

621.311(07)

Ш. М. КАМОЛОВ, А. Ш. АХМЕДОВ

621.31

К 21

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА МАТЕРИАЛЛАРИ

*Ўзбекистон Олий ва махсус ўрта таълим
вазирлиги техника олий ўқув юртлари
учун ўқув қуланма сифатида тавсия этган*

8952502

O'QUV ZALI
Научно-техническая
библиотека ТРИС

Китобда электротехника материалларини ўрганиш ва текшириш асослари, уларнинг таркиби, ишлаб чиқарилиши, электрик, физик ва механик хоссалари келтирилган. Диэлектрик, утказгич, ярим утказгич 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.

К 20 Камалов Ш. М., Аҳмедов О. Ш.

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

□ Автордаш.

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

«Ўқитувчи» нашриёти, 1994

31.23я73

Ў'QUV ZALI

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

ISBN 5—645—01578—9

© «Ўқитувчи» нашриёти 1994.

СУЗ БОШИ

Ушбу қўлланма Ўзбекистон Олий ва махсус урта 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 такозо этади. Қўйилган мақсадга амалий равишда ёндашиш учун қўлланилиши мумкин бўлган материалларнинг кимёвий, физик ва механик хоссаларини чуқур талқин эта билиш керак. Бунида 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 фаанга онд маълумотлар, материалларнинг электротехникадаги ўрни ҳамда уларнинг амалда қўлланилиши билан таништиради.

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

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 тоқини 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 тоқи оқимини чеклаш учун ишлатилгани сабабли, улар жуда катта электр қаршилликка 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 оқими 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.

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

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

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 (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-бирдан 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 чизиқ йўналишидаги бирлик вектори, м; ϵ_r — нисбий диэлектрик сингдирувчанлик; ϵ_0 — электр доимийси ($\epsilon_0 \approx \frac{10^{-9}}{36\pi} = 8,854 \cdot 10^{-12}$ Ф/м).

q қийматли нуқтавий заряднинг R масофада вужудга келтирадиган электр майдон кучланганлиги Кулон қонунига асосан қуйидагича ифодаланади:

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

Икки ясси қоплама (электрод) лар орасига ўзгармас ка-лишлик (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 — ясси қопламалар орасидаги кучланиш, V .

Агар ички ва ташқи радиуслари r_1, r_2 булган қопламалар орасига диэлектрик жойлаштирилса ва цилиндрик конденсатор вужудга келтирилса, уқ йуналиши 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-биринга мос келади.

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

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

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

Қутбланиш модули қуйидагича ифодаланади:

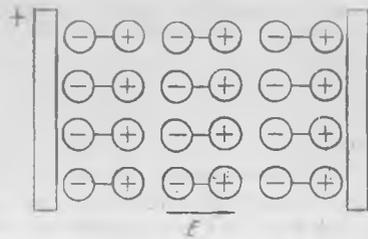
$$[P] = \sigma_6 \text{ Кл/м}^2. \quad (1.6)$$

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 донийисига кўпайтмаси билан шу нуқта



1-расм.



2-расм. Электр майдони таъсирида қутбланган диэлектрикда зарядларнинг жойлашуви

кутбланиш 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:

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

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

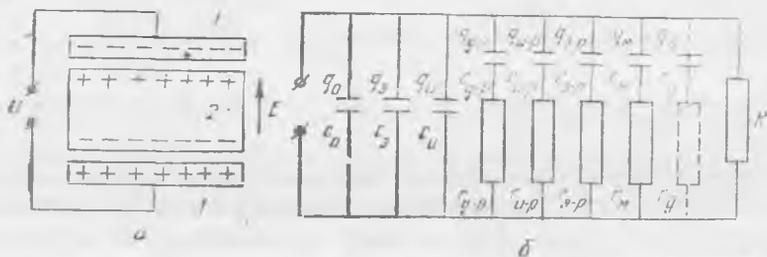
$$\epsilon_r = 1 + k_3.$$

Ушбу формуладан маълумки, барча моддаларнинг диэлектрик сингдирувчанлиги бирдан юқори бўлиб, фақат вакуум учун $k_3 = 0$ ва, бинобарин, $\epsilon_r = 1$ бўлади.

Юқорида қайд этилишича, кутбланиш 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 *кутбланиш* 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 кутбланиш 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) қопламаларда йиғилган заряд миқдори (q_0) билан диэлектрик қутбланиш заряди (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 майдонида жойлашган диэлектрикнинг сифати унинг қутбланиш мобайнида аниқланадиган диэлектрик сингдирувчанлиги қиймати билан ифодаланади. Диэлектрик қутбланиш хусусиятининг қизиқ томони, унинг сифим қийматини ифодалашидадир. 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:

$$C = \frac{q_0 + \Delta q}{U} > C_0$$

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

Конденсаторнинг сифими диэлектрикнинг материалига, металл қопламаларнинг геометрик ўлчамини ва уларнинг шаклларига 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 диэлектригининг қаллиғи 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:

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

Бир-бирига параллел жойлашган сим, кабель ва хоказоларда солиштирма 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:

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

Агар диэлектрикнинг ϵ_r қиймати қанча кагга 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 тулқинли кабель изоляция материалининг ϵ_r қиймати кичик килиб олинади.

Диэлектрик сингдирувчанликнинг энг кичик қиймати вакуум учун тегишли бўлиб, унда $\epsilon_r = 1$ бўлади. Диэлектриклар (газ, суюқ, қаттиқ агрегат ҳолатдаги) ичида энг кичик диэлектрик сингдирувчанлик (ϵ_r) газларда бўлиб, унинг қиймати одатдаги шароит (муҳит температураси 20°C , ҳаво босими 760 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 синдирувчанлиги n^2 қийматлари

Диэлектрик	агрегат ҳолати	n	n^2	n^3
<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	2,25
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 туриши 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:

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

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^{-31} Кл·м атрофида, қутбсиз молекуланики эса $l=0$ бўлгани сабабли $\mu=0$ 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 каторига киради. Углеводородли 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 турдаги эса қутбланиш аста-секин содир бўлиб, диэлектрик қизиши натижасида энергия сарфланади.

Конденсатор сизими ва конденсаторда йиғилган заряд диэлектрикда содир бўладиган қутбланиш жараёнларини узида акс эттиради. Диэлектрикларнинг эквивалент чизмаси 3-расм, б да кўрсатилган бўлиб, 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 қаршиликлар; R — изоляция қаршилиги.

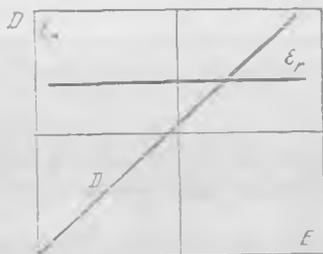
Электрон қутбланиш (q_s, C_s) атом ёки ионлар электрон қобиғининг силжиши ва эзилиши ҳисобига содир бўлиб, бу турдаги қутбланиш катта тезликда (10^{-15} сек) кечади ва қиймат жиҳатидан ёруғликнинг синдириш кўрсаткичи квадратига (n^2) тенгдир. Бундай қутбланиш барча диэлектрикларда кузатилиб, уларнинг атомларидаги электронлар мусбат электрод томон силжийди. Қутбли бўлмаган суюқ ҳолатдаги ва қаттиқ

диэлектрикларда қутбланиш суст кечиб, ϵ_r қиймати $2 \div 2,5$ атрофида булади. Электрон қутбланишда электр силжиш (D) майдон кучланганлиги (E) га мос равишда узгаради, 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 камайди, бинобарин, ҳажм бирлигидаги атом сони камайиб, қутбланиш сусаяди; жисм қаттиқ ҳолатдан суюқ ҳолатга ўтганида зичлиги камайди, натижада қутбланиш ҳам кескин сусаяди. Электрон қутбланишда электр энергияси сарф бўлмайди. Бундай қутбланиш нефть мойларида (октол), қаттиқ моддалар — парафин, полистирол, полиэтилен ва бошқаларда кузатилади.

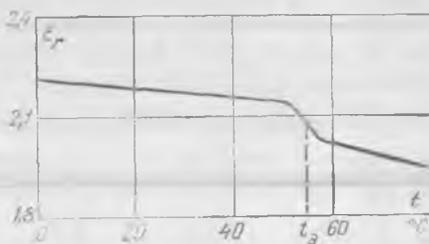
Ионли қутбланиш (C_n, q_n) кристалл панжарали қаттиқ жисмларда буш боғланган ионлар силжиши натижасида руй беради. Ионли қутбланиш электрон қутбланишга нисбатан кучлироқ кечади ва ϵ_r нинг қиймати $5 \div 30$ оралигида булади. Ион улчам жиҳатдан электрондан катта бўлиб, қутбланиш тезлиги эса, аксинча, паст булади ($\tau \approx 10^{-3}$ 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 қутарилиши 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).

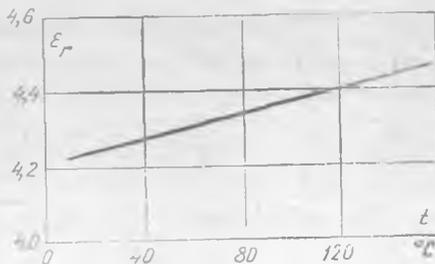
Ион қутбланишида энергия исрофи кузатилмайди,



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



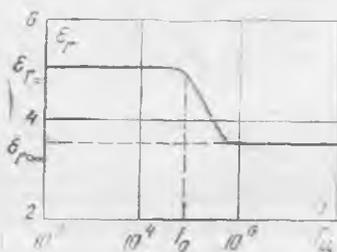
5-расм. Қутбсиз диэлектрик (парафин) диэлектрик синдирувчанлигининг температурага боғлиқлиги.



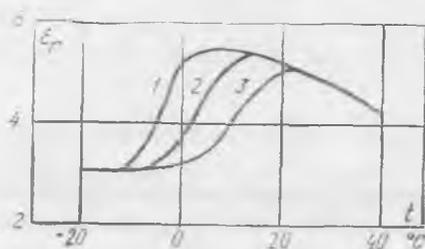
6-расм. Ион кристалли модда (КС1) диэлектрик синдирувчанлигининг температурага боғлиқлиги.

чунки қутбланишга сарфланадиган энергия манбага тулиқ 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 ҳалал бермаса, у ҳолда дипол қутбланиши содир бўлади. Қутбли диэлектриклардаги дипол молекулаларнинг мусбат ва манфий зарядларининг оғирлик марказлари бир-бирига мос келмай, балки молекула чеккасига силжиган ҳолда электр momenti хосил қилади. Электр майдонда унинг манфий чекка қисми мусбат қопламага, мусбат қисми эса манфий қопламага томон бурилишга интилади. Дипол мазкур бурилишда маълум қаршилликка ($r_{д-р}$) учрайди ва уни енгиш учун энергия сарф этади. Дипол қутбланиш анча секин ($\tau = 10^{-11} - 10^{-8}$ с) кечиши сабабли радио тулқинида ($10^6 \div 10^8$ 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 қутбли газлар, суюқликлар ва баъзи органик қаттиқ моддаларга хосдир. Кучланганлик узилгандан сунг диполнинг иссиқлик ҳаракати таъсирида тартибли сусайиш вақти (экспоненциал ўзгарадиган $e=2,71$) релаксация вақти деб аталади. Қутбли диэлектрикда ϵ_r қийматининг температурага қараб ўзгариши 8-расмда кўрсатилган бўлиб, паст температурада жисм қовушоқлиги юқорилиги туфайли диполлар ҳаракатсиз ва $\epsilon_r = \epsilon_{ст}$ 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 ҳалал беради ва ўз навбатида ϵ_r қиймати камаяди.



7-расм. Қутбли суюқлик (совол) диэлектрик сингдирувчанлигининг частотага боглиқлиги.



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

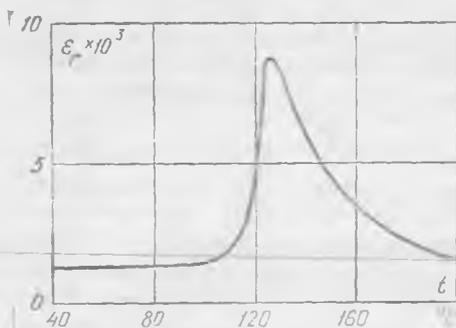
Ион-релаксация қутбланиши ($C_{и-р}$, $q_{и-р}$, $r_{и-р}$) баъзи анорганик моддаларда кузатилади. Бунда модданинг узаро булбоғланган ионлари ташқи электр майдон таъсирида аниқ йўналиш олади. Агар электр майдон олинса, қутбланиш экспоненциал қонун бўйича пасаяди.

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

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

Ўз-ўзидан (спонтан) қутбланиш ($C_с$, $q_с$, $r_с$) сегнетоэлектрикларга хос бўлиб, биринчи бор у сегнет тузи ($KNaC_4H_4O_6 \cdot 4H_2O$) да кузатилади. Ташқи майдон булмаганда сегнетоэлектрикнинг маълум қисмида диполлар ўз-ўзидан бири-бирига нисбатан мослашиб, аниқ йўналиш олади. Ўз-ўзидан қутбланувчи моддаларнинг алоҳида соҳаларида (доменларида) электр моменти йўналиши турлича бўлади. Ташқи майдон таъсирида доменларнинг электр моменти майдон томон йўналади ва шу сабабли кучли қутбланиш содир бўлади. Сегнетоэлектрикнинг диэлектрик сингдирувчанлиги жуда ҳам юқори (500—20000) бўлиб, у майдон кучланганлиги ва температурага өзвий 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 руй бериб, қутбланиш ўзгармай қолади. аксинча, майдон таъсири пасайтирилганда ва у ордината ўқини кесиб, нолга тенг булганда жисм қутбланиши маълум қийматгача пасаяди. Шунинг учун ҳам ўз-ўзидан қутбланиш жараёнида диэлектрикнинг сингдирувчанлиги электр майдон кучланганлигига боғлиқ бўлади.

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



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

температурада содир бўлади. Агар сегнетоэлектрик Кюри нуқтасигача қизитилиб, сунгра кескин совитилса, унинг диэлектрик сингдирувчанлиги узининг асл қийматига қайтади. Диэлектрик сингдирувчанликни тиклаш, сегнетоэлектрикка юқори кучланишли 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 ҳамм 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.

Суюқ ҳолатдаги диэлектриклар қутбди 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 ҳамм бирлигидаги молекулалар сонининг камайишига асосланади. Дипол молекулали суюқ диэлектрик бир вақтнинг ўзида электрон ва дипол қутбланишга эга бўлади. Қутбли суюқ диэлектрикларда ϵ_r қиймати асосан 3,5—5 атрофида бўлади.

Қаттик жисмларнинг диэлектрик сингдирувчанлиги диэлектрикнинг тузилишига боғлиқ равишда ўзгаради. Уларда турли хилдаги қутбланишлар бўлиши мумкин. Бунга мисол тарикасида 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 узининг сегнетоэлектриклик хусусиятини, яъни ϵ_r қийматининг электр еки магнит майдонига бўлган боғлиқлигини йўқотади. Вақт бирлигида доменлар тупламнинг жойи ўзгариши ҳисобига сегнетоэлектрикларда электр эскириши кузатилади ва ϵ_r қийматининг кескин ўзгариш Кюри

тиқ ҳолатдан суяқ ҳолатга ўтишида (t_0) унинг зичлиги пасайиши туфайли ϵ_r қиймати кескин камаяди.

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

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

Кўпинча диэлектрикларда диэлектрик сингдирувчанлик ва конденсатор сифимининг температурага боғлиқлигини аниқлашда диэлектрик сингдирувчанликнинг температура коэффициентини:

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

ва сифимнинг температура коэффициентини:

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

дан фойдаланилади.

Бу икки коэффициент орасидаги боғланиш қуйидаги қуринишга эга:

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

бунда α — диэлектрикнинг чизиқли температура коэффициентини.

Ташқи муҳит температураси ўзгарадиган шароитда ишлайдиган электр ва радиоаппаратларни лойиҳалашда конденсатор сифимининг температурага боғлиқ бўлмаслигини таъминлаш зарур. Сифимнинг температурага нисбатан барқарорлиги қуйидаги икки усул орқали амалга оширилади. Биринчи усулда иккита бир-бирига параллел ёки кетма-кет уланган конденсаторлар занжири олинади, бунда занжирдаги сифимларнинг температура коэффициентларидан бирининг ишораси — мусбат, иккинчисиники — манфий бўлади. Сифимлари C_1 ва C_2 , сифимнинг температура коэффициентлари TKC_1 ва TKC_2 бўлган ҳамда бир-бирига параллел уланган конденсаторларнинг умумий сифими қуйидагича аниқланади:

$$C^* = C_1 + C_2 \quad \Phi \quad (1.19)$$

Бундай умумий сифимнинг температура коэффициентини эса қуйидагича аниқланади:

$$TK C^* = TK (C_1 + C_2) = \frac{1}{C^*} \frac{dC^*}{dT} = \frac{1}{C^*} \left(\frac{dC_1}{dT} + \frac{dC_2}{dT} \right) \quad (1.20)$$

бунда

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

булганн сабабли умумий сифимнинг температура коэффициентни қуйидагича ифодаланади:

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

Температуранн мувозанатлаш шартинга асосан $\text{TK} C = 0$ булганн учун

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

булади.

Агар икки конденсатор ўзаро кетма-кет уланган булса, у ҳолда умумий сифимнинг температурага нисбатан мувозанатланнш шартн қуйидагича булади:

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

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

Ушбу шартларга асосан сифимнинг температура оралигида ўзгарншидаги тула мувозанат $\text{TK} C_1$ ва $\text{TK} C_2$ нинг ўзгармас булган ҳолатларида бажарилади.

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

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

2-б о б. 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 утказувчанлик унинг таркибидаги 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 қиммати q га тенг бўлган диэлектрикка ташқи электр майдони (E) таъсир эттирилса, шу электр майдонни таъсирида заряд куч чизиқлари йуналишида маълум тезлик v олади. Жисмининг қундаланг юзасидан вақт бирлигида ўтадиган электр миқдори, яъни ток зичлиги:

$$J = nqv \quad \text{А} \quad (2.1)$$

ёки

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

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

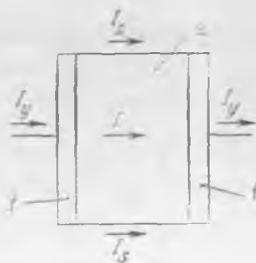
$$J = E\gamma,$$

бу ерда ρ — солиштирама электр қаршилиги, Ом·м; γ — солиштирама электр ўтказувчанлик, См/м.

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

Изоляция материали одатда жуда катта солиштирама 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 берилди. Намуна асосан ясси тахтача шаклида тайёрланиб, электродлар унинг бир ёки қарама-қарши икки юзасига ўрнатилади. Диэлектрикнинг ҳажмий қаршилигини аниқлаш учун электр токи намунанинг ҳажми бўйича ўтказилди ва электродлар қарама-қарши юзасига ўрнатилди. Мазкур электродлар гальванометр орқали электр манбаига уланади. Диэлектрикнинг юза қаршилигини аниқлашда эса электродлар намунанинг бир юзасига ўрнатилиши мумкин.

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



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

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

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

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.

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

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

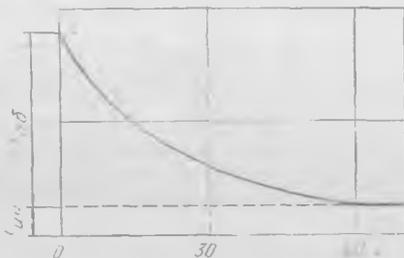
Диэлектрикнинг солиштирма юза қаршилиги эса:

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

Халқаро бирликлар системаси (СИ) га асосан бу қаршилик Ом м ёки Ом·мм²/м бирликларда олинади: 1 Ом·м = 100 Ом·см = 10⁶ Ом·мм²/м = 10⁸ мкОм·м = 10⁸ мкОм·см.

Диэлектрикнинг солиштирма ҳажмий ўтказувчанлиги унинг солиштирма ҳажмий қаршилигига 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 майдон 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 $\rho = 10^9 - 10^8 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ бўлиб, юқори (олий) сифатлиларида эса, бу қиймат $10^{14} - 10^{18}$



12-расм. Диэлектрикдан ўтаётган токнинг вақт буйича характеристикаси.

Ом/м га тенг бўлади. Яхши сифатли диэлектрик ва электр ўтказгич материалли орасидаги солиштирма ҳажмий қаршилиқлар фарқи $10_{22} - 10_{25}$ га етиб боради. Диэлектрикнинг солиштирма юза қаршилиғи электродлар ўзаро тенг ва юзага параллел равишда уриштирилганда:

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

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

Бу катталик ёрдамида диэлектрикнинг солиштирма юза ўтказувчанлиғи ($\gamma = 1/\rho$) аниқланади. Электр ўтказувчанликнинг ўлчов бирлиғи сифатида сименс (См) қабул қилинган. Қаттиқ диэлектрикнинг тулиқ электр ўтказувчанлиғи унинг юза ва ҳажмий электр ўтказувчанлиқлари йиғиндисидан иборатдир. Кучли ва кучсиз электр майдонларида жойлашган диэлектрикларда заряд элтувчилар турли ҳолда содир бўлади. Диэлектрикнинг қандай агрегат ҳолатдалиғига қараб, унинг электр ўтказувчанлиғи турлича бўлади. Кўпгина диэлектриклар кучсиз электр майдони таъсирида ионли электр ўтказувчанликка эгадир. Электр ўтказувчанликка диэлектрик таркибидаги кучимча ва бегона заррачалар ҳам сабабчи бўлади. Булар диэлектрикнинг электр ўтказувчанлиғини оширибгина қолмай, унинг электр мустақамлиғининг пасайишига ҳам олиб келади. Кучли электр майдони таъсирида заряд элтувчилар нейтрал заррачалар билан туқнашиб, 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 ўтаётган ток миқдори камайиши ёки ортиши мумкин. Биринчи ҳолда диэлектрикдаги электр ўтка-

зувчанликни, асосан, турли хил қўшнмчалар 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 якунланади.

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

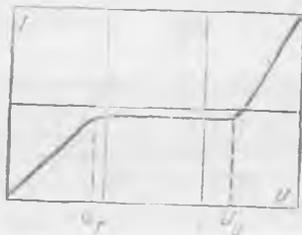
$$\tau_0 = R_{из} \cdot C = \rho \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \quad (28)$$

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 ҳаракатга 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 оралиғидаги (U_T — U_n)) қийматида газда зарядсизланиш ҳисобига ток ўзгармас бўлиб қолади.

Нормал шароит ($t = 20^\circ\text{C}$, $\varphi = 65\%$, $\rho = 790$ мм с.м. уст) да ҳавода тўйинган ток зичлиги i жуда кичик қийматга, яъни кучланишнинг $0,6$ В/м қийматида 10^{-10} А/м² га тўғри келади. Шунинг учун ҳам, ҳаво яхши диэлектрик ҳисобланади. Кучланишнинг i_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 тўхтайди. Бунда заряд элтувчилар кескин камайиши сабабли газдан ўтаётган ток нолга интилади.



13 расм. Газдан ўтаётган токнинг кучланиш бўйича характеристикаси.

Юқори қийматли электр майдони-

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

Фотоионлашиш 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 фотоионлашиш жараёнлари бир вақтнинг ўзида содир бўлади.

Агар ионлаштирилган газ ўзаро параллел жойлашган иккита ясси электрод ораллиғида бўлиб, бу электродларга кучланиш берилса, мазкур кучланиш таъсирида ионлар майдон йуналиши 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 йуналади ва рекомбинация қилишга улгурмайди. Бунда, газ ораллиғидаги барча ионлар кучланишнинг маълум қийматида фақат электродларда зарядсизланади.

Туйиниш токи (U_T — U_n ораллиғидаги ўзгармас ток) нормал шароитдаги ҳаво учун электродлар ораллиғи 10 мм ва майдон кучланганлиги 0,60 В/м бўлганда содир бўлади. Бу ток қиймати ҳавода жуда кам бўлиб, тахминан 10^{-11} 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 $E_n \sim 10^5 - 10^6$ В/м га тенг бўлган пайтда содир бўлади.

2.3. Суюқ диэлектрикларнинг электр ўтказувчанлиги

Суюқликнинг электр ўтказувчанлиги унинг молекула тузилиши ва таркибидаги қўшимчаларга боғлиқдир. Қутбли суюқлик қутбсиз суюқликдан узининг 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. Суюқликда ионларнинг ёки зарядланган коллоид заррачаларнинг силжиши ундан ток ўтишини таъминлайди.

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

Суюқ диэлектрик таркибидаги қўшимчалардан тозаланса, унинг солиштира қаршилиги бирмунча ортади. Масалан, қутб-сиз суюқ диэлектрик орқали узоқ вақт электр токи ўтказилса, эркин ионларнинг электродларда йиғилиши натижасида мазкур суюқлик қўшимчалардан тозаланади ва диэлектрик қар-шилиги ортади. Натижада суюқ диэлектрикда электр тозала-ниш содир бўлади.

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

Суюқ диэлектрикнинг солиштира ўтказувчанлиги қуйида-гича аниқланади:

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

бунда A , a — берилган суюқликни ифодалайдиган ўзгармас катталиклар.

Суюқликнинг солиштира ўтказувчанлиги ва қовушоқлиги орасидаги боғланиш қовушоқ муҳитда доимий куч таъсирида силжувчи шар ҳаракатига асосланган Стокс қонунидан фойда-ланиб урганилади. Ушбу қонунга асосан суюқ муҳитда жой-лашган шарнинг ҳаракат тезлиги:

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

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

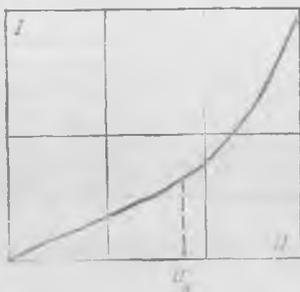
Агар ион шар кўринишли, унинг заряди q ва ҳаракатлан-тирувчи кучи $F = Eq$ деб олсак, у ҳолда суюқликнинг солиш-тирма электр ўтказувчанлиги Ом қонунига асосан қуйидагича аниқланади:

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

бунда n_0 — заряд элтувчилар миқдори.

Ушбу ифодага асосан суюқлик қизиганда унинг қовушоқ-лиги камайиши сабабли диэлектрикнинг электр ўтказувчанли-ги ортади. Яхши тозаланган суюқ диэлектрикларнинг вольт-

ампер характеристикаси (ВАХ) (14-расм), газларнинг ВАХдан горизонтал қисм бўлмаслиги билан фарқланади.



14-расм. Суяқ ҳолатдаги диэлектрикдан утаётган токнинг кучланиш бўйича характеристикаси.

Электр ўтказувчанлик коллоид бирикмаларда ҳам кузатилиб, уларда заряд элтувчи вазифасини молионлар бажаради. Электротехникада коллоид бирикмалардан эмульсия, суспензия (суяқликдаги қаттиқ заррачалар) ва аэрозоллар (газ таркибидаги қаттиқ ва суяқ заррачалар) ишлатилади. Электр майдонда молионлар ҳаракати электрофорез кўринишида бўлади ва бу жараён электролиздан янги мода ҳосил қилмаслиги билан фарқланади. Электрофоретик электр ўтказувчанлик, таркибида сув зарраси бўлган ёғда, қатрон (смола)ли органик суяқликларда кузатилади.

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

2-жадвал

Баъзи суяқликларнинг 20 С даги солиштира ҳажмий қаршилиги ва диэлектрик синдирувчанлиги

Суяқлик	Тузилиш хусусияти	ρ , Ом·м	ϵ_r
Трансформатор мойи	Қутбсиз	$10^{10} - 10^{13}$	2,3
Бензин	Қутб и	$10^8 - 10^{10}$	2,0
Канакунжуг мойи	Қутб и	$10^8 - 10^{10}$	4,5
Ацетон	Қутб и	$10^8 - 10^5$	22
Дистилланган сув	Ута қутбли	$10^7 - 10^4$	81

2.4. Қаттиқ диэлектрикларнинг электр ўтказувчанлиги

Қаттиқ жисмларнинг электр ўтказувчанлиги улар таркибидаги ионларнинг ёки бошқа зарраларнинг силжиши ҳисобига содир бўлади. Баъзи қаттиқ жисмларда эса электр ўтказувчанликни эркин электронлар келтириб чиқаради. Кучли электр майдони таъсирида жисмда электронли электр ўтказувчанлик кузатилади. Электр ўтказувчанлик тури Фарадей қонунини қўллаш орқали тажриба йўли билан аниқланади. Ион тузилишли диэлектрикларда электр ўтказувчанлик, асосан, иссиқлик ҳаракати таъсирида озод бўладиган ионлар силжиши ҳисобига рўй беради. Паст температурада кристалл панжарала бўш боғланган ионларгина, хусусан, қўшимчаларнинг ионлари силжийди. Атом ёки молекула панжарали диэлектрикнинг электр ўтказувчанлиги қўшимчалар ҳисобига рўй беради. Бу ҳолда унинг солиштира электр ўтказувчанлиги жуда кичик қиймати ташкил этади. Ҳар бир муайян ҳол учун электр ўтказувчан-

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, солиштирма 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, солиштирма ҳажмий қаршиликнинг температурага боғланишини аниқлаймиз:

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

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

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

Ион панжарали кристалл тузилишга эга жисмларда электр ўтказувчанлик ион валентлиги билан боғлиқдир. Бир валентли ионли кристаллларнинг электр ўтказувчанлиги кўп валентли ионли кристаллларга нисбатан юқори бўлади. Масалан, NaCl кристаллининг электр ўтказувчанлиги MgO ёки Al₂O₃ кристаллларининг 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 солиштирма электр ўтказувчанлик уларнинг полимерланиш ва вулканланиш даражаси билан аниқланади. Органик қўтбсиз аморф диэлектрик (полистирол ва ҳоказо) нинг солиштирма электр ўтказувчанлиги анча кичикдир. Шишанинг электр ўтказувчанлиги унинг кимёвий таркибига боғлиқ бўлгани сабабли мазкур қийматни технологик жараёнда бошқариш мумкин бўлади. Масалан, кварцли шиша жуда кичик солиштирма 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 усади 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 пероксида	2 · 10 ⁶ Ом · м
Калий пероксида	8 · 10 ⁹ Ом · м
Кўрғошинли шиша	2 · 10 ¹⁰ Ом · м

Таркибида шиша бўлган электротехника чинисига 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 кутарилади.

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 ўтказувчанлигининг майдон кучланганлигига боғлиқлиги Пулнинг эмпирик формуласи орқали ифодаланади:

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

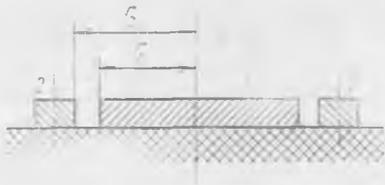
бунда E — майдон кучланганлиги, МВ/м; β — (Ом қонуни бузилмайдиган соҳага тегишли солиштирама электр ўтказувчанлик, См; β — материални ифодалайдиган коэффициент.

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

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

Электр майдони 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 учун ишлатиладиган
доирасимон ички (1) ва ташқи (2)
электродлар.

