

**“Электрон техника
материаллари ва
элементлари”
фанидан ўқув қўлланма**

Фарғона 2018

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ
ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ**

ФАРҒОНА ПОЛИТЕХНИКА ИНСТИТУТИ

**Нишонова М.М.
Умурзақова Г.М.**

**“Электрон техника
материаллари ва
элементлари”
фанидан ўқув қўлланма**

Фарғона 2018

Ушбу ўқув қўлланма “Электроника ва асбобсозлик” йўналиши талабалари учун мўлжалланган бўлиб ўқув режасида кўзда тутилган мавзуларни ўз ичига олган. Ўтказгичлар, диэлектриклар, ярим ўтказгичлар ва магнит материаллар ҳақида тушунарли тарзда маълумотлар келтирилган. Ушбу ўқув қўлланма электротехника ва электроника соҳасида фаолият кўрсатаётган барча мутахассислар учун фойдали бўлиши мумкин.

Институт услубий кенгаши
томонидан тасдиқланган
Баён № __ «__» _____ 2018й

“Электрон техника материаллари ва элементлари” фанидан ўқув қўлланма

Тузувчилар:

М.М. Нишоновна

Г.М. Умурзакова

Тақризчи:

**Фарғона политехника институти
доценти, Т.Ф.Н. Ахунов Қ.**

Фарғона 2018

Кириш

Электрон техника материаллари ва элементлари ўз ичига физика, химия ва математика каби фанлар асосида шаклланган кенг қамровли алоҳида фан бўлиб, замонавий электротехника ва электроника соҳасида қўлланилаётган барча материалларнинг хусусиятларини ўрганишга бағишланган. Матералшунослик, булар электрмашиналар, аппаратлар, асбоблар ва электр жихозлар ҳамда электрқурилмаларнинг бошқа элементлари тайёрланадиган махсус материаллардир. Матералшунослик турли-туман. Уларни бир нечта катта гуруҳларга ажратиш мумкин: электр ўтказгичлар, электр изоляцион материаллар (диэлектриклар), ярим ўтказгичлар, магнит материаллар.

Маълумки, электр машиналар, аппарат ва қурилмаларнинг ишончли ишлаши тегишли Матералшуносликнинг сифатига ва тўғри танланишига боғлиқ.

Электр изоляцион, магнитли ва бошқа Электрон техника материаллари ва элементлари рационал танланганда ўлчамлари ва массаси кичик, ишончли ишлайдиган электр ускуналар яратиш мумкин. Лекин, бунинг учун Электрон техника материаллари ва элементлари хоссларини ва уларнинг электр кучланиши, температура ҳамда бошқа факторлар таъсирида ўзгаришини билиш керак. Бирор электротехника материалнинг хоссаларига тўлиқ баҳо бериш учун унинг механикавий, электр, иссиқлик ва физик-кимёвий характеристикаларини билиш керак. Магнитли материалларда магнит хараakterистикаларини ҳам билиш зарур, улар бу материалларнинг магнитли хоссаларини баҳолашга имкон беради. Бундан ташқари техника ва технологиянинг ривожлана бориши ушбу таснифланишдан ташқарида бўлган бошқа материалларнинг пайдо бўлишига олиб келмоқда. Масалан, ўз хусусиятлари билан бу тўртликка кира олмайдиган ўта ўтказгичлар фаннинг энг янги ютуқлари асосида жадал ривожланиб келаётган наноматериаллар булар қаторига киради.

Дарсликда материалнинг хоссалари, унинг тузилиши, атом ва молекулаларининг хусусиятларидан ўзаро боғланишдаги параметрлардан келиб чиққан ҳолда кўриб чиқилган. Математик мулоҳазалар минимумлаштирилган, материалнинг физикавий хусусиятлари, тайёрланишлари ва ишлатилишига кўпроқ эътибор берилган. Баъзи материалларнинг электр майдони, магнит майдони, температура, кимёвий фаол муҳитлардаги ҳолатлари ҳам ёритилган. Уларнинг механикавий элементларига алоҳида эътибор берилган.

1-БОБ. Электротехник материалларнинг асосий характеристикалари

1.1. Ҳозирги замон радиоэлектроникасида электротехника материалларнинг ўрни

Электротехника материаллар конструкцион (ёғоч, пўлат) ва ёрдамчи материаллар (қалай, елим)дан фарқи равишда электроаппаратлар ва электрон қурилмааларда электромагнит майдонлар таъсирида ишлаб, фақат ўзига хос функцияларни бажариши керак. Баъзи электротехника материаллар, масалан, диэлектриклар бир вақтда ҳам ўзгарувчан, ҳам ўзгармас тоқларнинг юқори электр кучланиши остида туриши мумкин. Бу эса материалнинг махсус зўриққан ҳолатда туришига сабаб бўлади. Агар диэлектрикка қўйилган электр кучланиш унинг электр мустаҳкамлик чегарасидан ортиб кетса, диэлектрик бузилади (тешилади). Баъзан диэлектриклардан бирининг ишдан чиқиши радиокомпонент (конденсатор, трансформатор) нинг ва хатто, бутун электроаппаратнинг ишдан чиқишига сабаб бўлади.

Маълумки, юқори частота таъсирида қўп материалларда энергия исрофининг ортиши юзага келади. Бу энергия материалдан иссиқлик тарзида ажралиб чиқиб, унинг қизишига сабаб бўлади. Материал нотўғри танланган бўлса, юқори частотали тоқлар туфайли рўй берадиган қизиш жараёни шунчалик жадал бўладики, натижада радиоэлектрон аппаратуранинг электр характеристикалари кескин пасайиб кетиши ёки хатто унинг айрим узеллари ишдан чиқиши мумкин. Электрониканинг ҳамма соҳаларидаги ривожланиш яратилаётган электротехника материаллар технологиясини яхшилаш ва янгиларини ишлаб чиқиш билан боғлиқдир. Мисол сифатида бир жуфт ўтказгич орқали радио алоқа сигналларини узатиш мумкин бўлган шарт-шароитларни кўриб чиқамиз. Бу ҳолда узатувчи каналнинг ўтказувчанлиги юқори бўлиши лозим. Бундан ташқари, мазкур канал ўтказгичлари бир-биридан ва кабелнинг ерга уланувчи қобиғидан яхши изоляцияланган бўлиши керак. Ниҳоят, узатувчи қурилма бераётган сигналлар модуляциясининг шакли сақланиши керак. Бу деган сўз, узатувчи канал изоляциясининг электр хоссалари бутун узунлик бўйича кенг частоталар диапазонида барқарор бўлиши, температура ва намлик ўзгариши билан ўзгармаслиги лозим. Бундай мураккаб талабларга юқори частотали диэлектрикларгина жавоб бериши мумкин. Илгари ишлатилган металл магнит материаллар (пўлат, пермаллой) юқори частоталарда ўз магнит хоссаларини йўқотар эди. Бундан ташқари, бу материалларда энергия исрофи ортиб кетади ва у нормал иш режимидан чиқишга олиб келади. юқори частотали магнит майдонда ишлайдиган ўзақлар (юқори частотали дросселлар, импульсли трансформаторлар) учун частоталарнинг кенг диапазонида магнит хоссаларини сақлай оладиган ва энергияни кам исроф қиладиган тамоман янги магнит материаллар яратиш зарурати туғилди. Бундай материаллар ферритлар (куйдирилган металл оксидлари) эканлиги аниқланди.

Айниқса электротехника материалларнинг электроаппаратларни микро-миниатюралашдаги роли каттадир. Унинг мақсади радиодеталларни зич жойлаштириш билан кичик ўлчамли электроаппаратлар яратишдан иборат. Буни замонавий электротехника материаллар, ўтказгичлар, ярим ўтказгичлар ва магнетиклар ёрдамидагина амалга ошириш мумкин. Масалан, микроминиатюралашни амалга ошириш, яъни юпқа пардали интеграл микросхемаларни тайёрлаш учун 14-тозалик синфи билан силлиқланган микрокристалл структурали изоляцияловчи асос (таглик) талаб қилинади. Фақат шундагина асос сиртида микросхема, яъни 1 мкм дан қалин бўлмаган ўтказгичли, ярим ўтказгичли ва диэлектрикли қатламлар ҳосил қилиш мумкин бўлади. Интеграл микросхемалар учун мўлжалланган ҳамма материаллар кимёвий жихатдан ўта соф ва хоссалари барқарор бўлиши керак. Муайян бир мақсад учун материалнинг электр, механик, иссиқлик ва физик-кимёвий хоссалари тўпламини аниқ мос келтириб танлаш мураккаб масаладир. Бу хоссалар материалнинг характеристикалари ёки параметрлари деб аталувчи катталиклар орқали

ифодаланади. Масалан, электротехника материалларнинг механик хоссалари мустаҳкамлик характеристикалари (эгилишдаги бузувчи кучланиш ва бошқалар) орқали аниқланади. Уларнинг сон қийматлари муайян радиоматериалнинг механик хоссаларини баҳолаш ва берилган радиодеталь ёки РЭА узелини ишлаб чиқариш учун керакли радиоматериални тўғри танлашга имкон беради. Материалларнинг электр хоссалари уларнинг электр характеристикалари орқали аниқланади. Электр ва магнит характеристикалари бўйича аниқланадиган асосий хоссаларига қўра электротехника материалларни тўрт асосий гуруҳга ажратиш мумкин: ўтказгичлар, ярим ўтказгичлар, диэлектриклар, магнит материаллар.

Ўтказгичлар — таркибида эркин электронлар сони жуда кўп бўлиши сабабли электр ўтказувчанлиги катта бўлган металл материаллар.

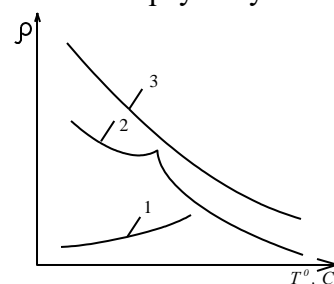
Ярим ўтказгичлар – ўтказгичларга нисбатан эркин электронлари анча камлиги сабабли электр ўтказувчанлиги кичикроқ материаллар. Ярим ўтказгичларнинг электр ўтказувчанлиги иситилганда, ёритилганда, электр майдон кучланганлиги ортганда ва бошқа ҳолларда кескин ортади. *Диэлектриклар* – эркин зарядли заррачалари (электронлар ва ионлар) жуда камлиги учун электр ўтказувчанлиги нихоятда кичик материаллар. Диэлектриклардаги зарядли зарралар сони уларга юқори кучланиш (оширилган кучланиш) қўйилгандагина ортади. Диэлектриклар газ ҳолдаги, суюқ (мойлар) ва қаттиқ диэлектрикларга фарқланади. Диэлектриклар аксарият ҳолларда РЭА да ўтказгич элементлари орасида, шунингдек, ярим ўтказгич элементлари ва ерга уландиган металл қисмлар орасида изоляция сифатида ишлатилади. Диэлектрикларнинг бу гуруҳи *пассив диэлектриклар* деб аталади. Яна *актив диэлектриклар* гуруҳи ҳам мавжудки, уларнинг хоссалари ўзига қўйилган электр кучланиш, температура, босим ва бошқаларга кучли боғлиқ бўлади.

Магнит материаллар ташқи магнит майдон таъсирида магнитланиш хусусиятига, яъни тузилиши жиҳатидан магнит хоссаларга эга бўлувчи материаллардир. Магнит материаллар магнит энергияни тўплай олади. Магнит материалларга баъзи металллар, уларнинг қотишмалари, шунингдек, металл материал ҳисобланмайдиган ферритлар киради.

1.2. Электр характеристикалар

Ҳар бир радиоматериал ўзининг электр хоссаларига эга. Чунончи, барча электротехника материаллар электр ўтказувчанликка эга, яъни электр токини ўтказиши. Электротехника материалларнинг электр хоссаларини баҳолаш учун уларнинг электр характеристикаларидан фойдаланилади.

Солиштирма электр қаршилиқ (ρ) радиоматериалнинг электр ўтказувчанлигини баҳолаш учун қўлланадиган электр характеристикадир. Бу катталиқ метрга Ом лар ($\text{Ом}\cdot\text{м}$)да ифодаланади. Радиоэлектроникада ундан кичикроқ бирлик ($\text{Ом}\cdot\text{см}$) дан ҳам фойдаланилади. Металл ўтказгич материаллар (мис, алюминий ва б.)нинг электр ўтказувчанлигини баҳолаш учун солиштирма электр қаршилиқнинг янада кичикроқ бирлиги – метрга микроом ($\text{мОм}\cdot\text{м}$) қўлланади. Бу бирликлар орасидаги муносабат: $\text{Ом}\cdot\text{см} = 10000 \text{ мОм}\cdot\text{м} = 0,01 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ дир. Исталган радиоматериалнинг солиштирма электр қаршилиги температурага чамбарчас боғлиқдир (1-расм). Шунинг учун температура кўтарилса, ўтказгичларнинг солиштирма электр қаршилиги ҳам ортади. Бунга температура ортганда ўтказгичнинг кристалл панжараси тугунларидаги атомларнинг тебраниш жадаллиги ортиб, унинг эркин электронларнинг тартибли қўчишига халақит бериши сабаб бўлади. Шу туфайли металл ўтказгичларнинг умумийва солиштирма электр қаршилиқлари ортади. Ярим ўтказгичлар ва диэлектрикларда эса, аксинча, температура ортиши билан умумий ва солиштирма электр



1-расм. Материаллар солиштирма электр қаршилигининг температурага боғлиқлиги 1- ўтказгич, 2-ярим ўтказгичлар, 3-диэлектриклар

қаршиликлари камаяди. Бунга сабаб, улардаги электр заряд ташувчилар концентрациясининг ортишидир.

Солиштирма қаршиликнинг температура коэффициентини (ТК_ρ) — материалнинг солиштирма электр қаршилиги температурага боғлиқ ҳолда ўзгаришини ҳисобга олишга ёрдам берадиган катталиқ. Солиштирма электр қаршилик чизиқли ўзгарганда (буни температура ўзгаришининг кичик оралиғида кузатилади) ТК_ρ ни қуйидаги формуладан аниқлаш мумкин:

$$TK_{\rho} = \frac{(\rho_2 - \rho_1)}{\rho_2(T_2 - T_1)}$$

бунда ρ_1 ва ρ_2 — материалнинг бошланғич T_1 ва охири T_2 температуралардаги солиштирма қаршиликлари.

Ўтказгичларда температура ортиши билан солиштирма қаршилик ҳам ортади, яъни $TK_{\rho} > 0$ — мусбат катталиқ, ярим ўтказгичлар ва диэлектрикларда температура ортиши билан солиштирма қаршилик камаяди, яъни $TK_{\rho} < 0$ — манфий катталиқ.

Ёзувни қисқартириш мақсадида ТК_ρ ни α ҳарфи билан алмаштирамиз. Материалнинг T_1 температурадаги солиштирма электр қаршилиги ρ_1 (Ом·м) маълум бўлса, унинг T_2 температурадаги солиштирма қаршилиги ρ_2 ни қуйидаги формула орқали ҳисоблаш мумкин:

$$\rho_2 = \rho_1 [1 + \alpha (T_2 - T_1)].$$

Барча электротехника материалларни электр ўтказувчанлиги бўйича учта асосий гуруҳга бўлиш мумкин:

- ўтказгичлар: $\rho = 10^{-8} \div 10^{-5}$ Ом·м, $TK_{\rho} > 0$;
- ярим ўтказгичлар: $\rho = 10^{-6} \div 10^7$ Ом·м, $TK_{\rho} < 0$;
- диэлектриклар $\rho = 10^7 \div 10^{18}$ Ом·м, $TK_{\rho} < 0$.

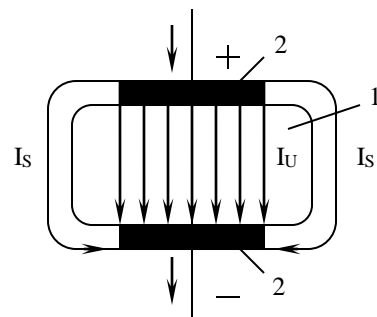
Солиштирма қаршиликларнинг келтирилган қийматлари шуни кўрсатадики, диэлектриклар энг кичик, ўтказгичлар эса энг катта электр ўтказувчанликка эга. Қаттиқ диэлектриклар ҳажмий I_v ва юза I_s электр ўтказувчанлик тоқларига эга (2-расм), шу сабабли уларнинг солиштирма ҳажмий ρ_v ва юза ρ_s қаршиликлари аниқланади. Солиштирма юза қаршилиги ҳам умумий қаршилик каби Ом ларда ифодаланади. Солиштирма ҳажмий қаршилик диэлектрикнинг ўз ҳажми орқали, солиштирма юза қаршилиги эса ўз сиртидан ток ўтказиш хоссасини

ифодалайди. Диэлектрикларда $\rho_v = 10^7 \div 10^{18}$ Ом·м; $\rho_s = 10^9 \div 10^{16}$ Ом бўлади.

Ўтказгичлар ва ярим ўтказгичлар токни яхши ўтказиши туфайли ҳажмий ва юза электр ўтказувчанликни ажратиб бўлмайди, шунинг учун уларда умумий солиштирма қаршилик ρ ни аниқланади.

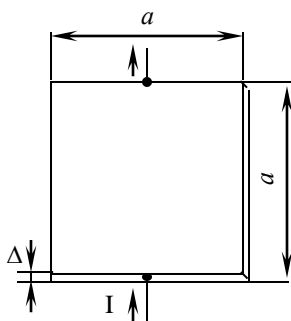
Солиштирма ўтказувчанлик γ (См/м) — солиштирма қаршиликка тескари катталиқ: $\gamma = 1/\rho$.

Қаттиқ диэлектрикларда солиштирма ҳажмий ўтказувчанлик $\gamma = 1/\rho_v$ (См/м, Ом⁻¹·м⁻¹) ва солиштирма юза ўтказувчанлик $\gamma_s = 1/\rho_s$ (См) лар бўлади.

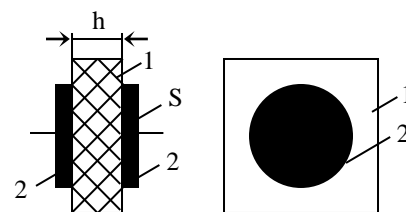


2-расм.

Диэлектрикда ҳажмий ва юза электр ўтказувчанлик тоқлари: 1-диэлектрик, 2-электродлар



3-расм. Юпқа плёнкалар электр қаршилигининг ўзгариши R



4-расм. Ясси конденсаторлар: 1-қаттиқ диэлектрик, 2- металл электродлар

Радиоматериалнинг электр ўтказувчанлик даражаси солиш-тирма ўтказувчанлик билан характерланади. Масалан, ўтказгичларда $\gamma = 10^5 \div 10^8$ См/м, ярим ўтказгичларда эса $\gamma = 10^5 - 10^7$ См/м тарзда бўлади. Қаттиқ диэлектрикларнинг солиштирма ҳажмий ва юза ўтказувчанликлари жуда кичик: $\gamma_v = 10^{-7} \div 10^{-18}$ См/м; $\gamma_s = 10^{-8} \div 10^{-16}$ См. Бу хусусият улардан электрон қурилмааларнинг турли электр потенциаллар остида бўладиган қисмларини изоляциялаш учун фойдаланиш имконини беради.

Юпқа плёнкалар (диэлектриклар, ярим ўтказгичлар ва б.) нинг, масалан, юпқа плёнкали интеграл микросхемаларда плёнкалар қаршилигини баҳолаш учун плёнка қаршилиги R_n (Ом/м) нинг мазкур плёнка сиртининг квадратига нисбатидан (3- расм) фойдаланилади: $R_n = \rho \alpha / \Delta \alpha = \rho / \Delta$.

Мана шу ифодадан R_n плёнка материалнинг солиштирма электр қаршилиги ρ га ва қалинлиги Δ га боғлиқлиги келиб чиқади. Плёнканинг қалинлиги бевосита ўлчаш қийин бўладиган кўп ҳолларда R_n нинг электр характеристикаси (параметр) дан фойдаланилади.

Диэлектрик сингдирувчанлик ϵ_r (нисбий диэлектрик сингдирувчанлик) диэлектрик ёки ярим ўтказгичнинг электр сиғим ҳосил қилиш хусусиятини ифодалайди. Ўлчамлара маълум ясси конденсатор (4- расм) нинг сиғими C (Ф) ундаги диэлектрикнинг диэлектрик сингдирувчанлигига тўғри пропорционал: $C = \epsilon_\alpha S / h$, бунда ϵ_α — абсолют диэлектрик сингдирувчанлик, Ф/м, S — битта металл қопламанинг юзи, м², h — диэлектрик қатламнинг қалинлиги, м; $\epsilon_\alpha = \epsilon_0 \epsilon_r$, бунда $\epsilon_0 = 8,85416 \cdot 10^{-12}$ - электр доимийси, Ф/м, ϵ_r — нисбий диэлектрик сингдирувчанлик (ўлчамсиз катталиқ). Вакуумнинг диэлектрик сингдирувчанлиги энг кичик ($\epsilon_r = 1$), суюқ ва қаттиқ диэлектрикларники ($\epsilon_r \approx 2 \div 17$); ҳавонинг диэлектрик сингдирувчанлиги эса

$$\epsilon_r = 1,00058.$$

Сегнетоэлектриклар деб аталувчи баъзи қаттиқ (актив) диэлектрикларнинг хона температурасидаги диэлектрик сингдирувчанлиги жуда катта қийматга етади ($\epsilon_r = 1500 \div 7500$). Бу хусусият улардан фойдаланиб жуда кичик ўлчамли конденсаторларни тайёрлаш имконини беради.

Диэлектрик сингдирувчанликнинг температура коэффициенти ТК $\epsilon_r (K^{-1})$ электротехника материалларнинг диэлектрик сингдирувчанлиги ϵ_r нинг температурага кўра ўзгаришини ифодалайди (5- расм).

$$TK \epsilon_r = \frac{(\epsilon_{r1} - \epsilon_{r2})}{\epsilon_{r1}(T_2 - T_1)},$$

бунда ϵ_{r1} ва ϵ_{r2} - материалнинг бошланғич T_1 ва охириги T_2 температурадаги диэлектрик сингдирувчанликлари.

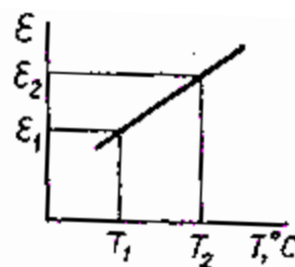
Диэлектрик сингдирувчанликнинг температура коэффициенти мусбат ёки манфий қийматга эга бўлиб, мос равишда мазкур диэлектрикнинг сингдирувчанлиги ортишини ёки камайишни (температура ортганда) кўрсатади.

Диэлектрик исрофларнинг бурчак тангенци $\text{tg} \delta$ ўзгарувчан

электр майдонда ишлатилаётган диэлектрикда сочилувчи актив энергия исрофини характерлайди. Электротехникадан маълумки, агар ўтказгичга бир гал ўзгармас кучланиш, кейин ўзгарувчан кучланиш (бунда ўзгарувчан кучланишнинг ҳақиқий қиймати ўзгармас кучланиш қийматига тенг) уланса, иккала ҳолда исроф бўладиган қувват (Вт) ўзаро тенг $P_+ = P_-$ бўлади.

Агар диэлектрикка бир гал ўзгармас кучланиш, кейин ўз-гарувчан кучланиш уланса, ўзгарувчан кучланиш уланган диэлектрикдаги қувват исрофи ўзгарувчан кучланиш уланган диэлектрикдагидан анча катта бўлади: $P_+ > P_-$.

Энергия исрофларидаги фарқ фақат диэлектрикларда кузатилади. Ўзгарувчан ёки ўзгармас электр майдонларда ишлатиладиган диэлектрикларда кузатиладиган қувват исрофлари диэлектрик исрофлар деб аталади.

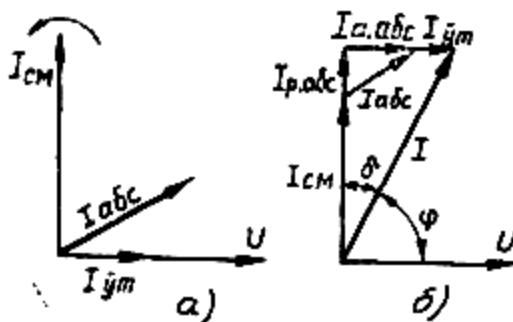


5-расм. Диэлектрик сингдирувчанликнинг температурага боғлиқлиги: (ТК $\epsilon_r > 0$)

Ўзгармас кучланиш уланган диэлектрикда фақат актив ток ўтказувчанлик токи $I_{\text{ўт}}$ оқади. Бу ҳолда диэлектрикда исроф бўладиган актив қувват (Вт) қуйидагига тенг бўлади:

$$P = UI_{\text{ўт}}$$

Ўзгарувчан кучланиш остида ишлайдиган диэлектрикдан фаза (вақт) бўйича силжиган уч хил ток: силжиш токи I_c , абсорбция токи I_{abc} ва ўтказувчанлик токи $I_{\text{ўт}}$ ўтади. Электротехникада диэлектрикка қўйилган ток ва кучланиш вектор диаграммада кўрсатилади (6- расм, а). Диаграммада кучланиш горизонтал жойлашган U вектор кўринишида тасвирланган. Силжиш токи I_c кучланишдан $1/4$ давр (90°) илгари юради, шунинг учун у кучланиш векторига тик жойлашган вектор кўринишида тасвирланган. Абсорбция токи I_{abc} ҳам кучланишдан илгари юради, бироқ бу илгариланиш 90° дан кам бўлади, ўтказувчанлик токи $I_{\text{ўт}}$ эса вақт (фаза) бўйича кучланиш билан мос тушади. Векторларни геометрик қўшиш қондасидан фойдаланиб, диэлектрикдаги умумий ток $I_{\text{ум}}$ топамиз. Бунинг учун абсорбция токнинг вектори I_{abc} ни ўзига параллел кўчирамиз ва уни силжиш токи I_c га қўшамиз (6-расм, б). Сўнгра ўтказувчанлик токи вектори $I_{\text{ўт}}$ ни худди шундай усулда кўчириб, абсорбция токи вектори I_{abc} га қўшамиз. Ҳамма токларни қўшиш натижасида диэлектрикда тугаштирувчи вектор кўринишидаги умумий ток I ни ҳосил қиламиз. Кучланиш вектори U билан умумий ток вектори I орасидаги бурчак ϕ билан белгиланади ва у фазаларнинг силжиш бурчаги деб аталади. ϕ бурчакни 90° гача тўлдирувчи бурчак, яъни умумий ток вектори I билан силжиш токи вектори I_c орасидаги бурчак δ билан белгиланади ва диэлектрик исрофлар бурчаги деб аталади.



6-расм. Диэлектрикда токларнинг диаграммаси:

а – токларни вектор кўринишида тасвирлаш.
б – токларни диэлектрикка қўйиш.

Вектор диаграммадан фойдаланиб, абсорбция токи I_{abc} ни актив $I_{a.abc}$ ва реактив $I_{p.abc}$ ташкил этувчиларга ажратамиз.

Ўтказувчанлик токи $I_{\text{ўт}}$ билан абсорбция токнинг актив ташкил этувчиси $I_{a.abc}$ нинг йиғиндиси диэлектрикдаги умумий ток I нинг актив ташкил этувчиси I_a бўлади, яъни

$$I_a = I_{\text{ўт}} + I_{a.abc}$$

Силжиш токи I_c билан абсорбция токнинг реактив ташкил этувчиси $I_{p.abc}$ нинг йиғиндиси умумий ток I нинг реактив ташкил этувчиси I_p бўлади, яъни

$$I_p = I_c + I_{p.abc}$$

Электротехникадан маълумки, диэлектрик (конденсатор)да сочиладиган актив қувват (Вт) конденсаторга қўйилган кучланишнинг актив токлар йиғиндисига кўпайтирилганига тенг:

$$P_a = UI_a \quad (1)$$

Конденсаторнинг реактив қуввати P_p (В·А) қўйилган кучланишнинг реактив токлар йиғиндисига кўпайтирилганига тенг: $P_p = UI_p$.

Токларнинг вектор диаграммасидан (6- расм, б) токлар нисбати $I_a/I_0 = \operatorname{tg} \delta$ эканини топамиз. Бу нисбатдан диэлектрикдаги актив ток $I_a(A)$ куйидагига тенглиги келиб чиқади:

$$I_a = I_p \operatorname{tg} \delta. \quad (2)$$

Реактив ток $I_p(A)$ куйидаги формула бўйича ҳисобланади:

$$I_p = U \omega C, \quad (3)$$

бунда $\omega = 2\pi f$ — бурчак частота, рад/с; f — ўзгарувчан ток частотаси, Гц.

Реактив ток қиймати (3) ни формула (2) га қўйиб, актив ток учун янги ифодани ҳосил қиламиз: $I_a = U \omega C \operatorname{tg} \delta$.

Бу ифодани диэлектрикда сочиладиган актив қувват $P_a(\text{Вт})$ ни ҳисоблаш формуласи (1) га қўйиб,

$$P_a = U^2 \omega C \operatorname{tg} \delta \quad (4)$$

ёки

$$P_a = U^2 2\pi f C \operatorname{tg} \delta \quad (5)$$

ни ҳосил қиламиз, бунда U — ўзгарувчан кучланишнинг ҳақиқий қиймати, В, ω - бурчак частота, рад/с, C — конденсаторнинг сифими, Ф, f - ўзгарувчан ток частотаси, Гц.

(4) ва (5) формулалардан кўринадики, диэлектрикдаги кучланиш U , частота f ва сифим C маълум бўлса, ундаги (изоляциядаги) актив энергия исрофлари $\operatorname{tg} \delta$ га боғлиқ бўлади, бу катталик ўзгарувчан кучланиш остида ишлаётган диэлектрикдаги актив қувват исрофини белгилайди. Изоляцияда қувват, айниқса, катта частоталарда кўп исроф бўлади. Шунинг учун РЭАда қўлланадиган диэлектриклар учун $\operatorname{tg} \delta$ нинг жоиз қийматлари юқори частотали диэлектриклар учун давлат стандартларида келтирилади.

Газ ҳолатдаги диэлектрикларда (газларда) $\operatorname{tg} \delta$ энг кичик: $\operatorname{tg} \delta = 20^{-6} \div 10^{-5}$ бўлади. РЭА нинг юқори частотали қисмларида ишлатиладиган қаттиқ диэлектриклар учун $\operatorname{tg} \delta = (2 \div 5) \cdot 10^{-4}$; кенг қўлланадиган диэлектриклар учун $\operatorname{tg} \delta = (2 \div 5) \cdot 10^{-3}$.

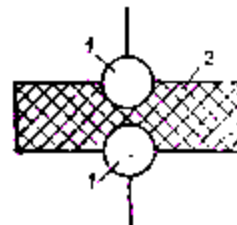
$\operatorname{tg} \delta$ нинг қиймати қанча кичик бўлса, диэлектрикнинг сифати шунча яхши бўлади, чунки унда энергия кам исроф бўлади. Энергиянинг актив исрофлари катта бўлса, диэлектрик кўп қизийди ва ишдан чиқиши тезлашади. $\operatorname{tg} \delta$ нинг температурага ва қўйилган кучланиш частотасига боғлиқлигини диэлектрикларнинг қутбланиши ва электр ўтказувчанлиги жараёнларини кўриладианда аниқлаштирамиз.



7-расм. Учта металл электродли қаттиқ диэлектрикнинг намунаси: 1,2,3 – пастки, марказий ва ҳалқа электродлар, 4 - диэлектрик

Диэлектрикларнинг электр мустаҳкамлиги ҳамма нуқталарда кучланганлик E баравар бир жинсли электр майдонга

Диэлектрикларнинг солиширма ҳажмий ва юза электр қаршиликлари, диэлектрик сингдирувчанлиги ва $\operatorname{tg} \delta$ текшириладиган диэлектриклардан олинган намуналарда ўлчанади. Қаттиқ диэлектрикларнинг намуналари доира ёки квадрат шаклидаги пластинадан иборат бўлади. Квадрат пластинанинг томонларини 50 мм ёки диаметрини 100 мм, унинг қалинлигини 0,01÷5 мм ва ундан кўпроқ қилиб танланади. Қаттиқ диэлектрик пластиналарига диск ёки ҳалқа шаклидаги электродлар ўрнатилади (7-расм). юқорида айтилган характеристикаларни ўлчаш учун текшириладиган намуналарни



8-расм. Электр мустаҳкамликни аниқлаш учун сферик электродли қаттиқ диэлектрикнинг намунаси: 1 – сферик металл электродлар 2 - диэлектрик

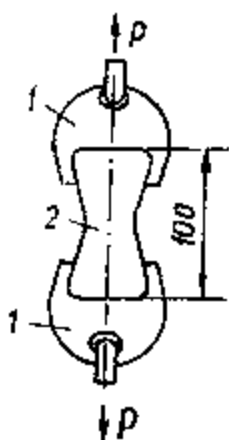
жойлаштирилган муайян ўлчамли намуналарда ўлчанади (8-расм). Бунинг учун текширилаётган диэлектрик 2 нинг намуналари ва унга ўрнатиладиган электродлар 1 нинг мувофиқ шакллари танланади.

Диэлектрикнинг электр мустаҳкамлиги $E_{мус}$ (В/м) бир жинсли майдон учун

$$E_{мус} = U_{мус} / h$$

формула бўйича ҳисобланади, бунда $U_{мус}$ — диэлектрик тешилган кучланиш, В, h — диэлектрик намунанинг тешилиш рўй берган жойдаги қалинлиги, м.

Намунадаги тешилиш рўй берган жойнинг қалинлиги (сферик электродлар оралиғи) 1—2 мм ни ташкил этади. Агар қалинлиги 2 мм дан ортиқ диэлектрикни тешилиш рўй бергунгача олиб борилса, худди шу материалнинг электр мустаҳкамлиги ундан кичик бўлади. Бунга сабаб шуки, диэлектрикнинг қалинлиги ортган сари тешилиш рўй берадиган жойда иссиқлик тарқалиши камаяди, нуқсонлар ор-тади, электр майдон нотекис бўлиб қолади. Материалларнинг электр мустаҳкамлиги ҳақидаги барча зарур маълумотлар бир текис электр майдонда 1—2 мм қалинликдаги диэлектрик намуналарни тешилишга синаш асосида келтирилади.



9-расм. Чўзилишдаги бузувчи кучланишни аниқлаш учун машинанинг пўлат қисмлари орасига жойлаштирилган радиокерамик диэлектрикнинг намунаси:
1 – пўлат қисмлар
2 – намуна

Диэлектриклар электр мустаҳкамлигининг сон қийматлари жуда катта (материалнинг 1 м қалинлигига бир неча миллион вольт). Бундай улкан рақамларни ёзмаслик учун кучланишни мегавольт (МВ), диэлектрикнинг қалинлигини метр (м) кўринишида ёзиш қабул қилинган.

1000 В дан юкори кучланиш остида ишлайдиган электроаппаратларнинг узелларида қўлланадиган диэлектриклар учун мустаҳкамлик жуда муҳим характеристика ҳисобланади. Масалан, иккита диэлектрик олайлик. Биринчисида $E_{мус} = 15$ МВ/м, иккинчисида $E_{мус} = 30$ МВ/м. Равшанки, бошқа характеристикалар (ρ_v , ρ_s , ϵ_r ва $\text{tg}\delta$) бир хил бўлса, иккинчи диэлектрикни танлаш керак, чунки унинг электр мустаҳкамлиги биринчи диэлектрикникидан икки марта катта.

1.3. Механик характеристикалар

Электротехника материаллар сифатини тўла баҳолаш учун уларнинг электр характеристикаларинигина эмас, балки механик мустаҳкамлигини белгиловчи механик характеристикаларини ҳам билиш лозим.

Чўзилишдаги бузувчи кучланиш σ_b (Па)* ни $\sigma_b = P_b / S_0$ формула билан ҳисоблаб топилади, бунда P_b - материал намунасини чўзилиши (узилиши) даги бузувчи зўриқиш, Н; S_0 — материал намунасининг бузилмасдан олдинги кўндаланг кесим юзи, м².

Чўзилишдаги нисбий узайиш ϵ_r (%) ни

$$\epsilon_r = (l_r - l_0) \cdot 100 / l_0$$

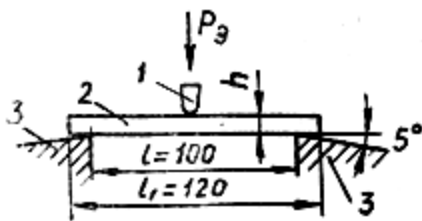
100/ l_0 формула билан ҳисоблаб топилади, бунда l_0 ва l_r — материал намунасининг чўзилишгача ва чўзилишдан кейин узунликлари, м. Материалнинг чўзилишдаги нисбий узайиши унинг чўзилувчанлиги ва пластиклигини баҳолашга имкон беради. Масалан, резинада $\epsilon_r = 250 \div 300$ %,

металл ўтказгичларда $e_r = 15 \div 50\%$, пластмассаларда $e_r = 2 \div 5\%$ ни ташкил этади.

σ_6 ва e_r ни ўлчаш учун материалларнинг маълум ўлчам ва шаклдаги намуналаридан фойдаланилади. 9- расмда чўзилиш учун синаладиган радиокерамик материал (ультрачинни, стеатит ва х.) нинг синаш машинасидаги пўлат қисқичлар 1 га маҳкамланадиган намунаси 2 кўрсатилган. Бошқа материалларни синашда бошқача шаклдаги намуналардан фойдаланилади. Уларнинг ўлчамлари ва шакллари шундай танланиши лозимки, намуна чўзилганда унинг хавфли (энг кичик) кесимида механик кучланиш текис тақсимлансин.

Сиқилишдаги бузувчи кучланиш σ_c (Па) материалнинг маълум ўлчам ва шаклга эга бўлган намунасида $\sigma_c = P_c/S_0$ формула билан аниқланади, бунда P_c — материал намунасининг сиқилишидаги бузувчи зўриқиш, Н; S_0 — материал намунасининг бузилишдан аввалги кўндаланг кесим юзи, m^2 . Пластмассаларда сиқилишдаги бузувчи кучланишни аниқлаш учун баландлиги 15 ва 10 мм ли цилиндрсимон намуна олинади. Ҳар бир намуна преснинг пўлат плиталари орасига жойлаштирилади ва маълум тезликда (пластмассани 0,15 МПа/мин тезлик билан) сиқилади.

Статик эгилишдаги бузувчи кучланиш σ_3 — кўзгалмас пўлат таянчлар (10-расм) 3



10-расм. Статик эгилишда бузувчи кучланишни аниқлаш учун синов машинага жойлаштирилган пластмассанинг намунаси: 1 – пўлат даста, 2 – пластмасса намунаси (брусок), 3 – пўлат таянчлар

га қуйилган синалувчи материал намунаси 2 нинг ўртасига P_3 эгувчи кучланиш қўйиш билан аниқланади. Эгувчи кучланиш жуда секин, яъни статик режимда ортириб борилади. Пластмассаларнинг статик эгилишдаги мустаҳкамлик чегараси σ_3 ни ўлчаш учун узунлиги $l = 120$, кенглиги $b = 15$, қалинлиги $h = 10$ мм ли намунадан фойдаланилади. Ҳар бир намуна кенг томони билан иккк кўзгалмас таянч 3 устига жойлаштирилади.

Эгувчи кучланиш P_3 намунанинг ўртасига жойлашган пўлат даста 1 га қўйилади, Материалнинг статик эгилишидаги бузувчи кучланиши σ_3 (Па) ни $\sigma_3 = 1,5P_3b/(bH^2)$ формуласи билан ҳисоблаб топилади,

бунда P_3 — эгувчи зўриқиш, Н; L — синаш машинасининг таянчлари орасидаги масофа, м; b — намунанинг кенглиги, м; h — намунанинг қалинлиги, м. Радиокерамик материалларда σ_3 узунлиги 120 мм ва $\varnothing 20$ мм ли цилиндрсимон намуналарда ўлчанади.

Зарб қовушоқлиги a — материал намунасини бузишга сарфланган ишнинг унинг кўндаланг кесими юзига нисбати. Пластмассаларнинг зарб қовушоқлигини аниқлаш учун статик эгилишдаги бузувчи кучланишни ўлчашдаги шакл ва ўлчамга эга бўлган намунадан фойдаланилади. Бу мақсадда узунлиги 120 мм, кенглиги 15 мм ва қалинлиги 10 мм ли (11-расм) брусок 4 ни энсиз томони билан синаш асбобининг пўлат таянчлари 5 орасига жойлаштирилади. Таянчлар орасидаги масофа 70 мм қилиб танланади. Асбобнинг оғир пўлат маятники 1 нинг ўйиғига пона шаклидаги болғаси билан уради ва уни бузади. Маятник ўқ 3 атрофида айлана олади. Унинг оғирлик маркази болғанинг маркази билан мос тушади.

Зарб қовушоқлигини ўлчаш учун маятникни маълум баландликка кўтариб, қўйиб юборилади. У пастга тезланиш олиб брусокнинг ўртасига болғаси билан уради ва уни бузади. Материалнинг зарб қовушоқлиги a (J/m^2) материал намунасини бузиш учун сарфланган ΔA ишнинг мазкур намунанинг кўндаланг кесим юзи S_0 га нисбати тарзида ҳисоблаб топилади:

$$a = \Delta A/S_0 = \Delta A / (bh).$$

Зарб қовушоқлиги материалнинг мўртлик даражасини баҳолашга имкон беради. Материалнинг зарб қовушоқлиги қанча кичик бўлса, у шунча мўрт бўлади. Чунончи, мўрт радиокерамик материалларнинг зарб қовушоқлиги $a = 1,8 \div 4,5$ kJ/m^2 бўлса, шишали текстолитларники $a = 100 \div 150$ kJ/m^2 .

Ушбу характеристика радиодеталларга зарб юкланишлари тушадиган электрон қурилмааларда қўлланиладиган материаллар учун катта аҳамиятга эга.

1.4. Иссиқлик характеристикалари

Электротехника материалларнинг сифатини тўла баҳолаш учун уларнинг механик ва электр характеристикаларидан ташқари, иссиқлик характеристикаларини ҳам билиш лозим. Маълумки, электротехника материаллар, айниқса, органик диэлектриклар юқори ва паст температурани жуда яхши сезади. Радиоматериалларнинг асосии иссиқлик характеристикаларини қараб чиқамиз.

Эриш температураси ($^{\circ}\text{C}$) кристалл тузилишга бўлган материаллар-металлар) ярим ўтказгичлар ва диэлектриклар (германий, слюда, парафин ва б.)да аниқланади.

Юмшаиш температураси ($^{\circ}\text{C}$) аморф материаллар (компаундлар, шиша, полимер диэлектриклар)да аниқланади Кристалл тузилишга эга материал эриш температурасига етгандан эса қаттиқ ҳолатдан суюқ ҳолатга ўтади. Аморф материаллар эса қаттиқ ҳолатдан суюқ ҳолатга аста-секин температураларнинг кенг оралиғида ўтади, шунинг учун аморф материалнинг турли усуллар билан аниқланадиган шартли юмшаиш температурасидан фойдаланишга тўғри келади.

Агар кристаллик материалнинг эриш температураси ёки аморф материалнинг юмшаиш температураси 55°C га тенг бўлса, уни радиопаратларда ишлатиш мумкин эмас, чунки, у ерда материал бундан юқори температура остида бўлиши мумкин.

Температуравий кенгайиш коэффициенти ТКК материал температураси T_0 дан T_1 (K^{-1}) гача ўзгарганда унинг дастлабки узунлиги ўзгаришини ифодалайди ва қуйидаги формула билан ҳисобланади:

$$\text{ТКК} = (l_1 - l_0) / [l_0(T_1 - T_0)],$$

бунда l_0 ва l_1 материалнинг дастлабки T_0 ва охириги T_1 , температурадаги узунликлари.

ТКК катта амалий аҳамиятга эга, масалан, у электроаппарат узелларини герметиклашда муҳим роль ўйнайди. Шунинг учун ТККлари бир-биридан кескин фарқ қилувчи икки детални бир-бирига улаш мумкин эмас. Кварц шишанинг ТКК энг кичик ($5,5 \cdot 10^{-6} \text{ } 1^{\circ}\text{C}$) симобники энг катта ($182 \cdot 10^{-6} \text{ } 1^{\circ}\text{C}$) шунинг дек, баъзи полимер диэлектрикларда, масалан, полиэтиленда $145 \cdot 10^{-6} \text{ } 1^{\circ}\text{C}$ ва полнвинилхлоридда $160 \cdot 10^{-6} \text{ } 1^{\circ}\text{C}$

Иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти λ материалнинг иссиқроқ сиртидан совуқроқ сиртига иссиқлик ўтказиш хусусиятини баҳолаш имконини беради. Иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти ($\text{Вт}/\text{См}\cdot\text{К}$) қуйидаги формула билан ҳисобланади:

$$\lambda = Ph / [S(T_2 - T_1)\tau],$$

бунда P - мазкур материалнинг h қалинликдаги деворчасининг сирти S , м^2 орқали τ , s вақтда ўтадиган иссиқлик оқимининг куввати; $(T_2 - T_1)$ материал намунаси сиртлари температураларининг фарқи.

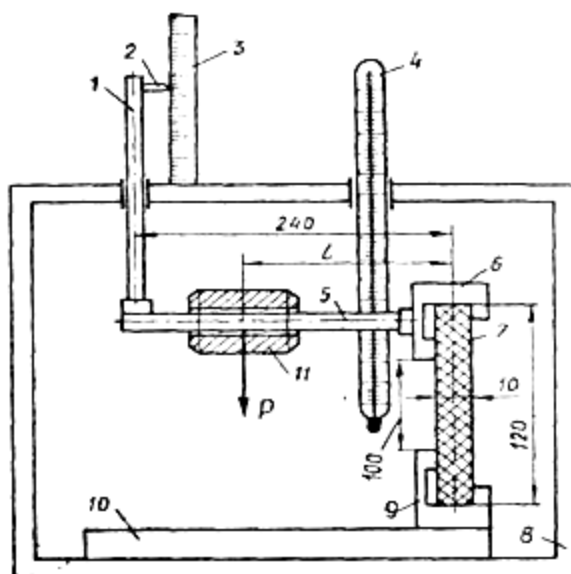
Металларнинг иссиқлик ўтказувчанлиги энг катта - $[68 \div 415 \text{ Вт}]/(\text{м}\cdot\text{К})$, қаттиқ органик моддаларники анча кичик — $[0,09 \div 0,35 \text{ Вт}]/(\text{м}\cdot\text{К})$ экани маълум.

Иссиқбардошлик — органик полимер диэлектрикларнинг иссиқлик характеристикаси. У намунага механик юкланиш берилган пайтда унинг қисқа муддатли қизишга чидамлилигини баҳолашга имкон беради.

Иссиқбардошлик Мартенс ёки Вик усули билан аниқланади. Мартенс усули тузилиши ҳар хил жинсли диэлектриклар (гетинакс, стеклотекстолит) учун, Вик усули бир жинсли диэлектриклар (полистирол, полиэтилен) учун қўлланади. Мартенс аппарати деворчалари пўлат тунукадан икки қават қилиб ишланган камерадан иборат (12-расм). Деворчалар орасига электр иситгич жойлаштирилган бўлиб, у девор ичи бўйлағини $50^{\circ}\text{C}/\text{соат}$ тезлик билан бир текис иситиб туради. Камеранинг ичига пўлат плита 10 жойлаштирилган бўлиб, унга учта туггич 9 бир қатор қилиб пайвандланган. Ҳар бир туггичга синаладиган битта диэлектрик намунаси ўрнатилади.

Муайян диэлектрикнинг иссиқбардошлигини баҳолаш учун учта туггичга ўрнатиладиган учта намуна олинади. Улар узунлиги 120 мм, эни 15 мм ва қалинлиги 10 мм

ли брусок шаклида бўлади. Ҳар бирининг юқориги учига пўлат қисқич б юкланиш ҳосил бўладиган қилиб ўрнатилади.



11-расм. Қаттик органик диэлектриклар-нинг
иссиқбардошлилигини аниқлайдиган
Мартенс апарати:

1-стержень, 2-кўрсаткич, 3-шкала, 4-термометр, 5-шток, 6-қисқич,
7-диэлектрик намунаси (брусок), 8-термостат, 9-тутғич, 10-пўлат
плита, 11-юк.

Штокнинг иккинчи (бўш) учига кўрсаткич 2 ли пўлат стержень 1 тиралиб туради. Аппарат ичидаги температура ҳар бири икки намуна оралиғига жойлаштирилган иккита термометр 4 ёрдамида ўлчанади. Қиздириш ва эғувчи моментнинг барабар таъсир этиши билан намуналар маълум температурага етгач эгила бошлайди. Бунда штокнинг бўш учи ва стержень пастга тушади. Штокнинг тушиш чуқурлиги миллиметрли шкала 3 дан кўрсаткичнинг ҳолатига қараб аниқланади.

Иссиқбардошлик учун (Мартенс усулида) намуна деформациясини қайд этувчи кўрсаткич шкалада 6 мм га тушган пайтдаги температуранинг қиймати қабул қилинади. Бунда берилган диэлектрик намуналарнинг учаласини синаш натижасида олинган иссиқбардошликнинг ўрта арифметик қиймати ҳисоблаб топилади. Масалан, полистиролнинг иссиқбардошлиги $75\div 80^{\circ}\text{C}$, гетинаксники $150\div 170^{\circ}\text{C}$ бўлади. Бу температуралар ортиб кетса, полистирол ва гетинаксдан ясалган буюмлар хавфли деформацияланиши мумкин ва бунга йўл қўйиб бўлмайди.

Вик усули бўйича иссиқбардошликни аниқлашда диэлектрик намунаси асбоб камераси ичидаги пўлат плитага жойлаштирилади. Шунда у $50^{\circ}\text{C}/\text{соат}$ тезликда бир текис қизийди. Намуна сиртига $\varnothing 1,13$ мм диаметрли пўлат стержень тиралиб туради, унга 1 кг массали юк таъсир қилади. Бу усулда иссиқбардошлик учун пўлат стержень синалаётган диэлектрикка 1 мм ботган пайтдаги температуранинг қиймати қабул қилинади.

Қизишга чидамлилиқ — диэлектрикларнинг механик, электрик ва бошқа хусусиятларини ўзгартирмай чегаравий жоиз температурада ҳам узоқ муддат ишлай олишини белгиловчи характеристикасидир. Электр изоляцион материаллар қизишга чидамлилигининг еттита даражаси белгиланган (1-жадвал).

Очиқ ҳавода ишлатиладиган электр изоляция материалларнинг қизишга чидамлик даражалари 1 - жадвал.

Қизишга чидамлик даражаси	Чегаравий температура °С	Қизишга чидамликнинг мазкур даражасига кирувчи диэлектрикларнинг тахминий рўйхати
Ү	90	Полистирол, полиэтилен, қоғоз, картон, ип газламалар
А	105	Гетинакс, текстолит, лок шимдирилган ипак ва ип газламалар
Е	120	Лавсан плёнкалар, мойли лок шимдирилган шиша толали газламалар, ноорганик қўшилмали пластмассалар
В	130	Қизишга чидамли ноорганик қўшилмали пластмассалар
Ғ	155	Слюда, асбест ёки шиша толалар қўшилган полиуретан, эпоксид асосли пластмассалар
Н	180	Кремний-органик диэлектриклар
Г	180 дан юқори	Слюда, радиокерамик материаллар, фторопласт-4, полиимидлар

Совуққа чидамлик—материалларнинг паст температураларга чидамлигини баҳолаш имконини берувчи характеристикаси. Кўп полимер диэлектриклар, резина ва бошқаларнинг паст температураларга чидамлиги кичикдир. Бу материаллар паст (-60°С ва ундан паст) температурагача совиганида механик мустаҳкамлигини йўқотади ва ёрилиб кетади. Шу сабабли диэлектрикларнинг совуққа чидамлиги кўпроқ механик мустаҳкамлигининг пасайиш даражаси орқали аниқланади.

1.5. Физик-кимёвий характеристикалар

Нам ютувчанлик ω — нам ҳаводаги материалнинг нам ютиш хусусияти. Диэлектрик пластинасининг нам ютувчанлигини аниқлаш учун уни аввал тарозида тортиб, сўнгра 20°С температурали нам ҳавога қўйилади; 24, 48 соатдан кейин намунани қайтадан тортиб кўрилади. Нам ютувчанлик (массага нисбатан % да) қуйидаги формула билан ҳисобланади:

$$\omega = (G_2 - G_1) \cdot 100 / G_1, \quad (6)$$

бунда G_1 — материал намунасининг дастлабки ҳолатдаги массаси, г; G_2 — намунанинг нам ҳавода 24, 48 соат турганидан кейинги массаси г. Баъзида материалнинг нам ютувчанлиги (г/дм²) бошқа формула $\omega = (G_2 - G_1) / F$ билан ҳисобланади, бунда G_1 ва G_2 лар (6) формуладаги катталикларнинг ўзи; F — материал намунасининг сирти, дм².

Тропик чидамлик — электротехника материалларнинг тропик иқлимли мамлакатлар (Ҳиндистон, Бирма ва б.)да атмосфера таъсирларига чидамлиги. Нам тропик иқлим шароитларида ҳимояланмаган электротехника материалларга қуйидагилар таъсир кўрсатиши мумкин: ҳавонинг юқори температураси (45—55°С); температуранинг сутка давомида кескин ўзгариши; ҳаво намлигининг юқори (80—95%) бўлиши; Қуёш радиацияси (ёруғлик ва иссиқлик оқими зичлигининг катталиги); туз ва чанг зарралари мавжуд ҳаво; органик материалларни емирувчи моғор замбуруғлари (ўсимлик микроорганизмлари); очиқ электрон қурилмадаги органик диэлектрикларни емирувчи ҳашаротлар.

Мана шу омиллар полимер диэлектриклар, пластмассалар, ва, хатто металл деталларнинг емирилишига сабаб бўлади.

Тропик иқлимга энг чидамли материаллар асли ноорганик моддалардан иборат— радиокерамика, ситаллар ва баъзи полимер (кремний-органик, фторорганик диэлектриклардир.

