаги заряд элтувчилар сони (озод электронлар концентрацияси) ўзгармай қолади. Лекин кристалл панжара тугунлари тебранишининг кучайиши туфайли электр майдони таъсири натижасида ҳаракатланаётган озод электронлар тобора кўпроқ тўсиқ-

ларга дуч келади, яъни λ камаяди. Бунда электронларнинг силжувчанлиги пасаяди, натижада металлнинг солиштирма ўтказувчанлиги камаяди ва солиштирма қаршилиги ортади. Бинобарин, металл солиштирма қаршилигининг температура коэффициенти:

$$\text{TK}_p = \alpha_p = \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT}$$

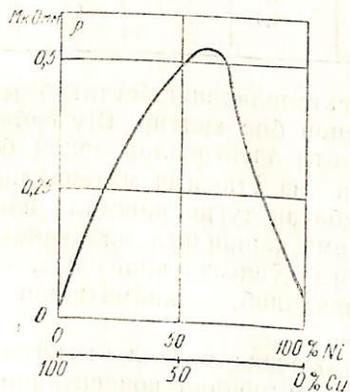
Агар температура кичик оралиқда ўзгарса, ρ қийматиининг температурага боғлиқлиги қуйидагича бўлади:

$$\rho_2 = \rho_1 [1 + \alpha_p (T_2 - T_1)],$$

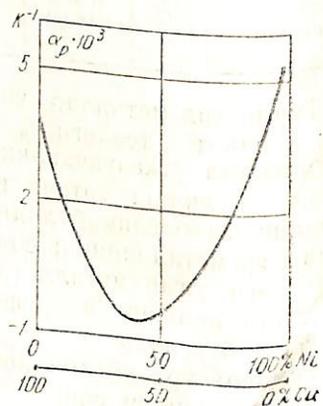
бунда ρ_1, ρ_2 — ўтказгичнинг T_1, T_2 температурадаги солиштирма қаршиликларининг қийматлари ($T_2 > T_1$); α_p — солиштирма қаршилиқнинг ўртача температура коэффициенти.

Металлар (масалан, мис) қаттиқ ҳолатдан суяқ ҳолга ўтганида уларнинг солиштирма қаршиликлари ортади. Металл қотишмалари таркибига қўшимча киритилиши оқибатида уларнинг таркиби бузилади ва солиштирма қаршилиги ортади (38-расм). Икки металлни биргаликда эритиб, сўнг совитилса, улар кристалланади ва бир металл атомлари иккинчисининг кристалли панжарасига киради. Эгри чизиқнинг юқори қиймати қотишма бирикмаларининг маълум нисбатига тўғри келади. Бу ҳолатда α_p коэффициенти ҳам маълум қонуният бўйича ўзгаради. α_p коэффициенти соф металлларда нисбатан юқори бўлади.

Одатда, металлларнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти диэлектрик иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентиға нисбатан анча юқори бўлади. Бу металлларда озод электронлар мавжудлиги билан исботланади. Температура оширилганда металлдаги электронларнинг силжувчанлиги ва уларнинг со-



38-расм. Мис-никель қотишмаси таркибга боғлиқлиги.



диэлектрик кўрсаткичларининг

лиштирма ўтказувчанлиги камаяди, натижада металл иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентиининг унинг солиштирма ўтказувчанлигига нисбати (γ_n/γ_r) шубҳасиз, ортади. Бу математик тарзда Видеман-Франц—Лоренц қонуни билан ифодаланади:

$$\gamma_n/\gamma_r = L_0 T,$$

бунда T — термодинамик температура, К; L_0 — Лоренц сони.

$$L_0 = \frac{\pi^2 k^2}{3l^2}$$

Агарда $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Ж/К, $l = 1,6 \cdot 10^{19}$ Кл қийматларни (4.7) формулага қўйсақ, $L_0 = 2,45 \cdot 10^{-8}$ В²/К² эканлиги келиб чиқади. Видеман-Франц—Лоренц қонуни аксарият металллар (марганец ва бериллийдан ташқари) учун тааллуқлидир. Нормал температурада алюминий учун $L_0 = 2,1 \cdot 10^{-8}$, кумуш учун $2,35 \cdot 10^{-8}$, рух учун $2,45 \cdot 10^{-8}$, қўрғошин ва қалай учун $2,5 \cdot 10^{-8}$, платина учун $26 \cdot 10^{-8}$, темир учун $2,9 \cdot 10^{-8}$, В²/К² га тенг.

Икки турли хил металл ўтказгичлар бир-бирига теккизилганда (39-расм), улар орасида контакт потенциаллар фарқи содир бўлади. Бунини турли хил металллар учун электронларнинг чиқиш иши қийматлари ва улардаги электрон концентрацияларининг ҳар хил бўлиши билан тушунтириш мумкин. А ва В металллар орасидаги контакт потенциаллар фарқи:

$$U_{AB} = U_B - U_A + \frac{kT}{l} \ln \frac{n_{cA}}{n_{cB}},$$

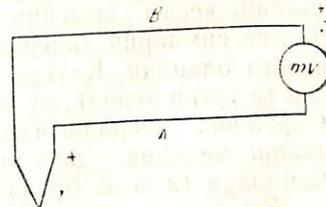
бунда U_A, U_B — бир-бирига туташган металлларнинг потенциаллари; n_{cA}, n_{cB} — А ва В металллардаги электронлар концентрацияси; k — Больцман доимийси; l — электрон зарядининг абсолют қиймати. Турли икки хил металл ёки қотишма симларидан ташкил топган ва бир-бирига уч қисмидан пайванд-асолаш натижасида олинган сим термопара дейилади ва у, асосан, муҳит температурасини ўлчашда ишлатилади.

Термопара тайёрлашда ТЭЮК катта ва барқарор симлар қўлланилади.

Ўтказгичларнинг чизиқли кенгайиш коэффициенти бир-бирига бириктирилган турли материаллар, вакуумли ускуналарда уланадиган қисмларни зичлашда керак бўлади. Ўтказгичларнинг электр қаршилигининг температура коэффициентиини ҳисоблашда ҳам мазкур коэффициентдан фойдаланилади:

$$\text{TKR} = \alpha_R = \alpha_p - \alpha_l$$

Нормал температурада осон эрувчан металлларда α_p қиймати нисбатан юқори бўлади.



39-расм.

7.2. Үтказувчанлик хусусияти юқори бўлган материаллар

Электр ўтказувчанлиги юқори бўлган материалларнинг солиштирма қаршилиги нисбатан кичик бўлади. Ҳаттақичдан ток ўтаётганда бундай материалларда энергия исрофи ҳам анча кам бўлади. Ана шундай хусусиятлар таркибида қўшимчалар бўлмаган соф металлларга хосдир.

Кумуш солиштирма қаршилиги энг кичик ($\rho = 0,016 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$) металлдир. Кумушнинг оксидланишга чидамлилиги юқоридир. Кумушнинг нархи юқори бўлгани сабабли ундан фақат ноилож ҳоллардагина фойдаланилади.

Электротехникада қўлланиладиган асосий ўтказгич материалларидан бири мис ҳисобланади. У табиатда кенг тарқалган материал бўлиб, механик мустаҳкамликка ва яхши ўтказувчанликка эгадир. Миснинг ρ қиймати кумушникига нисбатан бироз юқоридир. Электротехникада асосан «Электролитик» мисдан фойдаланилади. Бундай мис электролиз усули билан яхшилаб тозаланиши натижасида унинг таркибидаги қўшимчалар миқдори 0,05—0,07% дан ортмайди. Халқаро стандартга мувофиқ тозаланган миснинг нормал шаронгтаги солиштирма ўтказувчанлиги 58 мкСм/м, яъни $\rho = 0,017241 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$ бўлиши керак.

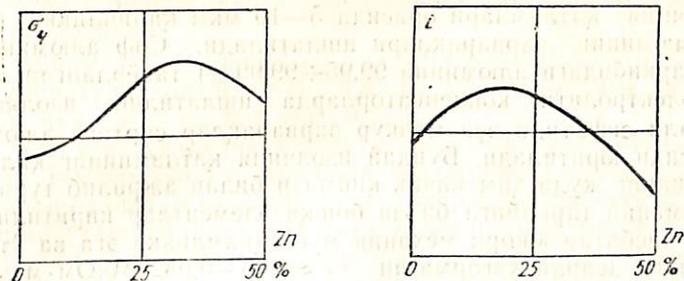
Саноат шаронгта мис сим ишлаб чиқариш жараёнида қаттиқ мис (МТ) учун $\rho \approx 0,0178 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$, юмшоғи (ММ) учун $\rho \approx 0,0175 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$ қилиб олинган. Ушбу симнинг механик хоссалари 16-жадвалда келтирилган.

16-жадвал

Кўрсаткич	Мис		Алюминий	
	Мг	ММ	АТ	АМ
Чўзилишдаги мустаҳкамлик, МПа	250 — 300	200 — 280	170 — 170	80
Нисбий узайиши, %	0,5 — 2,5	18 — 35	0,5 — 2,0	16 — 25
Солиштирма қаршилиги, мкОм · м	0,0179 — 0,0182	0,0174	0,0283	0,0280
Статик кайишқоқлик модули, ГПа	122 — 132	177	72	65

Агар металлнинг σ_n қиймати катта ва $\Delta l/l$ қиймати кичик бўлса, зарур механик мустаҳкамликни таъминлаш учун материалнинг кесим юзасини кичикроқ олса ҳам бўлади. Тозалаб ҳисобга олинади. Қаттиқ миснинг эгиловчанлик чегараси 300 МПа га тўғри келади, бу эса мазкур металлдан электр ўтказувчи пружина тайёрлаш имконини бермайди. Ҳаттақич материалларнинг механик хоссаларини яхшилаш мақсадида мис қотишмалари (жез ва бронза) дан фойдаланилади.

Жез — мис билан рухнинг бирикшидан ҳосил бўлган қотишмадир. Рух миқдорига нисбатан унинг механик хоссаларининг ўзгариши 40-расмда келтирилган. Мазкур характе-



40-расм. Магнит материалда индукциянинг магнит майдон кучланганлиги бўйича характеристикаси (гистерезис ҳалқаси)

ристикда асосан рухнинг маълум миқдорида жезнинг σ_n қиймати (а) қаттиқ мисникига тенглашади, нисбий узайиши эса юмшоқ мисники каби (б) бўлади. Бундай материални штамповкалаш анча қулайдир. Жезнинг баъзи махсус турларига қирқиш усули билан ишлов берилади. Жезнинг турига қараб ундаги рух миқдори 10÷40% атрофида бўлади. Жезнинг солиштирма қаршилиги соф мисникидан юқори бўлиб, бу қиймат 0,04÷0,35 мкОм · м ни ташкил этади.

Бронза асосан мис билан қалай бирикмасидан ташкил топган қотишма бўлиб, ўтказувчи пружина тайёрлаш мақсадида унинг махсус фосфорли (0,05÷0,1% Р, 3—7% Sn, 2,5% Al, 2% Zn) ва бошқа турлари қўлланади. Бронзанинг механик мустаҳкамлиги $\sigma_n = 800 \div 1200 \text{ МПа}$ га яқин бўлиб, бу қиймат қаттиқ миснинг қийматидан икки баробар юқоридир. Бериллийли бронза (2,25% Ве) нисбатан эгиловчан бўлиб, унинг σ_n қиймати 1350 МПа гача кўтарилади. Бронзанинг аксарият турларида $\rho = 0,03 \div 0,22 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$ бўлади. Қадмийли бронзанинг (0,9÷1,0% Cd) солиштирма қаршилиги 0,019÷0,21 мкОм · м, чўзилишдаги мустаҳкамлиги 650÷700 МПа бўлиб, унинг эгирилтишга чидамлилиги нисбатан юқоридир. Мазкур турдаги бронза электр тортгич симлари ва кўтарма кранлар учун мўлжалланган симларни тайёрлашда ишлатилади.

Алюминий ўзининг электр ўтказувчанлик хусусияти жиҳатидан мисдан кейинги ўринда турадиган ўтказувчи материалдир. Қаттиқ алюминийнинг механик мустаҳкамлиги юмшоқ алюминийга нисбатан 2 баробар ортиқ, солиштирма қаршилиги эса 60% юқоридир. Мис билан бир хил ўтказувчанликка эга бўлиши учун алюминий симининг кўндаланг кесим юзасини 60% ошириш талаб қилинади. Бу эса алюминий ишлатилган электр машина ва жиҳозларнинг ҳажми ва таънарихи нисбатан катта бўлишига олиб келади.

Ҳаво орқали электр узатгичларда алюмин-пўлат симлари кенг миқёсда қўлланилади. Бундай симнинг ўзаги бир-бирига ўралган пўлат симлардан иборат бўлиб, унинг устидан эса алюминий симлари ўралади. Мазкур симларда механик кучланмиш пўлат, электр кучланиши эса алюминий материаллари

зиммасига тушади. Қоғозли ва пардали конденсатор тайёрлашда изоляция қатламлари орасида 5—10 мкм қалинликка эга юпқа алюминий зарварақлари ишлатилади. Соф алюминийдан (таркибидаги алюминий 99,95÷99,99%) тайёрланган зарварақ электrolитик конденсаторларда ишлатилиб, изоляция материали сифатида эса мазкур зарварақлар сиртига алюминий оксиди юритилади. Бундай изоляция қатламининг қалинлиги ўзининг жуда ҳам кичик қиймати билан ажралиб туради.

Алюминий таркибига баъзи бошқа элементлар киритилиши орқали нисбатан юқори механик мустаҳкамликка эга ва ўтказувчанлиги деярли ўзгармаган ($\rho \approx 0,03—0,032 \text{ МкОм} \cdot \text{м}$) металл олиш мумкин. Бунга мисол қилиб алдрей (0,5÷0,7% Mg, 0,5÷0,6% Si, 0,3% Fe, қолгани Al) материални келтириш мумкин.

Темир ўтказувчи материал сифатида нархи арзонлиги ва юқори механик мустаҳкамлиги билан ажралиб туради.

Хатто соф темирнинг ҳам солиштирма қаршилиги мис ва алюминийга нисбатан анча юқори ($\rho = 0,1 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$) бўлиб, мазкур қаршилиқ ўзгарувчан ток таъсирида янада ортади. Темир (пўлат) симларнинг асосий камчилиги коррозияга бўлган чидамсизлигидир. Шу сабабли, бундай симлар сирти химоя қопламаси (руҳ пардаси) билан қопланади. Соф темирнинг механик мустаҳкамлиги нисбатан паст бўлганлиги учун, алоқа ва электр узаткичларда (қишлоқ шаронтида) таркибида 0,1—0,15% углерод, чўзилишдаги мустаҳкамлиги 700÷750 МПа бўлган юмшоқ пўлат ишлатилади. Бундай пўлат, асосан, кишилатилади. Пўлатдан ўтказувчи симлари сифатида вай ва электрлаштирилган темир йўл (метро)да рельс кўришида фойдаланилади.

Ўтказувчан биметалл (қўшметалл) — сиртига бир текис қилиб мис қопланган пўлат симдир. Бундай сим таркибидаги мис миқдори 44—45% бўлиб, симнинг солиштирма қаршилиги 0,03÷0,04 мкОм га тенг. Биметалл симларнинг ташқи диаметри 1÷4 мм, σ_c нинг ўртача қиймати (симнинг бутун кесими бўйлиқдаги бундай симнинг диаметрига нисбатан қаршилиги (нормал шаронтда ва ўзгармас токда) 60 Ом/км ни ($d = 1 \text{ мм}$ бўлганда) ва 4 Ом/км ($d = 4 \text{ мм}$ бўлганда) ни ташкил этади. Бундай симлар электр ва алоқа линияларида ишлатилади.