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

$$R_s = \frac{a_2}{2\pi} \ln \frac{r_2}{r_1} = \frac{a_2}{2\pi} \ln \frac{d_2}{d_1}, \quad (2.18)$$

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 қури-
нишда ёзилиши мумкин:

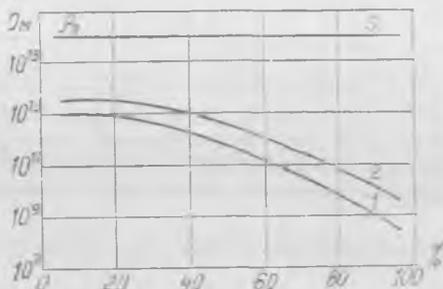
$$R_s = \frac{r_2 (r_2 - r_1)}{\pi (r_1 + r_2)} = \frac{r_2 (d_2 - d_1)}{\pi (d_1 + d_2)}. \quad (2.19)$$

Қутб-ли 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 натижаси-
да диэлектрикнинг юза қаршилиги пасайиб кетади.

Диэлектрикнинг солиштирма юза қаршилигини ювини,
иссиқда тоблаш ва бошқа турли усуллар орқали кўтарилади.
Диэлектрик юзасини тозалаш усулларидан бири уни дистил-
ланган сувда қайнатишдан иборатдир. Диэлектрикнинг юза-
сини доклаш 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
намли муҳитда кўп ўзгармайди. Диэлектрик таркибида диссо-
циацияланган ионли қўшимчалар бўлса, намлик таъсир-
ида унинг солиштирма юза қаршилиги кескин пасаяди.

Атроф-муҳит ҳавоси таркибида маълум миқдорда сув буғи
бўлади. Нормал шароитда ҳавонинг нисбий намлиги 65% ни
ташкил этади. Диэлектрик сиртига ўтирган ёки унга сингган
намлик изоляция қаршилигини кескин (10^6 мартагача) пасай-
тиради. Бу сувнинг наст солиштирма қаршилиги ($\rho \approx 10^3$ —
— 10^4 Ом·м) билан тушунтирилади. Сув диэлектрикка сингиб
бориши натижасида унинг таркибида эркин ионлар миқдори
кўпаяди. Диэлектриклар намликка бўлган чидамлилиги жиҳа-

тидан қуйидаги уч турга: нам сингдирадиган ёки намланадиган (16-расмдаги, 1); нам сингдирмайдиган, лекин юзаси намланадиган (16-расмдаги, 2); намланмайдиган ва нам сингдирмайдиган (16-расмдаги, 3) диэлектрикларга бўлинади. Сўнги турдаги материаллар кам учрайди. Буларга мисол тарикасида парафин, перезин, фторопласт каби қутбсиз диэлектрикларни кўрсатиш мумкин.



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

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

Материалларнинг ўзига нам сингдириш қобилияти уларнинг таркибидаги макро ёки микро, ёхуд субмикроскопик бўшлиқларга боғлиқ бўлади ва у *гигроскопиклик* ёки *сув сингдириш* билан ифодаланади. Материал юзасининг намланиши изоляция қутбланиш табиатига боғлиқдир. Ионли қутбланувчи жисм юзасида қарама-қарши ишорали ионлар жойлашиб, улар қутбли 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 нисбатан камроқ миқдорда ўзига сингдиради ёки юпқа қатлам ҳосил бўлади. Фақатгина электрон қутбланишга эга нейтрал диэлектриклар электр майдон иштирокисиз нейтрал юзага эга бўлиб, сув молекулаларини ўзига мутлақо тортмайди. Шу сабабли ионли диэлектрик сув билан яхши намланади, диполли нисбатан камроқ намланади, нейтрал диэлектрик эса умуман намланмайди.

Иссиқлик таъсирида диэлектрикда эркин ионлар купайиши натижасида унинг солиштирма қаршилиги кескин пасаяди. Диэлектрикда солиштирма юза қаршилигининг температурага нисбатан ўзгариши қуйидагича ифодаланади:

$$\lg \rho_t = \lg \rho_{20} - \beta(t - 20^\circ\text{C}). \quad (2 \text{ } \rho)$$

Анорганик материалларда $\beta \approx 0,01 - 0,02$, органиклариди эса $\beta \approx 0,03 - 0,04$. Агар температура 15 дан 25°C гача ўзгаририлса, у ҳолда ρ_s қиймати икки баробар ўзгаради. Бу қиймат 100°C га фарқ қилса, диэлектрикнинг ρ_s қиймати 1000 марта ўзгаради. Шу сабабли юқори температурага мўлжалланган диэлектрикнинг ρ_s қиймати катта, иш температурасида эса ундаги ток оқими кам бўлиши керак.

Электр машина ва аппаратларининг изоляция қаршилиги деганда, сым изоляцияси ва шу жиҳоз қисмлари орасидаги қаршилиқ тушунилади. Изоляция қаршилигининг ўлчов бир-

лиги қилиб $1 \text{ ТОм} = 10^6 \text{ МОм} = 10^{12} \text{ Ом}$ қабул қилинган. Изоляциянинг умумий солиштира 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 иш ичи ёки ишлай олмаслигини ифодаламайди.

3-б 6 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 утиши натижасида ундаги электр энергиясининг исрофи ўзгармас ва ўзгарувчан кучланиш таъсирида рўй беради. Ўзгармас кучланиш таъсирида жисмда даврий қутбланиш кузатилмаганлиги сабабли диэлектрикдаги энергия исрофи унинг солиштира юза ва ҳажмий қаршилигига боғлиқ бўлади. Ўзгарувчан кучланишда диэлектрикда ички тоқлардан ташқари кўшимча 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 тангенси $\text{tg } \delta$ дан фойдаланилади. Буни яхши тушуниб етиш учун ўзгарувчан ток тўғрисида умумий тушунчага эга бўлиш керак. Электротехникада синусондал токли электр занжири энг кўп тарқалган. Синусондал ток кучланиши уз 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:

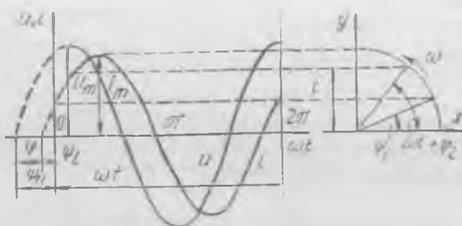
$$e = Blv \sin(\omega t + \psi_c) = E_m \sin(\omega t + \psi_c), \quad (3.1)$$

бунда B — магнит индукцияси; l — ўтказгичнинг узунлиги; v — ўтказгичнинг қизиқли тезлиги, ψ_c — рамка ва текислик оралиғидаги бурчак, E_m — электр юритувчи куч амплитудаси. Занжирда синусондал ток ва кучланиш вақт бирлигига нисбатан синусондал 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_3 синусоидал токнинг эффектив қиймати деб қабул қилинади:



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

$$I_3^2 RT = \int_0^T i^2 RT \quad (3.3)$$

$$I_3 = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \approx 0,707, \text{ чунки } \int_0^T \sin^2 \omega t dt = \int_0^T \frac{1 - \cos 2\omega t}{2} dt = \frac{1}{2} \int_0^T dt - \int_0^T \frac{\cos 2\omega t}{4\omega} d2\omega t = 0.$$

Синусоидал кучланишнинг эффектив қиймати:

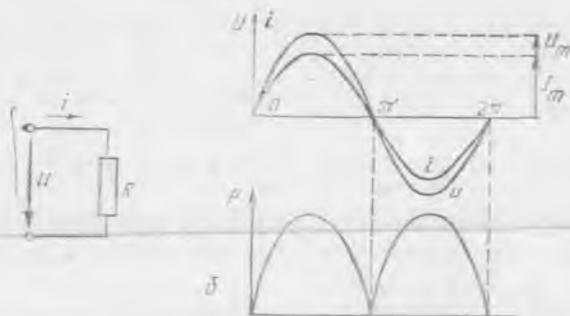
$$U_3 = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

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

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

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 эффектив қийматини ифодалайдиган вектор абсцисса ўқи бўйлаб йўналади. Вектор диаграмма синусоидал катталикларни қушиш ёки айриш амалларини анча соддалаштиради. 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.

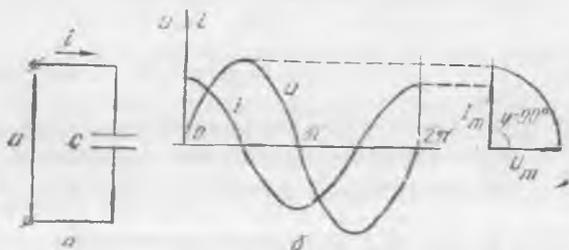
Электр энергиясини бошқа турдаги энергия (иссиқлик, ёруғлик, механик)га айлантирувчи занжир элементи **актив**



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

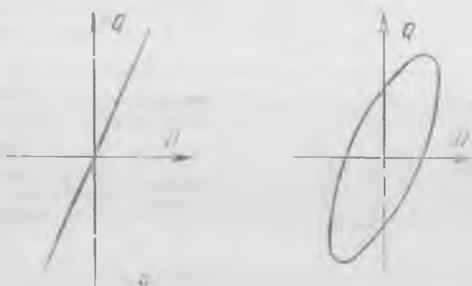
қаршилик дейилади. Агар занжирдаги қаршиликдан (18-расм) ўзгарувчан ток ўтса, ундаги электр қуввати Жоуль-Ленц қонунига биноан қаршилик (R_a) нинг қизишига сарфланади ва қизишга сарфланган қувват (P) нинг ўртача қиймати актив қувват дейилади. Сигими C бўлган конденсатор занжирига (19-расм) синусондал 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, сигимли занжирдаги ток фазаси кучланиш фазасидан 90° илгарилаб кетади. Сигим ёки реактив қаршилик ($x_C = \frac{1}{\omega C}$) ток частотаси ва занжир сигимига тескари пропорционал бўлади.

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



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

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



гарилаб, бу векторлар орасидаги исроф бурчаги нолга тенг бўлади.

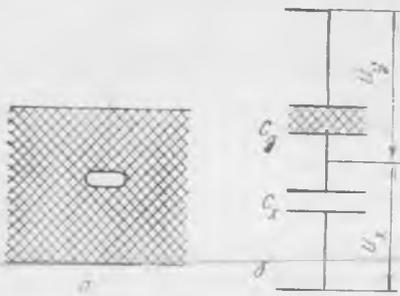
20- расм. Чизиқли диэлектрикда заряднинг кучланишга боғлиқлиги (а — исрофли ҳолат, б — исрофсиз ҳолат).

Аксинча, диэлектрикда энергия исрофи қанча катта бўлса, фазовий силжиш бурчаги шунча кичик ва δ бурчак ёки унинг функцияси $\text{tg } \delta$ шунча катта бўлади. Жисмнинг агрегат ҳолати (газ, суюқ ва қаттиқ) га қараб ундаги диэлектрик исрофнинг 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 чизиқли 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. Ионлашиш шароитидаги 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 ўланган леб фараз қилиш мумкин. Бундай диэлектриклардаги кучланиш ва сиғим орасидаги боғланиш қуйидагича бўлади:

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

Диэлектрик ва ҳаво бўшлиғидаги кучланишлар (U_x , U_x) тегишли сиғимлар (C_n , C_x) орқали аниқланади. Диэлектрикдаги кучланиш (U) ошириб борилса, U_x қиймати тешилиш кучланиши (U_{x1}) қийматигача ортиб, ҳаво молекулаларида аввал ионланиш, сўнгра тешилиш ҳодисаси рўй беради. Қат-



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

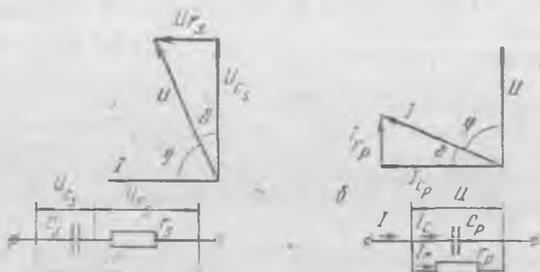
электр ўтказувчанлигининг ва электр энергияси исрофининг орттишига олиб келади. Диэлектрикдаги электр ўтказувчанлик, дипол қутбланиш ва ионланиш унинг қизишига олиб келади. Бунда диэлектрикда электр энергиясининг маълум миқдори иссиқликка айланади.

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 $tg\delta$ қиймати кескин пасаяди.

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

$$P_1 = UI \cos \varphi = UI \cos 90^\circ = 0 \quad (3.5)$$

Аммо ҳақиқий диэлектрикли сифимда бу бурчак 90° га тенг бўлмайди ($\varphi \neq 90^\circ$), шу сабабли $\cos \varphi \neq 0$ ва актив қувват ҳам нолга тенг эмас. Бу эса диэлектрикда электр энергиясининг исрофи содир бўлишини кўрсатади. Диэлектрик исроф бурчаги (δ) ток ва кучланиш векторлари орасидаги фазовий бурчак (φ) ни 90° гача тўлдирлади. Сифимдаги электр энергия исрофи иссиқлик ажралиб чиқishi билан кечиши сабабли сифимли занжирда актив қаршилик ҳам иштирок этади. Шу боис сифимнинг эквивалент чизмаси сифим ва қаршилик билан белгиланиб, бунда қаршилик ва сифимнинг ўзаро кетма-кет ва параллел (22-расм) уланган ҳоллари келтирилган. Улар ўзга-



22-расм. Диэлектрик исрофни 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 бўлади. 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 (ϕ) ни аниқлаш учун хизмат қилади.

Ўзгарувчан ток занжиридаги актив қувват:

$$P_a = UI \cos \phi \quad \text{Вт.} \quad (2.6)$$

21-расмда келтирилган қаршилик ва сиғими ўзаро кетма-кет ва параллел уланган занжир чизмаларида қувват исрофи сиғимлар (C_s ва C_p) ва бурчак ϕ ёрдамида ифодаланади. Қаршилик ва сиғими кетма-кет уланган занжир қаршилигида қувват исроф бўлади (22-расм, а). Бу занжир учун кучланишнинг вектор диаграммасини қурамиз. 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 (ϕ) бўлади. Худди шундай усулда қаршилик ва сиғими ўзаро параллел ҳолда уланган занжир чизмаси учун токнинг вектор диаграммасини қурамиз. 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 ифода-
далайди. Сиғим 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.

Худдя шунингдек, сиғим 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 — сиғим, Ф.

(2.27) ва (2.29) ҳамда (2.28) ва (2.30) ифодаларни тенг-
лаштириш орқали сиғим 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 бў-
ладиган қувват иккала (кетма-кет ва параллел уланган) зан-
жир 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 сиғими, таъсир этувчи кучла-
ниш 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 оли-
нади. $\operatorname{tg} \delta$ ни актив (I_a) ва реактив (I_c) ток қийматининг
нисбати орқали ҳам топш мумкин:

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

Ушбу катталиқ электр изоляция материали ва унинг асосида
ишлаб чиқарилган асбобларнинг муҳим параметрларидан би-
ри ҳисобланади.

Диэлектрикнинг сифатлилиги (Q) исроф бурчаги тангенси-
га тесқари пропорционал катталиқдир:

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

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:

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

бунда p — 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. Синусондал 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 сифими $C_1 = C_0 \varepsilon_r$ 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 ораллиғида 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 сифим ва қаршилиқ.

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 юққа 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 электродлари, бирлаштирувчи симлар ва ўтиш контактларнинг 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 буйича ортиб боради:

$$P_{a1} = A \exp\left(-\frac{b}{T}\right), \quad (3.21)$$

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

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

$$P_{a.и} = A_1 f (U - U_n)^2, \quad (3.22)$$

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, ғовакли сопол, миканит, микалекс ва бошқаларда кузатилади.

3.2. Газсимон, суюқ ва қаттиқ диэлектриклардаги исрофлар

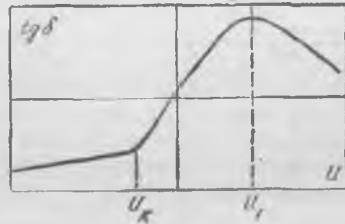
Газларда диэлектрик исроф асосан электр ўтказувчанлик ҳисобига содир бўлади. Газларнинг электр ўтказувчанлиги жуда кичик бўлгани учун уларда $\operatorname{tg} \delta$ қиймати ҳам кичик бўлади. Газларнинг солиштирма ҳажмий қаршилиги тахминан 10^{16} Ом·м, диэлектрик сингдирувчанлиги $\epsilon_r \approx 1$, $\operatorname{tg} \delta \approx 4 \cdot 10^{-6}$ га тенг. Электр майдон кучланиши (U) газ молекулаларининг ионлашиш кучланиши (U_n) қийматидан past бўлганда диэлектрик исроф деярли содир бўлмайди ва бу ҳолда газни *идеал диэлектрик* деб қаралади. Кучланиш ўзининг критик қиймати (U_k) дан утганда газ молекулаларида ионланиш бошланади ва газда диэлектрик исроф ($\operatorname{tg} \delta \approx 10^{-5}$) орта боради. Кучланишнинг U_T қийматида газда тешилиш рўй беради (23-расм). $\operatorname{tg} \delta = f(U)$ характеристикаси газнинг ионланиш эгри чизиғи деб аталади.

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

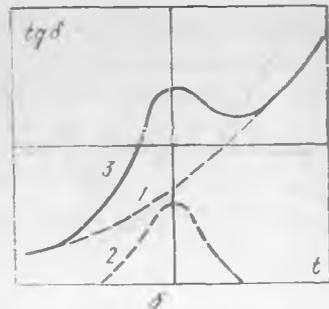
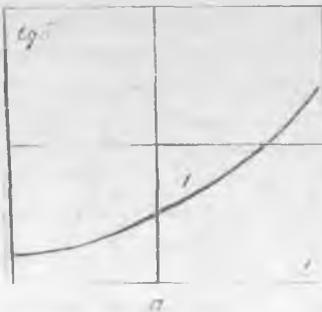
Қутбсиз суюқликлар (конденсатор мойлари) да диэлектрик исроф электр ўтказувчанлик туфайли содир бўлади. Қутбли суюқликларда эса бу исроф электр ўтказувчанликдан ташқари, дипол-релаксация қутбланиши ҳисобига содир бўлади. Бундай суюқликнинг солиштирма электр ўтказувчанлиги $10^{-10} - 10^{-11}$

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 $\text{tg } \delta$ қиймати аввалига секин, сўнгра кескин ортади (24-расм, а). Дипол қутбланиш ҳисобига рўй берадиган диэлектрик исрофларда $\text{tg } \delta$ қиймати температурага нисбатан юқори нуқтадан ўтиб, сўнгра пасаяди (24-расм, б). Температура паст бўлгани-



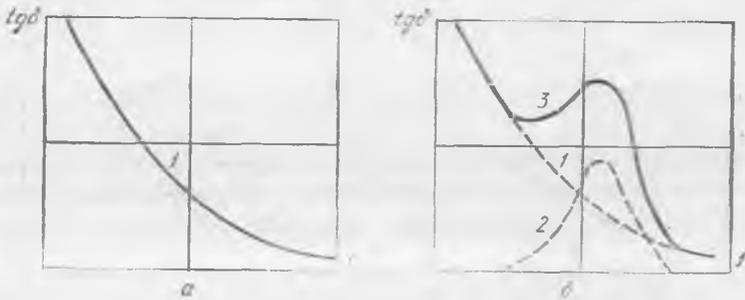
23-расм. Ҳаво бўшлиқлари бор изоляция учун келтирилган қийматининг кучланишга боғлиқлиги.



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

да суюқликнинг қовушоқлик даражаси юқори, диполлар эса деярли ҳаракатсиз булгани сабабли унда электр исрофи деярли кузатилмайди. Аксича, 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, $\text{tg } \delta = 1,1$ характеристика илгариги икки характеристика йиғиндисидан иборат бўлади (24-расм, б).

Барча ҳолларда ҳам температура ортиши 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 ортиши билан (25-расм, а) $\text{tg } \delta$ қиймати камайди. Бунда диэлектрикда ички ўтказувчанликдан келиб чиққан токнинг актив қиймати частотага нисбатан деярли узгармайди. Реактив ёки сифимий ток частотага пропорционал равишда ўсади. Шу сабабли актив токнинг реактив токка нисбати $(\frac{I_a}{I_c} = \text{tg } \delta)$ частота ортиши билан камайди. Диэлектрик исрофлар дипол қутбланиш сабабли рўй берганида частота ортиши 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 камайди. Юқори частотада эса дипол электр майдонда бурилишга улгура олмайди. Оралиқ 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 ортиши билан пасая боради. Паст частоталарда дипол-релаксация исрофи электр ўтказувчанликдаги исрофга нисбатан кам бўлади. Масалан, қутбсиз трансформатор мойида $\text{tg } \delta = 0,001$; қутбланиш маққунжут мойида эса $\text{tg } \delta = 0,02$ бўлади.



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

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

Ион структурали қаттиқ жиемдаги диэлектрик иерофлар ионларнинг панижарада жойлашиш ҳолати билан боғлиқ; ионлари зич жойлашган диэлектрикларда диэлектрик иероф кам бўлади. Ионлари зич жойлашмаган кристалл структурали жиемларда релаксация қутбланиши кузатилиб, диэлектрик иероф қиймати катта бўлади. Буларга муллит, корднерит, циркон ва бошқа материалларни мисол тариқасида келтириш мумкин. Температура ортиши билан электротехник чинишда ионлар кўпаяди ва $\text{tg } \delta$ қиймати экспоненциал қонун бўйича ўсиб боради. Ион структурали аморф жием (органик шиша) ларда диэлектрик иерофлар электр ўтказувчанлик ва қутбланиш хисобига руй беради. Таркиби бир жиемли бўлмаган шишанинг солиштирма қаршиллиги 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 иерофлар бирмунча кўпаяди.

Сегнетоэлектриклардаги диэлектрик иерофлар оддий диэлектрикларга нисбатан юқори бўлади. Бунга асосий сабаб унинг уз-узидан қутбланишидир. Сегнетоэлектриклардаги диэлектрик иерофлар температурага нисбатан кам узгаради, қутбланиш Кюри нуқтасидагина, қутбланиш сусайиши натижасида, кескин пасайиб кетади.

Тузилиши бир жиемли бўлмаган қаттиқ жиемларга таркибидаги компонентлар сони камида иккита бўлган *сопол* кирди. Сополдаги диэлектрик иерофлар унинг таркибидаги кристалли ва шишасимон фаза миқдорининг узаро нисбатига боғлиқ булади, турли бегона қўшимчалар сополдаги диэлектрик иерофларни оширади.

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

4-б-б. ДИЭЛЕКТРИКЛАРНИНГ ТЕШИЛИШИ

4.1. Асосий тушунчалар

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

электр кучланишига бардош бера олмайди. Кучланиш қиймати кутарила 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 ёйи юзага келиб, диэлектрикнинг тешилган қисмида эриш, куйиш, ёрилиш ва ҳоказоларни кузатиш мумкин. Бoshqacha 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 ҳолисаси 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.

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

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 ҳаво бажаради. Нормал шаронгда ҳавонинг электр мустаҳкамлиги 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 эттирилса, 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.

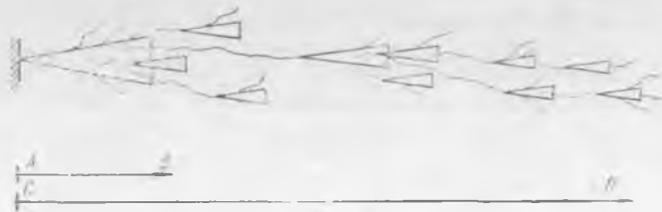
Электрон ядродан узоқроқ қобиққа ўтиб, молекула ионланади, натижада у манфий электрон ва мусбат ионларга ажралади. Ион ва электронлар ўз йўлида учраган газ молекулаларини ионлантиради. Ионланиш содир бўлиши учун зарур шароит $W \geq W_{и}$ бўлиб, текис майдонда $W = Eq\lambda$ бўлади. Бунда λ — эркин ўтиш узунлиги. Ионланиш энергияси $W_{и}$ ва ионланиш кучланиши $U_{и} = \frac{W_{и}}{q}$ муносабат орқали боғланган.

Қўпчилик газлар учун $U_{и}$ қиймати 4—25 В оралиғида ўзгариб, ионланиш энергияси 4—25 эВ га тўғри келади.

Ҳар бир газ учун q ва λ қийматлари ўзгармасдир. Маълум масофани тўқнашувсиз ўтган электроннинг тезлиги $v = 6 \cdot 10^8$ м/с бўлади; электрон газ молекулаларининг катта тезликда ионланишини таъминлайди. Газ молекулаларининг ионланиши учун электроннинг ҳаракат тезлиги 1000 км/с дан юқори булиши 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 ўздан фотон ажратади. Фотон ўз навбатида бошқа молекулага ютилиб, уни ионлантиради. Газларда содир бўладиган ички фотон ионланиши нурланиш орқали катта тезликда ўз йўли — электрод оралиғида 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 ялгарилаб кетиб, йўлида дуч келган газ заррачаларининг ионланишини таъминлайди. Анод томон силжиётган электрон биринчи содир бўлган кўчкيني анча ялгарилаб, янги кўчки ҳосил қилади.

Шундай қилиб, биринчи кўчки АВ узунликка ўсиб етгунча, стример СД ораликда юқори утказувчанликка эга йўл ҳосил қилади. Кейинги босқичда манфий стримердаги алоҳида кўчкилар 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 кўчкилар ўз йўлида кўп миқдорда янгидан пайдо бўлган мусбат ионлар қолдиради ва бу ионларнинг катта қуёни анод яқинида содир бўлади.

Мусбат заряд билан тўлган ва электрон билан тўйинган электродлар орасидаги масофада катта утказувчанликка 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 коэффициенти билан ифодала-

$$\beta = \frac{U_c}{U_{т50}}, \quad (4.3)$$

бунда U_c — берилган импульсдаги тешиш кучланиши, кВ; $U_{т50}$ — 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 — ясси юзали, чеккалари юмалоқ шаклли қузиқоринсимон электродлар ёки ораларидаги масофа диаметрдан унча катта бўлмаган икки шар орасида ҳосил қилинади. Бундай майдонда тешилиш кучланишининг газ температураси ва босимига боғлиқ маълум қийматида тўсатдан рўй беради. Кучланиш манбаи катта қувватга эга бўлса, электродлар орасида учқун разряди эмас, балки ёй разряди содир бўлади.

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

$$U_T = U_{10} \cdot \delta, \quad (4.4)$$

бунда U_{10} — 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:

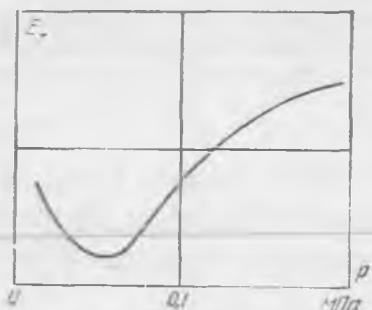
$$\delta = 0,386 \frac{p}{t + 273}, \quad (4.5)$$

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

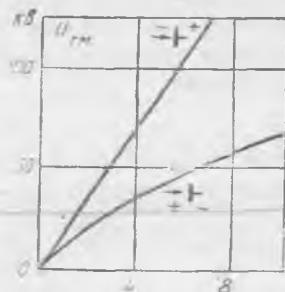
Босим юқори бўлганда газ зичлиги ортиб, молекулалар орасидаги масофа қисқаради ва электронларнинг эркин ҳаракатланиш масофаси (λ) қисқаради. Натижада тешилиш кучланишининг катта қийматларида содир бўлади. Газ босими камайтирилса, унинг электр мустаҳкамлиги пасаяди ва босимнинг маълум қийматидан ($p \approx 0,1$ 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 жиҳаси 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 оралиғидаги газнинг электр мустаҳкамлигини текширсак, игнага мусбат кучланиш (импульс) берилганда оралиқда содир бўлган тешилиш кучланишининг қиймати (28-расм) игнага манфий кучланиш берилган ҳолдагидан анча паст бўлади (игна лөганда учу конус шаклли электрод назарда тутилмоқда). Бу қуйидагича тушунтирилади. Газнинг ионланиши игна яқинида вужудга келади, чунки бу ерда майдон кучланганлиги ўзининг юқори қийматига эга бўлади. Игна атрофида мусбат зарядланган ион (молекула)лар «булути» ҳосил бўлади. Игнада мусбат кучланиш бўлганда эса бундай ҳажмий заряд игна узунлигининг суъвий ўсишига ва электродлар орасидаги разрядланиш масофасининг қисқаришига олиб келади.

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



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



28-расм. Хотекис 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 пайсайтеди.

4.3. Суyoқ диэлектрикларнинг тешилиши

Суyoқ диэлектрикларнинг электр мустаҳкамлиги нормал шароитда газларникига нисбатан анча юқори бўлади. Суyoқликда ϵ қиймати газлардагига нисбатан анча кичикдир. Шу сабабли, тоза суyoқликда E_r катта қийматга (50—70 МВ/м) эришади.

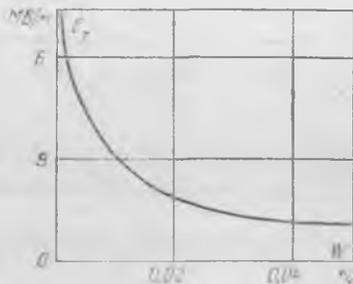
Одатда, суyoқлик таркибида доимий қушимчалар сифатида газ, сув ва қаттиқ жисм зарралари иштирок этади. Бундай қушимчалар суyoқликнинг электр мустаҳкамлигига (тешилиш қонуниятларига ҳам) салбий таъсир этиб, E_r қийматини кескин пасайтиради. Электр майдонида суyoқликдаги бегона зарралар майдон чизиклари буйлаб электродлар орасида занжир кўринишидаги «буш жойлар»ни шакллантиради.

Агар суyoқлик таркибида газ пуфакчалари бўлса, тешилиш ана шу пуфакчалардан бошланиб, суyoқликда тугайди. Суyoқ 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 таъсирини 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 булмайди. $t > 80^\circ\text{C}$ булганда мойнинг енгил фракцияси қайнаб, унда кўплаб пүфакчалар ҳосил бўлиши натижасида суюқликнинг электр мустаҳкамлиги кескин пасаяди.

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

Паст температураларда суюқликнинг электр мустаҳкамлиги ортиши унинг қуюқлашиши ва таркибдаги сувнинг музга айланиши натижасида ϵ_r қийматининг камайиши ($\epsilon_r = 2,85$) билан боғлиқдир. Мой таркибдаги механик қўшимчалар, жумладан тола, кукун зарраси ва ҳоказолар ҳам суюқ диэлектрикнинг электр мустаҳкамлиги пасайишига олиб келади. Шунинг учун электротехникада ишлатиладиган суюқ диэлектриклар механик тозалагич, босқичли фильтр, марказдан қочма мослама, вакуум қурутгич ва газсизлантирадиган ускуналарда бегона қўшимчалардан тозаланади. Суюқ диэлектрик қўшимчалардан тозаланганда унинг E_T қиймати сезиларли даражада ортади. Масалан, тозаланмаган трансформатор мойида $E_T = 4 \text{ МВ/м}$ булса, тозаланганда $E_T = 25\text{--}45 \text{ МВ/м}$. Электр аппарат (трансформатор, кабель, конденсатор учиргич) ларига мой тозалангандан кейингиини қўйилади.