Электротехника материалларнинг тропик чидамлилиги турли усуллар: юқори температура, намлик, сунъий куёш радиацияси ва моғор замбуруғи (бир вақтда) билан аниқланади. У ёки бу радиоматериалнинг тропик чидамлилиги унинг дастлабки механик ва электр характеристикаларининг ёмонлашиш даражасига қараб белгиланади.

Радиацияга чидамлилиқ — α , β ва γ ҳамда нейронлар оқими каби ионловчи нурланишлар таъсирига чидамлилиқни баҳолашга имкон берувчи характеристика. Ионловчи нурланишлар асли органик ва ноорганик диэлектриклар, шунингдек ярим ўтказгичлар ва ўтказгичларнинг структурасини ўзгартиради. Натижада уларнинг дастлабки хоссалари ва характеристикалари ўзгаради. Ионловчи нурланиш, айниқса органик диэлектрикларга кучли таъсир этади, ҳатто, уларнинг емирилишига ҳам олиб келади. Бироқ баъзи органик диэлектриклар (полиэтилен, пропилен)га оз миқдорда нурланиш таъсир этса, уларнинг структураси ва асосий характеристикалари яхшиланади. Учиш аппаратлари (ракеталар, космик кемалар)га ўрнатиладиган электрон қурилмааларнинг узеллари кучли нурланишга дуч келади.

Радиоматериалнинг мана шундай нурланишга радиацион чидамлилиги материал намуналарини турли жадалликда узок вақт нурлантириб синаш билан аниқланади. Материалга нурланишнинг таъсир этиш даражаси массанинг камайиши, механик ва электр характеристикаларининг ўзгаришига қараб белгиланади.

II БОБ

ЭЛЕКТР ИЗОЛЯЦИОН МАТЕРИАЛЛАР

2.1 Газсимон диэлектриклар

Газсимон диэлектрикларга барча газлар ва газлар билан сув буғининг аралашмасидан иборат ҳаво киради. Кўпчилик газлар газ тўлдирилган конденсаторларда, ҳаволи юқори кучланишли выключателларда ва бошқа электротехника қурилмааларида диэлектриклар сифатида ишлатилади. Ҳаво барча электр қурилмааларни ўраб туради ва диэлектрик сифатида кўп жиҳатдан уларнинг ишончли ишлашини таъминлайди. Мачталарга чинни ёки шиша изоляторлар ёрдамида маҳкамланган юқори кучланишли электр узатиш линияларининг симлари бошидан охиригача бир-биридан фақат ҳаво қатлами билан изоляцияланган бўлади. юқори кучланишли симлар сиртига бевосита тегиб турган ҳаво қатламида баъзан бинафша рангли ёруғланиш электр тож кузатилади, у ўзига хос тувуш чиқариб туради (12-расм). Электр тож ҳавонинг электр изоляцион хоссалари ёмонлашганда ёки ҳавога жуда юқори кучланиш таъсир этганда пайдо бўлади. Бу ҳодиса жараёнида энергия исроф бўлади, шу сабабли унга қарши кўрашиш керак.

Қаттиқ изоляция ичига кириб қолган газ (ҳаво пуфакчалари) айниқса, ноқулай иш шароитида бўлади. Кетма-кет тугашган изоляция қатламларида электр майдон кучланганлиги уларнинг диэлектрик сингдирувчанлигига тескари пропорционал равишда тақсимланади, яъни

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} \quad (11)$$



12-расм. Ҳавода очик сим атрофидаги электр тож.

Кўпчилик газларда диэлектрик сингдирувчанлик (ϵ_1) бирдаи салгина катта (ϵ_2 - жадвал), қаттиқ диэлектрикларда эса (ϵ_2), унинг қиймати 2 дан 8 гача ва ундан ҳам катта бўлади. Шу сабабли қаттиқ изоляция ичига кириб қолган газлар қаттиқ изоляциядаги кучланганликка қараганда 2—8 марта катта кучланганлик таъсирида бўлади. Бу кучланганликка кириб қолган газни ионлаштириши, яъни унда кўп миқдорда электр жиҳатдан зарядланган заррачалар (электронлар ва ионлар) ҳосил қилиши мумкин. Бу, кўпинча, қаттиқ изоляция тешилишига, натижада электр машина, аппарат, кабель ва шунга ўхшашларнинг ишдан чиқишига сабаб бўлади. Нормал иш шароитларида газсимон диэлектрикларнинг ўтказувчанлиги жуда кам ва диэлектрик исрофлар оз ($\text{tg}\delta \approx 10^{-6}$) бўлади.

2.2. Газсимон диэлектрикларнинг электр ўтказувчанлиги

Ҳар қандай газда электр кучланиш таъсир этгунга қадар ҳам маълум миқдорда электр жиҳатдан зарядланган заррачалар — электронлар ва ионлар бўлади, улар газда тартибсиз ҳаракатда (иссиқлик ҳаракати) бўлади. Бўлар газнинг зарядланган заррачалари, шунингдек, қаттиқ ва суяқ моддаларнинг — масалан, ҳавога аралашган моддаларнинг зарядланган заррачалари бўлиши мумкин.

Ҳавода электр жиҳатдан зарядланган заррачалар газнинг ташқи энергия манбалари (ташқи ионизаторлар); космик нурлар ва қуёш нурлари, Ернинг радиоактив нурланишлари ва бошқалар таъсиридан ионланишидан ҳосил бўлади.

Газнинг ташқи ионизаторлар таъсирида ионланиш процессининг моҳияти шундан иборатки, бунда ионизаторлар энергиянинг бир қисмини газ атомларига беради. Натижада

валент электронлар қўшимча энергияга эга бўлиб қолади ва ўз атомларидан ажралади, бу атомлар эса мусбат зарядланган заррачалар—мусбат ионларга айланади. Ҳосил бўлган эркин электронлар узоқ вақт давомида газда мустақил ҳаракат қилиши мумкин ёки улар маълум вақтдан кейин электр жихатдан нейтрал атом ва газ молекулаларига бирикиб, уларни манфий зарядланган ионларга айлантиради.

Газсимон диэлектрикларнинг асосий харақтеристиклари 2-жадвал.

Диэлектрик	Зичлиги г/см ³	Диэлектрик сингдирув- чанлиги	Электр мустаҳкам- лиги, МВ/м	Иссиқлик ўтказиш коэффи- циенти*	Иссиқлик сиғими*
Ҳаво	1,0	1,00057	3,0	1,0	1,0
Азот	0,97	1,00058	3,0	1,08	1,05
Водород	0,69	1,00026	1,8	6,69	14,35
Карбонат ангидрид	1,529	1,00098	2,7	0,64	0,85
Элегаз	5,03	1,00191	7,2	1,25	0,60

Манфий зарядланган (электронлар) ва мусбат зарядланган (ионлар) заррачалар тартибсиз иссиқлик ҳаракатда бўлганида уларнинг бир қисми ўзаро бирикиб, газнинг электр жихатдан нейтрал атом ва молекулаларини ҳосил қилади. Бу процесс *тикланиш* ёки *рекомбинация* дейилади.

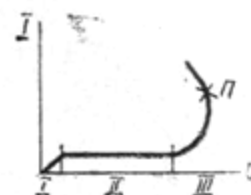
Агар металл электродлар орасига маълум ҳажм газ қўйилса, электродларга электр кучланиш берилганда газдаги зарядланган заррачаларга электр кучлар — электр майдон кучланганлиги таъсир этади.

Бу кучлар таъсирида электронлар ва ионлар бир электроддан иккинчисига томон силжийди ва газда электр токини вужудга келтиради.

Вақт бирлиги ичида газда зарядланган заррачалар қанчалик кўп ҳосил бўлса ва улар электр майдон кучлари таъсирида қанчалик тез ҳаракатланса, газда ток шунчалик кўп бўлади. Равшапки, газнинг айни ҳажмига қўйилган кучланиш ортиши билан электрон ва ионларга таъсир этувчи электр кучлар ҳам кўпаяди. Бунда зарядланган заррачаларнинг тезлиги ва бинобарин, газдаги ток ортади.

Газ ҳажмига қўйилган кучланишга қараб токнинг ортиши график тарзда *вольт-ампер харақтеристика* дейиладиган эгри чизиқ кўринишида тасвирланади (9-расм). Бу харақтеристика кучсиз электр майдон зонасида, зарядланган заррачаларга таъсир этувчи электр кучлар нисбатан кичик бўлганда (графикдаги I зона) газдаги ток қўйилган кучланишга пропорционал равишда ортишини кўрсатади. Бу зонада токнинг ўзгариши Ом қонунига мувофиқ содир бўлади.

Кучланиш янада ортиши билан (II зона) ток ва кучланиш орасидаги пропорционаллик бузилади. Бу зонада ўтказувчанлик токи кучланишга боғлиқ бўлмайди. Бу зонада газнинг зарядланган заррачалари — электронлар билан ионлар энергия тўплайди. Кучланиш янада ортиши билан (III зона) зарядланган заррачаларнинг тезлиги кескин ортади, натижада улар газнинг нейтрал заррачаларига тез-тез урила бошлайди. Бундай эластик урилишларда электрон ва ионлар ўзлари тўплаган энергиянинг бир қисмини газнинг нейтрал заррачаларига узатади. Натижада электронлар ўз атомларидан ажралиб чиқади. Бунда янги зарядланган электр заррачалар: эркин электронлар ва ионлар ҳосил бўлади.



13-расм. Газсимон диэлектрикнинг вольтампер харақтеристикаси

Учаётган зарядланган заррачалар газнинг атом ва молекулаларига тез-тез урилганлиги сабабли янги зарядланган электр заррачалар анча тез ҳосил бўлиб туради. Бу процесс газнинг зарбий ионланиши дейилади зарбий ионланиш зонасида (13- расмдаги III зона) кучланиш салгина кўпайганда ҳам газдаги ток тез ортиб кетади. Газсимон диэлектриклардаги зарбий ионланиш процессида газнинг солишгирма ҳажмий қаршилиқ катталиги (ρ_v) кескин камаяди ва диэлектрик исрофлар бурчак тангенци ($tg\delta$) катталашади.

Равшанки, газсимон диэлектриклардан зарбий ионланиш процесси содир бўладиган кучланишлардан паст кучланишлардагина фойдаланиш мумкин. Бундай шароитда газлар яхши диэлектрик ҳисобланади, уларнинг солишгирма ҳажмий қаршилиги жуда катта ($\rho \approx 10^{18}$ Ом·м), диэлектрик исрофларнинг бурчак тангенци эса жуда кичик ($tg\delta \approx 10^{-6}$) бўлади.

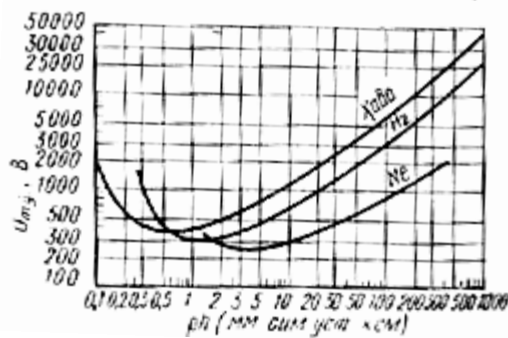
2.3. Газсимон диэлектрикларнинг тешилиши

Газда зарбий ионланиш процессининг кучайиши газ айни ҳажмининг тешилишига олиб келади (9-расмдаги II нуқта). Газ тешилган пайтда унда ток кескин кўпайиб кетади, кучланиш эса нолга интилади. Газнинг тешилиши учкун разряд кўринишида бўлади, яъни бунда газ муҳитга жойлаштирилган металл электродларнинг сиртларини тугаштирувчи ёруғ учкунлар чиқади.

Бир жинсли электр майдонда газсимон диэлектрикларнинг тешилиш ҳодисаси қуйидаги формула билан ифодаланади (Пашён қонуни):

$$U_{т.ў} = A p h, \quad (12)$$

бунда $U_{т.ў}$ – газ қатламини тешиб ўтиш кучланиши; p – газ босими, h – газ муҳитидаги электродлар орасидаги масофа; A – газ босими (p)га ва газ қатламининг қалинлиги h га боғлиқ бўлган катталиқ.



14-расм. Газлар тешилиш кучланишининг газ босими p билан электродлар орасидаги масофа h кўпайтмасига боғлиқлиги.

Пашён қонунига кўра исталган газнинг тешилиш кучланишининг қиймати газ босимининг электродлар орасидаги масофага кўпайтмасига тўғри пропорционал (10-расм). Шундай қилиб, газнинг тешилиш кучланишининг қиймати газнинг босими ҳамда электродлар орасидаги газ қатлами қалинлигининг ортиши билан катталашади (10-расмдаги эгри чизиқнинг ўнг қисми). Босим пасайиши ва электродлар орасидаги масофа камайиши билан газнинг тешилиш кучланиши камаяди, лекин минимумдан* ўтиб, сийракланган газ соҳасида ёки электродлар орасидаги масофа кичик бўлган зонада яна катталаша бошлайди (14-расмдаги U-симон эгри чизиқнинг чап қисми). Бу тушунарлидир, чунки сийракланган газ зонасида ионлаш объекти бўлган газнинг атом ва молекулалар сони кескин камаяди, демак, зарбий ионланиш процесси ҳам анча юқори кучланишларда содир бўлади.

Электродлар орасидаги масофа жуда кичик ($h=0,1$ мм ва ундан кам) бўлган зонада ҳам газнинг тешилиши юқори кучланишларда бўлади. Бунинг сабаби шуки, бунда йўл қисқалиги туфайли зарядланган заррачалар зарбий ионланиш процессининг амалга ошиши учун зарур бўлган энергияни тўплай олмайди. Бундай процесс содир бўлиши учун анча юқори кучланиш керак. Демак, кичик қатлам газнинг электр мустаҳкамлиги қатлам қалинлиги катта бўлгандагига қараганда каттароқ бўлар экан. Шундай қилиб, газнинг қатлам қалинлиги ортиши билан унинг электр мустаҳкамлиги камаяди. Нормал босимда ва электродлар орасидаги масофа 1 см ҳамда ундан катта бўлганда ҳавонинг электр пухталиги $E_m=3$ МВ/м. Ҳаво қатламининг қалинлиги катталашини билан бу миқдор камаё боради. Бошқа газларда ҳам худди шу ҳол кузатилади. 2- жадвалда келтирилган маълумотлардан кўриниб турибдики, элегазнинг электр мустаҳкамлиги қолганларникидан каттадир, иссиқлик ўтказувчанлиги ва иссиқлик сизими энг катта газ эса водороддир. Шу сабабли водороддан катта қувватли электр машиналарда (генераторларда) совитувчи муҳит сифатида (ҳаво ўрнига) фойдаланилади.

Газдаги электр майдоннинг бир жинслилик даражасига қараб, газсимон диэлектрикнинг тешилиши турлича содир бўлади. Масалан, ҳавода бир жинсли электр майдон бўлганида тешилиш бирданига учкун кўринишида содир бўлади. Ток манбаи анча қувватли бўлса, бу учкун разряд электр ёйга айланиб кетиши мумкин.

Бир жинсли бўлмаган электр майдонида газнинг тешилиши бир неча оралиқ босқичлар орқали содир бўлади. Дастлаб радиуси кичик электрод атрофидаги газ қатлами электр жиҳатдан қисман бузилади. Сўнгра кучланиш кўпайганида кичик радиусли электрод (симнинг учи, кичик диаметрли сим ва бошқалар) сиртидаги газда тож ҳосил қилувчи разряд кўринадиган электр тож пайдо бўлади (12- расмга қаранг), Бу тож кичик радиусли электрод атрофидаги ҳаво қатламида оч бинафша ёруғланиш пайдо бўлишидан иборат. Электр тож пайдо бўлганда вишиллаган товуш чиқади ва ҳавода озон O_3 ҳамда азот оксидлари NO ҳосил бўлади. Бу газлар металлларни ҳамда оралиқ моддалардан тайёрланган кўпчилик электр изоляцион материалларни (резиналар, пластмассалар ва бошқаларни) актив оксидлайди. Озон ва азот оксидлари таъсирида кўпчилик органик диэлектриклар емирилади. Кучланиш янада кўпайганида тож ҳосил қилувчи разряд учкун разрядга айланади, яъни газ электр жиҳатдан батамом бузилади (электр изоляцион хоссалари йўқолади).

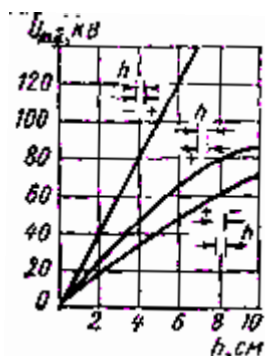
Шуни айтиб ўтиш керакки, бир жинсли электр майдонда газнинг тешилиши учун кучланиш, одатда, бир жинсли бўлмаган электр майдонда худди шундай қатламдаги газнинг тешилишига сабаб бўладиган кучланишдан кўп бўлади.

Амалда, асосан, бир жинсли бўлмаган электр майдонлар билан иш кўришга тўғри келади. Улар юқори кучланишли иккита қўшни симлар орасида, электр узатиш линияларида сим билан ерга туташтирилган мачта орасида ва бошқа ҳолларда кузатилади.

Орасида бир жинсли бўлмаган электр майдон вужудга келадиган типик электродлар жумласига учлик (сим учи)—тексислик, учлик — учлик ва бошқалар киради. Ҳақиқатан ҳам учлик атрофида куч чизиклари жуда қуюқ бўлади, бинобарин, бу ерда газнинг зарбий ионланишини вужудга келтирадиган катта кучланишлар таъсир этади. Учликдан тексисликка томон узоқлашилган сари куч чизикларининг қуюқлиги камайиб боради, демак, электр майдон кучланганлиги ҳам камаяди. Бунда уларнинг газ заррачаларига бўлган ионловчи таъсири ҳам камаяди.

Типик электродлар орасида газнинг тешилишига оид қонуниятлар юқори кучланиш қурилмаларининг кўпчилик элементларида (электр узатиш линиялари, ҳаволи виключателлар ва бошқалар) кузатилади. Бир жинсли бўлмаган майдонда газнинг тешилишига электродларнинг кутбланганлиги ҳам катта таъсир кўрсатади. Қалинлиги бир хил бўлган газ қатлами учун мусбат ўткир учли игна билан манфий зарядланган тексислик орасида тешиб ўтиш кучланиши манфий учликдагига қараганда анча кичик бўлади (15- расм). Бу ҳол мусбат зарядланган ионларнинг учлик атрофида

тўпланиши ва уларнинг манфий зарядланган текислик йўналишида тарқалиши билан тушунтирилади. Бунинг натижасида учлик гўё ўсиб, газ қатламига кириб боргандек бўлади ва учкун разряднинг йўли қисқаради. Бунда газ нисбатан паст кучланишларда тешиб ўтилади. Бу ҳолда манфий зарядланган учликда тешиб ўтиш кучланиши мусбат зарядланган учликдагига караганда юқори бўлади. Иккита учлик орасида ҳавони тешиб ўтиш кучланиши учлик-текислик (мусбат учликда) бўлган ҳолдагидан юқори бўлади. Бу ҳодиса иккита учлик орасидаги электр майдоннинг бир жинсли эмаслик даражаси анча



15-расм. Ҳаво тешилиш кучланишининг электродлар оралиғига боғлиқлиги: учлик – текислик, турлича қутбланган учлик – учлик.

камлиги билан тушунтирилади. Электр тож пайдо бўлишининг олдини олиш ва газсимон диэлектрикнинг тешилиш кучланиши қийматини ошириш учун электродларнинг учлари юмалоқланади ёки уларни катта диаметрли металл қалпоқлар (экранлар) билан ёпиб қўйишга ҳаракат қилинади.

Юқорида, газда қаттиқ диэлектриклар бўлмаганида уларнинг тешилиш ҳодисаси кўриб чиқилди. Амалда газ билан қаттиқ диэлектрик чегарасида газнинг тешилиш ҳоллари кўп учрайди. Бунга чинни изоляторнинг сиртини учкун қоплаб олиши мисол бўла олади. Бу ҳодиса қаттиқ диэлектрик сиртида ҳаво қатламининг тешилишидан иборат. Қаттиқ диэлектрик чегарасида ҳаво қатламини тешиб ўтадиган кучланиш барча ҳолларда худди шу масофада қаттиқ диэлектрик бўлмаган ҳолда газнинг тешилиш кучланишидан кам бўлади.

2.4. Суюқ диэлектриклар ҳақида умумий тушунча

Суюқ диэлектриклар электротехника қурилмаларида кенг қўламда ишлатилади. Куч трансформаторлари, реакторлар, мойли выключателлар, конденсаторлар, кабеллар ва электр жиҳозлар бошқа элементларининг ички бўшлиғига суюқ диэлектриклар тўлдирилади. Электр ускуналарга вакуум остида тўлдириладиган суюқ диэлектриклар ўрамларининг ғовак изоляциясига, картонларга ва бошқа ғовак электр изоляцион материалларга яхши шимилади ва уларнинг электр пухталигини анча оширади. Шунинг билан бирга суюқ диэлектриклар иссиқликни ташиб кетувчи муҳит ролини ҳам ўйнайди. Масалан, трансформаторларда изоляция мойи ўрамларга тегиб қизийди, сўнгра эса трансформатор бакларининг совуқ деворлари бўйлаб силжиб, олган иссиқлигини шу деворларга беради. Мойли выключателларда суюқ диэлектрик ток ўтказувчи қисмларни изоляциялаш билан бирга ишлаётган виключателнинг контактлари орасида пайдо бўладиган электр ёйни сўндирувчи муҳит ролини ҳам ўйнайди.

Суюқ диэлектриклар сифатида нефтдан олинadиган электр изоляцион мойлар энг кўп ишлатилadиган бўлади. Улар уч группага бўлинади: трансформаторлар ва юқори вольтли выключателлар учун ишлатилadиган мойлар; конденсаторларнинг қоғоз изоляциясига шимдириш учун ишлатилadиган мойлар; юқори вольтли кабеллар учун ишлатилadиган мойлар. Совол, совтоллар ва ПЭСЖ («Калория-2») каби синтетик мойлар камроқ ишлатилади.

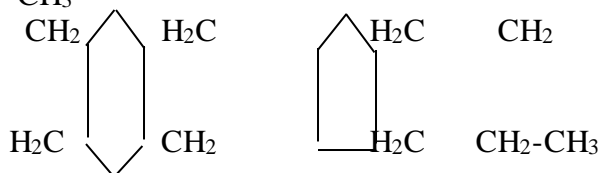
2.5. Нефть мойлари

Нефтдан олинadиган электр изоляцион мойлар нефтни бўлаклаб ҳайдаш методи билан олинади. Бу мураккаб процесс бўлиб, бир қатор операциялардан таркиб топади ва натижада соляр мойи олинади. Соляр мойига кет-макет сульфат кислота ва ишқор билан ишлов бериш орқали ундан химиявий беқарор бирикмалар йўқотилади. Тозалаш, қуритиш ва филтрлашдан кейин трансформаторлар, конденсаторлар ва кабеллар учун электр изоляцион мой олинади. Конденсатор ва кабель мойлари қўшимчалардан анча яхши тозаланганлиги билан ажралиб туради, шунинг учун унинг электр характеристикалари бирмунча юқори бўлади.

Нефть мойларининг химиявий таркиби нефтнинг таркиби билан аниқланади. Нефддан олинадиган барча электр изоляцион мойлар нафтен, парафин ва ароматик қатор углеводородларининг аралашмасидан иборат.

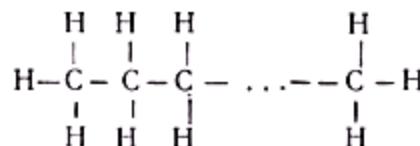
Нафтен углеводородлар углероднинг водород билан ҳосил қилган бирикмалари бўлиб, улар ён занжирли ёпиқ ҳалқалар кўринишида бўлади, шу сабабли улар, кўпинча, циклик углеводородлар дейилади:

Бу углеводородлар оксидланишга чидамдир, шу сабабли улардан мойлар таркибида фойдаланилади. Мойда нафтен углеводородларнинг миқдори 70—80% га етади. $\text{CH}-\text{CH}_2-$
 $\text{CH}-\text{CH}_3$



Парафин қатори углеводородлари углерод билан водороднинг занжир структурали молекулалар ҳолидаги бирикмаларидир:

Бу формуладан кўришиб турибдики, ўзаро боғланган углерод атомларининг сонига қараб занжирларнинг узунлиги турлича бўлиши мумкин. Парафин қатор углеводородлари химиявий барқарор, яъни оксидланишга қарши чидамли бўлади.



Ароматик углеводородлар ҳам углерод билан водороднинг оксидланишга чидамли циклик бирикмаларидир. Бу углеводородларни электр изоляцион мой таркибидан чиқариб юбориши мойнинг тез оксидланишига сабаб бўлиши аниқланган, лекин мойлар таркибида ароматик углеводородларнинг ҳаддан ташқари кўп бўлиши мой буғининг алангаланиш температурасини пасайтиради ва чўкма тушишига олиб келади. Бунинг натижасида мойнинг электрик характеристикалари ёмонлашади. Мойда ароматик углеводородларнинг миқдори 10—12% дан ошмайди.

Нефддан олинадиган электр изоляцион мойларнинг таркибига бошқа компонентлар— органик кислоталар, смоласимон моддалар, олтингугуртли бирикмалар ва озроқ миқдорда оксидланувчан тўйинмаган углеводородлар ҳам киради.

Нефддан олинадиган электр изоляцион мойларнинг кўпгина миқдори қоғоз изоляцияли куч кабеллари ишлаб чиқаришда ҳам ишлатилади.

Кабел мойлари қовушоқлигига кўра қуйидаги группаларга бўлинади: 1) қовушоқлиги кам бўлган мойлар МН-2; 2) қовушоқлиги ўртача бўлган мойлар С-110 ва С-220; 3) қовушоқ мойлар.

Қовушоқлиги кам бўлган мой МН-2 мой тўлдириладиган паст ва ўрта босимли ($3 \cdot 10^5$ Па гача) кабелларда ишлатилади. Барча иш температураларда нисбатан кичикроқ каналлар орқали кабелга мой тўлиқ шимилиши учун бундай кабелларда мойнинг қовушоқлиги кам бўлиши зарурийдир.

Қовушоқлиги ўртача С-110 ва С-220 мойлар 110 кВ ва ундан юқори кучланишда $14 \cdot 10^5$ Па га яқин босимда ишлайдиган мой тўлдириладиган юқори вольтли кабелларга шимдириш ва уларни тўлдириш учун мўлжалланади. Бу мойлар таркибида ароматик углеводородлар ҳам, смоласимон моддалар ҳам бўлмайди. Улар нафтен ва парафин углеводородларнинг техникавий соф аралашмасидан таркиб топган, шу сабабли электрик характеристикалари анча барқарор бўлади.

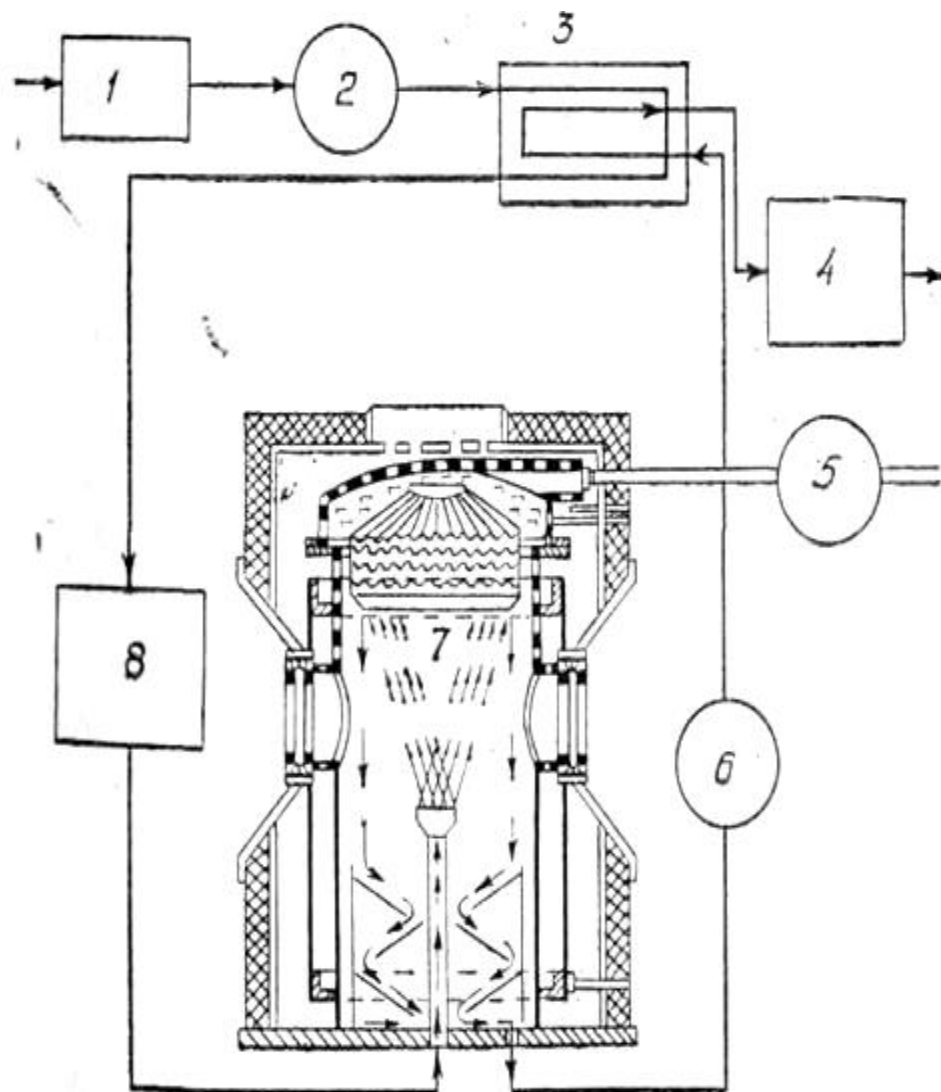
Энг қовушоқ мой 35 кВ гача кучланишда ишлайдиган қоғоз изоляцияли кабеллар учун ишлатилади, уларда шимилувчи суюқ модда нефть мойи ва унда эритилган канифолдан иборат бўлади. Бундай кабелларда суюқ изоляция ҳеч қандай ортиқча босим остида бўлмайди, шимдириладиган мой ниҳоятда қовушоқ бўлганидан, қия ёки вертикал ўрнатилган кабелда оқиб кетмайди.

3-жадвалда нефтдан олинадиган электр изоляцион мойларнинг асосий характеристикалари келтирилган.

Барча мойлар ишлатилиш жараёнида юқори температура, электр майдон таъсирида бўлади, шунингдек, электр ускуналарнинг металл қисмларига тегиб туради. Баъзи электр ускуналарида мойга атмосфера ҳавоси тегиб туради. Айтиб ўтилган барча факторлар мойнинг эскиришига сабаб бўлади, яъни бунда мой оксидланади. Мойнинг эскириши мис, латунъ, темир каби металл катализаторлар таъсирида тезлашади. Мойда сувнинг бўлиши ҳам унинг эскириш процессини тезлаштиради. Мой эскирганида унда эримайдиган, лекин иссиқ мойда эрийдиган қаттиқ смоласимон аралашмалар ҳосил бўлади. Бундай қўшимчалар трансформаторларнинг чулғамларига ва бошқа қисмларига чўкма ҳолида ўтиради ва қизиган қисмлардан иссиқликнинг олиб кетилиши қийинлаштиради. Қўшимчалар мойда эриган ҳолатда бўлганида унинг электр хоссаларини анча ёмонлаштиради. Мойнинг эскириш процессида унда кислоталар ва намлик ҳосил бўлади, улар трансформаторларда, кабелларда ва бошқа электр ускуналарда изоляция даражасини кескин камайтириб юборади.

Мойларнинг эскиришини секинлатиш учун уларга оксидланнишни тўхтатувчи моддалар — ингибиторлар қўшилади. Лекин ингибиторлар қўшиш мойни эскиришдан батамом сақлаб қола олмайди. Шу сабабли электр изоляцион мойларни куруқ идишларда сақлаш ва ташиш, уларни тоза металл трубалар орқали узатиш керак (резина шланглар орқали узатиш ярамайди, улар мойда эриб, мойни ифлослантиради). Ишлатиш жараёнида мойни унга ҳаво ва намлик киришилан сақлаш керак. Мой тўлдириладиган аппаратларнинг қопқоғи зич беқиладиган бўлиши ва уларда консерваторлар яъни қўшимча бочкалар бўлиши керак. Баъзан трансформаторларда мой устидаги бўшлиқ инерт газ, масалан азот билан тўлдирилади, у мойни оксидланишдан сақлайди. Мойни эскиришдан сақлаш чоралари кўрилишига қарамай, у бари бир оксидланади ва вақт ўтиши билан унда қаттиқ ҳамда суюқ оксидланиш маҳсулотлари ва сув пайдо бўлади. Шу сабабли ишлатилаётган мойни вақт-вақти билан қўшимчалардан ҳамда сувдан тозалаш ва ҳатто, унинг хоссаларини тиклаш зарур бўлади. Тозалашнинг бир неча усуллари бор. Мойдан сувни буғлатиш йўли билан, мойни сувнинг қайнаш температурасига қадар қиздириб йўқотиш мумкин. Лекин ҳаво кириб турганида мой ҳар қандай қиздирилса ҳам бари бир бузилади, шу сабабли мой махсус қурилмааларда вакуум остида қурилади. Бунинг натижасида, биринчидан, анчагина миқдорда ҳаво ва бинобарин, кислород йўқотилади, иккинчидан, сувнинг қайнаш температураси пасаяди, яъни унинг буғланиши осонлашади.

16- расмда мойни вакуумда пуркаш йўли билан қуришиш схемаси кўрсатилган. Мой насос билан фильтр 1, иссиқ алмашгиргич 3 ва электр иситкич 8 орқали пуркалган ҳолатда вакуум қозон 7 га узатилади, бу ерда сув буғи газ ва вакуум насос 5 билан сўриб олинади. Шундан кейин мой насос 6 билан иссиқ алмашгиргич 3 орқали фильтрпресс 4 га узатиб бериледи, сўнгра бевосита трансформатор ёки идишга ўтади. Бунда мой сув ва қўшимчалардан тозаланади.



16-расм. Мойни вакуум остида тўзйтиш йўли билан қуритиш схемаси:

1-дастлабки филтр, 2-5 ва 6-насослар, 3-иссиқ алмаштиргич, 4-филтр-пресс, 7-вакуум қозон, 8-электр иситгич.

Мойни қаттиқ қўшимчалардан центрифуга ёрдамида тозалаш мумкин, унда зичлиги мойнинг зичлигидан катта бўлган қаттиқ заррачалар центрифуга деворларига отилиб чиқади ва чиқариб ташланади. Бу ерда мой юпқа пардаларга ажралади, шу сабабли унинг оксидланиш хавфи туғилади, чунки яхши тозалаш ва қовушқоқлигини камайтириш учун мой центрифугадан қиздирилган (40 - 60°C гача) ҳолатда ўтказилади.

Суюқ диэлектриклар сувдан ва қаттиқ заррачалардан ҳам филтрпресс ёрдамида тозаланади; бунда иситилган изоляция суюқлик (3—5) • 10⁵ Па босим остида филтр-пресс орқали ўтказилади. У филтр картондан иборат тўсиқлар системасидан ўтади. Ифлосликлардаги қаттиқ заррачалар картон листларнинг сиртига ўтиради, картон капиллярларининг деворлари эса намликни ютади, лекин тозаланган ва қуритилган суюқ диэлектрикни ўтказиб юборади.

Ута эскирган, кислота сони 0,4 мг КОН/г дан юқори кучли даражада оксидланган мойни тиклаш (регенерациялаш) зарур бўлади. Мойларни регенерациялашнинг бир неча усуллари бор*. Жуда оксидланган ва эскирган мойлар кислота-ишқорий усул билан тикланади. Бунда регенерацияланадиган мойга 0,5—2% кучли сульфат кислота қўшилади. Қислота барча

Нефтан олинадиган изоляция мойларнинг асосий характеристикалари

3-жадвал

Характеристикалари	Улчов бирликлари	Трансформатор мойи	Конденсатор мой	Кабель мойлари	
				МН-2	С-220
Зичлиги	кг/м ³	870-890	860	890	840
20° С даги қовушқлиги	м ² /сек	30·10 ⁻⁸	40·10 ⁻⁶	36·10 ⁻⁶	800·10 ⁻⁶
50° С даги қовушқлиги	м ² /сек	9,2·10 ⁻⁶	10·10 ⁻⁶	9·10 ⁻⁶	60·10 ⁻⁶
Буғларининг алангаланиш температура (камида)	° С	135	135	135	180
Қотиш температураси (қўпи билан)	° С	-45	-45	-45	-30
20° С даги солишгирма ҳажмий қаршилиги	Ом·м	10 ¹³ -10 ¹⁴	10 ¹³ -10 ¹⁴	10 ¹³ -10 ¹⁴	10 ¹⁴
Кислота сони	мг КОН/г	0,03-0,05	0,01-0,02	0,04	0,02
Диэлектрик сингдирувчанлиги	-	2,2-2,4	2,2	2,3	2,4
50 ° Гц да диэлектрик исроф бурчак тангенси	-	0,003-0,005	0,002-0,003	0,003	0,003
20 °С даги электр мустаҳкамлиги	МВ/м	18	20	18	20

беқарор бирикмаларни боғлайди ва уларни кислотали гудронга айлантиради. Шундан кейин тиндирилган мойга органик кислоталар ва сульфат кислота қолдиқларини нейтраллаш учун ишқор билан ишлов берилади. Сўнгра мой дистирилланган сувда ювилади ва унга адсорбентлар билан ишлов берилади, шундан кейин фильтр пресс орқали филтрланади ёки центрифуга орқали ўтказилади.

2.6. Синтетик суюқ диэлектриклар

Нефтан олинадиган электр изоляция мойларнинг камчилиги уларнинг ёнувчанлиги, буғларининг алангаланиш температураси унчалик юқори эмаслиги ва диэлектрик сингдирувчанлик қийматининг кичиклигидир. Хлорланган углеводородлардан таркиб топган синтетик суюқликларнинг бундай камчилиги йўқ. Уларнинг типик вакили соволдир. У суюқлантирилган кристалл модда— дифенил $\text{H}_5\text{C}_6 - \text{C}_6\text{H}_5$ ни хлорлаш йўли билан тайёрланади.

Катализатор (қалай, темир ва бошқалар) иширокида суюқлантирилган дифенил орқали хлор ўтказилади. Бунда дифенил молекуласидаги водород атомларининг хлор атомларига алмашиниш реакцияси содир бўлади. Агар тўрттадан қўп водород атоми алмашинса, мойсимон маҳсулот олинади. Саволда бешта водород атоми хлор атомларига алмашинган $\text{C}_{13}\text{H}_2\text{C}_6 - \text{C}_6\text{H}_3\text{Cl}$.

Савол молекулалари носимметрик тузилганлиги учун улар қутбланган бўлади ва совол қутбланган диэлектрик ҳисобланади. Унинг диэлектрик сингдирувчанлиги $\epsilon=5,2$, яъни изоляция қоғозларишг диэлектрик сингдирувчанлик қийматига мос келади, бу эса конденсаторларнинг сиғимини оширади ва қоғоз изоляциянинг электр мустаҳкамлигини (E_s) оширади. Шу сабабли совол қоғоз конденсаторларда шимдириладиган модда сифатида

ишлатилади. Соволнинг $\text{tg}\delta$ қиймати нефть мойлариникига қараганда бир оз катта, электр мустаҳкамлиги эса нефтдан олинган изоляцион мойларнинг электр мустаҳкамлигига яқин келади.

Совол ёнмайдиган модда, бу унинг нефть мойлариг нисбатан асосий афзаллигидир. Лекин унинг ишлатилиш соҳаларини чеклайдиган муҳим камчиликлари ҳам бор. Соволнинг қотиш температураси 5°C . Бундан ташқари, соволнинг қовушоқлиги катта, унинг 40°C даги

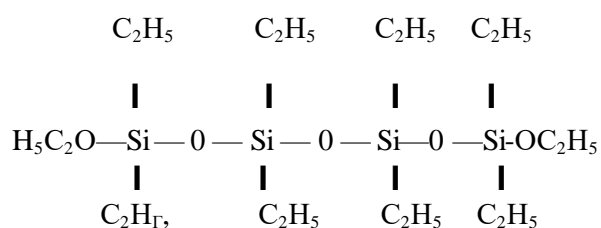
қовушоқлиги ($290 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{сек}$ атрофида бўлади, ваҳоланки нефть мойиники $30 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{сек}$ га тенг. Бу ҳол уни хона температурасида қоғозга шимдиришга имкон бермайди, шимдириш учун соволни 50°C га қадар иситиш лозим.

4-жадвал

Синтетик изоляцион суюқларнинг асосий характеристикалари

Характеристикалари	Улчов бирликлари	Совол	Совтол-2	Совтол-10	ПЭСЖ (ПЭС-Д)
Зичлиги	кг/м ³	1560	1520	1540	960
Қовушоқлиги: 20°C да	м ² /сек	$290 \cdot 10^{-6}$	$115 \cdot 10^{-6}$	$650 \cdot 10^{-6}$	$80 \cdot 10^{-6}$
Қовушоқлиги: 65°C да	м ² /сек	$28 \cdot 10^{-6}$	$3.4 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	-
Бўғларининг алангаланиш температура (камида)	$^{\circ}\text{C}$	200	200	200	200
Қотиш температураси (қўпи билан)	$^{\circ}\text{C}$	+5	-40	-7	-60
20°C даги солиштира ҳажмий қаршилиги	Ом·м	10^{13}	10^{12}	10^{12}	10^{14}
Кислота сони	мг КОН/г	0,02	0,01	0,01	-
Диэлектрик синдирувчанлиги	-	5,2	4,6	4,8	2,6
50°C да диэлектрик исрофлар бурчак тангенси	-	0,005	0,008	0,006	0,0003
65°C даги электр мустаҳкамлиги	МВ/м	18	20	20	25(20°C да)

Таркибида хлор борлиги ва захарлилиги соволнинг энг катта камчилигидир. Шунинг учун соволни яхши ёпиладиган идишда сақлаш зарур. Совол билан ишлашда эҳтиёт бўлиш лозим, чунки у шиллик пардаларни яллиғлантиради.



Қовушоқлигини камайтириш ва ёнмаслик хусусиятини сақлаб қолиш мақсадида унинг учун ёнмайдиган суюқлик ҳолидаги суолтиргич — трихлорбензол $\text{C}_6\text{H}_3\text{Cl}_3$ топилди. 64% совол билан 36% трихлорбензол аралашмаси совтол-2, 90% совол билан 10% трихлорбензол аралашмаси эса совтол-10 дейилади. Бу суюқликлар қоғоз конденсаторлар

ишлаб чиқаришда ва махсус трансформаторларда ишлатилади. Совол ва совтоллар алангаланмай, балки уларнинг бўғлари учкун чиқаради, лекин бу суюқликларнинг ўзини аланга олдириб юбормайди.

Музлаш температураси жуда паст (60°C), электик характеристикалари кенг температуралар оралиғида барқарор ва оксидланишга жуда чидамли кремний-органик суюқликларнинг олиниши синтетик суюқ диэлектриклар ишлаб чиқиш соҳасида қўлга киритилган катта ютук бўлди. Қенг қўламда ишлатиладиган кремний-органик суюқликлардан бири ПЭСЖ (ПЭС-Д) дир. Бу суюқлик молекулалари қуйидагича типдаги чизиқли занжирлардан таркиб топган кремний-органик диэлектриклар группасига киради.

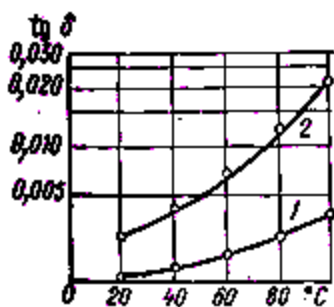
Синтетик суюқ диэлектрикларнинг асосий характеристикалари 4-жадвалда келтирилган. 3-ва 4-жадвалда келтирилган маълумотлар шуни кўрсатадики, синтетик суюқликларнинг электик характеристикалари яхши тозаланган нефть мойларининг тегишли характеристикаларидан кейинда туради.

Шуни таъкидлаб ўтиш керакки, электр изоляция суюқликларнинг ҳаммаси анча гигроскопик ва уларда намлик ҳамда аралашмаларнинг бўлиши уларнинг электик характеристикаларини жуда ёмонлаштириб юборади (17 ва 18-расмлар). Электр изоляция суюқликларни герметик бекиладиган идишларда сақлаш керак.

2.7. Суюқ диэлектрикларнинг электр ўтказувчанлиги ва тешилиши

Суюқ диэлектрикларнинг электр ўтказувчанлиги ионларнинг ҳаракатланиши билан боғлиқ. Ионлар аралашмалар (сув, кислота ва бошқалар) молекулаларининг, қисман суюқ диэлектрик молекулаларининг ҳам диссоциаланиши (парчаланиши) натижасида ҳосил бўлади.

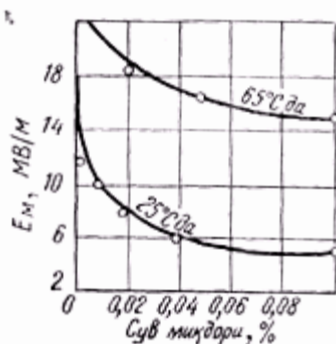
Ишлатилаётган ифлосланган суюқ диэлектрикларда ионли электр ўтказувчанликдан ташқари моллион электр ўтказувчанлик ҳам кузатилади. Бундай электр ўтказувчанлик сувнинг электр



17-расм. Нефть мойи диэлектрик исрофлар бурчак тангенсининг температурага боғлиқлиги (50 Гц да):
1-янги тозаланган мой, 2- ишлатилган мой

жихатдан зарядланган коллоид заррачаларининг ва суюқ диэлектрикнинг эскириши натижасида ҳосил бўладиган смоласимон моддалар заррачаларининг ҳаракатланиши туфайли вужудга келади. Температура кўтарилиши билан диэлектрик исрофлар бурчак тангенсининг ортиши (17-расмга қаранг) суюқ диэлектриклар электр ўтказувчанлигининг кўпайиши туфайлидир. Тозаланган суюқ диэлектрикда $\text{tg}\delta$ нинг катталаниши ишлатилган диэлектрикдагига нисбатан анча кам бўлади, чунки тозаланган диэлектрикнинг электр ўтказувчанлиги анча камдир.

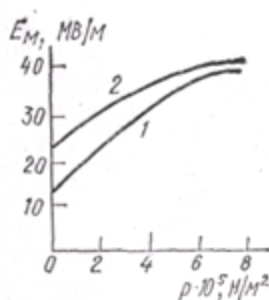
Суюқ диэлектрикларнинг электр мустаҳкамлиги кўп жихатдан унда сувнинг коллоид заррачалари, смоласимон моддалар ва суюқ диэлектрикда эримаган бошқа ифлосликларнинг бўлишига боғлиқ. Электр кучлар таъсири остида сувнинг ёки смоласимон моддаларнинг зарядланган заррачалари занжир кўринишида тизилиб қолади ва ундан электр заряди ўтади, яъни суюқ диэлектрик тешилади. Таркибидаги сув миқдори ортиши билан суюқ диэлектрикнинг электр мустаҳкамлиги кескин камайиб кетади (18-расмга қаранг). Температура кўтарилиши билан сув ёки смоласимон моддалар коллоид заррачаларининг бир қисми эрийди ва суюқ диэлектрикда ток ўтказувчи каналнинг ҳосил бўлиши қийинлашиб қолади. Шу сабабли суюқ диэлектрикнинг электр мустаҳкамлиги ортади (18-расмга қаранг).



18-расм. Нефть мойи электр мустаҳкамлигининг таркибидаги сув миқдорига (мойнинг турли тепматурасида) боғлиқлиги.

Газларнинг пуфакчалари ҳам сувнинг коллоид заррачалари сингари таъсир этади. Улар ионланган бўлгани сабабли электр кучлар таъсирида юқори кучланиш остида бўлган металл қисмлар орасида газ каналини ҳосил қилади. Бунда электр разряд газ каналда содир бўлади. Таркибида ҳаво ва бошқа газлар бор суюқ диэлектрикларнинг электр мустаҳкамлиги кўп жихатдан босимга боғлиқ бўлади (19-расм), бу Пашён қонунига мувофиқ; келади. Газсизлантирилган суюқ диэлектрикнинг электр мустаҳкамлиги босимга кам даражада боғлиқ бўлади. Суюқ диэлектрикларнинг

электр характеристикалари даражасини ошириш учун улар турли ифлосликлардан ва сувдан яхшилаб тозаланади, шунингдек, газсизлантирилади, яъни суюқ диэлектрикларга вакуумда ишлов берилади.



19-расм. Нефть мойи электр мустаҳкамлигининг босимга боғлиқлиги. 1-техникавий мой, 2-газлаштирилган мой

2.8. Юқори полимер қаттиқ материаллар

Юқори полимер материаллар катта ўлчамли молекулалардан таркиб топган бўлади. Бундай молекулалар *мономерлар* дейиладиган оддий моддаларнинг ўн ва юз минглаб молекулаларидан тузилган бўлади. Мономерлар - химиявий реакцияларга осон киришадиган моддалардир. Бу реакциялар натижасида молекуляр массаси катта бўлган янги юқори полимер модда ҳосил бўлади.

Полимер молекулаларида мономернинг молекулалари ўзаро химиявий боғланиш кучлари билан пухта боғланган бўлади, бу боғланиш шартли равишда чизикчалар билан тасвирланади. Масалан, бошланғич «А» модданинг молекулалари бир-бири билан бирикиб, янги юқори полимер модданинг молекулаларини ҳосил қилади:



Полимерларнинг катта молекулалари тортилган ип шаклида, яъни чизиксимон структурали бўлиши мумкин.

Чизиксимон структурали молекулалардан тузилган полимерлар *чизиксимон полимерлар* дейилади. Улар қиздирилганда юмшай олиш хоссасига эга, яъни *термопластик материаллар* ҳисобланади.

Фазода уч йўналишда тармоқланган молекулалардан таркиб топган полимерлар ҳам бор. Бундай полимерлар *фазовий полимерлар* дейилади. Улар нисбатан мўрт бўлиб, одатда, қиздирилганда юмшамайди, яъни *терморектив материаллар* ҳисобланади.

Полимерлар аморф ёки кристалл тузилишга эга бўлиши мумкин. Баъзи полимерлар аралаш тузилиши — ҳам кристалл, ҳам аморф тузилиши бўлиши мумкин.

Юқори полимер моддалар табиий (кахрабо, табиий каучук ва бошқалар) ҳамда синтетик (полистирол, поливинилхлорид ва бошқалар) бўлиши мумкин.

Табиий полимерларнинг хоссалари чекланганлиги сабабли ҳозир электротехникада, асосан, синтетик юқори полимер диэлектриклардан фойдаланилади. Улар химиявий полимерланиш ва поликонденсатланиш реакциялари натижасида олиниши мумкин ва шунга мувофиқ равишда полимеризацион ёки поликонденсацион диэлектриклар дейилади.

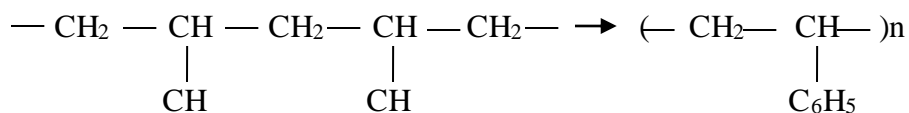
2.9. Қаттиқ полимеризацион диэлектриклар

Полимерланиш — бу бошланғич (мономер) модда молекулаларининг ўзининг элементар таркибини ўзгартирмай ўзаро бирикиб юқори полимер модданинг катта молекулаларини ҳосил қилиш процессидир.

Мисол тариқасида синтетик диэлектрик—полистиролнинг олиниш процессини кўриб чиқамиз. У бошланғич модда — стиролни полимерлаш натижасида олинади; стирол 145°C температурада қайнайдиган тиниқ рангсиз суюқлик. Агар стиролга бензоил пероксид қўшилса

(стирол массасининг 0,1—0,5% қадар), аралашма 110°C га қадар қиздирилганда полимерланиш реакцияси бошланади. Бунда стирол $H_2C=CH-C_6H_5$ молекуласидаги химиявин кўшбоғлар узилади ва худди ана шундай кўшни молекулага ўтади. Бунинг натижасида стирол молекулалари бир-бири билан бирикади ва юқори полимер модда — полистиролнинг катта молекуласини ҳосил қилади.

Бу процессни кўйдаги схема тарзида ёзиш мумкин:



Полистиролнинг полимерланиш даражаси $n=6000^*$, унинг молекуляр массаси эса 300000 — 600000 га тенг. Бошланғич модда стиролнинг молекуляр массаси 104 га тенг.

Дастлабки босқичда полистирол куюқ тиниқ суюқлик бўлади, у иситилган шиша қолипларга қўйилади, шу қолипларда полимерланиш процесси тугалланади. Қолиплардан пластинка ва стержень кўринишидаги қаттиқ шаффоф материал олинади. Полистиролни донатор шаклда (улар диаметри 3—5 мм ва узунлиги 8—10 мм ли цилиндр шаклидаги бўлақлар ҳолида бўлади) ёки кукун шаклида (эмульсион полистирол) ҳам олиш мумкин.

Полистиролнинг асосий характеристикалари: зичлиги 1050 кг/м^3 ; $\sigma_{\text{ч.}} (300-500) \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$; $a = 12-18 \text{ кЖ/м}^2$; иссиқбардошлиги (Мартенс бўйича) $75-80^\circ\text{C}$; сув сингднривчанлиги 0,03% мас; совуққа чидамлилиги -60°C ; $\rho_v=10^{13}-10^{15} \text{ Ом}\cdot\text{м}$; $e=2,4$; $\text{tg}\delta = (2-4) \cdot 10^{-4}$; $E_{\text{м}} = 25-30 \text{ МВ/м}$.