7.3. Ўта ўтказгичлар ва криоўтказгичлар

Металл ўта совитилиши натижасида унинг солиштирма қаршилиги кескин пасайиб кетади. Жисмда солиштирма электр ўтказувчанлик деб, совитилиши натижасида жисмнинг ўта ўтказувчанлик ҳолатига ўтишидаги температура эса ўта ўтказувчанликга ўтиш температураси T_c деб аталади. Бошқача таърифлаганда, ўта ўтказувчанликда (абсолют нолга яқин ($-273^\circ\text{C} =$

$= 0 \text{ K}$) температурада) ўтказгичнинг электр қаршилиги деярли йўқолади.

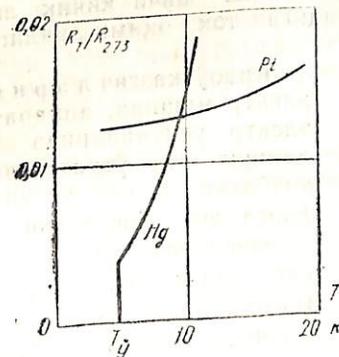
Айрим ўтказгичларнинг ўта ўтказувчанлик ҳолатига ўтиш температуралари: руҳ учун 0,82 К; алюминий учун 1,2 К; тантал учун 4,4 К; ниобий учун 9,17 К.

Ўта ўтказувчанлик ҳолатига ўтиш ҳодисаси қайтарилувчандир. Температура кўтарилиши натижасида ўта ўтказувчанлик ҳолати бузилади ва жисм нормал шаронтда ўзининг асл солиштирма ўтказувчанлик ҳолатига қайтади. Жисм қайта совитилса, у яна ўта ўтказувчанлик ҳолатини олади. Бунини симоб мисолида (41-расм) кўриш мумкин.

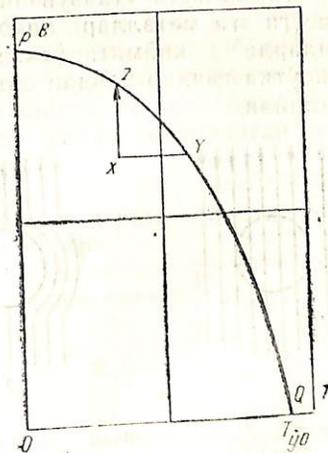
Ҳозирги пайтда бизга 35 та ўта ўтказувчан металл ва 1000 дан ортик ўта ўтказувчан қотишма ва кимёвий бирикмалар (кумуш, мис, олмагълум, Шу билан бирга, баъзи металллар (кумуш, мис, олмагълум, платина) нинг ρ қиймати нормал температурада жуда паст бўлгани билан, чуқур совитилганда улар ўта ўтказувчанлик ҳолатига ўтмайди (41-расм).

Абсолют нолга яқин температурада (T_c дан паст қийматда) ўта ўтказгич занжирга киритилган электр токи узоқ вақт (йиллар давомида) ўз кучини йўқотмай, занжирда айланиб юради, деб фараз қилинади. Бундай ўта ўтказувчан занжир унинг ўраб турган муҳитда магнит майдони ҳосил қилади. Ўта ўтказувчанлик ҳолатининг бузилиши фақат температура (T_c дан юқори) кўтарилишидагина эмас, балки ўта ўтказгич сиртидан магнит индукцияси ҳосил бўлганда ҳам кузатилади.

Ўта ўтказувчан ҳолатдаги материал температурасининг ҳар бир қийматига ўзининг индукция ўтиш қиймати B_c мос келади (42-расм). Мазкур ўта ўтказгич материалсининг жуда кичик қий- температураси T_{c0} га магнит индукциясининг жуда кичик қий- матида эришилади. Агар материал x нуқтага тўғри келувчи



41-расм.



42-расм. Биринчи турдаги ўта ўтказувчанлик ҳолатининг умумий кўриниши.

температура ва магнит индукцияда ишласа, ўта ўтказувчанлик хоссаси материал исини (ρQ чизиги орқали) ва магнит индукция ортиши натижасида пасаяди. Ўта ўтказувчанлик ҳолати характеристиканинг штрихланган қисмига тўғри келади.

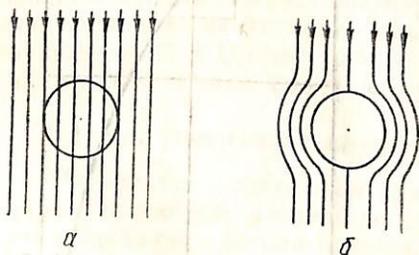
Ўта ўтказувчи материаллар нормал ҳолатдан ўта ўтказувчи ҳолатга ўтишда идеал диамагнетикка айланади, яъни уларнинг нисбий магнит сингдирувчанлиги μ_r кескин пасайиб, нолга яқинлашади. Шу сабабли, ташқи магнит майдони ўта ўтказувчан жисмга синга олмайди. Агар жисмнинг ўта ўтказувчанлик ҳолати магнит майдонида рўй берса, бу майдон ўта ўтказгичдан «сиқиб» чиқарилади (43-расм).

Ўта ўтказувчан хоссага эга соф металллар I даражали ўта ўтказгичлар деб, шу хоссага эга қотишма ва кимёвий бирикмалар эса II даражали ўта ўтказгичлар деб аталади. II даражали ўта ўтказгичлар нормал ҳолатдан ўта ўтказувчанлик ҳолатига кескин сакраб ўтмасдан, балки аста-секинлик билан ўтади ва бу икки ҳолат «оралиқ» ҳолат билан чегараланади.

Ўта ўтказувчанлик температура таъсиридан ташқари, юқори босимда ҳам содир бўлади. Ўта ўтказувчанлик ҳолати ярим гугурт ($T_g = 9,7$ К) ва ксенонда ($T_g = 6,8$ К) ҳам аниқланди.

Ўта ўтказгичлардан ҳажми ва массаси кичик, фойдали иш коэффиценти юқори бўлган электр машинаси, трансформатор қувватга эга электр узатгичлар яратишда, мўлжалланган катта йиғувчи мосламалар сифатида фойдаланилади.

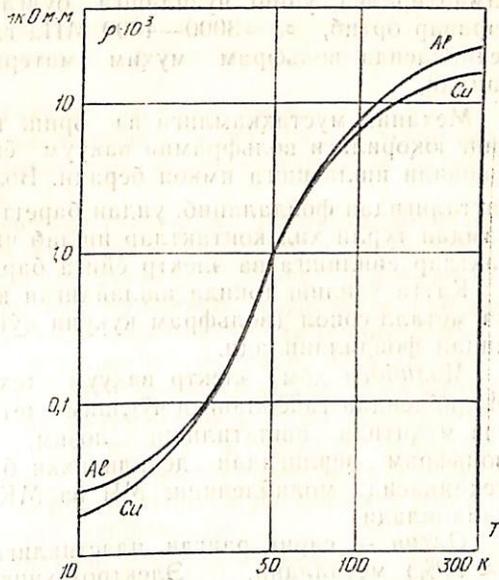
Ҳозирги замон электротехникасида криоўтказувчанлик ҳодисасидан кенг фойдаланилмоқда. Мазкур ҳодиса металллар эришганда (ўта ўтказувчанликка ўтмасдан) содир бўлади. Бу гичларда қиймати ўтказгичларникидан анча кичик, аммо чеклайди.



43-расм. Ўта ўтказувчан, совитилган шарнинг текис магнит майдонида жойлашган ҳолатининг тасвири:

Криоўтказгичларнинг электр машина, аппарат ва электр ускуналарида қўлланиши ўта ўтказгичларга нисбатан баъзи устуналикларга эга. Совитувчи модда сифатида суюқ водород ёки суюқ азот қўллаш (қимматбаҳо суюқ гелий ўрнига) электр ускуналари иссиқлик изоляциясини соддалаштиради ва совитишга сарф бўладиган энергияни тежайди.

Криоўтказгичларда температура кўтарилиши билан қаршилик аста-секин кўтарила боради. Бундай ўзгариш 44-расмда мис ва алюминий каби ўтказгичлар характеристикасида келтирилган. Барча ҳолларда ҳам юқори сифатли криоўтказгичлар тайёрлаш учун соф металллар ишлатилади. Алюминий солиштирма қаршилигининг унинг софлигига нисбатан ўзгариши 17-жадвалда келтирилган.



7.4. Турли металллар

Вольфрам — ниҳоятда оғир, қаттиқ, кулранг металл дур.

Унинг эриш температураси металллар ичида энг юқоридир. Туркиби турлича бўлган рудага ишлов бериш орқали ундан вольфрам кукун кўринишида ажратиб олинади. Олинган кукунни юқори босимда сиқиб, стержень ҳолига келтирилади ва водород муҳитида мураккаб ишлов берилади. Сўнгра уни чўдорд зиш орқали диаметри 0,01 мм гача бўлган вольфрамли сим, варақ ва ҳоказолар тайёрланади. Вольфрам дондор структура, кристаллари ўзаро бўш боғланган материал бўлиб, ундан тайёрланган қалин маҳсулотлар мўрт ва осон синувчан бўлади. Агар вольфрамга механик ишлов (чўзиш, болгалаш) берилса, у толали структурага ўтиб, ундан тайёрланган сим

44-расм. Криоўтказгичлар учун ρ қиймати-нинг температурага боғлиқлиги.

17-жадвал

Софлик даражаси турлича бўлган алюминийнинг солиштирма қаршиликлари нисбатлари

Материалнинг ҳолати	Софлик даражаси, %	$\rho_{300\text{ К}}/\rho_{20\text{ К}}$
Совуқ ҳолатда тортиб тайёрланган сим	99,5	41
Қизитилган ҳолатда тортиб тайёрланган сим	99,5	57
—	99,99	696
—	99,9975	1100
—	99,9992	2400
—	—	6000
Ўта тозаланган сим	—	—

эги дувчанликка эга бўлади. Вольфрамли симнинг қалинлиги камайтирилса, унинг чўзилишга бўлган мустаҳкамлиги 6—8 барабар ортиб, $\sigma_4 = 3000\text{—}4000$ МПа га етади. Электр вакуум техникасида вольфрам муҳим материаллардан бири ҳисобланади.

Механик мустаҳкамлиги ва эриш температураси (2000°C) нинг юқорилиги вольфрамни вакуум ёки инерт газ муҳитида ишончли ишлатишга имкон беради. Вольфрамнинг қиймати катталигидан фойдаланиб, ундан бареттер тайёрланади. Вольфрамдан турли хил контактлар ишлаб чиқарилади. Бундай контактлар ейилишга ва электр ёйига бардошлидир.

Катта узилиш токида ишлайдиган контактларни тайёрлашда металл-сопол (вольфрам кукуни қўшилган сопол) материалдан фойдаланилади.

Молибден ҳам электр вакуум техникасида ишлатилади. Молибдендан тайёрланган чўгланма деталлар вакуум ёки инерт газ муҳитида ишлатилиши лозим. Молибденнинг зичлиги вольфрам зичлигидан деярли икки баробар камдир. Вакуум техникасида молибденнинг МЧ ва МК навларидан кенг фойдаланилади.

Олтин — сариқ рангли, пластиклиги юқори ($\sigma_4 \approx 150$ МПа, $\Delta l/l \approx 40\%$) металлдир. Электротехникада ундан фотоэлемент электродлари учун контакт материаллари ва бошқа мақсадларда фойдаланилади.

Кумуш — оқ рангли, ялтироқ, нормал температурада оксидланишга чидамли металлдир. Металлар ичида унинг солиштирилган симнинг механик хоссалари: $\sigma_4 = 200$ МПа, $\Delta l/l = 50\%$. Бундай симдан нисбатан кичик токли контактлар ишлаб чиқаришда фойдаланилади. Диэлектрик (слюда, сопол)лардан электрод сифатида фойдаланиш учун уларнинг сиртига кумуш пардаси юритилади.

Платина — кислород билан деярли бирикмайдиган, кимёвий жиҳатдан чидамли металлдир. Платинага механик ишлов берилган анча қулай. Унинг механик хоссалари: $\sigma_4 \approx 150$ МПа, $\Delta l/l \approx 30\text{—}35\%$. Платинадан, хусусан, юқори температурали ($a \approx 1$ мкм) тола олишда фойдаланилади. Платинанинг ирилги, механик мустаҳкам материал бўлиб, едирилшга чидамзарур ҳоллардагина қўлланилади.

Палладий аксарият хоссалари билан платинага яқин бўлиб, айрим ҳолларда унинг ўрнида ишлатилиши ҳам мумкин. Палладийнинг кумуш, мис билан қотишмалари контакт материаллари сифатида қўлланилади.

Никель — кумуш ранг-оқ металл бўлиб, электр вакуум техникасида кенг қўлланилади. Уни жуда тоза ҳолда ($99,99\%$ таяёрланади. Унинг механик хоссалари $\sigma_4 = 400\text{—}600$ МПа,

$\Delta l/l = 35\text{—}55\%$ бўлиб, совуқ ҳолатда механик ишлов бериш қулайдир. Никель оксидланишга чидамли металлдир. Ундан магнит ва ўтказгич материалларнинг қотишмаларини тайёрлашда, темир асосида тайёрланган деталлар сиртини қоплашда фойдаланилади.

Кобальт механик мустаҳкам ($\sigma_4 \approx 500$ МПа, $\Delta l/l \geq 50\%$), кимёвий актив бўлмаган металлдир. Ундан кўпгина магнитли ва иссиққа чидамли қотишмалар олишда таркибий металл сифатида фойдаланилади.

Қўрғошин — йирик кристалл тузилишли, тез оксидланувчан, юмшоқ, пластик, механик мустаҳкамлиги кичик ($\sigma_4 \approx 15$ МПа, $\Delta l/l > 55\%$), кулранг тусли металлдир. Унинг солиштирма қаршилиги нисбатан юқоридир. Қўрғошин коррозияга, сув ва айрим кислоталар (H_2SO_4 , HCl) таъсирга чидамлидир. Аммо, баъзи органик моддалар қўрғошинни емиради. Қўрғошиндан кабель изоляциясини намликдан ҳимоя қилишда, суюқланувчан сақлагичлар тайёрлашда, аккумулятор пластиналарида фойдаланилади. Қўрғошин рентген нурини жуда яхши ютиш ҳудудаланилади. Қўрғошин қотишмаларининг механик мустаҳкамлиги нисбатан юқори бўлиб, тебранишга чидамли асбоб-ускуналар ишлаб чиқаришда ишлатилади.

Қалай — кристалл тузилиши, оқ-кумуш рангли, юмшоқ, чўзилувчан ($\sigma_4 \approx 16\text{—}38$ МПа) металлдир. Нормал температурада у ҳавода оксидланмайди. Қалайдан металлар юзини қоплашда, варақлар, слюдали конденсаторларнинг электродларини тайёрлаш ва ҳоказоларда фойдаланилади.

Рух — нормал температурада мўрт материал бўлиб, металлургия усулида олинадиган ва электролитик тарзда тозаланади. Ўта тозаланган рухнинг таркибида $99,99\%$ Zn бўлади. Рухдан муҳофаза қопламаси, жез таркибида, гальваник элементларнинг электродларини тайёрлашда, шунингдек фотоэлементларда фойдаланилади.