29-расм. Мой электр мустаҳкамлигининг таркибдаги сув миқдорига қараб ўзгариши ($f=50 \text{ Гц}$).

4.4. Қаттиқ диэлектрикларнинг тешилиши

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

Макроскопик жиҳатдан бир жинсли диэлектрикларнинг электр тешилиши жуда тез ривожланиб ўтиши ($10^{-7}\text{--}10^{-8} \text{ с}$) билан характерланади. Бунда қаттиқ жисмдаги баъзи электронлар электрон кучки 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 тўфайли понланиш содир бўлади.

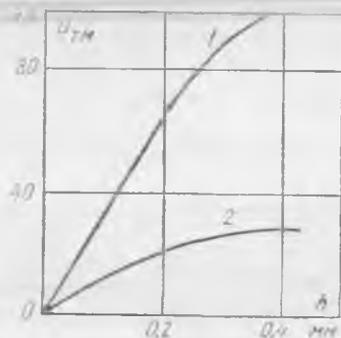
Бир жинсли электр майдонида жойлаштирилган бир жинс-

ди диэлектрик учун электрик тешилишдаги майдон кучланган-лиги жисмнинг электр мустаҳкамлигини аниқлайдиган катталик булиб 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 булади. E_T нинг бир жинсли (1) ва бир жинсли булмаган (2) электр майдонидаги қийматлари турлича булади (30-расм).

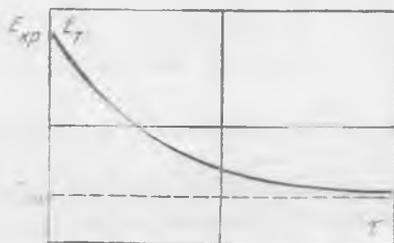
Бир жинсли булмаган диэлектриклардаги электрик теши-лиш таркибида газ бушлиғи булган техник диэлектрикларда кузатилиб, бу жараён худди бир жинсли диэлектриклардаги-дек жуда тез содир булади. Бир жинсли майдонда жойлашти-рилган диэлектриклар (шиша, чинни) нинг электр мустаҳ-камлиги материал қалинлигига боғлиқ эмас. Лекин, диэлек-трикнинг қалинлиги орта бориши билан унинг таркибида узга-риш булиб, газ бушлиқлари сони ортиши натижасида жисм-нинг электр мустаҳкамлиги сезиларли даражада пасаяди (30-расм). Агар электроднинг юзаси кичрайтирилса, майдоннинг таъсир юзаси камайтириши оқибатида ундаги нуқсонлар сони озайиб, диэлектрикнинг электр мустаҳкамлиги 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.

Говак диэлектриклар (ёғоч, қоғоз, говак сопол)да E_T қий-мати ҳавонинг электр мустаҳкамлигига яқин булади. Агар қаттиқ диэлектрикдаги бушлиқлар тўлатилса (масалан, суюқ диэлектрикни шимдириш орқали), жисмнинг электр мустаҳ-камлиги кескин ортади. Бу жараён жисм таркибидаги ҳаво ва газ бушлиқларининг сиқиб чиқарилиши эвазига содир булади.

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



30-расм. Тенс майдонда жой-лашган техник шиша теши-лиш кучланишининг қалин-ликка қараб ўзгариши ($f=50$ Гц).



31-расм. Электр майдонида жой-лаштирилган баъзи органик изоля-ция материаллари электр мустаҳ-камлигининг хизмат муддатига қа-раб ўзгариши.

учун тарқаладиган иссиқлик миқдоридан юқори булганида иссиқликдан тешилиш руй беради. Бунда иссиқлик мувозанати бузилади.

Иссиқликдан тешилиш электр майдоида жойлашган материални қизиш температураси унинг эриш ёки куйиш нуқта-сига етганида руй беради. Бу турдаги электр мустақкамлик материалниггина эмас, балки тайёр маҳсулотнинг ҳам ха-рактеристикасини ифодалайди.

Диэлектрикнинг қизиши билан боғлиқ тешилиш кучланиши кучланиш частотасига, муҳит ҳароратига ва материалнинг иссиқликка булган чидамлилигига боғлиқдир. Иссиқлик тешилишидаги тешилиш кучланишини ҳисоблашнинг соддалаштирилган усулини куриб чиқамиз. Бир жинсли, диэлектрик исрофга эга диэлектрик икки электрод орасига жойлаштирилган булсин. Электродларга узгарувчан ток манбаидан кучла-ниш берилади ва унинг қийматини тешилиш содир булишига қадар ошириш имкони бор, деб фараз қиламиз. Иссиқликдан тешилиш жараёни юқори температурада, яъни ички ўтказув-чанликдаги исроф катта булганида кузатилади. Диэлектрикда исроф буладиган қувватнинг температурага боғлиқлиги қуйи-даги ифода орқали аниқланади:

$$P_a = \frac{U^2 \gamma_s \lg \epsilon^2 (t - t_0)}{1,8 \cdot 10^{10} h} \quad (4.6)$$

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

Диэлектрикда ажраладиган иссиқлик ташқи муҳитга элек-троднинг металл қисми орқали тарқалади, чунки металлнинг иссиқлик ўтказувчанлиги диэлектрикнигига нисбатан икки-уч баробар юқоридир. Диэлектрикдан ажралиб чиқадиган қув-ват Ньютон формуласи орқали қуйидагича ифодаланади:

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

бунда σ — электродлар диэлектрик-металл системасининг ис-сиқлик узатиш коэффициенти.

Диэлектрик электр майдонга жойлаштирилиб унга U_1 куч-ланиш таъсир эттирилса, материал ҳарорати t гача кўтари-либ, барқарор тенглик, яъни материалнинг иссиқлик ажратиш қуввати шу иссиқликнинг тарқалиш қувватига тенг ҳолат юза-га келади. Агарда кучланиш U_2 қийматигача оширилса, ди-электрикдан иссиқлик ажралиб чиқиши ва унинг атроф-муҳит-га тарқалиш тенглиги бузилиб, диэлектрикнинг температура-си ўса боради. Натижада жисмда емирилиш (куйиш) содир булади.

Шундай қилиб, барқарорлик ҳолати чегарасидаги кучла-ниш иссиқлик тешилиш кучланиши U_T деб қабул қилиниб,

қуйидаги икки шарт билан аниқланади:

$$\begin{cases} p_a = p_r \\ \frac{\partial p_a}{\partial t} = \frac{\partial p_r}{\partial t} \end{cases} \quad (4.8)$$

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:

$$U_T = k \sqrt{\frac{\sigma h}{J_{\text{к}} r_{\text{к}} \rho_{\text{к}}}}, \quad (4.9)$$

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 , $\rho_{\text{к}}$ қийматлари катта бўлганда эса U_T қиймати кичик бўлади. Умуман олганда, иссиқликдан тешилиш анча мураккаб жараён ҳисобланади. Электрод яқинида қаршилик пасайиб, кучланиш диэлектрик қалинлиги бўйича нотекис 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 топиш мураккаб бўлгани сабабли уни тажриба йўли орқали аниқлаш маъқулдир.

Электр-кимёвий тешилиш. Тешилишнинг бу тури диэлектрикда температура ва намлик нисбатан юқори булган ҳолда кузатилади. Бундан ташқари, электр-кимёвий тешилиш материал бўшлиқларида иссиқлик ҳодисаси билан боғлиқ газ ионлашиши содир булганида 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.

5-606. 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 синдириш, яъни ўзидан сув

GAS MUDU

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_t 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:

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

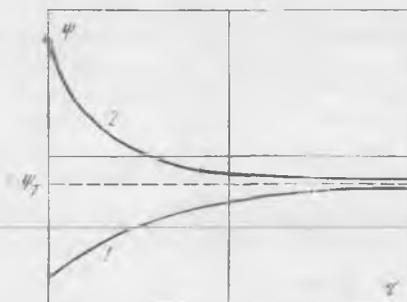
Нормал атмосфера босимида ($p=0,1$ МПа) ва температурасида ($t=20^\circ\text{C}$) $m_t=17,3$ г/м³. $\varphi=65\%$ бўлганида ҳавонинг намлиги нормал, деб қабул қилинади, бундай шароитда сув буғининг миқдори $m=17,3 \cdot 0,65=11,25$ г/м³ бўлади. Сув ўта кўтёли диэлектрик бўлиб, унинг солиштирма қаршилиги $10^3 \div 10^4$ Ом·м ни ташкил этади. Шу сабабли, сув қаттиқ диэлектрикнинг бушлиқларига кириб бориши натижасида унинг электрик хусусиятларини кескин ўзгартириб юборати. Бундай ҳолат, айниқса, нисик 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 текширилаётган 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. Ҳўлланидиган юзалар учун $\theta < 90^\circ$ ҳўлланмайдиган юзалар учун $\theta > 90^\circ$.

Материалнинг намлиги. Муайян намлик ва температурага эга бўлган муҳитга электр изоляцион 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 снгиб 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 намланиш (1) ва қуриш (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 туғри аниқлаш уни масса орқали қабул қилиш ёки топшириш ишларида катта аҳамиятга эга. Тўқимачилик материаллари учун *кондицион намлик* тушунчаси киритилади. Кон-

дицион 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 (нм — нанометрларда) келтириб ўтаемиз:

- Сополдаги микробўшлиқлар 10^2 — 10^5
- Целлюлоза толаси ичидаги микробўшлиқлар 10^4
- 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 бўшлиқларигача 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 нотекис 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 катталик 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 могор кўринишидаги емирилиш содир бўлади. Бу ҳодиса диэлектрик юза қаршилигини ва механик мустаҳкамлигини камайтириб, диэлектрик исрофни кўпайтиради ва унинг металл билан бирлашадиган қисмида емирилиш содир қилади.

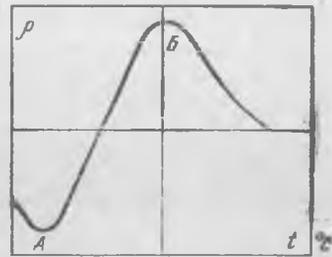
Могор-канифоль, таркибида мой бўлган лок, целлюлоза ва шимдирилган материалларда тез ва яхши ривожланади. Бундан ташқари, материаллар сақланиш ёки эксплуатация мубайнида термит ва кемирувчи жониворлар томонидан ҳам шикастланиши ёки емирилиши мумкин.

Тропик иқлим шароитига чидамликни 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 могорнинг ривожланиш интенсивлиги аниқланади. Органик электр изоляция материалларининг табиий емирилишга бўлган қаршилигини ошириш мақсадида изоляция таркибига турли хил фунгицид ва заҳарли моддалар киритилади ёки диэлектрик юзасига улар қўшилган лок қопламалари берилади. Фунгицидлар таркибида азот, хлор, симоб каби моддалари бўлган органик бирикмалардан ташкил топади.

5.2. Диэлектрикнинг механик хоссалари

Изоляция 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 ($\sigma_n, \sigma_s, \sigma_b, \sigma_{SI}$ да Паскалда ўлчанади ($1 \text{ ПА} = 1 \text{ Н/м}^2 = 10^{-5} \text{ кгс/см}^2$)).

Чўзилишдаги мустаҳкамлик юққа 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 қопланаётганда ҳисобга олинади:

$$\sigma_c = \frac{P_c}{F} \text{ Па,} \quad (5.3)$$

бунда P_c — диэлектрикнинг узилиш лаҳзасидаги таъсир кучи, кг; F — диэлектрикнинг кундаланг кесим юзаси, м².

Узиш машинасида материалнинг емирилишга бўлган мустаҳкамлиги (P_c) ни аниқлаш билан бирга, жисмнинг узилиш 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 булиб, 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 (а), сиқилиш (б) ва эгилиш (в) га бўлган мустаҳкамлигини аниқлаш учун тайёрланган намуналарнинг шакллари келтирилган.

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

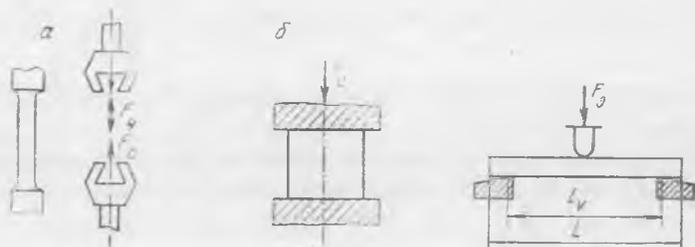
Материалларнинг сиқилишга бўлган вақтинча қаршилиги σ_c юқорида келтирилган ифодага ўхшаш бўлиб, қуйидагича аниқланади:

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



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

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



36-расм. Материалларнинг чўзилиш (а), сиқилиш (б) ва эгилишдаги (в) механик мустаҳкамлигини синашда қўлланадиган намуналар.

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

Жисмнинг эгилишдаги зўриқиши эғувчи момент (M) нинг қаршялик momenti (W) га нисбати орқали аниқланади:

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

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

Мўртлик пластик деформациясиз емирилиш турига кириб, у материал структураси ва текшириш шаронтига боғлиқ бўлади. Материалга таъсир эттириладиган кучланиш тезлиги ошириб борилиб, унинг температураси эса кескин камайтирилса, жисмнинг мўртликка бўлган механик мустаҳкамлиги камайди. 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 эгилувчанлиги ёки урилиш қовушоқлигидир. 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 $2-5 \text{ кЖ/м}^2$ га тенгдир.

Суyoқ диэлектриклар (мой, лок, компаунд) нинг механик хоссаларини урганишда қовушоқлик қўл келади. Қовушоқлик дегаанда суyoқлик ва газ молекулаларининг силжишидаги ички ишқаланиш туфайли юзага келадиган ички қаршилик тушуниллади. 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 билиш 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: $\gamma = (2.5-4.0) \times 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Материалнинг гигроскопиклиги жисмни (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 катталик диэлектрикнинг намга чидамлилигини баҳолашда ёрдам беради. Кўпгина диэлектриклар маълум даражада гигроскопик бўлгани сабабли изоляцияни намдан ҳимоя қилинади.

Изоляцияни намликдан ҳимоя қилиш. Шимдириш усулида изоляция бушлиқлари гигроскопик бўлмаган ёки кам гигроскопик қаттиқ ёки суюқ диэлектрик билан тўлатилади. Шимдирилган материалларга аввалга нам сингмай, маълум вақт ўтгандан сўнг бу хосса ёмонлаша боради. Баъзи шимдирилган материаллар узига 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 бушлиқлари бўлган ва шимдирилган матолар қисқа муддатли намликка бардошли бўлиб, уларда E_t қиймати қуруқ шимдирилган материалларга нисбатан юқори бўлади.

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

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

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

Баъзи органик диэлектриклар учун нам сингдириш коэффициенти 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 мақсадда босим остида қуйиш усули қўлланилади. Чунки бу усулда олинadиган 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 қобикқа жойлаштирилади ва қопқоқ 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 маҳсус 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 хоссаларига киради. Анорганик диэлектрикларнинг иссиққа чидамлили-

ги уларнинг электр хоссалари (t_3, σ) қийматларининг ўзгаришига қараб баҳоланади. Органик диэлектрикларнинг иссиққа чидамлилиги уларнинг чўзилиши ва эгилиши орқали ёки қизитилган диэлектрикка игна ботириб кўриш орқали аниқланади.

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

Суюқликнинг чақнаш температураси унинг ҳароратини кўтариб бориб, чўғ яқинлаштирилганда суюқликнинг ҳаводаги буғи ёниб кетиши билан аниқланади.

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

Изоляциянинг жонз иш температураси жисмнинг қисқа ёки узоқ муддатли қизишга чидамлилигини текшириш орқали аниқланади. Диэлектрикнинг қизиши мобайнида унда кимёвий ўзгариш содир бўлади. Бу ҳолат изоляция материалнинг иссиқлик таъсирида эскириши дейилади. Бундай эскириш целлюлоза ва локланган жисмнинг 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. Жисмнинг 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 жонз иш

температуралари иссиққа чидамлилиқ буйича бир неча синфга бўлинади:

Иссиққа чидамлилиқ 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 чидамлилиги ҳам катта аҳамиятга эга. Паст температураларда, одатда, изоляция материаллари уздиэлектриклик хусусиятларини яхшилайдн. Нормал шароитда эластик ва эгилувчан бўлган материаллар паст температураларда (—30÷—50°С) қаттиқ ва мурт бўлиб қолади. Бу эса кучланиш таъсири остида бўлган материалнинг синиши (емирилиши) ва ускунанинг ишдан чиқишига олиб келиши мумкин.

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

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

$$\Delta P_{\text{и}} = \gamma_{\text{и}} \frac{dT}{dt} \Delta S \quad (58)$$

бунда $\frac{dT}{dt}$ — температура градиенти, °С/м; $\gamma_{\text{и}}$ — жисмининг иссиқлик ўтказиш коэффициентни, Вт/мК.

Диэлектрикларда $\gamma_{\text{и}}$ қиймати металл материалларга нисбатан анча пастдир. Ғовак ва бўшлиқлари кўп бўлган диэлектрикларда иссиқлик ўтказиш коэффициентни энг кичик қийматга эга бўлиб, улар шимдирилувчи модда билан тўлатилган ҳолатда мазкур катталик қиймати ўсади (3-жадвал). Кристалл диэлектрикларда $\gamma_{\text{и}}$ қиймати аморф диэлектриклардагига нисбатан катта бўлади.

3-жадвал

Баъзи диэлектрикларнинг иссиқлик ўтказиш коэффициентлари

Материал	$\gamma_{\text{и}}$, Вт/(М·К)	Материал	$\gamma_{\text{и}}$, Вт/(М·К)
Ҳаво (тирқишлардаги)	0,05	Чинни	1,6
Битум	0,07	Стеатит	2,2
Қоғоз	0,10	Титан қушокси	6,5
Локланган мато	0,13	Кристалли кварц	12,5
Текстолят	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, чиқиқли кенгайишнинг температура коэффици-

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 ўзгаршида ўзининг кам узгарувчан α_l қиймати билан ажралиб туради.

4-жадвал

Баъзи диэлектриклар қизиқди кенгайишининг температура коэффициентлари

Материал	$\alpha_{ll} \cdot 10^6, K^{-1}$	Материал	$\alpha_{ll} \cdot 10^6, K^{-1}$
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 булишини 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 сустлашиши қуйидаги қонунга бўйсунди:

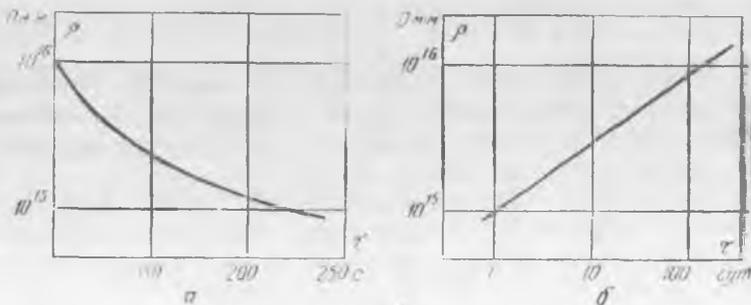
$$P_x = P_0 \exp(-\mu x), \quad (5.10)$$

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

Оддий моддалар учун $\mu \approx \mu_0 \lambda^2 \epsilon^2 \rho$ бўлиб, бунда λ — нурланиш тўлқини узунлиги; ϵ — элементнинг Менделеев жадвалидаги тартиб сони; ρ — жисмнинг зичлиги; μ_0 — 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 молекуларнинг қайта тузилиши ва кимёвий реакция рўй беради. Ионланиш жараёни электронларнинг оний оқимини келтириб чиқариб, кимёвий боғланишларнинг узилиши ва силжшига 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 биргалликда таъсир эттирилганда полимернинг ρ қиймати кескин ўзгаради. Сифатли диэлектрикда температура ортиши билан ρ қиймати нисбатан камроқ ўзгаради. Масалан, нормал шароитда нурланган ва нурланмаган полиэти-



37-расм. Соф полистиролга β нур таъсир эттирилганда солиш-тирма 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 $\rho_{90}/\rho_{160} \approx 10$ гача пасаяди.

Ҳозирги пайтда диэлектриклар ишлаб чиқариш технологиясида радиоактив нурланиш таъсиридан фойдаланилмоқда. Масалан, муайян шаронгда γ -нурни билан ишлов берилган полиэтиленнинг иссиққа чидамлилиги 160°C дан 250°C гача ортиб, унинг диэлектрик хоссалари тула 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 оқимининг керакли йўналиши бўйича утишини таъминлайди.

Электр изоляция материаллари (диэлектриклар) агрегат ҳолатига кўра газ, суюқ ва қаттиқ турларга бўлинади. Уларнинг ичида қаттиқ ҳолатдаги материаллар энг кўп учрайди. Кимёвий тузилишига кўра изоляция материаллари органик ва аорганик 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 кўчланиш қийматларига боғлиқ бўлади. Одатда, диэлектрикларнинг солиштирма қаршилиги 10^7 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 ҳужалигида тобора кўпроқ фойдаланилмоқда. Сунгги 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 МВ/м бўлса, бу қиймат қаттиқ диэлектрикларда 20—500 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 виключателларда (узгичларда) ва бошқа юқори кучланишли электр аппаратларида фойдаланилади.

Газ жуда энгил 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 коэффициентини, мВт/(М·К)	24,0	24,0	166,0	—	142,0	45,5	16,3
Динамик қовушқоқлиги, кПа·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-

СООУ-ЗАЛ

вининг электр мустаҳкамлиги ҳавонинг электр мустаҳкамлигига яқин бўлади. Азот гази 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, кимёвий 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, кабелъ, узгич ва конденсаторларда кенг қўлланилади.

Баъзи углеводородли газ молекулаларидаги водород атоми фтор атоми билан алмаштирилса, мазкур газнинг (CF_4 — тетрафторметан, C_2F_6 — гексафторэтан, C_3F_8 — перфторпропан) электр мустаҳкамлиги ҳавоникига нисбатан камидан 6 баробар ортади. Ана шу хусусият таркибида фтор бўлган баъзи сувоқлик буғлари билан тўйинтирилган муҳитда ҳам кузатилади. Газнинг электр мустаҳкамлиги унинг молекула тuzилишига боғлиқ бўлади. Газларнинг ионланиш потенциали бир-биридан фарқ қилади (6-жадвал). Мазкур потенциал қиймати қанча кичик бўлса, газнинг электр мустаҳкамлиги шунча юқори бўлади ва аксинча, газнинг ионланиш потенциали 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 потенциали	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 характеристика U кўринишга эга бўлиб, Пашен қонунига бўйсунди. Агар газ босими ўзгармас бўлса, унинг электр мустаҳкамлиги электродлар орасидаги масофа қисқариши билан ортади. Газ босими кўтарилса, унинг электр мустаҳкамлиги ҳам 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 бўйсунди. Ушбу қонуният нотекис электр майдонидаги газ учун ҳам ўринли. Бунда тешилиш кучлани-

ни (U_T) газ босими (p), электрод радиуслари (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, C_1, F_2 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 қуяди, 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 оралигидаги майдонни текислаш (электрод шакли, улчами, сони, оралиғи 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 сунг ўз электр мустаҳкамлигини тез тиклаш, ёнмаслиги, иссиқликни ўзидан яхши утказиши, ёйни учуриши 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 эғалиги сабабли газли электр узатгич орқали катта қувват узатиш имкони яратилади.

Одатда, водород гази юқори солиқдорчи иссиқлик сиғи-

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

Ваъзи инерт газлар (неон, аргон) ҳамда симоб ёки натрий буғларининг электр мустаҳкамлиги кичик бўлганлиги сабабли улар газ разряд асбобларини тулатишда ишлатилади. Суюқ ҳолатга ўтган газлар (гелий, водород, азот) нинг температураси жуда паст булади. Шу сабабли бундай газлар махсус кабелларда ишлатилади. Суюқ 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 тулатиладиган юқори кучланишли электр ускуналарида қўлланилади.

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

Сўнгги пайтларда элегаз билан тулатилган катта қувватга эга трансформаторлар ишлаб чиқарилиб, синовдан ўтказилмоқда. Элегаз ва унинг аралашмалари азотли конденсатор ишлаб чиқаришга ҳам татбиқ этилмоқда.

6.3. Суюқ ҳолатдаги диэлектриклар

Электротехникага оид конструкция ва ускуналарни ишлайтиш шароитларидан келиб чиқиб, суюқ диэлектрикларга юқори электр мустаҳкамлик ва солиштира ҳажмий қаршилик, кичик миқдорли диэлектрик сингдирувчанлик, электр ва иссиқлик майдонларига бўлган бардошлилик, иш мобайнида ҳоссаларининг барқарорлиги, ёнғинга бардошлик каби талаблар қўйилади. Нефть маҳсулотидан олинadиган трансформатор мойи электротехникада энг кўп ишлатиладиган суюқ диэлектриклардан ҳисобланиб, у қувватли трансформаторларда, асосан, электр изоляцияси ва совиткич вазифасини бажаради. Трансформатор изоляция трансформатор мойи қўйилганда симларга қопланган изоляция қопламасидаги ҳаво бўшлиқлари мой билан тулади. 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.

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

Нефтан олинадиган трансформатор мойи парафин, нафтан, 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 кислота ёрдамида, селектив ёки адсорбция каби усуллар орқали амалга оширилади. Бу мойнинг ранги оч сариқ бўлиб, зичлиги 861—895 кг/м³, қотиш температураси — 45°С, чақнаш (алангаланиш) температураси 135—140°С, нур синдириш коэффициенти 1,47—1,49, кинематик қовушоқлиги $(17,6 \div 26,6) \cdot 10^{-6}$ м²/с ва сирт таранглик кучи 40—45 кН/м. Трансформатор мойи ёнувчан суюқлик бўлгани сабабли, уни ишлатиш мобайнида техника хавфсизлигига амал қилниши шарт. Бу суюқликнинг диэлектрик синдирувчанлиги 2,2—2,3, диэлектрик исроф бурчагининг тангенси 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 синдирувчанлиги 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 суюқликнинг электр мустаҳкамлигини пайсантиради. 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)	
	куруқ ҳолатда	эксплуатация шароитда
< 6	25	20
35	30	25
110, 20	40	35
> 330	50	45

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

Нефддан тайёрланадиган конденсатор мойнинг тозаланиш сифати трансформатор мойига нисбатан бирмунча юқори бўлади. Конденсатор мойнинг зичлиги 866—901 кг/м³, қотиш температураси —45°С, диэлектрик хоссалари: $\epsilon_r = 2.1 \div 2.3$; $tg \delta = 0.002$; $E_m = 20$ 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 электро-техникада 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 мустаҳкамлиги 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 мойларининг физик ва кимёвий хоссалари келтирилган.

8- ж а д в а л

Нефть асосидаги баъзи кабель мойларининг физик ва кимёвий хоссалари

Кўрсаткичлар	Мойнинг нави			
	С-220	МН-4	КМ-25	МВ
Зичлиги кг/м ³	840	< 900	> 900	860
Кинематик қовушоқлиги, 10 ⁻⁶ м ² /с	800	40	—	150
Алангаланиш температураси, °С	180	135	225	95
Қотиш температураси, °С	— 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 · 10 ¹⁰	—
E_m , МВ/м	21	18	15	—

КМ-25 навли кабель мойи иш кучланиши 1÷35 кВ бўлган кабелнинг қоғоз изоляциясини шимдиришда ишлатилади. МН-4 навли кабель мойи эса юқори босимли, катта кучланишли (110—500 кВ) кабелларнинг махсус каналларини тўлатишда ўлланади. Қувур ичидан ўтказиладиган, 110—500 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 атоми кириши 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, zichлиги ортади ва унинг қотиш температураси пасаяди (9-жадвал).

9-жадвал

Баъзи синтетик диэлектрикларнинг физик ва кимёвий хоссалари

Курсаткичлар	Трихлордифенил	Совтол-10	Гексол
Зичлиги, кг/м ³	1360	1510	1640
Кинематик қовушоқлиги, 10 ⁻⁶ м ² /с	40 — 70	650	3,5 — 4,0
Қотиш температураси, °С	— 19	— 6	— 60
Иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти, Вт/м ² · °С	0,0983	—	0,15
$\lg \delta$ (90°C)	0,015	0 03	0,03
ρ , Ом · м (90°C)	3 · 10 ⁹	10 ¹²	13 · 10 ¹⁰
ϵ_r	5,9	—	2,7 — 2,9
E_r , 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 тулатишда, шунингдек қаттиқ изоляцияга шимдирилувчи сифатида фойдаланилади.

Гексол кимёвий жиҳатдан барқарор суюқлик бўлиб, таркиби 80% гексахлорбутадиеи ва 20% пентахлордифенилдан иборат. У температура ва чуғ 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.

Қўриб ўтилган барча дифениллар заҳарли ҳисобланганлиги сабабли, улар билан ишлаган мобайнда заҳарли хавфсизлиги чоралари қўрилиши 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 полиорганосилокксан 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

Кур. аткичлар	ПМС-0	ПМС-10	ПЭС-3	ФМ-5	161-123	161-45
Зичлиги, кг/м ³	942	914	960	911	1080	1145
Қотиш температураси, °С	-65	-60	-70	-110	-100	-90
Динамик қовушқоқлиги, 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
$\text{tg } \delta$	0,0002	0,0002	0,0003	0,002	0,02	0,0-0,01
ρ , Ом·м	$2 \cdot 10^{12}$	$2 \cdot 10^{12}$	10^{11}	10^{11}	$\delta-10^{10}$	$4 \cdot 10^{11}$
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 $\text{tg } \delta$ қиймати жуда кичик бўлиши билан бирга, юқори даражали температурага чидамлилиги сабабли, уни 200°С ва ундан юқори температурада ишлатиш мумкин. Бу суюқликнинг сирт таранглик кучи ва қовушқоқлиги нисбатан кичикдир. Фтор-органик суюқлик учувчан бўлганлиги сабабли у билан тулатилган 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, сунгра совиткичда конденсацияланиб, яна асосий системага суюқ ҳолда қайтади. Натижада ускуна бушлиқларида катта босим ҳосил бўлиб, аппаратнинг газ муҳитидаги электр мустаҳкамлиги ортади. Ҳаво таркибидаги фтор-органик суюқлик буғлари портлаш хавфини туғдирмайди. Суюқ ҳолатда бу диэлектрик деярли ёнмайди. Юқори диэлектрик сингдирувчанликка ($\epsilon_r = 35-39$) эга бундай қутбли синтетик суюқликларга мисол қилиб нитробензол ($\text{H}_5\text{C}_6-\text{NO}_2$), этиленгликоль ($\text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$), 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.

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

6.4. Органик диэлектриклар

Электротехника, радиотехника, электроника ва халқ ҳужалигининг 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 такрорланадиган 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 олиннадиган 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 эфири 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 (полинимид, 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, қизилрилганда аввалига юмшаб, пластик, сўнгра эса суюқ ҳолатга ўтади. Электротехникада ишлатиладиган табiiй қатронлар сувда эримайди, аммо спиртда, эфирда ва ўзи билан кимёвий табiiяти 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 лампа-компаунд, пластик масса, сўнгий ёки табiiй толасимон материалларнинг таркибий қисми бўлиб хизмат қилади.