Полистирол $110-120^\circ\text{C}$ да юмшайдиган термопластик диэлектрик; бензол, толуол, ксилол, углерод тетрагидрид каби кутбланмаган суюқликларда эрийди.

Полистиролдан ғалтақларнинг каркаслари, изоляцион панеллар, электр ўлчаш асбоблари учун асос ва изоляторлар тайёрланади.

Полистирол чизиқсимон структурали молекулалардан таркиб топган, лекин улар материалда тартибсиз жойлашган. Юмшатирилган полистиролни тирқиш-фильералар орқали тортиш (экструзия) молекулаларни материалнинг тортилиш йўналишида ориентирлашга (йўналтиришга) ва қалинлиги 20 дан 100 мкм гача, эни эса 10 дан 300 мм гача бўлган эластик полистирол пардалар (стироплёнкалар) олишга имкон беради. Уларнинг электр изоляцион хоссалари қалин қатламли полистиролники каби юқори, электр мустаҳкамлиги эса полистирол пардаларда анча катта бўлади: $E_{\text{м}}=80-100 \text{ МВ/м}$. Полистирол пардалар юқори частотали кабелларнинг симларини изоляция қилиш учун, шунингдек, конденсаторлар ишлаб чиқаришда ишлатилади.

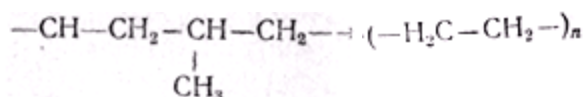
Мўртлиги, яъни зарбий қовушоқлигининг нисбатан камлиги ва осон дарз кетиши полистиролнинг ва ундан тайёрланган буюмларнинг асосий камчилигидир. Зарбга чидамли полистиролларда (полистиролнинг синтетик каучуклар билан аралашмаси ёки стиролнинг баъзи синтетик каучуклар билан ҳосил қилган сополимерлари) бу камчиликлар анча йўқотилган. Зарбга чидамли полистироллар зарбий қовушоқлигининг юқорилиги ($a=40-50 \text{ кЖ/м}^2$) ва диэлектрик сингдирувчанлик кийматининг бирмунча катталиги ($\epsilon=3,0-3,6$) билан ажралиб туради. Зарбга чидамли полистиролнинг бошқа характеристикалари оддий полистиролники даражасида бўлади. Зарбга чидамли полистирол донатор шаклда ишлаб чиқарилади.

Полиэтилен — оқ ёки оч қул ранг тусли, ушлаб кўрилганда ёғли туюладиган, қаттиқ хира материал; у этилен ($H_2C=CH_2$) газини босим остида полимёрлаш йўли билан олинади.

Юқори (ВД), ўрта (СД) ва паст (НД) босимда олинадиган полиэтилен бўлади (ВД полиэтилен зичлиги кам полиэтилен, СД ва НД полнэтиленлар эса зичлиги юқори полиэтиленлар ҳам дейилади.).

ВД полиэтилен олиш процесси $1500-10^5 \text{ Па}$ босимда ва $180-200^\circ\text{C}$ температурада кислород иштирокида (0,05 %) олиб борилади. НД полиэтилен $(1-5) \cdot 10^5 \text{ Па}$ босимда ва 60°C температурада, лекин махсус катализаторлар ишлатиб олинади. СД полиэтилен 30-

10^5 Па босимда $130\text{—}140^\circ\text{C}$ температурада олинади. Барча ҳолларда озроқ миқдорда ёнига тармоқланган метил группалари CH_3 бор чизиксимон структурали молекула ҳосил бўлади:



Полиэтиленнинг полимерланиш даражаси $n=3000 - 5000$, молекуляр массаси эса 20000 дан 400000 гача ва ундан юқори бўлади.

НД ва СД полиэтиленлар ВД полиэтилендан зичлигининг бир оз катталиги, механик жиҳатдан пухталиги ва бикрлиги катталиги билан фарқ қилади, лекин улар иссиқлик таъсирида тез эскиради.

Полиэтиленлар таркибида 55 дан (ВД) 92% гача (СД) кристалл модда бўлади, шу сабабли уларда суюқланиш температураси аниқ ифодаланган; суюқлакиш температураси 108°C (ВД), 125°C (НД) ва 130°C гача (СД) бўлади.

Полиэтиленлар — термопластик материаллардир. Улар заводларга донадор кўринишда юборилади. Полиэтиленлардан буюмлар босим остида қуйиш, қайноқ ҳолда пресслаш ва экструзия методлари билан олинади. Экструзия методи симларга полиэтилен изоляция қоплашда, шунингдек, изоляция шланглари ва найчалар тийёрлашда қўлланилади.

ВД полпэтилендан қалинлиги 30 дан 200 мкм гача ва эни 1 дан 1,5 м гача бўлган ярим тиник электр изоляцион плёнкалар ҳам олинади.

Полиэтиленнинг анча қаттиқ хилларидан (СД, НД) эластик бўлмаган электр изоляцион буюмлар: ғалтакларнинг ўзаклари, плата ва бошқалар тайёрланади. Полиэтиленлаб хона температурасида эритувчиларнинг ҳеч бирида эримайди. Фақат 70°C ва ундан юқорида полиэтиленлар ксилолда, углерод тетрахлоридда, хлорланган углеводородларда ва минерал мойларда эрийди.

Полиэтиленларнинг асосий характеристикалари: ВД-зичлиги 920 кг/м^3 ; $\delta_{\text{ч}} = (100\text{—}150) \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$; зарба таъсирида синмайди; иссиқбардошлиги (Мартенс бўйича) $55\text{—}60^\circ\text{C}$; СД — зичлиги 940 кг/м^3 ; $\delta_{\text{ч}} = 270 \cdot 10^5 \text{ Н/м}$ зарба таъсиридан синмайди; иссиқбардошлиги 85°C ; НД — зичлиги 960 барча поли этиленларнинг совуқда чидамлилиги — 60°C ; сув сингдирувчанлиги 0,004% дакг/м³; $\delta_{\text{ч}} = 230 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$; зарба таъсиридан синмайди; иссиқбардошлиги 70°C ; n (сувда 30 кун турганда) ошмайди.

Полиэтиленларнинг электр характеристикалари энг яхши полистиролники даражасида бўлади. Шуни таъкидлаб ўтиш керакки, барча полиэтилен буюмлар куёш нурига бардош бера олмайди. Нурбардошлигини ошириш учун полистиленларга қурум ва бошқа бўёқлар қўшилади. Полиэтилендан ясалган буюмларни бир-бирига пайвандлаш мумкин.

Поливинилхлорид (полихлорвинил) оқ рангли кукун бўлиб, ундан қайноқ ҳолда пресслаш ёки қайноқ ҳолда сиқиб чиқариш усули билан минерал мойлар, кўпчилик эритувчилар, ишқорлар ва кислоталар таъсирига чидамли, механикавий жиҳатдан мустаҳкам буюмлар (платалар, труба ва бошқалар) олинади.

Кукунсимон поливинилхлорид газсимон модда — винилхлорид $\text{HC}=\text{CH—Cl}$ ни водород пероксиди ва бошқалар иштирокида полимерлаш реакцияси натижасида олинади.

Реакция ишқорий моддаларнинг сувдаги эритмасида суюлтирилган винилхлорид билан олиб борилади (сувли эмульсион полимерланиш). Полистирол ва полиэтилен каби поливинилхлорид ҳам термопластик материал ҳисобланади. Кукунсимон поливинилхлоридни қайноқ ҳолда пресслаш йўли билан қаттиқ, бикр материал — листлар, пластиналар, трубалар ва стерженлар кўринишидаги винипласт олинади. У минерал мойлар, суюлтирилган ишқор ва кислоталар таъсирига чидамлилиги билан ажралиб туради. Винипластдан тайёрланган буюмлар юқори механикавий мустаҳкамликка, айниқса зарбий юкламаларга эга ҳамда электр изоляцион хоссалари яхшидир.

Винипластнинг асосий характеристикалари: зичлиги 1350 кг/м^3 ; $\delta_{\text{ч}} = (400\text{—}500) \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$; $\alpha = 100\text{—}120 \text{ кЖ/м}^2$; иссиқбардошлиги (Мартенс бўйича) $60\text{—}70^\circ\text{C}$; совуқка чидамлилиги — $(15\text{—}25)^\circ\text{C}$; сув сингдирувчанлиги 0,4—0,6% мас; $\rho_{\text{v}} = 10^{10}\text{—}10^{12} \text{ Ом}\cdot\text{м}$; $\epsilon = 4$;

$$tg\delta=0,01—0,02; E_M=20—22 \text{ МВ/м.}$$

Винипласт 150—160°C да металл қолипларда осон қолипланади. Винипластан тайёрланган буюмларга исталган механикавий ишлов бериш (йўниш, фрезалаш ва бошқалар), шунингдек, пайвандлаш ва елимлаш мумкин. Уларни турли рангга бўйаш мумкин. Поливинилхлориддан аккумуляторлар учун баклар ва зарбий юктамаларга чидамли турли хил электр изоляцион деталлар (плата ва бошқалар) тайёрланади.

Винипластнинг камчилиги унинг совуққа чидамсизроқлиги ва иссиқбардошлиги нисбатан камлигидир. Винипласт 180—200°C температурада парчалана бошлайди.

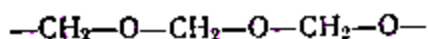
Поливинилхлорид пластикат — поливинилхлорид кукунининг пластификаторлар—куюк мойсимон суюқликлар (дибўтилфталат ва бошқалар) билан аралашмасидан олинандиган эластик рулон материал. Пластификаторлар 30 дан 45% гача миқдорда қўшилади. Пластификаторлардан ташқари, поливинилхлорид пластикатга бўёқлар, тўлдиргичлар ва термостабилизаторлар ҳам қўшилади. Бу моддаларнинг ҳаммаси кукунсимон полихлорвинил смола билан аралаштирилади ва олинган аралашма қиздирилган пўлат валецлар орасидан бир неча марта ўтказилади. Бундай ишлов бериш натижасида эластик материал — қалъинлиги 0,8 дан 2,5 мм гача ва эни эса 400 мм гача бўлган ленталар ҳолидаги поливинилхлорид пластикати рулонлари, шунингдек, доналари (грануллар) олинади. Пластикат листи қалинлиги 1 дан 5 мм гача ва юзаси 600X100 мм² бўлган листлар ҳолида тайёрланади.

Пластикатнинг асосий характеристикалари*: зичлиги 1300—1400 кг/м³; $\delta_{\text{ч}} = (100—180) \cdot 10^5$ Н/м²; совуққа чидамлиги—(40—55)°C; сув сингдирувчанлиги 0,2— 0,5% мас.; парчаланиш температураси 200—220°C;

$$\rho_v = 10^8 \cdot 10^{12} \text{ Ом} \cdot \text{м}; \quad \varepsilon = 5-6; \quad tg\delta = 0,03-0,1; \quad E_M=10 - 20 \text{ МВ/м.}$$

Поливинилхлорид пластикат монтаж симларининг асосий изоляцияси сифатида, шунингдек, химоя қопламалар — кабелларнинг шланглари тайёрлашда кенг қўламда ишлатилади. Поливинилхлорид пластикат, одатда, қора, кўк, сарик, қизил ва бошқа рангларга бўйланган бўлади. Пластикатга бўёқлар материалнинг ёруғлик таъсирида эскиришидан химоя қилиш, шунингдек, монтаж пайтида симларни бир-биридан фарқлаш мақсадида қўшилади. Бўёқлар қўшилмаган поливинилхлорид пластикат сарғиш товландиган тиниқ материалдир. Поливинилхлорид пластикатдан эластик изоляцион найлар ва ёпишқоқ изоляцион лента тайёрланади. Поливинилхлорид материалларнинг ўзига хос хусусияти шундаки, улар алангадан чиқариб олиними билан ёнишдан тўхтайдди.

Полиформальдегид —(газсимон формальдегиднинг полимерланиши натижасида ҳосил бўладиган қаттиқ термопластик диэлектрик. Полиформальдегид молекулалари чизиксимонс труктурали бўлади:



Бу материал оқ рангли кукун бўлиб, ундан босим остида қуйиш ёки экструзия йўли билан буюмлар олинади.

Полиформальдегиднинг ўзига хос хусусияти унинг таркибида кристалл фазанинг кўплигидир (75%), шу туфайли материалнинг механикавий характеристикалари юқори ва суюқланиш температураси аниқ ифодаланган (180°C) бўлади. У жуда қаттиқ, едирилишга чидамлилиги катта ва ишқаланиш коэффиценти кичик материалдир. Бу хоссалар полиформальдегиддан шовқинсиз ишлайдиган шестерняли ва червякли узатмалар ҳамда подшипниклар тайёрлашга имкон беради.

Ишлаш температуралари оралиғи анча кенг (—55 дан 100°C гача), намлик таъсирига чидамли, химиявий барқарор, учкун разрядлар таъсирига бардошли ва электрик характеристикалари яхши бўлганлиги сабабли полиформальдегид электр изоляцион

материал сифатида кенг қўламда ишлатилади. Ундан изоляцион асослар (платалар), мураккаб шаклли ғалтақларнинг ўзақлари ва бошқалар тайёрланади. Полиформальдегиддан тайёрланган буюмларга исталган механикавий ишлов бериш: фрезалаш, йўниш, тешиш ва бошқа операцияларни бажариш мумкин.

Полиформальдегиднинг асосий характеристикалари: зичлиги 1400 кг/м^3 .

$$\delta_{\text{ч}} = (600—700) \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2; \alpha=80—90 \text{ кЖ/м}^2;$$

иссиқбардошлиги (Мартенс бўйича) 100°C ; совуққа чидамлилиги — 50°C , сув сингдирувчанлиги 2%;

$$\rho_{\text{v}} = 10^{12}—10^{13} \text{ Ом}\cdot\text{м}; \varepsilon=3,0;$$

$$\text{tg}\delta== (3-5) \cdot 10^{-3}; E_{\text{м}} = 25 \text{ МВ/м.}$$

Органиқ шиша (полиметилметакрилат) юқори полимер тиниқ термопластик материал бўлиб, кўпчилик рангларга осон бўялади. У қалинлиги 0,8 дан 24 мм гача ва ундан кўп, юзаси эса 400×500 мм дан 1400×1600 мм гача бўладиган листлар, шунингдек, кукун ҳолида ишлаб чиқарилади. Органиқ шиша — аморф тузилишли материал. Унинг оптик тиниқлиги жуда юқори бўлади (спектрнинг кўринадиган областидаги нурларни 92% гача ўтказди).

Органиқ шиша олишда суюқ модда — метилметакрилат бошланғич материал бўлиб хизмат қилади. Унга озроқ миқдорда (0,1%) бензоил пероксид ва пластификацияловчи моддалар (мойсимон суюқликлар) кўшилади. Пластификацияловчи моддалар органиқ шишанинг мўртлигини камайтиради. Бошланғич компонентлар ара лашмаси никель идишда қориштирилади ва иситилгандан кейин одатдаги силикат шишадан ёки металлдан тайёрланган қиздирилган (120°C гача) қолипларга қуйилади. Совигандан кейин қолиплар қисмларга ажратилади ва олинган органиқ шиша листлари ва пластинкаларининг четлари қирқилади.

Органиқ шишани кукун ҳолида олиш учун метилметакрилатнинг полимерланиш процесси ишқорий моддаларнинг сувдаги эритмасида олиб борилади.

Органиқ шишанинг асосий характеристикалари: зичлиги 1180 кг/м^3 ; $\delta_{\text{ч}} = (600—700) \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$; $\alpha=10—18 \text{ кЖ/м}^2$; иссиқбардошлиги (Мартенс бўйича) $60—80^\circ\text{C}$; совуққа чидамлилиги — $(50—60)^\circ\text{C}$; $\rho_{\text{v}}=10^{10}—10^{11} \text{ Ом}\cdot\text{м}$; $\varepsilon=3,6$; $\text{tg}\delta==6 \cdot 10^{-2}$; $E_{\text{м}} = 15—18 \text{ МВ/м}$.

Органиқ шиша суюлтирилган кислота ва ишқорлар, шунингдек, бензин ва минерал мойлар таъсирига чидамли бўлади. У ароматик углеводородларда (бензол, толуол, ксилолда), хлорланган углеводородларда (хлорбензол, трихлорбензол ва бошқаларда), ацетонда ва баъзи бошқа эритувчиларда эрийди. Қиздирилган ҳолатда ($115—135^\circ\text{C}$) органиқ шиша пўлат ёки ёғоч пресс-қолипларда осон қолипланади. Қиздирилган материалларни вакуум остида қолиплаш энг яхши натижа беради.

Органиқ шишага турлича механикавий ишлов бериш (пармалаш, фрезалаш ва ҳоказо) мумкин. Органиқ шишани тирналишидан сақлаш учун унга механикавий ишлов беришда олдиндан қоғоз ёпиштириб қўйилади. Органиқ шишадан ясалган деталлар дихлорэтанли елим ёрдамида осон елимланади. Бу елим органиқ шиша қириндиларини дихлорэганда (100 г дихлорэтанга 5 г қиринди) эритиш йўли билан олинади. Елимланадиган сиртларни яхшилаб бир-бирига мослаш ва эритувчи (ацетон ва бошқалар) билан ювиш лозим. Елимланган жойга 2—4 соат бирор нарса бостириб қўйилади. Органиқ шишани ва ундан ясалган буюмларни махсус қурилмааларда $140—150^\circ\text{C}$ температурада пайвандланадиган сиртларга босим бериш йўли билан ҳам пайвандлаш мумкин.

Капрон оқ ёки оч сариқ рангли материал. У ҳам синтетик материал бўлиб, капролактан — суюқланиш температураси 70°C бўлган кукунсимон моддани полимерлаш натижасида олинади. Олинган полимер капрон автоклав тубидаги тешик орқали ингичка лента ҳолида сиқиб чиқарилади. Бу лента оқар сувли ваннага тушади ва капроннинг хоссаларини ёмонлаштирадиган паст молекуляр моддалардан ювилиб тозаланади. Ювилган ва сувда

совиған капрон лента кесиш машинасыга ўтади ва узунлиги 10 ҳамда қалинлиги 2—3 мм ли бўлақларга бўлинади. Олинган бўлақчалар яна илиқ сувда ювилади, сўнгра қуригилади. Қуригилган капрон бўлақчалари резина қопларда сақланади ва ташилади, чунки у ҳаводан намликни ютиши мумкин.

Полиэтилендаги сингари, капрон таркибида ҳам кристалл ва аморф фазалар бир-бири билан аралашган бўлади, шу сабабли капроннинг суюқланиш температураси аниқ ифодаланган (215°C) бўлади. У моғор замбуруғларига қарши чидамли, лекин атмосфера таъсирига чидамсиздир. Қапроннинг атмосфера таъсирига чидамлилигини ошириш учун унга стабилизаторлар қўшилади (0,3-0,5%).

Қапроннинг асосий характеристикалари: зичлиги 1140 кг/м³;
 $\delta_{\text{ч}} = (500—700) \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$; $\alpha = 100—150 \text{ кЖ/м}^2$; иссиқбардошлиги (Мартенс бўйича) 50—60°C; сув сингдирувчанлиги 3,0% мас; $\rho_{\nu} = 10^{11}-10^{12} \text{ Ом} \cdot \text{м}$; $\varepsilon = 4,0$; $\text{tg} \delta = 0,04$; $E_{\text{м}} = 18—20 \text{ МВ/м}$.

Бошқа полимер материалларда бўлганидек, капронда ҳам доимий юклама таъсирдан аста-секин деформацияланиш (совуқ ҳолда оқувчанлик) кузатилади. Агар деформацияланиш 3% га қадар бўлса, юклама олингандан кейин деформация йўқолади.

Электр изоляцияда капрон толадан фойдаланилади. У юмшатишган капрон смоласини фильералар (диаметри 0,1 мм ва ундан кичик бўлган юмалоқ тешиқлар) орқали тортиш йўли билан олинади. Капрон толанинг механикавий пухталиги катта ва едирилишга жуда чидамли бўлади. У чулғам симлари ва монтаж симларининг баъзи типларида изоляция сифатида, шунингдек, лакланган электр изоляцион тўқималарда асосий материал сифатида ишлатилади.

Капрон массаси кичик бўлган электромонтаж ва конструкцион деталлар ишлаб чиқаришда анча кўп ишлатилади.

2.10. Қаттиқ поликонденсацион диэлектриклар

Поликонденсатланиш — бу бир неча бошланғич моддалар (мономерлар) молекулаларининг юқори полимер модданинг катта молекулалари тарзида бирикиш процессидир. Поликонденсатланиш реакцияси, одатда, бир неча босқичда бўлади.

Поликонденсатланиш реакцияси натижасида олинган диэлектрикнинг электр изоляцион хоссалари полимерланиш натижасида олинган диэлектрикларникига қараганда бирмунча пастроқ бўлади. Бунинг асосий сабаби поликонденсацион диэлектрикларда қўшимча моддалар — сув ва кислоталарнинг бўлишидир, улар ионларга парчаланиб, материалнинг электр ўтказувчанлигини оширади. Поликонденсацион диэлектриклардан электротехникада энг кўп ишлатиладиган резол, новолак, полиэфир ва эпоксид смолалардир.

Резол смолалар терморреактив моддалар бўлиб, улар ўзининг охириги босқичида қиздирилганда юмшамайди. Резол смолалар суюқланмайдиган ва эримайдиган ҳолатга уч босқичда ўтади. Янги олинган смола дастлабки А босқичда бўлади (резол). У қиздирилганда юмшайди ва эритувчиларда эрийди. Янада қиздирилганда резол смола В босқичга ўтади, бу босқичда ҳам у юмшаши мумкин (95°C да), лекин эритувчиларда эримайди. Кейинги қиздиришда смола охириги С босқичга ўтади. Бу босқичда резол смола учўлчамли катта молекулалардан иборат бўлади ва суюқланмайди ҳам, эримайди ҳам. Терморреактив пластмассалар (гетинакс, текстолит ва бошқалар) ишлаб чиқаришда резол смолаларнинг ана шу хоссасидан фойдаланилади.

Резол смолалардан электротехникада энг кўп ишлатиладигани бакелит смола (бакелит)дир. У кристалл ҳолдаги фенол ($\text{C}_6\text{H}_5\text{—OH}$) билан формалин (формальдегид CH_2O газнинг сувдаги 40% ли эритмаси) орасида борадиган поликонденсатланиш реакцияси натижасида олинади; бу реакция ишқорий катализатор — барий гидроксид ёки аммоний гидроксид NH_4OH нинг сувдаги 25% ли эритмаси иштирокида содир бўлади. Формальдегид ортиқча миқдорда олинади.

Бакелит смола олиш учун муайян миқдордаги компонентлар (фенол, формалин ва катализатор) реакторга солинади ва у ерда айланувчи қорғич ёрдамида аралаштирилади. Сўнгра аралашма 95°C гача қиздирилади. Бу температурада поликонденсатланиш реакцияси бошланади, натижада реакторнинг пастки қисмида жигарранг тусли қиёмсимон қуюқ масса ҳосил бўлади. Бу биринчи А босқичдаги бакелит смоласидир. Вакуумда (60°C да) қуритилгандан кейин смола металл товаларга қўйилади.

Хона температурасигача совитилган бакелит смола жигарранг қаттиқ мўрт моддадан иборат бўлади. У пластмассаларда боғловчи модда сифатида, шунингдек, бакелитли лаклар олиш учун ишлатилади. Спиртли бакелит лаки олиш учун А босқичдаги қуритилган смолани эритиш мақсадида лак пишириш қозонига этил спирт қўйилади. Одатда, таркибида 50—60% бакелит смола бўладиган лак олинади.

Этил спиртни тежаш мақсадида таркибида 15—20% сув бўлган суюқ сувли — эмульсион бакелит смолалар кенг қўламда ишлатилади. Қатламли электр изоляцион материаллар — гетинакс, текстолит, шиша текстолит ва бошқалар ишлаб чиқариш учун толали асосга (қоғоз, газлама) спиртли лаклар ва суюқ смолалар шимдирилади.

Агар кирсталл фенол ўрнига крезол (суюқ модда) олинса ва крезол билан формальдегид ўзаро поликонденсатланса, крезол-формальдегид смола олинади. Бу смола ҳам резол смолалар жумласига киради. Унинг электр изоляцион хоссалари анча юқори бўлади.

Резол смолаларнинг ҳаммаси қутбланган диэлектриклар ҳисобланади, шу сабабли уларнинг диэлектрик сингдирувчанлиги $\epsilon=5 - 6$ бўлади. Охири С босқичдаги резол смолалар минерал мойлар ва сув таъсирига чидамли, лекин электр учқунлар таъсирига чидамсиз бўлади. Учқун разрядлар таъсирида резол смолаларнинг сирти углеродга осон бойийди, натижада углеродланган ток ўтказувчи йўлақлар вужудга келади. Шу сабабли резол смолалар асосида тайёрланган пластмасса буюмларни кучли электр учқунлар пайдо бўлиш эҳтимоли бор жойларда ишлатиш тавсия этилмайди.

Новолак смолалар (новолаклар)* резол смолалар сингари фенол билан формальдегиднинг поликонденсатланиш реакцияси натижасида олинади, лекин бунда формальдегид етишмайдиган (кам) миқдорда бўлади. Бунда хлорид кислота катализатор сифатида ишлатилади.

Олинган новолак смола оч жигар ранг қуюқ масса бўлиб, у қайноқ ҳолда товаларга қўйилади. Новолак смола совиганда этил спиртда ва ацетонда эрийдиган қаттиқ мўрт моддага айланади. Новолак смолаларнинг электр изоляция хоссалари резол смолаларникидан паст бўлади.

Новолак смолалар термопластик моддалардир. Улар узоқ вақт сақланганда ва хатто 200°C гача қиздирилганда ҳам суюқланувчанлигини ва эрувчанлигини сақлаб қолади. Қиздирилган новолак смолаларига уротропин (СН₂)М₄ таъсир эттириб, суюқланмайдиган ва эримайдиган ҳолатга ўтказиш мумкин. Бундан новолак смолалар асосида тез прессланадиган пластмассалар олишда фойдаланилади. Бунинг учун қукунсимон новолак смолага 15—20% уротропин (оқ қукун) қўйилади. Олинган аралашмадан қиздирилган пўлат пресс қолипларда паст кучланишда ишлайдиган электр аппаратлар учун деталлар (виключателларнинг, патронларнинг асоси ва қопқоқлари), шунингдек, конструкцион деталлар (кнопкалар, дасталар ва бошқалар) пресслаб олинади.

Глифтал смолалар (глифталлар)* кўп атомли спиртлар (гликоль, глицерин ва бошқалар) билан органик кислоталарни (фтал, малеин ва бошқа кислоталарни) поликонденсатлаш орқали олинандиган полиэфир смолалар группасига киради.

Глифтал смолалар глицерин билан ортиқча миқдорда олинган фтал ангидриднинг поликонденсатланиш реакцияси натижасида олинади.

Етарли даражада эгилувчан қилиш учун глифтал смолалар модификацияланади, яъни поликонденсатланиш жараёнида уларга ёғ кислоталари ва ўсимлик мойлари, масалан, канакунжут мойн қўйилади. Глифтал смолаларнинг бошқалардан фарқ қиладиган хусусияти уларнинг электрик характеристикалари яхши бўлгани ҳолда ёпишиш хусусиятининг

кучлилиги, сиртга таъсир килувчи разрядларга ва 130°C гача қиздиришга чидамлилигидир (класс В).

Электротехникада глифтал смолалар ёпиштирувчи, шимдириладиган ва қоплаш лаклари учун асос сифатида ишлатилади, уларнинг пардалари қуригандан (пиширилгандан) кейин қиздирилган микерал мой таъсирига чидамли бўлиб қолади.

Елимланадиган глифтал лаклар қаттиқ ва эластик слюдали изоляция (миканитлар, микалентлар) ишлаб чиқаришда слюдани елимлаш учун ишлатилади.

Лавсан — кристалл ёки аморф тузилиши тиниқ юқори полимер диэлектрик. Глифталлар сингари у ҳам полиэфирлар жумласига киради. Кристалл тузилиши лавсан тсрефтал кислота билан этиленгликолнинг поликонденсатланиш реакцияси натижасида олинади. Ундан тайёрланган қалинлиги $30\text{—}100$ мкм ли тиниқ лавсан плёнкалар электр машиналарда пазларни изоляция қилиш учун кснг қўламда ишлатилади. Кўпинча лавсан плёнка электротехник картонга ёпиштирилади ва шу ҳолда электр машиналарда паз изоляцияси сифатида ишлатилади. Лавсан плёнкалар лаклар таркибида бўладиган эритувчилар, шунингдек, моғор замбуруғлари ва намлик таъсирига чидамли бўлади, шу сабабли тропик иқлимда ишлатишга мўлжалланган электр машиналари ва аппаратларида қўлланиши мумкин. Лавсан плёнкалар 120°C дан ошмайдиган температураларда узоқ вақт давомида ишлаши мумкин (қиздиришга чидамлилик классификацияси Е).

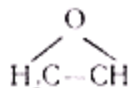
Лавсан плёнкаларнинг электр мустақамлиги анча катта бўлиши билан бирга улар электр тож таъсирига чидамсиз бўлади. Шу сабабли уларнинг ишлатилиш соҳаси паст кучланишда ишлайдиган электр ускуналар билан чекланади. Трансформатор мойида $110\text{—}120^{\circ}\text{C}$ да узоқ вақт турганида мўрт бўлиб қолади.

Лавсаннинг асосий характеристикалари: зичлиги 1400 кг/м^3 ; иссиқбардошлиги $70\text{—}75^{\circ}\text{C}$; совуққа чидамлилиги — 60°C ; сув сингдирувчанлиги $1,5\%$ мас.; $\delta_{\text{ч}} = (1800\text{—}2000) \cdot 10^5\text{ Н/м}^2$; $\rho_{\text{v}} = 10^{12}\text{—}10^{13}\text{ Ом}\cdot\text{м}$; $\varepsilon = 3,5$; $\text{tg}\delta = (2\text{—}6) \cdot 10^{-3}$; $E_{\text{м}} = 130\text{—}150\text{ МВ/м}$.

Эпоксид смолалар қиёмсимон суёқликлар ёки сариқ ёхуд оч жигар ранг тусли қаттиқ моддалардир. Суёқ эпоксид смолалар паст молекуляр моддалар ҳисобланади, лекин молекуляр массаси катта (1000 дан катта) эпоксид смолалар қаттиқ моддалардир.

Эпоксид смолалар хлорланган глицериннинг резорцин скидиан (дифенилолпропан) билан поликонденсатланиш реакцияси натижасида олинади. Смола ҳосил бўлиш процесси ишқорий муҳитда боради. Эпоксид смолала молекулаларида эпоксид группа дейиладиган

группалар бўлади, бу смолаларнинг номи ҳам ана шундан олинган.



Эпоксид смолалар электротехникада қуйиладиган электр изоляцион компаундларнинг асоси, шунингдек, елимловчи лак ва елимлар сифатида ишлатилади. Эпоксид компаундларнинг афзаллиги қотиш пайтида улар ҳажмининг жуда кам ($0,6\text{—}1,0\%$) кичрайишидир. Бундан ташқари, қотган эпоксид смолаларнинг механикавий мустақамлиги катта ва сув таъсирига чидамли бўлади.

Қотиргичлар сифатида малеин ва фталъ кислоталарнинг ангидридлари ва бошқа моддалар (пиридин ва ҳ. к.) ишлатилади. Ишлатилган қотиргичнинг таркибига қараб суёқ эпоксид смола $100\text{—}160^{\circ}\text{C}$ гача қиздирилганда ёки хона температурасида қотиши мумкин.

Қотган ҳолатдаги эпоксид смолаларнинг асосий характеристикалари: зичлиги 1200 кг/м^3 ; б., = $(300\text{—}600) \cdot 10^5\text{ Н/м}^2$; $a = 8\text{—}18\text{ кЖ/м}^2$; сув сингдирувчанлиги $0,05\%$ мас; иссиқбардошлиги (Мартенс бўйича) $100\text{—}110^{\circ}\text{C}$;

$\rho_{\text{v}} = 10^{12}\text{—}10^{13}\text{ Ом}\cdot\text{м}$; $\varepsilon = 3,8$; $\text{tg}\delta = (2\text{—}5) \cdot 10^{-3}$; $E_{\text{м}} = 20\text{—}25\text{ МВ/м}$.

2.11. Қиздиришга чидамли юқори полимер диэлектриклар

Юқорида кўриб чиқилган юқори полимер органик диэлектриклардан узоқ муддат 90—105°C га қадар температурада ва баъзиларидан, масалан глифтал смолалардан 130°C га қадар температурада фойдаланиш мумкин. Шундай қилиб, органик диэлектрикларнинг жуда кўпчилиги 90—105°C дан ошмайдиган температураларда узоқ вақт ишлаши мумкин (қиздиришга чидамлилик класслари Y ва A). Температура кўрсатилган даражадан ортиб кетганда органик диэлектриклар иссиқлик таъсирида эскиради ва тез емирилади.

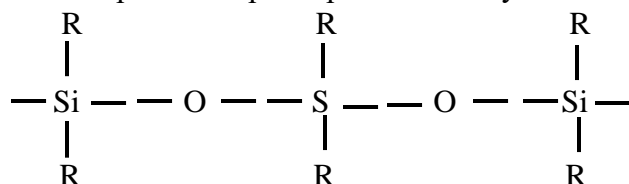
Анорганик моддалардан тайёрланган электр изоляцияон материалларнинг, масалан, электрокерамик материалларнинг (чинни, стеатит) иссиққа чидамлилиги юқори бўлади, лекин улардан изоляциянинг эгилувчан турларини тайёрлаб бўлмайди. Текширишлар шунни кўрсатадики, юқори полимер органик диэлектрикларнинг қиздиришга чидамлилиги пастлигига, асосан, органик диэлектриклар молекулаларининг асосини ташкил этувчи углерод атомлари орасидаги химиявий боғланиш энергиясининг нисбатан кичиклиги сабаб бўлади. Масалан, углерод-углерод (C—C) атомлари орасидаги химиявий боғланиш энергияси 58,6 ккал/молга тенг.

Фойдаланиш жараёнида диэлектриклар иссиқлик Энергияси химиявий боғланиш энергиясидан катта бўладиган температурага қадар қизиб кетса, иссиқликдан эскиради, яъни емирилади. Боғланиш энергияси янада катта молекулалардан таркиб топган диэлектрикларнинг янги турларини излаш зарур эди.

Жуда кўп тадқиқотлар натижасида янги кремний-органик юқори полимер диэлектриклар ишлаб чиқилди*.

Бу диэлектриклар молекулаларининг асосини атомларнинг силансан группаси — Si — O — Si — O — Si — O — ташкил этади, унинг боғланиш энергияси 89,6 ккал/молга тенг. Шу сабабли кремний-органик диэлектриклар юқорида кўриб ўтилган органик диэлектрикларга нисбатан қиздиришга анча чидамли бўлади.

«Кремний-органик диэлектриклар» деб аталашига сабаб уларнинг молекулалари таркибига кремний ва кислород атомларидан ташқари турли хил органик бирикмалар: CH₃, C[^]H₅, C₆H₅ ва бошқаларнинг қолдиқлари ҳам қиради. Бу органик қолдиқлар *органик радикаллар* дейилади ва [^] ҳарфи билан белгиланади. Умумий ҳолда кремний органик юқори полимер диэлектрикларнинг молекуласини қуйидагича тасвирлаш мумкин:



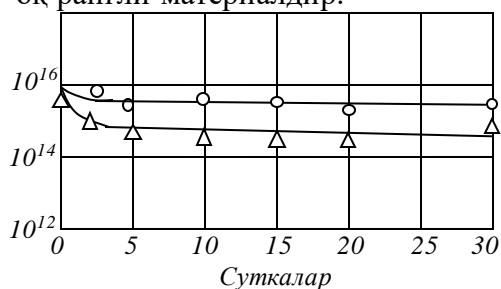
Қандай органик радикаллар бириктириб олинганлигига ва уларнинг бир атом кремнийга тўғри келадиган сонига қараб суяқ, каучуксимон ва қаттиқ диэлектриклар олиниши мумкин. Бўлар рангсиз моддалар ёки оч сарикдан жигар ранг тусгача бўлган моддалардир. Барча кремний органик диэлектрикларнинг бошқалардан фарқ қилувчи хусусияти уларнинг қиздиришга ва совуққа чидамлилигининг юқорилигидир. Кремний-органик электр изоляцияон материаллар (пластмассалар, резиналар, лаклар ва бошқалар) — 60 дан 180°C гача, улардан баъзилари эса 220°C гача температуралар оралиғида узоқ вақт ишлаши мумкин. Бундан ташқари, кремний-органик диэлектриклар суз, минерал мойлар, шунингдек, электр учқун разрядлари таъсирига ниҳоятда чидамлилиги билан ажралиб туради. Бу диэлектриклар минерал мойларда эримайди ва электр учқунлари таъсирида углеродланиб қолади.

Кремний-органик диэлектрикларнинг электрик характеристикалари юқори даражада бўлиб, қиздирилганда ва сув таъсир эттирилганда кам ўзгаради (16-расм). Уларнинг электрик характеристикалари қуйидагича:

$\rho_v = 10^{14} - 10^{15}$ Ом·м; $\epsilon = 2,6 - 3,5$; $\text{tg}\delta = 0,0003 - 0,005$; $E_m = 30 - 55$ МВ/м (лак пардаларида $E_m = 80 - 120$ МВ/м).

Кремний-органик материаллар кучсиз кутбланган диэлектриклар хисобланади.

Фторопласт- 4. Каттиқ юкори полимер материал-фторопласт-4 нинг олиниши киздиришга чидамли диэлектриклар ишлаб чиқиш соҳасидаги катта ютук бўлди. Бу ёнмайдиган, ушлаб кўрилганда ёғлидек туюладиган оқ рангли материалдир.



19-расм. расм. Кремний-органик лак пардаси солиштирма ҳажмий қаршилигининг 180°C температурада ва сувда қанча вақт бўлишига боғлиқлиги:
1 – 180°C да тутиб туриши.
2 – сувда тутиб туриши.

У суюлтирилган (сиқилган) газ — тетрафторэтилен $F_2C=CF_2$ ни полимерлаш натижасида олинади. Ҳосил бўлган полимер юмшоқ кукун бўлиб, ундан пресслаш (пўлат прессларда) йўли билан турли хил буюмлар тайёрланади. Зич яхлит материал ҳосил қилиш учун хона температурасида прессланган буюмлар печларда пиширилади. 370°C гача қиздирилган буюмлар тез совитилганда материал аморф тузилишга эга бўлади, секин совитилганда эса у микрокристалл структурали бўлиб қолади. Микроструктурали материалга ишлов бориш осон ва унинг хоссалари барқарор бўлади.

Фторопласт- 4 нинг ўзнга хос асосий хусусияти унинг қиздиришга ниҳоятда чидамлилиги (250°C) ва совуққа чидамлилигидир (—269°C). 327°C гача қиздирилганда (ўтиш нуқтаси) унинг кристалл структураси аморф структурага ўтади ва материал тиниқ бўлиб қолади. 415°C гача қиздирилганда материал юмшамайди, лекин унинг термик парчаланиши бошланади ва захарли модда бўлган эркин фтор ажралиб чиқа бошлайди.

Фторопласт-4 қиздиришга анча чидамдигининг асосий сабаби унинг молекуласидаги углерод билан фтор атомлари орасидаги химиявий боғланиш энергиясининг катталигидир (107 ккал/моль). Фторопласт-4 ниҳоятда химиявий барқарорлиги билан ҳам ажралиб туради. У хона температурасида ҳам, қиздирилганда ҳам эритувчиларнинг ҳеч бирида эримайди; унга концентранган кислота ва ишқорларнинг ҳеч қайсиси таъсир этмайди. Фторопласт-4 нинг сув сингдирувчанлиги нолга тенг ва у сувда ҳўлланмайди.

Фторопласт-4 нинг асосий характеристикаларн: зичлиги 2100 кг/м^3 ; $\delta_{\text{ч}} = (140—250) \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$; $\alpha = 100—130 \text{ кЖ/м}^2$; $\rho_{\text{v}} = 10^{15}—10^{17} \text{ Ом}\cdot\text{м}$; $\epsilon = 2,0$; $\text{tg}\delta = (2—4) \cdot 10^{-4}$; $E_{\text{м}} = 30 \text{ МВ/м}$ (плёнкаларники $E_{\text{м}} = 100—180 \text{ МВ/м}$).

Фторопласт-4 кутбланмаган диэлектрик, шу сабабли унинг электрик характеристикалари кенг частоталар оралиғида ўзгармас бўлади. Юпқа (10 дан 200 мкм гача) плёнкалари электротехникада кўп ишлатилади.

Фторопласт- 4 нинг салбий хусусияти унинг хона температурасида оқувчанлигидир, яъни у материалда $130 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2$ ва ундан катта кучланиш бўлганида деформациялана бошлайди. Шу сабабли фторопласт-4 дан тайёрланган буюмларга $130 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ дан ортиқ зўриқиш пайдо қиладиган механикавий юкламалар қўйиб бўлмайди.

Саноатимизда фторопласт-4 билан бирга бу диэлектрикнинг бошқа турлари: фторопласт-4Д, фторопласт-40 ва бошқалар ҳам ишлаб чиқарилади. Улар фторопласт-4 дан кукунсимон масса заррачаларининг шакли, ўлчамлари ва шу типдаги фторопластларни буюмларга айлантириш имкониятлари анча кенглиги билан фарқ қилади. Фторопласт-4Д билан фторопласт-40 нинг механикавий ва электрик характеристикалари қийматлари фторопласт-4 иннг тегишли характеристикаларидан кам фарқ қилади.

Полиамидлар — қиздиришга чидамли янги органик диэлектриклар бўлиб, улардан 200—220°C температураларда узоқ вақт фойдаланиш мумкин. Полиамид электр изоляцион буюмлардан (пластмассалардан) — 155°C гача ва ундан ҳам паст температураларда фойдаланиш мумкин, полиамид электр изоляцион плёнкалари эса паст температураларда (—190°C) бузилмасдан узоқ вақт тура олади. Полиамидлар химиявий барқарор диэлектриклардир. Улар кўпгина органик эритувчиларда эримайди, уларга суюлтирилган кислоталар, минерал мойлар ва сув таъсир этмайди. Концентрланган кислоталар, ишқорлар ва ўта қизиган сув буғи полиамидларни парчалайди.

Полиамидлар пиромеллит кислота ангидриди билан баъзи ароматик бирикмалар — диаминларнинг поликонденсатланиш реакцияси натижасида олинадиган диэлектриклардир. Полиамидлар асосида чулғам симларни эмаллаш учун эмаль-лаклар тайёрланади. Бу симлар 220°C гача бўлган температураларда узоқ вақт ишлай олади.

Полиамидлардан оч сариқ ёки жигар ранг тусли эгилувчан ярим типик электр изоляцион плёнкалар олинади. Полиамид плёнкалар 5 дан 100 мкм гача ва ундан ҳам ортиқ қалинликда ишлаб чиқарилади.

Плёнкаларнинг асосий характеристикалари: $\delta_{\text{ч}} = (1000—1200) \cdot 105 \text{ Н/м}^2$; $\rho_{\text{в}} = 1015 \text{ Ом} \cdot \text{м}$; $E_{\text{м}} = 100—150 \text{ МВ/м}$ Плёнкаларнинг сув сингдирувчанлиги анча катта бўлиб, 20°C ли сув буғларида 24 соат турганда ўртача 1% ни ташкил этади, шу сабабли полиамид изоляцияли чулғам симларга қиздириш ва сув таъсирига чидамли лаклар шимдириш лозим.

Қопланадиган полиамид плёнка симга полиамид елимловчи лак ёрдамида ёпиштирилади.

Полиамид плёнкалар қиздиришга чидамли электр машиналарда паз изоляцияси сифатида ҳам ишлатилади.

Термопластик полиамидлар асосида электр изоляция ва конструкцион мақсадларда ишлатиладиган турли хил пластмасса буюмлари тайёрланади. Бунинг учун соф полиамидлар ҳам, шиша тола ва бошқа қиздиришга чидамли тўлдиргичлар қўшилган полиамидлар ҳам ишлатилади. Полиамидлардан буюмлар қуйиш ва 350—400°C температураларда пресслаш йўли билан тайёрланади.

Полиамид пластмассаларнинг бошқалардан фарқ қилувчи ўзига хос хусусиятлари полиамидларнинг оқувчанлиги катта бўлганлиги сабабли уларни қайта ишлаб буюмларга айлантиришнинг осонлиги, ҳажмий кичрайиши камлиги ва қайта ишлашда хоссаларининг ўзгармаслигидир.

Полиамид пластмассаларнинг қиздиришга чидамлилиги юқори (220—250°C), электрик характеристикалари яхши ва механикавий характеристикаларининг қиймати катта бўлади. Масалан, тўлдиргичлар қўшилмаган полиамидларнинг зарбий қовушоқлиги $\alpha = 35—50 \text{ кЖ/м}^2$ га, тўлдиргич сифатида шиша тола қўшилганлариники эса $\alpha = 110—130 \text{ кЖ/м}^2$ га тенг.

Полиамид пластмасса буюмларининг сув сингдирувчанлиги сувда 24 соат давомида қайнатилгандан кейин 0.8% дан ошмайди. Полиамидлар асосида олинган пластмассаларнинг ҳаммаси радиация таъсирига ниҳоятда чидамли бўлади.

2.12. Лак ва эмаллар

Лаклар парда ҳосил қилувчи бирор модданинг махсус танлаб олинган органик эритувчидаги коллоид эритмаларидан* иборат.

Парда ҳосил қилувчи моддалар жумласига смолалар (табiiй ва синтетик), қурийдиган ўсимлик мойлари, целлюлоза эфирлари** ва бошқалар киради. Парда ҳосил қилувчи моддаларнинг эритувчилари сифатида осон буғланадиган (учувчан) суюқликлар: бензол, толуол, ксилол, спиртлар, ацетон, скипидар ва бошқалар ишлатилади.

Қуюқлашиб қолган лакларни суюлтириш учун уларга суюлтиргичлар қўшилади, бу моддалар эритувчилардан кам буғланувчанлиги билан фарқ қилади. Суюлтиргичлар сифатида бензин, лак керосини, скипидар ва баъзи бошқа суюқликлар ишлатилади.

Лак тартибига пластификаторлар ва сиккативлар ҳам кириши мумкин.

Пластификаторлар — лак пардасига эластиклик берадиган моддалардир; улар жумласига канакунжут мойи, зиғир мойидаги ёғ кислоталари ва бошқалар киради.

Сиккативлар баъзи лакларга уларнинг қуришни тезлатиш учун қўшиладиган суяқ ёки қаттиқ моддалардир.

Бирор сиртга суртилган лак қатлами қотишида унинг таркибидаги органик эритувчилар учиб кетади (буғланади), парда ҳосил қилувчи моддалар эса полимерланиш процеслари натижасида қаттиқ лак пардасини ҳосил қилади. Бу парда лак асосини ташкил этувчи парда ҳосил қиладиган моддаларнинг хоссаларига қараб эластик, эластикмас ва мўрт бўлиши мумкин. Электр изоляция лаклар ишлатилишига кўра шимдириладиган, қопланадиган ва елимловчи (ёпиштирувчи) лакларга бўлинади.

Шимдириладиган лаклар электр машина ва аппаратларда чулғам ўрамларини бири-бирига бириктириш учун чулғамларга шимдириш, шунингдек, чулғам изоляциясидаги ғовакликни йўқотиш мақсадларида ишлатилади. Шимдириладиган лак чулғам изоляциясининг ғовакларига кириб, у ердан ҳавони сиқиб чиқаради ва ўзи қотганидан кейин чулғамни намлик таъсирига чидамли қилади. Бунда чулғам изоляциясининг электр мустақамлиги ва унинг иссиқ ўтказиш коэффициенти ортади. Шимдириладиган лакларнинг асосий характеристикаларидан бири уларнинг шимилиш хусусиятидир. Лакнинг қовушқлиги қаттиқлик кичик бўлса, унинг шимилиш хусусияти шунчалик катта бўлади.

Қоплама лаклар лак шимдирилган чулғамлар сиртида намлик ва мой таъсирига чидамли қопламалар ҳосил қилиш учун ишлатилади. Қоплама лаклар жумласига чулғам симларини эмаллаш (сирлаш) учун ишлатиладиган эмаль лаклар, шунингдек, электротехника пўлати листлари ва бошқа деталларни изоляциялаш учун ишлатиладиган лаклар киради.

Елимловчи лаклар турли хил электр изоляция материалларни: слюда листларини (қатламли слюда изоляция ишлаб чиқаришда), керамика, пластмасса ва бошқаларни елимлаб бири-бирига ёпиштириш учун ишлатилади. Елимловчи лакларга қўйиладиган асосий талаблар шундан иборатки, бу лаклар яхши ёпишиши (адгезия) ва пухта чок ҳосил қилиши керак.

Барча лаклар қуриш усулига кўра икки гурпуга бўлинади: ҳавода (совуқда) қурийдиган лаклар ва печда (иссиқда) қурийдиган лаклар.

Ҳавода қурийдиган лакларда лак пардаси хона температурасида қотади. Улар жумласига шеллакли, эфир-целлюлозали ва баъзи бошқа лаклар киради.

Печда қурийдиган лакларда лак пардаси хона температурасидан анча юқори (100°C ва ундан юқори) температуралардагина қотиши мумкин. Печда қурийдиган лакларда терморреактив парда ҳосил қилувчи моддалар (глифтал, резол ва бошқа смолалар) ишлатилади, уларнинг қотиши юқори температура талаб қилувчи полимерланиш процеслари билан боғлиқ. Одатда, иссиқда қурийдиган лакларнинг механикавий ва электрик характеристикалари анча юқори бўлади.

Электр изоляция эмаллар майда туйилган моддалар — пигментлар қўшилган лаклардир.

Пигментлар сифатида аорганик моддалар, асосан, металлларнинг оксидлари (рух оксид, темир суриги, литопон* ва бошқалар) ҳамда уларнинг аралашмалари ишлатилади. Лакка қўшилган пигментловчи моддалар бўёқ эзиш машиналарида бир жинсли масса ҳосил бўлгунча яхшилаб эзилади. Қотиши жараёнида эмаллар лак асоси билан химиявий реакцияга киришади ва жуда қаттиқ зич қоплам ҳосил қилади.

Электр изоляция эмаллар қоплама материаллар ҳисобланади. Улар ёғлаш учун ишлатиладиган мойлар, намлик ва бошқа таъсирлардан химоя қилиш учун электр машина ва аппаратлар чулғамларининг олд қисмларига қопланади.

Кўпчилик электр изоляция эмалларнинг асосини елимлаш хусусияти ва қиздиришга чидамлилиги юқори бўлган мойли-глифталли лаклар ташкил этади. Мойли-глифталли лаклар асосида эмалларнинг бир неча марказлари тайёрланади; СПД — қиздириб (105°C) қуритиладиган эмаль; бу эмалдан қилинган қопламалар кул ранг тусли, минерал мойлар ва электр учқунлари таъсирига чидамли бўлади; СВД — совуқ ҳолда қуритиладиган эмаль; у

минерал мойлар таъсирига чидамли, кул ранг тусли қопламалар ҳосил қилади; ҚВД — совук ҳолда қуритиладиган эмаль, электр ёй таъсирига чидамли қизил жигар ранг тусли қопламалар ҳосил қилади.

Эноксид лаклар асосида тайёрланган эмаллар яхши ёпишиши (адгезия) ва қиздиришга анча чидамлилиги (155°С гача) билан фарқ қилади.

Кремний-органик лаклар асосида тайёрланган, қиздиришга жуда чидамлилиги билан (180—200°С) ажралиб турадиган электр изоляцион эмаллар катта аҳамиятга эга.

5 ва 6-жадвалларда бир неча электр изоляцион лаклар ва эмалларнинг асосий характеристикалари келтирилган.

18-§. Компаундлар

Компаундлар бир неча бошланғич моддалардан: смолалар ва битумлардан тайёрланадиган электр изоляцион таркиблар. Компаундлар ишлатилиш пайтида суюқлик бўлиб, аста-секин қотади ва яхлит қаттиқ диэлектрикка айланади.

Компаундлар ўз таркибида учувчан эритувчилар йўқлиги билан лак ва эмаллардан фарқ қилади. Лак қатлами қуриши вақтида эритувчилар буғланиб кетади ва лак пардасида жуда кичик ковакчалар ва капиллярлар ҳосил қилади. Бунинг натижасида лак шимдирилган изоляциянинг намликка чидамлилиги пасаяди. Компаундларда эритувчиларнинг бўлмаслиги компаундининг яхлит бўлиб қотишини таъминлайди. Компаундлар ишлатилишига кўра шимдириладиган, қуйиладиган ва суркаладиган компаундларга бўлинади.

Шимдириладиган компаундлар электр машина ва аппаратларнинг чўлғамларига унинг ўрамларини жипс бириктириш ва уларни намликдан сақлаш мақсадида шимдириш учун ишлатилади; қуйиладиган компаундлар кабель муфталари ва даҳаналаридаги, шунингдек, электр аппаратлар — ток трансформаторлари, дросселлар ва бошқаларнинг корпусларидаги бўшлиқдарни (бўш жойларни) қуйиб тўлдириш учун ишлатилади.

Компаундлар қотгандан кейин юмшамайдиган терморреактив ёки кейинчалик қиздирганда юмшайдиган термопластик материаллар бўлиши мумкин. Термопластик материаллар жумласига битумлар, мумсимон диэлектриклар (парафин, церезин ва бошқалар), термопластик полимерлар (полистирол ва бошқалар) асосида олинган компаундлар киради.

Битумлар асосида олинган термопластик компаундлар электротехникада кенг қўламда ишлатилади, чунки битумлар арзон материаллар бўлиб, сув таъсирига чидамли ва яхши электр изоляцион хоссаларга эга.

Масалан, электр машиналарнинг чулғамларига шимдириш учун битумли 225- номерли шимдириш компаунди кенг қўламда ишлатилади, у муайян нисбатларда олинган битум, канифоль ва зиғир мойини бирга суюлтириб аралаштириш натижасида ҳосил қилинади. Қаттиқ ҳолатдаги 225-номерли компаунд ялтироқ сиртли қора рангли масса кўринишида бўлади.