Кадмий — кумуш ранг металл бўлиб, рух рудаларида доимо мавжуддир. Тозаланганлик даражасига қараб кадмий бир неча маркаларда ишлаб чиқарилади. $99,997\%$ ли кадмий энг тоза ҳисобланади. Кадмийдан фотоэлементлар, гальваник элементлар тайёрлашда, шунингдек, атом реактори секинлаткичида фойдаланилади.

Симоб — оддий температурада суюқ ҳолатда бўлувчи ягона металлдир. У хона хемпературасида ҳам осон буғланади. Шу сабабли, ундан газразряд асбобларида фойдаланилади. Кўпгина металлар (алюминий, рух, қўрғошин, мис, платина, кадмий, олтин, кумуш ва ҳоказо) симобда эриб, амальгама ҳосил қилади. Шунинг учун симоб ишлатилган асбобларнинг меҳталл қисми симобда эримайдиган вольфрам, темир ёки танталдан ясалади. Симоб суюқ катод сифатида симобли тўғрилагичларда, симобли лампа ва газразрядли асбобларда, шунингдек симобли реле контактлари ва ҳоказоларда ишлатилади.

Симоб ва унинг бирикмалари, айниқса симоб буғлари заҳарлидир.

7.5. Турли қотишмалар

Ўлчаш техникасида, реостатларда, электр иситкич асбобларида катта қаршиликка эга материаллар ишлатилади. Бу мақсад учун соф металллардан эмас, балки уларнинг махсус қотишмаларидан фойдаланилади. Эритилган икки хил металлни ўзаро қўшиб, совитилганда уларнинг айрим кристаллари алоҳида ёки биргаликда кристалланиши оқибатида бошқа, умумий кристалли жисм ҳосил бўлади. Биринчи ҳолда қотишманинг солиштира қаршилиги ρ унинг таркибидаги юқори қаршиликли металлнинг миқдорига тўғри пропорционал, иккинчи ҳолда эса қотишманинг солиштира қаршилиги ўзининг юқори қийматига эга бўлади. Юқори қаршиликли материал икки ёки уч компонентдан ташкил топади.

Мис асосида тайёрланган қотишмаларга манганин, константан, нейзильберлар мисол бўла олади.

Манганин резистор ишлаб чиқаришда қўлланилади. Унинг таркибида 85% мис, 12% марганец, 3% никель бўлган ҳолда, солиштира қаршилиги $0,42—0,48$ мкОм·м, α коэффициенту $(5 \div 30) \cdot 10^{-6}$ К га тенгдир. Манганиндан электр ўлчов техникаси учун сифатли, аниқлик даражаси юқори бўлган қаршилик ғалтаклари тайёрлашда фойдаланилади.

Константан таркибида 60% га яқин мис ва 40% атрофида никель бўлиб, солиштира қаршилиги $0,45—0,52$ мкОм·м, $\alpha_p = (-20; -50) \cdot 10^{-6}$ град⁻¹. Мазкур қотишмадан ўлчов техникасида қўлланилувчи асбоблар (вольтметр ва ҳоказо) учун юқори сифатли стабил қаршиликлар эмас, балки қўшимчадан ва манганин материаллари бирикмасидан ишлаш шароитида кин. Константан билан мис ўзаро кавшарланиши натижасида $100—150^\circ\text{C}$ ҳароратда ишлайдиган термопара вужудга келади.

Нейзильбер никель, рух ва мис асосидаги қотишма (тарлиги сабабли реостатларда кенг миқёсда ишлатилади. Мазкур қотишманинг солиштира қаршилиги $0,35—0,40$ мкОм·м, $\alpha_p = 200/10^{-6}$ град⁻¹, иш температурасининг юқори қиймати 200°C га тенг.

Мис асосида тайёрланган қотишмаларнинг асосий камчиликлари иш температурасининг унча юқори бўлмаслигидир.

Никель асосида тайёрланган катта қаршиликли қотишмаларга нихром (никель билан хром қаршиликли қотишмадир. Унинг солиштира қаршилиги 1 мкОм·м, юқори иш температураси $900 \div 1100^\circ\text{C}$ бўлиб, қизитилганда оксидланишга чика—сим (диаметри $0,01—0,03$ мм) қотишмасидан ингичкланади. Унинг таркибидаги хром миқдори усули орқали тайёр T_r қийматлари кўтарилиши билан бирга қотишманинг мустахкамлиги ҳам ошади.

Темир таркибига хром ва алюминий қўшилса, ρ ва T_r қийматлари юқори (нихромникига яқин), арзон қотишма (*Фехрал ёки хромал*) ҳосил бўлади. Фехрал (хром $12—15\%$, алюминий $3,5—5,5\%$, қолгани темир) дан ингичка ($d = 0,2 \div 0,3$ мм) сим ёки тасмалар тайёрланади. Хромал ($23—27\%$ хром, $4,5—6,5\%$ алюминий, қолгани темир) нинг солиштира қаршилиги $1,4—1,6$ мкОм·м, иш температураси 1250°C .

Агар юқори қаршиликка эришиш талаб этилса, нихромдан фойдаланилади, чунки бу қотишманинг ρ қиймати нисбатан юқоридир.

Термопара тайёрлашда қуйидаги қотишмалардан фойдаланилади: копель ($56\% \text{Cu} + 44\% \text{Ni}$); алюмель ($95\% \text{Ni} + 5\% \text{Al, Si, Mg}$); хромель ($90\% \text{Ni} + 10\% \text{Cr}$); платинородий ($90\% \text{Pt} + 10\% \text{Rh}$).

Таркибидаги металлларнинг хоссасига кўра термопаралар қуйидаги температураларни ўлчашда қўлланилади: платинородий — платина (1600°C гача); мис — константан, мис — копель (350°C гача); темир — константан, темир — копель, хромель — копель (600°C гача); хромель—алюмель ($900 \div 1000^\circ\text{C}$ гача).

Тензометрик қотишмалар. Бундай қотишмалар механик кучланиш таъсирида бўлган конструкциялардаги деформацияни ўзгартиргичлар таркибида қўлланади. Ундан ясалган тензометрик элемент деформацияланиш натижасида ўз қаршилигини ўзгартиради. Тензосезгирлик коэффициенти қуйидагича аниқланади:

$$d = \frac{\Delta R/R}{\Delta l/l},$$

бунда R — тензометрик элемент қаршилиги, Ом; ΔR — R нинг элемент узунлигига қараб ўзгариши, Ом; l — элемент узунлиги, м; Δl — деформация натижасида элемент узунлигининг ўзгариши, м. Юқорида келтирилган d нинг қийматини қуйидаги формуладан ҳисоблаб топиш мумкин:

$$d = 1 + \frac{\Delta \rho}{\rho} \frac{E S}{F} + 2\nu,$$

бунда: $\Delta \rho$ — механик куч F таъсир этиши натижасида тензометрик элемент солиштира қаршилигининг ўзгариши; ν — элемент симининг кўндаланг кесим юзаси; E — Юнг модули; ρ — мазкур сим материалнинг Пуассон коэффициенти.

Константан тензометрик элемент сифатида нисбатан унча юқори бўлмаган температураларда ишловчи асосий материалдир.

Контакт материаллари. Коммутатор, кучли электр занжир узгичлари ва бошқа ускуналарнинг узувчи ва сирпанувчи контактлари, мазкур қурилмаларнинг муҳим қисми ҳисобланади. Контакт нуқтасида ҳосил бўладиган қаршилик иссиқлик аж-ралиб чиқишига ва бунинг натижасида контактлар эриб, бир-

Кавшарларнинг таркиби ва асосий хоссалари

18-жадвал

Кавшарнинг тури	Белгилаши	Таркиби	Хоссалари			Мазкур кавшар ёрдамида бириктириладиган материаллар
			Зичлиги $\times 10^3$ кг/м ³	Чўзилишдаги мус таъхид-лиги, МПа	Эриш температураси, °С	
Қалай-кўрғошинли	ПОС-18 ПОС-90	18—90% Sn, 0,15—2,5% Sb, қолгани Pb	7,6—10,2	28—43	190—227	Мис ва унинг қотиш-малари, кумуш, рухлан-ган темир
Қалай-кўрғошин-кадмийли	ПОСК-47	47—50% Sn, 32—36% Pb, 17—18% Cd	—	—	145—180	Мис ва унинг қотиш-малари, сополга қуйди-риш усулида қопланган кумуш
Калий-кўрғошин-кумуш-кадмийли	ПСрК	30% Sn, 63% Pb, 5% Cd, 2% Ag	—	—	225	Шунинг ўзи
Вуд қотишмаси		12,5% Sn, 25% Pb, 11,5% Cd, 50% Bi			60,5	Ўта паст температура-ларда бириктириладиган материаллар
Қалай-кадмий-рух-ли		40—55% Sn, 20% Cd, 25% Zn, (15% Al)				Алюминий ва унинг қотишмалари
Мис-рухли	ПМЦ-36 ПМЦ-54	36—54% Cu қолгани Zn	77—8,3	220	200—250	Мис ва унинг қотиш-малари, пулат
Мис-кумуш-рухли	ПСР-25 ПСР-70	26—40% Sn, 25—70% Ag, 4—35% Zn	8,9—9,8	280—350	720—765	Мис ва унинг қотиш-малари пулат, вольфрам, платина, кумуш

лай, С — кўрғошин, Су — сурьма, Н — никель, Пд — палладий, Ин — индий, М — мис, Ср — кумуш, Г — германий, Кр — кремний, А — алюминий, Ви — висмут, К — кадмий, Т — титан.

Флюслар. Кавшарлаш жараёнида металллар бир-бирига яхши бириктириш учун уларнинг юзасига ёрдамчи материал бўлмиш флюс ёрдамида ишлов берилади. Бунда флюслар кавшарланадиган металллар юзасидаги оксид пардаси ва ҳар хил ифлосликларни бартараф этиши, кавшарлаш вақтида ва эритилган кавшарни оксидланишдан сақлаши, эритилган кавшарнинг сирт таранглик кучини камайитириши лозим. Флюс бириктириладиган юзалардаги мой, лок каби пардаларни йўқота олмайди. Шу сабабли, кавшарлашдан олдин металл юзалар ифлосликлардан кимёвий ёки механик усулда тозаланмоғи керак.

Флюслар қаттиқ (туз, оксид), эртма (кислота) ва паста кўринишида бўлади.

Қўлланилишига қараб флюслар икки: юмшоқ ва қаттиқ кавшарлар учун мўлжалланган турларга бўлинади (19, 20-жадваллар). Флюслар, кўпинча, ишлатиш олдида тайдёрланади. Уларнинг белгиланишидаги ҳарфлар қуйидагиларни билдиради: Ф — флюс, К — канифоль, Сп — спирт, П — полиэфир қатрони, Эт — этилацетат, Д — диэтиламин, Т — триэтиламин, У — сирка кислотаси, Фс — фосфат кислота Гл — глицерин, Х — хлор тузи ва ҳоказо.

19-жадвал

Юмшоқ кавшарлар учун мўлжалланган флюслар

Белгилаши	Таркиби	Қўлланилиши
ФК	100% канифоль	Жез, мис, рух, кумуш, кадмийни бириктиришда
ФКСп	10—40% канифоль	
ФПЭт	90—60% этил спирти	Углеродли пулат, мис ва унинг қотишмаларини бириктиришда
ЛПТИ-120	20—30% полиэфир қатрони,	
	80—70% этилацетат	
ФТСп	20—25% канифоль,	
	3—5% тузли диэтиламин,	
	1—5% триэтиламин,	
	76—68% этил спирти	Мис, жез, бронза, константан, платиналарни бириктиришда
	4—4,5% салицил кислотаси,	
	1—1,5% триэтиламин	
	95,94 этил спирти	

Металлмас ўтказгичлар

Қаттиқ металлмас ўтказгичлар орасида углерод асосидаги материаллар муҳим аҳамиятга эгадир. Углероднинг аллотропик ўзгарган шакллари бўлиб, бунда олмосдаги углерод атомлари тетраэдр кўринишида бир-биридан аниқ масофада (2,5 Å) жойлашади, графитда улар бир текисликда ётиб, томонлари 2,5 Å ли олти бурчак ҳосил қилади; мазкур текисликлар орасидаги масофа (3,4 Å) атомлар орасидаги масофадан каттадир. Шу сабабли, графит атомлари орасидаги боғланиш нисбатан

Кавшарлар учун мўлжалланган флюслар

Белгиланиши	Таркиби	Қўлланилиши
Ф370А	33—37% хлорли калий, 40—41% хлорли литий, 27—29% бор-фтор-водород- ли қалай	Алюминий ва унинг қотишмаларини бириктиришда
Ф800Ст	100% тетраборли натрий	Зангламайдиган пўлат, жез ва унинг қотишмаларини бириктиришда
ФХ	28% хлорли калий, 35% хлорли натрий, 30% фторли алюминий	Бериллийли бронзани бириктиришда
ФЦХ	28% хлорли рух, 7% хлорли алюминий, 5% глицерин, 60% этил спирти	Мис ва унинг қотишмалари. коварь ва рух қопламали металлларни бириктиришда

бўшлиги натижасида, электронларнинг бир қисми озод бўлишига имкон яратилади. Графитнинг солиштирма қаршилиги 10 мкОм·м, яъни нихромникдан 10 марта юқоридир.

Углерод аморф ҳолатда бўлиши ёки майда кристаллардан ташкил топиши мумкин. Юққа қатламли углеродда $\rho = 50—55$ мкОм·м, $\alpha_p = (200—500) \cdot 10^{-6}$ град⁻¹ бўлади. Унинг юққа қатламидан фойдаланиб (вакуумда, 900—1000°С да парчалаб), сопол ўзак сиртида қиймати 30—50 кОм бўлган кичик ҳажмли тош ёрдамида спиралсимон қилиб ўйилади ва керакли кенглик (узунлик) да маълум қаршиликка эга қатлам олинади (21-жадвал). Узакнинг учларига контактли қалпоқчалар кийгизилади ва уларнинг юзаси юққа лок қатлами билан қопланади.

Силик углерод, соф кремний ва кремний карбиди аралашмасидан олиниб, ундан иш температураси 1500°С га мўлжалланган, ρ қиймати 0,001—0,01 Ом·м ли ўзаклар тайёрланади. Углеродли материалдан электр машиналарнинг чўткаси, дрежектор учун электродлар, гальваник элемент анодлари каби

Кўмир электродларнинг параметрлари

21-жадвал

Электрод тури	Зичлиги, $\times 10^3$ кг/м ³	Солиштирма қаршилиги, мкОм·м	Массага нисбатан кукун, %	Чўзилишдаги мустаҳкамлик, $\sigma_{\text{ч}}$ МПа	Сиқилишдаги мустаҳкамлик, МПа
Кўмирли Графитланган	1,5	50	5—12	700—1100	2300—4100
	2,0	15	0,0 ² —0,0 ²	600—700	900—500

деталлар ясалади. Кўмир кукун микрофонларда говуш босими га қараб ўзгарадиган қаршиликлар тайёрлашда ишлатилади. Электрод ўзаклар олиш учун маҳсулот майдаланган боғловчи хом ашё (қатрон, суюқ шиша) билан аралаштириб, босим остида ишлов берилади. Сўнгга у пишириш жараёнини ўтайди. Пишириш жараёни оддий электр машина чўткаларини тайёрлашда 800°С да, графитланган чўткаларни тайёрлашда эса 2200°С да амалга оширилади.