Шеллак — тропик дарахт қумурскаларни (гуммилак) маҳсулидир. Шеллак тангасимон кўринишли, рангли (оч сариқдан қўнғир 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 коэффициентини $4,4 \cdot 10^{-4} \dots 9 \cdot 10^{-5}$ га тенг. Унинг диэлектрик хоссалари қуйидагича: $\epsilon_r = 3,5$; $\text{tg } \epsilon = 0,01$
 $\rho = 10^{12} - 10^{14} \text{ Ом} \cdot \text{м}$; $E_m = 20-30 \text{ МВ/м}$.

11-жадвал

Синтетик қатронларнинг айрим хоссалари

Номи	Кимёвий табиати	Зичлиги, кг/м ³	Цилиндридаги муштаҳкамлик, МПа	Иссиқлик ут- казиш коэф- фициенти, Вт/м·К	ρ , Ом·м	ϵ_r	E_m , МВ/м
Полнэтилен	термо- пластик	918 — 968	10 — 15	0,30 — 0,40	10 ¹³ — 10 ¹⁵	2,3 — 2,4	15 — 20
Полистирол		1020 — 1390	35 — 60	0,10	10 ¹⁴ — 10 ¹⁵	2,4 — 2,5	20 — 35
Полигетрафторэтилен		2150 — 2240	15 — 30	0,23	10 ¹⁵ — 10 ¹⁶	1,9 — 2,1	20 — 30
Поливинилхлорид		1350 — 1460	30 — 50	0,10	10 ¹³ — 10 ¹⁴	3,0 — 5,0	15 — 20
Полиметилметакрилат	термоактив	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
Фенолформальдегидли		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	10 ¹¹ — 10 ¹⁴	3,0 — 4,5	15 — 25
Кремнийорганикли		1600 — 1750	20 — 45	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, дарахт елимидан ажратиб олинади. Канифоль спирт, бензин, бензол, скипидар, ацетон, нефть ва ўсимлик мойларида осонгина эрийди, сувда эса мутлақо эримайди. Унинг диэлектрик хоссалари қуйидагича: $\epsilon_r = 2,8$; $\operatorname{tg} \delta = 0,003$; $\rho = 10^{13} - 10^{14}$ 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

Кўрсаткич	Юқори босимли	Паст босимли	Ўртача босимли
Зичлиги, кг/м ³	918 — 930	954 — 960	960 — 68
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
$\operatorname{tg} \delta$	$(2 - 3) \cdot 10^{-4}$	$(2 - 4) \cdot 10^{-4}$	$(2 - 4) \cdot 10^{-4}$
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 хусусиятлари ёмонлашади.

Ушбу таъсири камайтириш мақсадида материалга антиоксидант (ароматик аминлар, алкилфенол, фосфит) ва ёруғлик стабилизаторлари (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 $400\text{--}500\text{ кг/м}^3$, диэлектрик сингдирувчанлиги эса $1,4\text{--}1,5$ гача, яъни салкам 2 барабар пасаяди. Бу эса пенополиэтиленни радио тўлқинида ишлайдиган электр асбоб-ускуналари изоляциясида қўллаш имконини беради. Пенополиэтилен олис масофаларга мўлжалланган алоқа ва юқори частотали кабель изоляцияларида ҳам ишлатилади.

Полипропилен термопластик полимер бўлиб, унинг зичлиги $920\text{--}930\text{ кг/м}^3$, совуққа чидамчилиги $-5\text{--}25^\circ\text{C}$, диэлектрик хоссалари: $\epsilon_r = 2,0$; $\text{tg } \delta = 0,0003$; $\rho = 10^{12}\text{--}10^{15}\text{ Ом}\cdot\text{м}$; $\rho_s = 10^{16}\text{ Ом}$; $E_m = 30\text{--}35\text{ МВ/м}$. Соф полипропилен полиэтилен каби зарарсиздир. Ундан электр ва радиотехникада изоляция материалли 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 олиши қобилиятига эгадир.

Полистирол шаффоф аморф полимер бўлиб, турли рангларга осон бўялади. Полистирол стиролни полимерлаш орқали ҳосил қилинади. Унинг зичлиги 1050 кг/м^3 , иш температураси $-60\text{--}75^\circ\text{C}$, диэлектрик хоссалари: $\epsilon_r = 2,5\text{--}2,7$; $\text{tg } \delta = 0,0002\text{--}0,0009$; $\rho = 10^{15}\text{ Ом}\cdot\text{м}$. Полистирол ўзига нам ютмайди ва -40°C га қадар ўз хоссаларини яхши сақлайди. Ундан электр конденсаторлари учун плёнкалар, кабель изоляцияси учун толарар тайёрланади.

Поливинилхлорид аморф полимер бўлиб, зичлиги $1350\text{--}1430\text{ кг/м}^3$, диэлектрик хоссалари: $\epsilon_r = 3,1\text{--}3,5$; $\text{tg } \delta = 0,02$; $\rho = 10^{13}\text{--}10^{15}\text{ Ом}\cdot\text{м}$; $E_m = 35\text{ МВ/м}$. Бу материал бензол, керосин, эфир ва нефтдан олинандиган 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 винипласт деб номланиб, ундан конструкция материалли сифатида фойдаланилади. Қайишқоқ ҳолатдагиси поливинилхлорид пластикати деб аталади. Унинг зичлиги $1150\text{--}1360\text{ кг/м}^3$, иш

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

Полиакрилат қаттиқ, қайишқоқ ва мустаҳкам материал бўлиб, мой, ишқорлар таъсирга ва совуққа чидамлидир. 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 узига деярли сиғдирмайди. У осон пайвандланувчан материалдир. Бу материал ёй разряди таъсирида узидан кўп миқдорда газ ажратиши тўғрисида фойдаланилади. Ана шу хусусиятлар полиметилметакрилатни юқори кучланишли вижлукетелларда 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 узига сиғдирмайди. 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°C — $+250^{\circ}\text{C}$ оралиғида деярли ўзгартмайди. Бу материал ташқи таъсирга жуда чидамли. Политетрафторэтиленнинг зичлиги $2150-2240 \text{ кг/м}^3$, қўзилишга 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 аппаратури, 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 чидамлидир. Айрим полиамидларнинг хоссалари 13-жадвалда келтирилган. Полиамиднинг яхши механик хусусиятлари уни электр аппаратури, сим ва кабелларда ишлатиш имконини беради. Бу материалдан ҳимоя қопламаси олишда, изоляция локлари тайёрлашда, сим, электр машина ва аппаратури чулғамлари сиртига изоляция қопламаси беришда, плёнкалар тайёрлашда фойдаланилади. Полиамид асосида локланган шиша материалларининг электр мустаҳкамлиги 40 МВ/м , диэлектрик сиғдирувчанлиги 3,5, диэлектрик исроф бурчагининг тангенсини 0,006. Ҳозирги пайтда полиамид плёнкалари елимловчи қатлам

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

13- ж а д в а л

Полиамиднинг айрим физик ва кимёвий хоссалари

Курсаткич	Найлон 66	Каптон	Эпант	Уидекан
Зичлиги, кг/м ³	1140	1150	1130	1100
Чузилишдаги мустаҳкамлиги, МПа	80	60 — 80	—	60 — 80
Нисбий чузилиши, %	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	—	—
ϵ_r	4,6	5,0 — 14,0	4,4	3,2
Эриш температураси, °С	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; $\text{tg } \delta = 0,05 — 0,1$; $E_m = 10 — 14$ МВ/м дан иборат. Фенолформальдегид асосидаги қатрон электр аппарати ва машиналари ишлаб чиқаришда кенг қўлланилмоқда. Ундан турли конструкцияли изоляция материаллари, узақлар, қўйма ёки прессланган материаллар ишлаб чиқаришда фойдаланилади. Фенолформальдегид қатрони термопластик ва терморектив усулларда тайёрланади. Терморектив усулда ҳосил қилинган қатронга мисол қилиб бакелитни келтириш мумкин. Бу қатроннинг механик мустаҳкамлиги юқори ва қайишқоқлиги пастдир. Бакелит, асосан, ёғоч ва бошқа материалларда 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 характеристикаларини узгартиради. Бу камчиликлар полиэфир қатронларини модификациялаш орқали йўқотилади.

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

қайишқоқ, температура таъсирига 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 ишлатиш олдидан қўшилади. Эпоксид қатронини полимерлаш орқали олинган маҳсулот терморектив 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—150°C) орқали қотирилади. Эпоксид қатронини хона температурасида полимерлаш учун таркибида азот бирикмалари (аминлар) бўлган қотирувчилар олинади. Юқори температурали қотирувчилар сифатида эса органик кислота ангидридларидан фойдаланилади. Эпоксид қатронидан олинadиган компаунднинг қайишқоқлик, иссиққа чидамлилик 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 киради. Макромолекулаларининг тузилиши бўйича КО полимерлар чизикли ва фазовий (тўрсимон) бўлади. КО полимерлар қўлланилиши ва хусусиятлари жиҳатидан қуйидаги (1. суюқ, 2. қайишқоқ, 3. терморектив) КО қатронларига бўлинади. Бу полимерларнинг асосий хоссаларидан бири узоқ муддат юқори температурада (180°C) ишлай олишидир. КО полимери яхши диэлектрик хоссага эга бўлган, совуқлик ва намлик таъсирига чидамли эластик материалдир. Суюқ ҳолатдаги ушбу полимернинг диэлектрик хоссалари: $\epsilon_r = 2,4-2,7$; $\text{tg } \delta = 0,0001-0,0002$; $\rho = 10^{13}$ 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 температураси юқори бўлган сим ва кабель изоляциясида қўлланилади. Бундай резина 65°C даражали совуққа бемалол бардош беради. КО терморектив 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: $\epsilon_r = 6,5-7,0$; $\text{tg } \delta = 0,005-0,01$. Электротехникада изоляция материалли 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 кабелли, трансформатор ва конденсаторлар изоляциясида ишлатилади.

Целлюлоза ацетати яхши тозаланган пахта целлюлозасидан олинади. Бу материалнинг метиленхлориддаги 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 қўймоя қилишда ҳам тасма ва газлама матолар 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 $920-2500 \text{ кг/м}^3$ атрофида бўлиб, унинг қўйи 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 буз (0,40 мм) ни олиш мумкин.

Электр машина изоляциясида, кабелларда ва электр ускуналарини ремонт қилишда кипер, миткал ва батист тасмаларни 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 серицини билан қопланган бўлади. Изоляцияда ишлатиладиган ипак толаси серицини ва бошқа минерал қўшимчалардан тозаланadi. 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-слюда тасмалари ишлаб чиқарилади. Изоляцияда ишлатиладиган шойи газламаларининг қалинлиги 0,07—0,08 мм бўлиб, улардан жуда юпқа изоляция қатлами тайёрланади. Шойи ишлатиб тайёрланган изоляция юпқалиги ва нафислиги билан ажралиб туради.

Синтетик тола ва улардан олинган турли материаллар электротехникада триацетат шойиси, капрон, лавсан номи 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 ёки тасмаси полиэтилентерефталатдан олинadиган 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.

Усимлик мойлари

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

Мойларни қуриштириш тезлиги ҳароратни ошириш, ёруғлик таъсир эттириш ёки бирор турдаги катализатор (сиккатив) қўшиш орқали амалга оширилади. Қурийдиган мойлар кимёвий таркиби буйича глицерин эфири ва органик кислоталардан ташкил топади. Энг кенг тарқалган қурийдиган мойларга *зигир* ва *тунг мойи* мисол бўлади. Зигир мойининг зичлиги 930 кг/м^3 , қотиш температураси — 20°C га тенг. Тунг мойи заҳарли бўлиб, зичлиги 940 кг/м^3 , қотиш температураси — 5°C .

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

Канакунжут 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 солиштира оғирлиги 980—1050 кг/м³. Битум гигроскопик бўлмаган ва ўзига сув сингдирмайдиган материалдир. У бензол ва толуолда осон эрийди, спирт ва сувда эса мутлақо эрмайди. Табiiй (қазиб олинadиган) битум *асфальт* деб ҳам аталади.

Сунъий битум нефтни қайта ишлаш орқали олинади. Нефтан олинadиган 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.

Мумомсин диэлектриклар

Мумсимон диэлектриклар 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 диэлектриклар намга чидамли бўлгани сабаблн, улар қўлланилган конструкцияларни зичлаш (герметизациялаш) талаб этилмайди. Мазкур диэлектрикларнинг асосий камчилиги қотишда улар ҳажмий киришишининг нисбатан юқорилигидир (15—20%).

Қутблилиқ даражаси бўйича мумсимон диэлектриклар 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, солиштирма ҳажмий қаршилиги юқори ($\rho = 10^{14}$ Ом·м) диэлектриклардир. Полиэтилен 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 булиб, 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°С, 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 V_1-V_4 , ўртача тозаликдагиси T , S ва тозаланмагани H_c , H_n ҳарфлари орқали белгиланади. Парафин конденсатор изоляциясини шимдиришда, унинг церезин билан аралашмаси эса сим ва кабель ўрамларида ишлатилади.

Церезин нефть маҳсулотларидан олиниб, диэлектрик хусусиятлари жиҳатидан парафиндан устун туради. Церезиннинг эриш температураси 65—85°С, ундан қайишқоқ юпқа қоплама олиш мумкин. Церезин кабель саноатида резина маҳсулотлари тайёрлашда (резинанинг ёруғлик нурига чидамлилигини оширади) ишлатилади.

Синтетик церезин 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 ишлатилади.

Олевакс — канакунжут мойини гидрогенерация қилиш усули орқали олинган 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 эритмасидир. Локининг қуриш жараёнида унинг таркибидаги эритувчи моддалар учиб кетади, натижада лок пардаси ҳосил бўлади. Алифатик (бензин, уайт-спирит, керосин) ва ароматик (толуол, ксилол, 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 шимилиши натижасида улар ҳажмидаги ҳаво бушлиқларини 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 локи 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 шимилиши ҳам шарт. Бундай локлар хона температурасида қуриш хусусиятига эгадир. Одатда, юқори температура ва керакли муҳитда қуритилган локлардан яхши ва сифатли парда ва ҳамда қоплама-лар 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 қуритилганда 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 чидамдир. Мазкур лок, асосан, сим юзасидаги қоғоз-пахта ўрамини шимдириш учун қўлланилади.

Мойли лок асосини зиғир ва тунг каби қурийдиган мойлар ташкил этади. Қуритиш жараёнини тезлатиш мақсадидида ушбу локларга эритувчи модда қўшилади. Бундай эритувчиларга бензин, керосин ва бошқалар мисол бўла олади. Таркибида битуми бўлмаган мойли локнинг ранги тиниқ бўлиб, у мато ва қоғоз изоляциясини, шунингдек, электр машина ва аппаратлари чулғамларини шимдиришда кенг қўлланилади. Бу лок термо-реактив бўлганлиги сабабли трансформатор чулғамини шимдиришда жуда қўл келади, ҳосил қилинган қоплама эса трансформатор мойида яхши ишлайди. Иссиқлик таъсирида тез қотадиган мойли лок электр машина ва аппаратларининг магнит узадларидаги пулат варақларни сирлаш учун ишлатилади. Бу пулат варақлар бир-биридан изоляция қилинса, узгарувчан токни магнит майдонида содир бўладиган уурма ток ҳисобига вужудга келадиган диэлектрик исрофлар бирмунча камаяди.

Қора битумли лок таркибига битумлар киради. Бу лок мойли локка нисбатан арзон, юқори электр изоляция ва кам гигроскопик хоссали парда ҳосил қилади. Қора битумли лок асосидаги изоляция эскиришга чидамли булса ҳам, лекин эритувчи ва мой таъсирига чидамсиздир.

Органик эритувчига битум қўшиб ҳосил қилинган эритма соф битум локи дейилади. У оддий шаронгта қуритилади. Соф битум локи, асосан, турли металл юзаларини коррозиядан муҳофаза қилишда қўлланилади.

Мой-битумли локнинг таркибида битумдан ташқари, қурийдиган мой ҳам бўлади. Мазкур локнинг хоссалари соф битумли локларга нисбатан қайишқоқлиги ва чидамлилиги билан фарқ қилади. Мой-битумли локларнинг эритувчилари қаторига бензол, толуол ва скипидарни киритиш мумкин. Бу локлар трансформатор чулғамларини шимдиришда ишлатилади.

Мой-қатронли локлар таркибида табий ва синтетик қатронлар бўлиб, қайишқоқлиги, елимлаш хусусияти, кам гигроскопиклиги ва иссиққа чидамлилиги билан ажралиб туради. Бу мойлар трансформатор чулғамларини қоплашда ишлатилади. Ҳосил бўлган қоплама чулғамни мой, кислота бугларидан яхши ҳимоя қилади.

Локлар ҳарф ва рақамлар билан белгиланади. Ҳарфлар локли асоснинг таркибини, биринчи рақам локнинг қаерда қўлланилишини, кейинги рақамлар эса локнинг муайян турини билдиради. Электр изоляциясида ишлатиладиган, шимиладиган локларга фенолли (ФЛ-98), полиуретанли (УР-9144), кремний-органикли (КО-964) ва мой-глифталли (ГФ-95) локларни мисол тариқасида келтириш мумкин.

Қўпгина локларни тайёрлаш жараёни мураккаб бўлади. Бунда, аввало, локли асос тайёрлаб олиниб, сўнгра у эритувчида эритилади ва мазкур эритмадан турли қўшимчалар чиқариб юборилади.

Электр изоляция компаундлари шимилувчи ва қуйилувчи турларга бўлинади, улар локлардан ўз таркибида эритувчилар-

нинг йуқлиги билан фарқ қилади. Синтетик полимерлар (полиэфирстирол, полиэфиракрилат, метакрилат, полиуретан, эпоксид, кремний-органик моддалар) асосдаги компаундлар кенг қулланилмоқда. Қурсатилган полимерлар ичида энг кун ишлатиладигани эпоксид қатрони ва унинг модификациялари асосдаги компаундлардир.

Шимилувчи ва қуйилувчи компаундларни туғри қуллаш орқали юқори кучланишли конструкцияларнинг ҳажмини анчагина ихчамлаштириш мумкин. Электротехникада компаундлар электр машина, трансформатор ва слюдали материалларга шимдирилади, радиосхема, асбоб ва ускуналар қисмларига қуйилади.

Таркибидаги боғловчининг турига қараб компаундлар, асосан, уч гуруҳга (эпоксид қатрони асосдаги, полиэфир қатрони асосдаги, полиуретанли) бўлинади. Таркибига кура компаундларнинг совуқ ёки иссиқ шаронгда қотадиган хиллари бўлади. Компаунд таркибига тулдирувчи қиритилиши натижасида унинг механик ва электрик хоссалари узгаради. Толали ёки кукун қурилишидаги тулдирувчилар компаунднинг механик хоссаларини узгартириб, компаунд асосдаги жисмнинг сиқилишга бўлган мустаҳкамлигини оширади. Бунда жисмнинг иссиқлик ўтказиш коэффициенти ортиб, чизиқли кенгайиш коэффициенти камаяди.

Компаундга баъзи тулдирувчилар (фосфат, сурьма) қушилиши натижасида унинг ёнгинга чидамлилиги ортади. Агар компаундга графит ёки темир кукун аралаштирилса, у ҳолда электр ўтказувчанлик юзага келиб, статик заряд бартараф этилади.

Компаундлар ишлатиш жойида тайёрланади. Сунгги пайтда бир ёки икки компонентли компаундлар ишлаб чиқариш кенг йулга қуйилди. Икки компонентли компаундларда компонентларни бир-бирига аралаштириш орқали керакли миқдордаги компаунд тайёрлаб олинади. Саноат шаронтида компаунд тайёрлаш учун узлуксиз ишлайдиган аралаштиргичлардан фойдаланилади. Компаундлардан жисмларни шимдириш, тулатиш ёки зичлашда фойдаланилади. Шимдириладиган жисм вакуум ёки босим таъсирида компаундга ботириб олинади. Шимдириш усули эса суюқликни марказдан қочма куч таъсирида ҳамда томчи ҳолатида юбориш орқали амалга оширилади. Юқори кучланишда ишлайдиган изоляцияга компаунд вакуум остида юборилади. Қуйиш ишларида металл ёки фторопластан тайёрланган қилиплар ишлатилади. Компаундни қуйишдан аввал металл юзасига КО каучугининг 7% ли эритмаси суртилади. Кукун ҳолатдаги компаунд конструкция юзасига электростатик майдон ёки уурма тебраниш усуллари орқали қопланади. Сунгра юқори температура таъсирида юзадаги компаунд эритилиб, бир текис силлиқ қоплама ҳосил қилинади.

Иссиқлик таъсирида қотадиган шимилувчи компаундларга ЭД-16 навли қатрон асосдаги Д1, Д3, Д36, Д112, ЭПК-16,

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; урилиш қовушоқлиги 11—20 кЖ/м².

Иссиқлик таъсирида қотадиган, қуйилувчи компаундларга ЭД-16 қатрони, қотирувчиси сифатида — маленн 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 пулат 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 таъсирига 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 навлиси эса махсус асинхрон двигатель, трансформатор чулғамларини шимдиришда ишлатилади. СПП-БИ навли компаунд ишша толаларини боғловчи сифатида ишлатилади.

МФВГ-1, МФВГ-3 навли КО компаундлари иссиқлик таъсирида ва катализатор ёрдамида қотади. Бу компаунд узининг изоляцион хоссаси юқорилиги ва иссиқлик таъсирига чидамлиги (250—260°С) билан ажралиб туради. У қайишқоқлик хоссасини — 60°С гача сақлайди. Хамирсимон зичловчи компаундларнинг КЛ тури уч: КЛТ-30, КЛСЕ-305, КЛФ-120 навда ишлаб чиқарилади. Уларнинг сақланиш муддати 6 ой бўлиб, улар мослама ва ускуналарни зичлаштиришда ишлатилади.

Лок ва компаунд шимдирилган фоаксимон 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.

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

маълум муддат (масалан, электр чулғамини 100—110°C да 5—10 соат) ушлаб турилгандан сўнг ундан олиниб, бироз совитилади. (60—70°C 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. Деталларни лок ёки компаунд билан қоплаш суяқликни юзага қўйиш, томизиш, 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 суяқ кристаллар

Электр изоляция плёнкалари юпқа 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 экструзия, қўйиш ва пуфлаб чиқариш усуллари орқали тайёрланади. Эгилувчан плёнкалар юқори молекуляр массали чизикли полимерлардан тайёрланиб, эгилувчанликка материалга пластификатор қўйиш ёки температура таъсирида полимер молекулаларини маълум йўналишга буриш 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°C. Бу плёнканинг механик мустаҳкамлиги кичик бўлганлиги сабабли, у кўпинча қалин қоғоз юзасига қопланган ҳолда ишлатилади.

Синтетик кутбди 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°C; 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°C) дир.

Полиэтилен асосидаги плёнка экструзия 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; $\epsilon_r = 2,1 - 2,6$; $t_{\text{в}} \delta = 0,0003 - 0,0004$; $\rho = 10^{15} - 10^{16}$ 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; $\epsilon_r = 2,0$; $t_{\text{в}} \delta = 0,0002$; $\rho = 10^{15} - 10^{17}$ Ом·м; $E_T = 300$ МВ/м ва юқори иш температураси 90—100°C га тенгдир.

Қутбсиз плёнкаларнинг изоляция қаршилиги юқори бўлиб, узидан электр токини жуда кам миқдорда ўтказиши. Шу сабабли улардан ўзгармас сизимли конденсаторлар ишлаб чиқарилади. Қутбли плёнкаларда э' 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 юпқа 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 узининг шаффофлигини ва бошқа оптик хоссаларини ўзгартиради. Бирор юзага суртилган суюқ кристаллда нурнинг қутбланиш текислигининг бурилиши, нурнинг икки бор сиңиши, 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, температура 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 йўналш ўқиға ҳам боғлиқдир. Суюқ кристалларнинг солиштирма электр ўтказувчанлиги кичик қийматни (10^{-1} См/м) ташкил этади. Бир неча

суюқ кристалларни ўзаро таралаштириб, керакли диэлектрик сингдирувчанликка эга таралашма олинади. Бу таралашма диэлектрик анизотропияси ($\Delta\epsilon$) билан ифодаланиб, унинг қиймати $-4 = 20$ оралиғида бўлади.

Суюқ кристалларнинг электр-оптик хоссаларидан электро-техникада кенг миқёсда қўлланилади. Ушбу кристаллар асосида яратилган асбобда тасвир ҳамда ахборотни қайта ишлаш сифати бошқа худди шу каби асбобга нисбатан анча юқоридир. Мазкур асбобларда сарфланадиган қувват (10^{-4} 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 боришмоқда.

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 йўналишдагига 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 электрик 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 сунг 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.

Таркиби асосан целлюлозадан иборат, қисқа толали варақсимон ёки ўрамли материалларга қоғоз ва картон киради. Қоғоз ишлаб чиқариш учун ёғоч целлюлозасидан фойдаланилади. Электр изоляциясида қўлланиладиган қоғоз тайёрлашда сульфат ва натрон целлюлозаси ҳам ишлатилади. Электр изоляция қоғози ва картон ишлаб чиқаришда ёғочга махсус кимёвий ишлов берилади ва ундан лигнин, минерал туз ва елим каби бирикмалар чиқариб юборилади. Натижада, целлюлоза толалари соф ҳолда ажратиб олинади. Механик ишлов бериб майдаланган целлюлозанинг сувдаги эритмаси айланувчан жўваларга қуйилиб, юқори ҳароратда қуритилади. Қоғоз ўрамга тортиб ўралаётганда толалар, асосан, ўрам узунлиги бўйича жойлаштирилади, бунда қоғознинг механик мустаҳкамлиги унинг узунлиги бўйича, эннига нисбатан, бирмунча ортади.

Кабель қоғозлари К, КМ, КВ, КВМУ навларда ишлаб чиқарилади, бунда К — кабель, М — кўп қатламли. В — юқори кучланишли, У — кучайтирилган маъноларни ифодалайди. К ва КМ навли қоғозлар кучланиши 35 кВ гача бўлган кабелларда, КВ ва КВУ навлилари кучланиши 35 КВ дан юқори ҳамда КВМ ва КВМУ навлилари кучланиши 110 кВ дан юқори бўлган кабелларда қўлланилади. Кабель қоғозларининг қалинлиги 70—170 мкм, зичлиги 760—1000 кг/м³. Қоғознинг зичлигини ошириш ҳисобига унинг қалинлигини камайтириш мумкин. Материалнинг диэлектрик сингдирувчанлиги қоғоз ва унга шимдирилган мой турига, бевосита боғлиқ бўлади.

Телефон қоғози КТ ва КТУ навларда ишлаб чиқарилиб, уларнинг қалинлиги 50 мкм, зичлиги кўпи билан 800 кг/м³ ни ташкил этади. Телефон қоғозлари сарғиш, қизил, кўк ёки яшил рангларда бўлади.

Конденсатор қоғози асосан икки хилда (оддий конденсатор қоғози ва силикон) ишлаб чиқарилади. Силикон катта қувватга эга конденсаторларда қўлланилади. Конденсатор қоғозларининг зичлиги 800—1250 кг/м³, қалинлиги 4—30 мкм, ўрамининг эни 12—490 мм атрофида бўлади. Бундай юпқа қоғоз ишлатиш натижасида катта солиштирма сифимли конденсаторлар яратиш имкони туғилади.

Картон асосан қалинлиги жиҳатидан (0,2—6 мм) одатдаги қоғозлардан фарқ қилади. Изоляция картонлари икки турда (хаво муҳитида ишлашга мўлжалланган, нисбатан пишиқ ва эгиловчан ҳамда мой муҳитида ишлашга мўлжалланган, ғоваксимон ва унча зич бўлмаган картонлар) ишлаб чиқарилади. Ғоваксимон картон ўзига мойни яхши шимиб олади ва бунда унинг электр мустаҳкамлиги пасаймайди. Картонлар варақ ҳолида (ўлчами 3×4 м гача) ёки ўрамларда (эни 1 м гача) ишлаб чиқарилади. Улардан электр машина, трансформатор ва бошқа электр аппаратларининг изоляциясида фойдаланилади. Пишиқ қоғоз юпқа қоғозлардан тайёрланиб, илиқ рухлориди эритмасидан ўтказилади ва керакли қалинликка эришилгунча пулаг жўваларга ўралаверади. Сунгра пишиқ қоғоз

жўвалардан кесиб олиниб, яхшилаб сувда ювилади ва босим остида ишлов берилади. Вараксимон пишиқ қоғоз (ФЭ) қалинлиги 0,6—12 мм, узунлиги 0,85—2,3 м ва эни 0,55—1,4 м қилиб тайёрланади ҳамда унга қора, қизил, кулранг ва бошқа ранглар берилади. Намланган пишиқ қоғозга турли шакл бериш мумкин. Пишиқ қоғоз электр машина ва аппаратларининг конструкция материаллари сифатида ҳам қўлланилади.

Локли матолар

Электр изоляция локи шимдирилган, эгилувчан ип-газлама ёки шойи матолар локли матолар дейилади. Туқилган мато, асосан, механик мустаҳкамликни таъминласа, ундаги лок пардаси эса материалнинг электр мустаҳкамлигини таъминлайди. Локли матолар электр машинаси ва асбоблар изоляциясида, чулғам, ўрама, қистирма ва ҳоказо кўринишдаги кабель маҳсулотларида кенг қўлланилади. Локланган шойи локланган ип газлама матога нисбатан юпқа, нафис бўлиб, кичик ҳажмли электр асбоблари ишлаб чиқаришга имкон яратиш билан бирга, юқори электр мустаҳкамликни ҳам таъминлайди. Мазкур локланган матоларнинг юқори иш температураси 105°C га тенгдир. Сўнгги пайтларда капрон ва шийа толалари асосидаги локли матолар ҳам электр изоляциясида кенг қўлланилмоқда.

Очиқ рангли локли матоларнинг ип-газлама асосидаги сининг электр мустаҳкамлиги 35—50 МВ/м, шойи асосидаги сининики 55—90 МВ/м. Зичлиги мос равишда биринчисида 1100 кг/м³, иккинчисида 900—1000 кг/м³ га тенг, Очиқ рангли локланган матолар органик эритувчилар таъсирига чидамли, лекин психик таъсирида эскириши мумкин. Қора рангли локланган матонинг гигроскопиклиги кичик бўлиб, органик эритувчилар таъсирига чидамсиздир.

Локланган матолар эни 700—1050 мм бўлган ўрамлар ҳолида ишлаб чиқарилиб, уларнинг қалинлиги: ип-газлама матоларда 0,15—0,30 мм, шойи матоларда 0,04—0,15 мм, капронда 0,10—0,15 мм атрофида бўлади.

Маҳсулотнинг танирхини пасайтириш мақсадида ип-газлама ва шойи материаллар локланган қоғоз билан алмаштирилади. Сўнгги пайтларда усқуналар изоляциясида локланган мато ёки локланган қоғоз ўрнига синтетик плёнкалар ишлатилмоқда.

Эластомерлар

Каучук асосидаги материаллар ва хоссалари жиҳатидан унга яқин бўлган моддалар эластомерлар деб аталади. Техниканинг турли соҳаларида ва кундалик ҳаётда эластомерлардан кенг фойдаланилади.

Табиий каучук (ТК) тропик иқлим шароитида ўсадиган каучук дарахтининг шарбати (латекс) дан ажратиб олинади.