Электр изоляцион лакларнинг асосий характеристикалари

Лакнинг асосига кўра классификацияси	Лакнинг маркаси (номери)	Қуриш вақти ва температураси	Пардаларининг термоэластиклиги* ва синаш температураси	20°C даги электр характеристикалари		Ишлатиш соҳаси
				$\rho_v, \text{Ом} \cdot \text{м}$	$\epsilon_m, \text{МВ/м}$	
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
Мойли	152	105°C да 1 соат	105°C да 1-3 соат	10^{11} - 10^{12}	50-60	Шимдириладиган ва қоплама лак. Электр машиналар ремонтда ишлатилади.
Мой-битумли	БТ-987	105°C да 5-6 соат	150°C да 7-10 соат	10^{12} - 10^{13}	60-70	Шимдириладиган лак. А ва В класс изоляцияли электр машина ҳамда аппаратларнинг чулғамларига шимдириш учун ишлатилади
	БТ-988	105°C да 3 соат	150 °C да 1-2 соат	10^{11} - 10^{12}	50-60	Қиздиришга чидамлилиги 105 °C бўлган қоплама лак
Глифгалли	ГФ-95	105°C да 2 соат	150 °C да 48-60 соат	10^{12} - 10^{13}	70-75	Мойда ишлайдиган чулғамлар учун шимдириладиган ва қоплама лак
	КФ-95	105°C да 1-2 соат	105 °C да 12-20 соат	10^{12} - 10^{13}	60-70	Бириктирувчи хусусияти кучли шимдириладиган ва қоплама лак
Кремний-органик	КО-964	200 °C да 1-2 соат	200 °C да 200-250 соат	10^{12} - 10^{13}	70-90	Қиздиришга жуда чидамли (200 °C гача) шимдириладиган лак
	КО-923	200 °C да 25-30 минут	200 °C да 100-120 соат	10^{11} - 10^{12}	50-60	Қиздиришга (200 °C гача) ва сув таъсирига чидамли шимдириладиган лак

Электр изоляцион лакларнинг асосий характеристикалари

Эмаль маркаси*	Қанда й лақда	Қуриш вақти ва темпер ату- раси	Пардалари нинг термо- эластиклиг и* ва синаш температур аси	20°С даги электрик характеристика лари		Ишлатиш соҳаси
				$\rho_v, \text{Ом} \cdot \text{м}$	$E_m, \text{МВ/м}$	
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
ГФ-92-ГС (СПД)	Глифта лли	105°С да 3 соат	105°С да 10 соат	10^{11} - 10^{12}	50-60	Қиздириб қуритиладиган эмаль учкунлар ва минерал мой таъсирига чидамли кул ранг парда ҳосил қилади. Айланувчан ва қўзғалмас чулғамларга қоплаш сифатида ишлатилади.
ГФ-92-ХС (СВД)	Глифта лли	20°С да 20 соат	105°С да 1 соат	10^{10} - 10^{11}	30-32	Совуқлайин қурийдиган эмаль учкунлар ва минерал мойлар таъсирига чидамли кул ранг парда ҳосил қилади. Қўзғалмас чулғамларга қоплаш учун ишлатилади.
ЭП-91	Эпокси дли	180 °С да 2 соат	150 °С да 6 соат	10^{12} - 10^{13}	50-70	Қиздириб қуритиладиган қиздиришга (130 °С) чидамли эмаль намлик ва минерал мой таъсирига чидамли пардалар ҳосил қилади. Босқичма-босқич қуриydi: 20 °С да 2 соат ва 180 °С да 2 соат
КО-918	Кремни й органи қ	200 °С да 2 соат	200 °С да 150 соат	10^{12} - 10^{13}	70-80	Қиздиришга чидамли эмаль минерал мой ва сув таъсирига жуда чидамли пушти рангли қаттик пардалар ҳосил қилади. Қиздиришга чидамлилиги 180 °С
КО-935	Кремни й органи қ	120 °С да 2 соат	200 °С да 100 соат	10^{11} - 10^{12}	40-60	Бу ҳам юқоридагидек, лекин пастрок температурада (120 °С) қуриydi. Ҳосил қилган пардалари сув ва моғор замбуруғлари таъсирига чидамли. Қиздиришга чидамлилиги 180 °С

225- номерли компаунднинг асосий характеристикалари: зичлиги 950 кг/м^3 ; юмшаш температураси («халқа ва шар» усули бўйича) $98\text{—}112^\circ\text{C}$; совуққа чидамлилиги -25°C ; ҳажмий чўкиши $7\text{—}8\%$; $\rho_v = 10^{10}\text{—}10^{12} \text{ Ом}\cdot\text{м}$; $E_m = 18\text{—}20 \text{ МВ/м}$.

Чулғамга шимдириладиган компаунд $160\text{—}170^\circ\text{C}$ га қадар қиздирилади. Бундай температурада у суюқ ҳолатга ўтади ва унинг заррачалари чулғамнинг ичига кира оладиган бўлади. Чулғамларга битумли суюқ компаундлар оғзи герметик қилиб беркитилган махсус шимдириш қозонларида шимдирилади. Шимдириш қозонларига жойлаштирилган чулғамлар дастлаб вакуумда $100\text{—}180^\circ\text{C}^*$ температурада қуритилади. Сўнгра шимдириш қозонига қиздирилган суюқ компаунд қўйилади ва у чулғамлар изоляциясининг очиқ ғовақларига кира бошлайди. Шундан кейин қозонда босим $(6\text{—}8) \cdot 10^5 \text{ Па}$ га қадар оширилади. Босим таъсирида суюқ компаунд чулғам изоляциясининг ғовақларига кириш билан бир вақтда уларни пресслайди. Компаунд шимдирилган чулғамлар яна қуритилади. Турли хил чулғамлар ва компаундлар учун турли хил шимдириш режимлари ишлаб чиқилади.

Шимдириш натижасида чулғамларнинг механикавий ва электр мустаҳкамлиги юқори, сув буғлари таъсирига чидамли бўлган яхлит изоляцияси олинади.

Битумлар. термопластик материаллардир, шунинг учун битумли компаундлар, одатда, кўзғалмас чулғамларга шимдириш учун ишлатилади. Айланувчи чулғамлардан (қизиқ кетганида) битумли компаунд оқиб тушиши (айниқса марказдан қочувчи кучлар таъсирида) Р мумкин. Трансформатор мойида ишлайдиган ёки бензин, кросин таъсир этиб гурадиган чулғамларга битумли компаундлар шимдириб бўлмайди, чунки битумларнинг ҳаммаси минерал мойларда ва углеводородларда (бензин, бензол ва бошқаларда) эрийди. Қўйиладиган битумли компаундлардан МБ-70, МБ-90, МБМ-1 ва МБМ-2 компаундлар энг кўп ишлатилади. Бўлардан дастлабки икитаси турли нисбатларда олинган нефть битумлари асосида тайёрланади. МБМ-1 ва МБМ-2 компаундлар битумлар асосида тайёрланади, лекин совуққа чидамлилигини ошириш учун уларга трансформатор мойи ҳам қўйилади. юқорида айтиб ўтилган компаундлар 10 кВ гача кучланиши кабелларни бириктириш муфтларига ва учларидаги воронкаларга бўшлиқларини тўлдириш учун ишлатилади.

Кейинги қиздирганда юмшамайдиган терморектив компаундларнинг катта амалий аҳамияти бор. Уларга бир вақтнинг ўзида ҳам шимдириладиган, ҳам қўйиладиган компаунд ҳисобланадиган МБҚ компаундлар, эпоксид смолалар асосида олинган компаундлар ва бошқалар киради.

МБҚ компаундлар метакрил кислота эфирлари асосида, уларга қотиргичлар, пластификаторлар қўшилиб ёки қўшилмай тайёрланади. Дастлабки ҳолатида МБҚ компаундлар сарғиш тусли тиниқ суюқликлар бўлиб, қиздирилганда қаттиқ изоляцион блоklar ҳосил қилади. МБҚ компаундлар суюқ ҳолатида яхши шимилиш хусусиятига эга.

Қотиргичлар қўшилган МБҚ компаундлар 20°C да $20\text{—}24$ соат давомида қотади, қотиргичлар қўшилмагани эса $8\text{—}10$ соат давомида, лекин 75°C га қадар қиздирилганда қотади. Қотган ҳолатдаги компаундлар мисга нисбатан инерт бўлиб, сув таъсирига чидамли ва яхши электр изоляцион хоссаларга эга бўлади.

МБҚ-1 компаунд қотган ҳолатида эластик бўлмаган қаттиқ массадан иборат бўлади. МБҚ-2 ва МБҚ-3 компаундлар қаттиқ эластик масса ҳосил қилади, чунки уларга пластификаторлар — мойсимон суюқликлар қўйилади.

МБҚ компаундлар— 60 дан $+110^\circ\text{C}$ гача (тўлдиргичларсиз) бўлган температуралар оралиғида ишлатилади. Компаундларга минерал тўлдиргичлар қўшилганида улардан — 60 дан $+120^\circ\text{C}$ гача бўлган температураларда фойдаланиш мумкин.

Қотган ҳолатдаги МБҚ компаундларнинг характеристикалари қуйидагича бўлади: зичлиги 1000 кг/м^3 ; $\delta_{\text{ч}} = (70\text{—}80) \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ (МБҚ-1); $\delta_{\text{ч}} = (5,0\text{—}11) \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ (МБҚ-2 ва МБҚ-3); $\rho_v = 10^{11}\text{—}10^{12} \text{ Ом}\cdot\text{м}$; $\epsilon = 3,2\text{—}5,2$; $\text{tg}\delta = 0,03\text{—}0,09$; $E_m = 10\text{—}15 \text{ МВ/м}$. Ҳажмий чўкиши (қотиш пайтида ҳажмининг қисқариши) бу компаундларда $5\text{—}6\%$ ни ташкил этади.

МБК компаундлар суяқ холида етказиб берилади. Улар суяқ ҳолатида резинани ва баъзи лакларнинг пардаларини эритиши ёки шишириши мумкин. Резина иштирокида МБК компаундлар қотмайди, бу уларнинг камчилиги ҳисобланади.

Эпоксид смолалар асосида олинадиган компаундлар кенг кўламда ишлатилмоқда. Бу компаундлар эпоксид смолалардан бирининг қотиргичлар (фталъ ва малеин кислоталарнинг ангидридлари ҳамда бошқа моддалар) билан аралашмасидан иборат. Улар металлларга, керамикага, пластмассаларга ва чулғамларнинг толали изоляциясига яхши ёпишувчанлиги (адгезия) билан фарқ қилади; уларнинг механикавий мустаҳкамлиги юқори ва ҳажмий чўкиши кичик (0,5—1,5%). Қандай қотиргич қўшилганига қараб эпоксид компаундлар юқори температураларда (120—140°C) ёки хона температурасида суяқ ҳолатдан қаттиқ ҳолатга ўтиши мумкин. Агар суяқ эпоксид смоллага фталъ ёки малеин кислоталарнинг ангидридларни қўшилса, компаундлар 120—140°C температурда 4—10 соат давомида қотади. Бошқа қотиргичлар, масалан, гексаметилодиамин ва баъзи бошқалар қўшилганда эпоксид компаундлар хона температурасида 20—24 соат давомида қотади. Бундай компаундлар совуқда қотадиган компаундлар дейилади. Қотган эпоксидли компаунд қаттиқ блокдан иборат бўлиб, уларнинг чизиқли кенгайиш коэффициентини нисбатан кичикроқ ($\sim 6 \cdot 10^{-5} 1/^\circ\text{C}$) бўлади. Эпоксидли компаундларнинг мўртлигини камайтириш учун уларга пластификаторлар — синтетик мойсимон суяқликлар: дибўтилфталат, полиэфирлар ва бошқалар қўшилади.

Эпоксидли компаундларнинг иссиқ ўтказиш коэффициентини ошириш ва механикавий характеристикаларини яхшилаш учун дастлабки суяқ холида минерал тўлдиргичлар: чангсимон кварц, тўйинган тальк ва бошқалар қўшилади. Тўлдиргичлар қўшиш натижасида суяқ компаунднинг оқувчанлиги камаяди. Тўлдиргичли компаундлар, асосан, металл қисмлари кўп бўлган катта бўшлиқларга қуйиш учун ишлатилади.

Қотган эпоксидли компаундларнинг асосий характеристикалари: зичлиги 1200—1700 кг/м³; $\delta_{\text{ч}}$ - (450—600)·10⁵ Н/м²; $a=8-12$ кЖ/м², иссиқбардошлилиги 80- 110°C; совуққа чидамлилиги—(40—60)°C; $\rho_{\text{в}}$, = 10¹²—10¹³ Ом·м. $\varepsilon=3,8—5,0$; $\text{tg}\delta=0,02—0,05$; $E_{\text{м}}=10—25$ МВ/м; сув синдирувчанлиги (24 соат давомида) 0,05—0,08% мас.

Тўлдиргичлар (чангсимон кварц ва бошқалар) қўшилган компаундларнинг механикавий мустаҳкамлиги энг юқори бўлади.

Қиздиришга чидамли шимдириладиган таркиблар сифатида кремний-органик, шунингдек, эпоксид-кремний-органик компаундлар ишлатилади. Бу компаундларнинг бошқаларидан фарқ қилувчи хусусияти уларнинг қиздиришга жуда чидамлилиги (180°C гача) ва совуққа чидамлилигидир (—60°C гача).

Соф кремний-органик компаундлар босқичма-босқич қотади —дастлаб 150°C, кейин эса 200°C температурда қотади; ҳажмий чўкиши 5—6% ни ташкил этади. Уларнинг қовушоқлиги кичик ва шимилиш хусусияти яхши. Қиздиришга ва намлик таъсирига чидамли электр машиналарнинг чулғамларига шимдириш учун ишлатилади.

Қотган ҳолатида бу компаундлар —60 дан +200°C га қадар температуралар оралиғида ишлаши мумкин. Улар электрик характеристикаларининг яхшилиги билан ажралиб туради: $\rho_{\text{в}}= 10^{12}—10^{13}$ Ом·м; $\varepsilon = 3,0—3,5$; $\text{tg}\delta=0,003$; $E_{\text{м}} = 50—60$ МВ/м.

2.13. Қоғоз ва картонлар

Игнабаргли дарахтлар (қарағай, арча) ёғочидан химиявий қайта ишлаш йўли билан целлюлоза (ёки клетчатка) олинади, у турли хил электр изоляцион қоғозлар ва картонлар тайёрлаш учун хом ашё ҳисобланади. Ёғоч таркибига целлюлозадан ташқари, лигнин, смоласимон ва бошқа моддалар ҳам киради, улар целлюлозада қолиб, қоғозга мўртлик хусусиятини беради ва электр изоляцион хоссаларини камайтиради. Қоғозларда бу қўшимчалар қанчалик кам бўлса, улар шунчалик пишиқ, эластик бўлади ва секин эскиради. Шу сабабли ёғочни химиявий қайта ишлаб, электр изоляцион қоғозлар тайёрлашга мўлжалланган целлюлозага айлантиришда асосий вазифа ёғочдан лигнин смолалар ва

бошқа ифлослантурувчи моддаларни батамом йўқотиб, техникавий тоза целлюлоза олишдан иборат.

Химиявий қайта ишлашдан олдин ёғочдан шох-бутоқлари ва чириган жойлари йўқотилади ҳамда майдалаб, пайрахага айлантурулади. Пайрахагарни целлюлозага айлантуруиш учун улар оғзи берк қозонларда (автоклавларда) кислотали ёки ишқорий моддалар — химикатлар ишлатиб қайнатулади. Пайрахагар 150—175°C температурада ва $(7-9) \cdot 10^5$ Па босимда кислотали ёки ишқорий муҳитда қайнатулади. Кислота қўшиб қайнатишда қозонга кальций бисульфит $\text{Ca}(\text{HSO}_3)_2$ нинг сульфит кислота H_2SO_3 даги эритмаси, ишқор қўшиб қайнатишда эса ўювчи натрий NaOH билан натрий сульфит Na_2S аралашмаси солинади. Ёғочни кислота қўшиб қайнатиш натижасида сульфигли целлюлоза, ишқор қўшиб қайнатиш натижасида эса сульфитли целлюлоза олинади.

Электр изоляцион қоғоз ва картонларни тайёрлаш учун, асосан сульфатли целлюлозадан фойдаланулади, у қоғознинг электр, механикавий ва иссиқлик хоссалари яхши бўлишини таъминлайди.

Қайнатилгандан кейин олинган целлюлоза сув билан ювилади, сўнгра пичоқлари бўлган айланувчан барабани бор махсус ванналарда (роллерларда) нам ҳолида майдаланади. Барабаннинг тубида дўнглик бўлади. Қайнатиб тозаланган толалар барабан пичоқлари билан дўнгликнинг учи орасига тушиб майда қисмларга кесилади ва узунлиги бўйлаб анча ингичка толаларга ажралади. Пичоқлар билан дўнгликнинг учи орасидаги тирқишнинг катталигига қараб майин ёки дағал толалар олинади. Майин тола олиш учун ўтмас пичоқлар ванна тубидаги дўнглик учидан узокроқ қилиб ўрнатулади. Натижада целлюлоза ингичка толаларга ажралади, холос. Шундай қилиб, майин майдалашда (тола олишда) толалар механикавий жихатдан бузилмайди, уларнинг капилляр каналлари эса ёпиқлигича қолади. Дағал майдаланган целлюлоза олиш учун ўткир пичоқлар ишлатулади. Пичоқлар билан дўнглик орасидаги масофа аввалгидан кичик бўлади. Бунда целлюлоза толалари, асосан қўндалангига қирқилади, натижада ички каналлари очилиб қолади.

Майин майдаланганда узун ва ингичка толалар олинади. Майин қилиб майдаланган целлюлозадан тайёрланган қоғоз жуда эластик ва механикавий мустаҳкам бўлади. Дағал майдаланганда калта ва йўғон толалар олинади, улар қоғознинг ғовак, механикавий мустаҳкамлиги кам, шунингдек, сув ва бошқа суюқликларни осон ютадиган бўлишига сабаб бўлади.

Майдаланган целлюлоза қоғоз масса дейилади. Қоғоз тайёрлаш учун масса қоғоз машинасининг ҳаракатланиб турадиган металл тўрига узатиб берилади, тўр сиртида уни металл валиклар сиқади. Бунда суви сиқилиб тўр орқали тушиб кетади, масса эса қоғоз полотно шаклини олади ва мовут лентага ўтади. Бу ерда қоғоз полотноси совуқ валецлар билан эзилади, сўнгра қиздирилган чўян валецлар системаси орқали ўтади; шундан кейин совуқ валецлар системаси билан сиқилади ва рулон қилиб ўралади.

Қоғозларнинг намлиги 5—9% атрофида бўлади. Қоғознинг намлиги ортиши билан унинг электр изоляцион хоссалари ва механикавий мустаҳкамлиги анча ёмонлашади. Зичлиги, чўзилишдаги мустаҳкамлик чегараси, шунингдек, ҳаво ўтказувчанлиги қоғознинг муҳим характеристикалари ҳисобланади. Ҳаво ўтказувчанлик деганда юзаси 10 см^2 бўлган қоғоз намунаси орқали $9 \cdot 10^3$ Па вакуумда бир минутда ўтган ҳавонинг ҳажми (миллилитрларда) тушуинулади. Равшанки, энг зич қоғозларнинг ҳаво ўтказувчанлиги кам, ва бинобарин, капилляр ғовақларининг ўлчамлари кичик бўлади. Масалан, конденсатор қоғозларининг ҳаво ўтказувчанлиги 3—5 мл/мин, кабель қоғозлариники эса 20—25 мл/мин бўлади.

Электр изоляцион қоғозлар кабель қоғозларига, кондексатор қоғозларига, шимдириладиган, ўров, микалент ва бурма қоғозларга бўлинади.

Кабель қоғози юқори кучланишли кабелларнинг асосий изоляциясини ташкил этади. У кабелга ўралгандан кейин электр изоляцион мой шимдирилади. Қоғоз ленталар кабель симига таранг тортиб ўралади. Шу сабабли кабель қоғозининг чўзилишдаги механикавий мустаҳкамлиги анча юқори бўлиши керак. Бундан ташқари, тайёр кабелни жойлаштириш

пайтида унга ўралган қоғоз эгилиши мумкин ва шу сабабли эгилиш пухталиги ҳам катта бўлиши лозим.

Кабель қоғозларининг механикавий хоссалари яхши бўлиши учун улар, асосан майин қилиб майдаланган сульфатли целлюлозадан ишлаб чиқарилади. Бундан ташқари, майин қилиб майдаланган целлюлозадан тайёрланган қоғознинг зичлиги катта ва ғоваклиги кам бўлади. Шимдирилдиган суюқ моддани (мой ёки мой-канкфолли таркиб) қоғоз юпқа парда ва каналларга ажратади, бу эса унинг электр мустаҳкамлигини оширади. Ҳеч нарса шимдирилмаган кабель қоғознинг электр пухталиги 6—9 МВ/м, трансформатор мойи шимдирилганиники эса 70—80 МВ/м бўлади.

Кабель қоғози 35 кВ, 110 кВ ва 220 кВ гача кучланишга мўлжалланган кабелларнинг симларини изоляция қилиш учун ишлаб чиқарилади.

Кабель қоғозларининг айтиб ўтилган группалари бир-биридан қатламларининг сони, қалинлиги, ҳажмий массаси, ҳаво ўтказувчанлиги ва бошқа характеристикалари билан фарқ қилади.

К маркали* (К-080; К-120; К-170) ва КВ маркали (КВ-030; КВ-045; КВ-080; КВ-120; КВ-170; ҚВ-240 кабель қоғозлари) икки қатламли қилиб чиқарилади, КМ (КМ-120; КМ-170) ва КВМ маркали (КВМ-080; КВМ-120; КВМ-170) қоғозлар эса уч ва тўрт қатламдан иборат бўлади. Икки қатламли қоғозларга нисбатан кўп қатламли қоғозларнинг эгилувчанлиги, эластиклиги катта, ҳаво ўтказувчанлиги кам ва, бинобарин, электр мустаҳкамлиги катта бўлади. Зичлиги 760—850 кг/м³.

Юқорида айтиб ўтилганлардан ташқари, КВУ (қалинлиги 0,15 мм дан 0,120 мм гача) ва КВМУ (КВМУ-080; ҚВМУ-120) маркали зич кабель қоғозлари ҳам ишлаб чиқарилади. Зич қоғозлар зичлигининг юқорилиги — 1100 кг/м³, қалинлиги кам ўзгариши, ҳаво ўтказувчанлиги камлиги билан ажралиб туради, бу эса механикавий ва электрик характеристикаларининг қийматлари юқори бўлишини таъминлайди. Зич кабель қоғозлари 110 кВ ва ундан юқори кучланишларга мўлжалланган кабелларнинг симларини изоляция қилиш учун ишлатилади.

Барча қоғозлар гигроскопик материал бўлиб, нам ҳавода тез намланиб қолади, шу сабабли қоғоз изоляция қўйишга доир барча ишларни теварак-атрофдаги ҳаво қатъий мўътадилланган шароитда бажариш керак. Суюқ диэлектриклар шимдиришдан олдин кабелларнинг қоғоз изоляцияси узоқ вақт қуритилади.

Конденсатор қоғозига суюқ диэлектрик шимдирилган бўлиб, қоғоз конденсаторларда ишлатилади. Бу қоғозни тайёрлаш учун майин қилиб майдаланган энг тоза сульфатли целлюлоза ишлатилади. Бу қалинлиги бир хил энг юпқа қоғозлардир (уларнинг қалинлиги 0,004 дан 0,030 мм гача бўлади). Зичлиги 1000—1250 кг/м³.

*Рақамлар қоғознинг микронлар ҳисобидаги қалинлигини кўрсатади, ҳарфлар эса қуйидагиларни билдиради: К—кабелники. КВ—юқори вольтли кабелники, КВМ—юқори вольтли кабелники кўп қатламли; У—зичлаштирилган.

Уларнинг ҳаво ўтказувчанлиги катта эмас (3—10 мл/мин), бу уларнинг электр мустаҳкамлиги анча катталигини кўрсатади. Бу қоғозларнинг электр мустаҳкамлиги қалинлигига қараб 19 дан 65 МВ/м гача бўлади*.

Нефздан олинадиган конденсатор мойи шимдирилгандан кейин конденсатор қоғозларининг электр мустаҳкамлиги ортади ва 250 дан 300 МВ/м гача ораликда бўлади. Конденсатор қоғозлари таркибида минимал миқдорда ток ўтказадиган заррачалар (металлмаслар ва бошқалар) бўлиб, улар қоғознинг электрик характеристикалари юқори даражада бўлишини таъминлайди. Конденсатор қоғозларининг чўзилишдаги мустаҳкамлик чегараси $\delta_c=100 \cdot 10^5$ Н/м² га етади. Конденсатор қоғози эни 12 дан 750 мм гача бўлган бобиналар ҳолида ишлаб чиқарилади.

Модда шимдирилган қоғоз қатламли электр изоляцион рластмасса—гетнакс тайёрлаш учун мўлжалланган. Бундай қоғоз сульфатли целлюлозадан ишлаб чиқарилади ва

қалинлиги 0,09; 0,11 ва 0,13 мм, зичлиги эса 600—800 кг/м³ бўлади. Шу сабабли уларнинг ҳаво ўтказувчанлиги ва шимиш хусусияти бошқа қоғозларникига нисбатан Юқори бўлади, бу эса гетинакс ишлаб чиқаришда моддаларнинг яхши шимилиши учун жуда муҳимдир.

Ўров қоғози трансформаторлар ва электр аппаратлар учун цилиндрлар ҳамда изоляция трубкалари каби электр изоляция ўраладиган буюмларни тайёрлашда ишлатилади.

Ўров қоғози майин қилиб майдаланган оқартирилмаган целлюлозадан ишлаб чиқарилади, зичлиги 750 кг/м³, қалинлиги 0,05 дан 0,07 мм гача, электр мустаҳкамлиги камида 8 МВ/м бўлади.

Электр изоляция қилинадиган цилиндрлар тайёрлаш учун қоғознинг бир томонига электр изоляцион лак қопланган бўлиши керак.

Микалента қоғози слюдали эгилувчан лента тайёрлаш учун ишлатилади, бунинг учун микалента қоғоз полотносига слюда листлари елимланади. Микалента қоғоз микалентанинг эгилувчанлигини таъминлаши, унинг узилишига бўлган механикавий мустаҳкамлигини ошириши ва шу билан бирга микалентанинг электрик характеристикалари пасаймаслиги учун юпқа бўлиши зарур.

Қалинлиги ортиши балан қоғознинг электр мустаҳкамлиги камаяди.

Лаклар яхши ва тез шимилиши учун бу қоғознинг ғоваклиги ҳам катта бўлиши керак.

Микалента қоғоз тайёрлаш учун узун толали пахтадан фойдаланилади, бунда унинг толалари, асосан, қоғоз полотносининг узунлиги бўйлаб йўналтирилади. Бу, қоғознинг катта механикавий мустаҳкамлигини таъминлайди: унинг мустаҳкамлиги қоғоз полотносининг узунлиги йўналишида 750-105 Н/м², қоғознинг қўндалангига эса 90-10⁵ Н/м² бўлади. Микалент қоғоз эни 450 ва 900 мм ли рулонлар ҳолида ишлаб чиқарилади. Қоғознинг қалинлиги 18—20 мкм (0,018—0,020 мм).

Бурма (крепланган) қоғоз трансформатор чулғамларидаги ва мой тўлдирилган бошқа электр аппаратлардаги шохобчаларни ва бириктирилган жойларни изоляциялаш учун ишлатилади.

Бу қоғознинг сиртида қоғоз полотносининг бўйига перпендикуляр ҳолда бурмалар қилинган (гофрланган) бўлади. Шу туфайли бурма қоғоз эгилувчан бўлади ва бўйига яхши чўзилади (60% чўзилади), бу эса чулғамларнинг шохобчаларини ва жуда букилган тугашгириш симларини изоляциялашга имкон беради.

Бурма қоғоз оқартирилмаган сульфатли целлюлозадан тайёрланиб, қалинлиги 0,17 мм (бурмасиз) ва 0,5 мм (бурмаси билан), зичлиги 230 кг/м³ бўлади. Бу қоғоз эни 500 мм ли рулонлар ҳолида ишлаб чиқарилади.

Мойга чидамли қиммат турадиган лакли тўқималар ўрнида электр изоляцион бурма қоғозлар ишлатиш тармоқлар изоляциясининг электр мустаҳкамлигини камайтирмагани ҳолда катта иқтисодий самара берди.

Электр изоляцион картонлар ҳам қоғозлар тайёрланадиган усулда тайёрланади, лекин улар қалин (0,1 дан 6,0 мм гача) бўлади. Картонлар тайёрлаш учун хом ашё сифатида сульфатли целлюлозадан иборат масса ёки целлюлозанинг пахта толаси билан аралашмаси ишлатилади (пахта толаси картоннинг механикавий ва электр изоляцион хоссалари юқори бўлишини таъминлайди). Картонлар ишлаб чиқариш процесси қоғозлар ишлаб чиқариш процессига ўхшаш бўлсада, лекин бошқачароқ асбоб-ускуналар ишлатилади ва картон полотноси тайёрлаш ҳамда охири пардоз беришга доир қўшимча технологик операциялар бажарилади. Қалинлиги 0,1 дан 0,8 мм гача бўлган картонлар эни 1015 мм гача бўлган рулонлар ҳолида, қалинлиги 1 мм ва ундан қалин картонлар эса турлича—3Х4 м гача ўлчамдаги листлар ҳолида ишлаб чиқарилади.

Ҳавода ишлатиш учун мўлжалланган, «ҳаво картонлари» дейиладиган картонлар целлюлоза билан пахта толасининг аралашмасидан тайёрланади. Уларни зичлаш ва силлиқлаш учун пўлат валецлар орасида қўшимча ишлов берилади. Баъзи картонларга гигроскопиклигини камайтириш ва анча зич структура ҳосил қилиш мақсадида канифоль билан крахмал асосида тайёрланган елимловчи моддалар қўшилади.

Мой тўлдириладиган машина ва аппаратларда (трансформаторлар ва бошқаларда) ишлатиладиган, «мой картонлари» деб аталадиган картонлар сульфатли целлюлоза билан пахта толаси аралашмасидан тайёрланади, уларга валецларда қўшимча ишлов берилмайди. Улар бирмунча ғовак структурали бўлади, шу сабабли мой яхши шимилади.

Очиқ ҳавода ишлатиладиган картонлар эни 1050 мм гача ва қалинлиги 0,1 дан 3,0 мм гача бўлган листлар ва рулонлар ҳолида чиқарилади. Бу картонларнинг зичлиги 950—1250 кг/м³; чўзилишдаги мустаҳкамлик чегараси (8,5—13)·10⁵ Н/м², электр мустаҳкамлиги қалинлигига қараб 8 дан 13 кВ/м гача бўлади. Ҳавода ишлатиладиган картонлар паст кучланишли электр машиналарида паз изоляцияси ва ўрамлар орасини изоляциялаш учун ишлатилади.

Мойда ишлатиш учун мўлжалланган картонлар қалинлиги 0,5 дан 3 мм гача чиқарилади, уларнинг зичлиги 900—1200 кг/м³, чўзилишдаги мустаҳкамлик чегараси (4—6)·10⁵ Н/м² (кўндаланг йўналишда), шимдирилган ҳолдаги электр мустаҳкамлиги 38—60 МВ/м.

Фибра таркибида пахта толаси ва ёғоч целлюлозаси (50% дан) бўлган елимланган қоғоздан тайёрланади. Қоғоз рух хлориднинг қиздирилган (50° С гача) эритмаси бор ваннадан ўтказилади, сўнгра муайян қалинликкача пўлат барабанга ўралади. Қоғозга рух хлорид эритмаси билан ишлов берилганда унинг сиртида ёпишқоқ модда ҳосил бўлади. Барабанга ўралаётганда қоғоз листлари бир-бирига елимланиб ёпишади ва зич материал—фибра ҳосил қилади, у листларга қирқилади ва прессланади. Реакцияга киришмай қолган рух хлоридни йўқотиш учун фибра буюмлар (листлар, стерженлар) концентрацияси аста-секин камайиб борадиган рух хлорид эритмалари бор катта идишлардан (чаналардан) ўтказилади. Охирида фибра сув билан ювиб рух хлориддан тозаланади.

Фибранинг зичлиги 1150 кг/м³. Унинг чўзилишдаги мустаҳкамлик чегараси анча юқори бўлади: бўйлама йўналишда $\delta_{\text{ч}}=(500—700) \cdot 10^5$ Н/м² га, кўндаланг йўналишда (300—450)·10 Н/м² га тенг.

Фибрадан қалинлиги 0,6 дан 20 мм гача ва ундан ҳам қалин листлар, шунингдек, стержень ва трубкалар тайёрланади. Фибрага механикавий ишлов бериш осон: у араланади, пармаланади, рандаланади ва резьба ўйилади. Лист ҳолидаги фибра штампланади, сув билан юмшатиладиганда эса ундан мураккаб шаклли буюмлар қолиплаш мумкин. Фибранинг камчилиги унинг гигроскоплиги ва нам муҳитда бўлишидир. Қуригандан кейин фибра киришади, бу эса ундан аниқ деталлар тайёрлашни қийинлаштиради. Унинг электрик характеристикалари юқори эмас: $\rho_{\nu} = 10^6—10^7$ Ом·м; $E_{\text{м}} = 3,5—5,0$ МВ/м.

Электротехникада ФЭ маркали фибра (электротехникавий фибра) паст кучланишда ишлайдиган электр ускуналарда электр изоляцион материал сифатида, масалан, намсиз шароитда ишлатишга мўлжалланган электр машиналарда паз поналари ва қистирмалар сифатида ишлатилади. Фибра юқори кучланишли разрядниклар тайёрлаш учун ишлатилади, уларда фибрали цилиндр деворлари электр ёйи таъсирида шиддатли равишда газлар ажратиб чиқаради. Найсимон разрядник ичида газ босими ортиши натижасида ёйнинг ёниши тўхтайдди.

2.14. Лакли тўқималар, лента ва лакланган найлар

Лакли тўқималар эгилувчан рулон материаллар бўлиб, электр изоляцион лак шимдирилган бирор тўқимадан таркиб топади. Тўқимали асос сифатида ип газлама, ипак газлама, капрон ва шиша (шиша толадан) газламалар ишлатилади. Тўқимали асосга шимдирилган лак қотганидан кейин лакли газламада эластик парда ҳосил қилади, у материалнинг электр изоляцион хоссаларини оширади, тўқимали асос эса лакли тўқимага механикавий мустаҳкамлик беради. Лакли тўқималар паст кучланишли электр машиналарда, шунингдек, трансформаторларда паз изоляцияси ва ўрамлараро изоляция сифатида кенг қўламда ишлатилади. Бундан ташқари, лакли тўқималар электр аппаратлар ва асбобларда ғалтакларни ҳамда симларнинг айрим группаларини изоляциялаш учун ҳам

ишлатилади. Кўпчилик ҳолларда лакли тўқималар асосига нисбатан 45° ли бурчак остида қирқилган ленталар ҳолида фойдаланилади. Бундай лакли тўқима ленталари энг яхши эластикликни таъминлайди, бу эса чулғамларнинг олд қисмларини ва профилк шакли бўлган тутаשמаларни изоляциялашга имкон беради.

Қандай тўқимали асос ишлатилганига қараб лакли тўқималар ип газламали, ипакли, капронли ва шишали (шиша тўқимали) хилларга бўлинади.

Ип газламали лакли тўқималарнинг асоси сифатида юпқа пишиқ газламалар (перкаль ва бошқалар) ишлатилади. Ипакли лакли тўқималарнинг асоси эса табиий пақдан тўқилган юпқа (0,04—0,08 мм) газламалар бўлади. Механикавий мустаҳкамлиги юқори бўлган эластик лакли тўқималарнинг баъзи хиллари учун капрон тўқималар ишлатилади. Қиздиришга жуда чидамли лакли тўқималар учун электр изоляцион шишалардан (ишқорсиз) тайёрланган шиша тўқималар ишлатилади. Қиздиришга чидамли шиша тўқималарга кремний-органик лаклар шимдирилади, уларнинг пардалари 180°С гача бўлган температураларда ишлаши мумкин.

Ипак ва капрон тўқималарга очик рангли мойли лаклар шимдирилади. Ип газламаларга очик рангли мойли ёки қора мой-битумли лаклар шимдирилади, улар лакли тўқиманинг нам таъсирга ниҳоятда чидамли бўлишини таъминлайди.

Мойли лак шимдирилган ип газламали ипакли, капронли ва шишали лакли тўқималар қиздиришга чидамлилиги жиҳатидан А классига киради, яъни уларни 105°С дан ошмайдиган температураларда ишлатиш мумкин. Кремний-органик лаклар шимдирилган шишали лакли тўқималар қиздиришга чидамлилиги жиҳатидан Н классига (180°С) киради ва нам таъсирга ҳамда моғор замбуруғлари таъсирга жуда чидамли бўлади.

Кремний-органик таркиблар шимдирилган шиша лакли тўқималар қиздиришга чидамли ва тропик иқлимда ишлатишга мўлжалланган электр машина ва аппаратларда ишлатилади.

Лак шимдиришдан олдин толали тўқима-асослар (шиша тўқималардан бошқа) дазмолланади. Бунинг учун тўқима қиздирилган пўлат валиклар (каландрлар) орасидан ўтказилади, бунда тўқларнинг ҳаммаси тўқима сиртига ёпишиб қолади. Шундан кейин кўп қаватли шимдириш машинасида тўқимага электр изоляцион лак шимдирилади. Шимдириш машинасидан тайёр лакли тўқима эни 700 дан 1000 мм гача бўлган рулонлар ҳолида олинади. Шиша тўқималар эни 200 дан 700 мм гача килиб чиқарилади.

7-жадвалда баъзи электр изоляцион лакли тўқималарнинг асосий характеристикалари келтирилган.

Барча толали материаллар сингари лакли тўқималарнинг чўзилишдаги мустаҳкамлик чегараси асос йўналишида, яъни полотно бўйлаб энг катта, тарқоқ йўналишига, яъни тўқима полотносининг кўндалангига энг кичик бўлади. Ип газлама лакли тўқималарнинг сув сингдирувчанлиги 4,5—7,0%, ипаклилариники 3,5—6,0%, шиша толалилариники 1—2,0%.

Ёпишқоқ электр изоляцион ленталар ип газлама ёки шиша (шиша толали) ленталар асосида, шунингдек, поливинилхлорид пластикат ленталари асосида тайёрланади.

Резина қўшилган ип газлама лента қовушоқ резина таркиб шимдирилган миткаль лентадан иборат.

Резинали изоляцион лента диаметри 175 + 25 мм, эни 10, 15, 40 ва 50 мм ли чамбараклар ҳолида чиқарилади. Резинали изоляцион лента чамбаракларини + 5°С дан паст ва +25°С дан юқори бўлмаган температурада сақлаш керак, акс ҳолда лента ёпишқоқлигини тезда йўқотади. Лента 70°С га қадар қиздирилганда ҳам (бир сутка давомнда) ёпишқоқлигини сақлаб қолиши керак. Резинали ёпишқоқ; лента монтаж ишларида паст кучланишли тармоқ ва қурилмааларда симларнинг туташган жойларини изоляциялаш учун ишлатилади.

Паст кучланишли қурилмааларда ёпишқоқ поливинилхлорид лента анча кўп ишлатилади. Бу лента диаметри 80±10 мм, эни 15, 20, 25 ва 50 мм ли чамбараклар ҳолида чиқарилади. Лентанинг қалинлиги 0,2—0,45 мм. Уни 60—65°С температурага қадар ишлатиш мумкин, бундан юқори температураларда у юмшай бошлайди.

Қиздиришга чидамли ёпишқоқ шиша лента қиздиришга чидамли кремний-органик лак шимдирилган шиша лентадан (ишқорсиз шишадан) тайёрланади. У диаметри 150 ± 25 мм, эни 10, 15, 20 ва 25 мм ҳамда қалинлиги 0,12—0,15 мм ли чамбараклар ҳолида чиқарилади. Бу лента иш температуралари юқори (180°C гача) бўлган электр машина ва аппаратлар чулғамларининг олд қисмларини изоляциялаш учун ишлатилади. Қалинлиги 0,12 мм ли шиша лептани тешиб ўтувчи кучланиш 600—700 В га, қалинлиги 0,15 мм ли лента учун эса 750—850 В га тенг.

Лакланган ип газлама (линоксин) найлар калава ипдан тўқилиб, мойли лак шимдирилган най (пайпоқ)дан иборат. Уларнинг ички диаметри 0,5 дан 16 мм гача, деворининг қалинлиги 0,4 дан 0,9 мм гача бўлади. Найларнинг узунлиги камида 1000 мм бўлади. Найларни тешиб ўтувчи кучланиш 5 кВ.

Линоксин найлар —50 дан +105°C гача бўлган температуралар оралиғида ишлаши мумкин. Улар электр аппаратларда, шунингдек, трансформаторларда (қуруқ ва мойли изоляцияли) туташиш жойларини ва чиқик учларини изоляциялаш учун ишлатилади.

Лакланган лавсан найлар — полиэфир лаклар шимдирилган лавсан ипақдан тўқилган найлар (пайпоқлар)дир. Найларнинг ички диаметри 0,5 дан 10 мм гача ва деворининг қалинлиги 0,4 дан 0,8 мм гача бўлади.

Лакланган лавсан найлар линоксин найларга нисбатан механикавий мустаҳкамлиги ва едирилишга қаршилиги анча катталиги билан фарқ қилади. Лавсан найларнинг бир группасидан —50 дан + 105°C гача температуралар оралиғида (ТПЛ маркаси), бошқасидан (ТЭЛ маркаси) —50 дан +130°C гача температуралар оралиғида фойдаланиш мумкин. Найлар 1000 дан 10000 мм гача узунликда чиқарилади. Лавсан найларининг электрик характеристикалари линоксин найларники каби бўлади: $\rho_v = 10^6—10^7$ Ом·м; $E_M = 4—10$ МВ/м.

Лакланган шиша толали найлар шиша толалардан тайёрланиб, мойли, эпоксид ёки қиздиришга чидамли кремний-органик лак шимдирилган най (пайпоқ) лардан иборат. Шиша толали лакланган найларнинг ички диаметри 0,5 дан 10 мм гача ва деворининг қалинлиги 0,4— 0,6 мм бўлади. Шиша толали лакланган найлар линоксин ва лавсан найларга нисбатан эластиклиги камроқ, лекин нам таъсирига жуда чидамли бўлади ва иш температураси —50 дан +180°C гача бўлган электр машина ва аппаратларда (ТКС маркаси) ишлатилади, найларнинг ТЛС маркаси —50 дан 105°C гача, ТЭС маркаси эса —50 дан +130°C гача бўлган температурада ишлатилиши мумкин. Шиша толали найларнинг ишлатилиш соҳалари линоксин ва лавсан найларники кабидир. Электр изоляцион найларнинг кўриб чиқилган барча турлари етарли даражада эгилувчан бўлади.

2.15. Пластмассалар

Пластик массалар (пластмассалар) қиздириш ва босим таъсирида юмшаб, пластик оқиш хусусиятига эга бўлиб қоладиган прессланадиган кукунлардан олинадиган буюмлардир. Шу туфайли қуйиш ёки пресшлаш йўли билан турли шаклдаги пластмасса буюмлар (электр ўлчаш асбоблари, электр аппаратларнинг корпуси ва асоси, кнопкалар, ручкалар, копоқлар ва бошқалар) олиш мумкин.

Пластмассалар одатда кўп компонентли материаллар бўлиб, боғловчи модда, тўлдиргичлар, пластификаторлар, стабилизаторлар, мойловчи моддалар, қотиргичлар, бўёқлар, ғовак ҳосил қилувчилар ва бошқа моддалардан таркиб топади.

Боғловчи моддалар — синтетик смолалар (резоль, эпоксид, кремний-органик ва бошқа смолалар). Улар тўлдиргичларга ва пластмассаларнинг бошқа компонентларига шимилиб, уларга пастиклик хусусиятини беради ва пластмасса буюмларнинг бир бутунлигини таъминлайди.

Боғловчилар термопластик ёки терморектив моддалар бўлиши мумкин. Термопластик боғловчи (поливинилхлорид ва бошқалар) ишлатилганда пластмасса буюмлар ҳам термопластик бўлади, яъни муайян температурага қадар қиздирилганда юмшай бошлайди,

Термореактив боғловчилар (резоль, кремний-органик ва бошқа смолалар) буюмларга термореактивлик хусусиятини бахш этади — буюмлар қиздирилганда юмшамайди.

Тўлдиргичлар — кукунсимон ёки толали моддалар бўлиб, тайёрланадиган пластмасса буюмларнинг механикавий мустаҳкамлигини оширишга ва ҳажмий қисқаришини камайтиришга имкон беради. Толали тўлдиргич замбуруғлари ва намлик таъсирига барқарорлиги билан ажралиб туради.

Соф полимерларга (полиэтилен, поливинилхлорид ва бошқаларга) нисбатан улар асосида олинган пластмассаларнинг электр изоляцион хоссалари бирмунча паст бўлади. Бунга сабаб пластмассаларнинг механикавий мустаҳкамлигини ва қиздиришга чидамлилигини ошириш мақсадида полимерларга бўёқлар, тўлдиргичлар ва бошқа моддаларнинг қўшилганлигидир. Пластмассаларнинг электрик характеристикалари куйидагича:

$$\rho_v = 10^8 — 10^{13} \text{ Ом}\cdot\text{м}; \varepsilon = 5 — 8; \text{tg}\delta = 0,002 — 0,08 \quad E_m = 5 — 25 \text{ МВ/м}.$$

Кремний-органик боғловчилар асосида олинган пластмассаларнинг характеристикалари энг яхши бўлади.

2.16. Қатламли пластмассалар

Қатламли пластмассалар қатлам-қатлам структурали материаллардир. Бу пластмассаларда лист ҳолидаги тўлдиргич (қоғоз, ип газлама ёки шиша тўқима) ва боғловчи модда қатламлари галма-галдан жойлашган бўлади. Улардан гетинакс, текстолит ва шиша текстолит энг кўп ишлатилади.

Гетинакс қатламли лист материал, унда қалинлиги 0,10—0,12 мм ли шимдирилган қоғоз листлари тўлдиргич вазифасини ўтайди. Гетинакс ишлаб чиқариш процесси қоғозга бакелитли лаклар шимдириш ва кейин уни муайян ўлчамдаги листлар ҳолида кесишдан иборат. Лак шимдирилган қоғоз листлари қуритилгандан кейин прессланадиган буюм қалинлигига мос келадиган массада пакетларга йиғилади. Йиғилган пакетлар гидравлик прессларнинг қиздирилган (160°C гача) пўлат плиталари орасида прессланади. Қайноқ ҳолда прессланганда суюқланган смола лак шимдирилган қоғоз листларини елимлаб ёпиштиради ва суюқланмайдиган ҳолатга ўтади. Пресслаш босими 5—9 МПа* босим остида тутиб туриш вақти прессланадиган лист қалинлигининг ҳар 1 мм га 2 дан 5 минутгача бўлади. Пресслаш процесси тугагандан кейин олинган тахта ва листлар совитилади. Прессдан олингандан кейин гетинакс листлари ва тахталарининг четлари арралаб текисланади. Листларнинг юзаси 550x700 да 930x1430 мм² гача бўлади.

Гетинакс қалинлиги 0,2 дан 50 мм гача бўлган лист ва тахталар ҳолида тайёрланади; унинг I, II, III, IV, V маркалари саноат частотаси учун мўлжалланган (50 Гц) электр ускуналарда ишлатиш учун, VI, VII ва VIII маркалари эса юқори частотада ишлатиш учун мўлжалланган.

V-1 ва У-2 маркали гетинакс электр мустаҳкамлиги юқори эканлиги билан ажралиб туради, III ва IV маркали гетинакснинг намлик таъсирига чидамлилиги юқори, I ва II маркали гетинакснинг эса механикавий мустаҳкамлиги катта бўлади.

Гетинаксдан турли хил электр изоляцион ясси деталлар ва асослар тайёрлашда фойдаланилади. Шунинг хисобга олиш керакки, гетинакснинг электр ёй таъсирига чидамлилиги юқори эмас ва бир неча учкун разряддан кейин унинг сиртида ўтказувчанлиги катта бўлган углеродланган из қолади. Гетинаксга механикавий ишлов бериш осон — у киркилади, арралади, пармаланади, унинг ингичка толали турларинилари эса иситилган ҳолатда яхши штампланади. Гетинаксни 105°C дан юқори бўлмаган температураларда ишлатиш мумкин (қиздиришга чидамlilik классификацияси А).

Текстолит гетинаксдан таркибида тўлдиргич сифатида ип газлама бўлиши билан фарқ қилади. Текстолит ишлаб чиқариш гетинакс ишлаб чиқаришдан унча фарқ қилмайди. Текстолитнинг А, Б ва Г маркалари бўз ҳамда миткаль асосида, ВЧ маркаси (юқори частоталар учун) — шифон асосида тайёрланади.

Текстолитнинг электрик характеристикалари гетинаксиникига нисбатан бирмунча пастроқ, лекин текстолитнинг ёрилишга (қатламлари бўйлаб) қаршилиги ва зарбий қовушқлиги (20—30 кЖ/м² га етади) катта бўлади. Текстолитга механикавий ишлов бериш осон, лекин гетинаксдан анча қиммат туради. Текстолит қалинлиги 0,5 дан 50 мм гача ва юзаси 450Х600 дан 750Х1000 мм гача бўлган листлар ҳолида чиқарилади. Унинг қиздиришга чидамлилиги 105°С дан юқори эмас (класс А). Текстолитнинг ҳам, гетинакс сингари, электр ёй таъсирига чидамлилиги кам, чунки ундаги боғловчи модда бакелит смола электр учкунлар таъсирида осонгина углеродга айланади.

Шишатеколит текстолитдан таркибида тўлдиргич сифатида ишқорсиз электр изоляцион шиша тўқима борлиги билан фарқ қилади. Унинг намлик таъсирига ва қиздиришга чидамлилиги юқори ва электрик ҳамда механикавий характеристикалари текстолит ва гетинаксиникига нисбатан яхши бўлади, лекин унга ишлов бериш қийин. Шишатеколитнинг бир неча маркалари тайёрланади: СТ, СТБ — фенолформальдегид смола боғловчи қўшилган ишқорсиз тўқималар асосида, СТЭФ ва СТЭФ-1 эпоксид ва кремний-органик смолалар аралашмасини қўшиб, СТҚ ва СТК-41У — кремний-органик боғловчи қўшиб тайёрланади. Қатламли пластмассаларнинг асосий характеристикалари 8-жадвалда келтирилган.

Юқорида баён қилинган листлар ва тахталар ҳолида тайёрланадиган қатламли пластмассалардан ташқари, цилиндрлар, найлар, прессланган стерженлар ва турли шаклдаги деталлар ҳолида қатламли ўралган электр изоляцион буюмлар ҳам тайёрланади. Бу буюмлар учун бир томони елимловчи лак билан қопланган қоғоз, шунингдек, лакланган ип газлама ва шиша тўқималар ҳам ишлатилади.

Цилиндрлар ва найлар кўринишидаги ўрама буюмлар лакланган қоғоз ёки тўқимани диаметри тайёрланадиган буюмнинг ички диаметрига мос келадиган пўлат гардишга ўраш йўли билан тайёрланади. Гардиш қаздириладиган иккита валик устига жойлаштирилади ва тепасидан қиздирилган учинчи валик билан сиқиб қўйилади. Қоғоз ёқн тўқиманинг лак қатламидаги смола қиздирилган пўлаг гардишда суюқланади ва листларни бир-бирига ёпиштиради. Буюмларнинг қалинлиги автоматик мосламалар билан назорат қилиб турилади.

Тўлдиргич сифатида қоғоз ишлатилган цилиндр ва найлар бакелитланган қоғоз буюмлар дейилади. Улар диаметри 10 дан 1200 мм гача, деворининг қалинлиги 1,5 дан 8,0 мм ва ундан қалин қилиб чиқарилади. Ўралгандан кейин бу буюмларга боғловчининг таркибига қараб 130—200°С температурада ишлов берилади (пиширилади). Ўраш пайтидаги босим лист материалларни (гетинакс ва бошқалар) пресшлашдаги босимдан кам бўлганлиги сабабли цилиндр ва найларнинг зичлиги кичикроқ бўлади. Пиширилган цилиндр ва найлар гардишдан ажратилади ва учлари қирқилади. Қирқилган жойлари лакланади ва буюм қайтадан пиширилади.

7-жадвал

Қатламли пластмассаларнинг асосий характеристикалари

Характеристикалар	Паст частота учун мўлжалланган гетинакс I, II, III ва V	Паст частота учун мўлжалланган гетинакс А, Б, Г	Бағловчи смола асосида олинган шиша текстолитлар		
			Фенол формальдегидли	Кремний – органик	Эпоксид ва кремний - органик
Зичлиги, кг/м ³	1350-1450	1300-1400	1600-1700	1700-1800	1800-1900
Эгилишдаги мустаҳкамлик чегараси, Н/м ²	(800-1200) · 10 ⁵	(700-1000) · 10 ⁵	(950-1200) · 10 ⁵	(1500-1700) · 10 ⁵	(2000-4200) · 10 ⁵
Чўзилишдаги	(600-	(350-600)	(700-900)	(900-	(1750-

мустаҳкамлик чегараси, Н/м ²	1300)·10 ⁵	·10 ⁵	·10 ⁵	1290) ·10 ⁵	2500) ·10 ⁵
Зарбий қовушоқлиги, кЖ/м ²	15-22	20-30	35-52	20-50	140-250
Иссиққа бардошлиги (Мартенс бўйича), °С	150-160	135-160	180-220	200-220	185-200
Солишгирма ҳажмий қаршилиги, Ом·м	10 ⁸ -10 ¹¹	10 ⁷ -10 ⁹	10 ⁹ -10 ¹⁰	10 ¹¹ -10 ¹²	10 ¹¹ -10 ¹²
Диэлектрик сингдирувчанлиги	6-8	6-7	5-7	5-6	6-7
Диэлектрик исрофлар бурчак тангенси (50 Гцда)	0,05-0,08	0,08-0,18	0,05-0,09	0,006-0,012	0,008-0,014

Бакелитланган цилиндр ва найлар асосан трансформаторлар ва электр аппаратларнинг ички изоляцияси учун ишлатилади. Ўралган буюмларнинг механикавий ва электрик характеристикалари прессланган пластмассаларнингкига; гетинакс, текстолит ва шиша текстолитларнингкига қараганда бирмунча паст бўлади.