Чўткалар электр машинасининг айланувчан ва қўзғалмас қисмлари орасида электр контакт ҳосил қилиб беради. Улар кўмир-графитли (УГ), графитли (Г), электрографитланган (ЭГ), мис-графитли (МГ) турларга бўлинади.

Чизиқли бўлмаган ва симсиз резисторларда ўтказгич материалли сифатида табиий графит қорақуяси, пиролитик углерод ҳамда юқори қаршиликка эга металл қотишмалари қўлланилади. (22-жадвал).

Қурум майда дисперсли углерод бўлиб, унга лок қўшилганда солиштирма қаршилиги кичик маҳсулот ҳосил бўлади. Ундан юқори кучланишли электр машиналарида электр майдонини текислашда фойдаланилади.

22-жадвал

Графит ва пиролитик углерод параметрлари

Материал	Зичлиги, $\times 10^3$ кг/м ³	Солиштирма қаршилиги, мкОм·м	Солиштирма қаршиликнинг температура коэффициенти, 10^4 , К ⁻¹	Чизиқли тенгагайини температура коэффициенти, 10^6 , К ⁻¹
Поликристалли графит	2,26	8	— 10	7,5
Монокристалли графит:				
базис текисликлари йўналишида	2,24	0,4	— 9	6,6
базис текисликларига кўндаланг йўналишда	2,24	100	— 400	2,6
Пиролитик углерод	2,10	10—50	— 2	6,5—7,0

8-606. ЯРИМ УТКАЗГИЧ МАТЕРИАЛЛАР

8.1. Умумий маълумотлар

Нормал температурадаги солиштирма қаршилиги ўтказгичларниқидан катта, бироқ диэлектрикларниқидан кичик бўлган материаллар ярим ўтказгичлар деб аталади. Бу туркумга электрон электр ўтказувчанликка эга ва солиштирма қаршилиги $10^{-6}—10^{-8}$ Ом·м бўлган материаллар киради. Ярим ўтказгичлардаги электронлар сони бошқа материалларга нисбатан анча кам бўлади. Ярим ўтказгичларнинг электр ўтказувчанлиги ташқи энергетик таъсирга ва мазкур жисм таркибидаги қўшимчаларга кўп жиҳатдан боғлиқдир. Ярим ўтказгичнинг электр ўтказувчанлигини бошқариш температура, нур, электр ва магнит майдони, механик кучланишга асослангандир.

Ярим ўтказгичларда электр ўтказувчанликнинг икки: электрон (n) ва электрон-тешик (p) тури мавжуд бўлиб, улар жисмда $p-n$ ўтишини вужудга келтиради. Бундай жисмларга катта ва кичик қувватга эга турли хилдаги электр тўғрилагич, кучайтиргич ва генераторлар мисол бўла олади. Улардан бошқариладиган, турли хил мураккаб мосламаларда кенг миқёсда фойдаланилади. Амалда қўлланилаётган ярим ўтказгичлар, асосан, оддий (уларнинг таркиби битта кимёвий элемент атомларидан ташкил топган) ва мураккаб (уларнинг таркиби икки ёки ундан ортиқ кимёвий элементларнинг атомларидан ташкил топган) хилларга бўлинади.

Ярим ўтказгичли ўзгарткичлар турли кўринишдаги энергия (иссиқлик, ёруғлик) ни электр энергиясига айлантириб беради. Ярим ўтказгичли ўзгарткичларга мисол тариқасида қуёш батареяси ва термоэлектрик генераторларни келтириш мумкин. Паст ўзгармас кучланишдаги рекомбинацияли чакнаш (электрон-тешикли ўтишга асосланган) нур узатиш манбаи ва ҳисоблаш машиналарининг ахборот чиқариш қурилмаларида ишлатилади.

Ярим ўтказгичлардан иситкич асбобларда, радиоактивли нур индикаторларида ва магнит майдон кучланганлигини ўлчашда фойдаланилади. Ҳозирги даврда шишасимон ва суюқ ярим ўтказгичлар ўрганилмоқда. Оддий ярим ўтказгичларнинг (23-жадвал) техникада кенг қўлланиладиганларига кремний, германий ва селен кириди. Мураккаб ярим ўтказгичлар Менделеев даврий системасидаги турли группа элементлари бирикмасидан, масалан, $A^{IV} B^{IV}$ формулалари (SiC), $A^{III} B^{V}$ ($JnSb$, $CaAs$, CaP), $A^{II} B^{VI}$ (CdS , $ZnSe$) элементлар бирикмасидан, шунингдек, баъзи оксидлар (Cu_2O) дан иборат. Ярим ўтказгичишнинг баъзи инновация (SiC) ва графитли ярим ўтказгичлар мисол бўла олади.

Ярим ўтказгич ишлатилган асбоб-ускуналар хизмат муддатининг юқорилиги, ҳажми ва оғирлигининг нисбатан кичиклиги, оддий ва ишончли ишлаши, иқтисодий самарадорлиги ва бошқа сифатлари билан ажралиб туради.

Оддий электрон ярим ўтказгичлар

Элемент	Менделеев жадвалидаги группаси	Таққик зонасининг кенглиги, эВ	Элемент	Менделеев жадвалидаги группаси	Таққик зонасининг кенглиги, эВ
Бор	III	1,10	Олтингурут	VI	1,50
Кремний	IV	1,12	Селен	VI	1,70
Германий	IV	0,7	Теллур	VI	0,36
Фосфор	V	1,50	Йод	VII	1,25
Мишьяк	V	1,20			

8.2. Ярим ўтказгичнинг электр ўтказувчанлиги

Жисм ўз агрегат ҳолатини ўзгартирганда атомларнинг энергетик ҳолатлари ташқи таъсир орқали бир-бирига нисбатан силжийди ва кўп миқдордаги энергетик зоналар вужудга келади. Диэлектрик, ярим ўтказгич ва ўтказгичларнинг энергетик диаграммалари бир-биридан кескин фарқ қилади. Бу фарқ улардаги таққик зоналарининг ўлчами билан белгиланади. Ҳар бир жисмнинг атоми ўзининг аниқ спектр чизиғига эга. Турли атомлар ўзининг аниқ энергетик ҳолатига эга бўлиб, улар бир энергетик ҳолатдан иккинчисига ўтганда квант чиқаради ёки ютади. Агар атом катта энергетик ҳолатдан кичикроғига ўтса, у ўзидан энергия ажратиб чиқаради ва нурланиш содир бўлади, аксинча бўлганда эса атом энергияни ютади.

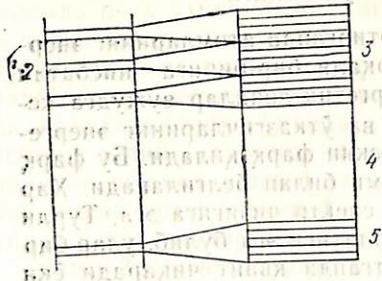
Шундай қилиб, атом ташқи энергетик таъсир орқали ўз ҳолатини ўзгартиради.

Ярим ўтказгичларнинг таққик зоналари ўтказгич ва диэлектрикларнинг таққик зоналари ораллиғида жойлашиб, мазкур зона анча кичик ва уни енгиб ўтиш учун маълум даражали энергетик таъсир старлидир. Агар ташқи таъсир этаётган майдон энергияси таққик зонадаги электронларнинг энергияси даражасига етса, ярим ўтказгичларда электр ўтказувчанлик содир бўлади.

Тўлатилган (валент) зонадан электрон кетиши билан унинг ўрнида тешик ҳосил бўлади ва бу тешик эквивалент мусбат заряд сифатида майдон йўналиши бўйича силжийди. Бу силжиш электронларнинг майдонга тескари ҳаракати натижасида рўй бериб, тешиклар силжиётган электронлар билан тўлатилади. Температура ортиши билан ярим ўтказгичда озод электронлар сони кўпая боради, температура абсолют нолга яқинлашганда эса уларнинг сони нолгача камади. Агар ярим ўтказгичда озод электрон умуман бўлмаса ($T=0K$), электр потенциали таъсир этгани билан ундан ток ўтмайди.

Электронларнинг озод ҳолатга ўтиши учун сарф қилинадиган энергияни фақат иссиқлик ҳаракати орқали эмас, балки нур, электронлар оқими, ядро зарралари, электр ва магнит майдонлари, механик таъсир орқали ҳам юзага келтириш мумкин. Ўтказувчанлик зонаси қондасига асосан ҳар бир атомнинг аниқ энергетик сатҳи бўлиб, унда электронлар жойлашади. Сатҳ горизонтал чизиқ кўринишида ифодаланади. Бунда энергия қанча катта бўлса, чизиқ шунча баландроқ жойлашади ва аксинча. Электронлар қора нуқталар билан белгиланиб, улар қуйи энергетик сатҳда жойлашади. Электрон юқори сатҳга ўтиши учун атомга қўшимча миқдорда энергия (квант нури, иссиқлик ва ҳоказо) таъсир эттирилиши керак.

Ўзаро бирикиб, қаттиқ жисм ҳосил қилган кўпгина атомлар бир-бирига таъсир этиши натижасида уларнинг электрон сатҳи бироз силжийди ва оқибатда жисмнинг энергетик сатҳ зоналари ҳосил бўлади (45-расм). Ўтказгич, ярим ўтказгич ва диэлектрикларни ўзаро солиштириш мақсадида уларнинг энер-

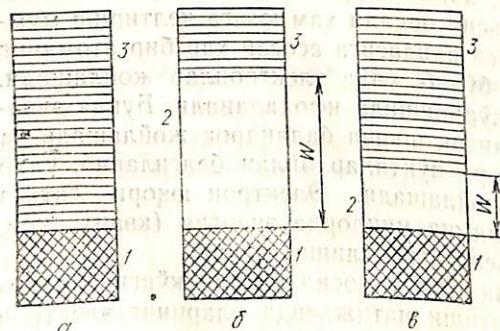


45-расм. Бирламчи атом ва қаттиқ модда энергетик сатҳларининг жойлашуви:

ради. Фақат катта электр майдони ($E = E_c$) таъсиридагина электронларнинг бир қисми озод зонага ўтиши натижасида диэлектрикда ўтказувчанлик содир бўлиши мумкин.

Ярим ўтказгичларда энергетик тўсиқ кичик бўлиб, уни енгиш учун унча катта бўлмаган энергия талаб этилади. Озод электронлар миқдори ва ярим ўтказгичнинг ўтказувчанлиги унга таъсир эттирилган энергия миқдорига боғлиқ бўлади. Мазкур энергия электронларнинг тўсиқни енгиб, озод зонага ўтишига ёрдам беради.

Қўлланаётган аксарият ярим ўтказгичлар тақиқ зонасининг кенглиги $(0,8-4,0) \cdot 10^{-19}$ Ж, ёки 0,5—2,5 эВ га тенг. Улар валент зоналарининг сатҳлари электронлар билан тўлатилган бўлиб, маълум температура (T) таъсирида ўтказувчан зонага бир неча электрон ўтади ва валент зонада ўшанча тешик ҳосил бўлади. Натижада, ҳар бир ғалаёнлантиришда ярим ўтказгичда бир вақтнинг ўзида қарама-қарши ишорали иккита заряд ҳосил бўлади. Бу ҳолда заряд элтувчиларнинг умумий сони ўтказувчан зонадаги электронлар сонидан икки марта кўп бўлади:



46-расм. Ўтказгич (а), диэлектрик (б) ва ярим ўтказгич (в) материалларда энергетик сатҳларнинг жойлашуви.

$$n_{oi} = p_{oi};$$

$$n_{oi} + p_{oi} = 2n_{oi}.$$

Солиштирма ўтказувчанлик қуйидагича бўлади:

$$\gamma = en_{oi}u_n + ep_{oi}u_p,$$

бунда u_n , u_p — мос равишда электрон ва тешикнинг силжувчанлиги.

Ғалаёнлантириш ва рекомбинация жарари натижаси

да жисмда (неталган температурада) ғалаёнлантирилган элтувчилар (электронларни ёки тешикларни)нинг мувозанатлашган миқдори қарор топади:

$$n_{oi} = 2N_0 \exp\left(-\frac{W}{2kT}\right);$$

$$p_{oi} = 2N_v \exp\left(-\frac{W}{2kT}\right),$$

бунда: W — ярим ўтказгич тақиқ зонаси; N_0 — озод (ўтказувчан) зонадаги ярим ўтказгичнинг ҳажм бирлигидаги энергетик сатҳлар сони; N_v — валент зонасидаги худди шунингдек сатҳлар сони; 2 рақами N олдидаги) ҳар бир сатҳда иккита электрон бўлишини кўрсатади.

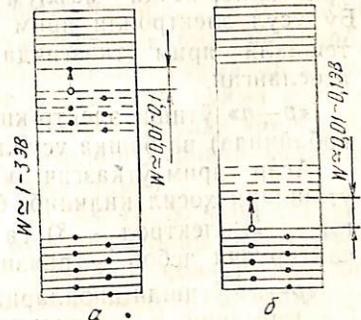
Электронларнинг силжувчанлиги (u_p) тешикларнинг силжувчанлиги (u_n) дан анча катта бўлади, шунингдек, уларнинг эффектив массалари ҳам бир-биридан фарқ қилади. Шу боис ярим ўтказгичларнинг электр ўтказувчанлиги электрон характерга мойил бўлади.

Ярим ўтказгич таркибидаги қўшимчалар

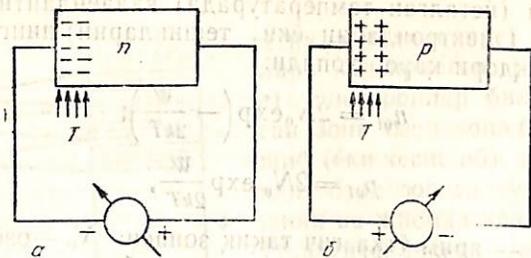
Ярим ўтказгич кристалларида қўшимчаларнинг жуда кам (10) миқдори ҳам унинг электр ўтказувчанлигига катта таъсир кўрсатади. Қўшимча тақиқ зонада янги энергетик сатҳни вужудга келтиради. Агар бундай энергетик сатҳ озод зонага яқин жойлашган бўлса (47-расм, а), бу сатҳдан электрон озод зонага осонликча ўтиб (кичик энергия таъсирида), кристаллда электрон ўтказувчанлигини содир этади. Бундай ярим ўтказгич *n*-турли бўлиб, таркибига киритилган қўшимча «донор» дейилади.

Агар қўшимчанинг энергетик сатҳи тақиқ зонага яқин жойлашса (47-расм, б), электрон тўла зонадан пастроқ зонага ўтиши натижасида «тешик» ёки «ковак» қолдиради. Электрон бир сатҳдан иккинчи сатҳга кўчишида унинг ўрнида қолган тешик ҳам силжийди. Тешикнинг силжиш йўналиши майдон вектори (E) йўналишига ёки мусбат заряд йўналишига мос тushади. Бу турдаги ярим ўтказгичлар тешикли (*p*-турли) ярим ўтказгичлар дейилиб, уларнинг қўшимчалари «акцептор»лар дейилади.

Электр ўтказувчанлик тажрибада осонгина аниқланиб, бунда турли ярим ўтказгичнинг бир томони қиздирилса (48-расм, у ерда озод электронлар сони кескин кўпайиб, бу қисм манфий зарядга эга бўлади. Агар



47-расм. Ярим ўтказгич энергетик диаграммасидаги қўшимчалар таъсири:



48- расм. Ярим ўтказгичнинг электр ўтказувчанлик турини (ишорасини) аниқлаш:

p -турли ўтказгичнинг ҳам бир томони қиздирилса (48- расм, б), у ерда тешиқлар кескин кўпайиб, кристаллнинг бу қисми мусбат зарядга эга бўлиб қолади.