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

Резина ва эбонит тайёрлашда каучук ва олтингугуртдан ташқари, резинали аралашма таркибига туллатувчилар (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: $r = 3-7$; $\text{tg } \delta = 0,02-0,1$; $\rho = 10^{13}$ Ом·м; $E_r = 20-30$ МВ/м.

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

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

Бутадиенли каучук (СК) яхши электр изоляция ва эластиклик 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; $E_r = 42$ 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 ТК га яқин бўлиб, диэлектрик кўрсаткичлари қуйидагича: $\epsilon_r = 2,3$; $\text{tg } \delta = 0,003$; $\rho = 1,1 \cdot 10^{13}$ Ом·м; $E_r = 46$ 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; $E_r = 22$ МВ/м.

Кремнийорганикли каучук таркибда 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. ҚО каучукнинг зичлиги 2000 кг/м^3 , диэлектрик хоссалари: $\epsilon_r = 2,9$; $\text{tg } \delta = 0,008$; $\rho = 1,2 \cdot 10^{12} \text{ Ом} \cdot \text{м}$; $E_m = 29,3 \text{ МВ/м}$.

Босма плата учун базис материаллар

Базис материаллар паст кучланишли асбобларда ва радио-техника 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, варақнинг 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 юнқалаштирилади) 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 $800 \times 900 \text{ мм}$ қилиб тайёрланади.

Зарланган шиша-текстолит (шиша тола терморектив боғлагич билан шимдирилади) юзасига мисли зарқоғоз қопланган ҳоллардаги варақ қалинлиги 1,5 мм гача, ўлчами камида $600 \times 700 \text{ мм}$ қилиб олинади. Зарланган СФТ-230 навли диэлектригининг қалинлиги 0,13—2,5 мм, ўлчами камида $400 \times 600 \text{ мм}$, ФДГ навли зарланган диэлектрикнинг қалинлиги эса 1,5—2 мм, ўлчами камида $200 \times 250 \text{ мм}$, СОНФ навли шиша-текстолит қалинлиги 0,8—3 мм, ўлчами камида $400 \times 600 \text{ мм}$, ФДМЭ навли шиша-текстолит қалинлиги 0,1—0,15 мм, ўлчами эса камида $400—600 \text{ мм}$ 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 $400 \times 600 \text{ мм}$ бўлади. Зарланган ЛФ-1 навли лавсан (полиэтилен терефталат асосидаги)

юзасига 35 мкм қалинликдаги электролитик мис зарқоғози ёпиштирилади. Зарланган ПФ-1 навли босма платаси полнимид 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 Ф.ЛАН навли арилак билан тўйинтирилган, зарланган диэлектриклар қўлланилади. Ушбу диэлектрик материалларнинг қалинлиги 1; 2 мм. Ўлчамми 260×340 мм. зарқоғоз қалинлиги 35 мкм қилиб олинади. Шу частоталарда ишловчи асбобларда поликарбон билан тўйинтирилган, зарланган варақсимон материаллар ҳам ишлатилади. Уларнинг кўрсаткичлари қуйидагича: $\epsilon_r = 2,8 \div 10$; $\text{tg } \delta = (1,5 \div 5) \cdot 10^{-3}$ (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 чидамлик, 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 мўртлигини, қўзилишдаги мустаҳкамлигининг пастлигини ва зичлиги катта қиймат ($2500\text{—}8000$ кг/м³) га эга эканлигини келтириш мумкин. Кимёвий таркиби бўйича анорганик материаллар узида турли хил металл (алюминий, титан, кальций, натрий ва ҳоказо) оксидларини жамлаган мураккаб бирикманни 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 $\text{tg } \delta \approx 10^{-3} \div 10^{-2}$ оралиғида бўлади. Бу диэлектрикларда қутбланишнинг 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 ($5\text{—}700$ МВ/м) ўзгаради. Уларнинг иссиққа чидамлилиги $400\text{—}1500^\circ\text{C}$

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 хўжалиги-нинг кўп соҳаларида қўллаш имконини беради.

Шиша

Шиша мураккаб тузилишли бирикмалардан ташкил топган бўлиб, унинг таркибига турли металл оксидлари киради. Шиша тузилишн жиҳатидан бир жинсли бўлмаган аморф моддалар қаторига киради. Бошқа анорганик материаллардан фарқли ўлароқ, шиша қуйидаги хоссалари билан ажралиб туради: юпка парда ва толалар олиниши; оптик жиҳатдан тиниклиги; 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 металлларининг оксидлари (CaO , MgO , BaO ва ZnO , Al_2O_3 , BeO) шунингдек, шиша таркибини ўзгартирадиган бошқа қўшимчалар киради. 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 алюминборсиликатли ($\text{SiO}_2\text{—ZrO}_2$, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{—B}_2\text{O}_3\text{—SiO}_2$) турларига бўлинади.

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 , B—O_3 элементлари бўлади. Таркибига оксидлар киритилган шиша ғовакляшади. 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. Суюқ шиша температураси $800\text{—}900^\circ\text{C}$ атрофида бўлганда ундан турли хил маҳсулотлар тайёрланади. Шиша маҳсулотлари пуфлаш, сиқиш, чўзиш ва босим билан ишлов бериш усули ёрдамида тайёрланади. Тайёр шиша маҳсулоти 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. Шишадап аниқ ўлчамли жуда юпка маҳсулот ишлаб чиқариш учун унинг таркибига мис, кумуш, олтин, платина заррачалари киритилади. Бунда шишанинг ёруғликка нисбатан сезувчанлик 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.

Шिशанинг солиштирма ҳажмий қаршиллиги 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 (Ba, Pb) оксидлари киритилса, структураси мустаҳкамланиши ҳисобига ρ қиймати ортади; температура ортиши натижасида ионларнинг силжувчанлиги ортиб, шисанинг 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 ҳимоя қатлами (КО 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 майдонида 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 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 (150 — 100 мкм) шишада электр тешилиши $E_t = 100$ — 600 МВ/м, қалин шишада эса иссиқлик тешилиши $E_t = 15$ — 50 МВ/м содир бўлади.

Шисанинг солиштирма оғирлиги 2000 — 8100 кг/м³, чузилишдаги механик мустаҳкамлиги 100 — 300 МПа, сиқилишдаги механик мустаҳкамлиги эса 6000 — 2100 МПа. Шисанинг юмшаш температураси 400 — 1600°C оралиғида бўлади. Техник шисанинг диэлектрик хоссалари: $\epsilon_r = 3,8$ — $16,2$; $\text{tg } \delta = 0,002$ — $0,01$; $\rho = 10^9$ — 10^{15} Ом·м; $E_t = 500$ МВ/м га тенг бўлади.

- Қўлланилиши бўйича сопол қуйидаги турларга бўлинади:
- 1) ўрнатилувчи буюмларда ишлатиладиган сополлар;
 - 2) конденсаторларда ишлатиладиган сополлар;
 - 3) сегнет сополи; ва 4) пьезосополлар.

Ўрнатилувчи буюмларда қўлланиладиган, ϵ_r ning кичик қийматларига эга материаллар: $BaO-Al_2O_3-SiO_2$; $MgO-Al_2O_3-SiO_2$; $CaO-Al_2O_3-SiO_2$; $ZrO-Al_2O_3-SiO_2$.

Конденсаторларда қўлланиладиган ϵ_r ning юқори қийматларига эга сопол материаллар: ZrO_2-TiO_2 ; $CaZrO_3-CaTiO_3$; $Mg_2TiO_4-CaTiO_3$; $CaSnO_3-CaZnO_3-CaTiO_3$.

Пьезоэлектрик ва сегнетоэлектриklar учун қўлланиладиган материаллар: $BaTiO_3-SrTiO_3-CaTiO_3$; $BaTiO_3-BaZrO_3$; $BaTiO_3-BaSnO_3$; $SrTiO_3-Bi_2O_3 \cdot 3TiO_2$.

Сополнинг шишасимон фазаси — кристалл фазаларни ўзаро боғлайдиган қатламдир. У сополнинг пишишига имкон яратиши билан бирга, материалнинг механик мустақамлигини ҳам оширади. Шишасимон фазанинг миқдори материалнинг технологик хусусиятлари (пишириш ҳарорати, пластиклик) билан аниқланади. Бу фаза миқдорининг оширилиши материалнинг механик мустақамлигини кўтаради. Шишасимон фаза миқдорининг камайиши, материалнинг диэлектрик, иссиқлик ва механик хоссаларини ёмонлаштиради. Оддий сополларда шишасимон фаза 1—10%, электр чиннисида эса 40—65% бўлади.

Газсимон фаза турли сополларда мавжуд бўлиб, у сопол массани тайёрлашда, қолиплашда, пишириш пайтида (учувчан модданинг чиқиб кетиши натижасида) ва сопол зичланишида вужудга келади. Ушбу фаза очиқ (сиртда) ва ёпиқ (ички қисмда) турларга бўлинади. Ёпиқ турдаги газсимон фаза сополнинг электрик ва механик хоссаларини пасайтиради ҳамда юқори электр майдон кучлашганлигида бўшлиқларда ионлашиш содир бўлиши ҳисобига диэлектрик исрофларни оширади. Очиқ бўшлиқлар сополнинг барча хоссаларини ёмонлаштиради. Таркибдаги шишасимон фаза миқдорига қараб сополни шишасимон (шиша миқдори 50% дан ортиқ) ва кристалли (кристалл миқдори 50% дан ортиқ) турларга бўлиш мумкин. Шиша ҳосил қиладиган бирикма сифатида дала шпати, пигматитларни кўрсатиш мумкин.

Кристалли сопол таркибига радио сополининг асосий турлари (алюминий оксид, стеатит, титанит, ниобий ва ҳоказолар) киради. Уларнинг кристалл ҳосил қиладиган бирикмаларига тальк, титан ва цирконий қўш оксидлари, барий ва магний оксидлари киради. Радио сополга пластик қўшимча сифатида тупроқ қўшилади. У шишасимон фаза ҳосил қилиши билан бирга махсулот ишлаб чиқаришни енгиллаштиради.

Сопол ишлаб чиқариш жараёни ишлатиладиган бирикмаларнинг таркибига, шишасимон фазанинг миқдори, материалга қўйиладиган талабларга боғлиқдир. Таркибда тупроқ бўлган сопол пластик бўлади. Кристалли ва таркибда тупроқ

бўлмаган сопол эса нопластик бўлади. Пластик сопол ишлаб чиқариш жараёни хом ашёни тайёрлаш (майдалаш, ўлчаш, бирикмаларни аралаштириш, қуритиш), маҳсулотни қолип-лаш ва пиширишдан иборат.

Пластик бўлмаган сопол хоссаларни барқарорлаштириш ва чўкишини камайтириш мақсадида уни пишириш икки босқичда (дастлабки ва охириги ҳолатларида) ўтказилади. Шу сабабли, сопол ишлаб чиқариш қуйидаги кетма-кетликда бажарилади: 1. Хом ашёни тайёрлаш жараёни (ўлчаш, майдалаш, бирикмаларни аралаштириш, улардан брикет тайёрлаш). 2. Брикетларни дастлабки пишириш. 3. Брикетларни майдалаш, унга пластификатор (парафин, елим) қўшиш. 4. Деталларни қолиплаш. 5. Сўнгги босқичдаги пишириш.

Энг муҳим босқичларга дастлабки ва охириги босқичдаги пишириш ишлари киради. Дастлабки пиширишда асосий жараёнлар содир бўлади ва маҳсулот ҳажми ўзгаради (кичраяди). Бу эса охириги босқичдаги пиширишда маҳсулотни аниқ ўлчам ва керакли шаклда олиш имконини яратади. Ишлов бериш жараёнида маълум кристалл панжараларда кимёвий бирикиш содир бўлади ва бунда материалнинг ҳажми кичраяди. Маҳсулот бўш ва вақтинча боғланган заррачалардан шаклланади ва анча ғовақликка (30—50%) эга бўлади. Охириги босқичдаги пиширишда сополга юқори температурада ишлов берилиб, у зичлашади ва механик мустаҳкамлиги бирмунча ортади.

Пишириш тезлиги заррачалар диаметрига тескари пропорционалдир. Шу сабабли, пиширишни тезлатиш мақсадида сопол жуда майин (зарра диаметри 1—3 мкм) қилиб тайёрланиши керак. Сополни пишириш мураккаб жараён бўлиб, бунда бўшлиқлар тортилиши билан биргаликда пишишни секинлатадиган сабаблар (бўшлиқда ҳосил бўладиган газлар) ҳам келиб чиқади.

Суюқ фазадаги пиширилиш таркибига тупроқ қўшилган сополларга тааллуқлидир. Суюқ фазадаги пиширилиш икки ҳолатда, яъни қаттиқ ва суюқ фазаларнинг ўзаро таъсирсиз ҳамда мазкур фазаларнинг ўзаро таъсири остида кечади. Биринчи ҳолда юқори ҳароратли ишлов жараёнида кристалларни бириктирувчи суюқ фазада қовушоқ ва пластик оқим ҳосил бўлади ва сопол зичлашади. Фазалар чегарасидаги сирт тарағлиқ кучи қанча юқори бўлса, зичлашиш шиддати шунча тезлашади. Бунда зарра ўлчамлари кичикроқ ва шишасимон фаза қовушоқлиги пастроқ бўлиши катта аҳамиятга эгадир. Иккинчи ҳолда сополни пишириш жараёни қаттиқ фазанинг инсбатаи суюқроқ фаза билан ўзаро таъсирлашиши натижасида юзага келади. Бунда биринчи босқичда суюқ фаза ҳосил бўлади, тортилиши кучи таъсирида зарралар ўзаро яқинлашиб, бутун бирикма зичлашади. Температура ошира борилса, қаттиқ фазанинг майда заррачали қисмида эриш жараёни содир бўлади. Эритма тўйиниши натижасида унда кристалланиш рўй беради. Чўкувчан кристаллар каттароқ ўлчамга эга бўлади,

полнинг электр кучланиши таъсирда тешиллиги иссиқлик, кимёвий ва ионлашни турларига бўлинади. Сополнинг электр мустаҳкамлиги 20—25 МВ/м. Сополнинг вянлиги (2300—4000 кг/м³) унинг механик мустаҳкамлигига, пишириш температураси ва кристалл фази турига қараб кучли равишда ўзгаради. Унинг чизиқли кенгайиш коэффициенти (4—7) 10⁻⁶ град⁻¹ оралиқда бўлади. Урнатилувчи буюмларда ишлатиладиган сопол материаллида $\epsilon_r = 6 \div 10$ бўлиб, механик мустаҳкамлик $\sigma_{\text{сис}} \approx 40\text{—}200$ МПа ни ташкил этади. Ундан, асосан, индуктив 'галтак' қобити, ўзгарувчан сизимли ҳаво конденсаторининг ўзаги, лампа платалари, босма схема асоси, қаршилиқлар ва ҳокказоларни тайёрлашда фойдаланилади. Мазкур турдаги сопол зич ва 'говаксимон' бўлади. Бу сопол яхши диэлектрик ва механик хоссаларга эга бўлиши керак. Урнатилувчи буюмларда ишлатилувчи урнатилувчи сополлар таркиби жиҳатидан $\text{BaO} \text{—} \text{Al}_2\text{O}_3 \text{—} \text{SiO}_2$, $\text{MgO} \text{—} \text{Al}_2\text{O}_3 \text{—} \text{SiO}_2$ каби системалардан иборатдир. Алюминийликка сополи $\text{BaO} \text{—} \text{Al}_2\text{O}_3 \text{—} \text{SiO}_2$ системасининг кристалл асоси сифатида қорунд (Al_2O_3) ва муллит $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ олинади. Сопол таркибида Al_2O_3 қанча кўп бўлса, унинг механик мустаҳкамлиги ва ички қатламчилиги, диэлектрик хоссалари шунча юқори бўлади. Алүминоксид майда донадор (2—3 мкм) структурали, пластик бўлмаган абразив материалдир. У ламдаларнинг диэлектрик қисмида, босма схема асосларида, двнасвеча ва ҳокказоларда қўлланилади.

Ультрачиқининг диэлектрик, иссиқлик ва механик хоссалари юқоридир. Ультрачиқин таркибида Al_2O_3 (35—80%) миқдори қанча кўп бўлса, у хоссалари жиҳатидан алүминоксид сополига яқинлаша боради. Ультрачиқиннинг илширилиши температураси 1350—1400°С.

Радиочиқин таркибидаги материалнинг юқори даражада пластик бўлишини таъминлайди. Al_2O_3 ва ош тузроқ миқдори материалнинг юқори даражада пластик бўлишини таъминлайди. Унинг пиширилиш температураси 1280—1320°С. Радиочиқиннинг турли хил деталлар тайёрланади.

Кордиерит — диэлектрик исрофи юқори ва чизиқли кенгайиш коэффициенти кичик (1—2) 10⁻⁶ град⁻¹ ҳамда ёй разряд таъсирига чидамли материал бўлиб, ундан иссиққа бардошли маҳсулотлар, разряд сундирувчи себоблар ва ҳокказолар тайёрлашда фойдаланилади.

Конденсатор сополи учун ϵ_r юқори қийматга эга бўлиши кераклиги сабабли, унинг кристали асосида рутил, титанат, цитронат миқдорли металл станнатлари қўлланилади.

Юқори частотали конденсатор сополи вазифасига кура қуйидаги турларга бўлинади: 1) ўзгарувчан сизимли конденсатор сополи ($\epsilon_r = 150 \text{—} 230$; $\text{TK}_\epsilon = (1.3 \cdot 10^3 \text{—} 1400) \cdot 10^{-6}$ град⁻¹); 2) термокомпенсаторли конденсатор сополи ($\epsilon_r = 35 \text{—} 95$; $\text{TK}_\epsilon = (750 \text{—} 150) \cdot 10^{-6}$ град⁻¹); 3) термостабил конденсатор сополи ($\epsilon_r = 12 \text{—} 48$; $\text{TK}_\epsilon = (-75 \text{—} -33) \cdot 10^{-6}$ град⁻¹).

Конденсаторнинг вазифасига қараб унинг конструкцияси турлича бўлиши мумкин. Улар газсимон, диэлектрикки (ҳаволи, газ тўлатилган, вакуумли), қаттиқ аорганик диэлектрик материалли (слюдали, шишали, сополли, шиша эмалли, шиша сополли), қаттиқ органик диэлектрик материалли (қоғозли, лавсан, полистирол, полипропилен, фторпласт-пардали ва ҳоказо) ва оксид изоляцияли (алюминий ёки тантал оксидли, металл оксидли) турларга бўлинади.

Электродлар турига кўра конденсаторлар металлштирилган диэлектрик ва варақсимон электрод турларига бўлинади.

Конденсатор маркалари ҳарф ва рақамлар билан белгиланади. Биринчи ҳарф К—ўзгармас сифимли, КТ—созланадиган, КП—ўзгарувчан, КН—ночиқиқли конденсаторларни билдиради. Кейинги икки рақам диэлектрик турини: 10—паст кучланишли сопол; 15—юқори кучланишли сопол; 21—шиша-симон сополни англатади. Ундан кейинги ҳарфлар конденсаторнинг қўлланилиш соҳасини ифодалайди: П—ўзгарувчан ва ўзгармас ток занжирида; Ч—ўзгарувчан ток занжирида; И—импульсли шаронгта; У—ўзгарувчан, ўзгармас ток занжирларида ва импульсли шаронгта.

Ситаллар

Ситаллар кристалл структурали аорганик материал бўлиб, махсус таркибли шишани кристаллаш орқали оливади («ситалл» сўзи «силикат» ва «кристалл» сўзларининг қисқартмасидан иборат. Ситаллнинг кристалл фазаси тайёрланиш шаронгтига қараб 90—95% ни ташкил этади. Бунда кристалл ўлчамлари 1—2 мкм дан ортмайди.

Кристалл фазали сополдан фаркли ўлароқ ситалл шиша қотишмаларидан ҳосил бўлади ва майда донадор (кристалл ўлчами 1 мкм, сополникида эса 20—25 мкм) таркибга эга бўлиб, материя ҳажмида ҳаво бўшлиқлари бўлмайди. Ситаллдан маҳсулот ишлаб чиқариш усуллари худди шишаники каби бўлади. Ситалл олиш учун арзон бўлган тоғ жинслари, шлак каби хом ашёлар талаб этилади. Куйидаги таркибли ситаллар энг кўп тарқалган:

- 1) литий-алюмосиликатли ($\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$);
- 2) магний-алюмосиликатли ($\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$);
- 3) литий-рух-силикатли ($\text{Li}_2\text{O}-\text{ZnO}-\text{SiO}_2$);
- 4) литий-магний-силикатли ($\text{Li}_2\text{O}-\text{MgO}-\text{SiO}_2$) ва бошқалар.

Ситалл тайёрлаш учун, кўпинча, икки кўринишдаги катализаторлар — ишқорлар ва ишқорий-ер металлларнинг сульфидлари, фторидлари, ёругликка сезгир металллардан (мис, кумуш, платина, олтин) фойдаланилади. 800—900°C да катализаторли шиша эртмасидан деталлар тайёрланади ва улар маълум температурагача кескин совитилади. Сунгра деталлар юмшаш температураси (500—540°C) гача қиздирилади. Бу жараён шишанинг кристалланган марказларини диффузия ҳисо-

бига коллоид ўлчамларигача йириклаштиради ва шишанинг асосий қисмида кристалланиш бошланади. Қаттиқ кристалл ланжара ҳосил бўлгандан сўнг иссиқликни аста-секин ошириш орқали шишада тўлиқ кристалланиш ($800\text{--}1000^\circ\text{C}$ да) амалга оширилади. Бунда деталларнинг деформацияланишига йўл қўйилмайди. Сўнггра улар хона температураси (20°C) гача совитилади. Агар шиша таркибида мис, кумуш, олтин, платина элементлари катализатор сифатида қўлланилса, эритмани кескин совитиш мобайнида бу металллар бир текис тарқалган нон ва атомлар ҳолатида бўлади. Келтирилган металл зарралари ҳажм бўйича текис тарқалишини осонлаштириш мақсадида, уларга ишлатишдан аввал УВ ёки рентген нурларида ишлов берилади. Суюқ шишадан деталлар тайёрланиб, уларга иссиқлик таъсирида ишлов берилади. Юқорида келтирилган усулда тайёрланган ситаллар фотоситаллар дейилади.

Юқори температура ва частоталарда ситаллнинг $\text{tg } \delta$ қиймати кичик бўлиб, ундан электр изоляторлари тайёрланади. Диэлектрик хоссалари жиҳатидан ситаллар яхши сопол материалларига яқин туради. Ситаллнинг электр ўтказувчанлиги материал кристалл асосининг турига боғлиқ бўлади. Кристалланиш даражаси юқори бўлган ситалларнинг электр ўтказувчанлиги паст бўлади. Бу, асосан, кристалланиш мобайнида ионлар силжишининг пасайиши билан тушунтирилади. $20\text{--}400^\circ\text{C}$ оралиғида ситаллнинг солиштирама ҳажмий қаршилиги шишанинг ҳажмий қаршилигидан $10^2\text{--}10^4$ мартаба юқори бўлади. Ситалл таркибига икки валентли металл оксидлари (Ca , BaO ва ҳоказо) киритилса, δ қиймати $2\text{--}2,5$ марта ортади, $\text{tg } \delta$ қиймати эса 2 марта камаяди.

Ситаллнинг диэлектрик сингдирувчанлиги $5\text{--}10$ га тенг. Агар ситалл таркибида сегнетоэлектрик фаза (татанат, ниобий) мавжуд бўлса, ϵ қиймати 2000 гача кўтарилади.

Ситаллнинг $\text{tg } \delta$ қиймати частота ўзгаришига деярли боғлиқ эмас. Ўзгарувчан электр майдони таъсирида бўлган ситаллдаги энергия исрофлари электр ўтказувчанлик ва ион-релаксация кутбланиши ҳисобига содир бўлади. Диэлектрик исрофлар материалнинг шишасимон фазасида содир бўлгани сабабли, унинг таркибидаги ишқорли металл ионларининг миқдори камайтирилиши керак. Ситаллда энергия исрофи шишага нисбатан камроқ бўлади. Ситалл $\text{tg } \delta$ қийматининг частотага нисбатан ўзгариши ион-релаксация кутбланиши ҳисобига содир бўлади. Температура кўтарилиши билан ситаллнинг $\text{tg } \delta$ қиймати, электр ўтказувчанлик кўпайиши ҳисобига ортади.

Ситалл тузилиш жиҳатидан зич материал бўлиб, унинг таркибида ҳаво бўшлиқлари йўқ. Унинг электр мустаҳкамлиги шиша ва чинчиларнинг электр мустаҳкамлигидан юқоридир.

Ситаллнинг солиштирама оғирлиги $2420\text{--}5700 \text{ кг/м}^3$ оралиғида бўлади. Ситаллнинг таркиби майда заррачалардан иборат бўлгани учун у юқори даражали газ ўтказмаслик ва механик мустаҳкамликка эга бўлади. Ситалл юзаси текис бўлиб,

Мусковит	$10^{12} - 10^{16}$	6 - 8	150	25	3
Флогопит	$10^{16} - 10^{17}$	6 - 7	50	15	15

ва температура кучли тивизир элади. Агар мусковит 300°C гача қиздирилса, исқийматини бузиб, бирикчи ҳолатида $10^3 - 10^5$ баробар, флогопит 100% ми вағликлда узок ушланса, бу қиймат $10^3 - 10^5$ баробар пасайиб кетади.

Слюданинг кутбланиши, асосан, йонли бўлади. Иссиқлик унказувчанлик коэффицентини мусковитда 10^{-4} Вт/м 2 К 2 флогопитда $0,51$ Вт/м 2 К 2 ни. Слюданинг эвинлиги $2700 - 2900$ дт/м 3 , олиштирма иссиқлик сиғими $0,87$ г Кж/кг $^{\circ}\text{C}$. Софл мусковитнинг диэлектрик исрофи жуда кичик бўлиб, унқаридан кейинги ўрнини эгаллайди. Слюда экинчидан исроф қилувчи диэлектрик материалда, жойлаштирилган слюданинг электр мустаҳкамлиги анча юқори бўлади, шунинчи слуда мусковитда $E \leq 700$ МВ/м, флогопитда $E \leq 300$ МВ/м ни ташиил элади. Слюда қатлами лувачи буйлаб, электр мустаҳкамлик жуда паст $E_1 = 1 \div 2$ МВ/м қийматга тенг бўлган сабабли, бу минерал қўлланлишида электр майдон материал юзасига тик йуналтирилади. Тоза слуданинг электр мустаҳкамлиги температура узгарнишига (700°C гача) деярли боғлиқ эмас. Слюданинг эриш температураси $1145 \div 1400^{\circ}\text{C}$ адропида бўлиб, мажур минералининг сувсизланиши мусковитда $200 - 600^{\circ}\text{C}$, флогопитда эса $800 \div 900^{\circ}\text{C}$ да руй беради.

Слюда қайта ишланиб, ундан қуйидаги материаллар ишлаб чиқарилади:

Миканит, миканитли тасма (микатасма), микафолй. Уларни тайёрлаш учун қалинлиги $5 \div 45$ мкм ди слюда ишлатилиб, уларнинг юзаси $4 \div 6$ см 2 дан $50 \div 65$ см 2 гача узгартирилади.

Миканит — варақсимон слюдали материал бўлиб, у уз навбатида органик (глифтал) лок ёки анорганик боғловчи модда (эрувчан шиша) ёрдамида тайёрланади. Миканит, асосан, коллекторли (электр машина коллекторларида), куйма (электр машина коллектор конусида), эгилувчан (электр машина изоляциясида) ва қизтирмалли турларга булинади.

Микатасма — маҳсус икки қатлам қоғоз орасида жойлаштирилган слюдали материалдир. Қоғоз ўрнига бир томонлама шрий ёки икки томонлама шиша туқимаси ишлатилиши ҳам мумкин. Бу материал совуқ ҳолатда эгилувчан бўлиб, электр мащинада чулгамларнинг изоляциясида қўлланлади.

Микафолй — қоғоз юзасига бир ёки бир неча слюда қатлами бириктирилиб тайёрланади. У қизитилганда қуйилувчан ҳоёсага эга бўлиб, қайта совитилганда ўз тузилишини сақлаб қолади. Микафолйдан найсимон қаттиқ маҳсудот олишда ва электр мащинасида изоляциясида фойдаланилади.

Слюдинит — мусковит чиқиндиларидан олиниб, унга асосан, боғловчисиз слюдали қоғоз 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 кукуни киритиш орқали олинган маҳсулотдир. У механик мустаҳкамлиги, иссиққа чидамлилиги, $tg \delta$ 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 ўринини фтор ионлари эгаллайди. Синтетик слюданинг энг кўп тарқалган турларидан бири фторфлогопитдир. Мазкур слюда турли таъсирлар (песиқлик, намлик)га бардошлидир. Фторфлогопитнинг диэлектрик хоссалари жуда яхши бўлиб, унинг ϵ ва E , қийматлари бошқа диэлектрикларга нисбатан юқориқдир.

Слюдали чинни фторфлогопит кукунига боғловчи бўлган ортофосфат кислота қўшиб пишириб олинади. Бу материал говаксимон бўлгани сабабли (нам ютиш даражаси 1,0—1,5%) шиша фазали қўшимчалар киритиш натижасида материалнинг говаклиги камайтиради. Слюдали чинни ўзининг диэлектрик хоссалари жиҳатидан оддий материалларга яқин бўлиши билан бирга, чинни материалларга нисбатан иссиқлик зарбасига (700°C) ўта чидамлилиги билан фарқланади. Унинг $TК_1$ коэффициентни температурага боғлиқ бўлмай, қиймат жиҳатидан пўлатнинг $TК_1$ коэффициентига яқиндир. Слюдали чиннига механик ишлов бериш мумкин. Бу материалнинг асосий хоссалари: $tg \delta = (3 \div 5) \cdot 10^{-1}$; $\epsilon_r = 6-7$; $\tau = 10$ МВ/м; $\rho = 10^{14}$ Ом м (100°C да); иссиққа чидамлилиги 770°C . $W = 0,6-1,5\%$, зичлиги $2600 \div 2800$ кг/м³ ва $\alpha_r = 8,5 \cdot 10^{-7}$ 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 эритган слюда кристаллари ва хоссаи ўзгартirilган янги шишадан ташкил топган. Бунда слюда шиша билан бирга эритилади. Новомикалекс ва ми-

калексинг диэлектрик хоссалари қуйидагича: $\epsilon_r = 6-9$; $\operatorname{tg} \delta = 8 \cdot 10^{-7}$; $\rho = 10^{12}$ Ом·м; $t = 150^\circ\text{C}$; $E_t = 20$ МВ/м, зичлиги 2800 кг/м³; иш температураси -350°C , $W = 0,0006\%$, $\sigma_{\text{г}} = 70 \div 140$ МПа га тенг. Новомикалекс металл (ковар, титан, тантал, махсус пулат) билан яхши бирикади, шу билан бирга унга механик ишлов бериш мумкин. Ундан юқори частотали изоляция материалли сифатида босма схемаларда, вакуум ва электрон асбобларда, атом ускуналаринда, самолёт антенналарида фойдаланилади.