2.17. Слюдали материаллар

Слюда — ўзига хос қатлам-қатлам тузилиши табиий минерал бўлиб, унинг кристалларини қалинлиги 0,006 мм гача бўлган юпқа листларга ажратиш мумкин. Слюданинг юпқа листлари эгилувчан, эластик ва чўзилишдаги мустаҳкамлик чегараси юқори $\sigma_c = (15—35) \cdot 10^5$ Н/м² бўлади. Электр машиналарнинг чулғамлари учун қаттиқ (миканитлар) ёки эгилувчан (микалентлар) слюдали изоляция слюда листларини бири-бирига елимловчи смолалар ёки лаклар (шеллакли, мой-битумли ва бошқа лаклар) билан елимлаб олинади.

Табиий слюдаларнинг анчагина катта группасидан электр изоляцион материаллар сифатида фақат мусковит ва флогопит ишлатилади, чунки улар қатламларга осон ажралади ва электрик характеристикалари яхшидир.

Мусковит—калийли слюда ($K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$). Мусковит кристалларининг ранги кумушсимон, баъзан яшилсимон ёки қизғиш товланади. Бу слюданинг юпқа листлари (0,05—0,06 мм) тиниқ бўлади. Мусковит химявий жиҳатдан барқарор бўлиб, унга эритувчилардан ҳеч бири ва ишқорлар таъсир этмайди. Сульфат ва хлорид кислоталар мусковитни фақат қиздирилгандагина парчалайди.

Мусковитинг асосий характеристикалари: зичлиги 2700—3000 кг/м³, сув сингдирувчанлиги 1,3—4,5%; $\rho = 10^{12}—10^{14}$ Ом·м; $\epsilon = 6—8$; $tg\delta = 0,0003—0,0005$; $E_m = 120—190$ МВ/м (листларнинг қалинлиги 0,1 мм бўлганда). Қалинлиги ортиши билан слюданинг электр мустаҳкамлиги камаяди.

Мусковит ўз хоссаларини 500°С температурагача ўзгартирмайди. Бу температурадан ошганида слюдадан химявий боғланган сув ажралиб чиқа бошлайди. Бунинг натижасида слюда листлари шишади, яъни қалинлиги ортади. Бунда электрик ва бошқа характеристикалар кескин ёмонлашади. Мусковитнинг суюқланиш температураси 1260—1300°С га тенг.

Флогопит— калийли-магнезиал слюда ($K_2O \cdot 6MgO \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$). Флогопит кристалларининг ранги қорадан қаҳрабо ранггача бўлади. Флогопит слюданинг юпқа

(0,006—0,01 мм) листлари ярим тиниқ бўлади. Мусковит слюдага нисбатан уларнинг чўзилишга мустаҳкамлик чегараси кичикроқ ва эгилувчанлиги камроқ бўлади. Едирилишга қаршилиги нисбатан кичик бўлганлиги туфайли флогопит елимланган лист материаллар— коллектор миканитлари ишлаб чиқаришда ишлатилади. Улардан электр машиналарнинг коллекторларида мис пластинкаларни изоляциялашда ишлатиладиган кистирмалар шгампланади. Иш пайтида флогопитдан тайёрланган изоляцион кистирмалар чўткаларнинг ёдириш таъсирида бўлади ва мис пластинкалар билан бир хил даража емирилади. Бу ҳол коллекторнинг нормал ишлашини таъминлайди.

Флогопитнинг химиявий барқарорлиги мусковитникига нисбатан камроқ. У кислоталар билан реакцияга киришади, лекин ишқорлар флогопитга таъсир этмайди.

Флогопитнинг асосий характеристикалари: зичлиги 2700—2800 кг/м³; сув синдирувчанлиги 1,5—5,2%; $\rho=10^{11}$ — 10^{13} Ом·м; $\epsilon=5$ —7; $\text{tg}\delta=0,002$ —0,008; $E_m=96$ —180 МВ/м (листларининг қалинлиги 0,01 мм бўлганда).

Флогопит 800°C температурагача ўз характеристикаларини ўзгартирмайди. Бу температурадан ошгандан кейин флогопит листлари шиша бошлайди ва уларнинг дастлабки электр ҳамда механикавий хоссалари йўқолади. Флогопит слюданинг айрим турлари таркибидаги сув миқдори ортиши билан (гидратланган флогопит) 200—250°C температурадан бошлаб хоссалари кескин ёмонлаша бошлайди. Флогопит слюданинг суюклиниш температураси 1270—1330°C га тенг.

Шуни таъкидлаб ўтиш керакки, слюданинг барча турлари намликни асосан, слюда листларининг жипслашиш текислиги бўйича ютади. Слюданинг сув синдирувчанлиги 1,3—5,5% ни ташкил этади. Слюда ер қатламида бошқа минераллар (пегматит, кварц ва бошқалар) билан бирга бўлади. Қазиб олинган слюда кристаллари тозаланади, сўнгра пластинкаларга ажратилади, улар сараланган слюда дейилади. Сараланган слюда пластиналарини майдалаб, слюда тилмалари олинади. Бўлар қалинлиги 10—45 мкм, шакли сараланган слюдага мос келадиган листлардир. Слюда тилмалари сараланган мусковит ва флогопит слюдаларни парчалаш усули билан олинади. Бу усул билан қалинлиги бир хил бўлган листлар олиш мумкин. Лист контурига чўзиш мумкин бўлган тўғри тўртбурчакнинг юзига қараб слюда тилмалари тўққиз хил ўлчамда бўлади (9-жадвал).

Слюда тилмалари турбогенераторлар, гидрогенераторлар, тортувчи электр двигателлар ва бошқа электр машиналарда изоляциянинг муҳим турларини (паз изо-ляцияси ва бошқалар) тайёрлаш учун ишлатилади.

8-жа д в а л

Слюда тилмаларининг турлариниamenti

	Слюда япроқларининг номери								
	50	40	30	20	15	10	6	4	0,5
Тўғри тўртбурчакнинг юзаси см ²	50-60	40-50	30-40	20-30	15-20	10-15	6-10	4-6	0,5-4

Слюда япроқлари листларининг юзаси кичик бўлганлиги сабабли улар слимланган слюдали материаллар — миканитлар ва микалента ҳолида ишлатилади.

Мутлақо тиниқ листларга осон ажраладиган синтетик слюда — фторфлогопит олинган. Табиий слюдаларга нисбатан фторфлогопитнинг қиздиришга чидамлилиги юқори (1000сС гача) ва злектрик характеристикалари анча яхши бўлади. Масалан, табиий слюдага караганда синтетик слюданинг солишгирма ҳажмий қаршилиги 15—20 марта, электр мустаҳкамлиги 1,5 марта юқори, диэлектрик исрофларнинг бурчак тангенеси эса 2 марта

кичик бўлади. Фторфлогопит асосан электрон лампаларнинг ички изоляциясида ва махсус электр машиналарнинг қиздиришга чидамли изоляциясида ишлатилади.

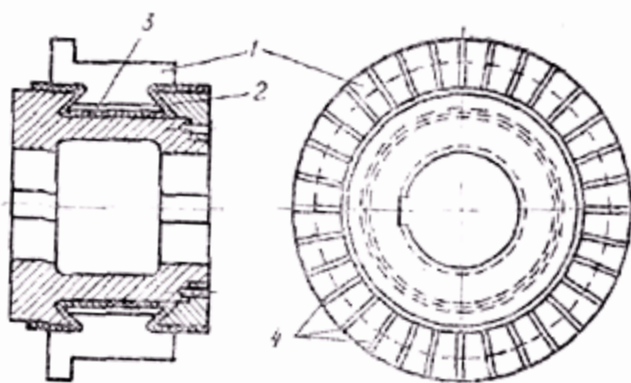
Миканитлар — тилимланган слюда листларини смолалар (шеллакли, глифталли ва бошқа смолалар) ёки шу смолалар асосида олинган лаклар ёрдамида елимлаш йўли билан олинадиган қаттиқ ёки эгиловчан лист материаллардир. Уларни олиш учун тилимланган табиий слюда листлари столга бир қатлам қилиб ёйилади, елимловчи лак пурқаб, иккинчи қатлам қўйилади ва яна лак пурқалади; зарур қалинликдаги лист олингунга қадар бу иш тақорланаверади.

Ҳозирги пайтда миканитларнинг лист заготовкalarини ишлаб чиқариш процесси механизациялаштирилган. Барча миканитлар тегишли маркалар билан белгиланади, бу маркалар иккита ёки учта ҳарфдан, баъзан эса рақамлардан иборат бўлади. Марка белгисидаги биринчи ҳарф миканитнинг типини (Қ — коллектор миканити, П — кистирма миканити, Ф — қолипланадиган, Г — эластик миканит), иккинчи ҳарф ишлатилган слюда турини кўрсатади (М — мусковит, Ф — флогопит, С — мусковит билан флогопит аралашмаси); миканитлар маркази белгисининг учинчи ҳарфи боғловчининг турини кўрсатади (Г — глифталли смола, Ш — шеллакли смола, Қ — кремний-органик смола, П — полиэфир смола). Марка охиридаги А ҳарфи миканит таркибида боғловчи микдорининг қалинлигини кўрсатади. Масалан, ПМГА маркази кистирма миканити бўлиб, бу мусковит слюда асосида глифталли смола билан тайёрланган, таркибида боғловчининг микдори кам (5—12 %) эканлигини кўрсатади. Мусковит слюда асосида тайёрланган ПМГ маркази яна бир кистирма миканити таркибида 15—20% боғловчи (глифталли смола) бўлади. Коллектор миканити флогопит слюданинг тилимланган листларини шеллакли ёки глифталли смолалар билан елимлаб ёпиштириш ва 155°C температурада $(180—260) \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ босимда қайноқ ҳолда икки марта пресслаш йўли билан тайёрланган қаттиқ лист материалдир. Коллектор миканитининг прессланган листлари силлиқланади, шунда листлар қалинлигидаги фарқ $\pm 0,06$ мм дан ошмайди. Шундан кейин миканит листларига лак қолинади ва материал электр машина коллекторларининг ишончли ишлашини таъминлайдиган бўлиши учун қайтадан пресланади. Слюда листлари бир-бирига нисбатан сурилиб кетмасин учун коллектор миканитларига қўпи билап 4—6% боғловчи моддалар қўшилади. Коллектор миканити қалинлиги 0,4—1,5 мм ва юзаси камида 215Х465 мм ли листлар ҳолида чиқарилади.

Коллектор миканитининг электрик характеристикалари:

$$\rho_v = 10^{11}—10^{13} \quad \text{Ом} \cdot \text{м};$$

$$\text{tg} \delta = 0,008—0,03; \quad E_M = 18—25 \quad \text{МВ/м}.$$



20-расм. Электр машина коллекторида миканитлардан ясалган буюмлар:

- 1-мис коллектор пластиналари, 2-қолипланадиган миканитдан ясалган манжет, 3-қолипланадиган миканитдан ясалган цилиндр, 4-коллектор миканитидан ясалган кистирмалар

Коллектор миканити листларидан штамplash йўли билан изоляцион кистирмалар (20-расм) олинади, улар электр машина коллекторларида мис пластиналарни бир-бирдан изоляциялаш учун ишлатилади.

Кистирма (прекладиа) миканити мусковит, флогопит слюданинг тилимланган листларини ёки улар аралашмасини елимлаб ёпиштириш ва сўнгра пресслаш йўли билан

тайёрланган қаттиқ лист материалдир. Боғловчи моддалар сифатида шеллакли, глифталли

ёки кремний-органик смола ишлатилади. Қистирма миканитларида 1 слюда 80—95% ии, боғловчининг миқдори эса тегишлича 20—5% ни ташкил этади.

Қистирма миканити 150°C температура ва $(30—60) \cdot 10^5$ Н/м² босимда бир марта пресслаш йўли билан тайёрланади. Миканит қалинлиги 0,15—5,0 мм ва юзаси камида 550x650 мм ли қилиб чиқарилади.

Қистирма миканитининг электрик характеристикалари:

$$\rho_v = 10^{11}—10^{12} \text{ Ом} \cdot \text{м}; \text{tg}\delta = 0,02—0,05; E_m = 15—25 \text{ МВ/м.}$$

Қистирма миканитидан электр машина ва аппаратлари учун турли хил электр изоляцион қистирмалар тайёрланади.

Қолипланадиган миканит тилимланган мусковит, флогопит слюда листларини ёки уларнинг аралашмасини глифтал, шеллакли ёки кремний-органик смола билан елимлаб ёпиштириш орқали олинадиган лист материал. Қолипланадиган миканит лари $(5—10) \cdot 10^5$ Н/м² босим ва 155°C температурада бир марта прессланади. Қолипланадиган миканит коллектор ва қистирма миканитларига нисбатан анча юмшоқ структурали бўлади. Бу қолипланадиган миканитдан мураккаб шакли электр изоляцион буюмлар (18-расмга қаранг) тайёрлаш (қайноқ ҳолда пресслаш йўли билан) учун зарур. Қолипланадиган миканит таркибида 80—95% слюда, 20—5% боғловчи модда бўлади.

Хона температураси қаттиқ ҳолда бўладиган қолипланадиган миканитнинг қиздирилган ҳолатда қолипланиш ва берилган шаклни сақлаб қолиш хусусияти бор. Қолипланадиган миканит қалинлиги 0,1 дан 2,0 мм гача, ундан ҳам кўп ҳамда юзаси камида 500x650 мм ли қилиб чиқарилади.

Қолипланадиган миканитнинг электрик характеристикалари:

$$\rho_v = 10^{11}—10^{12} \text{ Ом} \cdot \text{м}; \text{tg}\delta = 0,05—0,09; E_m = 22—30 \text{ МВ/м.}$$

Электрик характеристикаларнинг анча юқори қийматлари мусковит слюдадан қалинлиги 0,15—0,25 мм қилиб тайёрланган миканитларга тегишлидир.

Эгилувчан миканит — тилимланган слюда (мусковит ёки флогопит) листларини эгилувчан пардалар ҳосил қиладиган мой-глифталли лаклар ёрдамида ёпиштириш йўли билан олинадиган лист материал. Эгилувчан миканитлар прессланган ёки прессланмаган ҳолда чиқарилади.

Механикавий мустаҳкамлигини ошириш учун эгилувчан миканитнинг баъзи турларига иккала томонидан микалента қоғоз ёпиштирилади. Миканит листларининг қалинлиги 0,15 дан 0,5 мм гача бўлади.

Қоғоз ёпиштирилмаган эгилувчан миканитларда слюда 75—90% ни ташкил этади, қолгани боғловчидан иборат бўлади; қоғоз ёпиштирилган миканитларда слюда 50—65% ни, боғловчи 25—10% ни ташкил этади, қолгани қоғоз бўлади.

Эгилувчан миканитлар электр машиналарда газ изоляцияси ўрамлараро изоляция ва бандаж ости изоляцияси сифатида, шунингдек, турли хил эгилувчан электр изоляцион қистирмалар сифатида ишлатилади. Эгилувчан миканитларнинг эгилиш хусусияти (20°C да) уни тайёрловчи заводдан жўнатилгандан кейин 60 кун давомида сақланиб қолиши керак.

Эгилувчан шиша миканит эгилувчан миканитдан бир ёки иккала томонига ишқорсиз шиша тўқима ёпиштирилганлиги билан фарқ қилади; бу тўқима материалнинг механикакавий мустаҳкамлигини ва эгилувчанлигини оширади. Қиздиришга чидамли эгилувчан шиша миканитни (Н класс) кремний-органик боғловчи қўшиб тайёрланади. Қолган шиша миканитлар мой-глифталли ёки эпоксидполиэфирли лаклар билан елимланади. Шиша миканитларда флогопит слюда ишлатилади.

Эгилувчан шиша миканитлар таркибида 45—65% слюда, 30—8% елимловчи моддалар, қолгани шиша тўқима бўлади. Бу миканитларнинг қалинлиги 0,20—0,60 мм бўлади.

Эгилувчан миканитларнинг электрик характеристикалари:

$$\rho_v=10^{10}\text{—}10^{12} \text{ Ом}\cdot\text{м}; \text{tg}\delta=0,05\text{—}0,09; E_m=12\text{—}28 \text{ МВ/м.}$$

Кремний-органик боғловчили миканитларнинг барча турлари 180°C да узоқ вақт ишлаши мумкин (Н класс), полиэфир ва эпоксидли елимловчи таркиб ёрдамида олинган миканитлар 155°C да, шеллакли ва глифталл смолалар қўшиб олинганлари эса 130°C дан юқори бўлмаган температураларда узоқ вақт давомида ишлаши мумкин.

Микафолий — қалинлиги 0,05 мм ли зич телефон қоғозга бир ёки бир неча қатлам тилимланган слюда (мусковит ёки флогопит) япроқлари ёпиштириб тайёрланган рулон ёки лист кўринишидаги материал. Боғловчи сифатида глифталли, мой-глифталли ва бошқа лаклар ишлатилади.

Микафолий эни камида 500 мм бўлган рулонлар ёки ўлчамлари 500X1000 мм вэ қалинлиги 0,15; 0,20; 0,30 мм ли листлар ҳолида чиқарилади. Микафолий массасининг 45—65% слюда, 30—12% елимловчи модда, қолгани қоғоз ва учувчан моддadan иборат бўлади. Қолипланадиган миканит сингари микафолий ҳам қиздирилган ҳолатда қолипланади. Микафолийдан (қайноқ ҳолда пресшлаш йўли билан) болт ва шпилькаларни изоляциялаш учун найлар, чулғамларнинг газ изоляцияси учун гильзалар ва бошқа шаклдор буюмлар тайёрланади.

Микафолийнинг барча турлари қиздиришга чидамлилиги жиҳатдан В классга киради, яъни 130° С га қадар температурада ишлаши мумкин.

Микафолийнинг асосий характеристикалари: $\sigma_{\text{ч}}=(1,5\text{—}3,2)\times 10^5 \text{ Н/м}^2$;

$$\rho_v=10^{10}\text{—}10^{12} \text{ Ом}\cdot\text{м}; E_m=13\text{—}20 \text{ МВ/м.}$$

Микалента — хона температурасида эгилувчан бўлган рулон материал. Микалента тилимланган слюда листларини юпқа (0,02—0,03 мм) микалента қоғозга ёки шиша тўқимага бир қават қилиб ёпиштириш йўли билан олинади. Олинган материалнинг қалинлиги 0,08 мм бўлади. Қалинлиги ОДО; 0,13; 0,17 ва 0,21 мм бўлган микалентага иккала томонидан микалента қоғоз ёки шиша тўқима ёпиштирилган бўлади. Лак сифатида мой-битумли (қора) ёки мой-глифталли (очик рангли) лаклар, шиша микалента ишлаб чиқаришда эса қиздиришга чидамли кремний-органик лаклар ишлатилади.

Микалента массасининг 45—60% ини слюда, 25—20% ини қоғоз, 20—15% ини елимловчи моддалар, қолганини учувчан моддалар ташкил этади.

Микалента эни 400 мм ли рулонлар ва эни 10, 15, 20, 23, 25, 30 ҳамда 35 мм ли роликлар ҳолида чиқарилади. Эгилувчанлиги сақлаш учун микалента герметик берк идишларда (металл кўтиларда) ташилади ва сақланади.

Микалента юқори кучланишли электр двигателлар ва генераторларда чулғамларнинг (стерженларнинг) асосий изоляцияси сифатида ишлатилади. Шиша тўқима асосида кремний-органик боғловчи ишлатиб олинган микаленталарнинг қиздиришга чидамлилиги энг юқори бўлади.

Микалентанинг электрик характеристикалари: $\sigma_{\text{ч}}=(1,8\text{—}3,5)\times 10^5 \text{ Н/м}^2$;

$$\rho_v=10^{10}\text{—}10^{12} \text{ Ом}\cdot\text{м}; E_m=10\text{—}22 \text{ МВ/м.}$$

2.18. Слюдинит ва слюдопласт материаллар

Табиий слюдани қазиб олишда ва ундан электр изоляцион материаллар тайёрлашда 90% га яқин турли хил чиқиндилар ҳосил бўлади. Улар орасида слюдининг майда чиқиндилари— скрап кўп процентни ташқил этади. Тозаланган скрапдан слюдали (слюдинит) қоғоз тайёрланади, бу қоғоздан эса қаттиқ ёки эластик электр изоляцион материаллар— слюдинитлар олинади.

Слюдинит қоғозларнинг электр ва механикавий хоссаларини яхшилаш учун слюда пульпасига турли хил боғловчи моддалар (кремний-органик, глифталли ва бошқа смолалар) қўшилади.

Тилимланган слюдадан қандай электр изоляцион материаллар тайёрланса, слюдинит қоғоздан ҳам шундай материаллар тайёрланади. Лекин слюдинит материалларнинг қалинлиги бир текис, ўзи бир жинсли ва электрик характеристикалари анча юқори бўлади. Слюдинит материалларнинг камчиликлари сифатида механикавий мустаҳкамлигининг камлиги ва миканитларга нисбатан намлик таъсирига чидамлилигининг бирмунча пастлигини айтиб ўтиш керак.

Слюдинит материаллардан слюдинит ва шиша слюдинит ленталар энг кўп ишлатилади, уларнинг хоссалари микалентаниқига нисбатан анча ўзгармас бўлади. Кремний-органик боғловчи ишлатиб олинган шиша слюдинит ленталар қиздиришга жуда чидамли бўлади. Бундан ташқари, коллектор слюдинит, қистирма слюдинит ва эластик слюдинитлар ҳам ишлатилади. Слюдинит материалларнинг электр характеристикалари тилимланган слюдадан тайёрланган материалларники даражасида бўлади.

Слюдинит ленталари электр машиналарида ўрам ва корпус изоляцияси учун микалента ўрнида ишлатилади. Қандан боғловчи ишлатилганига қараб слюдинит материаллар қиздиришга чидамлилиги жиҳатидан В, F, ва Н классларга киради.

Слюда чиқиндиларидан фойдаланиш йўлидаги дастлабки ҳаракат слюдинит қоғозлар асосида қаттиқ лист материаллар ва эластик ленталар — слюдинит электр изоляцион материаллар яратилишига олиб келди. Улар тилма слюдадан елимлаб тайёрланган материаллар ўрнида ишлатила бошланди. Лекин барча слюдинит материалларнинг асоси ҳисобланган слюдинит қоғознинг механикавий мустаҳкамлиги кам бўлади. Шу сабабли слюдинит материаллар электр машиналарида ўрам ва паз изоляцияси сифатида ишлатилганида тез шикастланади. Слюда чиқиндиларидан янги электр изоляцион материаллар тайёрлаш учун анча пухта асос излашга доир ишлар слюдопласт қоғозлар ишлаб чиқилишига олиб келди. Бундай қоғозлар слюдинит қоғозларга нисбатан бирмунча механикавий жиҳатдан мустаҳкам.

Слюдопласт қоғоз ҳам слюда чиқиндиларини майдалаш йўли билан олинади, лекин бунда юқори температурада (800°C) ишлов берилмайди*. Бу ҳол слюда заррачаларининг бир-бирига илашиш хусусиятини сақлаб қолишга кўп жиҳатдан имкон беради. Бунда механикавий мустаҳкамлиги слюдинит қоғозниқига қараганда анча катта бўлган слюдопласт қоғоз ҳосил бўлади.

Слюдопласт қоғоз ҳам слюдинит қоғоз сингари ғовак бўлади, шу сабабли улар электр изоляцион лаклар шимдирилгандан кейин ишлатилади. Энг яхши шимдириладиган ва боғловчи моддалар кремний-органик лаклардир, чунки улар қиздиришга чидамли слюдопласт электр изоляцион материаллар олиншини таъминлайди.

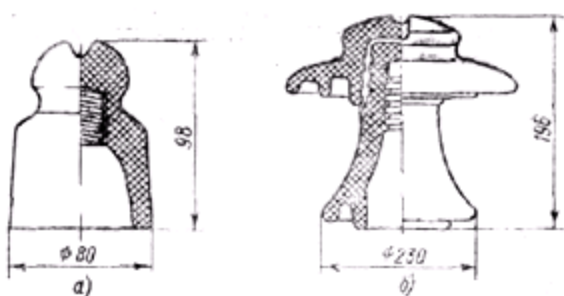
Шимдириладиган ва боғловчи таркиб, шунингдек, шиша тўқима ҳолидаги асослар (таглик) ишлатиш тилма слюдадан олинган астуларинииментдаги электр изоляцион материаллар олишга имкон беради. Булар коллектор, қистирма, қолипланадиган ва эгилувчан слюдопласт, шунингдек, слюдопластофольи, шишаслюдопласт лента ва слюдопласт қоғозлар асосида олинган бошқа композицион материаллардир. Бу материалларни электр машиналарнинг ўрам, ўрамлараро ва паз изоляциясида ишлатиш тажрибаси слюдинит ва слюдопласт материаллар тилма слюдани елимлаш йўли билан олинган кўпгина материалларга нисбатан бир меъёрда қалинликка ва катта электр

мустаҳкамликка эга эканлигини кўрсатди. Слюдинит ва слюдопласт материалларни электротехника саноатида кенг жорий этишнинг катта техника-иқтисодий аҳамияти бор.

2.19. Электр керамик материаллар

Электр керамик материаллар тошсимон қаттиқ моддалар бўлиб, уларга фақат абразивлар (карборунд ва бошқалар) билан ишлов бериш мумкин. Барча электр керамик материаллар ишлатилишига кўра уч гуруҳга: изолятор, конденсатор материаллар ва сегнетоэлектрик керамика гуруҳига бўлинади. Барча электр керамик материаллар гигроскопик бўлмай, атмосфера таъсирига чидамли бўлади. Энг кўп ишлатиладиган электр керамик материаллардан бири электротехникавий чиннидир*. Ундан турли конструкциядаги юкори ва паст кучланишли изоляторлар тайёрланади (21- расм).

Бошланғич электр чинни масса гилсимон моддалар (42—50%), кварц (20—25%), калийли дала шпати (22—30%) ва брак қилинган чинни буюм синиқларидан (5—8%) иборат бўлади. Изоляторларни сифатли қилиб тайёрлашда ҳамирсимон масса олиш учун майдаланган компонентларга 20—22% сув қўшилади. Шундан кейин ҳамирсимон чинни массага кириб қолган ҳавони чиқариб юбориш учун вакуумда ишлов берилади.



21-расм. Шпирли чинни изоляторлар:
а) паст кучланиш учун,
б) юкори кучланиши учун

Вакуум-прессдан олинган масса яхлит цилиндр ҳолида бўлиб, мундшгўқдан чиқишида керакли узунликда бўлақлар қирқилади, улардан эса турли типдаги изоляторлар тайёрланади.

Изоляторлар гипс ёки пўлат қолипларда пресслаш ва бошқа усуллар билан олинади. Қолиплардан олинган изоляторлар токарлик станокларига ўтади, бу ерда уларга узил-кесил шакл берилиб, ўлчамлари тўғриланади. Йўналган изоляторларнинг намлиги 16—18% бўлади. Сўнгра улар қуритгичга юборилади, бу ерда намлиги 0,1—2% га қадар камаяди. Қуритилган буюмларнинг ҳажми кичраяди.

Қуритилган чинни буюмларга суюқ суспензия — сир (глазурь) қопланади. Сирнинг таркиби суюқ чинни массанинг таркибидан шиша ҳосил қилувчи компонентларнинг (кварц, дала шпати, долоит ва бошқаларнинг) миқдори кўплиги билан фарқ қилади, Рангли сирларга бўёқлар — хромли темиртош, иролюзит ва бошқалар ҳам қўшилади.

Электр чинни буюмларни пишириш жараёнида сир қатлами суюқланиб буюмлар сиртида бир текис шишасимон қоплам ҳосил қилади. Сир изоляторларнинг механикавий мустаҳкамлигини оширади ва уларни намлик ҳамда атмосферадаги ифлосликлар таъсирига чидамли қилади. Рангли сирлар изоляторларни маскировкалаш учун ҳам хизмат қилади.

Изоляторларга узлуксиз ишлайдиган туннель печларда термик ишлов берилади — пиширилади. Бу печлар жуда унумдорлиги билан фарқ қилади, чунки бундай печларда изоляторлар узлуксиз лозим билан (кетма-кет) пиширилади. Қуритилган ва сир суспензияси қопланган, махсус вагонеткаларга ўрнатилган изоляторлар печь туннелида ҳаракатланади. Улар печда керакли температурадаги иситиш, пишириш, совитиш зоналаридан бирин-кетин ўтади. Изоляторлар печдан чиқиш олдида тайёр электр керамик буюмларга айланади. Электр керамик буюмларни пиширишда аланга ва газлар уларга бевосита таъсир этмаслиги лозим, шу сабабли изоляторлар ва бошқа буюмлар ўтга чидамли капселларга жойланади; бу капселлар ўтга чидамли керамик массадан тайёрланган юмалоқ қутичалардан иборат бўлади.

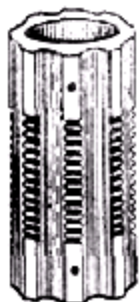
Пиширилгандан кейин электр керамик буюмлар механикавий ва электр жиҳатдан синаб кўрилади. Бунда нуқсонли бор буюмлар бракка чиқарилади.

Агар чиннининг структураси микроскоп остидан қаралса, чинни муллит $2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$ нинг бир-бирига нисбатан тартибсиз жойлашган нинасимон кристалларидан таркиб топганлиги кўринади. Бу кристаллар орасидаги бўшлиқ таркибида қисман кварц кристаллари эриган шиша билан тўлган бўлади. Кристалл ва шишасимон фазаларнинг бирга келиши чиннининг механикавий ва электр мустаҳкамлиги анча юқори бўлишини ва унинг гигроскопик бўлмаслигини таъминлайди. Электр керамик материаллардан яна бири стеатитдир. У электр чиннидан механикавий мустаҳкамлигининг юқорилиги ва электрик характеристикаларининг яхшилиги билан фарқ қилади. Стеатит электр изоляцион буюмлар ўзининг электрик характеристикаларини унчалик ўзгартирмай, 300°C температурагача ишлаши мумкин. Электротехникавий чиннидан тайёрланган буюмларда эса 100°C ва ундан юқори температурада электрик характеристикаларининг кескин ёмонлашуви кузатилади. Стеатит — электр чиннига нисбатан анча қиммат материал, чунки уни тайёрлаш учун анча қиммат хом ашёдан фойдаланилади.

Бошланғич стеатит массалар табиий минерал — тальк ($3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) ва барий карбонат BaCO_3 ёки кальций карбонат CaCO_3 асосида тайёрланади. Пластик бўлсин учун стеатит массага 15—20% гилсимон моддалар (бетонит ва бошқа гиллар) қўшилади. Стеатитлар учун таркибида кўпи билан 0,5% темир оксидлари бўладиган талькли табиий тошнинг энг тоза навлари ишлатилади. Бошланғич стеатит пластик массалар тайёрлаш процесси электр чинни массалар тайёрлаш процессидан фарқ қилмайди.

Пластик стеатит массадан гипс қолипларда пресслаш усули билан стеатит изоляторлар ва электр изоляцион буюмлар тайёрланади.

Парафин боғловчи ишлатиб босим остида стеатит буюмлар қуйиш усули энг кўп тарқалган. Бу технология бўйича дастлаб стеатит спек олинади. Спек бу печда пишириб олинган стеатит массанинг майдаланган коржларидир. Тозаланган спек кукуни электр билан иситиладиган шарли тегирмонга солинади. Тегирмонга парафин (8—16%), оленикнслота (0,6—0,8%) ва майдаланадиган жисмлар (стеатит золдирлар) ҳам солинади. Тегирмон 90°C га қадар қиздирилади ва қопқоғиш беркитиб, ишга туширилади. Бунда стеатит кукуни майда ҳолга келгунча майдаланади ва суюқланган парафин билан аралашади. Одатда қуйиладиган стеатит масса шу шарли тегирмоннинг ўзида ҳавосизлантирилади, бундан мақсад массанинг қолипга қуйилиш хоссасини яхшилашдир. Тайёрланган қуйиш массаси қуйиш аппаратларининг иш бакларига тушади. Бу ердан $(3—8) \cdot 10^5$ Па босим остида у пўлат қолипларни тўлдиради.



22-расм.
Трансформатор
ғалтагининг қуйма
стеатит массасидан
қуйиб тайёрланган
каб қаси.

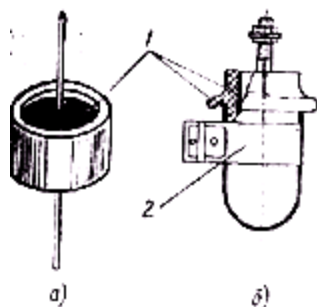
Босим остида қуйиш усули билан электр аппаратлари ва асбоблари учун мураккаб шакли буюмлар (22-расм) тайёрланади.

Қуйма буюмлардан парафинни йўқотиш учун улар ўтга чидамли қутчаларга — капселларга жойлаштирилади. Капселлардаги қуйма буюмлар орасидаги бўшлиқлар гилтупроқ кукуни билан тўлирилади (Капселлар буюмлар билан биргаликда 800°C гача бир меъёрда қиздирилади ва шу температурада ушлаб турилади. Парафин қуйма буюмлардан ажралиб чиқади ва гилтупроқ қукунига шимилади. Парафин йўқотилгандан кейин буюмлар печларда $1280—1350^\circ\text{C}$ температурада пиширилади.

Қайноқ ҳолда босим остида қуйиш усули билан олинган стеатит буюмларнинг сирти зич ва текис бўлади. Бошланғич стеатит массани (стеатит спекни) ташкил этувчи қуйдирилган минераллар қўшилган қуйиш массасидан тайёрланган буюмларнинг ҳажмий қисқариши кичик (5%) бўлади. Стеатитнинг асосини клин-ноэнстатит ($\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$) кристаллари ташкил этади. Уларнинг миқдори стеатитда 70% атрофида бўлади, қолган 30% ни шиша ташкил этади.

10-жадвалда электр чинни билан стеатитнинг асосий характеристикалари келтирилган.

Конденсаторларга ишлатиладиган керамик материаллар керамикадан ясалган изолятор ишлатиладиган керамик материаллардан диэлектрик сингдирувчанлик қийматининг катталиги ($\epsilon=14—250$) билан фарқ қилади. Бу эса керамикадан катта сиғимли ва нисбатан кичик ўлчамли конденсаторлар тайёрлашга имкон беради. Керамик конденсаторлар гигроскопик эмас, шу сабабли қоғоз ҳамда слюда конденсаторлар учун зарур бўлган химоя корпуслари ҳамда қобиклар улар учун керак эмас. Керамик конденсаторлар ишлаб чиқариш технологияси қоғоз ва слюда конденсаторлар ишлаб чиқаришга қараганда анча соддадир.



23-расм. Керамик конденсаторлар:
а) бочкасимон, б) гаршоксимон, 1-электродлар, 2-латунъ обойма.

Керамик конденсаторлар (23-расм) керамика технологиясининг методлари, яъни гипс ёки пўлат қолипларга куйиш, пресслаш ва бошқа методлар билан тайёрланади. Бирор усул билан тайёрланган конденсаторлар печларда $1450—1700^{\circ}\text{C}$ температураларда пиширилади. Натижада нам тортмайдиган, механикавий пухта конденсаторлар олинади.

Керамик конденсаторлар сирти (куйдириш усули билан) $15—20$ мкм қалинликда сидирға кумуш электродлар билан қопланади ва бу электродга мис симлар кавшарланади. Электродларни коррозияланишдан сақлаш ва қисқа туташув бўлишининг олдини олиш учун керамик конденсаторлар сиртининг ҳаммасига намлик таъсирига чидамли эмал қатлами қопланади.

Кондексатор ясаладиган керамик материалларнинг диэлектрик сингдирувчанлик қиймати катта бўлиши керак. Бунинг учун уларда қутбланиш процеслари узлуксиз содир бўлиб туриши лозим. Шу билан бирга конденсатор ясаладиган материалларнинг бошқа электрик характеристикалари ҳам юқори бўлиши зарур: $\rho_v=10^{12}—10^{13}$ Ом·м; $\text{tg}\delta=0,0005$; $E_m=20—25$ МВ/м. Титан (IV)-оксид TiO_2 , қалай (IV)-оксид SnO_2 ёки цирконий (IV)-оксид ZrO_2 билан ишқорий металлларнинг ёки ишқорийер металлларнинг оксидларидан (CaO ; MgO , SrO ва бош-қалардан) ҳосил бўлган бирикмалар асосида олинган материаллар бу талабларга жавоб беради. Конденсатор материаллар олиш учун бу кукунсимон оксидлар муайян нисбатда бир-бири билан аралаштирилади ва яхшилаб майдаланади. Пластиклик хусусиятини бериш учун конденсаторларга ишлатиладиган айрим массаларга озроқ микдорда гилсимон моддалар қўшилади. Лекин бу, керамик конденсаторларнинг электрик характеристикаларини ёмонлаштиради.

Титан (IV)-оксид асосида олинган керамик конденсатор материаллари титанатлар дейилади, масалан магнит титанат MgTiO_3 . Қалай (IV)-оксид асосида олинган керамик материаллар станнатлар дейилади, масалан кальций станнат CaSnO_3 . Цирконий (IV)-оксид асосида олинган керамик материаллар цирконатлар дейилади, масалан барий цирконат BaZrO_3 ва бошқалар.

Диэлектрик сингдирувчанлик қиймати, шунингдек, унинг температура коэффицентининг катталиги ва ишораси материалнинг таркиби ҳамда структураси билан 1 аниқланади.

Агар сегнетоэлектрик пластинканинг томонларига механикавий куч қўйиб, улар сиқилса ёки чўзилса, пластинканинг қарама-қарши сиртларида турли ишорали электр зарядлар пайдо бўлади. Натижада сегнетоэлектрик пластинкаси э. ю. к. манбаи бўлиб қолади. Бу ходиса тўғри пьезоэффект дейилади. У сегнетоэлектриклардан босимни ўлчаш учун электр датчик сифатида фойдаланишга имкон беради.

Агар сегнетоэлектрик пластинкасига ўзгарувчан кучланиш қўйилса, пластинка кучланишнинг частотасига тенг частота билан тебрана бошлайди. Бу ходиса «гео кари пьезоэффкт» дейилади. Сегнетоэлектриклардан тайёрланадиган пьезоэлементлар юқори сифатли тебранишлар манбаи бўлиб хизмат қилади.

Яқин вақтларга қадар сегнет тузи ($\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) ягона сегнетоэлектрик ҳисобланар эди. У сувда эрийдиган ва 55°C да суюқланадиган модда бўлиб, бу хоссалари эса ундан фойдаланишни қийинлаштирар эди.

1943 йилда дастлабки керамик сегнетоэлектрик — барий титанат* (BaTiO_3) синтез қилинди. Ҳозирги пайтда кўпгина керамик сегнетоэлектриклар: кадмий титанат (CaTiO_3), кўрғошин цирконат (PbZrO_3) ва бошқалар яратилган. Керамик сегнетоэлектриклар нам ютмайди, сувда эримайди ва анча кенг температуралар интервалида ишлаши мумкин.

Барча сегнетоэлектриклар фақат муайян температурагача ўзига хос сегнетоэлектрик хоссаларга эга бўлади. Масалан, барий титанатнинг сегнетоэлектрик хоссалари 120°C га, кўрғошин цирконатники эса 461°C га қадар сақланиб туради. Бу температуралардан юқорида сегнетоэлектриклар ўзига хос хусусиятларини йўқотади ва оддий диэлектрикларга айланиб қолади.

2.20. Силикат (анорганик) шишалар

Анорганик шиша арзон материалдир, чунки у ўнғайгина олинадиган моддалардан: кварц қуми SiO_2 , сода Na_2CO_3 , доломит CaCO_3 — MgCO_3 , бўр CaCO_3 ва баъзи бошқа компонентлардан тайёрланади. Бу моддаларнинг муайян нисбатларда олинган аралашмаси шихта дейилади. Шихта шиша пишириш печига солинади ва 1350 — 1600°C га қадар қиздириб суюқлантирилади, бунда ҳосил бўлган суюқ шиша массадан турли хил шиша буюмлар тайёрланади.

Шиша ҳосил қиладиган асосий модда кварц қуми бўлиб, унинг таркибида 98% бўлади. Амалда шишани битта кварц қумининг ўзидан ҳам олиш мумкин, лекин у жуда юқори температурада (2000°C атрофида) суюқланади. Бунинг учун қиммат турадиган печлар ва бошқа мураккаб ускуналар керак. Тўғри, соф кварц шишанинг қатор қимматли хоссалари бўлади: электрик характеристикалари жуда юқори, намлик таъсирига чидамли (гидролитик барқарорлик) ва чизиқли узайиш температура коэффициенти жуда кичик ($5 \cdot 10^{-7} \text{ } 1/^\circ\text{C}$) бўлади. Бўлар кварц шишанинг қиздиришга ниҳоятда чидамлилигига сабаб бўлади. Масалан, кварц шишадан тайёрланган буюмларни чўғ бўлгунча қиздириб, совуқ сувга ботирилса дарз кетмайди. Қиздиришга чидамли баъзи электр изоляцион буюмлар (кичикроқ изоляторлар) соф кварц шишадан тайёрланади.

Кварц шишанинг асосий характеристикалари: зичлиги 2200 кг/м^3 ;

$$\rho_v = 10^{14} \text{—} 10^{12} \text{ Ом} \cdot \text{м}; \varepsilon = 3,8; \text{tg}\delta = 0,0001; E_m = 35 \text{—} 44 \text{ МВ/м.}$$

Шишанинг бошқа турларини олиш учун таркибида кварц қумидан ташқари шихтанинг суюқланиш температурасини камайтирувчи моддалар ҳам қўшилади. Бу моддаларга кальцинацияланган сода, бўр, доломит ва баъзи бошқалар киради.

Шиша кристалланишининг олдини олиш учун шихта таркибига гилтупроқ Al_2O_3 , борат ангидрид B_2O_3 каби моддалар ҳам қўшилади.

Шихта қиздирилганда ундан дастлаб намлик буғланиб кетади. Газлар атмосферага учиб чиқиб кетади, қолган натрий, калий, кальций оксидларн ва бошқалар қумтупроқ (SiO_2) билан химиявий реакцияга киришади ва силикатлар дейиладиган мураккаб бирикмалар ҳосил қилади. Шу сабабли анорганик шишалар силикат шишалар дейилади.

1350 — 1600°C температурада силикатлар суюқланиб, қовушоқ шиша масса ҳосил қилади, бундан турли хил шиша буюмлар тайёрланади. Масалан, металл қолипларга пуфлаш йўли билан лампа баллонлари, пресслаш йўли билан эса шиша изоляторлар ва бошқа буюмлар тайёрланади.

Химиявий таркибига кўра, барча силикат шишаларни тўртта гуруҳга: ишқорий, таркибида оғир оксидлар бор ишқорий, кам ишқорий ва ишқорсиз шишалар гуруҳларга бўлиш мумкин.

Ишқорий шишалар нисбатан осон суюқланади (1350°C), таркибида ишқорий оксидлар (асосан Na_2O ва қисман Ca_2O) кўп миқдорда бўлади. Шишаларнинг бу гуруҳига дераза ойнаси, идиш-товуқ ва бутилка ясададиган шишалар киради. Ишқорий шишаларнинг электрик характеристикалари қийматлари паст, чизиқли кенгайиш температура коэффициентлари катта ва шу сабабли иссиқбардошлиги паст бўлади.

Таркибида оғир оксидлар бўладиган ишқорий шишалар электрик характеристикаларининг қийматлари катта бўлади. Бу гуруҳга флинтлар (таркибида PbO бўлади) ва кронлар (таркибида BaO бўлади) киради. Улар электр изоляцион буюмлар (конденсаторлар, изоляторлар ва бошқалар) тайёрлаш учун ишлатилади.

Кам ишқорий шишалар таркибида кўпи билан 5% ишқорий оксидлар бўлади. Бу хил шишалардан юқори кучланишда ишлайдиган шиша изоляторлар тайёрланади.

Ишқорсиз шишалар таркибида ишқорий оксидлар мутлақо бўлмайди (масалан, кварц шиша) ёки кўпи билан 2% бўлади. Улардан электр изоляцион шиша тўқималар учун шиша толалар тайёрланади, Бу шишалар суюқланиш температураси анча юқорилиги билан фарқ қилади. Суюқланиш температурасини пасайтириш учун шихта таркибига борат ангрид (10% гача) қўшилади.

Сўнги йилларгача барча изоляторлар электротехника чиннисидан тайёрланар эди. Бу мақсад йўлида шишадан фойдаланишга уринишлар муваффақиятсиз чиқар, чунки шиша изоляторларнинг механикавий мустаҳкамлиги ва иссиқбардошлиги етарли даражада эмас эди.

Ҳозирги пайтда кам ишқорий изолятор шишасининг таркиби ва тобланган шишадан изоляторлар тайёрлаш технологияси ишлаб чиқилган. Бу технологияга мувофиқ, печнинг ванна-сидан чиқадиган шишасимон шишамасса автоматик преснинг чўян прессколипига узатилади. Пуансон ёрдамида изолятор пресланади, Сўнгра қизиган изолятор қолипдан олинади ва соплло орқали келадиган совуқ ҳаво билан ҳамма томонидан бир меъёрада пуфланади.

10- ж а д в а л

Кам ишқорий шишаларнинг асосий характеристикалари		
	Характеристикаси	Кам ишқорий шиша 13В
1	Зичлиги , $\text{кг}/\text{м}^3$	260
2	Статик эгилишдаги мустаҳкамлик чегараси , $\text{Н}/\text{м}^2$	$2500 \cdot 10^5$
3	Солишгирма ҳажмий қаршилиги , Ом м	10^{12}
4	Солишгирма сирт қаршилиги , Ом	10^{16}
5	Диэлектрик исрофлар бурчаги тангенци ,	0.02 – 0.025
6	Электр мустаҳкамлигининг ўртача қиймати , $\text{МВ}/\text{м}$	45-48

Тобланган шиша изоляторларнинг механикавий мустаҳкамлиги тобланмаганларникига қараганда 2—3 марта юқори (хатто шиша изоляторларникидан ҳам юқори) бўлади. Шу сабабли тобланган шиша изоляторларнинг ўлчамлари чинни изоляторларникига нисбаган кичик (10—20%) бўлади. Кам ишқорий шишанинг электрик ва механикавий характеристикалари 12-жадвалда келтирилган.

Ўлчамлари кичик шиша изоляторлар (10 кВ гача мўлжалланган шпирли изоляторлар ва баъзи бошқалари) тобланмаган шишадан тайёрланади. Бу ҳолда пресавтоматларда пресланган изоляторлар печларда юмшатилади. Бунда изоляторларнинг температураси аста-секин кўтарилади, сўнгра эса хона температурасигача аста-секин пасаяди.

Шиша изоляторларни преслаш вақтида нотекис совиши ҳисобига уларда пайдо бўлган ички кучланишлар юмшатиш жараёнида йўқолади.

2.21. Минерал диэлектриклар

Кенг кўламда ишлатиладиган минерал диэлектриклар жумласига асбест ва асбестоцемент киради.

Асбест (тошпахта) табиий минерал бўлиб, толали гузилишга эга. Унинг толалари диаметри миллиметрнинг мингдан бир улушлари қадар ва узунлиги бир неча сантиметрга етадиган ингичка алоҳида-алоҳида толачаларга (қилларга) осон ажралади. Турли хил электр изоляцион материаллар (қоғоз, калава, лента, картонлар) тайёрлаш учун, асосан, зеризотил асбестдан фойдаланилади, у магний силикат ($3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) дан иборат.

Асбест толалари сувни шиммайди, лекин сув пардаси билан қопланади. Асбестнинг гигроскопиклиги ва таркибида турли хил аралашмалар борлиги сабабли асбест материалларнинг (асбест қоғоз ва тўқималарнинг) электрик характеристикалари юқори эмас:

$$(\rho_v = 10^6 \text{ Ом} \cdot \text{см}; E = 1 \text{—} 2 \text{ МВ/м})$$

Асбестнинг асосий характеристикалари: зичлиги 2500 кг/м^3 ;

$$\sigma_{\text{ч}} = (300\text{--}400) \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2.$$

Асбестнинг асосий афзаллиги унинг қиздиришга жуда чидамлилиги ва ёнмаслигидир. 1450°C га яқин температурада асбест суюқланади. Асбестни ишлатиш температураси 450°C . 450°C дан юқори температурада асбестдан химиявий боғланган сув чиқиб кета бошлайди ва унинг толалари механикавий мустаҳкамлигини йўқотади.

Асбест толалардан қалинлиги $0,2\text{—}1 \text{ мм}$ ли электр изоляцион қоғоз ва қалинлиги $2\text{—}10 \text{ мм}$ ли картонлар тайёрланади. Асбест қоғознинг механикавий мустаҳкамлигини ошириш учун унга озроқ микдорда пахта толаси қўшилади. Бундан ташқари, фақат асбест толанинг ўзидан иборат қоғозлар ҳам чиқарилади, бу қоғознинг қиздиришга ниҳоятда чидамли бўлишини таъминлайди. Асбест қоғоз ва картонларнинг намни ютиши 24 соат дапомида $3\text{—}4\%$ ни ташкил этади.

Асбест калавадан (ипдан) асбест тўқималар ва ленталар тайёрланади. Асбест тўқималарнинг қалинлиги $1,6\text{—}2,9 \text{ мм}$ бўлади.

Полотнога (сурпга) ўхшатиб тўқилган асбест ленталар механикавий мустаҳкамлигини ошириш учун 30% га яқин пахта толаси қўшилган калавадан тайёрланади. Улар қалинлиги $0,4\text{—}0,6 \text{ мм}$ ва эни $20\text{—}30 \text{ мм}$ ли қилиб чиқарилади. Бу ленталар юқори кучланишда электр машиналар чулғамларининг секцияларида ва қутб ғалтакларини изоляциялаш учун ишлатилади. Таркибида 8% га яқин темир оксидлари бўладиган темирли асбестдан тайёрланган ленталар ҳам шу мақсадларда ишлатилади. Шу сабабли бу ленталарнинг солиштира ҳажмий қаршилиги жуда кичик бўлади: $\rho_{\text{с}} = 103\text{—}104 \text{ Ом} \cdot \text{м}$. Бу ленталар чулғамлар статор ўзагининг пазларидан чқиб турадиган қисмларида электр майдонни бир хилликка келтириш учун ишлатилади (чулғамларнинг бу қисмларида электр майдоннинг куч чизиқлари қуюқлашган бўлади, натижада чулғамларнинг изоляцияси тешилиши мумкин).

Асбест материалларнинг деярли ҳаммаси лак ва компаундлар шимдирилган ҳолда ишлатилади. Шимдириш натижасида асбест қоғоз ва тўқималарнинг гигроскопиклиги йўқолади ҳамда уларнинг электрик характеристикалари яхшиланади.

Асбестоцемент асбест тола билан портландцементдан тайёрланади. У аорганик пластмасса бўлиб, унда портландцемент боғловчи модда, асбест толалар эса тўлдиргич вазифасини ўтайди.

Асбестоцемент тайёрлаш процесси титилган асбестни цемент ва сув билан аралаштиришдан иборат. Яхшилаб қориштирилган аралашмадан махсус асбестоцемент

машинада листлар қўйилади. Нам листлар прессланади, қуритилади ва тахталар қўринишида қирқилади.

Чиқариладиган тахталарнинг узунлиги 1200 мм, эни 700 ва 800 мм, қалинлиги эса 6, 8, 10, 12, 15, 20, 25, 30, 35 ва 40 мм бўлади. Тахталарнинг механикавий мустаҳкамлиги зарбий қовушқоқлик катталиги билан ҳарактерланади, у камида (4—6) 105 Н/м^2 бўлиши керак.

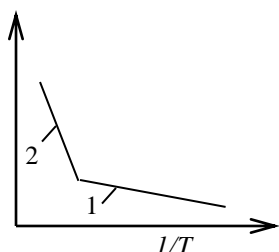
Лаклар шимдирилмаган асбестоцемент тахталарнинг сув сингдирувчанлиги катта — 15—20% бўлади. Шу сабабли асбестоцемент тахталар паст кучланиши электр қурилмааларда (эл^октр аппаратларда конгакторларнинг асослари, тўсиқлар ва учкун сўндириш камералари) асосан, бирор модда шимдирилган ҳолда ишлатилади. Асбестоцементдан тайёрланган буюмларга механикавий ишлов берилганидан (пармалаш, фрезалаш ва бошқалар) ҳамда буюмлар $110—120^\circ\text{C}$ да қуритилгандан ке-йин суюқлантирилган парафин, битум ва бошқалар шимидирилади.

2.22. Қаттиқ диэлектрикларнинг электр ўтказувчанлиги ва тешилиши

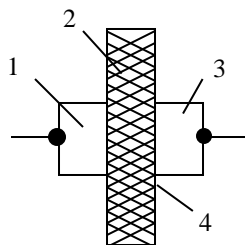
Қаттиқ диэлектрикларда, асосан, ионли электр ўтказувчанлик кузатилади. Бунда тўғри тешиб ўтадиган ток эркин ионларнинг бир томонга йўналган ҳаракатланишидан иборат бўлади. Озроқ миқдорда диэлектрикларда бўладиган аралашмалар молекулаларининг диссоциаланиши (парчаланиши) натижасида эркин ионлар ҳосил бўлади. Бундай аралашмалар органиқ кислоталар, ишқорий оксидлар (Na_2 ; K_2O) намлик ва бошқа ифлосликлардан иборат бўлиши мумкин.