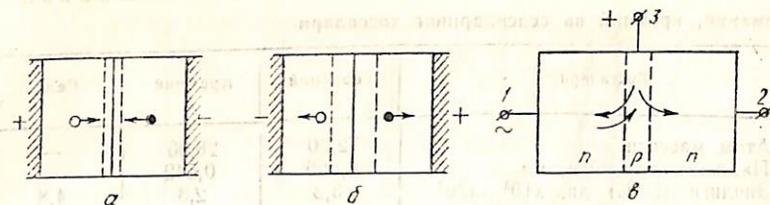
Ярим ўтказгичда « $p-n$ » ўтишини юзага келтириб, бу қисмларга мос равишда мусбат ва манфий потенциаллар берилса, « n » қисмдан электронлар, « p » қисмдан акс йўналишда тешиқлар силжиб, занжирда ток оқими ҳосил бўлади. Аксинча, потенциаллар тескари йўналишда берилса, « $p-n$ » ўтишида катта қаршиликка эга қатлам (48- расм, б) вужудга келиб, ток ўтиши кескин чекланади.

Ярим ўтказгичларнинг « n » турида асосий заряд элтувчилар электронлар, « p » турлисида эса тешиқлар ҳисобланади. « $p-n$ » ўтиши ярим ўтказгич (германий, кремний ва ҳоказо) юзасида қўшимча (индий, фосфор)ларни эритиш орқали ҳосил қилинади. Бунда монокристалл юпқа тахтача шаклда кесиб текисланади, сайқалланади, тозаланади ва графитли кассетага ўрнатилиб, печда маълум вақт иссиқлик таъсир эттирилади. Бу усул электронли ярим ўтказгичда акцептор қўшимчасини, асосланган.

« $p-n$ » ўтиши электр-кимёвий, кристалл олиш (устуриш мобайнида) ва бошқа усулларда ҳам ҳосил қилинади.

Агар ярим ўтказгич кристаллида $p-n-p$ (ёки $n-p-n$) ўтишлари ҳосил қилиниб, бу қисмлар (эмиттер — 1, коллектор — 2, электрод — 3) га симлар уланса (49- расм), ток қўчайтирувчи асбоб — транзистор вужудга келади.

« $p-n$ » ўтишли диодларнинг белгиланишидаги биринчи ҳарф: Г — германий, К — кремний, А — галлий, И — индий; иккинчи ҳарф: Д — тўғрилагич, импульс, магнит ва термодиод, Ц — тўғрилагич устун (блоки), В — варикан, И — туннелли, А — юқори частотали, С — стабилитрон, Г — шовқин генератори, Л — нурлатувчи асбоб, Н — диодли тиристор, У — триодли тиристор; учинчи ҳарф: асбоб параметри, қўлланилиши, иш



49- расм. Ярим ўтказгичларда заряд йўналишининг потенциал ишорасига нисбатан ўзгариши:

принципини; тўртинчиси — асбоб тайёрланиш турини; бешинчиси — асбоб классификациясини билдиради.

Транзисторларнинг белгиланишидаги биринчи ҳарф: Г — германий, К — кремний, Г — галлий ва ҳоказо; иккинчиси: Т — қўш қутбли транзистор; учинчиси: сарфланадиган энергия ва частотани, тўртинчиси: асбоб тартиби ва гуруҳини билдиради;

Тиристорда $p-n$ қатламлари кетма-кет қайтарилиб, чекка қисмларида чиқув симларига эга. Урта қисмида қўшимча чиқув симларига эга тиристор *триностор* дейилади. Ташқи нур ёрдамида бошқариладиган тиристор—*фототиристор*, ички нурли сигналда бошқариладигани *оптотиристор* дейилади. Оптоэлектронли ярим ўтказгичларга нур тарқатувчи диод (Ал навли), инфракизил нурлатувчи диод (ИК диод) мисол бўла олади.

8.3. Ярим ўтказувчанлик хоссасига эга элементлар

Германий. Германий табиатда кам учрайдиган элементдир. Хом ашёни кимёвий қайта ишлаш орқали германий тетра-хлориди олинади ва ундан, ўз навбатида оқ кукун кўринишидаги германий диоксиди (GeO_2) ишлаб чиқарилади. Бу кукун водородли тоблагичда $650-700^\circ C$ ҳароратда қайта ишланиб, элементар германий (кулранг кукун) олинади. Германий кукунни кислота эритмасида тозаланади ва эритиб, қуйма ҳолига келтирилади. Бу қуйма, ўз навбатида, махсус усулда эритилиб, ундан ўта тоза германий олинади. Тозалаш кўпинча кварцли труба ичидаги инерт газ муҳитида бажарилади.

Германий таркибида Ni, Ca, Cu, Mn, As, Fe, Si каби қўшимчалар учрайди. Тозалаш даврида бу қўшимчалар қуйманинг бир четига (20—25 мм узунликда) йиғилиб қолади. Қолган, қўл марта тозалаш жараёни ўтказилган қисмининг солиштирма қаршилиги $0,5 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ дан юқори бўлади. Бу қаршилик германийнинг тозаланиш даражаси билан белгиланувчи элтувчинининг тозаланиш даражаси билан белгиланувчи элтувчинининг концентрациясига боғлиқ бўлади. Германийнинг физик хоссалари 24-жадвалда келтирилган.

Ярим ўтказгичли асбоблар тайёрлашда ишлатиладиган германий легирловчи қўшимчалар, солиштирма қаршилик ва бошқа қийматлари билан фарқ қиладиган навларга бўлина-

Германий, кремний ва селенларнинг хоссалари

Хоссалари	Германий	Кремний	Селен
Атом массаси	72,60	28,06	—
Панжара доимийси, нм	0,566	0,542	—
Зичлиги (20°C) да, $\times 10^3$ кг/м ³	5,3	2,3	4,3
Чизиқли кенгайиш коэффициенти (0÷100°C), К	$6,0 \cdot 10^{-6}$	$4,2 \cdot 10^{-6}$	$50 \cdot 10^{-6}$
Иссиқлик ўтказиш коэффициенти, Вт м К	55	80	4
Солиштирма иссиқлик сифими (0÷100°C), Ж/(кг·К)	333	710	330
Эриш температураси, °С	936	1414	217—220
Солиштирма эриш иссиқлиги Ж/кг	$4,1 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^6$	$6,42 \cdot 10^4$
Сирт тарағлиқ коэффициенти, Н/м	0,6	0,6	0,11
Солиштирма қаршилиги (20°C), Ом·м	0,47	2000	—
Асосий элтувчиларнинг концентрацияси, м ⁻³	$2,5 \cdot 10^{19}$	$1 \cdot 10^{16}$	—
Тақиқ зона кенглиги (20°C), эВ	0,72	1,12	1,70—1,90
Электронлар силжувчанлиги, м ² /(В·с)	0,39	0,14	—
Тешикларнинг силжувчанлиги м ² /(В·с)	0,19	0,05	0,2 · 10 ⁴
Электронларнинг чиқиш иши, эВ	4,8	4,3	—
Диэлектрик синдирувчанлик	16	12,5	—
Бирламчи ионланиш кучланиши, В	8,10	8,14	9,75

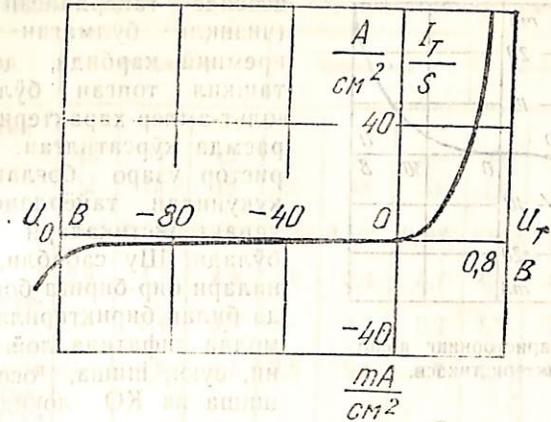
ди. Ярим ўтказгичли асбобларни ясашда, германий қўймалари юпқа пластина шаклида кесилади, кесилган пластина юзаси нуқсонларни йўқотиш мақсадида сайқалланади.

Германийдан турли қувватли ўзгарувчан ток тўғрилагичлари ҳар хил транзисторлар ишлаб чиқаришда фойдаланилади. Ундан Холл ўзгарткичлари ҳам тайёрланади. Германийнинг оптик хоссаларидан фототранзистор, оптик линза, оптик филтър ва нур модулятори тайёрлашда фойдаланилади. Германийли диод (тўғрилагич)нинг вольт-ампер характеристикаси 50- расм-да келтирилган.

Германийли асбобларнинг иш температураси —60 дан +70°C гача бўлиб, температура янада орттирилса, тескари токнинг қиймати 2,5—3 баробар кўпайиб кетади. Мазкур асбоблар намдан яхши муҳофаза қилиниши керак.

Кремний даврий системанинг IV группасидаги куб панжара, ковалентли кристалл бўлиб, табиатда кенг тарқалган элемент ҳисобланади. Техник кремний электр печида олинади, сўнгра кимёвий ишлов бериш ва водород муҳитида юқори температура (1250°C) да тиклаш орқали кремний стерженлари тайёрланади.

Германий каби кремнийнинг электр ўтказувчанлиги ҳам



50- расм. Германийли тўғрилагичнинг вольт-ампер характеристикаси.

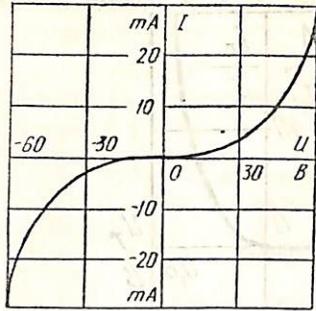
ушнинг таркибидаги қўшимчалар миқдорига кучли равишда боғлиқ бўлади. Кремний ярим ўтказгичли асбоблар тайёрлашда асосий материал бўлиб ҳисобланади. Ундан диод, транзистор, фотоэлемент, тензоўзгартиргичлар тайёрлашда ва микроэлектроника схемаларида кенг қўламда фойдаланилади.

Кремний карбиди (SiC) даврий системанинг тўртинчи группа элементларининг бирикмаси бўлиб, электр печида кварц қумини углерод билан қайта тиклаш усули орқали олинади.

Температура 2000°C бўлганда SiC нинг кубсимон β модификацияси ҳосил бўлади. Ундан ҳам юқори температураларда эса SiC нинг гексагонал α модификацияси олинади. Ҳосил қилинган кристалл майдаланиб, ўлчами 40—300 мкм ли донадор кукунга айланттирилади. SiC кристалларининг ранги хом амё таркиби ва олинишда ишлов бериш усули билан аниқланади. SiC кристалларининг асосий физик хоссалари қуйидагичадир:

Зичлиги	320 кг/м ³
Иссиқлик ўтказиш коэффициенти	10—40 Вт/м·К
Солиштирма иссиқлик сифими	620—750 Ж/кг·К
Чизиқли кенгайиш коэффициенти	$(4-7) \cdot 10^{-6}$ К ⁻¹
Қаттиқлиги (минералогик шкала бўйича)	9,5
Тақиқ зонанинг кенглиги	2,8—3,1 эВ
Электронларнинг силжувчанлиги	0,01—0,05 м ² /В·с
Термо ЭЮК (мисга нисбатан)	300 МкВ/К

Кукун кўринишидаги SiC нинг электр ўтказувчанлиги доналар ўлчамига, зарраларнинг сиқилиш даражасига, майдон кучланганлиги ва температурага боғлиқдир. Шунинг учун, кремний карбиди кукунининг солиштирма қаршилиги кенг оралиқда ётади. Кремний карбиди кукунида ток зичлигининг электр майдон кучланганлигига боғлиқлиги ночизиқли характерга эга, яъни, Ом қонунига бўйсунмайди. Кремний карбиди



51-расм. Варисторнинг вольт-ампер характеристикаси.

ланиш мумкин. Лок асосидаги боғловчи модда *пирит* суюқ шиша асосидаги боғловчи модда эса вилит деб номланади.

Электротехникада кремний карбидидан юқори кучланишли узатиш линияларини химоя қилувчи вентил разрядлагичларини тайёрлашда фойдаланилади. Вентилли разрядлагич бир ёки бир неча зарядсизлагич оралиғи ва уларга киртилган варисторлардан иборатдир. Юқори кучланишли электр линияларда содир бўладиган ўта кучланиш таъсирида мазкур оралиқларда электр тешилиши рўй беради. Натижада, ночизиқли дисклар юқори кучланиш таъсири остида қолади. Уларнинг қаршилиги кескин камайиб кетади ва разрядлагич орқали ерга қисқа муддатли (ўнлаб мкс) импульс токи ўтади. Бундан ташқари, линиядаги кучланишни разрядлагич орқали ўтаётган импульс токи ушлаб туради, лекин ток нолдан ўтаётганда узатгич ердан узилиб қолади ва вилитли диск ўз қаршилигини тиклайди. Разрядлагич оралиғида ионсизланиш рўй бериб, линия химояси автоматик равишда тикланади.

Силитли стерженлар кремний карбиди, кристалли кремний ва углерод асосида тайёрланади. Силитнинг зичлиги $3,2 \text{ Мг/м}^3$ бўлиб, ТКС қиймати жуда кичикдир. Силитли иситкичларнинг солиштирма қаршилиги $0,001\text{—}0,1 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ бўлиб, 1500°C ҳароратга мўлжаллангандир.

$A^{III} B^V$ бирикмалари у ёки бу турдаги ярим ўтказгич асбобларини тайёрлаш учун муҳим материал ҳисобланади. Бундай бирикмаларга фосфидлар, арсенидлар ва антимонидлар киради (25-жадвал). Буларнинг ичида амалда энг кўп қўлланиладиганлари галлий арсениди ва фосфиди ҳамда индий антимониддир.

$A^{III} B^V$ бирикмалари компонентларни вакуум ёки инерт газ муҳитида ўзаро таъсир эттириш йўли орқали олинад. Тозаланган бирикманнинг эриш температураси уни ташкил этувчи компонентларнинг эриш температурасидан юқорироқ бўлади.

$A^{III} B^V$ турдаги ярим ўтказгичли бирикмаларнинг хоссалари

Хоссалари	Фосфидлар			Арсенидлар			Антимонидлар		
Тартиб рақами									
A^{III}	13	31	49	13	31	49	13	31	49
B^V	15	15	15	33	33	33	51	51	51
Панжара доимийси, нм	0,542	0,545	0,587	0,564	0,565	0,605	0,613	0,609	0,648
Зичлиги, $\times 10^3 \text{ кг/м}^3$	2,4	4,1	4,8	3,6	5,4	5,7	4,3	5,7	5,8
Синдириш кўрсаткичи	—	3,4	3,3	—	3,2	3,2	3,3	3,7	4,1
Чизиқли кенгайиш коэффициенти	—	4,8	4,5	3,5	5,4	4,8	4,2	6,2	5,0
Қаттиқлиги (минералогик устуи буйиича)	5,5	5,0	—	5,0	4,5	4,0	4,8	4,5	3,8

Галлий арсениди тақиқ зонасининг кенглиги 1, 43 эВ бўлиб, электронларининг силжувчанлиги германий ва кремнийникидан юқорироқ бўлади. Галлий арсенидидаги тешикларнинг силжувчанлиги кремнийдаги тешикларнинг силжитувчанлигига яқиндир. Бу материалнинг акцепторлари сифатида рух, кадмий, мисдан фойдаланилади, донорлари сифатида эса олтингугурт, селен, теллур ва даврий системадаги VI группа элементлари олинад.