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

Асбест

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

Асбест юқори температурага чидамли бўлиб, 1150°C дан юқори температурадагина суюқланади. Унинг чузилишга бўлган мустаҳкамлиги $30-40$ 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 исбатан паст бўлганлиги сабабли, бу материал юқори кучланиш ва катта частоталарда қўлланилмайди. Шунга қарамай, асбест электротехникада кенг миқёсда ишлатилади. Мазкур материалдан тўқима, тасма, мато, қоғоз ва бошқа кўринишдаги маҳсулотлар тайёрланади. Асбестдан тайёрланган материаллар органик толали материалларга исбатан анча қалин ва каттик бўлади. Масалан, асбест тасмаларининг қалинлиги $0,4-0,5$ мм, эни $25-30$ мм, асбест газлачасининг қалинлиги $15-29$ мм, қоғозининг қалинлиги эса $0,2-1,0$ мм да олинади.

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

фойдаланилади. Асбест коғози ва газламаларидан қатламли пластиклар (асбогетинакс ва асбогетстолитлар) тайёрланади.

Цементли асбест совуқ ҳолда прессланган анорганик бирикмали қаттиқ материал бўлиб, бунда тўлдирувчи сифатида асбест, боғловчи модда ўрнида эса цемент ишлатилади. Цемент билан асбест аралашмасига сув қўйиб тайёрланган масса прессланади. Сув таъсирида цемент қотиқи 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, чакмоқ ва ёй разрядларига бардошли булгани сабабли ундан тақсимловчи шчит ёй разряди учирадиган камеранинг деворлари ва түсиклар тайёрланади. Цементли асбест маҳсулотларига механик ишлов бериб қуритилгандан сунг, мойга ботириш орқали уларнинг намга чидамлилиги оширилади. Сунгра жисм юқори температурада ушлаб турилиб, таркибидаги мой қуритилади. Шундай қилиб, бу материалнинг гигроскоплиги кескин пасайтирилади.

Анорганик диэлектрик пардалар

Электротехникада аксарият металл ёки ярим ўтказгичлар юзаси иссиққа бардошли юққа диэлектрик пардалар билан қопланади. Бу пардалар юзага вакуумда буғлатиш ёки бошқа кимёвий усулларда ҳам қопланади. Кўпинча, алюминий юзасида унинг оксид пардаси ҳосил қилинади. Бу парда юқори электр мустаҳкамликка эга. Алюминий оксиддан иборат изоляция алюминийни электр-кимёвий (анодли) ишлов бериш орқали ҳосил қилинади. Бу, асосан, электролитга идишга иккита алюминийли электродни тушириб, уларга кучланиш бериш билан амалга оширилади. Олинмиш усули, хосаси ва қўлланиши жиҳатидан алюминий оксиддан иборат пардалар икки синфга бўлинади. Биринчи синфга мансуб диэлектрик парда юққа (2 мкм) бўлиб, зичлиги 3200 кг/м^3 ни, иккинчи синфга мансуб диэлектрик парда эса ғоваксимон бўлиб, зичлиги 2500 кг/м^3 ни ташкил этади. Ғоваксимон парда фанат электр изоляция қопламасидагина эмас, балки коррозияга қарши қопламалар учун ҳам қўлланилади. Иккинчи синфга тегишли оксид парда кучли электролитларда электр-кимёвий оксидлан усулида олинади. Бу жараён анодирлаш/деб аталади. Бунда сирти яхшилаб тозаланган металл сым электролитли ванна орқали ўтказилади. Алюминий оксидли изоляция иссиққа чидамлилигининг S_{11} туркумига эга бўлиб, эриш температураси (2070°C) жуда юқоридир.

Оксидланган алюминий сымидан ток зичлиги катта бўлган ғалтаклар тайёрлашда фойдаланилади. Оксид парданинг юққа бўлиши иссиқлик тарқалишини енгилдаштиради.

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

ўзига нам сингдирмайди. Механик жиҳатдан софлиги уни акустик-оптик филтрларда қўллаш имконини беради. Бу сопол намуналар икки босқичли пишириш технологиясига асосан ишлаб чиқарилади. Кадмий пирониобати ($\text{Cd}_2\text{Nb}_2\text{O}_7$) бир неча фазовий ўтишга эга бўлиб, унда температура 1,2 К гача диэлектрик гистерезис ҳалқаси кузатилади. Оддий температура (20°C) да диэлектрик сингдирувчанлиги $\epsilon_r = 10000-1500$, Кюри температураси -80°C га тенг бўлади.

Стронций пиротанталат ($\text{Sr}_2\text{Ta}_2\text{O}_7$) нинг диэлектрик сингдирувчанлиги 20°C да $\epsilon_r = 100-120$, совитилганда ($-54-84^\circ\text{C}$) бу қиймат 170 гача ортади. Стронций танталати асосидаги қаттиқ қотишма юқори Кюри нуқтасига (1300°C) эга бўлган сегнетоэлектрик бўлиб, яхши электр-оптик хоссага ва лазерли оптик нурланиш таъсирига чидамлилиги билан ажралиб туради.

Гадолиний молибдати $[\text{Gd}(\text{MoO}_4)_3]$ нинг диэлектрик сингдирувчанлиги $\epsilon_r = 10$, ўз-ўзидан қутбланиши $0,17$ мкКл/см² га, монокристалда ($\text{Pb}_5\text{Ge}_3\text{O}_{11}$) нинг чегараси жуда кенгдир. Уларда Кюри температураси $120-130^\circ\text{C}$ дан абсолют нолгача чизиқли ўзгаришга эга бўлади. Барий титанати ва қурғоғинини асосидаги сегнетоэлектрикларда Кюри нуқтаси $120-490^\circ\text{C}$ га тенг бўлиб, улар юқори диэлектрик исрофи ва кичик солиштирма каршилликка эга. Улардан олинган маҳсулотлар турли кўриниш ҳамда ўлчамли бўлади.

Чизиқли бўлмаган сегнет сополли материаллар икки хил бўлади: диэлектрик сингдирувчанлиги электр майдон кучланганлигига кескин боғлиқ бўлган (улардан чизиқли бўлмаган конденсатор — вариконд ясалади) ҳамда диэлектрик сингдирувчанлиги температурага кескин боғлиқ бўлган. Иккинчи турдаги сегнетоэлектриклардан температурага сезгир конденсатор (термоконденсатор) лар ишлаб чиқарилади. Вариконд тайёрлаш учун нозичли 9 хил сегнет сополи (ВК-1, ... , ВК-9 навли) қўлланилади. Уларнинг таркиби ва ишлаб чиқарилиши турлича бўлади. Масалан, кучли электр майдонда ВК-1 материалнинг диэлектрик сингдирувчанлиги $\epsilon_r = 10^5$, ВК-2 ники $\epsilon_r = 5 \cdot 10^4$. ВК-2, ВК-4 материалдан вариконд тайёрланади. Донрасмон нозичли бўлмаган конденсатор сизими 10 пФ дан 0,22 мкФ гача оралиқда тайёрланади.

Электрон соатда, кварц резанаторларини барқарорлашда, юқори баландликда атмосфера температурасини текширишда, нефть-газ саноатида чуқурликни ўрганишда термоконденсаторлар кенг қўлланилади.

Пьезоэлектриклар

Баъзи кристалларга механик кучланиш таъсир эттирилганда электростатик зарядлар юзага келади ва бу зарядлар ўз ишорасини кучланишига нисбатан ўзгартиради. Бунда заряд миқдори кучланишга тўғри пропорционал бўлиб, кучланиш олинганда заряд ҳам йўқолади. Механик кучланиш таъ-

сирида диэлектрик сиртида ҳосил бўладиган электростатик заряд ва унинг ичида вужудга келадиган электр қутбланишга пьезоэлектриклик ҳодисаси дейилади.

Кристаллардаги эластик деформация натижасида мусбат ва манфий зарядлар оғирлик маркази томон силжийди ва пьезоэлектриклик содир бўлади. Механик кучланиш таъсирида содир бўладиган пьезоэффект тенгламаси:

$$P_i = d_{ik} \cdot T_k$$

бунда P_i — қутбланишнинг вектор компоненти; d_{ik} — пьезомодуль; T_k — механик кучланиш компоненти.

Пьезоэффектнинг тескари тенгламаси:

$$\chi_l = d_{lk} E_k$$

бунда χ_l — эластик деформация коэффициент; E_k — электр майдон қўлланганлиги.

Пьезоэлектрикнинг қайишқоқлик хоссаси қайишқоқлик модули (Юнг модули) ёки қайишқоқлик доимийси (S) билан ифодаланади. Ҳозирги пайтда пьезоэлектрик хоссага эга 500 дан ортиқ модда мавжуд бўлиб, шулардан баъзиларигина амалда қўлланилмоқда.

Кварц табиатда кенг тарқалган минерал бўлиб, 573°C дан паст температурада кристалланади. У кимёвий жиҳатдан чидамли, қаттиқ минералдир. Ҳозирги пайтда сунъий кварц кремний икки оксидига тўйинган ишқорли эритма таъсир эттириб, юқори температура ва босим остида автоклавда тайёрланади.

Кварцнинг хоссалари: зичлиги 2650 кг/м^3 , қаттиқлиги (Моос устунда) 7, солиштирма иссиқлик сиғими $732 \text{ Ж/кг} \cdot \text{К}$, синдириш кўрсаткичи $n_0 = 1,5442$, диэлектрик исроф бурчагининг тангенси $2 \cdot 10^{-4}$; $\epsilon_r = 4,5$, солиштирма қаршилиги $2 \cdot 10^{14} \text{ Ом} \cdot \text{м}$, қайишқоқлик модули $(0,77-1,01) \cdot 10^{11} \text{ Па}$. Кварцнинг пьезоэлектриклик хоссасидан радиотўлқинларни барқарорлаштириш ва филтрлашда, ультратовуш тўлқинини генерациялашда ва механик катталикларни улчашда фойдаланилади. Мазкур кристалл олмос билан кесилади, абразив кукун ёрдамида юзаси сайқалланади.

Пьезоэлектрик сопол ультратовуш тўлқинларини тарқатиш ва қабул қилишда кенг қўлланилади. Мазкур материал асосида тайёрланган маҳсулот кучли ўзгармас электр майдони таъсирида қутбланади. Пьезоэлектрик доимийлик қиймати электр майдон кучланганлиги, температура билан аниқланади. Турли материаллар ўзининг оптимал қутбланиш тартибига эга. Пьезоэлектрик сопол материаллари турли навларга (таркиби бўйича) ва функционал гурппаларга бўлинади. Чунончи, бириинчи функционал гурппага механик тебранишларни тарқатадиган ёки қабул қиладиган сезгир пьезоэлемент, иккинчисига кучли электр майдони ёки юқори механик кучланиш шароитида ишлайдиган пьезоэлементлар, учинчисига резонанс частоталарда температура ва вақтга нисбатан барқарор хоссага эга пьезоэлектриклар киртади.



сирида диэлектрик сиртида ҳосил бўладиган электростатик заряд ва унинг ичнда вужудга келадиган электр қутбланишга пьезоэлектриклик ҳодисаси дейилади.

Кристаллардаги эластик деформация натижасида мусбат ва манфий зарядлар оғирлик маркази томон силжийди ва пьезоэлектриклик содир бўлади. Механик кучланиш таъсирида содир бўладиган пьезоэффект тенгламаси:

$$P_i = d_{ik} \cdot T_k$$

бунда P_i — қутбланишнинг вектор компоненти; d_{ik} — пьезомодуль; T_k — механик кучланиш компоненти.

Пьезоэффектнинг тескари тенгламаси:

$$\chi_l = d_{lk} E_k,$$

бунда χ_l — эластик деформация коэффициенти; E_k — электр майдон қучланганлиги.

Пьезоэлектрикнинг қайишқоқлик хоссаси қайишқоқлик модули (Юнг модули) ёки қайишқоқлик доимийси (S) билан ифодаланади. Ҳозирги пайтда пьезоэлектрик хоссага эга 500 дан ортиқ модда мавжуд булиб, шулардан баъзиларигина амалда қўлланилмоқда.

Кварц табиатда кенг тарқалган минерал булиб, 573°C дан паст температурада кристалланади. У кимёвий жиҳатдан чидамли, қаттиқ минералдир. Ҳозирги пайтда сунъий кварц кремний икки оксидига тўйинган ишқорли эритма таъсир эттириб, юқори температура ва босим остида автоклавда тайёрланади.

Кварцнинг хоссалари: зичлиги 2650 кг/м^3 , қаттиқлиги (Моос устунида) 7, солиштирма иссиқлик сифими $732 \text{ Ж/кг} \cdot \text{К}$, синдириш кўрсаткичи $n_0 = 1,5442$, диэлектрик исроф бурчагининг тангенси $2 \cdot 10^{-4}$; $\epsilon_r = 4,5$, солиштирма қаршилиги $2 \cdot 10^{14} \text{ Ом} \cdot \text{м}$, қайишқоқлик модули $(0,77-1,01) \cdot 10^{11} \text{ Па}$. Кварцнинг пьезоэлектриклик хоссасидан радиотўлқинларни барқарорлаштириш ва филтрлашда, ультратовуш тўлқинини генерациялашда ва механик катталикларни улчашда фойдаланилади. Мазкур кристалл олмос билан кесилади, абразив қуқун ёрдамида юзаси сайқалланади.

Пьезоэлектрик сопол ультратовуш тўлқинларини тарқатиш ва қабул қилишда кенг қўлланилади. Мазкур материал асосида тайёрланган маҳсулот кучли ўзгармас электр майдони таъсирида қутбланади. Пьезоэлектрик доимийлик қиймати электр майдон қучланганлиги, температура билан аниқланади. Турли материаллар ўзининг оптимал қутбланиш тартибига эга. Пьезоэлектрик сопол материаллари турли навларга (таркиби бўйича) ва функционал группаларга бўлинади. Чунончи, биринчи функционал группага механик тебранишларни тарқатадиган ёки қабул қиладиган сезгир пьезоэлемент, иккинчисига кучли электр майдони ёки юқори механик кучланиш шароитида ишлайдиган пьезоэлементлар, учинчисига резонанс частоталарда температура ва вақтга нисбатан барқарор хоссага эга пьезоэлектрик элементлар киртади.

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

2) солиштирма қаршиликнинг температура коэффициенти ($TK\rho$) ёки α

3) иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти (γ_T);

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

5) электронларнинг металлдан чиқиш иши;

6) чўзилишдаги мустаҳкамлик чегараси (σ_r) ва узилиш 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, A/m^2 ; γ — ўтказгич материалнинг солиштирма электр ўтказувчанлиги, $Sm \cdot m$; E — электр майдон кучланганлиги, V/m .

Металлларда солиштирма ўтказувчанлик электр майдони кучланганлигига боғлиқ бўлмайди. Солиштирма ўтказувчанликка тескари катталиқ солиштирма қаршилик ($\rho = 1/\gamma$) дейлиб, қаршилиги R узунлиги l ва ўзгармас кесим юзаси S бўлган ўтказгич учун у қуйидагича ҳисобланади:

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

Металлларнинг классик қонуниятига асосан металл ўтказгичларнинг солиштирма ўтказувчанлиги қуйидагичадир:

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

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

Металларнинг асосий хоссалари

Металларнинг номи	Зичлиги, × 10 ³ кг/м ³	Эриш температураси, °С	Солиштирма иссиқлик си- ғими, Ж/кг·К	Чизиқли кўн- гайиш ТҚ, × 10 ⁶ К ⁻¹	Солиштирма кўришув, м·Ом·м	Эл қитқонлар- нинг қарши- лиқи, Ω	Қайноқ қилиш моделли, ППа
Симоо	13,60	- 38,3	138	61,0	0,958	4,5	—
Цезий	1,87	26,5	234	95,5	0,210	1,9	1,8
Га ллий	5,91	29,7	381	18,0	0,500	—	—
Калий	0,87	63,7	753	80,0	0,0 9	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	3620	—	—	—	4,9
Қалай	7,31	232,0	226	23,0	0,120	4,4	54,0
Кадмий	8,65	321,0	230	30,0	0,076	4,0	62,3
Қурғошин	11,4	320,0	130	29,0	0,210	—	15,7
Рух	7,14	420,0	90	36,0	0,089	—	92,2
Магний	1,74	651,0	1040	26,0	0,045	3,6	44,3
Алюминий	2,7	657,0	922	24,0	0,0 8	4,3	70,8
Барий	3,5	710,0	268	17,0	0,500	—	126
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	0,4	3,9	287
Никель	8,9	1455,0	444	13,0	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	243	12,0	0,110	—	121
Титан	4,5	1724,0	277	8,1	0,480	—	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	19,2
Цирконий	—	1860,0	276	5,1	0,410	3,7	68,4
Иридий	22,5	2350,0	—	—	—	—	5 8
Ниобий	8,57	2410,0	272	7,2	0,110	4,1	100
Молибден	10,2	2620,0	264	5,1	0,057	4,2	29,4
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	4 5
Вольфрам	19,3	3380,0	218	4,4	0,155	4,5	407

Турли хил металллар учун электронларнинг бетартиб пусиқлик ҳаракат тезлиги тахминан бир хилдир. Шу сабабли, солиштирма ўтказувчанлик қиймати электронлар эркин босиб ўтган йўлининг ўртача тезлиги ва ўтказгич материалнинг тузилишига боғлиқ бўлади. Нисбатан тўғри кристалл панжара ли соф металлларнинг солиштирма қаршилиги энг кичик қий- матга эга. Агар металл таркибига қўшимча киритилса, унинг кристалл панжараси деформацияланиб, ρ қийматининг ўси- шига олиб келади.

Температура кўтарилиши натижасида металл ўтказгичдаги заряд элтувчилар сони (озод электронлар концентрацияси) ўзгармай қолади. Лекин кристалл панжара тугунлари тебра- нишининг кучайиши тўғрисида электр майдонини таъсири натижа- сида ҳаракатланаётган озод электронлар тобора кўпроқ тўсиқ-

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

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

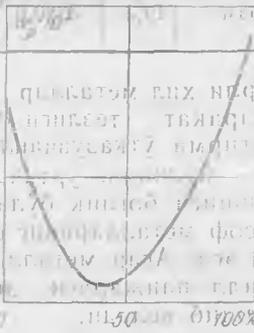
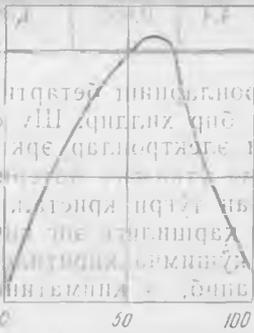
Агар температура кичик оралиқда узгарса, ρ қийматининг температурага боғлиқлиги қуйидагича бўлади:

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

бунда ρ_1, ρ_2 — ўтказувчининг T_1, T_2 температурадаги солиштирма қаршиликларининг қийматлари ($T_2 > T_1$); α_p — солиштирма қаршиликнинг ўртача температура коэффиценти.

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, сунг совитилса, улар кристалланади ва бир металл атомлари иккинчисининг кристалли панжарасига киради. Эгри чизиқнинг юқори қиймати қотишма бирикмаларининг маълум нисбатига тўғри келади. Бу ҳолатда α коэффиценти ҳам маълум қонуният бўйича ўзгаради. α коэффиценти соф металлларда нисбатан юқори бўлади.

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



38-расм. Мис-никель қотишмалари температуранинг қаршиликнинг таркибига боғлиқлиги.

лиштирма ўтказувчанлик қояйдиган ҳолатда металл илосиқ-лик ўтказувчанлик коэффициентининг унинг солиштирма ўтказувчанлигига нисбати $(\frac{1}{\rho} \cdot \frac{1}{\sigma})$ шубҳасиз, ортади. Бу математик тарзда Видеман-Франц-Лоренц қонуни билан ифодаланади:

бу формулада T — термодинамик температура; K ; ρ_0 — Лоренц сони.

Агарда $\rho = 1,38 \cdot 10^{-8} \text{ Ж/К}$, $l = 1,6 \cdot 10^{-10} \text{ К}$ қийматлари (47) формулага қўйсақ, $L_0 = 2,45 \cdot 10^{-10} \text{ В}^2/\text{К}^2$ эканлиги келиб чиқади. Видеман-Франц-Лоренц қонуни ажасрийат металллар (марганец ва бериллийдан ташқари) учун тааллуқлидир. Нормал температурада алюминий учун $L_0 = 2,1 \cdot 10^{-10}$ мумуш учун $2,35 \cdot 10^{-10}$ рух учун $2,45 \cdot 10^{-10}$ қўрғош ва қалай учун $2,5 \cdot 10^{-10}$ платина учун $26 \cdot 10^{-10}$ темир учун $2,9 \cdot 10^{-10}$ $\text{В}^2/\text{К}^2$ 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:

$$U_{AB} = U_B - U_A + \frac{kT}{e} \ln \frac{n_A}{n_B}$$

бунда U_A, U_B — бир-бирига туташган металлларнинг потенциаллари; n_A, n_B — А ва В металллардаги электронлар концентрацияси; k — Больцман доимийси; e — электрон зарядининг абсолют қиймати. Турли икки хил металл ёки қотишма симларидан ташқил топган ва бир-бирга уч қисмидан найвандлаш натижасида олинган сим термопара дейилади ва у, асосан, муҳит температурасини улчашда ишлатилади.

Термопара тайёрлашда ТЭОК катта ва барқарор симлар қўлланади.

Ўтказгичларнинг чизиқли кенгайиш коэффициентини бир-бирга бириктириладиган турли материаллар, вакуумли ускуналарда утқанадиган қисмларни зичлаштириш керак бўлади. Ўтказгичларнинг электр қаршиллигининг температура коэффициентини ҳисоблашда ҳам мазкур коэффициентдан фойдаланилади:

$$\alpha_{TKR} = \alpha_R = \alpha_0 + \alpha_1 T + \alpha_2 T^2$$

Нормал температурада осон эрувчан металлларда α_0 қиймати нисбатан юқори бўлади.

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 ($\rho = 0,016 \text{ мкОм} \times \text{см}$) металлдир. Кумушнинг оксидланишга чидамлилиги юқоридир. Кумушнинг нархи юқори бўлгани сабабли ундаи фақат ноиллож 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 «Электротитик» 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 шароитдаги солиштирма ўтказувчанлиги 58 мкСм/м, яъни $\rho = 0,017241 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$ бўлиши керак.

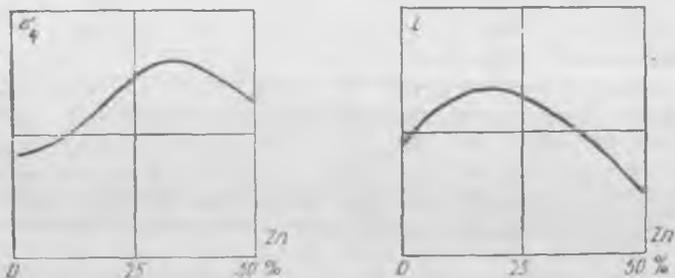
Саноат шароитида мис сим ишлаб чиқариш жараёнида қаттиқ мис (МТ) учун $\rho \approx 0,0178 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$, юмшоғи (ММ) учун $\rho \approx 0,0175 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$ қилиб олинган. Ушбу симнинг механик хоссалари 16-жадвалда келтирилган.

16-жадвал

Курсаткич	Мис		Алюминий	
	МГ	ММ	АТ	АМ
Чузилишдаги мустаҳкамлик, МПа	250 — 500	200 — 280	100 — 170	80
Нисбий узайиши, %	0,5 — 2,5	18 — 35	0,5 — 2,0	10 — 25
Солиштирма қаршилиги, мкОм · м	0,0179 — 0,0182	0,0174	0,0283	0,0280
Статик қайишқоқлик модули, ГПа	122 — 132	177	72	69

Агар металлнинг σ_s қиймати катта ва $M I$ қиймати кичик бўлса, зарур механик мустаҳкамликни таъминлаш учун материалнинг кесим юзасини кичикроқ олса ҳам бўлади. Тозаланган мис симларни тайёрлашда металлнинг механик хоссалари ҳисобга олинади. Қаттиқ миснинг эгилювчанлик 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)

ристикада асосан рухнинг маълум миқдорида жезнинг σ_c қиймати (а) қаттиқ миснигига тенглашади, nisбий узайиши эса юмшоқ мисниги 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 миснигидан 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 $\sigma_u = 800 \div 1200$ МПа га яқин бўлиб, бу қиймат қаттиқ миснинг қийматидан икки баробар юқоридир. Бериллийли бронза (2,25% Ве) nisбатан эгилувчан бўлиб, унинг σ_c қиймати 1350 МПа гача кўтарилади. Бронзанинг аксарият турларида $\rho = 0,03 \div 0,22$ мкОм·м булади. Кадмийли бронзанинг (0,9÷1,0% Cd) солиштирма қаршилиги 0,019÷0,21 мкОм·м, чўзилишдаги мустаҳкамлиги 650÷700 МПа бўлиб, унинг едирилишга чидамлилиги nisбатан юқоридир. Мазкур турдаги бронза электр тортигич 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 nisбатан 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 ташархи nisбатан 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 кучланиш пўлат, электр кучланиши эса алюминий материаллари

зиммасига тушати. Қоғозли ва пардалли конденсатор таёрлашда изоляция қатламлари брасида 5—10 мкм қалинликда эга юпқа алюминий зарварақлари ишлатилади. Соф алюминийдан (таркибидаги алюминий 99,95÷99,99%) таёрланган зарварақ электротехник 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 ($0,5 \div 0,7\% \text{ Mg}$, $0,5 \div 0,6\% \text{ Si}$, $0,3\% \text{ Fe}$ 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 қаршилик ўзгарувчан ток тарсида янада ортади. Темир (пулат) симларнинг асосан камчилиги коррозияга бўлган чидамлиги шир. Шу сабабли бундай симлар сирти химоя қопламаси (рух пардаси) билан қопланади. Соф темирнинг механик мустаҳкамлиги нисбатан паст бўлганлиги учун, алоқа ва электр ўзаткичларда (кишдок шаронтида) таркибиди $0,1—0,15\%$ углерод тушлишдаги мустаҳкамлиги $700—750 \text{ МПа}$ бўлган юмшоқ пулат ишлатилади. Бундай пулат, асосан, кичик қувватли ҳаво электр ўзаткичларнинг симдари сифатида ишлатилади. П.К.лагдан ўтказувчи материал сифатида трамвай ва электрлаштирилган темир пул (метро) да, рельс куришида фойдаланилади.

Ўтказувчан биметалл (қушметалл) — сиртига бир текис қилиб мис қошланган пулат симдир. Бундай сым таркибидаги мис миқдори $44—45\%$ бўлиб, симнинг солиштирма қаршилиги $0,03 \div 0,04 \text{ мкОм} \cdot \text{га}$ тенг. Биметалл симларнинг ташқи диаметри $1 \div 4 \text{ мм}$, ρ нинг уртача қиймати (симнинг бутун кесми бўйича) $550 \div 700 \text{ МПа}$, $\epsilon = \rho l \approx 21\%$ булади. Бир километр узунликдаги 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 деярли чекензликка интилган ҳолат *ўта ўтказувчанлик* деб, совитилиши натижасида жисмнинг ўта ўтказувчанлик ҳолатига ўтишидаги температура эса ўта ўтказувчанлик ҳолати температураси деб аталади. Бошқача таърифлаганда, ўта ўтказувчанликда (абсолют нолга яқин ($-273^\circ\text{C} =$

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

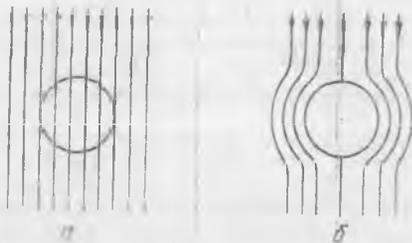
Ўта ўтказувчи материаллар нормал ҳолатдан ўта ўтказувчи ҳолатга ўтишда идеал диамагнетикка айланади, яъни уларнинг нисбий магнит сингдирувчанлиги μ , кескин пасайиб, нолга яқинлашади. Шу сабабли, ташқи магнит майдони ўта ўтказувчан жисмга синга олмайди. Агар жисмнинг ўта ўтказувчанлик ҳолати магнит майдонида 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 ўтказгичларда (антимонид индий, $T_y = 5 \text{ K}$), шунингдек олтингурт ($T_y = 9,7 \text{ K}$) ва ксенонда ($T_y = 6,8 \text{ K}$) ҳам аниқланди.

Ўта ўтказгичлардан ҳажми ва массаси кичик, фойдали иш коэффициенти юқори бўлган электр машинаси, трансформатор ва шу каби қурилмалар, узоқ масофага мўлжалланган катта қувватга эга электр узатгичлар яратишда, шунингдек энергия йиғувчи мосламалар сифатида фойдаланилади.

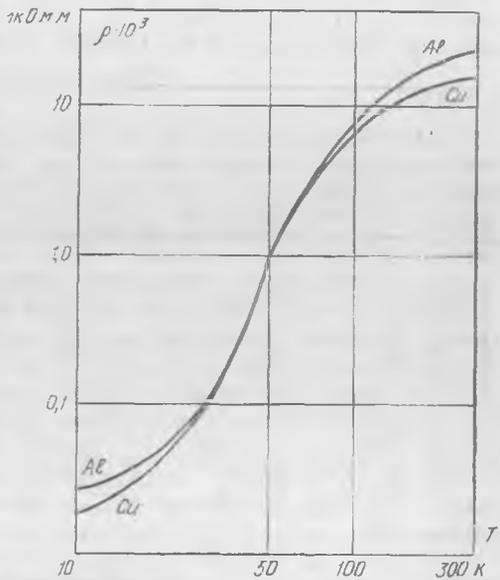
Ҳозирги замон электротехникасида криоўтказувчанлик ҳодисасидан кенг фойдаланилмоқда. Мазкур ҳодиса металллар жуда паст солиштира қаршиликка (криоген температурага) эришганда (ўта ўтказувчанликка ўтмасдан) содир бўлади. Бу хоссага эга металллар *криоўтказгичлар* дейилади. Криоўтказгичларда қиймати ўтказгичларникидан анча кичик, ammo криоўтказгичлар ўзидан оқиб ўтадиган ток оқими зичлигини чеклайди.



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

Криоўтказгичларнинг электр машина, аппарат ва электр ускуналарида қўлланиши ўта ўтказгичларга қарабатаи баъзи усқунликларга эга. Совитувчи мо- да сифатида суюқ водород ёки суюқ азот қўллаш (қиммагбаҳо суюқ гелий ўрнига) электр усқунала- ри иссиқлик изоляциясини соддалаштиради ва сови- тишга сарф бўладиган энер- гияни тежайди.

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



7.4. Турли металллар

44-расм. Криотказгичлар учун ρ қийматининг температурага боғлиқлиги.

Вольфрам — ниҳоятда оғир, қаттиқ, кулранг металлдир.

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

17-жадвал

Софлик даражаси турлича бўлган алюминийнинг солиштирма қаршиликлари нисбатлари

Материалнинг ҳолати	Софлик даражаси, %	$\rho_{300\text{ K}}/\rho_{20\text{ K}}$
Совуқ ҳолатда тортиб тайёрланган сим	99,5	41
Кизитилган ҳолатда тортиб тайёрланган сим	99,5	51
—, —	99,99	690
—, —	99,9975	1100
—, —	99,9992	2400
Ўта тозаланган сим	—	6000

эгилувчанликка эга бўлади. Вольфрамлиқ симнинг қалинлиги камайтирилса, унинг чўзилишга бўлган мустаҳкамлиги 6—8 баравар ортиб, $\sigma_s = 3000\text{—}4000$ МПа га етади. Электр вакуум техникасида вольфрам муҳим материаллардан бири ҳисобланади.