Қаттиқ диэлектрикларнинг ўтказувчанлик токида диэлектрикнинг ўз ионлари ҳам ишпирик этиши мумкин, бу ҳол юқори температураларда кузатилади. Шу сабабли маълум температурадан бошлаб қаттиқ диэлектрикнинг солишгирма ҳажмий ўтказувчанлиги орта бошлайди (24- расм). Масалан, электротехникавий чиннида со-лишгирма ҳажмий ўтказувчанлик 100°C ва ундан юқорида кескин ортиб кетади.

Қаттиқ диэлектрикларга катта кучланишлар қўйилганда уларда эркин электронлар ҳам пайдо бўлади.



24-расм. Қаттиқ кристалл диэлектрик солишгирма ҳажмий ўтказувчанлигининг температурага боғлиқлиги
1-аралашмали ўтказувчанлик зонаси, 2-хусусий ўтказувчанлик зонаси



25-расм. Иссиқлик таъсирида тешилганда, қаттиқ диэлектрикда канал ҳосил бўлиш схемаси: 1 ва 3 - металл электродлар, 2- диэлектрик, 4- юқори ўтказувчанликка эга бўлган канал-иссиқликдан тешилиш йўналиши.

Улар эркин ионлар билан биргаликда ўтказувчанлик токида ишпирик этади, шу сабабли бу ток қўпайиб кетади. Бунда қаттиқ диэлектрикнинг ҳажмий электр ўтказувчанлиги қўпаяди.

Қаттиқ диэлектрикларнинг сирт электр ўтказувчанлиги улар сиртининг намлик ва ифлосланганлик даражасига боғлиқ. Қаттиқ диэлектрикнинг сирти қанчалик қўп намланган ва ифлосланган бўлса, бундай диэлектрикнинг солишгирма сирт қаршилиги шунчалик кичик бўлади. Қаттиқ диэлектриклар сиртини гидрофоб, сувда ҳўлланмайдиган қопламалар: лак ва эмаллар билан химоя қилиш зарурати туғилади.

Қаттиқ диэлектрикларнинг тешилиши — бу электр ёки иссиқлик процессидир. Электр жиҳатдан тешилиши диэлектрикка катта кучланишлар қўйилганда вужудга келадиган зарбий ионланиш ҳодисасидан бошланади. Қаттиқ диэлектрикдаги зарбий ионланиш процесси газлардаги зарбий ионланиш процессига ўхшайди*, лекин бунда ионланиш электр

майдон кучланганлигининг анча катта қийматларида содир бўлади, Эркин электронларнинг диэлектрикнинг молекула ва атомлари билан тез-тез тўқнашуви натижасида янги электронлар ажралиб чиқади. Улар қаттиқ диэлектрикни бутун қалинлиги бўйлаб тешиб ўтувчи электронлар оқмини вужудга келтиради. Бунда диэлектрик ўзининг электр изоляция хоссаларини йўқотади.

Қаттиқ диэлектрикларнинг электр жихатдан тешилиши амалда кам учрайди. У диэлектрикда энергия исрофлари кам ва иссиқликнинг олиб кетилиши яхши таъминланган ҳолларда вужудга келиши мумкин. Электр жихатдан тешилишида электр мустаҳкамлик диэлектрикнинг қалинлигига ва унинг температурасига унчалик боғлиқ бўлмайди.

Иссиқлик таъсиридан тешилиши — бу диэлектрикнинг иссиқлик таъсирида емирилиши: суюқланиб кетиши, диэлектрикнинг қуйиб иккита қарама-қарши электродни бирлаштирувчи канал ҳосил қилиш ҳодисасидир (25-расм). Диэлектрик ҳажмининг бир қисмида электр ўтказувчанлик юқори бўлиши мумкин, натижада ундан (каналдан) сезиларли даражада ўтказувчанлик токи ўтади. Бу токнинг ўтиши туфайли иссиқлик ажралиб чиқади ва бу канал қизийди, натижада унинг электр қаршилиги пасаяди ва, бинобарин, тешиб ўтувчи ток кўпаяди. Бу ҳол, ўз навбатида каналда қўшимча иссиқлик ажралиб чиқишига ва диэлектрик бу қисмининг ўта қизиб кетишига сабаб бўлади. Қучланиш янада кўпайганида каналдаги ўтказувчанлик токи янада ортади, у ажратиб чиқараётган иссиқлик эса қаттиқ диэлектрикни батамом қуйдириб юбориши ёки суюқлантириши мумкин.

Иссиқлик таъсиридан тешилишида электр мустаҳкамлик маълум даражада температурага боғлиқ бўлади (6- расмга қаранг) ва диэлектрикнинг қалинлиги ортиши билан камаяди. Температура кўтарилиши ёки қаттиқ диэлектрикнинг қалинлиги ортиши билан ундан иссиқликнинг олиб кетилиши қийинлашади. Бунинг натижасида диэлектрикда тешилиш жойи ўта қизиб кетади ва электр майдон кучланганлигининг кичикроқ қийматларида ҳам диэлектрик иссиқлақ таъсирида емирилади.

III БОБ ЎТКАЗГИЧ МАТЕРИАЛЛАР

3.1. Солишгирма қаршилиги кам бўлган ўтказгич материаллар

Металл ўтказгич материаллар поликристалл тузилишли моддалардир, яъни улар жуда кўп майда кристалллардан таркиб топган. Металл ўтказгичлардан кўпчилигининг (кумуш, мис, алюминий ва бошқаларнинг) ўтказувчанлиги юқори бўлади. Уларнинг солишгирма электр қаршилик қиймати кичик бўлади: $\rho=0,0150—0,0283 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$. Бўлар, асосан, соф металл бўлиб, симлар ва кабеллар тайёрлаш учун ишлатилади. Ўтказувчанлиги катта бўлган ўтказгичлар билан бирга солишгирма қаршилиги катта $\rho=0,4—2,0 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$, бўлган ўтказгич материаллар ҳам керак бўлади. Бу ўтказгич материаллар намунавий қаршиликлар, резисторлар, иситиш асбоблари ва бошқалар тайёрлашга сарфланади. Металл ўтказгич материалларнинг ҳаммаси электрон ўтказувчанликка эга, яъни уларда ўтказувчанлик токи эркин электронларнинг бир йўналишда ҳаракатланишидан иборат.

Температура кўтарилиши билан металл ўтказгичларнинг электр қаршилиги ортади. Бунга сабаб шуки, температура кўтарилиши билан ўтказгич атомларининг иссиқликдан тебраниши анча кучаяди. Бунда ўтказгичда ҳаракатланаётган электронлар атомлар билан тобора тез тўкнашиб, ўзининг ҳаракат йўлида қаршиликка учрайди. Шу сабабли барча ўтказгичларда солишгирма қаршиликнинг температура коэффиценти нолдан катта бўлади.

Мис, бронза, алюминий, кумуш, вольфрам ўтказувчанлиги катта бўлган энг муҳим ўтказгич материалларга киради.

Мис ўтказгич — турли хил аралашмалардан тозаланган қизғиш зарғалдоқ тусли, суюқланиш температураси 1083°C ва чизиқли кенгайиш температура коэффиценти $17\cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ га тенг бўлган металл. Мис яхши механикавий хоссаларга, шунингдек, пластикликка эга. Бу мисдан диаметри $0,03—0,01 \text{ мм}$ гача бўлган симлар, шунингдек, юпқа ленталар олишга имкон беради. Мис ҳавода юпқа оксид (CuO) қавати билан қопланганлиги учун мис ўтказгич атмосфера таъсирида деярли коррозияланмайди. Оксиднинг химоя қатлами ҳаво кислородининг мис ичига кириб боришига тўсқинлик қилади.

Ўтказгич буюмлар (чулғам симлари, монтаж симлари ва кабеллар) тайёрлаш учун таркибидаги кислороднинг миқдори жихатдан бир-биридан фарқ қиладиган М0 ва М1 маркали мис ўтказгич ишлатилади. М0 мисли кислород кўпи билан $0,02\%$, М1 мисда эса кўпи билан $0,05\%$ бўлади. Бошқа аралашмаларнинг (висмут, сурьма, мншьяк, никель, олтингургурт) миқдори иккала маркадаги мисда бир хил бўлиши мумкин. Аралашмаларнинг умумий миқдори: М0 мисда — кўпи билан, $0,05\%$, М1 мисда — кўпи билан $0,1\%$. Иккала маркадаги мисдан ҳам ток ўтказувчи симлар тайёрланади. Диаметри $0,01$ даи 10 мм гача бўлган симлар чиқарилади.

Юмшоқ мисдан тайёрланган буюмларнинг асосий характеристикалари қуйидагича: зичлиги $8900 \text{ кг}/\text{м}^3$, чўзилишдаги мустаҳкамлик чегараси $\sigma_{\text{ч}}=(20—25)\cdot 10^5 \text{ Н}/\text{м}^2$; солишгирма чўзилиши $e_{\text{ч}}=15—40\%$; $\rho=0,0172—0,01724 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$. Қаттиқ мисдан тайёрланган буюмларнинг зичлиги $8960 \text{ кг}/\text{м}^3$; $\sigma_{\text{ч}}=(36—42)\cdot 10^5 \text{ Н}/\text{м}^2$; $e_{\text{ч}}= 0,5—3\%$; $\rho=0,0178-0,0182 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$.

Кичик диаметрли симларнинг чўзилишдаги мустаҳкамлик чегараси ва солишгирма электр қаршилиги катта бўлади. Диаметри жуда кичик диаметрли ($0,01 \text{ мм}$) ва юқори температурада (300°C дан ортиқ) ишлатиш учун мўлжалланган симлар учун кислородсиз мисдан * (М00 маркали) тайёрланган сим ишлатилади, у ниҳоятда тозаллиги билан (аралашмаларнинг умумий миқдори кўпи билан $0,01 \%$ бўлади) фарқ қилади. Миснинг барча маркалари учун солишгирма қаршиликнинг температура коэффиценти ТК $\rho—0,004 1/^\circ\text{C}$.

Бронзалар — мис асосида олинган қотишмалар бўлиб, ундан буюмлар куйишда ҳажмий кичрайиши камлиги билан фарқ қилади. Бронзаларда ҳажмий кичрайиши 0,6—0,8%, пўлат ва чўянда эса бу кўрсаткич 1,5—2,5% ни ташкил этади.

Бронзаларнинг асосий типлари миснинг қалай (қалайли бронзалар), алюминий (алюминийли), бериллий (бериллийли) каби легирловчи элементлар билан ҳосил қилган қотишмаларидир. Бронзаларнинг маркази Бр (бронза) ҳарфлари билан белгиланади, бу ҳарфлардан кейин айти бронзада қандай легирловчи элементлар қанча миқдорда борлигини кўрсатувчи ҳарф ҳамда рақамлар келади (11-жадвал).

11-жадвал

Айрим бронзаларнинг марказлари ва таркиби

Маркази	Легирловчи элементлар миқдори, % мас.					
	қалай	фосфор	бериллий	алюминий	никель	мис
БР010	10	-	-	-	-	қолгани
БрОФ6,5-0,15	6-7	0,15	-	-	-	“_“
БрА7	-	-	-	6-8	-	“_“
БрБ2	-	-	2-2,2	-	0,2-0,5	“_“

Бронзаларга қирқиш йўли билан, босим остида ишлов бериш осон, улар яхши кавшарланади. Улардан лента ва симлар тайёрланади, бу лента ва симлардан эса деформацияланувчи контактлар, ток ўтказувчи пружиналар ва бошқа ток ўтказувчи ҳамда конструкцион деталлар ишлаб чиқарилади.

Бронза деталларнинг мустаҳкамлигини ошириш учун уларга термик ишлов берилади: тобланади, сўнгра эса оптимал температураларда бўшатилади.

Электр ўтказувчанлиги жиҳатидан бронзалар мисдан кейинда, лекин механикавий мустаҳкамлиги, эластиклиги, едирилишга қаршилиги ва коррозияга чидамлилиги жиҳатидан ундан устун туради. 12-жадвалда бронзалар билан миснинг асосий характеристикалари таққосланган.

12-жадвал

Бронзалар билан миснинг асосий характеристикалари

Материал	Ишлов бериш характери	Ўтказувчанлиги, %	Чўзилишдаги мустаҳкамлик чегараси, Н/м ²	Чўзилганда нисбий чўзилиши, %
Мис ўтказгич (99,95% СU)	юмшққ қаттиқ	100	(20-25)·10 ³	40
		98	(36-42)·10 ³	3
Фосфорли бронза (6-7% қалай, 0,15 фосфор)	юмшққ қаттиқ	15	(40-45)·10 ³	60
		10	(95-105)·10 ³	3
Бериллийли бронза (2% бериллий, 0,5% никель)	юмшққ қаттиқ	36	(70-79)·10 ³	20
		26	(160-175)·10 ³	9

Алюминий нисбатан яхши ўтказувчанлиги ва атмосфера коррозиясига чидамлилиги туфайли мисдан кейин иккинчи ўтказгич материал ҳисобланади. Алюминий зичлиги 2700 кг/ма бўлганлиги учун енгил металлар группасига киради, яъни у мисдан 3,3 марта енгил. Алюминий — суюқланиш температураси 658°С бўлган кумуш ранг оқ , металл, қаттиқлиги

кичик, чўзилишдаги механикавий мустаҳкамлиги нисбатан кам $(7,5—18) \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2$; бундан ташқари, алюминийнинг чизикли кенгайиш температура коэффициентини $(24 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^\circ\text{C})$ мисниқига нисбатан катта, бу эса алюминийнинг камчилигидир.

Ҳавода алюминий тезда юпқа оксид парда (Al_2O_3) билан қопланади, у алюминийни ҳаво кислороди таъсиридан сақлайди. Шу билан бирга бу парда анчагина электр қаршилигига эга бўлади. Шу сабабли яхши тозаланмаган алюминий симларнинг ўзаро туташган жойларида ўтиш қаршиликлари катта бўлиши мумкин.

Алюминий симларнинг бошқа металлларнинг симлари билан туташган жойлари ҳўлланганда гальваник жуфтлар ҳосил бўлиши мумкин. Бунда вужудга келадиган гальваник тоқлар алюминий симни емиради. Гальваник жуфтлар ҳосил бўлишининг олдини олиш учун туташиш жойлари намликдан яхши ҳимоя қилинади (масалан, лакланади). Алюминийнинг химиявий тозаллиги қанча юқори бўлса, у коррозияга шунча кўп қаршилик кўрсатади.

Ватанимиз саноати тозаллик даражаси турлича бўлган ўн уч маркада алюминий ўтказгич чиқаради. Ниҳоятда тоза алюминий маркаларида қўшимчалар (темир, кремний, рух, титан ва мис), кўпи билан 0,005% бўлади. Алюминийнинг бу турлариниларидан электролитик конденсаторларнинг электродлари, шунингдек, алюминий зарқоғоз (фольга) тайёрланади. Электр симлар таркибига кўпи билан 0,05% аралашма бўлган алюминийдан (АЕ маркали) тайёрланади. Диаметри 0,08 дан 10 мм гача бўлган юмшоқ (АМ), ярим қаттиқ (АПТ) ва қаттиқ (АТ) алюминий симлар ишлаб чиқарилади.

Юмшоқ алюминийдан тайёрланган буюмларнинг характеристикалари куйидагича бўлади: $\sigma_{\text{ч}}=(7,5—8) \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2$; $e_{\text{ч}}= 10—25\%$; $\rho=0,028 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$; ярим қаттиқ алюминийдан тайёрланган буюмларники: $\sigma_{\text{ч}}=(9,5—10) \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2$; $e_{\text{ч}}=3\%$; $\rho=0,0283 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$; қаттиқ алюминийдан тайёрланган буюмларники: $\sigma_{\text{ч}}=(10—18) \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2$; $e_{\text{ч}}= 0,5—2\%$; $\rho=0,0283 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$. Алюминийнинг барча маркалари учун солиштирма қаршиликнинг температура коэффициентини $0,00423 \text{ } 1/^\circ\text{C}$ га тенг деб қабул қилинади.

Алюминий симлар ва тоқ ўтказувчи деталларни бир-бири билан қайноқ ҳолда ёки совуқлайин пайвандлаш, шунингдек, кавшарлаш йўли билан бириктириш мумкин; лекин бунда махсус кавшар ва флюслар ишлатилади. Совуқлайин пайвандлаш иши махсус қурилмааларда бажарилади, бунда алюминий деталларнинг тозаланган сиртлари тахминан $10000-10^5 \text{ Н/м}^2$ босимда бир-бирига босилади. Бунда бириктирилаётган деталнинг кристаллари бирдан иккинчисига диффузияланади, натижада деталлар бир-бири билан яхши бирикади. Лист ҳолидаги алюминий экранлар учун кенг қўламда ишлатилади. Кумуш хона температурасида ҳавода оксидланмайдиган нодир металллар гуруҳига киради. Кумуш 200°C ва ундан юқори температурада тез оксидлана бошлайди. Барча нодир металллар каби кумуш ҳам жуда пластик металл, бу ҳол ундан зарқоғоз ва диаметри 10,01 мм ли симлар олишга имкон беради. Бундан ташқари, кумуш энг юқори ўтказувчанлиги билан ҳам ажралиб туради.

Кумуш ўтказгичнинг асосий характеристикалари куйидагича: зичлиги 10500 кг/м^3 ; суюқланиш температураси $960,5^\circ\text{C}$; $\text{ТКЛР}=19,3 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^\circ\text{C}$, яъни мисниқидан бир оз каттароқ; юмшоқ кумушдан ясалган буюмларники: $\sigma_{\text{ч}}=(15—18) \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2$; $e_{\text{ч}}=45—50\%$; $\rho=0,015 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$; қаттиқ кумушдан ясалган буюмларники: $\sigma_{\text{ч}}=(20—30) \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2$; $e_{\text{ч}}=4—6\%$; $\rho=0,0158 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$. ТҚ $\rho = 0,00369 \text{ } 1/^\circ\text{C}$.

Мис ва алюминийга нисбатан кумуш чекланган миқдорда ишлатилади; мис, никель ва кадмий билан ҳосил қилган қотишмалари кичикроқ тоқларга мўлжалланган реле ва бошқа асбобларнинг контактларида, шунингдек ПСр-10; ПСр-25 каби кавшарларда ишлатилади.

Вольфрам қийин суюқланадиган металллар группасига киради, электротехника саноатида электр контактлар учун ва электровакуум асбобларнинг (чўғланиш лампаларининг симлари, электродлар ва бошқалар) деталлари учун едиришга чидамли материал сифатида кенг қўламда ишлатилади.

Вольфрам — суюқланнш температураси жуда юқори ва ниҳоятда қаттиқ кулранг металл. Вольфрам куқун металлургия методи билан, яъни прессланган металл заррачаларини

қиздириб қовуштириш натижасида олинади. Бунинг учун вольфрам заррачаларидан (қукунларидан) пўлат пресс-қолипларда пресслаш йўли билан стерженлар олинади. Сўнгра улар 1300°C температурада бир-бирига қовуштирилади. Қиздириб қовуштирилган вольфрам стерженларда донадор тузилиш ҳали сақланиб қолади ва улар мўрт бўлади. Сўнгра вольфрам стерженлар 3000°C температурага қадар қиздирилади. Механикавий мустаҳкам металл олиш учун стерженлар кўп марта болғаланади ва чўзилади. бўлар орасида стерженлар қиздириб совитиб турилади. Бундай ишлов натижасида вольфрам толали тузилишга эга бўлади, бу эса вольфрамга катта механикавий мустаҳкамлик ва пластиклик бахш этади. Вольфрамдан диаметри 0,01 ммгача бўлган симлар тайёрланади. Вольфрам ҳавода 400°C ва ундан юқори температурада оксидлана бошлайди. Вольфрам деталлар вакуумда 2000°C гача бўлган температураларда ҳам ишлаши мумкин.

Вольфрамнинг асосий характеристикалари қуйидагича: зичлиги 19300 кг/м³; суюқланиш температураси 3380°C; юмшатирилган вольфрамдан тайёрланган буюмларда: $\sigma_{\text{ч}}=(5-8)\cdot 10^4$ Н/м²; $\rho=0,0503$ Ом·мм²/м; каттиқ вольфрамдан тайёрланган буюмларда: $\sigma_{\text{ч}}=18\cdot 10^5$ Н/м²; $\rho=0,0612$ Ом·мм²/м. Қаршиликнинг температура коэффиценти ТК $\rho=0,0048$ 1/°C.

3.2. Солишгирма қаршилиги катта бўлган ўтказгич материаллар*

Ўтказгич материалларнинг бу гуруҳи металлларнинг қотишмалари бўлиб, уларнинг солишгирма қаршилиги катта ва солишгирма қаршилигининг температура коэффиценти кийматлари кичик бўлади. Шу сабабли бу қотишмалардан электр қаршилиги амалда температурага боғлиқ бўлмаган термостабил резисторлар ва бошқа буюмлар тайёрлаш мумкин.

Тартибсиз структурали металлларнинг каттиқ эритмаларидан иборат қотишмалар юқорида айтиб ўтилган хоссаларга эга бўлади. Ўтказгич материалларнинг гуруҳига асосан—миснинг никель билан ҳосил қилган, манганин ва константан дейиладиган қотишмаларидир.

Манганин —84—86% мис, 2—3% никель ва 12—13% марганецдан иборат қотишма**. Манганиннинг ранги оч зарғалдоқ, зичлиги 8400 кг/м³, суюқланиш температураси 960°C; ТКЛР= $18\cdot 10^{-6}$ 1/°C.

Манганиндан ясалган юмшоқ буюмларнинг асосий характеристикалари:

$\sigma_{\text{ч}}=(45—55)\cdot 10^3$ Н/м²; $e_{\text{ч}}=10—25\%$; $\rho=0,42$ Ом·мм²/м; каттиқ буюмларники: $\sigma_{\text{ч}}=(55-58)\cdot 10^3$ Н/м²; $e_{\text{ч}}=5-9\%$; $\rho=0,47$ Ом·мм²/м; ТК $\rho=(2-6)\cdot 10^{-5}$ 1/°C.

Солишгирма электр қаршилигини 1,5·2 Ом·мм²/м га қадар ошириш учун манганин таркибига кўпроқ миқдорда марганец (60—67%) ва никель (16—30%) қўшиб, мис миқдори камайтирилади.

*Бу материаллар электр қаршилиги юқори бўлган қотишмалар дейилади.

** Манганиннинг баъзи хилларига кобальт ҳам қўшилади.

Манганин буюмларнинг афзаллиги шундаки, уларнинг электр қаршилиги температурага жуда кам боғлиқ бўлади. Бошқа афзаллиги мис билан контактда термо э. ю. к. нинг жуда кичиклигидир (0,9—1 мкВ/°C).

Манганин буюмларнинг электрик характеристикаларини стабиллаштириш учун вакуумда 400°C да қиздирилади ва кейин хона температурасида узоқ вақт сақлаб турилади. Бундай ишлов бериш натижасида қотишманинг бир жинслилиги ортади ва унинг хоссалари стабиллашади. Манганиннинг стабиллашган турлариниларидан тайёрланган буюмлар учун йўл қўйиладиган энг юқори температура 200°C, стабиллашмаганларидан тайёрланганлари учун эса 60—80°C. Бу температуралардан юқорида манганин буюмларнинг хоссаларида қайтмас ўзгаришлар содир бўлади.

Манганиндан диаметри 0,02—6 мм ли юмшоқ ва каттиқ ҳолида тортиладиган симлар ҳамда қалинлиги 0,08 мм гача ва эни 270 мм гача бўлган ленталар тайёрланади. Бундан ташқари, манганиндан эмаль изоляцияли табиий ипақдан қилинган изоляцияли, шунингдек,

эмаль ва бир қават табиий ипак билан изоляцияланган чулғам симлари тайёрланади. Манганин буюмлар юқори классли резисторлар ва потенциометрлар ишлаб чиқаришда ишлатилади.

Константан — 58—60% мис, 32—40% никель ва 1—2% марганецдан таркиб топган қотишма. Константаннинг ранги қумушранг сариқ зичлиги 8900 кг/м^3 ; суоқланиш температураси 1260°C , $\text{TKLP} = 14 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$.

Константан буюмларнинг (симларнинг) асосий характеристикалари: юмшоғи $\sigma_{\text{ч}}=(40—50) \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2$; $e_{\text{ч}}=40—50\%$; $\rho=0,48 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$; қаттиқ ҳолда чўзилганини: $\sigma_{\text{ч}}=(65—72) \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2$; $e_{\text{ч}}=2-5\%$; $\rho=0,46-0,52 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$. Константандан тайёрланган буюмларнинг солиштирма қаршилик температура коэффициентини: $(0—2) \cdot 10^{-5} \text{ 1/}^\circ\text{C}$, яъни константан кўпчилик таркибларининг температураси ўзгариши билан электр қаршилиги ўзгармайди.

Константан юмшоқ ва қаттиқ буюмлар: диаметри 0,03 дан 5 мм гача бўлган симлар ва қалинлиги 0,1 мм гача бўлган лента тайёрланади. Изоляцияланган константан сим мис сим билан биргаликда термопаралар тайёрлаш учун ишлатилади. Константан буюмлар (сим, ленталар) дан 450°C дан юқори бўлмаган температураларда фойдаланиш мумкин.

3.3. Оловбардош ўтказгич материаллар

Оловбардош ўтказгич материаллар жумласига никель, хром каби баъзи компонентлар асосида олинган қотишмалар киради. Бу қотишмаларнинг оловбардошлиги, яъни юқори температураларда оксидланмаслиги уларнинг сиртида зичлиги катта бўлган оксид парда ҳосил бўлиши туфайлидир; бу парда қотишмага кислородни киритмайди. Оловбардош оксид пардаларнинг асоси хром (Ш)-оксид Cr_2O_3 ва никель (II)-оксид NiO дан иборат бўлиб, улар юқори температураларда қотишма сиртидан буғланиб кетмайди. Никель, хром ва алюминий асосида олинган оловбардош ўтказгич материаллар тегишлича нихромлар, фехраллар ва хромаллар дейилади. Уларнинг ҳаммаси металлларнинг тартибсиз структурали қаттиқ эритмаларидан иборат, шу сабабли бу қотишмаларнинг солиштирма қаршилиги катта ва қаршилик температура коэффициентининг қийматлари кичик бўлади.

Қотишмаларнинг маркаларида қотишмаларнинг асосий қисмлари ҳарфлар билан белгиланади: хром (Х), никель (Н), алюминий (Ю) ва титан (Т). Ҳарфдан кейинги рақам шу металлнинг қотишмадаги ўртача миқдорини кўрсатади. Масалан, $\text{Х}_2\text{ОН8О}$ маркали нихром массасининг 20% ни хром ва 80% ни никель ташкил қилади.

15-жадвалда турмушда кўп ишлатиладиган баъзи оловбардош қотишмаларнинг таркиби ва асосий характеристикалари келтирилган. 15-жадвалда кўрсатилган асосий компонентлардан ташқари оловбардош қотишмалар таркибига аралашмалар (0,06—0,15% углерод, 0,5—0,35% фосфор ва 0,03% олтингугурт) ҳам киради, улар шу қотишмалардан тайёрланган сим ва ленталарнинг маълум даражада мўртлигига сабаб бўлади. Ҳар қандай ўтказгич қотишма ишлаб чиқаришда ҳам аралашмаларнинг миқдорини минимумга келтиришга ҳаракат қилинади.

Оловбардош қотишмалардан тайёрланган буюмлар (сим ленталар) асосан электр қиздириш асбоблари, реостатлар ва резисторларда ишлатилади.

3.4. Металлокерамик материаллар ва буюмлар

Металл куқунларидан пресслаш ва сўнгра юқори температурада (1000—1400°С) қовуштириш йўли билан олинадиган материаллар металлокерамик материаллар дейилади. Бошланғич куқунсимон массалар икки ва ундан ортиқ металлларнинг куқунларидан ибораг бўлиб, бу металллардан бирининг суёқланиш температураси бошқа металл куқунлариникига нисбатан анча юқори бўлиши керак. Юқори температурада ишлов берилганда, яъни куқунсимон массаларни қовуштириб буюмлар олинганда осон суёқланувчан куқунлар суёқланиб, қийин суёқланувчан металл заррачалари орасидаги ғовакларни тўлдиради. Натижада яхлит металлокерамик буюмлар олинади. Аксинча, ғовак металлокерамик буюмлар, масалан подшипниклар, филтрлар ва бошқалар олиш лозим бўлса, бунинг учун тахминан бир хил температурада суёқланадиган металл куқунларининг заррачаларни қаттиқ фазада қовуштириш усули қўлланилади. Баъзан металл куқунларидан иборат бошланғич массага металлмас, масалан графит куқуни қўшилади. Бундай массалар электр машиналари учун металлографит чўткалар*, электр контактлари ва бошқа деталлар тайёрлаш учун ишлатилади. Прессланган куқунсимон массалардан уларнинг заррачаларини юқори температураларда қовуштириш йўли билан буюмлар

13-жадвал

Қотиш ма маркас и	Қотиш ма типи	Таркиби , % масс					Солишпирма Қаршилиги Ом мм ² /м	Қарши- ликнинг Темпе- ратура коэффи 1 ⁰ С	Йўл қўйила- диган Темпер- атура °С
		Хром	Никель-	Алюми ний	титан	те ми р			
X15 H60	Них - ром	15-18	55-61	—	—	—	1,02 - 1,15	12 10 ⁻⁵	950- 1000
X20 H80	—	20-23	77-80	—	—	—	1,02 - 1,2	10	1050- 1100
X20 H80 Т	—	19-23	75	—	0,4	Қо л- га ни	1,04 -1,17	9 10 ⁻⁵	1000- 1100
X20 H80 Т3	—	19-23	Қол- гани	—	2-29	2,5	1,08 - 1,36	9 10 ⁻⁵	1000- 1100
X13 Ю5	Фех -рал	12-15	0,6	3,5- 5,5	—	Қо л- га ни	1,2-1,3	15 10 ⁻⁵	850-950
0X2 3Ю 5	—	23-27	0,6	4,5- 6,5	—	—	1,3-1,5	5 10 ⁻⁵	1150- 1200

олишнинг юқорида баён қилинган усуллари куқун металлургиясига киради.

Куқун металлургиясининг методлари, қийин суёқланадиган металлларнинг қотишмаларидан ёки ниҳоятда тоза металлларнинг қотишмаларидан буюмлар олиш мумкин бўлмаган ҳолларда ёхуд металлларнинг металлмаслар билан қотишмаларидан буюмлар олиш зарур бўлган ҳолларда қўлланилади. Бундан ташқари, куқун

металлургиясининг методлари аниқ берилган ўлчамдаги, кейинчалик механикавий ишлов берилмайдиган буюмлар олишга имкон беради. Натижада металл чиқиндилари кўринишидаги исрофлар кескин камаяди. Электротехника саноатида қуқун металлургиясининг методлари электркўмир буюмлар магнит материалларнинг баъзи турлари ва жуда аниқ электр контактлар тайёрлаш учун кенг қўламда ишлатилади.

Кумуш, мис, вольфрам ва металлларнинг қотишмаларидан тайёрланган металл контактларга нисбатан металлкерамик контактлар едирилишга жуда чидамли, сиқувчи катта кучларга бардош бера олади ва эрозияга* чидамли бўлади. Паст кучланишга мўлжалланган электр аппаратларида кумуш ва кадмий оксид ($CdO \approx 15\%$) қуқунларн асосидаги металлокерамик материалдан тайёрланган контактлар кенг қўламда ишлатилади. Уларда металлокерамик буюмларга хос барча хусусиятлар бўлади. Бундан ташқари, улар тропик иқлим шароитида ишончли ишлаши мумкин.

Жуда аниқ, ёйни узувчи контактлар сифатида кумуш, вольфрам (40-50%) ва ннксль (2—3%) қуқунларидан тайёрланадиган металлокерамик буюмлар ишлатилади. Бундай металлокерамик буюмлар пластик бўлади ва уларга исталганча механикавий ишлов бериш мумкин.

Мис билан графит қуқунларидан тайёрланадиган металлокерамик контактлар катта тоқлар (30000—100000 А) узилганда пайвандланиб қолмаслиги билан фарқ қилади. Бунга сабаб мис ва графит (3—5%) қуқунларн асосида олинган металлокерамик материалнинг таркиби ва структурасигина эмас, балки материалда 10—15% ғовақларнинг ҳам борлигидир. Металлокерамик буюмлар ишлаб чиқаришда улардаги ғовақлар миқдорини кенг қўламда ўзгартириш мумкин. Кичикроқ тоқларга мўлжалланган металлокерамик контактларда ғовақлик 2—5% Дан ортмаслиги лозим. Бунга эришиш учун металлокерамик буюмлар қайтадан прессланади ва сўнгра қиздириб ишлов берилади — юмшатилади.

3.5. Электр-кўмир буюмлар

Электр-кўмир буюмлар жумласига электр машиналари учун чўтқалар, контакт деталлари, электр-ёритиш кўмирлари ва бошқалар киради.

Электр-кўмир буюмлар углеродли материаллар: графит, кокс, қурум, антрацит аралашмасидан қуқун технологияси методлари билап тайёрланади. Баъзи электр-кўмир буюмларнинг бошланғич таркибига металл қуқунлар (мис, кўрғошин, қалай ва бошқа металлларнинг қуқунлари) ҳам қўшилади. Бундан ташқари, электр-кўмир

*Эрозия — контакт сиртининг электр учқун ва ёйлар таъсиридан емирилиши, буюмлар ишлаб чиқаришда боғловчи моддалар — тош-кўмир смоласи ва синтетик смолалар: бакелит, кремнийорганик ва бошқа смолалар ҳам ишлатилади. Графит ва қурумдан бошқа барча углеродли материаллар улардан учувчан моддаларни чиқариб юбориш аа электр-кўмир буюмларнинг хажмий қисқаришини камайтириш учун 1200—1300°C температурада қиздирилади. Қиздирилган углеродли материаллар майдалагичларда қуқун ҳолига келгунча майдаланади. Муайян нисбатларда олинган бошланғич қуқунсимон материаллар (углеродли ва металл материаллар) бир-бири билан яхшилаб аралаштирилади. Сўнгра аралашмага боғловчи моддалар (смола, қатрон) қўшилади, уларни 110—230°C да махсус қорғичлар орқали ўтказиб, қуқунсимон материаллар билан қориштирилади.

Қориштирилгандан кейин олинган бошланғич электр-кўмир масса қуритилади, сўнгра майдаланади ва элакдан ўтказилади. Бунинг натижасида прессланадиган қуқун (пресс-қуқун) олинади. Ундан пўлат пресс-қолипларда пресшлаш йўли билан турли хил электр-кўмир буюмлар ва блоқлар тайёрланади; тайёрланган нарсалардан эса аралаш ва силлиқлаш йўли билан электр чўтқалар ва бошқа буюмлар олинади. Электр-кўмир буюмлар хона температурасида ёки 180—210°C да (қандай боғловчи ишлатилганига қараб) прессланади. Юқори температураларда юмшайдиган ёки полимерланадиган боғловчи ишлатилганда электр-кўмир буюмлар юқори температураларда прессланади. Электр-кўмир буюмлар 100 дан 300 МПа гача босимда прессланади. Узунлиги катта

бўлган буюмлар (электр-ёритгич кўмирлар ва бошқалар) қиздирилган бошланғич пластик массани винтсимон прессинг пўлат мундштуги орқали сиқиб чиқариш усули билан тайёрланади. Сўнгра олинган электр-кўмир буюмларга ёки уларнинг блокларга юқори температурада ишлов берилади, яъни махсус печларда хона температураси билан 1200—1300°C оралиғида пиширилади. Пишириш жараёнида моддалар ковушади — бошланғич материалларнинг заррачалари ўзаро бирикади ва улар боғловчи органик моддалардан ҳосил бўлган кокс билан цементитланади.

Пишириш натижасида электр-кўмир буюмлар механикавий мустаҳкам бўлиб қолади ва уларга механикавий ишлов бериш мумкин бўлади. Бунда уларнинг солишгирма электр қаршилиги қамаяди. Таркибида қурум, кокс ва бошқа графитмас компонентлар бор электр-кўмир буюмларга пиширилгандан кейин яна термик ишлов берилади (2400—2800°C да), бу процесс графитлаш дейилади. Бунда буюмлардаги графитмас компонентлар графитга айланади, аралашмаларнинг кўпчилиги эса буғланиб кетади. Графитлаш натижасида электр чўткалар (ЭГ группасидаги) қисман юмшоқ бўлиб қолади, ишқаланиш коэффициенти қамаяди ва уларнинг солишгирма электр қаршилиги кескин пасаяди.

Графитлангандан ва механикавий ишлов берилгандан (қирқиш, силлиқлаш) кейин электр-кўмир буюмлар анчагина ғовак (30% гача) бўлиб қолади. Шу сабабли уларга лаклар ва мумсимон моддалар, баъзи ҳолларда эса суюқлаштирилган металллар (қалай, кўрғошин ва бошқалар) шимдирилади. Электр-кўмир буюмларга моддалар 80—200°C ва ундан юқори температураларда, яъни шимдириладиган модда суюқ ҳолатда бўладиган температураларда шимдирилади. Электр-кўмир буюмларга моддалар шимдиришдан мақсад улардаги ғовакликни йўқотиш, гигроскопиклигини камайтиришдан, баъзан эса уларга мойловчи моддалар (мумсимон) киритишда иборат. Электр-кўмир буюмларга металллар шимдириш уларнинг механикавий мустаҳкамлигини кескин кўпайтиради ва ўтказувчанлигини оширади.

Электр-кўмир буюмлар (электр чўтка ва бошқалар)га узил-кесил шакл бериш ва сиртини тозалаш учун уларга механикавий ишлов берилади. Электр чўткалар ва бошқа буюмларнинг заготовкालари (блоклар) махсус станокларда фрез ёки юпка карборунд чархлар ёрдамида майда қисмларга кесилади. Сўнгра буюмларда эгилувчан бириктириш симлари учун тешиklar очилади.

Механикавий ишлов берилгандан кейин электр чўткалар ва ёритиш кўмирларининг баъзи типлари мис билан қопланади. Бунинг учун улар сиртининг бир қисми электр чўтка билан электр машинанинг чўтка тутқичи орасида яхши электр контакт вужудга келтириш мақсадида юпка мис қатлами билан қопланади. Буюмларга мис гальваника усулида қопланади. Буюмларда ҳам бўлган мис қатламининг қалинлиги 10—15 мкм бўлади. Эгилувчан (кўптолал) симлар электр чўткага **развальцовка**, кавшарлаш ёки пресшлаш усулида маҳкамланади. Тайёр электр чўткаларнинг ўлчамлари, қаттиқлиги, механикавий мустаҳкамлиги, солишгирма электр қаршилиги, чўтка билан коллектор орасида кучланишнинг пасайиши, ишқаланиш коэффициенти, ток келадиган сим билан электр чўтка орасидаги ўтувчи қаршилик ва бошқа характеристикалари текшириб кўрилади.

Электр-кўмир буюмлар орасида электр машиналар учун ишлатиладиган чўткалар ва контакт деталлар энг кўп тарқалган. Чўткаларнинг қуйидаги турлари бор: графит, кўмир-графит, металл-графит ва электр-графитланган чўткалар*.

Графит чўткалар табиий графитдан тайёрланади. Улар юмшоқлиги билан ажралиб туради, ишлаганида шовқин чиқармайди ва 25 дан 70 м/сек гача айланма тезликларда ишлатилади. Уларнинг солишгирма электр қаршилиги 10—45 Ом·мм²/м.

Кўмир-графит чўткалар графит, қурум, кокс ва боғловчи смолалардан тайёрланади. Бу чўткалар ниҳоятда қаттиқ механикавий мустаҳкам ва **абразив** бўлади. Улар электр машиналарнинг коллекторларида ва ҳалқаларидаги оксид пардаларни тозалаш мумкин. Чўткалар 15 дан 25 м/сек гача айланма тезликларда ишлатилади. Уларнинг солишгирма қаршилиги 40—60 Ом·мм²/м.

Металл-графит чўткалар графит билан мис қукунларидан тайёрланади, баъзиларига эса қалай ва қумуш қукунлари ҳам қўшилади. Бу чўткаларнинг солишпирма электр қаршилиги кичик бўлади: 0,03—0,30 Ом·мм²/м; таркибида мис кам бўлган чўткаларнинг солишпирма қаршилиги 5—12 Ом·мм²/м. Бу чўткалар 20—35 м/сек айланма тезликларда ишлатилади.

Электр-графитланган чўткалар графит, кокс, қурум ва боғловчи смолалардан тайёрланади. Пресслангандан ва печларда пиширилгандан кейин чўткалар графитлаш учун 2500°С ли электр печларга киритилади. Бунда чўткаларнинг таркиби графитга бойийди, натижада чўткаларнинг механикавий мустаҳкамлиги ортади ва улардан Эо—90 м/сек га тенг катта айланма тезликларда фойдаланиш имконияти туғилади. Коммутация шароитлари оғир бўлган электр машиналар учун ишлатилади.

Электр-қўмир электродлар электр ёйга бардошлиги билан ажралиб туради, улар жуда секин оксидланади, ёнмайди ва 3800°С гача суюқланмайди. Қатта қувватда электр [агшаратларида](#) кенг қўламда ишлатилади.

Электровозлар, троллейбуслар ва ток оладиган бошқа қурилмаалар учун контакт деталлар электр-қўмир ва мисграфит массалардан тайёрланади, тайёр бундай буюмларнинг солишпирма қаршилиги жуда кам, 0,02—0,05 Ом·мм²/м га тенг.

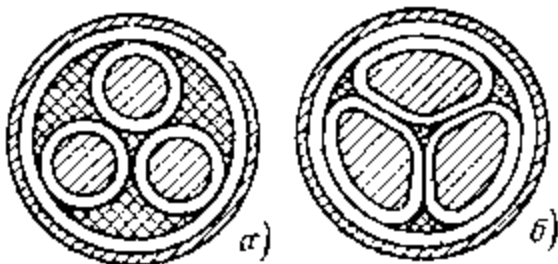
IV-БОБ. Кабел маҳсулотлари. Чўлғам симлари. Монтаж учун симлар ва кабеллар.

4.1. Кабел маҳсулотлари.

Бир ёки бир неча изоляцияланган ва одатда, металл ёки нометалл қобикли ҳамда бу қобик устидан ишлатиш шарт шароитига қараб, ҳимоя қобиғи ўралган симга кабел дейилади.

Вазифасига кўра кабеллар бир неча хилларга бўлинади. Шулардан бири куч кабеллари. Улар ўз симларидан электр энергиясини ўтказиб, истеъмолчининг энергияга бўлган эҳтиёжини қондиришга хизмат қилади. Кўндаланг кесими катта. Изоляцияси мураккаб. Назорат кабелларининг вазифаси – турли қурилмааларни бошқарув ва назорат тоқларини ўтказиш учун мўлжалланган. Кўндаланг кесими, одатда, 1.0; 1.5; 2.0 мм². Изоляцияси содда ва арзон. Конструкцияси яхлит толалар, ҳар бир тола изоляцияси ва умумий изоляциядан ташкил топган.

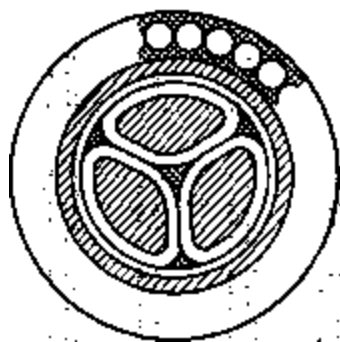
Радиочастотали кабеллар. Уларнинг таркиби шундайки, асосий, сигнал ташувчи толанинг атрофида ҳажмли қатлам-қатлам ёки яхлит изоляция, унинг атрофида эса экранловчи ўтказувчан қобик, экраннинг устидан яна бир қават изоляция жойлашган бўлади. (26-расм) Радио частотали кабеллар бир толали, икки толали ва кўп толали бўлиши мумкин. Бундан ташқари, ҳаракатланувчи объектларни (кранлар, электр қурилмаалар) таъминлаш учун юмшоқ толали кабеллар ҳам кенг тарқалган. Қуйидаги суратларда бу кабелнинг тузилишлари келтирилган. Юқори кучланишли кабелларнинг тузилиши мураккаб. Уларнинг нархи ҳам анча қиммат. Чунки изоляцияси ўта пухта, катта кучланишларга чидамли бўлиши керак. Кабел изоляцияси нафақат ишчи кучланиш, балки коммутация ва атмосфера ўта кучланишларига бардош бера олиши талаб қилинади. Масалан, 6 кВ га мўлжалланган кабел ишга туширилишидан олдин у 36 кВ кучланиш таъсирида синовдан ўтказилади.



26-расм. Уч толали куч кабелнинг кўндаланг кесими. (а) доира юзали толалар; (б) сектор юзали толалар

27-расмда кабел тузилишини қарасак, у толалардан ташқари тола устидаги изоляция, (фазавий изоляция), фазалар орасини тўлдирувчи изоляцион материал, уларнинг устидан ҳимоя вазифасини бажарувчи алюминий ёки қўрғош қобик ва, ниҳоят, устки изоляцион қобикларни кузатиш мумкин.

Тола устидаги изоляция сифатида юқори (6...10кВ) кучланишли кабелларда, асосан, электротехник картондан яратилган қатламлар ишлатилади.

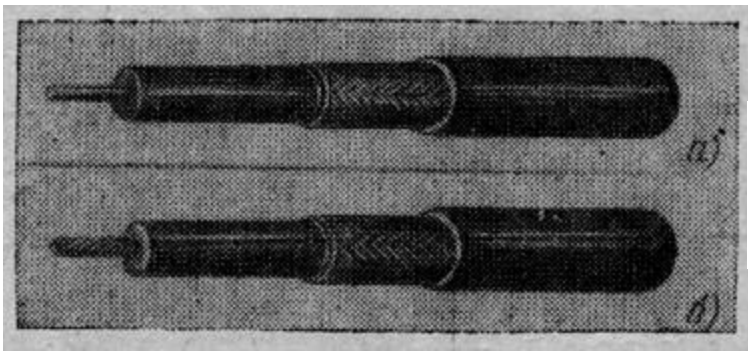


27-расм. Броня қатлами билан ҳимояланган юқори кучланишли кабел.

Ишлатиш шароитига қараб, кабелнинг сиртки изоляцияси устидан пўлат броня қатлами бажарилган бўлиши мумкин. Бу броня юпқа қатлам ленталардан ёки доира юзали пўлат симлардан тузилган. Охириги кабелнинг конструкцияси 28-расмда келтирилган.

Тўрт симли кабеллар 1 кВ учун 10... 185 мм² юзали қилиб бажарилади. Тўртинчи сим ерга улаш ва ноллаш вазифасини бажаради. Симлар ораси сульфатли қоғоздан тайёрланган жгутлар билан тўлдирилади. Кабелнинг юзасининг қийматига қараб, фазанинг сими турлича шакл ва тузилишга эга бўлади. Улардан баъзилари 29-30-расмда келтирилган.

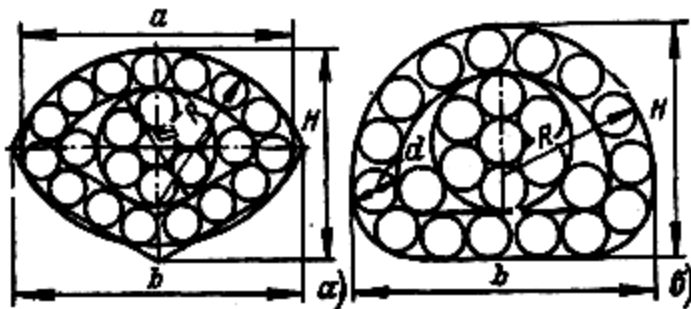
Уч симли кабеллар ўзгарувчан 1,3,6,10 кВ кучланишлар учун 6... 240 мм² юзали қилиб чиқарилади. 6...16 мм² симлар айлана юзали, 25 мм² ва ундан юқори юзалилари секторли қилиб бажарилади. Симларнинг қоғоз изоляциялари ёғ-канифоль таркиб билан шимдирилади.



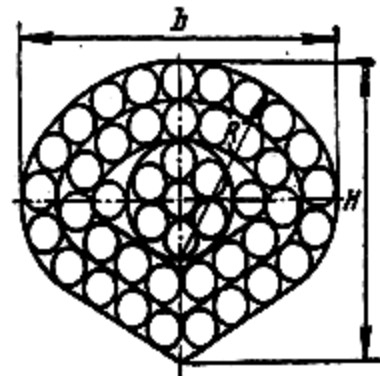
28-расм. Яхлит полиэтилен изоляцияли юкори частотали коаксиал кабеллар. (а – бир толали, б – кўп толали, в - кувватли)



Босим остида турувчи ёғ билан тўлдирилган кабеллар ўта масъулиятли ва ҳаво линияларини ишлатишнинг иложи бўлмаган ҳолларда 35, 110, 220 кВ кучланишларда фойдаланилади. Бунда ёғнинг босими 6 кг/см² гача етади.



29-расм. Куч кабелларининг секторли (а) ва сегментли (б) ток ўтказувчи симлари конструкциялари (70...120 мм² юзалар учун. Толалар ҳали зичлантирилмаган).



30-расм. Куч кабелларининг секторли ток ўтказувчи симлари конструкциялари (150...240 мм² юзалар учун. Толалар ҳали зичлантирилмаган).

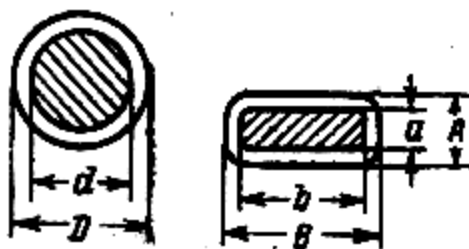
4.2. Очиқ (изоляцияланмаган) симлар.

Очиқ симлар ҳам электр энергетикасида кўп қўлланилади. Улар электр энергиясини ҳаво линиялари орқали узатишга мўлжалланган. Алюминий ва пўлат-алюминий материалдан тайёрланади. Эшилган алюминий толалардан тузилган симлар маркаси А билан белгиланади.

А маркали симларнинг қўндаланг кесими 16...800 мм² гача бўлади. Пўлат-алюминийли симлар АС деб маркаланади. Уларнинг конструкциясида марказий сим эшилган пўлат толалар, унинг атрофида эса, эшилган алюминий толалар бўлади. Пўлат симнинг вазифаси – умумий симнинг мустаҳкамлигини ошириш. АС маркали симларнинг қўндаланг юзаси 10...800 мм² гача бўлади. Бу симларнинг конструкцияси 6-расмда келтирилган.

4.3. Чўлғам симлари

Чўлғам симлари эмалли, толали (ипак ёки пахта), қоғоз ёки изоляцияга эга бўлиб, алюминий ёки мисдан тайёрланади. Алюминийли эмалли чўлғам симлари куйдирилмаган алюминий толадан (ПЭВАТ) қилинади. Бу симларнинг номинал диаметрлари 0,105...2,55 мм гача бўлади (эмалнинг қалинлиги ҳам ҳисобга олинган). Масалан, АПБ маркали алюминийли чўлғам сими қоғозли, АПБД маркали алюминийли чўлғам сими икки қатламли пахта асосли, ЛЭВ маркали мис чўлғам сими эмалли эшилган симлар бўлиб, умумий изоляцияси – поливинилацетат. ЛЭЛД - икки қатламли лавсан толали ўрамга эга.

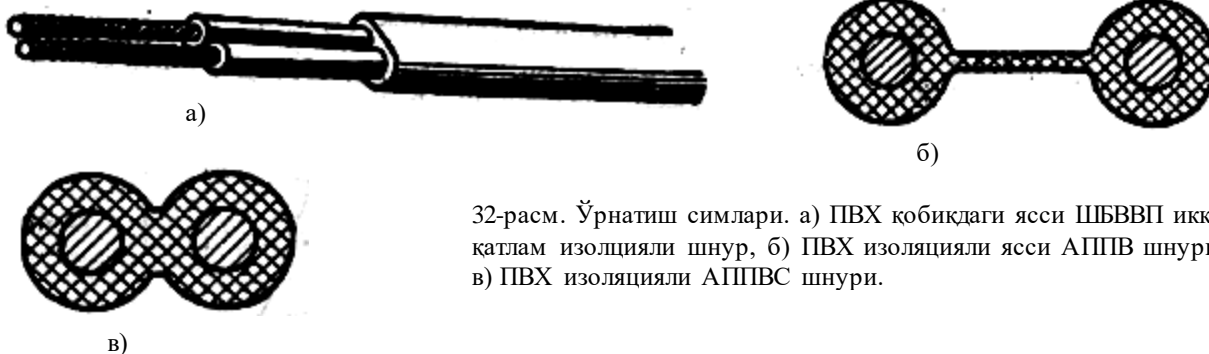


31-расм. Чўлғам симларининг схемалари. d, D – толанинг ва симнинг диаметрлари. a, b – толанинг ўлчамлари. A, B – симнинг ўлчамлари

Чўлғам симлари электр машиналари, трансформаторлар, коммутация аппаратларининг чўлғамларини тайёрлаш учун ишлатилади. Диаметрлари 0,105 дан 26,8 мм гача бўлади.

4.4. Ўрнатиш симлари

Резина, малястмасса ва бошқа изоляцияли ўрнатиш симлари куч ва ёритиш тармоқларида қўзғалмас ҳолда электр энергиясини тарқатиш учун хизмат қилади. Очiq ҳавода, хона ичида ва шувоқ тагида жойлаштиришга мўлжалланган. Симлар бир, икки, уч, тўрт ва кўп толали қилиб, 220, 380, 660 ва 3000 В га мис ва алюминийдан тайёрланади. Кўндаланг кесими 0,5 дан 120 мм² гача чиқарилади. Изоляцияси пластмасса (полихлорвинил), резина, фторпласт, фторсилаксан ва шу каби материаллардан тайёрланади. Ҳозирги пайтда энг кўп тарқалган АПВ ва ПВ маркали симлар алюминий ва мис ўтказгич толаларга поливинилхлорид (ПВХ) изоляция қопланган ҳолда чиқарилади. Резинали (маслан, ПРГ) изоляцияга эга симлар 65 °С, ПВХ (масалан, АПВ, ПВ, АППВ, ППВ) изоляциялилари 70 °С, бўтилкаучук асосидаги резина изоляциялиси 85 °С, кремний органик ва фторкремнийорганик (масалан, ПАЛ, РКГМ, ПВКФ) изоляцияли симлар 180°Сга чидайди қилиб чиқарилади. Барча ўрнатиш симлари минус 15 °С дан юқори температурада монтаж қилиш рухсат этилади. Монтаж жараёнида симларнинг эгиш мумкин радиусларига амал қилиш зарур.