Индий антимониди электронларининг силжувчанлиги катта қийматга эга бўлиши билан бир қаторда, тақиқ зонасининг кенглиги (0,18 эВ) нисбатан кичикдир. Ушбу материалнинг фотоўтказувчанлиги спектр инфрақизил қисмининг каттагина (8 мкм гача) соҳасини қамраб олади. Бунда фотоўтказувчанликнинг энг юқори қиймати 6, 7 мкм тўлқин узунлигига тўғри келади.

Индий антимонидидан ўта сезгир фотоэлементлар, оптик фильтр, термоэлектрик генератор ва совиткичлар тайёрлашда фойдаланилади.

Галлий фосфиди тақиқ зонасининг кенглиги (2,3 эВ) билан ажралиб туради. Ундан қизил ёки яшил нурланувчи диодлар тайёрланади. Галлий фосфидининг асосий хоссалари 25-жадвалда келтирилган. Бор, алюминий ва галлий нитридларидан ҳам нурланувчан диодлар ишлаб чиқарилади.

A^{III} ва B^V бирикмалари ва бошқа ярим ўтказгич материаллар. Сульфидлар (PbS , Bi_2S_3 , CdS) фоторезисторлар тайёрлашда ишлатилади. Улардан люминофор сифатида ҳам фойдаланилади.

Сульфидларнинг айрим хоссалари 26-жадвалда келтирилган. *Селенидлар* ($PbSe$, Bi_2Se_3 , $CdSe$, $HgSe$) фотоқаршилиқ, термоэлемент ва когерент нурланиш (лазер) манбалари ишлаб чиқаришда кенг фойдаланилади.

Сульфидлар, селенидлар, теллуридлар ва оксидларнинг асосий хоссалари

Бирикмалар	Зичлиги, $\times 10^3$ кг/м ³	T_f Вт/м·К	t_g °С	ρ эВ	μ , м ² (В·с)	
					μ -турдаги	ρ -турдаги
PbS	7,60	2,9	1114	0,37	0,05	0,070
Bi ₂ S ₃	7,39	2,0	720	1,30	—	—
CdS	4,82	—	1750	2,40	0,02	0,055
PbSe	8,15	1,7	1076	0,25	0,12	0,100
Bi ₂ Se ₃	7,40	2,5	703	0,28	0,10	—
CdSe	5,81	—	1258	1,80	0,08	—
HgSe	8,26	5,6	800	0,60	1,00	—
PbTe	8,16	1,7	917	0,30	0,18	0,040
Bi ₂ Te ₃	—	1,1	585	0,15	0,12	0,050
CdTe	5,86	8,5	1098	1,60	0,07	0,006
HgTe	8,42	6,0	670	0,25	1,50	—
Cu ₂ O	5,90	6,1	1230	0,34	—	0,005
ZnO	5,60	—	—	3,20	—	—
TiO ₂	4,20	—	6640	2,90	0,05	—
					0,001	—

Теллуридлар (PbTe, Bi₂Te₃, CdTe, HgTe) фотоқаршилик, термоэлемент ва нур тарқатувчи асбоблар тайёрлашда ишлатилади.

Рух оксиди (ZnO) μ -турдаги ярим ўтказкичдир. Ундан манфий температурали [—(3÷4) %/К] иссиқлик қаршилик олинади. Иссиқлик қаршилиги (термистор) стержень ёки пластинка шаклида сопол технологияси асосида тайёрланади. Иссиқлик қаршиликлари температуранинг ўлчаш, бошқариш, компенсациялаш, кучланишни барқарорлаш, импульс бошқарув, токнинг чеклаш, сувоқликларнинг иссиқлик ўтказувчанлигининг ўлчаш, контактсиз реостатларда ва токни вақт релеларида қўлланади.

9-боб. МАГНИТ МАТЕРИАЛЛАР

9.1. Умумий маълумотлар

Магнит материаллар ёрдамида магнит оқими кескин кучайтирилади. Магнит оқимидан паст кучланишли токларни юқори кучланишли токларга ёки электр энергиясини механик энергияга айлантиришда ва электр энергиясини шунга ўхшаш тарзда генерациялашда фойдаланилади.

Ташқи магнит майдони таъсирида магнитланиш хоссасига эга материаллар магнит материаллари деб аталади. Асосий магнит материалларга никель, кобальт ва тоза темир асосидagi турли қотишмалар мисол бўлади. Техника аҳамиятга эга магнит материалларига ферромагнит материаллар ва ферромагнит кимёвий бирикмалар (ферритлар) киради.

Материалларнинг магнит хоссалари электр зарядларининг ички ҳаракатига асосланган бўлиб, бунда зарядлар элемент

тар айланма ток кўришида ифодаланади. Бундай айланма токлар электронларнинг ўз ўқи атрофида айланиши (электрон спинлар) ҳамда уларнинг атом ичида орбита бўйлаб айланишидан ҳосил бўлади. Ферромагнит ҳодисаси баъзи материалларнинг ички микроскопик қисмида кристалл структуралар ташкил қилиши билан боғлиқ бўлиб, бундай структуралар магнит доменлари дейилади. Бунда электрон спинлар ўзаро параллел равишда бир томонга йўналган бўлади.

Жисмнинг ферромагнитлик ҳолатда бўлишини ифодаловчи хусусияти ташқи магнит майдони таъсирида унинг ўз-ўзидан (спонтан) магнитлашишдан иборатдир. Ферромагнит магнит моментларининг баъзи доменлари ичидаги спинлар турли йўналишга эга бўлиши мумкин. Ташқи муҳитда бўлган бундай материалларнинг умумий магнит оқими нолга тенг бўлади.

Баъзи материаллар (қатлам чегаралари орасидаги қалинлик бир неча ўн-юз атом масофасига тенг бўлганда) да доменларнинг ўлчами тахминан 0,001—10 нм³ оралиғида бўлади. Ута тоза материалларда эса доменларнинг ўлчами юқорида келтирилган қийматдан ҳам каттароқ бўлади.

Ферромагнит моддаларнинг монокристаллари магнит анизотропияси билан характерланади. Магнит анизотропияси турли ўқлар йўналишида магнитланишнинг турли қийматлари билан ифодаланади.

Поликристалл магнетикларда анизотропия кескин ифодаланган ҳолларда ферромагнетик магнит текстурага эга бўлади. Қеракли магнит текстура олиш орқали материалда маълум йўналишда юқори магнит характеристикага эришиш мумкин.

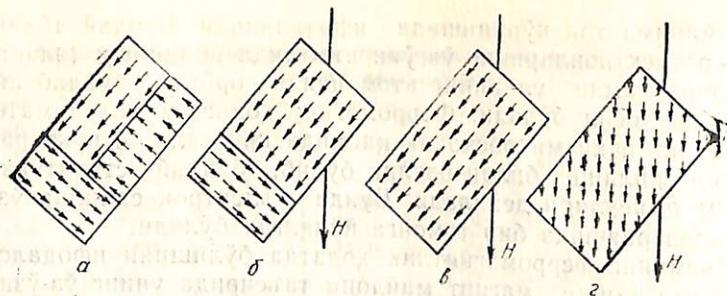
Ташқи магнит майдони таъсирида ферромагнит материалнинг магнитланиш жараёни қуйидагича кечади: 1) магнит momenti майдон йўналиши билан кичик бурчак ҳосил қилган доменлар катталашади ва бошқа доменлар ўлчами кичраяди; 2) магнит моментлари майдон йўналиши узра бурилади ва бир хил йўналишга эга бўлади. Магнит тўйиниши доменнинг катталаниши тўхтаганда ва ўз-ўзидан магнитланган барча монокристалл қисмларнинг магнит momenti майдон узра йўналганида содир бўлади. Доменлардаги спинлар йўналишининг ўзгариши 52-расмда келтирилган.

Ферромагнит монокристаллари магнитланаётганда уларнинг чизиқли ўлчамлари ўзгаради. Бу ҳодиса магнит-стрикция дейилади. Темир монокристаллининг магнит-стрикцияси кристаллнинг ҳар хил йўналишларида турлича бўлади.

Ферромагнит материалнинг магнитланиш жараёни гистерезис эгри чизиги $B(H)$ билан ифодаланади ва у барча ферромагнитларда бир-бирига ўхшаш бўлади (53-расм).

Материалларнинг нисбий магнит синдирувчанлиги магнит индукцияси (B) нинг магнит майдони кучланганлигига нисбати билан аниқланади:

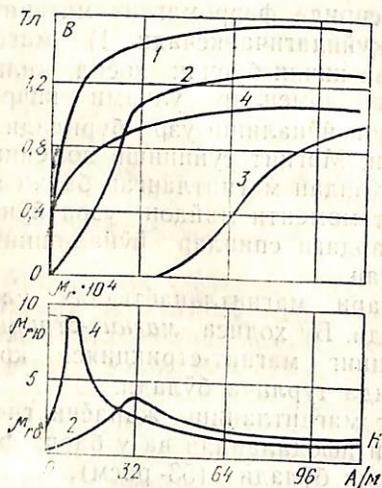
$$\mu_r = \frac{B}{\mu_0 H}$$



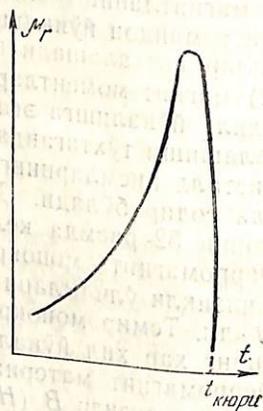
52-расм. Ферромагнитнинг магнитланишида доменларда спонларнинг йўналиш олиши:

Магнит материалларнинг магнит синдирувчанлиги бирдан юқори $\mu \gg 1$ ($\mu_r = \mu / \mu_0$, $\mu_0 = 1,2566 \cdot 10^{-6}$ Гн/м) бўлади.

Ферромагнит материалларнинг магнит синдирувчанлиги температурага боғлиқ бўлиб (54-расм), Кюри нуқтасига яқин қийматларда μ_r ўзининг юқори қийматига эришади. Кюри нуқтасидан юқори температураларда спонтан магнитланиш соҳасида иссиқлик ҳаракати бузилиб, материалнинг магнит хоссаси йўқолади. Чулғамда магнит ўзак бўлмаганда магнит индукция қиймати ундан ўтаётган ток ҳисобига содир бўлади. Агар чулғамга магнит ўзак киритсак, электр токи ҳисобига содир бўладиган магнит майдони ўзақни янада магнитлаб, қўшимча куч чизиқлари ҳосил бўлиши натижасида магнит ин-



53-расм. Магнит индукцияси ва нисбий магнит синдирувчанликнинг ташқи момент майдон кучланганлигига боғлиқлиги;



54-расм. Ферромагнит материаллари магнит синдирувчанлигининг температурага боғлиқлиги.

дукциясининг ёки магнит оқимининг кескин ошишига олиб келади. Ўзақ кесим юзасида ҳосил бўладиган қўшимча куч чизиқлари қайта магнитланиш дейилади ва i билан белгиланади.

Бу қиймат магнит майдон кучланганлиги (H) ва магнит материали сифати (χ) га ёки жисмнинг магнит қабул қилиш коэффициентини $i = \chi H$ га боғлиқ. Чулғамга магнит ўзақ киритилгандан сўнг магнит индукциясининг кўпайган қиймати қуйидагича бўлади:

$$B' = \mu_0 (H + i) = \mu_0 (H + \chi H) = \mu_0 H (1 + \chi) = \mu' H,$$

бунда $\mu' = \mu_0 (1 + \chi)$ — магнит материалнинг магнит синдирувчанлиги.

Магнит материали сифатини аниқлашда нисбий магнит синдирувчанлик катталигидан фойдаланилади:

$$\mu = \frac{\mu'}{\mu_0} = 1 + \chi.$$

Магнит синдирувчанлик чулғамга магнит ўзақ киритилганда магнит оқимининг кўпайишини билдиради. Бу юксалиш бир неча ўн минг мартагача ортади.

Ўзунлиги L , кесим юзаси S бўлган ўзакнинг магнит қаршилиги қуйидагича аниқланади:

$$R_\mu = \frac{L}{\mu' S} = \frac{L}{\mu \cdot \mu_0 S}.$$

Шундай қилиб, ғалтакка ўзақ киритилиши натижасида магнит қаршилиги μ га боғлиқ равишда камаяди.

Магнит синдирувчанлиги бўйича барча қаттиқ жисмлар суст (диамагнит $\mu < 1$, парамагнит $\mu > 1$) ва кучли магнит материалларга (ферромагнит $\mu \gg 1$) бўлинади. Магнит материаллари сифатида кучли магнит материаллар қабул қилиниб, улар магнит майдон кучланганлигига кучли равишда боғлиқ бўлади. Магнит индукцияси B ва магнит майдон кучланганлиги H ўртасидаги боғлиқлик $[B = f(H)]$ магнит материалнинг магнитланиш эгри чизиғи деб аталади. Бунда магнит материали $H = H_t$ қийматда тўйинади (53-расм, а).

Магнит синдирувчанликнинг температура коэффициентини билан аниқланади:

$$TK\mu_r = \alpha\mu_r = \frac{1}{\mu_r t} \frac{d\mu_r}{dt}.$$

Агар ферромагнит ташқи магнит майдони таъсирида аста-секин магнитланса ва маълум қийматдан сўнг майдон кучланганлиги пасайтира борилса, индукция ҳам камай боради. Лекин бу камайиш асосий чизиқ бўйлаб эмас, балки маълум кечикиш билан (гистерезис ҳодисаси туфайли) рўй беради. Майдон кучланганлиги тескари йўналишда оширилганда материал

магнитсизланиши, ўта магнитланиши мумкин ва магнит майдон йўналиши яна ўзгартирилса, индукция яна асл ҳолатига қайтади, яъни гистерезис ҳалқаси пайдо бўлади.

Магнит материали бўлмаганда ўрамлари сони n та бўлган сим чулғамидан ток ўтказиш орқали магнит оқими ҳосил қилиш мумкин. Агар ўрамдаги симнинг кесим юзаси S , чулғам узунлиги L бўлса, магнит оқими Φ қуйидагича аниқланади:

$$\Phi = \frac{\mu_0 n I S}{L}$$

ёки бошқача кўринишда:

$$\Phi = \frac{F}{R_\mu} \text{ Вб,}$$

бунда F — магнит юритувчи куч, А; $R_\mu = \frac{L}{\mu_0 S}$ — магнит қаршилиқ, Гн⁻¹.

Магнит оқимининг зичлиги ёки магнит индукцияси:

$$B = \frac{\Phi}{S} = \mu_0 H \text{ Вб/м}^2.$$

Магнит материали учун чизилган $B = f(H)$ характеристикадан фойдаланиб, (53-расм) магнит сингдирувчанлик μ_r нинг магнит майдон кучланганлиги (H) га бўлган боғлиқлиги аниқланади.