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

Катта узилиш тоқида ишлайдиган контактларни тайерлашда металл-сопол (вольфрам кукунни қўшилган сопол) материалдан фойдаланилади.

Молибден ҳам электр вакуум техникасида ишлатилади. Молибдендан тайерланган 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 — сарик рангли, пластиклиги юқори ($\sigma_s \approx 150$ МПа, $i \approx 40\%$) металлдир. Электротехникада ундан фотоэлемент электродлари учун контакт материаллари ва бошқа максималларда фойдаланилади.

Кумуш — оқ рангли, ялтироқ, нормал температурада оксидлавишга чидамли металлдир. Металлар ичида унинг солиштирма қариқчилиги энг кичик қийматга эга. Кумушдан тайерланган симнинг механик хоссалари: $\sigma_s \approx 200$ МПа, $i \approx 150\%$. Бундай симдан нисбатан кичик токлов контактларини чаққаришда фойдаланилади. Диэлектрик (сопол) лардан электрод сифатида фойдаланиш учун уларнинг сиртига кумуш нарваси юритилади.

Платина — экислорот билан деярли бирикмайдиган, кимёвий жиҳатдан чидамли металлдир. Платинага механик ишлов бериш анча қулай. Унинг механик хоссалари: $\sigma_s \approx 150$ МПа, $i \approx 30\text{—}35\%$. Платинадан, хусусан, юқори температурали термопара тайерлашда, ўлчов асбоблари учун жуда ингичка ($d \approx 1\text{ мм}$) тола олишда фойдаланилади. Платинанинг иридий билан қотишмаси оксидланишга ва т едирилишга чидамли, механик мустаҳкам материал бўлиб, қийматлиги туфайли зарур ҳоллардагина қўлланилади.

Палладий ақсарият хоссалари билан платинага яқин булиб, айрим ҳолларда унинг уришда ишлатилиши ҳам мумкин. Палладийнинг кумуш нис билан қотишмалари контакт материаллари сифатида қўлланилади.

Никель — кумуш ранг-оқ металл бўлиб, электр вакуум техникасида кенг қўлланилади. Уни жуда тоза ҳолда (99.99% Ni) олиш мумкин. Никелдан турли хил шай, узак ва симлар тайерланади. Унинг механик хоссалари $\sigma_s = 400\text{—}600$ МПа,

$\Delta l/l = 35 - 55\%$ бўлиб, совуқ ҳолатда механик ишлов бериш қулайдир. Никель оксидланишга чидамли металлдир. Ундан магнит ва ўтқазгич материалларнинг қотишмаларини тайёрлашда, темир асосида тайёрланган деталлар сиртини қоплашда фойдаланилади.

Кобальт — механик мустаҳкам ($\sigma_s \approx 500$ МПа, $\Delta l/l \geq 50\%$), кимевий ақтин булмаган металлдир. Ундан кўпгина магнитли ва иссиққа чидамли қотишмалар олинган таркибий металл сифатида фойдаланилади.

Қўрғошин — яприк кристалл тузилишли, тез оксидланувчан, юмшоқ, пластик, механик мустаҳкамлиги кичик ($\sigma_s \approx 15$ МПа, $\Delta l/l > 55\%$), кўлранг тусли металлдир. Унинг солиштирма қаршилиги нисбатан юқориدير. Қўрғошин коррозияга, сув ва айрим кислоталар (H_2SO_4 , HCl) таъсирига чидамлидир. Аммо, баъзи органик моддалар қўрғошинни эмиради. Қўрғошиндан кабель изоляциясини намликдан ҳимоя қилишда, суюқланувчан сақлагичлар тайёрлашда, аккумулятор пластиналарида фойдаланилади. Қўрғошин рентген нуруни жуда яхши ютиш хусусиятига эгадир. Қўрғошин қотишмаларининг механик мустаҳкамлиги нисбатан юқори бўлиб, тебранишга чидамли асбоб-ускуналар, ишлаб чиқаришда ишлатилади.

Қалай — кристалл тузилиши, оқ-қумуш рангли, юмшоқ, чуққулчан ($\sigma_s \approx 16 - 38$ МПа) металлдир. Нормал температурада муҳовода оксидланмайди. Қалайдан металллар юзини қоплашда, варақлар, слюдади конденсаторларнинг электродларини тайёрлаш ва ҳоказоларда фойдаланилади.

Рух — нормал температурада мўрт материал бўлиб, металлургия усулида олинган ва электролитик тарзда тозаланади. Ута тозаланган рухнинг таркибида 99,99% Zn бўлади. Рухдан муҳофаза қопламаси, жез таркибида, гальваник элементларнинг электродларини тайёрлашда, шунингдек, фотоэлементларда фойдаланилади.

Кадмий — қумуш 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 секцияларида фойдаланилади.

Симоб — оддий температурада суюқ ҳолатда бўлувчи ягона металлдир. У хона кемпературасида ҳам осон бутилади. Шу сабабли, ундан газразряд асбобларида фойдаланилади. Кўпгина металллар (алюминий, рух, қўрғошин, мис, платина, кадмий, олтин, қумуш ва ҳоказо) симобда эриб, амальгама ҳосил қилади. Шунинг учун симоб ириланилган асбобларнинг металл қисми симобда эримайдиган вольфрам, темир ёки танталдан ясалди. 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 туғри 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 коэффиенти $(5 \div 30) \cdot 10^{-4}$ 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, $\alpha_p = (-20 \div -50) \cdot 10^{-4}$ град⁻¹ Мазкур қотишмадан ўлчов техникасида қўлланилувчи асбоблар (вольтметр ва ҳоказо) учун юқори сифатли стабил қаршиликлар эмас, балки қўшимча (ёрдамчи) қаршиликлар тайёрлашда фойдаланилади. Константан ва манганин материаллари бирикмасидан ишлаш шароитида температурага боғлиқ бўлмаган қаршиликлар олиш мумкин. Константан билан мис ўзаро кавшарланиши натижасида 100—150°C ҳароратда ишлайдиган термопара вужудга келади.

Нейзильбер никель, рух ва мис асосидаги қотишма (таркибида никель миқдори камайтирилган) бўлиб, нархи арзонлиги сабабли реостатларда кенг миқёсда ишлатилади. Мазкур қотишманинг солиштира қаршилиги 0,35—0,40 мкОм·м, $\alpha_p = 200/10^{-4}$ град⁻¹ иш температурасининг юқори қиймати 200°C га тенг.

Мис асосида тайёрланган қотишмаларнинг асосий камчиликлари улар иш температурасининг унча юқори бўлмаслигидир.

Никель асосида тайёрланган катта қаршиликли қотишмаларга нихром (никель билан хром бирикмаси) мисол бўла олади. Унинг солиштира қаршилиги 1 мкОм·м, юқори иш температураси 900÷1100°C бўлиб, қизитилганда оксидланишга чидамлилиги нисбатан юқоридир. Нихром қотишмасидан ингичка—сिम (диаметри 0,01—0,03 мм) тортиш усули орқали тайёрланади. Унинг таркибидаги хром миқдори оширилганда ρ ва T_T қийматлари кўтарилиши билан бирга қотишманинг мустаҳкамлиги ҳам ошади.

Темир таркибига хром ва алюминий қўшилса, ρ ва γ 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 солиштирма қаршилиги 1,4—1,6 мкОм·м, иш температураси 1250°C.

Агар юқори қаршиликка эришиш талаб этилса, нихромдан фойдаланилади, чунки бу қотишманинг ρ қиймати nisbatan юқоридир.

Термопара тайёрлашда қуйидаги қотишмалардан фойдаланилади: копель (56% Cu+44% Ni); алюмель (95% Ni+5% Al, Si, Mg); хромель (90% Ni+10% Cr); платинородий (90% Pt+10% Rh).

Таркибидаги металлarning 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÷1000°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:

$$d = 1 + \frac{\Delta \rho}{\rho} \frac{ES}{F} + 2\nu,$$

бунда: $\Delta \rho$ — механик куч F таъсир этиши натижасида тензометрик элемент солиштирма қаршилигининг ўзгариши; ν — элемент симининг кўндаланг кесим юзаси; E — Юнг модули; ρ — мазкур сим материалнинг Пуассон коэффициенти.

Константан тензометрик элемент сифатида nisbatan 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 ажралиб чиқишига ва бунинг натижасида контактлар эриб, бир-

бирига бирикиб қолишига сабаб бўлади. Айниқса материал юзаси оксид пардаси билан қопланганда контакт қаршилиги юқори бўлади.

— 2. Узувчи контактлар учун материал сифатида соф, қийин ёрувчи металллар билан бир қаторда турли қотишмалар ва уларнинг сополга арилиштирилган композициялари қўлланилади. Катта қувватли ускуналарнинг узувчи контактларида кумушнинг Co ; Ni ; Cr ; W ; Mo ; Ta мисининг W ; Mo ; олтиннинг W ; Mo билан биргаликдаги композицияларидан фойдаланилади.

Сирпанувчан контактлар учун материал сифатида едирилишга чидамли қаттиқ мис, берилтийли бронза, шунингдек $\text{Ag}-\text{CuO}$ бирикмалари ишлатилади.

Резистор материаллари. Қаршилиги юқори, аниқ ўлчамга эга резисторлар учун қотишмалардан тайёрланган симлар ишлатилади. Нисбатан катта қаршиликли ихчам резистор тайёрлашда ингичка (диаметри 30 мкм гача) сим қўлланилади. Резистор чулғамларининг сопи ортиси билан, унинг индуктивлиги ҳам ортади. Шу сабабли, резисторларнинг қаршилиги 100 $\text{k}\Omega$ гача бўлиши мумкин. Резистор сими учун асосий материал сифатида манганин, константан ва индром ишлатилади. Юқори қаршиликли чулғамларнинг сирти бир қатлам билан қопланади.

Резисторларнинг қуввати 5—120 Вт оралиғида бўлади. Удар металл пардали қилиб ҳам тайёрланади. Бунда шунша ёки сопол сиртига бир текис қилиб юпқа платина, нуумуш ёки улар қотишмаларининг пардаси қопланади. Бу қатлам металл кукунини вакуумда термик парчалаш усулида қопланади. Ҳажмли резисторлар қаттиқ композицион қаршиликлар бўлиб, углерод таркибига органик ёки аорганик моддалар қўшиб тайёрланади. Углерод пардали резисторлар сопол най сиртига углерод қатламини термик крекинг усулида қоплаш орқали олинади. Қаршилик қийматини бошқариш мазкур қатлам қадийлиги ва ўндаги спиралсимон чуқурча орқали амалга оширилади.

Терморезисторларнинг таркиби Mn , Co , Ni , Fe , Cr каби металл оксидлари бирикмаларидан иборатдир. Мазкур қаршиликлар ўз қийматини температура таъсирига қараб ўзгартиради. Терморезисторлар температура қийматини аниқ улчаш талаб этилганда, алоқа йўл қучатиригини бошқаришда қўлланилади.

Резисторлар электрон техникасида кенг қўлланилади. Қаршилигининг ўзгариши бўйича резисторлар узгармас ва узгарувчан, ясалишига кура симли, симсиз, резистив пардали турларига бўлинади. Уларнинг белгиланишидаги биринчи ҳарф: В — узгармас резистор, РП — узгарувчан резистор, НР — резисторлар тўпламини ифодаласа, иккинчи рақам — резисторнинг ясалишини (1 — симсиз, 2 — симли), учинчи рақам дойрқалаштирилган резисторлар сонини ифодалайди.

Номинал қаршилик — бу резисторнинг ҳисобланган қаршилиги бўлиб, қаршилик қаторлари E6, E12, E24, E48, E96, E192 каби белгиланади. Рақам, одатда, қаршиликнинг номинал қийматини ифодалайди. Сочиладиган номинал қувват 0,01—1000 Вт оралиғида бўлади ва бу қиймат резисторнинг иш мобайнида ўзгармайди. Резисторнинг шовқинлик даражаси кучланиш ортиши билан кўпаяди ва у нисбий шовқин $D=E/u$ (бунда E —резистордаги кучланганлик, u — доимий қиймат) билан аниқланади. Симсиз резисторларда бу қиймат 1—5 мкВ/В оралиғида бўлади.

Иситкич элементи учун материаллар. Металли электр иситкич асбобларида нихром қотишмаси (80% Ni+20% Cr) кенг миқёсда қўлланилади. Бу қотишма юқори температурага ва емирилишга бардошлидир.

Кандал (63% Fe+30% Cr+5% Al+2% CO) қотишмаси температура 1200°C гача бўлганида яхши ишлайди.

Платина асосида тайёрланган сим температураси 1500°C гача кўтариладиган иситкич элементларида ишлатилади. Жуда юқори температурали иситкич асбобларда вольфрамдан фойдаланилади.

Иситкич элементлари сифатида металлмас материаллар ҳам қўлланилади. Бунга кремний карбиди (SiC) мисол бўлади. У стержень шаклида тайёрланади. Бундай иситкич элементлари атмосфера муҳити шароитида 1500°C гача ишлай олади. Графитдан инерт газ ва вакуум муҳитида ишлайдиган иситкич элементи тайёрланади. Бунда унинг ишлаш температураси 2000°C гача кўтарилиши мумкин.

Кавшарлаш учун ишлатиладиган қотишмалар (кавшар). Кавшар махсус қотишма бўлиб, кавшарлаш ишлари (механик мустаҳкам, зич чоклар, кичик қаршиликли электр контактлар олиш) да қўлланилади. Кавшарлашда бириктириладиган жойлар ва кавшар қиздирилади. Кавшарнинг эриш температураси уланадиган металларга нисбатан анча паст бўлганлиги сабабли у эриган пайтда мазкур металлар қаттиқлигича қолади. Қаттиқ металлар ва эриган кавшарнинг уриниш жойларида мураккаб физик ва кимёвий жараёнлар рўй беради. Кавшар металлни ҳўллаб, бириктириладиган деталлар орасидаги тирқишларни тўлдиради ва қисман металлга сингади.

Кавшарлар, асосан, икки: юмшоқ ва қаттиқ турларга бўлинади. Эриш температураси 400°C гача бўлган кавшарлар юмшоқ, эриш температураси 500°C дан юқори бўлганлари эса қаттиқ кавшарлар турига киради. Биринчи турдаги кавшарларнинг чузилишдаги механик мустаҳкамлиги $\sigma_u \leq 50—70$ МПа бўлса, иккинчи турдагиларида бу қиймат 500 МПа гача етиши мумкин. Юмшоқ кавшарларнинг ПОС, ПОСК, ПСрК, қаттиқ кавшарларнинг эса ПМЦ, ПСР каби навлари бор. Мазкур кавшарларнинг асосий хоссалари 18-жадвалда келтирилган. Кавшарларнинг белгиланиши П ҳарфи билан бошланади. Ундан кейинги ҳарфлар қуйидагиларни билдиради: О — қа-

Кавшарларнинг таркиби ва асосий хоссалари

Кавшарнинг тури	Белгиланиши	Таркиби	Хоссалари			Мазкур кавшар ёрдамида бириктириладиган материаллар
			Зичлиги $\times 10^3$ кг/м ³	Чузилишлагиги мус тахкам-лиги, МПа	Эриш темпе-ратураси, °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 узи
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)	—	—	200 — 250	Алюминий ва унинг қотишмалари
Мис-рухли	ПМЦ-36 ПМЦ-54	36 — 54% Си қолгани Zn	77 — 8,3	220	825 — 860	Мис ва унинг қотиш-малари, пўлат
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 пўлат, вольфрам, платина, кумуш

лай, С — қурғошин, 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 биригиши учун уларнинг юзасига ёрдамчи материал бўлмиш флюс ёрдамида ишлов берилади. Бунда флюслар кавшарландиган металллар юзасидаги оксид пардаси ва ҳар хил ифлосликларни бартараф этиши, кавшарлаш вақтида ва эритилган кавшарни оксидланишдан сақлаши, эритилган кавшарнинг сирт таранглик кучини камайтириши 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), эритма (кислота) ва паста кўринишида бўлади.

Қўлланилишига қараб флюслар икки: юмшоқ ва қаттиқ кавшарлар учун мулжалланган турларга бўлинади (19, 20-жадваллар). Флюслар, кўпинча, ишлатиш олдида тайёрланади. Уларнинг белгиланишидаги ҳарфлар қўйидагиларни билдиради: Ф — флюс, К — канифоль, Сп — спирт, П — полиэфир қатрони, Эт — этилацетат, Д — диэтиламин, Т — триэтаноламин, У — сирка кислотаси, Фс — фосфат кислота Гл — глицерин, Х — хлор тузи ва ҳоказо.

19-жадвал

Юмшоқ кавшарлар учун мулжалланган флюслар

Белгиланиши	Таркиби	Қўлланилиши
ФК	100% канифоль	Жез, мис, рух, кумуш, кадмийни бириктиришда
ФКСп	10 — 40% канифоль 90 — 60% этил спирти	
ФПЭт	20 — 30% полиэфир қатрони, 80 — 70% этилацетат	Углеродли пулат, мис ва унинг қотишмалари, рух ва унинг қотишмаларини бириктиришда
ЛПТИ-120	20 — 25% канифоль, 3 — 5% тузли диэтиламин, 1 — 5% триэтаноламин, 76 — 68% этил спирти	
ФТСп	4 — 4,5% салицил кислотаси, 1 — 1,5% триэтаноламин 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-бирдан 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	Зангламайдиған пулат, 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 металларни бириктиришда

бушлиги натижасида, электронларнинг бир қисми озод бўлишига имкон яратилади. Графитнинг солиштира қаршилиги 10 мкОм·м, яъни нихромникдан 10 марта юқоридир.

Углерод аморф ҳолатда бўлиши ёки майда кристаллардан ташкил топиши мумкин. Юпқа қатламли углеродда $\rho = 50—55$ мкОм·м, $\alpha_p = (200—500) \cdot 10^{-6}$ град⁻¹ бўлади. Унинг юпқа қатламидан фойдаланиб (вакуумда, 900—1000°C да парчалаб), сопол ўзак сиртида қиймати 30—50 кОм бўлган кичик ҳажмли қаршилиқлар олинади. Ўзакнинг углеродланган сирти қайроқ тош ёрдамида спиралсимон қилиб ўйилади ва керакли кенглик (узунлик) да маълум қаршилиққа эга қатлам олинади (21-жадвал). Ўзакнинг учларига контактли қалпоқчалар кийгизилади ва уларнинг юзаси юпқа лок қатлами билан қопланади.

Силит углерод, соф кремний ва кремний карбиди аралашмасидан олиниб, ундан иш температураси 1500°C га мўлжалланган, ρ қиймати 0,001—0,01 Ом·м ли ўзақлар тайёрланади.

Углеродли материалдан электр машиналарнинг чўткаси, прожектор учун электродлар, гальваник элемент анодлари каби

Қўмир электродларнинг параметрлари

Электрод тури	Зичлиги, $\times 10^3$ кг/м ³	Солиштира қаршилиги, мкОм·м	Массага нисбатан кукуни, %	Чўзилишдаги мустаҳкамлик, МПа	Сиқилдишдаги мустаҳкамлик, МПа
Қўмирли	1,5	50	5—12	700—1100	2300—4100
Графитлавланган	2,0	15	0,03—0,2	600—700	200—500

деталлар ясалади. Кумир кукуни микрофонларда товуш босимига қараб узгарадиган қаршиликлар тайёрлашда ишлатилади. Электрод узаклар олши учун махсулот майдаланган боғловчи хом ашё (қатрон, суюқ шиша) билан аралаштириб, босим остида ишлов берилади. Сунгра у пишириш жараёнини ўтайди. Пишириш жараёни оддий электр машина чўткаларини тайёрлашда 800°C да, графитланган чўткаларни тайёрлашда эса 2200°C да амалга оширилади.

Чўткалар электр машинасининг айланувчан ва қўзғалмас қисмлари орасида электр контакт ҳосил қилиб беради. Улар кумир-графитли (УГ), графитли (Г), электрографитланган (ЭГ), мис-графитли (МГ) турларга бўлинади.

Чизиқли бўлмаган ва симсиз резисторларда ўтказгич материали сифатида табиий графит қорақуяси, пиролитик углевод ҳамда юқори қаршиликка эга металл қотишмалари қўлланилади. (22-жадвал).

Қурум майда дисперсли углевод бўлиб, унга лок қўшилганда солиштирма қаршилиги кичик махсулот ҳосил бўлади. Ундан юқори кучланишли электр машиналарида электр майдонини текислашда фойдаланилади.

22-жадвал

Графит ва пиролитик углевод параметрлари

Материал	Зичлиги, $\times 10^3$ кг/м ³	Солиштирма қаршилиги, мкОм·м	Солиштирма қаршилиқнинг температура коэффициенти, $10^4, \text{K}^{-1}$	Чизиқли ре- гайини темпе- ратура коэф- фициенти, $10^6, \text{K}^{-1}$
Поликристалли графит	2,26	8	— 10	7,5
Монокристалли гра- фит:				
базис текисликлари				
йўналишида	2,24	0,4	— 9	6,6
базис текисликларига				
қўндаланг йўналишда	2,24	100	— 400	2,6
Пиролитик углевод	2,10	10 — 50	— 2	6,5 — 7,0

8-БОБ. ЯРИМ ЎТКАЗГИЧ МАТЕРИАЛЛАР

8.1. Умумий маълумотлар

Нормал температурадаги солиштирма қаршилиги ўтказгичларникидан катта, бироқ диэлектрикларникидан 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 ортқ 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 чақнаш (электрон-тешикли ўтишга асосланган) нур узатиш манбаи ва хисоблаш машиналарининг ахборот чиқариш қурilmаларида ишлатилади.

Ярим ўтказгичлардан иситкич асбобларда, радиоактивли нур индикаторларида ва магнит майдон кучланганлигини ўлчашда фойдаланилади. Хозирги даврда шишасимон ва суюқ ярим ўтказгичлар ўрганилмоқда. Оддий ярим ўтказгичларнинг (23-жадвал) техникада кенг қўлланиладиганларига кремний, германий ва селен киради. Мураккаб ярим ўтказгичлар Менделеев даврий системасидаги турли группа элементлари бирикмасидан, масалан, $A^{IV} B^I$ формулали (SiC), $A^{III} B^V$ ($JnSb$, $CaAs$, CaP), $A^{II} B^{VI}$ (CdS , $ZnSe$) элементлар бирикмасидан, шунингдек, баъзи оксидлар (Cu_2O) дан иборат. Ярим ўтказгичли композицияларга (тирит, силит), сопол билан бириккан иғирбех иғирбех (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.

23- ж а д в а л

Оддий электрон ярим ўтказгичлар

Элемент	Менделеев жадвалидаги группаси	Тақий зонасининг кенглиги, эВ	Элемент	Менделеев жадвалидаги группаси	Тақий зонасининг кенглиги, эВ
Бор	III	1,10	Олтингургурт	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 тақиқ зоналарининг ўлчами билан белгиланади. Ҳар бир жисмнинг атоми ўзининг аниқ спектр чизигига 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 ўздан энергия ажратиб чиқаради ва нурланиш содир бўлади, аксинча бўлганида эса атом энергияни ютади.

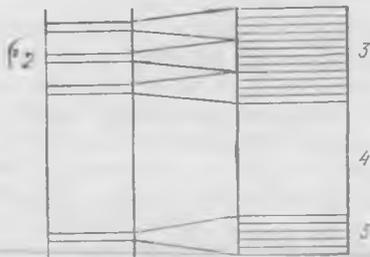
Шундай қилиб, атом ташқи энергетик таъсир орқали ўз ҳолатини ўзгартиради.

Ярим ўтказгичларнинг тақиқ зоналари ўтказгич ва диэлектрикларнинг тақиқ зоналари ораллигида жойлашиб, мазкур зона анча кичик ва уни енгиб ўтиш учун маълум даражали энергетик таъсир етарлидир. Агар ташқи таъсир этаётган майдон энергияси тақиқ 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 мўсбат 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 камаяди. 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-

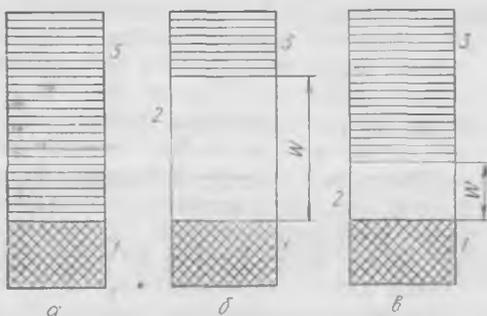


45-расм. Бирламчи атом ва каттик модда энергетик сатҳларининг жойлашуви:

Фақат катта электр майдони ($E = E_+$) 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 $(0,8-4,0) \cdot 10^{-1}$ 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.

гетик зоналарининг диаграммалари келтирилган (46-расм, а-в). Электронлар билан тўлатилган зона озод зона билан бирлашиб (ёки кесишиб), электронларнинг озод зонага тўхтовсиз ўтишини ва жисмда юқори электрон ўтказувчанликни таъминлайди.

Диэлектрикларда электронлар билан тўлатилган зона ва озод зоналар орасида катта энергетик тўсиқ бўлиб, мазкур тўсиқ электронларнинг озод (ўтказувчан) зонага ўтишга халақит беради.

$$n_{oi} = p_{oi};$$

$$n_{oi} + p_{oi} = 2n_{oi}.$$

Солиштирама ўтказувчанлик қуйидагича бўлади:

$$\gamma = e u_n u_p + e p_{oi} u_p,$$

бунда u_n , u_p — мос равишда электрон ва тешикнинг силжувчанлиги.

Ғалаёнлантириш ва рекомбинация жараёни натижаси-

да жисмда (исталган температурада) галаёнлантирилган эл-тувчилар (электронларни ёки тешикларни) нинг мувозанат-лашган миқдори қарор топади:

$$n_{oi} = 2N_o \exp\left(-\frac{W}{2kT}\right);$$

$$p_{oi} = 2N_v \exp\frac{W}{2kT},$$

бунда: W — ярим ўтказгич тақиқ зонаси; N_o — озод (ўтказув-чан) зонадаги ярим ўтказгичнинг ҳажм бирлигидаги энергетик сатҳлар сони; N_v — валент зонасидаги худди шунингдек сатҳ-лар сони; 2 рақами N олдидаги) ҳар бир сатҳда иккита электрон бўлишини кўрсатади.

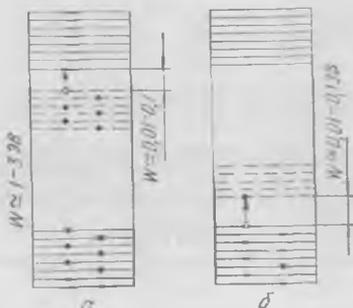
Электронларнинг силжитувчанлиги (u_p) тешикларнинг сил-жувчанлиги (u_p) дан анча катта бўлади, шунингдек, уларнинг эффе́ктив массалари ҳам бир-биридан фарқ қилади. Шу боис ярим ўтказгичларнинг электр ўтказувчанлиги электрон харак-терга мойил бўлади.

Ярим ўтказгич таркибидаги қўшимчалар

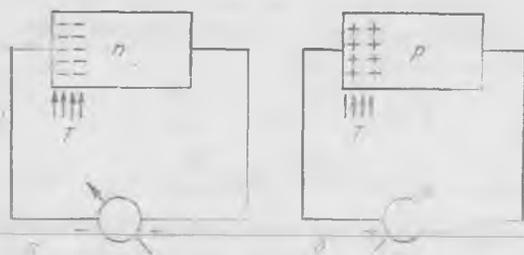
Ярим ўтказгич кристалларида қўшимчаларнинг жуда кам (10) миқдори ҳам унинг электр ўтказувчанлигига катта таъ-сир кўрсатади. Қўшимча тақиқ зонада янги энергетик сатҳни вужудга келтиради. Агар бундай энергетик сатҳ озод зонага яқин жойлашган бўлса (47-расм, а), бу сатҳдан электрон озод зонага осонликча ўтиб (кичик энергия таъсирида), кристаллда электрон ўтказувчанликни содир этади. Бундай ярим ўтказгич n -турли бўлиб, таркибига киритилган қўшимча «донор» дейилади.

Агар қўшимчанинг энергетик сатҳи тақиқ зонага яқин жой-лашса (47-расм, б), электрон тўла зонадан пастроқ зонага ўтиши натижасида «тешик» ёки «ковак» қолдиради. Электрон бир сатҳдан иккинчи сатҳга кў-чишида унинг ўрнида қолган те-шик ҳам силжийди. Тешикнинг силжиш йўналиши майдон век-тори (E) йўналишига ёки мус-бат заряд йўналишига мос ту-шади. Бу турдаги ярим ўтказгич-лар тешикли (p -турли) ярим ўтказгичлар дейилиб, уларнинг қўшимчалари «акцептор»лар дейилади.

Электр ўтказувчанлик тажри-бада осонгина аниқланиб, бун-да турли ярим ўтказгичнинг бир томони қиздирилса (48-расм, у ерда озод электронлар сони кескин кўпайиб, бу қисм маъфий зарядга эга бўлади. Агар



47-расм. Ярим ўтказгич энерге-тик диаграммасидаги қўшимчалар таъсири:



48-расм. Ярим ўтказгичнинг электр ўтказувчанлик турини (ишорасини) аниқлаш:

p -турли ўтказгичнинг ҳам бир томони қизайрилади (48-расм. б), у ерда тешиклар кескин кўпайиб, кристаллнинг бу қисми мусбат зарядга эга бўлиб қолади.

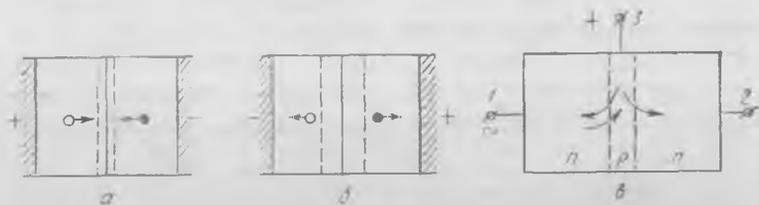
Ярим ўтказгичда « $p-n$ » ўтишини юзага келтириб, бу қисмларга мос равишда мусбат ва манфий потенциаллар берилса, « n » қисмдан электронлар, « p » қисмдан акс йўналишда тешиклар силжиб, занжирда ток оқими ҳосил бўлади. Аксинча, потенциаллар тескари йўналишда берилса, « $p-n$ » ўтишида катта қаршилиққа эга қатлам (48-расм. б) вужудга келиб, ток ўтиши кескин чекланади.

Ярим ўтказгичларнинг « n » турида асосий заряд элтувчилар электронлар, « p » турлисида эса тешиклар ҳисобланади. « $p-n$ » ўтиши ярим ўтказгич (германий, кремний ва ҳоказо) юзасида қўшимча (индий, фосфор)ларни эритиш орқали ҳосил қилинади. Бунда монокристалл юққа тахтача шаклда кесиб текисланади, сайқалланади, тозаланади ва графитли кассетага ўрнатилиб, печда маълум вақт иссиқлиқ таъсир эттирилади. Бу усул электронли ярим ўтказгичда акцептор қўшимчасини, тешикли ярим ўтказгичда эса донор қўшимчасини эритишга асосланган.