32-расм. Ўрнатиш симлари. а) ПВХ қобикдаги ясси ШБВВП икки қатлам изоляцияли шнур, б) ПВХ изоляцияли ясси АППВ шнури, в) ПВХ изоляцияли АППВС шнури.

32-

расмда ўрнатиш симларининг схемаларидан намуналар келтирилган.

Металл ўтказгич материалларининг электр ўтказувчанлиги юқори, етарли даражада механик мустаҳкам ва шунингдек, ингичка сим, тасма ва фольга шаклида олиш учун етарлича пластикликка эга бўлиши ҳамда ҳаво таркибидаги кислороднинг оксидлаш таъсирига чидамли бўлиши керак.

Металл ўтказгич материаллар поликристалл тузилишга эга бўлган моддалардан иборат, яъни улар кўплаб майда кристаллардан ташкил топган. Металл ўтказгич материалларнинг кўпчилиги юқори электр ўтказувчанликка ($\rho = 0,0150 \div 0,0283$ мкОм · м) эга. Булар, одатда чўлғамлар ва радиомонтаж симлари ва кабелларнинг симлари учун ишлатиладиган соф металллардан иборат.

Шу билан бир каторда радиоэлектроникада электр қаршилиги катта бўлган ўтказгичлар – турли металлларнинг қотишмалари қўлланилади. Металл (резистор) қотишмаларида $\rho = 0,4 \div 2,0 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$. Бу қотишмалар солишгирма қаршилик температура коэффиценти (ТКр) кичик бўлган металл материаллари гуруҳини ташкил этади ва кичик ҳажмда катта электр қаршилиқни ҳосил қилиш жалб этиладиган резисторларда ва бошқа радиокомпонентларда қўлланилади.

Металл ўтказгичларнинг электр қаршилиги температура кўтарилган сари орта боради. Бунга сабаб шуки, температура кутарилиши билан ўтказгич ичидаги атомларнинг иссиқлик тебранишлари сурати ошади. Бунда ўтказгичда кўчаётган электронлар атомлар билан тез-тез тўқнаша бошлайди, шунингдек, улар иссиқликдан сочила бошлайди.

Ўтказгич материалларнинг яроқчилигини баҳолаш учун солишгирма электр қаршилик ва температура коэффицентида ташқари, уларнинг механик характеристикаларини ҳам билиш зарур.

Ўтказгичларнинг механик мустаҳкамлигини белгиловчи асосий характеристика чузилишидаги бузилиш кучланиши (δ_6) бўлса, металл ўтказгичларнинг пластиклигини белгиловчи характеристика – унинг чузилишидаги нисбий узайиши (l_r) бўлади. Равшанки, металлнинг пластиклиги канча юқори бўлса, унинг чузилишидаги нисбий узайиши шунча катта бўлади.

Эластик деформация металлнинг солишгирма электр қаршилигини сезиларли ўзгартирилмайди, пластик деформация (прокат қилиш, бураш) эса унинг солишгирма электр қаршилигининг ортишига олиб келади. Деформацияланган ўтказгич металлнинг солишгирма қаршилигини дастлабки қийматига келтириш учун уни рекристаллаш керак. Пластик деформацияланган металлни рекристаллаш жараёни уни маълум температурада, кислород, бермасдан маълум вақт давомида ушлаб туриш (металлни юмшатиш) йўли билан амалга оширилади. Масалан, мис сим унинг диаметри ва тасма қалинлигига боғлиқ равишда $450-650^\circ\text{C}$ да юмшатилади. Юмшатиш жараёнида берилган иссиқлик энергияси металл кристалларнинг ўсишига ва уларнинг дастлабки тўғри шаклига қайтишларига сабаб бўлади.

Металлда эриган аралашмалар унинг солишгирма қаршилигини орттиради, демак, унинг электр ўтказувчанлигини камайтиради. Солишгирма қаршилиги кичик бўлган ўтказгичларни ҳосил қилиш учун уларни олтингугуртдан, фосфордан, азотдан, кислород ва бошқа аралашмалардан яхшилаб тозалаш лозим. Шунинг учун солишгирма қаршилиги кичик бўлган металл ўтказгичларда аралашмалар миқдори фоизнинг юздан бир неча улуши ҳисобида бўлади.

Ўтказгичларнинг солишгирма электр қаршилигини ошириш учун бир неча металл аралашмасидан фойдаланилади. Структураси тартибсиз бўлган қаттиқ эритмалардан ташкил топган қотишмаларнинг солишгирма қаршилиги юқори ва температуравий солишгирма қаршилик коэффиценти (ТКр) кичик қийматга эга бўлиши аниқланган. Кристалл панжарасида металл атомлари номунтазам тартибда жойлашган қотишмалар тартибсиз структурали қотишмалар деб аталади. Пластиклиги юқори бўлган ҳамма металл ўтказгичлардан $0,001 \text{ мм}$ гача диаметрли симлар ва $0,05-0,1 \text{ мм}$ гача қалинликдаги ўтказгич тасмалар олиш мумкин.

Кўпчилик соф металллар ва қотишмалар температураси 200°C гача бўлган муҳитларда ишлатилиши мумкин. Бу температуралардан ортиб кетса, уларнинг сиртида ғовак оксид плёнка пайдо бўлади. Шу сабабли ҳаводаги кислород металл ичига кириб бориб, уни оксидлайди. Ҳозирги замон радиоэлектроникаси учун $800-1000^\circ\text{C}$ да ҳам кислород таъсирида оксидланмайдиган металл ўтказгичлар зарур.

Шу муносабат билан солишгирма электр қаршилиги катта бўлган қатор иссиқбардош металл ўтказгичлар материаллари ишлаб чиқилган.

4.5. Электроника ва электротехникада қўлланиладиган соф металллар ва қотишмалар

Электроника ва электротехникада соф ўтказгич материаллар сифатида асосан мис, алюминий, кумуш ва олтин, қотишмалардан – бронза, жез ва ковар ишлатилади.

Мис – асосий ўтказгич материал бўлиб, пластиклиги юқори, етарлича механик мустаҳкамликка ва юқори электр ўтказувчанликка эга. Электр ўтказувчанлиги жиҳатидан

кумушдан кейин иккинчи ўринда туради. Мис қизғиш – зарғалдоқ рангда ва суюқланиш температураси 1083°C. Миснинг температуравий кенгайиш коэффиценти КТР – $1,7 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$.

Ўтказгич сифатида ишлатиладиган мис электролитик ваннада (ўзгармас ток ёрдамида) куймани бошқа аралашмалардан тозалаш усули билан олинади. Мис ўтказгич нормал ҳаво атмосфераси шароитида коррозияга чидамлидир. Ҳавода пайдо бўладиган юпка CuO қатлами ўтказгични коррозиядан сақлашга ёрдам беради. Бу қатлам ҳаводаги кислородни мисга ўтказмай, ушлаб қолади.

Буюмлар (чулғам симлари, радиомонтаж симлари ва кабеллар) тайёрлаш учун MOO_к, MO_{ку}; MO_к; M_{1к} (катод миси) ва MOO_б; MO_б; M1_б (кислородсиз мис) маркалардаги соф мислар ишлатилади. Мис таркиби (кумуш билан) 99,99-99,90% ни ташкил этади. MOO_к ва MOO_б маркалиларда мис микдори энг кўп.

Металларда аралашмаларнинг бўлиши уларнинг электр ва механик хосаларига ёмон таъсир этади. Шунинг учун сим тайёрлашда барча аралашмалари 0,1% дан ортиқ бўлмаган мис турларидан фойдаланилади. Мис фольгаси (босма платалар учун) ва сирланган чулғам симлари тайёрлаш учун ўзининг пластиклиги ва юқори электр ўтказувчанлиги билан ажралиб турувчи кислородсиз мис маркаларидан фойдаланилади.

Ўтказгичлар тайёрлаш учун юмшоқ, куйдирилган (ММ маркали) ёки куйдирилмаган (МТ маркали) қаттиқ ҳолда чўзилган 0,01-10 мм диаметрли симлар олинади. Юмшоқ мисдан тайёрланган ўтказгичларда (20°C да): зичлик 8900 кг/м³; $\sigma_{\text{бўз}} = 200 \div 280$ МПа; $e_{\text{бўз}} = 6 \div 35\%$; $\rho = 0,0172 - 0,1724$ миОм · м; Қаттиқ мис учун: зичлик 8960 кг/м³; $\sigma_{\text{бўз}} = 380 - 450$ МПа; $e_{\text{бўз}} = 0,6 - 2\%$; $\rho = 0,0178 - 0,180$ миОм · м.

Кичик диаметрли симнинг чўзилишдаги бузилиш кучланиши ва солишгирма электр қаршилиги катта диаметрли симникдан кўпроқ. Жуда кичик 0,01 мм диаметрли юқори температураларда ишлатилиш учун мўлжалланган симларни ишлаб чиқаришда юқори даражада софлиги билан ажралиб турадиган (аралашмаларнинг умумий таркиби 0,01% дан кам) кислородсиз мис симлардан (М 006 маркали) фойдаланилади.

Барча марказдаги мислар учун солишгирма қаршилиқ температура коэффиценти ТК_р = 0,004 1/°C.

Бронза мис билан қалай (қалайли бронза), мис билан алюминий (алюминийли бронза), мис билан бериллий (бериллийли бронза) ва мис билан қотишма ҳосил қилувчи бошқа элементларнинг қотишмаларидан иборат. Бронза маркалари Бр (бронза) ҳарфлари билан бошланади, ундан кейин эса мазкур марказдаги бронза таркибида қандай элементлар ва қанча микдорда киритилганлигини кўрсатувчи ҳарфлар ва рақамлар ёзилади.

Баъзи бронза ва жезларнинг таркиби ва маркалари.

14-Жадвал

Маркаси	Элементлар микдори, %						
	Қалай	Фосфор	Бериллий	Алюминий	Никель	Мис	Рух
БрО10	10	-	-	-	-	колган	-
БрОФ6, 5-0,15	6-7	0,15	-	-	-	-//-	-
БрА7	-	-	-	6-8	-	-//-	-
БрБ2	-	-	2-2,2	-	0,2-0,5	-//-	-
Л62	-	-	-	-	-	60-63	40-37
Л80	-	-	-	-	-	79-81	21-19

Бронза яхши кавшарланади ва уни кесиш ҳамда босим остида ишлов бериш мумкин. Бронзадан ярим фабрикантлар – тасмалар, полоскалар, симлар, листлар ва найчалар тайёрланиб, улардан радиопаратураларда ишлатиладиган деталлар ва [штепселли](#) улагичларнинг контактлари, ток ўтказувчи пружиналар, эластик контактлар ишлатилади.

Бериллийли бронзадан ясалган деталларга термик ишлов берилади – бронза тобланади (қиздирилади ва тез совитилади). Тобланган бронза пластик ҳолга келиб, ундан турли эластик элементлар тайёрлаш имкони бўлади. Бериллийли бронзадан ясалган деталлар мустаҳкам

бўлиши учун юмшатилади – уни маълум температурагача қиздириб, секин-аста совиталади, алюминийли ва қалайли бронзадан эса хона температурасида пластик деформацияланади.

Бронза электр ўтказувчанлиги жиҳатидан мисдан кейинги ўринда туради, бироқ механик мустаҳкамлиги, эластиклиги, едирилишга чидамлилиги ва коррозиябардошлиги бўйича ундан устундир.

Жез мис билан рух (рухнинг миқдори масса бўйича кўпи билан 45%) қотишмасидан иборат. Пластиклиги юқори бўлган жез таркибида 30% ва ундан кам рух бўлади, жезнинг пластиклиги юқори бўлганлиги учун ундан иссиқ ва совуқ ҳолда прокат қилиш ва чўзиш усули билан листлар, **чивиклар**, тасмалар ва симлар тайёрлаш мумкин. Жез листлардан чуқур **штаповка** усули билан қопқоқчалар, ҳар хил шакли шайбалар ва ҳ.к. тайёрлаш мумкин. Бундан ташқари жездан электроаппаратуралар учун қисқичлар, кронтактлар ва қотирувчи деталлар тайёрланади. Жез мисдан арзон туради, шунинг учун электр ўтказувчанлик муҳим бўлмаган жойларда жездан тайёрланган деталлардан тайёрланади. Жез мисдан арзон туради, шунинг учун электр ўтказувчанлик муҳим бўлмаган жойларда жездан тайёрланган деталлардан фойдаланиш иқтисодий жиҳатдан қулайдир. Деформацияланган жез нам ҳавода мисга нисбатан коррозияга берилувчандир. Жез маркалари Л (латунь) ҳарфи билан бошланади. Шу ҳарфдан кейин мис ва бошқа компонентлар миқдорини кўрсатувчи ёзувлар ёзилади.

Жадвалда бронза, жез ва миснинг асосий характеристикалари келтирилган.

Бронза, жез ва миснинг асосий характеристикалари.

15-Жадвал

Материал	Ишлов тури	Ўтказувчанлиги %	Чўзилишдаги бузилиш кучланиши, МПа	Чўзгандаги нисбий узайиши, %
Ўтказгич мис (99,95% мис)	Юмшук Қаттиқ	100 88	200-250 360-420	40,3
Фосфорли бронза (6-7% калай, 0,15% фосфор)	Юмшук Қаттиқ	15 10	400-450 950-1050	60 3
Бериллий бронза (2% бериллий, 0,5% никель)	Юмшук Қаттиқ	36 26	700-790 1600-1750	20 9
Жез	Юмшук Қаттиқ	25 24	400 800	60 5

К о в а р – никель (массаси бўйича 28,7-29,2%), кобальт (17,3-18%) ва темир (қолган қисми) лар қотишмаси. Коварнинг ўзига хос хусусияти шундан иборатки, унинг КТР= $(4,3 \div 5,4) \cdot 10^{-6} 1^{\circ}\text{C}$ 20-200⁰С температура оралиғида шиша ва керамика (чини) нинг КТР ига яқин бўлади. Унинг бу хусусияти уни шиша ва чиннига герметик кавшарлаш имконини беради.

Коварнинг зичлиги 8350 кг/м³, суюқланиш температураси 1450⁰С, солишгирма электр билан яхши пайвандланади, пластик материал шу туфайли ундан диаметри 0,2-3 мм бўлган сим олиш, қалинлиги 0,1-2,5 мм ва кенглиги 70-250 мм бўлган тасма тайёрлаш мумкин. У интеграл схемалар (ИС) ва ярим ўтказгич асбобларнинг корпусларини тайёрлашда қўлланилади. Коррозиянинг олдини олиш мақсадида шаклдор буюмларнинг кичик қисмлари оптимал температурада куйдириб юмшатилади.

А л ю м и н и й - мисдан кейинги ўринда турадиган ўтказгич материалдир, чунки унинг электр ўтказувчанлиги нисбатан юқори ва атмосфера ҳавосида коррозиябардош ҳисобланади. У енгил металллар қаторига киради. Унинг зичлиги 2700 кг/м³, яъни у мисдан 3,3 марта енгилдир. Алюминий суюқланиш температураси 658⁰С бўлган кумушранг оқ металл – у ўзининг юмшоқлиги ва нисбатан кичик механик чўзилиш мустаҳкамлиги ($\delta_r = 80-180$ МПа) билан фарқ қилади. Бундан ташқари, алюминийнинг КТР си мисга нисбатан каттароқ КТР = $24 \cdot 10^{-6} 1^{\circ}\text{C}$. Бу хусусияти алюминийнинг камчилиги ҳисобланади.

Алюминий ҳавода алюминий оксидининг (Al₂O₃) юпқа пардаси билан тезда қопланиб қолади, бу парда ҳаводаги кислороднинг алюминийга кириб келишидан сақлайди. Шу билан бирга бу қатламнинг электр қаршилиги жуда катта бўлиб, алюминий симларнинг намдан ҳимояланмаган уланиш жойларида ўтиш қаршилигини ошириб юборади.

Алюминий сим билан бошқа турдаги металл ўтказгичларнинг уланиш жойларида намлик туфайли гальваник жуфтлар пайдо бўлади. Бунда маҳаллий гальваник тоқлар таъсирида алюминий сим емирилади. Гальваник жуфтлар ҳосил бўлишига йўл қўймаслик учун уланиш жойларига намлик ўтмайдиган қилиб ҳимояланади (масалан, лакланади). Алюминийнинг химиявий софлиги қанча юқори бўлса, унинг коррозияга қаршилиги шунча юқори бўлади.

Саноатда софлиги турли даражада бўлган ўн уч хил маркада алюминий ишлаб чиқаради. Алоҳида софликка эга бўлган алюминий маркаси таркибида аралашмалар (темир, кремний, рух, титан ва мис) 0,001 – 0,05% дан ортмайди. Алюминийнинг бу маркаларидан электролитик конденсаторларнинг электродлари, шунингдек алюминий фольгаси ишлаб чиқарилади. Алюминий симлари таркибида 0,315-0,5% аралашмалар бўлган алюминийдан тайёрланади. Алюминий симлари 0,008 – 8 мм гача диаметрларда ва чўзилиш мустаҳкамлиги билан фарқланувчи уч хил кўринишда: юмшоқ (АМ), ўртача қаттиқ (АПТ) ва қаттиқ (АТ) ишлаб чиқарилади.

Юмшоқ алюминийдан тайёрланган буюмлар учун: $\sigma_p \approx 80 \text{ МПа}$; $e_p = 10 - 25\%$; $\rho = 0,028 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$ ўртача қаттиқ алюминий учун, $\sigma_p \approx 100 \text{ МПа}$; $e_p = 3\%$; $\rho = 0,0282 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$; қаттиқ алюминий учун, $\sigma_p \approx 100 - 180 \text{ МПа}$; $e_p = 0,5 - 2\%$; $\rho = 0,283 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$. Алюминийнинг ҳамма маркалари учун ТК_p – солишгирма қаршилик температура коэффициентини $0,00423 \text{ } 1/^\circ\text{C}$ га тенг деб қабул қилинади.

Алюминий симларни бошқа ўтказгичлар билан иссиқ ёки совуқ пайвандлаш, шунингдек маҳсус кавшар ва флюслар ёрдамида кавшарлаш мумкин. Совуқ пайванд пайвандланувчи сиртлар бир-бирига $\approx 1000 \text{ МПа}$ босим остида тегиб турганда маҳсус қурилмаалар ёрдамида амалга оширилади. Алюминий листлари микросхемалар, **шассилар**, электродлар ва бошқаларнинг экранлари ва ғилофлари учун ишлатилади.

К у м у ш хона температурасидаги ҳавода оксидланмайдиган нодир металллар қаторига киради. Кумуш 200°C ва ундан юқори температурада тез оксидлана бошлайди. Кумуш зар ва $0,01 \text{ мм}$ гача диаметрли сим олишга имкон берувчи юқори пластиклиги билан ва жуда юқори электр ўтказувчанлиги билан ажралиб туради.

Кумушнинг асосий характеристикалари: зичлиги 10500 кг/м^3 ; суюқланиш температураси $960,5^\circ\text{C}$; юмшоқ кумуш $\sigma_p = 150 - 180 \text{ МПа}$; $e_{\text{буз}} = 45 - 50\%$; $\rho = 0,0150 \text{ мк Ом} \cdot \text{м}$; қаттиқ кумуш - $\sigma_p = 200 - \div 300 \text{ МПа}$; $e_p = 4 - 6\%$; $\rho = 0,0158 \text{ мк Ом} \cdot \text{м}$; $\text{ТК}_p = 0,003691/^\circ\text{C}$, $\text{КТР} = 19,3 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^\circ\text{C}$.

Кумушдан 250°C гача температураларда ишлатиладиган радиомонтаж мис симларига ҳимоя қатламлари қилинади. Электр ўтказувчанлик даражасини ошириш мақсадида тўлқин ўтказгичларнинг ички сиртига кумуш юритилади, шунингдек РЭА ларнинг ток ўтказувчи қисмларини кавшарлашда ишлатиладиган кавшарлар (ПС_p , Ю, $\text{ПС}_p 50$) таркибига ҳам кумуш кўшилади.

О л т и н кумушдан фарқли ўлароқ, юқори температураларда ҳам ҳавода оксидланмайди. Унинг пластиклиги жуда юқори бўлиб, ундан $0,005 \text{ мм}$ гача қалинликдаги зарқоғоз ва $0,01 \text{ мм}$ гача диаметрли ингичка сим олиш мумкин.

Олтиннинг асосий характеристикалари: зичлиги 1930 кг/м^3 ; су; юқланиш температураси 1063°C ; $\sigma_p = 140 - 160 \text{ МПа}$; $e_p = 40 - 55\%$; $\rho = 0,0224 \text{ мк Ом} \cdot \text{м}$; $\text{ТК}_p = 0,00381/^\circ\text{C}$; $\text{КТР} = 14,2 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^\circ\text{C}$.

Олтин микросхемаларда кичик тоқларни коммутациялашда юпқа плёнкасимон контакт қоплари учун ишлатилади, шунингдек тўлқин ўтказгичлар ва УЮЧ резонаторларнинг ички сиртларини қоплашда қўлланилади.

Х р о м кумушсимои кул ранг металл, у ҳавода хона температураси шароитида жуда секин оксидланади. Қандай усулда олинганлигига қараб хром икки хил кристалл тузилишда бўлади: ҳажми марказлашган куб ёки зич гексагонал кўринишда.

Хром қийин суюқланадиган металллар гуруҳига тааллуқлидир. Унинг суюқланиш температураси тузилиши ва таркибидаги аралашмалар миқдорига боғлиқ равишда $1800 - 1903^\circ\text{C}$ оралиғида бўлади. Хром вакуумда бундан пастроқ температурада (1200°C) буғланади. Унинг зичлиги 7180 кг/м^3 .

Хром шишага, ситаллга ва чинни (керамика) га яхши адгезияланадиган металл бўлгани учун ундан юпқа плёнкали микроэлектрон схемаларда тўшама қатлам сифатида кенг фойдаланилади. Хром қатламига вакуумда, электр ўтказувчанлиги юқори, аммо микросхемаларнинг тўшама диэлектрикларга яхши адгезияланадиган металл (кумуш, олтин, мис ва бошқа) чанглатилади.

Бундан ташқари, хром юпқа плёнкасимон резисторлар олиш учун кенг қўлланилади, чунки унинг солишгирма электр қаршилиги анча юқори $\rho = 0,25 - 0,30 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$ (монолит металл). Микросхемалардаги хром плёнкаси сирт қаршиликка эга: $R_i = 100 - 500 \text{ Ом} \square \square$

V БОБ. ЯРИМ ЎТКАЗГИЧ МАТЕРИАЛЛАР

5.1. Асосий хоссалари

Электр ўтказувчанлиги жиҳатидан ярим ўтказгичлар металл ўтказгичлар билан диэлектриклар ўртасидаги оралиқ ўринни эгаллайди. Масалан, ўтказгичларнинг солишгирма электр қаршилиги 10^{-6} — 10^{-4} Ом·см, ярим ўтказгичларники 10^{-4} — 10^{-9} Ом·см, диэлектрикларники эса 10^{-10} — 10^{-20} Ом·см га тенг. Барча металл ўтказгичларда температура кўтарилиши билан электр қаршилик ортади, ярим ўтказгичлар ва диэлектрикларда эса камаяди.

Ўтказгичларда жуда кўп микдорда эркин электронлар бўлиб, уларнинг бир томонга йўналган ҳаракати ўтказувчанлик токини ташкил этади, ярим ўтказгичларни фақат Кюри нуктасига* қадар сақлаб туради. Таркиби жиҳатдан турлича бўлган ферритларда Кюри температураси кенг чегарада: 45 дан 950°C гача ўзгаради. Доимий магнитлар тайёрлаш учун магнит қаттиқ ферритлардан фойдаланилади, улардан энг кўп ишлатиладигани барий ферритларидир $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$. Магнит юмшоқ ферритлардан фарқ қилиб, барий ферритлар кубсимон эмас, балки гексагонал кристалл структурали бўлади. Гексагонал кристалл структурада **коэрцитив** куч қатталиги сабабли барий ферритлар магнит қаттиқ бўлади. Барий ферритлар структураси жиҳатидан полли кристалл материаллар бўлиб, жуда кўп кристалл заррачалардан таркиб топган. Бунда кристалл заррачалар ихтиёрий ориентацияланган бўлади, бу эса ферритнинг хоссалари барча йўналишларда бир хил бўлишига олиб келади. Бундай ферритлар изотроп (БИ маркали) бўлади.

Агар магнитларни преслаш жараёнида кукунсимон массага кучланганлиги катта ($H \approx 800$ А/м) бўлган ташқи магнитавий майдон таъсир эттирилса, кристалл заррачалар бир йўналишда ориентацияланади. Бундай тайёрланган барийли магнитлар анизотроп (БА маркали) бўлади. Печларда пиширилган ва магнитланган тайёр ҳолдаги бу магнитлар магнитавий характеристикаларининг даражаси анча юқори бўлади (16-жадвал). Жадвалдан кўриниб турибдики, барийли, ферритлардан тайёрланган магнитларнинг солишгирма қаршилиги катта бўлади, бу эса уларни юқори частоталар соҳасида ишлатишга имкон беради. Яхшироқ фойдаланиш учун барийли магнитлар узунлиги кесимидан кичик бўладиган шаклда тайёрланади.

16-жадвал

Барийли ферритларнинг асосий характеристикалари**

Ферритнинг белгиси	Зичлиги, г/см ²	Коэрцитив куч, А/м	Қолдиқ индукция, Т	Солишгирма электр қарши-лиги, ом.м	Кюри температураси °С
1БИ1	4,5	(128-144)·10 ³	0,2-0,22	10 ³	450
2БА1	5,0	(185-232)·10 ³	0,3-0,35	10 ³	450

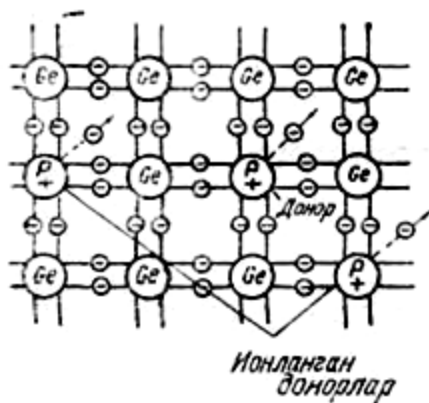
*Магнит материаллар ўзининг магнитавий хоссаларини сақлаб қоладиган чегаравий температура.

Барийли ферритлар характеристикаларининг барқарорлиги билан ажралиб туради, лекин температуранинг кескин ўзгаришларига сезгир бўлади. Улар осон топиладиган кукунсимон материаллардан (темир III)-оксид Fe_2O_3 ва барий карбонат BaCO_3 дан) керамика технологияси методлари билан тайёрланади. Барийли ферритлардан ясалган магнитлар темир-никель алюминий қотишмаларидан ва бошқа металл материаллардан ясалган магнитларга қараганда анча арзон бўлади.

Мўртлиги ва уларга фақат **шлифовка** йўли билангина ишлов бериш мумкинлиги барча ферритларнинг камчилигидир. Ферритлар магнитли ярим ўтказгичлар ҳисобланади, бинобарин, температура кўтарилиши билан уларнинг солишпирма қаршилиги камаяди, бу эса уярма тоқларга бўлган исрофларни оширади.

Ярим ўтказгичлар электр ўтказувчанлиги жиҳатидан металл ўтказгичлар билан диэлектриклар орасидаги оралиқ ўринда туради. Масалан, металл ўтказгичларнинг солишпирма ўтказувчанлиги 10^6 - 10^8 см/м бўлса, ярим ўтказгичларники 10^{-8} – 10^6 См/м, дтэлектрикники эса 10^{-18} – 10^{-8} См/м ни ташкил этади. Бундан ташқари, ҳамма металл ўтказгичлар температура ортиши билан ўзининг ўтказувчанлигини камайтиради, диэлектриклар эса орттиради.

Ўтказгичлар таркиби жуда кўп миқдорда эркин электронлар мавжуд, соф ярим ўтказгичларда эса бундай электронлар кўп эмас. Бунга сабаб шуки, ярим ўтказгичлардаги валент электронлар ўз атомлари билан боғланган, яъни эркин эмас. Ярим ўтказгичларнинг яна бир хусусияти – улардан ўтувчи тоқ миқдори ташқи таъсирлар: кизиш, нурланиш ва аралашмалар кўшилиши таъсирида катта оралиқда ўзгариши ва ҳосил бўлиши мумкин. Бу ярим ўтказгичдаги валент электронлар энергиясини кўпайтиради, электронларни уз атомларида ажралишларига имкон беради ва қўйилган ташқи кучланиш таъсирида йўналиши кўчишга олиб келади, яъни улар тоқ ташувчи бўлиб қолиши мумкин.



Ярим ўтказгич температураси қанча юқори ёки унга тушаётган нурланиш қанча кучли бўлса, унда эркин электронлар шунча кўп, демак, ундан ўтувчи тоқ шунча кўп бўлади. Натижада ярим ўтказгичда электрон ўтказувчанлик ёки n тип электр ўтказувчанлик пайдо бўлади. Бунда озод бўлган электронлар ярим ўтказгичнинг уз атомларига тегишли, шу сабабдан бундай электр ўтказувчанлик хусусий ўтказувчанлик деб аталади.

Электронини йўқотган ярим ўтказгич атомлари мусбат зарядланган ионларга айланади, улар ўз уринларида маҳкам тураверади ва кўча олмайди. Атомнинг электрон ташлаб кетган ташқи орбитасидаги жой тешик деб аталади, унга қўшни атомдан ажралиб чиққан бошқа электрон келиб ўтириши мумкин. Электроннинг бундай сакраб юриши натижасида қўшни атомда ҳам шундай тешик ҳосил бўлади, яъни у атом мусбат зарядланган ионга айланиб қолади.

Агар ярим ўтказгичга электр кучланиши қўйилса, электронлар бир йўналишда бир атомдан бошқа атомга кўча бошлайди, тешиклар эса унга қарама-қарши йўналишда пайдо бўла бошлайди. Тешикларни электронга тенг миқдорда мусбат зарядланган заррача деб атом қабул қилинган. Тешикларнинг электронлар кўчишига қарама-қарши йўналишда **туйилма** кўчиши **тёкиш** тоқи деб аталади. Ярим ўтказгичнинг тешик тоқи билан боғлиқ бўлган электр ўтказувчанлиги тешикли ўтказувчанлик ёки P тип ўтказувчанлик деб аталади.

Шундай қилиб, электронларнинг бир томонга, тешикларнинг қарама-қарши томонга кўчиши ярим ўтказгичнинг хусусий электр ўтказувчанлиги белгилайди, чунки тоқ ташувчилар (электронлар ва тешиклар) ярим ўтказгичнинг ўз атомларига тегишлидир. Бу ҳолда умумий тоқ I_0 ва тешик тоқ I_T лар йиғиндисидан ташкил топади, яъни

$$I = I_0 + I_T$$

Ярим ўтказгич хусусий электр ўтказувчанликка эга бўлса, электронлар сони N_3 ва тешиқлар сони N_T тенг бўлади. Бироқ $I_3 > I_T$ чунки электронларнинг ҳаракатчанлиги тешиқларникидан юқори. Ток ташувчининг ҳаракатчанлиги электроннинг кўчиш тезлиги v_3 ёки тешиқнинг кўчиш тезлиги v_T нинг ярим ўтказгичдаги электр майдон кучланганлиги E га нисбатидан иборат. У ҳолда электроннинг ҳаракатчанлиги $\mu_3 = v_3/E$; тешиқнинг ҳаракатчанлиги $\mu_T = v_T/E$. Шундай қилиб, ҳаракатчанлик электрон ёки тешиқ $E = 1$ В/см да 1 с вақт ичида қанча йўл ўтишини кўрсатади. Баён қилинганларни назарда тутиб электрон ва тешиқ тоқлари учун ушбу ифодаларни ёзиш мумкин:

$$I_3 = N_3 e v_3 = N_3 e \mu_3 E;$$

$$I_T = N_T e v_T = N_T e \mu_T E;$$

бу ерда e – электрон ёки тешиқнинг заряди;

E – электр майдон кучланганлиги.

Ярим ўтказгичдан ўтадиган умумий ток:

$$I = I_3 + I_T \text{ ёки } I = N_3 e v_3 + N_T e v_T = N_3 e \mu_3 E + N_T e \mu_T E.$$

Ярим ўтказгич хусусий электр ўтказувчанликка эга бўлганда электронлар сони тешиқлар сонига тенг бўлади, яъни $N_3 = N_T = N$ у ҳолда (8) ифодани ёзиш мумкин:

$$I = Ne (\mu_3 + \mu_T) E$$

Ярим ўтказгичли тўғрилагичлар яратиш учун $n_{\text{тип}}$ ёки $p_{\text{тип}}$ электр ўтказувчанликли ярим ўтказгич материаллар талаб қилинади. Шу сабабли таркибида $10^{-9} - 10^{-11}$ (массаси бўйича % ҳисобида) аралашма бўлган ярим ўтказгич яхшилаб тозаланади, унга тегишли легирловчи аралашма киритилади.

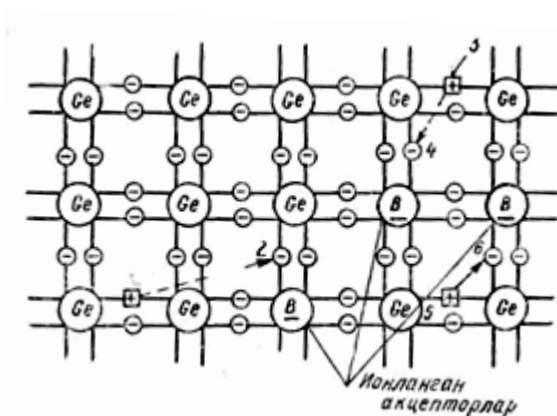
Ярим ўтказгични электрон билан таъминлайдиган легирловчи аралашмалар донор аралашмалар ёки қисқача донорлар деб аталади. Ярим ўтказгич атомларига нисбатан кичик валентли аралашма атомлари ўзига электронларни қўшиб олиш қобилиятига эга; бундай аралашмалар акцептор аралашмалар ёки қисқача акцепторлар деб аталади.

Электрон электр ўтказувчанликка эга бўлган ярим ўтказгич олиш учун унинг таркибига валентлиги бу асосий элемент атомлари валентлигидан битта кўп бўлган модда атомлари киритилади. Масалан, тўрт валентли атомлардан ташкил топган германий Ge элементига беш валентли донор аралашма – сурьма Sb ёки фосфор P киритилади. Киритилган аралашманинг атомларидаги тўртта электрон асосий ярим ўтказгич атомларидаги тўртта электрон билан тўртта ковалент жуфт боғланишни юзага келтиради, бешинчи электрон эса бундай боғланишсиз қолади.

Демак, бу электронни қўйилган кучланиш таъсирида эркин электронга айлантириш осон, у ярим ўтказгичда электрон тоқини ҳосил қилишда ишпирок этади. Расмдан кўриниб турибдики, асосий ток ташувчилар $n_{\text{тип}}$ электр ўтказувчанликка сабаб бўлувчи электронлардир. Уч электрон ва унга мос тешиқ германий атомини ионлаштириш натижасида ҳосил бўлган. Бу ток ташувчилар ярим ўтказгичнинг хусусий ўтказувчанлигига сабаб бўлади. Ярим ўтказгичдаги умумий ток электрон ва тешиқ тоқларнинг йиғиндисига тенг, бироқ электрон тоқи тешиқ тоқидан бир неча қарра кўпдир.

Агар германий таркибига бирор акцептор аралашма, масалан, бор В элементи атомлари киритилса, аралашманинг ҳар бир атоми германийнинг мос атомлари билан учта ковалент боғланиш ҳосил қилади. Бироқ борнинг ҳаммаси бўлиб учта валент электрони мавжуд бўлгани сабабли германийнинг фақат учта қўшни атоми билан шундай боғланиш ўрнатиш мумкин. Германийнинг тўртинчи атоми билан боғланиш ўрнатиш учун борнинг бошқа электрони йўқ. Шундай қилиб бир нечта германий атомида биттадан электрон ковалент боғланишсиз қолади. Энди бу электронлар ўз ўрнини ташлаб кетиши учун ва германий атомида тешиқлар ҳосил қилиши учун унча катта бўлмаган ташқи энергетик таъсир кифоя. Бор атомлари қамраб олган 2,

4 ва 6 буш электронлар ярим ўтказгичда электр токини юзага келтирмайди. Германий атомларида ҳосил бўлган 1, 3 ва 5 тешиқлар эса қўшни атомлардан электронлар келиб ўтиришига имкон беради, у ерда ўз навбатида янги тешиқлар ҳосил бўлади.

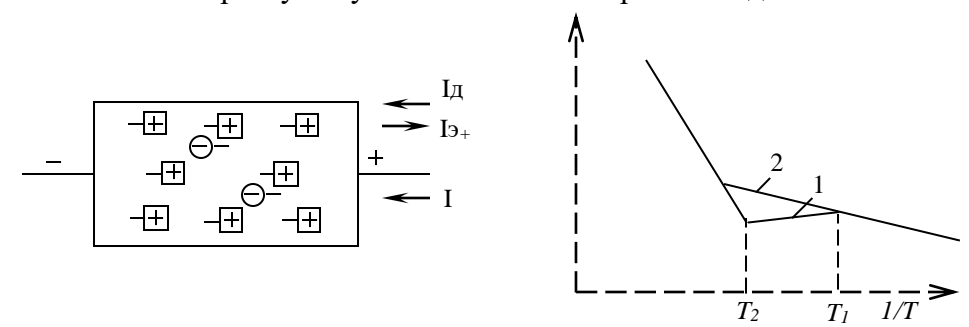


Шундан килиб, ҳосил бўлган мусбат зарядланган тешиқ германийнинг бир атомидан иккинчисига, ундан эса бошқасига ўтиб юради. Қўйилган ташқи кучланиш бу ҳаракатни тартибга солиб туради, яъни ярим ўтказгичда аралашмада тешиқ токи пайдо бўлади, натижада электр ўтказувчанлик юзага келади. P тип ярим ўтказгичда германий атомларидан унча кўп бўлмаган миқдорда эркин электронлар ва тешиқлар жуфти қолган бўлади. Демак, хусусий электр ўтказувчанлик ҳам мавжуд.

Ярим ўтказгичдаги умумий ток аввалгидек электрон ва тешиқ тоқларнинг йиғиндисига тенг, бунда тешиқ токи электрон тоқидан анча катта бўлади. Расмда акцептор аралашмали ярим ўтказгичда тешиқлар ва электронлар схемаси тасвирланган. Бу схемадан мусбат зарядли зарралар (тешиқлар) электронларга нисбатан анча кўп экани кўриниб турибди. Қараб чиқилган мисоллар шунни кўрсатадики, аралашмалар ярим ўтказгичларнинг электр ўтказувчанлигини оширади экан.

Ярим ўтказгичлардаги электронлар ва тешиқлар қўйилган кучланиш таъсирида кўчаётиб турли тўсиқларга дуч келади. Бунда улар ўзларининг бир қисм энергиясини йўқотади ва ўз йўналишидан оғади, яъни ток ташувчилар сочилади. Бунга асосий сабаб аралашмада турли бегона қўшилма – киришмаларнинг мавжудлигидир. Ярим ўтказгич қанча яхши тозаланган бўлса, ток ташувчилар шунча кам сочилади ва электронлар ҳамда тешиқларнинг ҳаракатчанлиги шунча юқори бўлади.

Температура ортган сари барча ярим ўтказгичларнинг ток ўтказувчанлиги, ярим ўтказгичга қанча кўп донор ёки акцептор аралашма киритилган бўлса, шунча тез ўсади. Ярим ўтказгичда T_1 температурагача аралашма электр ўтказувчанлик кузатилади. $T_1 - T_2$ температуралар оралиғида ярим ўтказгичнинг ўтказувчанлиги бирмунча камаяди. Бунга сабаб эркин электронлар ва тешиқларнинг кўчишига ҳалақит берувчи атомларнинг жадал иссиқлик тебранишларидир. Температура бундан (T_2 дан) ортганда ярим ўтказгичда хусусий электр ўтказувчанлик ортиб боради ва янги электронлар ва тешиқлар пайдо бўлиб, уларнинг йўналишли кучини ярим ўтказгич тоқини ортишини юзага келтиради. Шу муносабат билан ярим ўтказгичнинг солиштирма ўтказувчанлиги кескин ортиб кетади.



Расмдаги эгри чизик 2 $T_1 - T_2$ температуралар оралигида юқори даражада легирланган ярим ўтказгич ўтказгичининг камайишини кўрсатмайди. Бунга сабаб аралашма электронлар ва тешиклар жуда кўп миқдорда ярим ўтказгичга кириб келади. Бу аралашма ток ташувчиларнинг ишпироки ярим ўтказгич ўтказувчанлигининг бу температуралар оралигида барқарор бўлишини таъминлайди.

Абсолют ноль (-273°C) температурада электронлар кўчмайди, шунинг учун ярим ўтказгич диэлектрик бўлиб қолади.

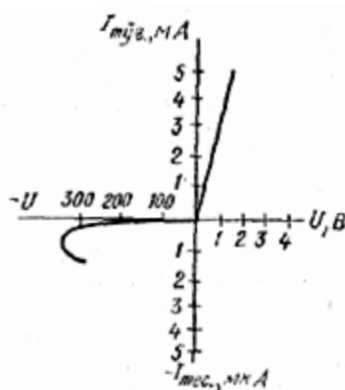
Ток кучининг қўйилган кучланишга нозизиқли боғланиши; ярим ўтказгичларнинг ўзига хос хусусияти ҳисобланади, яъни ток I кучланиш U га нисбатан жуда тез ортади. I ток ортиши билан ярим ўтказгичнинг R электр қаршилиги кескин камаяди.

Кучланиш $+U$ дан $-U$ га ўзгарганида ярим ўтказгичдаги ток тескари йўналишда ўтади ва шундай қонун бўйича ўзгариб боради. Демак, ярим ўтказгич симметрик вольт-ампер характеристикасига эга.

Агар ярим ўтказгич ҳажмининг бир қисми электронли электр ўтказувчанликка, ҳажмининг иккинчи қисми эса тешикли электр ўтказувчанликка эга бўлса, у ҳолда ярим ўтказгич шу бўлақларнинг чегараси электрон тешикли ўтиш ($p-n$ ўтиш) дан иборат бўлиб у носимметрик вольт-ампер характеристикасига эга. Бу ҳолат ток бир йўналишда ўтганда $p - n$ ўтишнинг электр қаршилиги жуда кичик бўлиб, ток тескари йўналишда ўтганда жуда катта бўлади. Ҳар хил турдаги электр ўтказувчанли ярим ўтказгич системасида турли йўналишда ўтаётган ток турлича бўлади. Бунда $I_{\text{туғ}}$ тўғри ток қўйилган кучланиш ортиши билан жуда тез ортади. Бу системага U кучланиш берилганда, дастлаб шу система орқали $I_{\text{тес}}$ тескари йўналишдаги ток амалга ўтмайди. Тескари кучланиш оширилиши билан оз миқдорда тескари ток пайдо бўлади.

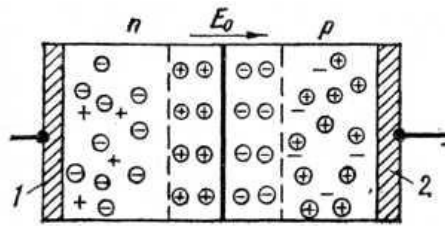
Шундай қилиб, электр ўтказувчанлиги ҳар хил бўлган ярим ўтказгичнинг икки соҳадан иборат системаси тескари йўналишдаги токни ўтказмайди. Ярим ўтказгичларнинг бу хосасидан ярим ўтказгичли тўғрилагичларда кенг фойдаланилади. Шундай системага жуда катта тескари кучланиш қўйилганда, $p - n$ ўтиш соҳасида электр тешилиш (**пробой**) юз бериши мумкин. Шу системага ўзгарувчан кучланиши иккита ярим ўтказгич уланганда, $p - n$ ўтиш унга ўзгарувчан кучланишнинг битта ярим тўлқини қўйилгандагина ток ўтказди.

Ярим ўтказгичларнинг $p - n$ ўтиш ўтиш ҳосил қилиш хусусиятини батафсилроқ кўриб чиқайлик. Иккита ярим ўтказгичдан иборат системага ташқи кучланиш қўйилмаганда n турдаги ярим ўтказгичда электронларнинг катта концентрацияси, p турдаги ярим ўтказгичларда эса, тешикларнинг катта концентрацияси мавжуд бўлади. Ундан ташқари иккала ярим ўтказгичда оз миқдорда асосий бўлмаган ток ташувчилар бўлади: $n -$ турдаги ярим ўтказгичда оз миқдорда тешиклар, $p -$ турдаги ярим ўтказгичда эса, электронлар бўлади.



Иккита ярим ўтказгични, масалан, бирини иккинчисига суяқлантириб киритиб ўзаро зич бириктирилса, n турдаги ярим ўтказгичдаги электронлар концентрациялари жуда кам бўлган p турдаги ярим ўтказгичда диффузияланади. Айни вақтда p ярим ўтказгичдаги тешиклар концентрациялари жуда оз бўлган n ярим ўтказгичга ўта бошлайди (диффузияланади). Тешиклар ва электронларнинг бу ўзаро диффузияси натижасида n ярим ўтказгичнинг чегаравий

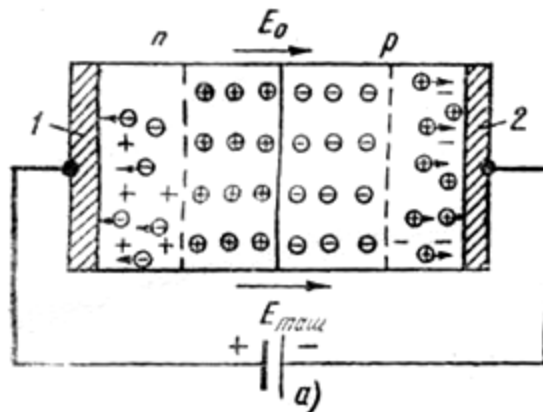
катламидаги электронлар концентрацияси камаяди ва у ерда тешиклар пайдо бўлади. Бунда p ярим ўтказгичнинг чегаравий қатламида тешиклар концентрацияси камаяди; бу қатлам электронлар билан тўлади. Шундай қилиб 1 ва 2 электродларга ташқи кучланиш берилгунга қадар икки ярим ўтказгич чегарасида қўш электр қатлами ҳосил бўлади. Натижада бу ерда қўш электр қатламидаги манфий зарядлар томонига йўналган E_0 кучланганликни маҳаллий (контакт) электр майдони ҳосил бўлади.



Иккита ярим ўтказгичдан иборат системага расмда кўрсатилгандек ташқи кучланиш қўйилганда, ташқи манбанинг E_T кучланганлиги мавжуд контакт майдоннинг E_0 кучланганлигига тенг бўлса, n ярим ўтказгичдаги электронлар ва p ярим ўтказгичдаги тешиклар 1 ва 2 электронлар томон силжийди. Натижада $p - n$ ўтишдаги p ярим ўтказгичнинг электронлар соҳаси ва n ярим ўтказгичнинг тешиклар соҳаси кенгаяди. Оқибатда $p - n$ ўтишнинг электр қаршилиги жуда ортиб кетади ва ток ўтмай қолади. Амалда эса, тасодифий ток ташувчиларнинг силжиши юзага келтирган кичик ток ўтади. У тескари ток ($I_{тес}$) деб аталади.

E_T кучланганлик E_0 га қарши йўналганда контакт майдон сезиларли даражада сусаяди, $n - p$ ярим ўтказгичдаги электронлар ва p -ярим ўтказгичдаги тешиклар $p - n$ ўтиш соҳасига силжий бошлайди. Натижада беркитувчи қатлам тораяди, унинг электр қаршилиги эса, кескин камаяди. Бу ҳолда $p - n$ ўтиш ток ўтказиши бўлади. Бу ток $I_{туғ}$ тўғри ток дейилади, унинг тўғрилагичдаги йўналишини эса тўғри ёки ўтказиш йўналиши дейилади.

Тўғри ток тескари тоқдан кўп марта каттадир. Юқорида айтилганидек, ярим ўтказгичли вольт-ампер характеристикаси орқали баҳоланади. Унинг кўрсатишича, кичик кучланишда (2 В гача) тўғрилагич ўтказадиган тўғри ток нисбатан катта қийматларга (4 мА дан юқори) етади.



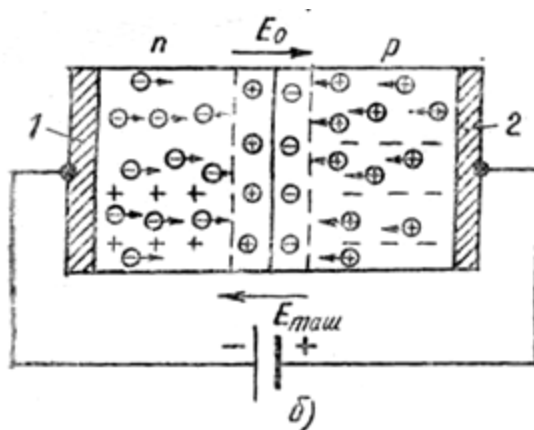
Тўғрилагичга батареянинг мусбатини $n - p$ ярим ўтказгичга, манфийсини эса $p - p$ ярим ўтказгичга қилиб тескари кучланиш қўйилганда, тўғрилагич амалда ток ўтказмайди. Тескари кучланиш 200 В дан ортиши билан $p - n$ ўтиш кичик тескари ток (микроамперлар) ўткази бошлайди. Агар тескари кучланишни орттира бошласак, бир оз вақтдан сўнг тескари ток жуда ҳам ошиб кетади ва $p - n$ ўтишда тешилиш бўладиган қийматга эришиши мумкин.

Ярим ўтказгичли тўғрилагичларда $p - n$ ўтиш турли электр ўтказувчанликни иккита ярим ўтказгич орасидаги қотишма контакт кўринишида ёки ярим ўтказгич пластинкаси ва ўтказгич орасидаги контакт кўринишида бажарилади. Биринчи ҳолда иккита ярим ўтказгичга қандайдир тегиш (контакт) юзаси вужудга келади (бундай тўғрилагичлар текисликсимон ярим ўтказгичлар дейилади). Иккинчи ҳолда ўлчами 2X2 мм бўлган ярим ўтказгич (германий ёки кремний) пластинкаси ингичка металл симнинг учига тугашади (бундай тўғрилагичлар

нуктавий тўғрилагичлар дейилади). Нуктавий тўғрилагичларда $p - n$ ўтиш кичик сифимга эга бўлади ва юқори частоталарда қўлланилади.

Биз ярим ўтказгичларнинг асосий хоссаларини кўриб чиқдик. Энди уларнинг баъзи бир ўзига хос хусусиятлари билан танишамиз.

Ёруғлик таъсирида баъзи бир ярим ўтказгичлар (масалан, селен) нинг ўтказувчанлиги кескин ўзгариши мумкин. Бунга сабаб шуки, маълум тўлқин узунлигидаги ёруғлик нурланиши ярим ўтказгич электронларига, улар эркин бўлиб қолишларига етарли миқдорда энергия беради. Натижада ярим ўтказгичнинг қаршилиги кескин камаяди. Ярим ўтказгичларнинг бу хусусиятларидан фоторезисторлар яратишда фойдаланилади. Бу асбоблар нурланиш спектрининг нафақат кўринувчи соҳасига, балки инфрақизил нурланишга нисбатан ҳам сезгирдир.



Ярим ўтказгич қисман ёритилганда унинг ёритилган ва ёритилмаган қисмлари орасида фото Э.Ю.К. пайдо бўлади. Бу ходисадан электр энергияси манбалари – фото-элементлар ва Қуёш энергиясини бевосита электр энергиясига айлантира олувчи Қуёш батареялари яратишда фойдаланилади.

Баъзи бир ярим ўтказгичлар (масалан, кремний) уларга бўлган босим таъсирида ўзининг электр қаршилигини кескин ўзгартиради (тензорезистор эффекти). Ярим ўтказгичларнинг бу ходисаларидан сезгир босим ўлчагич – тензодатчиклар тайёрлашда фойдаланилади.

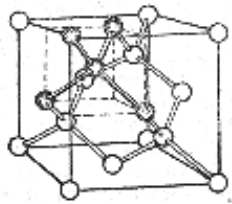
Агар ярим ўтказгичларда турли температурали иккита соҳа бўлса, эркин зарядлар қизиган соҳадан совуқ соҳага ўта бошлайди. Бунда, агар ток ташувчилар электронлардан иборат бўлса, улар совуқ соҳага ўтишларида уни манфий электр билан зарядлайдилар. Ярим ўтказгичнинг қизиган соҳаси электронларнинг бир қисмини йўқотиб, мусбат зарядланади. Натижада ярим ўтказгичнинг қизиган ва совуқ соҳалари орасида термо ЭЮК пайдо бўлади. Термоэлектр деб аталган бу ходиса иссиқлик энергиясини бевосита электр энергиясига айлантира оладиган термоэлементлар ва термогенераторлар яратишда қўлланилади.

5.2. Ярим ўтказгич материаллар

Радиоэлектроникада асли ноорганик ва органик бўлган микрокристалл ва поликристалл тузилишдаги кўп сондаги ярим ўтказгич материаллардан асосан, германий, кремний, селен, кремний карбиди ва галлий арсениди қўлланилади. Бу материаллар ярим ўтказгич асбоблар ва интеграл схемалар ишлаб чиқаришда кенг ишлатилади.