Агар магнит майдон кучланганлиги ва магнит индукциялари нолга тенг бўлса, уларнинг нисбати мавҳум бўлиб қолади. Тажрибадан аниқланишича, кучсиз магнит майдонида μ_r қиймати маълум бошланғич сингдирувчанлик μ_{r0} га интилади. Магнит майдонининг маълум қийматида магнит сингдирувчанлик (μ_{rmax}) ўзининг юқори қийматига эришади. Майдон кучланганлиги янада оширилса, магнит материалнинг μ_r қиймати пасая боради.

Демак, магнит материалида магнит сингдирувчанлик ўзининг аниқ бир қийматига эга бўлмай, балки магнит майдон кучланганлигига жуда ҳам боғлиқ экан. Шу сабабли, магнит материалнинг μ_r қиймати келтирилганда магнит майдон кучланганлиги (H) ҳам кўрсатилиши шарт.

Магнит майдон кучланганлиги ўзининг H_m қийматидан камайтирилса (индукция B_m гача), гистерезис ҳодисаси кузатилганининг ўзгаришига боғлиқ бўлади (55-расм). Майдон дайир қолдиққа эга бўлиб, у индукция қолдиғи қанди. Индукция қолдиғига магнит майдон кучланганлигининг тескари йўналишида, унинг $H_c = 0$ қийматида эришилади, бунда H_c коэрцитив куч деб аталади.

Агар характеристикада майдон кучланганлиги — H_{max}

қийматидан $+H_{max}$ қийматига қайтарилса, магнит майдонининг гистерезис ҳалқаси келиб чиқади. Гистерезис ҳодисасида атомларнинг ўз ўқи атрофида айланиши натижасида материалда ички ишқаланиш содир бўлади. Бу ҳодиса гистерезисда содир бўлувчи энергия исрофи деб аталади. Ферромагнитикларнинг ўзгарувчан магнит майдонида қайта магнитланишида иссиқлик энергияси исроф бўлади. Магнит материали массасида индукцияланган қуюқ токи диэлектрик исрофларни келтириб чиқаради. Қуюқ токида содир бўладиган исрофлар ферромагнетикнинг электр қаршилигига боғлиқ. Магнит материалидаги умумий энергия исрофи қуйидагича аниқланади:

$$P_m = P_h + P_i.$$

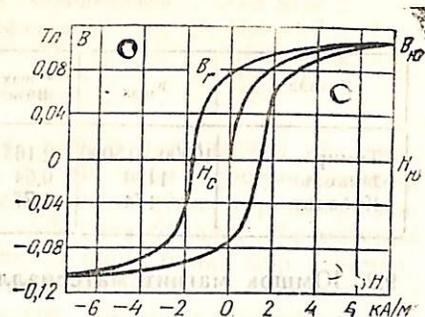
Кучсиз тоқлар соҳасида қуйидаги қийматдан фойдаланилади:

$$Q = \frac{\omega L}{r},$$

бунда ω — бурчак частота, Гц; L — чулғам индуктивлиги, Гн; r — ўзақдаги эквивалент қаршилиқ Ом.

Магнит материалидаги энергия исрофининг қиймати $B = f(H)$ характеристикасидаги гистерезис ҳалқа юзаси билан аниқланади. Магнит материалидаги энергия исрофи частота ортиши билан кескин кўпаяди. Бу эса юқори частотага мўлжалланган магнит материаллари ишлаб чиқаришда катта қийинчиликлар туғдиради. P_m ни камайтириш мақсадида μ_r қиймати юқори бўлган магнит материаллар қўлланилади. Магнит материалнинг асосий характеристикасини ифодаловчи μ_r қиймати майдон кучланганлигига боғлиқ бўлиб, материал қизиши натижасида бу қиймат кескин камаяди. Кюри нуқта-сида материал ўзининг ферромагнитлик хоссасини йўқотади $\mu_r \rightarrow 0$. Бундан ташқари, частота ортиши натижасида материалда содир бўладиган қуюқ токи ҳисобига магнитсизланиш рўй беради.

Ферромагнит туркумдаги асосий материалларнинг магнит хусусиятлари 27-жадвалда келтирилган.



55-расм.

Металл	ρ_{\max}	$\rho_{\max} / \text{Вб/м}^2$	$H_c, \text{ А/м}$	$B_{\text{ч}}, \text{ Во/м}^2$	Кюри нуқтаси, °С
Темир	10000—15000	2,163	0,0015—0,004	1,1	787
Никель	1120	0,64	0,012	0,33	358
Кобальт	174	1,77	0,10	0,34	1115

9.2. Юмшоқ магнит материаллар

Магнит материаллар юмшоқ ва қаттиқ турларга бўлинади. Юмшоқ магнит материаллардан магнитли ўтказгичлар тайёрланади. Бу материалларнинг магнит сингдирувчанлигининг бошланғич қиймати катта бўлиши керак. Юмшоқ магнит материалларида солиштирама қаршилик нисбатан катта қийматга, коэрцитив куч ($H_c < 0,1 \text{ А/м}$) эса кичик қийматга эга бўлиши керак. Бу материалларга соф темир, темирнинг кремний, никель ва кобальт билан қотишмаларини мисол тариқасида келтириш мумкин.

Техник соф темир (қўшимчалари 0,1%) оддий печларда олинади. Унинг айрим магнит хоссалари 28-жадвалда келтирилган. Бу темир ўзгарувчан ток занжирида ишлатиладиган электр магнители ёки реле учун ўзаклар тайёрлашда ишлатилади. Улар варақ ёки цилиндр шаклда юпқа (0,2—4 мм) қилиб тайёрланади.

Турлича ишлов берилган темирнинг таркиби ва магнит хоссалари

Материал	Қўшимчаларнинг миқдори, %		Магнит хоссалари		
	углерод	кислород	Магнит сингдирувчанлик		Коэрцитив, куч, $H_c \text{ А/м}$
			$\mu_{\text{гб}}$	$\mu_{\text{гю}}$	
Техник соф темир	0,020	0,060	250	7000	64,0
Электродитик темир	0,020	0,010	600	15000	28,0
Карбонил темир	0,005	0,005	3300	21000	4
Вакуумда эритилган электродитик темир	0,010	—	—	61000	7,2
Водородда ишлов берилган темир	0,005	0,003	6000	200000	3,2
Водородда яхшилаб ишлов берилган темир	—	—	20000	340000	2,4

Техник соф темир (қўшимчалари 0,02%) нинг асосий физик хоссалари қуйидагича:

Зичлиги	7880 кг/м ³
Эриш температураси	1539°С
Солиштирама иссиқлик сингми	0,46 КЖ/кг·К

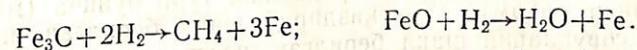
Иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентлари	71,5 Вт/м·К
Чизиқли кенгайиш коэффициенти	$11,6 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$
Солиштирама қаршилиги	0,1 мкОм·м
Қайишқоқлик модули	210 ГПа
Кюри нуқтасидаги температура	770°С

Ўзгармас токда ишлайдиган электр машинасида қўлланиладиган темир таркибида С, Si, Mn каби қўшимчаларнинг миқдори 1,2—1,5% гача, кам легирланган пўлат таркибида эса С, Ni, Cr ларнинг миқдори 2,5—5% гача бўлади. Бу материалларда механик мустақамлик ўсиши билан бир қаторда, магнитланиш хусусияти бирмунча ёмонлашади.

Электродитик темир техник соф темирни электролиз қилиш усули орқали олинади. Бундай темирнинг таркибидаги қўшимчаларнинг умумий миқдори 0,05% дан ошмайди. Электродитик темирга ишлов бериб, зарраларининг ўлчами 50—100 мкм бўлган кукун олинади. Бу кукунни босим остида ишлаш орқали ундан ўзаклар тайёрланади. Улар частотаси 100—1000 Гц атрофида бўлган асбобларда қўлланилади.

Карбонил темир темир пентакарбонил $[\text{Fe}_2(\text{CO})_5]$ суоқлиги ни 200—250°С температурада кимёвий парчалаш орқали олинади. Карбонил темир майда кукун кўришида бўлиб, ундан юқори частотали магнит ўзаклар тайёрланади. Кичик шар шаклидаги заррачалар ўзакда содир бўладиган қуюн токи миқдорини кескин камайтиради.

Водородда 1480°С да 30—40 минут давомида куйдирилган соф темир бирикмасидан углерод ва кислород ажралиб чиқади:

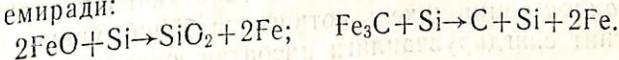


Мазкур темир ўта тозалиги билан ажралиб туради; кучсиз магнит майдонда бу материалнинг μ_r қиймати юқори бўлади. Темир монокристалли ўта юқори магнитланиш хоссасига эга.

Кремнийли электротехник пўлат темир ва кремний қотишмасидан иборатдир. Ундан тайёрланган листлар электротехник пўлат листлар дейилади. Бу пўлат асосий магнит материалларидан бири бўлиб, саноат частотасида ишлайдиган электр машина ва аппаратларида кенг қўлланилади. Темир таркибида кремний киритишдан асосий мақсад материалнинг солиштирама қаршилигини ошириш ва ундаги қуюн токи миқдорини чеклашдан иборатдир. Кремний элементи темирнинг магнит хоссаларини деярли ўзгартирмаган ҳолда P қийматини сезиларли даражада оширади.

Электротехник пўлатнинг физик хоссалари	7800 кг/м ³
Зичлиги	0,4—2,8%
Таркибидаги кремний миқдори	$(0,14—0,50) \cdot 10^6 \text{ Ом} \cdot \text{м}$
Солиштирама қаршилиги	0,46—0,25 Вт/(м·К)
Иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти	

Кремний темир таркибидаги углерод ва кислород бирикмаларини емиради:



Электротехник пўлатларнинг таркибидagi кремний миқдорига нисбатан зичлиги ва солиштирма қаршилиги

Пўлатнинг кремний билан легирланиш даражаси	Маркасидаги иккинчи рақам	Зичлиги, $\times 10^3$ кг/м ³	Солиштирма электрик қаршилиги, мкОм м
Легирланмаган	0	7,85	0,14
Кам легирланган	1	7,82	0,17
Ўртачадан кам легирланган	2	7,80	0,25
Ўртача легирланган	3	7,75	0,40
Юқори даражада легирланган	4	7,65	0,50
Ўта юқори даражада легирланган	5	7,55	0,60

Таркибидagi кремний миқдорининг ортишига қараб темир хоссаларининг ўзгариши:

Si, %	γ , кг/м ³	μ_6	$(\mu_0 j)_{\max}$, Вб/м ²	H_c , А/м	ρ , мкОм м
0	7800	150	2,15	0,0160	0,10
2	7750	200	2,06	0,0056	0,40
4	7550	400	1,97	0,0040	0,62

Юпқа листли электротехника пўлати қуйидагича таснифланади:

— структура ҳолати ва прокатлаш тури бўйича (маркадаги биринчи рақам): 1 — қиздириб шакл берилган, изотропшакл берилган; 2 — совуқлайин шакл берилган, изотропли; 3 — совуқлайин шакл берилган, анизотропли;

— таркибидagi кремний миқдори бўйича (маркадаги иккинчи рақам): 0 — кремний миқдори 0,4% гача (легирланмаган); 1 — $0,4\% < Si \leq 0,8\%$; 2 — $0,8\% < Si \leq 1,8\%$; 3 — $1,8\% < Si \leq 2,8\%$; 4 — $2,8\% < Si \leq 3,8\%$; 5 — $3,8\% < Si \leq 4,8\%$;

— асосий характеристикаси бўйича (маркадаги учинчи рақам): 0 — магнит индукцияси 1,7 Тл ва частотаси 50 Гц бўлгандаги солиштирма исрофлар $P_{1,7/50}$; 1 — $P_{1,5/50}$; 2 — $P_{1,4/400}$; 6 — майдон кучланганлиги 0,4 А/м бўлган кучсиз магнит майдонидаги магнит индукцияси ($B_{0,4}$); 7 — майдон кучланганлиги 10 А/м бўлган ўртача магнит майдонидаги магнит индукцияси (B_{10}).

Пўлат ўрам, варақ ва тасма кўринишида ишлаб чиқарилади. Улар изоляция қопламли қилиб ҳам чиқарилади. Пўлатлар аппарат, трансформатор, электр машинаси ва асбобларининг магнит занжирларида қўлланилади. Текстуранган пўлатлар трансформаторлар ўзаги учун ишлатилади. Бундай пўлатдан фойдаланиш қувватли трансформаторлар ҳажми ва ташқи ўлчамини 20—25% камайтириш имконини беради, радио трансформатори ҳажмини эса 40% гача кичрайтиради.

Пермаллой темир-никель қотишмаси бўлиб, унинг бошланғич магнит сингдирувчанлиги нисбатан юқоридир. Таркибидa

никель миқдори 70—83% бўлган пермаллойлар юқори никелли, 40—50% бўлган пермаллойлар эса паст никелли пермаллойлар дейилади.

Таркибидa 2% молибден бўлган пермаллойнинг ρ қиймати қатта бўлиб, у яхши магнитланиш хусусиятига эгадир. Пермаллойдан қалинлиги 0,1—0,5 мм ли варақлар тайёрланади. Кукун кўринишидаги пермаллойга босим остида ишлов бериб, ўзақлар тайёрланади. Бундай ўзақлар 100 кГц частота билан ишлайдиган ускуналарда қўлланилади.

Альсифер — темирнинг кремний ва алюминий (9,5% Si, 5,6% Al, 84,9% Fe) билан биргаликдаги қотишмасидир. Бу қотишма қаттиқ ва мўрт бўлиб, ундан мураккаб шаклли қўймалар олинади. Альсифернинг асосий хоссалари: $\mu_6 = 35500$, $\mu_{Hc} = 120000$, $H_c = 1,8$ А/м, $\rho = 0,8$ мкОм. Альсифердан магнитли экран, асбобларнинг устки қисми ва бошқа маҳсулотлар қуйиш усули билан тайёрланади.

Қўлланилиши магнит хоссаларининг у ёки бу хусусиятларига асосланган материалларни алоҳида туркумга киритиш мумкин. Бундай материалларга қуйидагилар мисол бўлади: 1) майдон кучланганлиги ўзгарганда магнит сингдирувчанлиги жуда кам ўзгарадиган қотишмалар; 2) магнит сингдирувчанлиги температурага кучли равишда боғлиқ бўлган қотишмалар; 3) тўйинтириш индукцияси ўта юқори бўлган қотишмалар.

Биринчи турдаги қотишмаларнинг номи **перминвар** бўлиб, унинг таркибидa 29,4% Fe, 45% Ni; 25% СО ва 0,6% Мп бор. Мазкур қотишма 1000°C да юмшатилади, кейин 400—500°C да ушлаб турилади ва аста-секин совитилади. Перминварнинг бошланғич магнит сингдирувчанлиги 300 га тенг. Перминвар температура таъсирига ва механик кучланишларга сезгир материалдир.

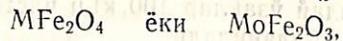
Иккинчи турга Ni—Cu, Fe—Ni ёки Fe—Ni—Cr асосидagi термомагнит қотишмалар киради.

Учинчи турга темир-кобальт қотишмалари киради. Таркибидa 50—70% СО бўлган мазкур қотишмалар пермендюрлар деб аталади. Пермендюрларнинг нархи қимматроқ бўлганлиги туфайли улардан фақат махсус аппаратларда, хусусан, динамик репродукторлар, осциллографлар, телефон мембраналарида фойдаланилади.