« $p-n$ » ўтиши электр-кимёвий, кристалл олиш (устирешиш 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 кўчайтирувчи асбоб — транзистор вужудга келади.

« $p-n$ » ўтишли диодларнинг белгиланишидаги биринчи ҳарф: Г — германий, К — кремний, А — галлий, И — индий; иккинчи ҳарф: Д — туғрилагич, импульс, магнит ва термодиод, Ц — туғрилагич устуни (блоки), В — варикан, И — туннелли, А — юқори частотали, С — стабилитрон, Г — шовкин генератори, Л — нурлатувчи асбоб, Н — диодли тиристор, У — триодли тиристор; учинчи ҳарф: асбоб параметри, қўлланилиши, иш



49-расм. Ярим ўтказгичларда заряд йўналишининг потенциал шорасига нисбатан ёзғарилиши:

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 *тринистор* дейилади. Ташқи нур ердамида бошқариладиган тиристор—*фототиристор*, ички нурли сигналда бошқариладигани *оптотиристор* дейилади. Оптоэлектронли ярим ўтказгичларга нур тарқатувчи диод (Ал навли), инфрақизил 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 кўрнини-шидаги 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 қуйманing бир четига ($20-25$ мм узунликда) йиғилиб қолади. Қолган, кўп марта тозалаш жараёни ўтказилган қисмининг солиштирама қаршилиги $0.5 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ дан юқори бўлади. Бу қаршилиқ германийнинг тозаланиш даражаси билан белгиланувчи элтүвчилар концентрациясига боғлиқ бўлади. Германийнинг физик хоссалари 24-жадвалда келтирилган.

Ярим ўтказгичли асбоблар тайёрлашда ишлатиладиган германий легирловчи қўшимчалар, солиштирама қаршилиқ ва бошқа қиймаглари билан фарқ қиладиган навларга бўлини-

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	4,8
Чизилги кенгайиш коэффициенти (0 ÷ 100°C), K ⁻¹	6,0 — 10 ⁻⁶	4,2 · 10 ⁻⁶	50 · 10 ⁻⁶
Иссиқлик ўтказиш коэффициенти, Вт м К	55	80	4
Солиштирма иссиқлик сизими (0 ÷ 100°C), Ж/(кг·К)	333	710	330
Эриш температураси, °C	936	1414	217 — 220
Солиштирма эриш иссиқлиги Ж/кг	4,1 · 10 ⁻⁶	1,6 · 10 ⁶	6,42 · 10 ⁴
Сирт таранглик 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 · 10 ¹⁹	1 · 10 ¹⁶	—
Таққ зона кенлиги (20°C), эВ	0,72	1,12	1,70 — 1,90
Электронлар силжувчанлиги, м ² /(В·с)	0,39	0,14	—
Тешиқларнинг 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 понлаиши кучланиши, В	8,10	8,14	9,75

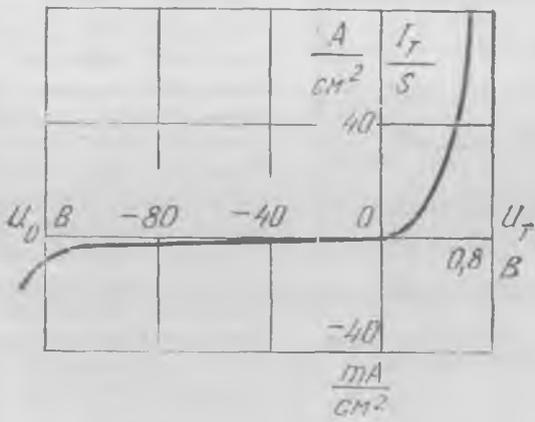
ди. Ярим ўтказгичли асбобларни яшашда, германий қуймалари юлқа пластина шаклида кесилади, кесилган пластина юзаси нуқсонларни йўқотиш мақсадида сайқалланади.

Германидан 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-расмда 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 панжарали, 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 туғрилагичнинг вольт-ампер характери- тикаси.

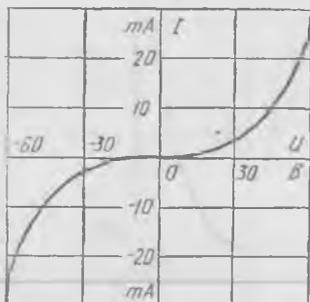
унинг таркибидаги қўшимчалар миқдорига кучли равишда боғ- лиқ бўлади. Кремний ярим ўтказгичли асбоблар тайёрлашда асосий материал бўлиб ҳисобланади. Ундан диод, транзистор, фотозлемент, тензоўзгартиргичлар тайёрлашда ва микроэлек- троника схемаларида кенг қўламда фойдаланилади.

Кремний карбиди (SiC) даврий системанинг тўртинчи груп- па элементларининг бирикмаси бўлиб, электр печида кварц қумини углерод билан қайта тиклаш усули орқали олинади.

Температура 2000°C бўлганда SiC нинг кубсимон β моди- фикацияси ҳосил бўлади. Ундан ҳам юқори температураларда эса SiC нинг гексагонал α модификацияси олинади. Ҳосил қи- линган кристалл майдаланиб, ўлчами 40—300 мкм ли донадор кукунга айлантирилади. SiC кристалларининг ранги хом ашё 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 снғими	620—750 Ж/кг·К
Чизиқли кенгайиш коэффициенти	(4—7)·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 қурилишидаги SiC нинг электр ўтказувчанлиги дона- лар ўлчамига, зарраларнинг снқилиш даражасига, майдон кучланганлиги ва температурага боғлиқдир. Шунинг учун, кремний карбиди кукунининг солиштирма қаршилиги кенг оралиқда ётади. Кремний карбиди кукунда ток зичлигининг электр майдон кучланганлигига боғлиқлиги ночизиқли харак- терга 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 карбиддан юқори кучланишли узатиш линияларини ҳимоя қилувчи венти́л разрядлагичларини тайёрлашда фойдаланилади. Венти́лли разрядлагич бир ёки бир неча зарядсизлагич оралиғи ва уларга киритилган варисторлардан иборатдир. Юқори кучланишли электр линияларида 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 холдан ўтаётганда узатгич ердан узилиб қолади ва вилитли диск ўз қаршилигини тиклайди. Разрядлагич оралиғида ионсизланиш рўй бериб, линия ҳимояси 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 $0,001-0,1 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ бўлиб, 1500°C ҳароратга мўлжаллангандир.

$\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$ 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.

$\text{A}^{\text{IV}}\text{B}^{\text{V}}$ бирикмалари компонентларни вакуум ёки инерт газ муҳитида ўзаро таъсир эттириш йўли орқали олинади. Тозаланган бирикманинг эриш температураси уни ташкил этувчи компонентларнинг эриш температурасидан юқорироқ бўлади.

асосида тайёрланган варистор (чизиқли бўлмаган резистор) кремний карбиди доналаридан ташкил топган бўлиб, унинг вольт-ампер характеристикаси 51-расмда кўрсатилган. Агар варистор ўзаро боғланмаган SiC кукунидан тайёрланса, унинг характеристикалари ўзгарувчан бўлади. Шу сабабли, кукун доналари бир-бирига боғловчи модда билан бириктирилади. Бундай модда сифатида лой, ультратрацини, суюқ шиша, осон эрувчан шиша ва КО локидан фойдаланиш мумкин.

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, ×10 ²³ 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 устун бўйича)	5,5	5,0	—	5,0	4,5	4,0	4,8	4,5	3,8

Галлий арсениди таққик зонасининг кенглиги 1, 43 эВ булиб, электронларнинг 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 олинади.

Индий антимониди электронларининг силжувчанлиги катта қийматга эга бўлиши билан бир қаторда, таққик 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 филътр, термоэлектрик генератор ва совиткичлар тайёрлашда фойдаланилади.

Галлий фосфиди таққик 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, Bi₂S₃, CdS) фоторезисторлар тайёрлашда ишлатилади. Улардан люминофор сифатида ҳам фойдаланилади.

Сульфидларнинг айрим хоссалари 26-жадвалда келтирилган.

Селенидлар (PbSe, Bi₂Se₃, CdSe, HgSe) фотоқаршилиқ, термоэлемент ва когерент нурланиш (лазер) манбалари ишлаб чиқаришда кенг фойдаланилади.

Сульфидлар, селенидлар, теллуридлар ва оксилларнинг асосий хоссалари

Бирикма-лар	Зичлиги, $\times 10^3$ кг/м ³	T_T Вт/м·К	t_g °С	W эВ	μ , м ² (В·с)	
					n-турдаги	p-турдаги
PbS	7,60	2,9	1114	0,37	0,06	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	7,4	2,5	703	0,28	0,10	—
CdSe	5,81	—	1258	1,80	0,08	—
HgSe	8,26	5,6	800	0,50	1,00	—
PbTe	8,16	1,7	917	0,30	0,18	0,070
Bi ₂ Te ₃	—	1,1	585	0,15	0,12	0,050
CdTe	5,86	8,5	1098	1,60	0,070	0,006
HgTe	8,42	6,0	670	0,20	1,50	—
Cu ₂ O	5,90	6,1	1230	0,34	—	0,005
ZnO	5,60	—	—	3,20	0,05	—
TlO ₂	4,20	—	6640	2,90	0,001	—

Теллуридлар (PbTe, Bi₂Te₃, CdTe, HgTe) фотоқаршилиқ, термоэлемент ва нур тарқатувчи асбоблар тайёрлашда ишлатилади.

Рух оксиди (ZnO) n-турдаги ярим ўтказгичдир. Ундан манфий температурали [$-(3 \div 4) \% / K$] иссиқлик қаршилиқлари олинади. Иссиқлик қаршилиги (термистор) стержень ёки пластинка шаклида сопол технологияси асосида тайёрланади. Иссиқлик қаршилиқлари температурани ўлчаш, бошқариш, компенсациялаш, кучланишни барқарорлаш, импульс бошқарув токни чеклаш, суюқликларнинг иссиқлик ўтказувчанлигини ўлчаш, контактсиз реостатларда ва токни вақт релеларида қўлланади.

9-б о б. МАГНИТ МАТЕРИАЛЛАР

9.1. Умумий маълумотлар

Магнит материаллар ёрдамида магнит оқими кескин кучайтирилади. Магнит оқимидан пасг кучланишли тоқларни юқори кучланишли тоқларга 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 асосидаги 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 элемен-

тар айланма ток кўринишида ифодаланади. Бундай айланма тоқлар 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) магнитланишидан 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 $0,001-10 \text{ м}^3$ 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. Керакни магнит текстура олиш орқали материалда маълум йўналишда юқори магнит характеристикага эришиш мумкин.

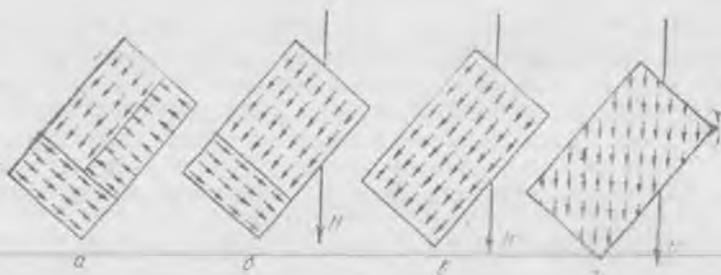
Ташқи магнит майдони таъсирида ферромагнит материалнинг магнитланиш жараёни қуйидагича кечади: 1) магнит momenti майдон йўналиши билан кичик бурчак ҳосил қилган доменлар катталашади ва бошқа доменлар ўлчами кичираяди; 2) магнит моментлари майдон йўналиши узра бурилади ва бир хил йўналишга эга бўлади. 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 чизиғи $B(H)$ 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:

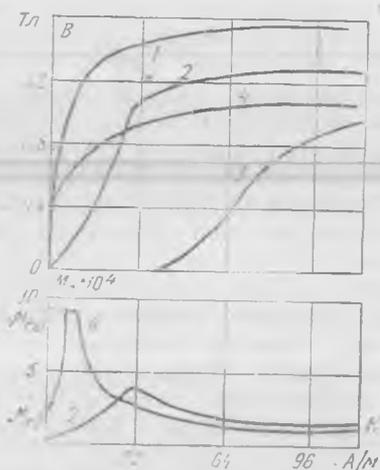
$$\mu_r = \frac{B}{\mu_0 H}$$



52- расм. Ферромагнитнинг магнитланишида доменларда спонларнинг йўналиш олиши:

Магнит материалларнинг магнит синдирувчанлиги бирдан юқори $\mu \gg 1$ ($\mu_r = \mu_0 \cdot \mu$, $\mu_0 = 1,2566 \cdot 10^{-6}$ 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 чиқиқлари ҳосил бўлиши натижасида магнит ин-



53-расм Магнит индукцияси ва нисбий магнит синдирувчанликнинг ташқи момент майдон кучланганлигига боғлиқлиги:



54-расм. Ферромагнит материаллари магнит синдирувчанлигини температурага боғлиқлиги.

дукциясининг ёки магнит оқимининг кескин ошишига олиб келади. Ўзақ кесим юзасида ҳосил бўладиган қўшимча куч чизиклари қайта магнитланиш дейилади ва I билан белгиланади.

Бу қиймат магнит майдон кучланганлиги (H) ва магнит материали сифати (χ) га ёки жисмнинг магнит қабул қилиш коэффициенти $j = \chi H$ га боғлиқ. Чулғамга магнит ўзақ киритилгандан сўнг магнит индукциясининг кўпайган қиймати қуйидагича бўлади:

$$B' = \mu_0 (H + j) = \mu_0 (H + \chi H) = \mu_0 H (1 + \chi) = \mu' H,$$

бунда $\mu' = \mu_0 (1 + \chi)$ — магнит материалнинг магнит сингдирувчанлиги.

Магнит материали сифатини аниқлашда нисбий магнит сингдирувчанлик катталигидан фойдаланилади:

$$\mu = \frac{\mu'}{\mu_0} = 1 + \chi.$$

Магнит сингдирувчанлик чулғамга магнит ўзақ киритилганда магнит оқимининг кўпайишини билдиради. Бу юксалиш бир неча ўн минг мартагача ортади.

Ўзулиги 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 сингдирувчанлиги бўйича барча қаттиқ жисмлар султ (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 $[B = I(H)]$ магнит материалнинг магнитланиш эгри чизиғи деб аталади. Бунда магнит материали $H = H_T$ қийматда тўйинади (53-расм, а).

Магнит сингдирувчанликнинг температурага қараб ўзгариши магнит сингдирувчанликнинг температура коэффициенти 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 камаё боради. Лекин бу камайиш асосий чизиқ бўйлаб эмас, балки маълум кечикиш билан (гистерезис ҳодисаси туфайли) рўй беради. Майдон кучланганлиги тескари йўналишда оширилганда материал

магнитсиэланлиши, 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 чулгамидан ток ўтказиш орқали магнит оқими ҳосил қилиш мумкин. Агар ўрамдаги симнинг кесим юзаси S , чулгам узунлиги L бўлса, магнит оқими Φ қуйидагича аниқланади:

$$\Phi = \frac{\mu_0 n I S}{L}$$

ёки бошқача кўринишда:

$$\Phi = \frac{F}{K_m} \quad \text{Вб,}$$

бунда F — магнит юритувчи куч, А; $R_m = \frac{L}{\mu_0 S}$ — магнит қаршилик, Гн^{-1} .

Магнит оқимининг зичлиги ёки магнит индукцияси:

$$B = \frac{\Phi}{S} = \mu_0 H \quad \text{Вб/м}^2.$$

Магнит материали учун чизилган $B = f(H)$ характеристикадан фойдаланиб, (53-расм) магнит сингдирувчанлик μ_r нинг магнит майдон кучланганлиги (H) га бўлган боғлиқлиги аниқланади.

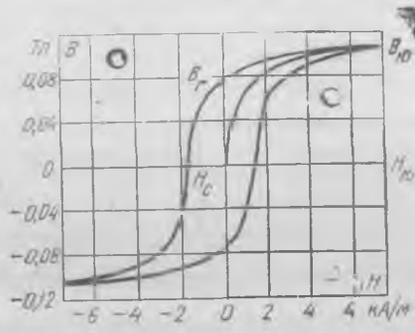
Агар магнит майдон кучланганлиги ва магнит индукциялари нолга тенг бўлса, уларнинг нисбати мавҳум бўлиб қолади. Тажрибадан аниқланишича, кучсиз магнит майдонида μ_r қиймати маълум бошланғич сингдирувчанлик μ_{r0} га интилади. Магнит майдонининг маълум қийматида магнит сингдирувчанлик ($\mu_{r\text{max}}$) ўзининг юқори қийматига эришади. Майдон кучланганлиги янада оширилса, магнит материалининг μ_r қиймати пасая боради.

Демак, магнит материалида магнит сингдирувчанлик узининг аниқ бир қийматига эга бўлмай, балки магнит майдон кучланганлигига жуда ҳам боғлиқ экан. Шу сабабли, магнит материалининг 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 кузатилади, яъни магнит индукциясининг кечикиши майдон кучланганлигининг ўзгаришига боғлиқ бўлади (55-расм). Майдон кучланганлиги нолга тенг бўлганида магнит индукцияси қандайдир қолдиққа эга бўлиб, у индукция қолдиғи (B_r) дейилади. 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-
ча қайтарилса, магнит майдо-
нининг гистерезис ҳалқаси ке-
либ чиқади. Гистерезис ҳоди-
сасида атомларнинг ўз ўқи
атрофида айланиши натижа-
сида материалда ички ишқал-
ланиш содир бўлади. Бу ҳо-
диса гистерезисда содир бў-
лувчи энергия исрофи деб
аталади. Ферромагнитиклар-
нинг узгарувчан магнит май-
доида қайта магнитланиши-
да иссиқлик энергияси ис-
роф бўлади. Магнит матер-
иали массасида индукциялан-
ган қуюқ токи диэлектрик
исрофларни келтириб чиқаради. Қуюқ токида содир бўладиган
исрофлар ферромагнетикнинг электр қаршилигига боғлиқ. Маг-
нит материалдаги умумий энергия исрофи қуйидагича аниқ-
ланади:



55- расм.

$$P_m = P_h + P_i.$$

Кучсиз тоқлар соҳасида қуйидаги қийматдан фойдаланила-
ди:

$$Q = \frac{\omega L}{r},$$

бунда ω — бурчак частота, Гц; L — чулғам индуктивлиги,
Гн; r — ўзакдаги эквивалент қаршилиқ Ом.

Магнит материалдаги энергия исрофининг қиймати $B = I(H)$ характеристикасидаги гистерезис ҳалқа юзаси билан аниқланади. Магнит материалдаги энергия исрофи частота ортиши билан кескин кўпаяди. Бу эса юқори частотага мўлжалланган магнит материаллари ишлаб чиқаришда катта қийинчиликлар туғдиради. P_m ни камайтириш мақсадида σ 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 қуюн токи ҳисобига магнитсизланиш рўй беради.

Ферромагнит туркумдаги асосий материалларнинг магнит хусусиятлари 27-жадвалда келтирилган.

Мегагалл	μ_{max}	$\mu_{0,1}^{max}$ Вб/м ²	H_c , А/м	H_c Во/м ²	Кюри нуқта- си, °С
Темир	10000—15000	2,163	0,0015—0,004	1,1	781
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 гайёрланади. Бу материалларнинг магнит сингдирувчанлигининг бошланғич қиймати катта бўлиши керак. Юмшоқ магнит материалларида солиштирма қаршилик нисбатан катта қийматга, коэрцитив куч ($H_c < 0,1$ 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 узгарувчан ток занжирида ишлатиладиган электр магнити ёки реле учун ўзаклар тайёрлашда ишлатилади. Улар варақ ёки цилиндр шаклда юпка (0,2—4 мм) қилиб тайёрланади.

28- жадвал

Турлича ишлов берилган темирнинг таркиби ва магнит хоссалари

Материал	Қўшимчаларнинг қикдори, %		Магнит хоссалари		
			Магнит сингдирувчанлик		Коэрци- тив, куч, H_c А/м
	углерод	кислород	$\mu_{0,1}$	μ_{100}	
Техник соф темир	0,020	0,050	250	7000	64,0
Электролитик те- мир	0,020	0,010	600	15000	28,0
Қарбонил темир	0,005	0,005	3300	21000	4
Вакуумда эритилган электролитик темир	0,010	—	—	60000	7,2
Водородда ишлов бе- рилган темир	0,005	0,003	6000	200000	3,2
Водородда яхшилаб ишлов берилган те- мир	—	—	20000	340000	2,4

Техник соф темир (қўшимчалари 0,02%) нинг асосий физик хоссалари қуйидагича:

Зичлиги 7880 кг/м³
 Эриш температураси 1539°С
 Солиштирма иссиқлик сими 0,46 КЖ/кг К

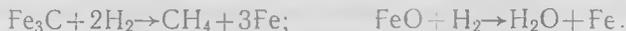
Иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти	71,5 Вт/м·К
Чизиқли кенгайиш коэффициенти	11,6·10 ⁻⁶ К ⁻¹
Солиштирма қаршилиги	0,1 мкОм·м
Қайишқоқлик модули	210 ГПа
Кюри нуқтасидаги температура	770°С

Ўзгармас токда ишлайдиган электр машинасида қўлланиладиган темир таркибида С, Si, Mn каби қўшимчаларнинг миқдори 1,2—1,5% гача, кам легирланган пулат таркибида эса С, Ni, Cr ларнинг миқдори 2,5—5% гача бўлади. Бу материалларда механик мустаҳкамлик ўсиши билан бир қаторда, магнитланиш хусусияти бирмунча ёмонлашади.

Электрוליтик темир техник соф темирни электролиз қилиш усули орқали олинади. Бундай темирнинг таркибидаги қўшимчаларнинг умумий миқдори 0,05% дан ошмайди. Электролитик темирга ишлов бериб, зарраларининг улчами 50—100 мкм бўлган кукун олинади. Бу кукунни босим остида ишлаш орқали ундан ўзақлар тайёрланади. Улар частотаси 100—1000 Гц атрофида булган асбобларда қўлланилади.

Карбонил темир темир пентакарбонил [Fe₂(CO)₅ суюқлиги] ни 200—250°С температурада кимёвий парчалаш орқали олинади. Карбонил темир майда кукун кўрinishида бўлиб, ундан юқори частотали магнит ўзақлар тайёрланади. Кичик шар шаклидаги заррачалар ўзақда содир буладиган куюн токи миқдорини кескин камайтиради.

Водородда 1480°С да 30—40 минут давомида куйдирилган соф темир бирикмасидан углерод ва кислород ажралиб чиқади:

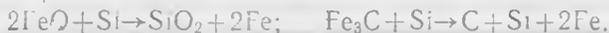


Мазкур темир ўта тозалиги билан ажралиб туради; кучсиз магнит майдонда бу материалнинг μ қиймати юқори бўлади. Темир монокристалли ўта юқори магнитланиш хоссасига эга.

Кремнийли электротехник пулат темир ва кремний қотишмасидан иборатдир. Ундан тайёрланган листлар электротехник пулат листлар дейилади. Бу пулат асосий магнит материалларидан бири бўлиб, саноат частотасида ишлайдиган электр машина ва аппаратларида кенг қўлланилади. Темир таркибига кремний киритишдан асосий мақсад материалнинг солиштирма қаршилигини ошириш ва ундаги куюн токи миқдорини чеклашдан иборатдир. Кремний элементи темирнинг магнит хоссаларини деярли ўзгартирмаган ҳолда P қийматна сезиларли даражада оширади.

Электротехник пулатнинг физик хоссалари	
Зичлиги	7800 кг/м ³
Таркибидаги кремний миқдори	0,4—2,8%
Солиштирма қаршилиги	(0,14—0,50)·10 ⁶ Ом·м
Иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти	0,46—0,25 Вт/(м·К)

Кремний темир таркибидаги углерод ва кислород бирикмаларини емиради:



Электротехник пўлатларнинг таркибидаги 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, м.Ом.м
Легирланмаган	0	7,85	0,14
Қам легирланган	1	7,82	0,17
Ўртачадан қам легирланган	2	7,80	0,22
Ўртача легирланган	3	7,75	0,40
Юқори даражада легирланган	4	7,65	0,50
Ўта юқори даражада легирланган	5	7,55	0,60

Таркибидаги кремний миқдорининг ортишига қараб темир хоссаларининг ўзгариши:

Si, %	τ , кг.м ³	P_c	$(H_c)_{max}$, Вб/м ²	H_c , А.м	ρ , мкОм.м
0	7800	150	2,15	0,0160	0,10
2	7750	200	2,06	0,0036	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, изотропли; 2— совуқлайин шакл берилган, изотропли; 3—совуқлайин шакл берилган, анизотропли;

— таркибидаги кремний миқдори бўйича (маркадаги иккинчи рақам): 0 — кремний миқдори 0,4% гача (легиранмаган); 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— $P_{1/400}$; 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 заңжирларида 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. Таркибида

никель миқдори 70—83% бўлган пермаллойдлар юқори никелли. 40—50% бўлган пермаллойдлар эса паст никелли пермаллойдлар дейилади.

Таркибида 2% молибден бўлган пермаллойднинг ρ қиймати катта бўлиб, у яхши магнитланиш хусусиятига эгадир. Пермаллойддан қалинлиги 0,1—0,5 мм ли варақлар тайёрланади. Кукуни кўрнинишидаги пермаллойдга 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: $\mu_{гс} = 35500$, $\mu_{гт} = 120000$, $H_c = 1,8$ А/м, $\rho = 0,8$ мкОм. Альсифердан магнитли экран, асбобларнинг устки қисми ва бошқа махсулотлар қўйиш 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 таркибида 29,4% Fe, 45% Ni; 25% СО ва 0,6% Mn 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 асосидаги термомагнит қотишмалар киради.

Учинчи турга темир-кобальт қотишмалари киради. Таркибида 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. Таркибида, темирдан ташқари, икки ва ундан кўп валентли металл (Ni, СО, Mn, 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 спирги пластификатори қўшилади ва бу масса юқори босимда қолипланади. 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 темирнигига нисбатан 10^2 — 10^3 баробар юқори бўлганлиги учун ундан тайёрланадиган ўзақлар ҳажмини кескин кичрайтириш мумкин. Ферритдаги (μ, 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 M — 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°C атрофида бўлади. Унинг солиштирма оғирлиги 3700 — 4800 $\text{кг}/\text{м}^3$ 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	$\mu_{гб}$	$\mu_{гmax}$	$H_{гс}$ А/м	B_r Тл	$J_{гс}$ МГц	$T_k, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{Ом м}$	$\gamma \times 10^3,$ $\text{кг}/\text{м}^3$
2000 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	23	0,11	5	200	0,3	4,5
1000 НМ	800—1200	3000	24	0,10	3	110	10	4,9
600 НН	500—800	1500	40	0,12	5	110	100	4,8
1000 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	400	10^6	4,7
300 НН	280—350	600	80	0,13	20	120	10^7	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_d нинг қиймати иложи борица бирга яқин бўлиши керак. Узаклар тезда қайта магнитланиши учун уларнинг қайта уланish коэффициенти S_d кичик қийматга эга бўлиши керак.

Феррит узакларнинг хоссалари 31-жадвалда келтирилган.

31-жадвал

Феррит узакларнинг хоссалари

Материал	H_c , А.м	B_r , Тл	k_d	S_d , мкКл/м	T_c , °С
Турли навдаги ферритлар	10—1200	0,15—0,25	0,9	25—55	110—630
Пермаллойли узаклар (тасманинг қалинлиги 2—10 мкм)	8—50	0,6—1,5	0,85—0,9	25—100	300—630

Конструкциян чуян ва пулатлар асбобсозлик, аппаратсозлик ва электр машинасозликда кенг қўлланиладиган материаллардир. Магнит хоссаларига кўра улар магнитан (кулранг чуян, углеродли ва легирланган пулат) ва магнитсиз турларга бўлинди.

Кулранг чуян таркибида 3,2—3,5% углерод, кремний, марганец, фосфор ва олтингугурт бўлади. Бу материалнинг эгилишдаги мустаҳкамлиги 200—450 МПа. Ундан электр машиналарини корпуси, асоси ва шу каби деталлар тайёрланади.

Одатда, қуймалар олишда таркибида 0,08—0,2% углероди бўлган, углеродли пулатдан фойдаланилади. Бунда қуймалар 850—900°С температурада секин-аста юмшатилади. Махсус электр машиналарида, шунингдек, конструкцияси енгиллаштирилган машиналарда никель, ванадий, хром ва молибден билан легирланган пулатлар ишлатилади. Бу пулатларнинг 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 пулатлари; 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.

Кандайдир 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 характеристика ҳисобланади.

Пўлат таркибига вольфрам ёки хром каби металллар киритилса, мартенсит тузилишли материал ҳосил бўлади. Бунда пўлатнинг доимий магнит эскириш жараёни сўсяди. 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 бўлмайти. Альнидан магнит қўйиш 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 — қўймани кучли майдон таъсирида созилиш жараёни билан ҳам аниқланади.

Альни, альнико ва магнико қотишмаларининг камчилиги улардан аниқ ўлчамли кичик маҳсулотлар тайёрлашнинг мушкуллигидир.

Платинали қотишмалар темир ёки кобальт таркибига 77—78% платина қўшиш 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; $W_r = 12$ кЖ/м³; кобальтлисида 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.

ФОИДАЛАНИЛГАН 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, «Ўқитувчи», 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

Суз боши	3
Кириш	4
1- БУЛИМ ДИЭЛЕКТРИКЛАР	
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- БУЛИМ. УТКАЗГИЧЛАР, ЯРИМ УТКАЗГИЧЛАР ВА МАГНИТ МАТЕРИАЛЛАР	
7- б о б. Утказгич материаллар	113
7.1. Утказгич материалларнинг асосий хоссалари	113
7.2. Утказувчанлик хусусияти юқори булган материаллар	118
7.3. Ута ўтказгичлар ва криоўтказгичлар	120
7.4. Турли металллар	123
7.5. Турли қотшмалар	126

8-б о б. Ярим утказгич материаллар	133
8.1. Умумий маълумотлар	133
8.2. Ярим утказгичнинг электр утказувчанлиги	135
8.3. Ярим утказувчанлик 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

КАМОЛОВ ШУҲРАТ МУЗРОПОВИЧ
АҲМЕДОВ ОМОНУЛЛА ШОРАХМАТОВИЧ

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА МАТЕРИАЛЛАРИ

Тошкент «Ўқитувчи 1994

Редакция мудияри А. Рахимов
Муҳаррир Ш. Аъзамов
Кичик муҳаррир М. Иброҳимова
Расмлар муҳаррири Ф. Некқадамбоев
Техник муҳаррир Т. Грешникова
Мусахҳих А. Иброҳимов

ИБ № 5808

Терияшга берилди 10.07.93. Босишга рухсат этилди 2.05.94. Формати 60x90 1/16. Тип. қоғози. Литературная гарн Кегли 10 шпонсиз. Юқори босма усулида босилди. Шартли б. л 10.0. Шартли кр.-отт, 10,25. Нашр. л. 10,54. 3000 нусхадга 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.

O'QUV ZALI