Ферритлар. Таркибидa, темирдан ташқари, икки ва ундан кўп валентли металл (Ni, СО, Мп, Zn, Cu, Cd, Pb, Mg) оксидлари ҳам бўлган бирикмалар ферритлар дейилади. Улар қисман электронли электр ўтказувчанлик хоссасига ҳам эгадир. Ферритнинг кристалл панжараси куб шаклида бўлади. Одатда, яхлит феррит тайёрлаш учун феррит кукунига поливинил спиряли пластификатори қўшилади ва бу масса юқори босимда қолипланлади. Унинг солиштирма қаршилиги соф темирнинг солиштирма қаршилигига нисбатан 10^5 — 10^6 баробар юқоридир. Шу сабабли, ферритда қуюн токи ҳисобига содир бўладиган исрофлар кескин камаяди ва материални юқори частоталарда

ҳам ишлатса бўлади. Ферритнинг магнит сингдирувчанлиги соф темирниқига нисбатан 10^2-10^3 баробар юқори бўлганлиги учун ундан тайёрланадиган ўзақлар ҳажмини кескин кичрайтириш мумкин. Ферритдаги (ρ_r, J_r) қийматлар ферромагнит (ёки оддий металл) дагига нисбатан жуда кичик бўлгани учун, у паст частотали асбобларда ҳам қўлланилади.

Феррит таркиби оддийгина қилиб қуйидагича ифодаланади:



бунда М — икки валентли бирор металл.

Ферритлар таркибидаги қўшимчаларга мис, рух, никель-рух, марганец-рух мисол бўлади. Улар электротехникада кенг миқёсда қўлланилмоқда. Ферритларда Кюри нуқтасидаги температура анча паст, яъни $100-150^\circ\text{C}$ атрофида бўлади. Унинг солиштирма оғирлиги $3700-4800 \text{ кг/м}^3$ атрофида бўлиб, асосий хоссалари 30-жадвалда келтирилган.

Ферритнинг гистерезис ҳалқаси тўғри бурчакка яқин бўлиши уни махсус аппаратларда қўллаш имконини яратади. Феррит, асосан, алоқа, радиотехника, ҳисоблаш техникаси, автоматика асбоб-ускуналарида кенг миқёсда қўлланилади.

30-жадвал

Нави	ρ_{r6}	ρ_{rmax}	$H_c, \text{ А/м}$	$B_r, \text{ Тл}$	$J_n, \text{ МГц}$	$T_k, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{ Ом м}$	$\tau \times 10^3, \text{ кг/м}^3$
20000 НМ	15000	35000	0,24	0,11	0,1	110	0,001	—
6000 НМ	4800—8000	10000	8	0,11	0,5	130	0,1	5,0
1000 НМ	800—1200	1800	28	0,11	5	200	0,3	4,5
1000 НН	800—1200	3000	24	0,10	3	110	10	4,9
600 НН	500—800	1500	40	0,12	5	110	100	4,8
2000 НМ1	1700—2500	3500	25	0,12	1,5	200	50	5,0
700 НМ1	550—850	1800	25	0,05	8	200	140	4,8
100 ВЧ	80—120	210	300	0,15	80	400	10^5	4,8
20 ВЧ2	16—24	45	1000	0,1	300	450	10^6	4,7
300 НН	280—350	600	80	0,13	20	120	10^6	4,8
9 ВЧ	9—13	30	500	0,06	600	500	10^7	4,4
200 ВЧ	180—220	360	70	0,11	—	360	10^3	4,7
50 ВЧ3	45—65	200	100	0,14	—	480	10^4	4,66

Гистерезис ҳалқаси тўғри бурчакли ферритлар ҳисоблаш техникасининг хотира қурилмалари учун асосий материал бўлиб хизмат қилади. Бундай материалларнинг хоссаларини изоҳлаш учун қўшимча махсус параметрлар киритилади. Бундай параметрлардан бири гистерезис ҳалқасининг тўғри бурчакли коэффицентидир:

$$k_n = \frac{B_r}{B_{max}}$$

бунда k_n нинг қиймати иложи борича бирга яқин бўлиши керак. Ўзақлар тезда қайта магнитланиши учун уларнинг қайта уланиш коэффиценти Δq кичик қийматга эга бўлиши керак.

Феррит ўзақларнинг хоссалари 31-жадвалда келтирилган.

31-жадвал

Феррит ўзақларнинг хоссалари

Материал	$H_c, \text{ А/м}$	$B_r, \text{ Тл}$	k_n	$S_q, \text{ мкКл/м}$	$T_k, ^\circ\text{C}$
Турли навдаги ферритлар	10—1200	0,15—0,25	0,9	25—55	110—630
Пермаллойдли ўзақлар (тасманинг қалинлиги 2—10 мкм)	8—50	0,6—1,5	0,85—0,9	25—100	300—630

Конструкциян чўян ва пўлатлар асбобсозлик, аппаратсозлик ва электр машинасозликда кенг қўлланиладиган материаллардир. Магнит хоссаларига кўра улар магнитли (кулранг чўян, углеродли ва легирланган пўлат) ва магнитсиз турларга бўлинади.

Кулринг чўян таркибида 3,2—3,5% углерод, кремний, марганец, фосфор ва олтингугурт бўлади. Бу материалнинг эгилишдаги мустаҳкамлиги 200—450 МПа. Ундан электр машиналарнинг корпуси, асоси ва шу каби деталлар тайёрланади.

Одатда, қуймалар олишда таркибида 0,08—0,2% углероди бўлган, углеродли пўлатдан фойдаланилади. Бунда қуймалар $850-900^\circ\text{C}$ температурада секин-аста юмшатилади. Махсус конструкцияси енгиллаш-электр машиналарида, шунингдек, конструкцияси енгиллаш-тирилган машиналарда никель, ванадий, хром ва молибден битирилган пўлатлар ишлатилади. Бу пўлатларнинг эгилишдаги механик мустаҳкамлиги 500—950 МПа оралиғида бўлади.

9.3. Қаттиқ магнит материаллар

Қаттиқ магнит материаллар таркиби, ҳолати ва олиниш усулларига кўра қуйидагича таснифланади: 1) легирланган мартенсит пўлатлари; 2) қуйма қаттиқ магнит қотишмалари; 3) кукунлардан тайёрланган магнит; 4) қаттиқ магнитли ферритлар; 5) эзилувчан қотишмалар ва магнит тасмалари. Қутблар орасида ҳаво бўшлиғи мавжуд бўлганида энергиянинг бир қисми магнит материали ҳажмидан ташқаридаги майдон билан боғлиқ бўлади. Мазкур энергиянинг қиймати бўшлиқнинг узунлигига боғлиқ. Магнит қутбларининг магнитсизланиши ҳисобига оралиқдаги индукция B_d қолдиқ индукция B_r га нисбатан кичикроқ бўлади.

Ҳаволи оралиқдаги солиштирма магнит энергияси:

$$W_d = \frac{B_d H_d}{2},$$

бунда H_d — B_d индукцияга мос келадиган майдон кучланганлиги.

Туташтирилган магнитда $B_d = B_r, H_d = 0$ бўлгани сабабли мазкур энергия нолга тенглашади. Агар қутблар оралиғи жуда катта бўлса, $B_d = 0, H_d = H_c$ бўлганлиги сабабли бунда ҳам энергия нолга интилади.

Қандайдир B'_d, H'_d қийматларда энергия ўзининг энг юқори қийматига эришади:

$$W_{\max} = \frac{B'_d \cdot H'_d}{2}.$$

Бу ифода билан магнитдан энг яхши фойдаланиш имконияти аниқланиб, у ўзгармас магнитлар тайёрлашда ишлатиладиган материалларнинг сифатини аниқлайдиган муҳим хараakterистика ҳисобланади.

Пўлат таркибига вольфрам ёки хром каби металллар киритилса, мартенсит тузилишли материал ҳосил бўлади. Бунда пўлатнинг доимий магнит эскириш жараёни сусаяди. Вольфрамли пўлат таркибида 0,6% С, 5—6% W, хромли пўлат таркибида эса 1% С, 1,5—3% Cr бўлиб, уларнинг хоссалари углеродли пўлатниқига нисбатан анча яхшилланган. Мазкур материалларнинг магнит хоссалари: $H_c = 0,45—0,5$ кА/м, $B_r = 0,9—1,1$ Вб/м², $W_g = 0,9—12$ кЖ/м³.

Электротехникада магнит материали сифатида илк бор қўлланилган қотишма *альни* деб аталган. Унинг таркиби 11—16% Al, 24—30% Ni, 54—65% Fe элементларидан иборат. Альнининг H_c қиймати углеродли пўлатниқига нисбатан 10 баробар юқори. Жуда қаттиқ материал бўлганлиги сабабли альнига механик ишлов бериб бўлмайди. Альнидан магнит қуйиш усули билан олиниб, керакли тузилиш совитиш жараёнида ҳосил қилинади. Унинг магнит хоссалари қуйидагича: $H_c = 4—4,5$ кА/м; $B_r = 0,55—0,65$ Вб/м²; $W_g = 5$ кЖ/м³.

Альнико қотишмаси альнига ўхшаш бўлиб, унинг таркибида 5—10% Со ва 6% Си қўшимчалари бор. Альниконинг магнит хоссалари: $H_c = 4,0—4,5$ кА/м; $B_r = 0,7—0,8$ Вб/м²; $W_g = 6,0—7,0$ кЖ/м³.

Магنيко қотишмаси альникодан таркибидаги кобальт миқдорининг нисбатан кўплиги билан (10% Al, 17% Ni, 24% Со, 6% Си, 43% Fe) фарқланади. Магниконинг магнитлик хоссалари: $H_c = 4,0—4,5$ кА/м; $B_r = 1,2—1,3$ Вб/м²; $W_g = 16—20$ кЖ/м³.

Қотишма магнит хоссаларининг яхшиланиши, унинг таркиби билангина эмас, балки махсус ишлов бериш — қуйманиланади.

Альни, альнико ва магнико қотишмаларининг камчилиги улардан аниқ ўлчамли кичик маҳсулотлар тайёрлашнинг мушкуллигидир.

Платинали қотишмалар темир ёки кобальт таркибига 77—78% платина қўшниш орқали олинади. Бу материалда H_c қиймати кескин ошиб, индукция қиймати эса пасаяди. Унинг магнит хоссалари (темирли қотишмада): $H_c = 12,5$ кА/м; $B_r = 0,58$ Вб/м²; $W_g = 12$ кЖ/м³; кобальтлиснда эса $H_c = 21$ кА/м², $B_r = 0,45$ Вб/м², $W_g = 15 \cdot 10^3$ кЖ/м³. Платинали қотишмаларнинг қолдиқ индукцияси кичик қийматга эга. Нархи баландлиги сабабли, бу материаллар махсус аппаратларда жуда кичик ҳажмли магнитлар тайёрлашда қўлланилади.

Фойдаланилган адабиёт

1. Богородицкий Н. П., Пасынков В. В., Тареев Б. М. Электротехнические материалы. — Л., «Энергоатомиздат», 1985.
2. Майофис И. М. Химия диэлектриков. — М., «Химия», 1981.
3. Мажидов С. Электротехникадан русча-ўзбекча лугат. — Тошкент, «Уқитувчи», 1983.
4. Ренне В. Т. Электротехнические материалы. — Л., 1984.
5. Тареев Б. М. Физика диэлектрических материалов. — М., «Энергия», 1982.
6. Справочник по электротехническим материалам. — М., «Энергоатомиздат», в 3 т., 1986—1988.

Мундарижа

Сўз боши	3
Қирғиш	4
1-Б У Л И М Д И Э Л Е К Т Р И К Л А Р	
1-б о б. Диэлектрикларнинг қутбланиши	6
1.1. Электр майдонидаги диэлектрик	6
1.2. Қутбли ва қутбсиз диэлектриклар	11
2-б о б. Диэлектрикларнинг электр ўтказувчанлиги	18
2.1. Асосий тушунчалар	18
2.2. Газларнинг электр ўтказувчанлиги	22
2.3. Суюқ диэлектрикларнинг электр ўтказувчанлиги	23
2.4. Қаттиқ диэлектрикларнинг электр ўтказувчанлиги	25
3-б о б. Диэлектрикларда энергия исрофи	30
3.1. Асосий тушунчалар	30
3.2. Газсимон, суюқ ва қаттиқ диэлектриклардаги исрофлар	38
4-б о б. Диэлектрикларнинг тешилиши	41
4.1. Асосий тушунчалар	41
4.2. Газларнинг тешилиши	42
4.3. Суюқ диэлектрикларнинг тешилиши	46
4.4. Қаттиқ диэлектрикларнинг тешилиши	47
5-б о б. Диэлектрикларнинг физик-кимёвий ва механик хусусиятлари	50
5.1. Диэлектрикнинг намланиши	50
5.2. Диэлектрикнинг механик хоссалари	53
5.3. Диэлектрикнинг физик хоссалари	56
5.4. Юқори энергияли нурланишнинг диэлектрик хоссаларига таъсири	60
6-б о б. Диэлектрик материаллар	62
6.1. Асосий тушунчалар	62
6.2. Газсимон диэлектриклар	63
6.3. Суюқ ҳолатдаги диэлектриклар	66
6.4. Органик диэлектриклар	71
2-Б У Л И М. У Т К А З Г И Ч Л А Р, Я Р И М У Т К А З Г И Ч Л А Р В А М А Г Н И Т М А Т Е Р И А Л Л А Р	
7-б о б. Утказгич материаллар	113
7.1. Утказгич материалларнинг асосий хоссалари	113
7.2. Утказувчанлик хусусияти юқори бўлган материаллар	118
7.3. Ута ўтказгичлар ва криоўтказгичлар	120
7.4. Турли металллар	123
7.5. Турли қотишмалар	126

8-б о б. Ярим ўтказгич материаллар	133
8.1. Умумий маълумотлар	133
8.2. Ярим ўтказгичнинг электр ўтказувчанлиги	135
8.3. Ярим ўтказувчанлик хоссасига эга элементлар	139
9-б о б. Магнит материаллар	144
9.1. Умумий маълумотлар	144
9.2. Юмшоқ магнит материаллар	150
9.3. Қаттиқ магнит материаллар	155
Фойдаланилган адабиёт	158

——————

А Х Т И М

КАМОЛОВ ШУҲРАТ МУЗРОПОВИЧ
 АХМЕДОВ ОМОНУЛЛА ШОРАХМАТОВИЧ

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА МАТЕРИАЛЛАРИ

Тошкент «Ўқитувчи 1994

Редакция мудир А. Раҳимов
 Муҳаррир Ш. Аъзамов
 Кичик муҳаррир М. Иброҳимова
 Расмлар муҳаррири Ф. Некқадамбоев
 Техник муҳаррир Т. Грешникова
 Мусахҳиҳ А. Иброҳимов

ИБ № 5808

Териншга берилди 10.07.93. Босишга руҳсат этилди 2.05.94. Формати 60x90 1/16. Тип. қоғози. Литературнай гарн Кегли 10 шпонсиз. Юқори босма усулида босилди. Шартли б. л 10,0. Шартли кр.-отт. 10,25. Нашр. л. 10,54. 3000 нусхада босилди. Зак. 550.

«Ўқитувчи» нашриёти. Тошкент, 129. Навоий кўчаси, 30. Шартнома 11-319-91.

Область газеталарининг М. В. Морозов номидаги бирлашган нашриёти ва босмахонаси. Самарқанд ш., У. Турсунов кўчаси 82. 1994.