Кремний ва германийлар олмосниқига ўхшаш тузилишга эга бўлганлиги учун олмоссимон ярим ўтказгич ҳисобланади. Бу кристалл учларида ва ёқларининг ўрталарида германий ёки кремнийнинг атомлари жойлашган кубдан иборат. Бундан ташқари атомлар, шунингдек, катта кубнинг бўлаги ҳисобланган саккизта кичик кубдан тўрттаси (октавий) нинг марказидан ҳам ўрин олган.

Расмлардаги германий куб тузилишининг текисликдаги тасвири кўрсатилган эди. Шу расмлардан кўриниб турибдики, олмос туридаги тузилишда атомлар (германий ёки кремний) нинг ҳар бири ўзидан бир хил масофада жойлашган тўртта худди шундай атомлар билан ўралган ва атомларнинг ҳар бири қўшни атомлар билан ковалент боғланган.



Германий – Ge Д.И. Менделеев даврий системасидаги тўртинчи гуруҳ элементи. Уни олиш учун дастлабки хом ашё материали бўлиб, рух ва сульфид рудалари, шунингдек, таркибида германий бўлган кўмир кукунлари хизмат қилади.

Мураккаб кимёвий жараёнлар натижасида германийнинг металл қуймаси олинади, лекин хали унинг таркибида аралашма бўлганлиги ва монокристалл эмаслиги учун уни ярим ўтказгич тайёрлашда ишлатиш мумкин эмас. Бу қуйма дастлаб зона бўйича суюқлантириш методи билан аралашмалардан тозаланади. Тозаланган ярим ўтказгич материалдаги аралашма миқдори германийда кўпи билан 10^{-9} (массасига кўра % да) ва кремнийда 10^{-11} (массасига кўра % да) бўлиши лозим.

Монокристалл холидаги германий олиш учун у аввал вакуумда ёки инерт газ атмосферасида суюлтирилади. Сўнгра n ёки p турдаги электр ўтказувчанликли германий олиш учун тозаланган германий суюқланмасига донор ёки акцептор аралашма қўшилади. Кейин суюқланма ичидан берилган диаметрдаги яхлит цилиндр кўринишидаги германий монокристалли маълум тезлик билан чиқариб олинади. Германий яркироқ кумушсимон рангли бўлиб, зичлиги 5320 кг/м^3 ва суюқланиш температураси $937,2^\circ\text{C}$ га тенг. Тозаланган, легирланмаган германий қуйдаги электр характеристикасига эга (20°C да): солишпирма электр қаршилиги $\rho=0,60 \div 0,68 \text{ Ом}\cdot\text{м}$; $\epsilon_r = 16,3$. Легирланган n – турдаги электр ўтказувчанликли германий $\rho=0,0003 \div 0,45 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, p – турдаги электр ўтказувчанликли германийнинг $\rho=0,004 \div 0,057 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ (легириллаш даражасига қараб). Германийнинг барча хиллари юқори қаттиқликка ва мўртликка эга.

Германий диодлар, фотоэлементлар ва бошқа ярим ўтказгич асбоблар тайёрлашда кенг қўлланилади.

Кремний (Si) ҳам Д.И. Менделеев даврий системасининг тўртинчи гуруҳи элементидир. У табиатда кремнезем (SiO_2) кўринишида кенг тарқалган. У кремнийнинг техник турлариниларини олишда асосий моддалардан биридир.

Кремний қуймасини зона бўйича суюқлантириш методи ёрдамида тозалаш ва ундан сўнг легирловчи аралашмалар киритиш натижасида n ёки p турдаги ўтказувчанликли (киритилган легирловчи аралашмага қараб) кремний монокристалли олинади. Кремний намуналари пўлат ранг бўлади. Кремний ҳам германий каби мўртдир. Тозаланган легирланмаган кремнийнинг асосий характеристикалари (20°C да): зичлиги 2328 кг/м^3 ; суюқланиш температураси 1420°C ; $\rho = (2 \div 3) \cdot 10 \text{ Ом}\cdot\text{м}$; $\epsilon_r = 11,7$. легирланган n – турдаги электр ўтказувчанликли кремнийнинг $\rho = 0,0001 \div 2,0 \text{ Ом}\cdot\text{м}$; p – турдаги электр ўтказувчанликли кремнийники $\rho = 0,00014 \div 0,05 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

Кремний германийга нисбатан кўпроқ ишлатилади, чунки кремний асосидаги ярим ўтказгичли асбоблар иш температурасининг чегараси $130\text{-}200^\circ\text{C}$, германий асосидаги асбобларда эса у $80\text{-}100^\circ\text{C}$ атрофида. Кремний ярим ўтказгичли интеграл схемаларда асос сифатида ишлатилади.

С е л е н – Se – Д.И.Менделеев даврий системасининг олтинчи гулуҳ элементи. Уни олишда бошланғич материал сифатида мисни электролитик тозалашдан ҳосил бўлган қолдиқ хизмат қилади. Қаттиқ селен аморф ёки кристалл тузилишга эга. Қора аморф селенни тозаланган суюқланган селендан уни хона температурасигача тез совитиш йўли билан олинган. У солишпирма қаршилиги $\rho = 10^{11} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ бўлган диэлектрикдир.

Кул ранг кристалл селен суюқланган аморф селенни суюқланиш температураси (220°C) дан хона температурасигача аста-секин совитиш йўли билан олинади. Кристалл селен поликристалл тузилишига эга бўлган p – турдаги аралашма ярим ўтказгич ҳисобланади. Селен атомларининг занжирлари унинг кристалларининг элементар ячейкаси бўлган олти бурчакли призманинг бурчаклари бўйича жойлашган. Селеннинг асосий характеристикалари (20°C да);

зичлиги 4800 кг/м^3 ; $\rho = (0,8 \div 5) \cdot 10^3 \text{ Ом} \cdot \text{м}$; $\epsilon_r = 6,3$. Селен – селен тўғрилагичлар, фотоэлементлар ва фоторезисторлар тайёрлашда ишлатилади.

Кремний карбиди (SiC) ток ва кучланиш орасида аниқ ифодаланган чизиқли бўлмаган боғланишга поликристалл тузилишга эга бўлган мўрт материалдир. Кремний карбиди кремний ва углероднинг кимёвий бирикиши натижасида ҳосил бўлади. Кремний карбидини олишда бошланғич материал сифатида тоза кварц кум (SiO_2) ва тошкўмир ишлатилади. У ёки бу хилдаги аралашма (шихта) га фосфор, сурма, висмут ёки кальций, магний, алюминий ва б. киритилади. Кремний карбиди ҳосил булиш реакцияси чекли температурада ($\sim 2000^\circ\text{C}$) да ўтказилади.

Фосфор, сурма ёки висмут билан легирланган кремний карбиди тўқ яшил рангли бўлиб, n турдаги электр ўтказувчанликка эга, кальций, алюминий ёки бор билан легирлангани эса тўқ бинафша рангли бўлиб, p турдаги электр ўтказувчанликка эга. Кремний карбидининг асосий характеристикалари (20°C да): зичлиги 3200 кг/м^3 ; $- 10^2 \div 10^5 \text{ Ом} \cdot \text{м}$; $\epsilon_r = 6,5 \div 7,5$. Кремний карбидининг солишгирма қаршилиги кўп даражада унинг таркибига боғлиқ. Кремний карбиди аралашмали ярим ўтказгич ҳисобланади, лекин 1400°C ва ундан юқори температурада унда хусусий электр ўтказувчанлик пайдо бўлади. Кремний карбидининг суяқланиш температураси 2600°C .

Кремний карбидининг энг тоза хили асосан чизиқли бўлмаган симметрик вольт-ампер характеристикасига эга ва $- 50$ дан $+ 80^\circ\text{C}$ гача бўлган ораликда ишлай олувчи варисторлар ишлаб чиқаришда қўлланилади. Варистордан автоматик бошқариш қурилмааларида фойдаланилади.

Поликристалл кремний карбидини инерт газда бевосита бугга айлантириш газда бевосита бугга айлантиради (хайдаш) усули ёрдамида кимёвий тозалиги билан фарқ қилувчи кремний карбидининг монокристаллини олиш мумкин. Улар 500°C гача бўлга иш температурасида ишлайдиган диодлар ва транзисторлар ясашда, шунингдек ёруғлик диодлари ишлаб чиқаришда ишлатилади.

Галлий арсениди – GaAs мишьяк (маргимуш) билан галлийнинг бирикмасидан иборат бўлиб, монокристалл ярим ўтказгичдир.

Электронлар ва тешикларнинг жуда ҳаракатчанлиги галлий арсенидининг ўзига хос хусусияти ҳисобланади. Бу ҳол галлий арсениди асосида юқори частоталар ва ҳароратлар соҳасида ишлай олувчи асбоблар яратишга имкон беради. $p - n$ ўтишлар учун $300 - 400^\circ\text{C}$, яъни германий ва кремний асосида асбоблардагидан анча юқори бўлга иш температуралари белгаланиши мумкин.

Галлий арсенидининг 20°C даги асосий характеристикалари: зичлиги 5400 кг/м^3 ; $\rho = 10^2 \div 10^7 \text{ Ом} \cdot \text{м}$; $\epsilon_r = 11,2$. Галлий арсенидининг суяқланиш температураси 1237°C .

Намлик ва радиация нурланиши каби ташқи таъсирлар ярим ўтказгичли асбобларнинг характеристикаларини жуда ёмонлаштиради. Шунинг учун ташқи таъсирлардан ҳимоя қилиш учун, улар герметик (металл, керамика ёки пластмасса) қобикқа (корпус) солиб қўйилади.

Аморф ярим ўтказгичлар. Илгари кўриб ўтилган кристалл тузилишдаги ярим ўтказгич материаллар (германий, кремний ва б.) дан фарқли ўлароқ, аморф ярим ўтказгичлар махсус шишадан иборат. Шишасимон ярим ўтказгичлар ўзларида электрон электр ўтказувчанлик борлиги билан изоляцион шишалардан фарқ қилади. Аморф ярим ўтказгичлар учта асосий гуруҳга бўлинади: оксидли, элементли ва халькогенидли.

Барқарор электрон электр ўтказувчанликка эга бўлиб, элтгичларининг ҳаракатчанлиги, фотоўтказувчанлиги ва радиацион мустаҳкамлиги кичик бўлган халькогенид шишаларнинг амалий аҳамияти каттарок. Улар олтингургурт, теллур, сурьма, мишьяк ва бошқалар каби икки, уч, ва ундан кўп компонентлардан иборат бўлиши мумкин. У ёки бу хусусиятини таъминлаш учун халькогенид шишаларнинг бошланғич таркибига олтин, кумуш, мис ва бошқалар киритилади.

Халькогенид шишаларнинг солишгирма ўтказувчанлиги $\gamma = 10^{-21} \div 10^{-11} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ораликда бўлади. Халькогенид шишалар ўтказувчанлигининг температура ва частотага боғлиқлиги худди кристалл ярим ўтказгичларники каbidир.

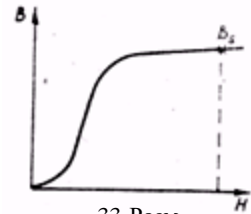
Халькогенид шишасимон ярим ўтказгичларни олиш технологиясининг соддалиги, уларнинг электр хусусиятларини бошқаришнинг энгиллиги уларнинг РЭА да кенг қўлланилишини таъминлайди.

VII-боб. МАГНИТ МАТЕРИАЛЛАР

7.1. Материалларнинг магнит характеристикалари

Ташқи магнит майдон таъсирида магнитланадиган, яъни махсус магнит хоссаларга эришадиган материаллар магнит материаллар дейилади. Улардан энг асосийлари: темир, никель, кобальт ва соф темирдан тайёрланган қотишмалар.

Магнит хоссалари яққол намоён бўладиган магнит материаллар ферромагнит материаллар ёки ферромагнетиклар дейилади. Ферромагнит материалнинг ташқи магнит майдон таъсиридаги табиати материалдаги магнит индукция B нинг магнит майдон кучланганлигига боғлиқ равишда магнитланишини характерловчи графикнинг бошланғич (39-расм) қисми бўйича тавсифланади. Магнит материалларнинг хоссалари уларнинг магнит характеристикалари бўйича, баҳоланади. Улардан асосийларини қараб чиқамиз.



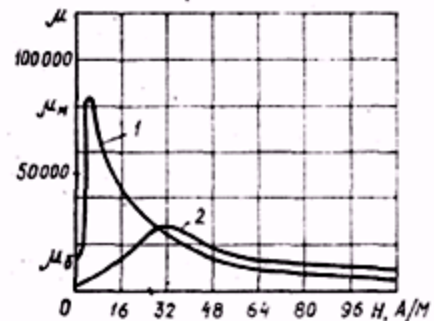
33-Расм. Ферромагнит материалнинг магнитлана бошланиш графиги

Абсолют магнит сингдирувчанлик μ_0 —материалнинг магнитланиш эгри чизиғидаги бир нуқтада олинган магнит индукцияси B нинг магнит майдон кучланганлиги H га нисбати билан ўлчанадиган характеристикаси бўлиб, бу катталиқ генри тақсим метр (Гн/м) ҳисобида ўлчанади; $\mu_a = B/H$, бу ерда B - магнит индукция (Тл), H - магнит майдон кучланганлиги (А/м).

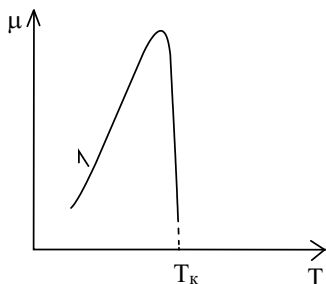
Материалнинг нисбий магнит сингдирувчанлиги μ -абсолют магнит сингдирувчанликнинг магнит доимийсига нисбати билан ўлчанадиган катталиқдир; $\mu = \mu_a / \mu_0$ бу ерда μ_0 — вакуум учун магнит майдонни характерловчи катталиқ у қисқача магнит доимийси деб аталади ($\mu_0 = 1,256637 \cdot 10^{-6}$ Гн/м), μ —ўлчамсиз катталиқ.

Абсолют магнит сингдирувчанлик μ_a дан фақат ҳисоблашларда фойдаланилади. Магнит материалларнинг хоссаларини баҳолаш учун танланган бирликлар системасига боғлиқ бўлмаган нисбий магнит сингдирувчанлик μ ишлатилади. Бу катталиқ магнит сингдирувчанлик деб юритилади.

Магнит сингдирувчанлик магнит майдон кучланганлигига боғлиқ (40-расм). У бошланғич магнит сингдирувчанлик - μ_b ва максимал магнит сингдирувчанлик - μ_m га бўлинади. Бошланғич магнит сингдирувчанлик нолга яқин магнит майдон кучланганлигида ўлчанган миқдордир. μ_b ва μ_m ларнинг қийматлари катта бўлса, ушбу магнит материал кучсиз ва кучли магнит майдонлар таъсирида осон магнитланадиган материал ҳисобланади.



34-расм. Магнит сингдирувчанликнинг магнит майдон кучланганлигига боғлиқлиги графикалари:
1-пермаллой учун; 2-соф темир учун



35-расм. Магнит материал магнит сингдирувчанлигининг температурага боғлиқлиги графиги

Магнит сингдирувчанликнинг температура коэффициентини $TK\mu$ ферромагнетик температурасига боғлиқ равишда магнит сингдирувчанлигининг ўзгариш характерини баҳолашга имкон беради. Магнит сингдирувчанлик температураларнинг кичик $T_2 - T_1$ оралиғида чизикли ўзгарганда $TK\mu(1^\circ C)$ катталиқ ушбу формула бўйича ҳисоблаб топилади: $TK\mu = (\mu_2 - \mu_1) / \mu_1 (T_2 - T_1)$, бунда μ_1 ва μ_2 —материалнинг мос равишда T_1 ва T_2 температуралардаги магнит сингдирувчанликлари.

41-расмда магнит сингдирувчанликнинг температурага боғлиқлиги тасвирланган. Магнит сингдирувчанлик кескин равишда нолгача тушадиган температура Кюри температураси

(T_k) деб аталади. Бу температурадан юқори қийматларда ферромагнетикнинг магнитланиш жарлени материалнинг атомлари ва молекулаларининг иссиқлик ҳаракати жадаллашгани туфайли ўзгаради, натижада бу материал ферромагнетик бўлмай қолади. Масалан, соф темир учун $T_k=768^\circ\text{C}$, никель учун $T_k=358^\circ\text{C}$, кобальт учун $T_k=1131^\circ\text{C}$.

Ҳамма магнит материаллар учун ўзига хос бўлган *индукция* B_s тўйиниш индукцияси деб аталади. Берилган магнит майдон кучланганлигида B_s қанча катта бўлса, бу материал шунча яхши деб ҳисобланади. Бошланғич магнитланишни кўрсатувчи графикдан (39- расмга қаранг) кўришиб турибдики, магнит майдон кучланганлиги ортиши билан индукция аввал тез, кейин секин ортади, B_s га етгандан кейин эса деярли ўзгармайди.

Агар магнит материал намунаси магнит майдон кучланганлиги H ни узлуксиз ортира бориб магнитланадиган бўлса, у ҳолда магнит индукция B ҳам бошланғич магнитланиш эгри чизиғи бўйича узлуксиз орта боради. Бу эгри чизиқ тўйиниш индукцияси B_s га мос келувчи нуқтадан тугайди. H кучланганлик камайганда магнит индукция ҳам камая боради, бироқ B_m қийматга келгандан сўнг бошланғич магнитланиш эгри чизиғи 1 бўйича бормай, йўналиш 2 бўйича боради (42- расм).

Қолдиқ магнит индукция B_r ферромагнит материалда, магнит майдон кучланганлиги нолга тенг бўлганда, магнитсизланиш жараёнида кузатилади. Материал намунаси магнитсизлантириш учун магнит майдон кучланганлиги H ни тескари йўналтириш керак. Индукция нолга тенг бўлиб қоладиган майдон кучланганлиги H_c коэрцитив куч деб аталади. Коэрцитив куч қанча катта бўлса, материал шунча кам даражада магнитсизланадиган материал бўлиб ҳисобланади.

Материал намунасини қарама-қарши йўналишда магнитсизлагандан сўнг унда яна тўйиниш индукцияси— B_s кузатилади. Магнит майдон кучланганлиги яна $H=0$ гача камайганда ва бошланғич йўналишда магнитланиш давом эттирилганда индукция узлуксиз равишда B_s гача ортади. Натижада ёпиқ сиртмоқ ҳосил бўлади. Бу сиртмоқ чегаравий (ёки статик) гистерезис сиртмоғи деб аталади. Магнит индукция тўйиниш индукциясига тенг бўлгандаги доимий магнит майдон $+H$ дан $-H$ гача секин ўзгартира бериш билан олинган гистерезис сиртмоғи чегаравий гистерезис сиртмоғи дейилади.

Гистерезис учун солишпирма энергия йўқотилиши P_T — бир цикл мобайнида материалнинг масса бирлигини қайта магнитлаш учун сарф бўладиган энергия йўқотилиши. Гистерезис учун кетадиган солишпирма энергия йўқотилиши кўпинча магнит материал килограммга тўғри келадиган Ватт (Вт/кг) ҳисобида ўлчанади. Унинг қиймати қайта магнитлаш частотасига ва максимал индукция B_m нинг қийматига боғлиқ. Бир цикл мобайнида гистерезис учун кетадиган солишпирма энергия йўқотилиши гистерезис сиртмоғининг юзи бўйича аниқланади, яъни гистерезис сиртмоғи қанча катта бўлса, материалда йўқотишлар шунча кўп бўлади.

Динамик гистерезис сиртмоғи материални ўзгарувчан магнит майдон таъсирида қайта магнитлаш жараёнида юзага келади ва статик гистерезисга нисбатан каттароқ юзага эга бўлади, чунки ўзгарувчан магнит майдон таъсир этганда материалда гистерезисга кетадиган энергия йўқотишлардан ташқари, материалнинг магнит қовушқоқлиги билан аниқланадиган уярма тоқларга ва магнитлангандан кейинги таъсир учун сарфланадиган йўқотишлар юзага келади.

Уярма тоқлар учун йўқотиладиган энергия P_u магнит материалнинг солишпирма электр қаршилиги p га боғлиқ. Солишпирма электр ёаршилиқ қанча катта бўлса, уярма тоқлар учун йўқотиладиган энергия шунча кам бўлади, уярма тоқлар учун йўқотиладиган энергия миқдори, шунингдек магнит материалнинг зичлигига ва унинг қалинлигига боғлиқ. P_u катталиқ магнит индукция B_m амплитудасининг квадратига ва ўзгарувчан магнит майдон частотаси f га ҳам пропорционалдир.

Лист кўринишидаги магнит материал намунаси учун ўзгарувчан майдонда P_u йўқотишлар ушбу формула бўйича ҳисоблаб топилади:

$$P_u = (164 \cdot h^2 B_m^2 f^2) / d p,$$

бу ерда h —лист қалинлиги, м; B_m — магнит индукциянинг максимал (амплитуда) қиймати, Тл, f — частота, Гц; d — материалнинг зичлиги, кг/м³; ρ — материалнинг солиштира электр қаршилиги, Ом•м.

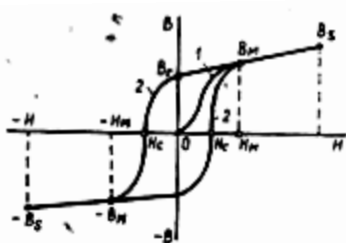
Материалга ўзгарувчан магнит майдон таъсир эттириб магнитланишнинг динамик эгри чизиғи ва мос равишда динамик гистерезис сиртмоғи олинади. Магнитланишнинг динамик эгри чизиғидаги индукция амплитудасининг магнит майдон кучланганлиги амплитудасига нисбати динамик магнит сингдирувчанликни беради

$$\mu = B_m H_m$$

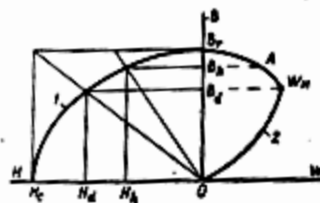
Гистерезис сиртмоғининг шаклини баҳолаш учун сиртмоқнинг тўғри бурчаклилиги коэффициентини K_c дан — чегаравий гистерезис сиртмоғи (42-расмга қаранг) бўйича ҳисоблаб топиладиган характеристикадан фойдаланилади:

$$K_c = B_T / B_m$$

K_c катталикнинг қиймати қанча катта бўлса, гистерезис сиртмоғи



36- расм. Магнитланиш бошланиши графиги (1) гистерезис сиртмоғи (2)



37- расм. Очиқ магнитнинг магнитсизланиш 1 ва солиштира магнит энергияси 2 графиги

шунчалик тўғри бурчаклироқ бўлади. ЭХМ ларнинг хотира қурилмаларида ва автоматикада қўлланиладиган магнит материаллар учун

$$K_c = 0,7 \div 0,9 \quad \text{бўлади.}$$

Солиштира ҳажмий энергия W_m (Ж/м³) магнит қаттиқ материаллар хоссаларини баҳолаш учун қўлланиладиган характеристика бўлиб, $W_m = (B_d H_d / 2)$ м қўринишда ифодаланади, бунда B_d — солиштира ҳажмий энергиянинг максимал қийматига мос келувчи индукция Тл; H_d - солиштира ҳажмий энергиянинг максимал қийматига мос келувчи магнит майдон кучланганлиги, А/м.

Очиқ магнит учли магнитсизланиш эгри чизиғи 1 ва солиштира магнит энергия эгри чизиғи 2 43-расмда тасвирланган. Чизиғи 1 индукциянинг маълум B_d қиймати ва унга мос H_d магнит майдон кучланганлигида доимий магнитнинг солиштира ҳажмий энергияси максимал W_m қийматга эришади. Бу энергия доимий магнитнинг ҳажм бирлигига нисбатан унинг кутблари орасидаги тирқишда ҳосил бўлган энг катта энергиядир. W_m нинг сон қиймати қанча катта бўлса, магнит- қаттиқ материал шунча яхши ва демак ундан тайёрланадиган доимий магнит шунча яхши магнит ҳисобланади.

7.2. Магнит материаллар таснифи

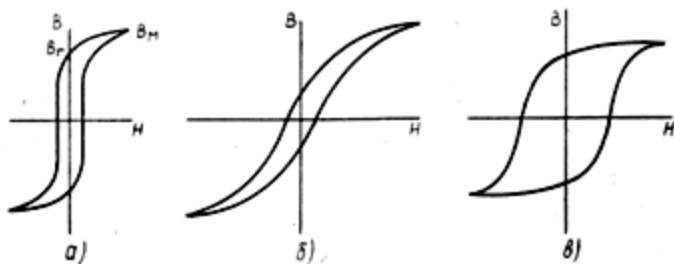
Магнит майдонда ўзини тўтишига қараб магнит материаллар икки гуруҳга бўлинади: магнит-юмшоқ ва магнит-қаттиқ материаллар.

Магнит-юмшоқ материаллар ўзининг бошланғич ва максимал магнит сингдирувчанлигининг катта экани ва коэрцитив куч қийматининг кичик экани ($H_c \leq 4000$ А/м) ҳамда магнитланиши ва магнитсизланишининг осонлиги билан характерланади. Бундан ташқари, уларда гистерезис учун йўқотишлар кам, яъни уларга тор гистерезис сиртмоғи тўғри келади (44-расм, а, б).

Магнит-юмшоқ материалларнинг магнит характеристикалари уларнинг химиявий софлиги ва кристалл тузилишининг бурилиш даражасига боғлиқ. Магнит-юмшоқ материал

таркибида турли аралашмалар қанча кам бўлса, унинг характеристикаси шунча юқори, яъни унинг σ_0 ва ρ , лари катта, бироқ H_c ва гистерезис учун энергия йўқолишлари шунча кичик бўлади.

Шу сабабли магнит-юмшоқ материаллар ишлаб чиқаришда уларнинг таркибидаги энг зарарли аралашмаларни углерод, фосфор, олтингурут, кислород, азот ва бошқа тур оксидларни чиқариб ташлашга ҳаракат қилинади. Шу билан бир вақтда материалнинг кристалл тузилишини бузмасликка ва унда ички кучланишларни юзага келтирмасликка интилинади.



38-расм. Юмшоқ магнит (а, б) ва қаттиқ магнит (в) материаллар учун гистерезис сиртмоғи

расм в), яъни уларни магнитлаш қийин. Магнитлангандан сўнг улар ўзида магнит энергияни узок сақлаши мумкин, яъни магнит майдон манбаи бўлиб хизмат қила олади, шунинг учун улардан асосан турли доимий магнитлар тайёрлашда фойдаланилади.

Магнит материаллар таркибий тузилиши бўйича металл, нометалл ва магнитодиэлектрик материалларга бщдинади.

Металл магнит материалларга соф металллар (темир, кобальт, никель) ва баъзи металлларнинг магнит қотишмалари киради: нометалл магнит материалларга темир оксиди ва бошқа металлларнинг кукунсимон аралашмасидан олинадиган ферритлар киради. Прессланган феррит буюмлар (масалан, ўзақлар)га термик ишлов ($1300—1500^{\circ}\text{C}$ да) берилади. Натижада улар қаттиқ монолит магнит буюмга айланади. Ферритлар металл магнит материаллар каби, магнит-юмшоқ ва магнит-қаттиқ турда бўлиши мумкин. Магнитодиэлектриклар 60—80% кукунсимон магнит материал ва 40—20% диэлектрикдан иборат бўлган композицион материаллардир.

Ферритлар билан магнитодиэлектриклар металл магнит материаллардан солишгирма электр қаршилигининг катталиги ($\rho=10^2\div 10^8 \text{ Ом}\cdot\text{м}$) билан фарқ қилади. Бу эса уларда уюрма тоқларга сарф бўладиган энергия йўқолишларни кескин камайтиради. Бу улардан юқори частоталар техникасида фойдаланиш ямкони беради. Бундан ташқари, кўпгина ферритларнинг магнит характеристикалари кенг частоталар диапазонида, ҳатто ЎЮЧ да ҳам барқарорлигини йўқотмайди.

7-Жадвал Легирланмаган пермаллойларнинг асосий характеристикалари.

Таркибидаги Никель миқдори, °С	Бошланғич магнит сингдирувчанлиги	Максимал магнит сингдирувчанлик	Коэрицитив куч , А/м	Солиштирма электр қаршилиги , мкОм м
78,5	7000 - 14000	130000 - 270000	2 - 3	0,25
66	3000 - 3700	120000 - 200000	3 - 5	0,33
50	2000 - 3000	50000 - 70000	6 - 10	0,45

8- Жадвал . Легирланган пермаллойларнинг асосий характеристикалар

Таркибидаги Никель миқдори, °С	Дегирловчи элементлар миқдори	Бошланғич магнит сингдирувчанлиги	Максимал магнит сингдирувчанлик	Коэрицитив куч , А/м	Солиштирма электр қаршилиги , мкОм м
78,5	3,8Мо	30000	250000	2	0,55
66	2 Мо	4000	120000	0,7	0,48
50	4Cr	3000	30000	3	0,95

7.3. Металл магнит-юмшоқ материаллар

РЭА да ишлатиладиган асосий металл магнит-юмшоқ материаллар карбонилр темир, пермаллой, алрсиферлар ва паст углеродли кремнийли пўлатлардир.

Карбонилр темир диаметри 1-8 мкм бўлган сферик заррачалардан ташкил топган майин дисперсияланган кукундан иборат. Карбонилр темир пентакарбонил темир $Fe(CO)_5$ нинг термин парчаланиши — углерод оксиднинг темир билан реакцияга киритиш йўли билан олинади. Пентакарбонил темирнинг бутлари термин парчаланганда соф темир зарралари ажралиб чиқади. Карбонилр темир зарраларининг углерод оксиди билан аралашishi натижасида ҳосил бўлган кукунга водородли мухитда термин ишлов берилади. Бундай ҳолатдаги Карбонилр темирнинг магнит характеристикалари юқори бўлади:

$$\mu_6=2500\div 3000; \mu_m= 20000\div 21000; H_c=4,5\div 6,2 \text{ А/м.}$$

Кукунсимон карбонилр темир асосли юқори частотали магнитодиэлектрик ўзақлар тайёрлашда ишатилади. Бундан ташқари, карбонилр темирдан чинни пишириш усулида монолит (яхлит) металл тайёрлаш мумкин, бироқ бу усул иқтисодий жиҳатдан мақсадга мувофиқ эмас.

Пермаллой — таркибида 45—80% никель бўлган пластик темир никели қотишмалар бўлиб, юқори пластикликка эга, шу сабабли 1 мкм қалинликкача юпқа листлар ва тасмалар кўринишида осон прокат қилиниши мумкин. Пермаллойнинг у ёки бу хусусиятларини яхшилаш мақсадида унга молибден, хром, кремний ёки мис қўшиб, легирланган пермаллой ҳосил қилинади. Таркибида 45—50% никель бўлган пермаллой нам никелли пермаллой; 60—80% никель бўлган пермаллой эса кўп никелли пермаллой дейилади.

Ҳамма пермаллойлар шларининг юқори магнит характеристикалари билан фарқ қилади (15 ва 16-жадваллар). Бунга фақат уларнинг таркибини яхшилаш ва химиявий софлигини таъминлаш билангина эмас, балки шунингдек махсус термин ишлов бериш билан ҳам эришилади. Термин ишлов бериш шундан иборатки, қотишма соатига 400—500°С тезлик билан

кыздирилиб, сўнг 1000—1150°C температурада 3—6 соат ушлаб турилади ва хона температурасигача соатига 100—200°C тезлик билан совитилади. Баъзи пермаллойларни 600°C гача кыздириб, мис тахгача устига қўйиб минутига 150°C тезлик билан совитиш керак бўлади.

Пермаллойларнинг ҳарктеристикалари улар водородда ёки вакуумда куйдириб олинади.

15 ва 16-жадваллардан кўриниб турибдики, легирланган Пермаллойларнинг Легирланмаган солишпирма электр қаршилиги энг катта, яъни уярма тоқларга энергия йўқотишлар жуда кичик ва магнит характеристикалари яхши. Шунинг учун улар юқори частотали РЭА ларда ишлатилади.

Пермаллойларнинг ҳамма турлари механиқ деформацияларга -кесиш, штамплаш ва бошқа механиқ таъсирларга жуда сезгир. Шунинг учун юқоридаги усулар билан тайёрланган буюмларга кўшимча термин ишлов берилади - вакуумда куйдирилади. Куйдириш жараёни шундан иборатки, буюм 900—1100°C гача кыздирилади ва шу температурада шу таркибли пермаллой учун белгиланган вақт ушлаб турилади ҳамда белгиланган тезликда совитилади.

Пермаллой материаллар 0,002—0,5 мм қалинликдаги тасмалар, 1—2 мм қалинликдаги листлар ва 5—50 мм ва ундан ортиқ диаметрли чизиқлар кўринишида ишлаб чиқарилади. Кам никелли пермаллойлар дросселлар, хажми (кичик ўлчамли) трансформаторларнинг ўзақларини тайёрлашда ишлатилади. Легирланган нам никелли ва кўп никелли пермаллойлар 1—5 МГц частоталарда ишлайдиган аппаратларнинг деталларини тайёрлашда ишлатилади.

Магнит кучайтиргичларда температурага унчалик боғлиқ бўлмаган тўғри тўртбурчакли гистерезис сиртмоғига эга бўлган пермаллойлар (50НП, 79НМ, 80НМ) ишлатилади. Пермаллойларнинг магнит характеристикалари —60° дан +60° гача ораликда барқарор сақланади.

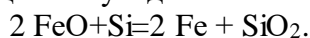
Алрсиферлар -5,5-13% алюминий, 9-10% кремний, қолганлари темирдан иборат парчаланмайдиган (буғланмайдиган), тобланмайдиган мўрт қотишма. Саноатда ишлаб чиқариладиган алрсифер навлари куйидаги характеристикаларга эга:

$$\mu_0 = 6000 \div 7000; \mu_m = 30000 \div 35000; H_c = 2,2 \text{ А/М};$$

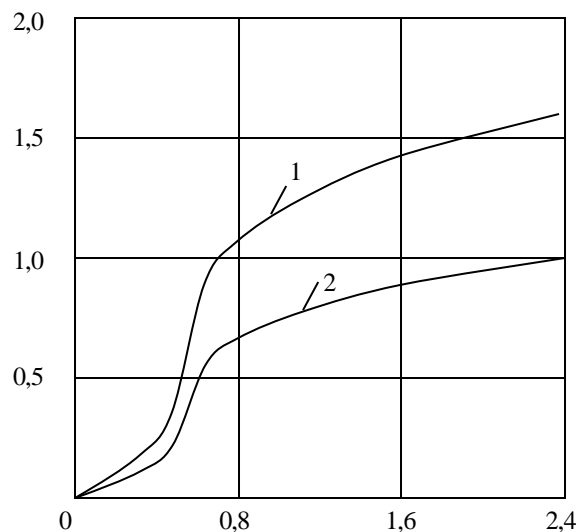
$$\rho = 0,8 \text{ мк Ом}\cdot\text{м}.$$

Альсифер нисбатан чекланган соҳадагина пермаллой ўрнини эгаллай олди. Ундан 50 кГц дан юқори бўлмаган диапазонда ишлайдиган қуйма ўзақлар тайёрланади, чунки бундан юқори частоталарда уярма тоқларга сарфланадиган йўқотишлар пайдо бўлади. Магнит каллақлар тайёрлаш учун таркибида 2,5% хром, 16% алюминий ва қолгани темир бўлган емирилишга чидамли 16 ЮХ қотишмаси ишлатилади. Бу қотишманинг магнит характеристикаси: $\mu_0=15000$; $\mu_m=140000$, солишпирма электр қаршилиги эса $\rho \approx 1,5 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$.

Кам углеродли, кремнийли пўлатлар темир ва 0,8—4,8% кремнийдан иборат қотишма. Кремнийли пўлат таркибида углерод 0,08% дан ортиқ бўлмайди. Кремнийли пўлат 0,05—1 мм қалинликдаги листлар ва тасмалар кўринишида ишлаб чиқарилади ва нисбатан арзон материал ҳисобланади. Пўлатга ишлов берилганда ундаги кремний суюқланган ҳолатда бўлиб, у FeO билан реакцияга киришади. Бунда пўлатдан соф темир ажралиб чиқади ва қумтупроқ ҳосил бўлади.



Қумтупроқ пўлатнинг солишпирма электр қаршилигини оширади ва уярма тоқларга кетадиган исрофларни камайтиради. Кремний темир кристалларининг ўсишига ёрдам беради, шунингдек цементит Fe₃C нинг



45-расм. Согнетаяин (1) ва исогнетаяин (2) прокат килинган кремнийли пўлатларнинг (таркиби бир хил) магнитланиш эгри чизиғи.

парчаланишига сабаб бўлиб, пўлатнинг магнит характеристикаларини яхшилайти. Пўлатга кўп миқдорда кремний қўшилганда унинг магнит характеристикасини яхшилайти, аммо пўлатнинг мўртлигини оширади, бу эса ундан штамплаш усули билан деталлар тайёрлаш ишларини мураккаблаштириб кўяди. Шу сабабли пўлат таркибига 4,8% дан зиёд кремний киритилмайди.

Кремнийли пўлат листларни тайёрлаш учун заготовклар қиздирилади ёки совуқ ҳолда прокат қилинади, шу сабабли иссиқлайин ва совуқлайин прокат қилинган кремнийли пўлатлар бўлади. Маълумки, темир кристаллари куб структурага эга, магнит майдон йўналиши темир кристалли кубининг қирраси йўналиши билан мос тушганда темир жадал магнитланади. Шунинг учун кремнийли пўлат листлар совуқлайин бир йўналишда бир неча марта прокат қилинади, шундан сўнг водородли муҳитда 900°C да юмшатилади. Юмшатиш жараёнида листлар таркибидан материалнинг магнит хоссаларини пасайишига олиб келувчи аралашмалар чиқиб кетади, бундан ташқари, прокат туфайли деформацияланган темир кристаллари дастлабки шаклига қайтади.

Совуқлайин прокат қилинган, кристалл қирралари прокат йўналишида жойлашган кремнийли пўлат текстура қилинган пўлат дейилади. Совуқлайин прокат қилинган текстуралли пўлатларнинг иссиқлайин прокат қилинган пўлатлардан афзаллиги 17-жадвалда ва 45-расмда кўрсатилган.

Совуқлайин прокат қилинган пўлатлар фақат магнит оқими прокат йўналиши билан мос келгандагина яхши магнит характеристикага эга бўлади. Бу йўналишлар мос келмаганда уларнинг магнит характеристикалари иссиқлайин прокат қилинган пўлатларникидан паст бўлади. Шунинг учун совуқлайин прокат қилинган текстуралли пўлатлардан тасмасимон ўзаклар тайёрлашда фойдаланиш жуда самарали ҳисобланади. Кремнийли пўлатларнинг магнит характеристикаларини (15-жадвал) пермаллойники билан (13-жадвал) га таққослаб кўрилса, пермаллой катта афзалликка эга эканлигини сезиш мумкин. Шу сабадан кремнийли пўлат электроаппаратураларнинг магнит сингдирувчанлик жуда катта бўлмаган ва муайян миқдорда энергия исрофларига йўл қўйиш мумкин бўлган унча муҳиммас қисмларида ишлатилади.

9-жадвал. Юқори легирланган пўлатларнинг асосий характеристикалари.

Кремний ва пўлат миқдори	Прокат қилиш тури	Бошланғич магнит сингдирувчанлиги	Максимал магнит сингдирувчанлик	Коэрцитив куч, А/м
4,0	Иссиқлайин	300-400	6000-8000	31-13
3,8	Совуқлайин	600-900	2000-35000	9.5-14

7.4. Металл магнит-қаттиқ материаллар

Магнит-қаттиқ материаллар электроаппаратураларда ишлатиладиган доимий магнитлар тайёрлашда қўлланилади. Доимий магнитларга нисбатан қўйиладиган талаб шундан иборатки, улар кутблари орасида доимий кучланганликли ва индукцияли доимий магнит майдон ҳосил қилиши керак. Бунинг учун доимий магнит катта магнит энергияга, яъни магнит-қаттиқ материаллар катта коэрцитив кучга ва қолдиқ магнит индукцияга эга бўлиши лозим.

Ҳар қандай доимий магнитда вақт ўтиши билан магнит оқими, яъни солишпирма магнит энергияси камаяди. Бу жараён магнитнинг эскириши деб аталади ва у қайтар ёки қайтмас жараён бўлиши мумкин. Эскиришнинг бир тури магнитнинг титраш, зарблар, температуранинг кескин ўзгариши натижасида юзага келади. Иккинчи тури магнит-қаттиқ материал структурасининг ўзгариши билан боғлиқ бўлиб, у қайтмас жараён ҳисобланади. Шундай қилиб, магнит-қаттиқ материалларга нисбатан қўйиладиган иккинчи талаб уларнинг эскиришга чидамлилигидир.

Металл магнит-қаттиқ материалларни уч асосий гуруҳга ажратиш мумкин: мартенсит кўп углеродли легирланган пўлатлар; темир — алюминий — никель асосидаги қотишмалар; металл-керамик магнит-қаттиқ материаллар.

Кўп углеродли пўлатларда мартенсит структура тоблаш йўли билан ҳосил қилинади, яъни темирдаги углерод эритмага айланадиган температурагача қиздирилади (аустенит), кейин сувда ёки мойда кескин совитилади. Мартенсит структурали темир кристаллари кескин бузилади бўйига чўзилади, карбид (Fe_3C) нинг энг майда зарралари пўлатнинг микроструктураси ичига тарқалиб, унинг кристаллари ичида ички кучланишни оширади. Бу ҳол мартенсит пўлатдан тайёрланган доимий магнитларга қаттиқлик беради. Тобланган легирланган пўлатдан тайёрланган доимий магнитларнинг коэрцитив кучи ва қолдиқ магнит индукцияси бошқалариникига нисбатан катта.

Мартенсит пўлатлар сифатида хромли, вольфрамли ва кобальтли пўлатлардан фойдаланилади. Хромли пўлатлар учун легирловчи компонент хром (1,3—3,6%), вольфрамли пўлатларда — вольфрам (5,5—6,5%) ва хром (0,3—0,5%), кобальтли пўлатларда — кобальт (5—17%), молибден (1,2—1,7%) ва хром (6—10%) ҳисобланади. Бу пўлатлар таркибида 0,9—1,1% углерод, қолганлари темир бўлади.

Доимий магнитлар пўлат чивиклардан ва мартенсит пўлат тасмалардан қиздириб болғалаш ёки штамплаш йўли билан тайёрланади. Доимий магнитларга механик ишлов берилгандан сўнг мартенситда тобланади, сўнгра магнитланади. Ҳамма магнитларнинг магнит характеристикалари барқарор бўлиши учун уларни сунъий равишда эскиртирилади, яъни улар қайнаб турган сувда узоқ вақт сақланади.

Пўлат магнитларнинг асосий магнит характеристикалари қуйидагилар: хромли пўлат учун $B_c = 0,90$ Тл; $H_c = 4600$ А/М; $W_m = 2,4$ кЖ/м³; вольфрамли пўлат учун $B_c = 1$ Тл; $H_c = 5000$ А/М; $W_m = 5,5$ кЖ/м³; кобальтли пўлат учун $B_c = 0,95 \div 1,1$ Тл; $H_c = 8000 \div 13600$ А/М; $W_m = 11,0$ кЖ/м³.

Энг яхши материал кобальтли пўлатдир, бироқ у хромли ва вольфрамли пўлатга нисбатан анча қиммат туради. Ҳамма пўлатларни топиш мумкин ва уларга ишлов бериш ҳам осон, бироқ магнит характеристикалари нисбатан пастлиги туфайли уларни ишлатиш соҳалари чекланган.

Темир—алюминий—никель асосидаги кобальт, мис, титан ва ниобий билан легирланган магнит-қаттиқ қотишмаларнинг (масалан, ЮНД12, ЮНДК15, ЮНДК18, ЮН13ДК14 ва бошқалар) магнит характеристикалари анча юқори. Қотишмаларнинг марқаланишидаги Ҳарфлар қуйидагиларни билдиради—алюминий, Н—никель, Д—мис, К —кобальт, Б—ниобий, Т—титан. Тегишли Ҳарфлардан кейин турган рақамлар қотишмадаги шу компонент неча фоизни (массаси бўйича) ташкил этишини билдиради. Бу қотишмалардан магнитлар тайёрлаш учун фақат қуйиш усулидан фойдаланиш мумкин. Уларнинг магнит характеристикалари юқори: $B_c = 0,5 \div 1,4$ Тл; $H_c = (42 \div 145) \cdot 10^3$ А/М;

$W_m = 14 \div 32$ кЖ/м³. Бундай юқори магнит характеристикаларга дисперсион ыотириш жараёни туфайлигина эришиш мумкин. Бу жараён қуйидагича кечади: магнит 1100—1200°С гача қиздирилади, бунда қотишманинг таркибий қисмлари темирда суюқланади. Сўнгра магнит кескин совутилганда унинг материали ичида ўта тўйинган қотишма компонентларининг қаттиқ эритмаси ҳосил бўлади. Темирда ортиқча миқдорда эриган қотишма компонентлари вақт ўтиши билан юқори дисперсланган зарралар кўринишида ажралиб чиқа бошлайди, улар магнитнинг ҳамма таркибий қисми бўйлаб тарқалиб, темир кристаллар ичида ички кучланишни юзага келтиради. Бу эса қотишманинг коэрцитив кучи ва қолдиқ магнит индукцияси юқори бўлишини таъминлайди. Бу жараённи тезлаштириш учун критик совитиш тезлигига (секундига 15—30°С) риоя қилган ҳолда магнит юмшатилади. Магнитларга бундай ишлов бериш дисперс қотириш деб аталади.

Таркибида 12% ва ундан юқори миқдорда кобальт бўлган қотишмаларнинг магнит характеристикаларини қуйиш йўли билан олинган магнитларга термомагнит ишлов бериш йўли билан ошириш мумкин. Бунинг учун магнит 1300°С гача қиздирилади ва кучли магнит майдонда совутилади (секундига 10—15°С совитиш тезлигида). Ташқи магнит майдон таъсири

йўналишида доменларнинг жойлашиб қолиши туфайли совитилган магнитлар магнит текстурага эга бўлади. Бунинг натижасида уларнинг энергияси қолдиқ магнит индукциянинг кескин ортиши ҳисобига 20—30% ортади. Бу қотишмалардан тайёрланган магнитлар мартенсит пўлатларга нисбатан эскиришга анча чидамли бўлади. Қотишмаларнинг намлиги шундан иборатки, қаттиқлиги ва мўртлиги юқори бўлганлиги учун уларга оддий механик ишлов бериш мумкин эмас. Кобальтли темир, никель, алюминий қотишмалардан тайёрланган магнитларга силлиқлаб ишлов бериш мумкин.

Жуда кичик ўлчамли ёки мураккаб шаклдаги магнитлар металл қукунларидан олинадиган металл-керамик материаллардан кўплаб ишлаб чиқаришга ҳаракат қилинади. Металл керамик магнитлар, темир — никель — алюминий ёки темир никель — алюминий — кобальт қукунлари асосида тайёрланади. Уларнинг нисбати шундай тайёрланадики, пресслангандан ва юқори температурада пиширилгандан сўнг магнит қаттиқлиги таъминлансин. Металлар ва уларнинг қотишмалари 10 мкм дан ортиқ бўлмаган ўлчамларгача майдалаб туйилади. Берилган қукунсимон массадан магнит тайёрлаш учун 1,0—1,5 МПа босимда прессланади. Прессланган магнитлар ҳимояловчи атмосферада ёки вакуумда 1100—1300°C температурада пиширилади. Пиширилгандан сўнг магнитлар тобланади, сўнгра берилган тезликда совутиб юмшатилади. Кобальтли магнитларнинг магнит, қаттиқлигини яхшилаш учун уларга ташқи магнит майдон таъсирида термомагнит ишлов берилади.

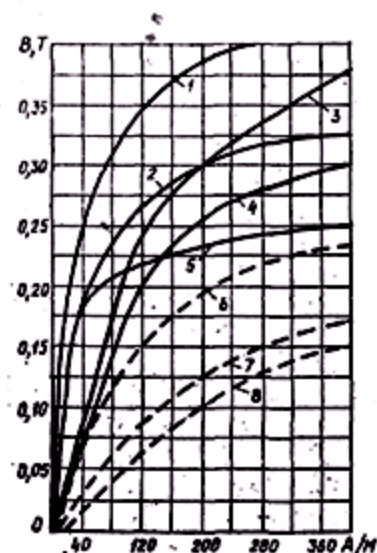
Тайёр ҳолатдаги металл-керамик магнитларда унча катта бўлмаган (2—5%) ғоваклик мавжуд бўлади. Бу эса уларнинг магнит характеристикаларининг бир оз пасайишига сабаб бўлади. Металл-керамик магнитларнинг афзаллиги шундаки, уларнинг сирти тоза, кўшимча ишлов беришни талаб қилмайди ва берилган ўлчамлари аниқ бўлади. Металл-керамик материаллардан тайёрланган магнитларга фақат силлиқлаш ишлови бериш мумкин. Нодир ер элементлари ва кобальт асосида тайёрланган магнит-қаттиқ, материаллар коэрцитив кучи ва солишгирма ҳажмий энергиясининг катталиги билан ажралиб туради. Бу қотишмалар RCO_5 туридаги интер—металл бирикмалардан иборат бўлиб, бу ерда R—нодир ер элементи (натрий, самарий ёки цезий), қолганлари - кобальт. Бу моддалардан ташкил топган доимий магнитлар қукунсимон массалардан совуқлайин пресслаш ва кейин пишириш ёки қуйиш усули билан олинади. Ҳосил қилинган доимий магнитларнинг намуналари қуйидаги характеристикага эга бўлади: $B_p=0,80\div 95$ Тл; $H_c=(10—13)\cdot 10^3$ А/М; $W_m=60\div 90$ кЖ/м³.

7.5. Ферритлар

Ферритлар темир оксиди Fe_2O_3 билан бошқа металл оксидлари $ZnO-NiO$ ва бошқаларнинг бирикмаларидан иборат. Пресслаб тайёрланган феррит буюмлар юқори температурада пиширилади. Ферритнинг номи унинг таркибига кирган икки валентли ёки бир валентли (гоъида) металл оксиди миқдорига қараб белгиланади. Масалан, агар феррит таркибига рух оксиди ZnO кирган бўлса, у ҳолда бу феррит рух феррити, агар никель оксиди NiO кирган бўлса никель феррити деб аталади ва ёказо.

Таркибида темир оксиди Fe_2O_3 дан ташқари бошқа металл оксиди бўлган ферритлар оддий ферритлар деб аталади. Ферритнинг химиявий формуласи умумий кўринишда қуйидагича ёзилади: $MeO \times Fe_2O_3$ ёки $MeFe_2O_4$, бу ерда Me-оксиди феррит таркибига кирган металл белгиси. Рух ва никель ферритларнинг химиявий формулалари қуйидагича ёзилади: $ZnFe_2O_4$ ёки $NiFe_2O_4$.

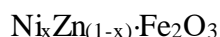
Оддий ферритларнинг ҳаммаси ҳам магнит хоссаларга эга бшлавермаиди. Масалан, рух ва кадмий ферритлари ($Cd Fe_2O_4$) магнит бўлмаган моддалардир.



40-расм. Марганец-рух (НМ) ва никель-рух (НН) ферритларнинг магнитланиш эгри чизиқлари:
1 – 40000 НМ, 2 – 3000 НМ,
3 – 2000 НМ, 4 – 1000 НМ,
5 – 2000 НН, 6 – 600 НН,
7 – 400 НН, 8 – 200 НН.

Оддий ферритларда магнит хоссаларининг мавжуд ёки мавжуд эмаслиги уларнинг таркибига ва кристалл панжарада ионлар таъсироти (жойлашиши) га боғлиқ. Юқорида санаб штилган оддий ферритлар шпинелр туридаги куб панжарага эга. Бундай панжара икки валентли, зич жойлашган, манфий зарядланган кислород ионларидан иборат бўлиб, бу ионлар оралирида тўрт ёки олти кислород иони билан шралган мусбат зарядли металл ионлари жойлашган. Шпинелр туридаги куб панжарада металл ионлари нормал ёки юзма-юз турган шпинелр тарзида таъсимланиши мумкин. Нормал шпинелр тарзида кристалланувчи рух ва кадмий ферритлари магнит хоссаларга эга эмас, юзма-юз ыараган шпинелр тарзида кристалланувчи ферритлар эса магнит хоссаларга эга бўлади.

Битта оддий ферритнинг иккинчи оддий феррит билан қаттиқ аралашмасидан иборат мураккаб ёки аралаш ферритлар энг яхши магнит характеристикаларига эга. Бу ҳолда магнитмас ферритларни оддий магнит ферритларга қўшиб ишлатиш мумкин. Масалан, оддий рух ва никель ферритларнинг қаттиқ эритмаси аралаш никель — рух ферритни ҳосил қилади, унинг химиявий формуласи куйидагича:



Келтирилган формуладаги x материал таркибидаги никель оксидининг моляр улушини, $(1-x)$ эса рух оксидининг моляр улушини англатиб, бу улушлар йириндиси бирга тенг бўлади.

Ферритлар керамика ишлаб чиқариш технологияси бўйича тайёрланади, яъни маолум нисбатда олинган бошланғич кукунсимон металл оксидлари тегирмонда майдалаб чиқарилади. Бу майдалаб туйилган кукунлар аралашмаси брикетлар тарзида прессланади, улар печларда биринчи марта қиздириб куйдирилади. Куйдириб пиширилган брикетлар туйиб талыон қилинади ва ҳосил бўлган майин дисперсияланган кукунга бирор пластификатор, масалан, поливинил спирти ышшилади. Олинган массадан феррит буюмлар (ўзақлар, ыалыалар) пресслаб тайёрланади, сўнг улар 1000—1400°C температурада куйдирилади. Ҳосил қилинган мўрт қаттиқ буюмларни (кўпроы ыора рангда) фақат силлиылаш мумкин.

РЭА да аралаш магнит — юмшоқ ферритлар: никель — рух, марганец — рух, литий — рух ферритлар кўп ишлатилади. Ферритларнинг шартли белгилари: НН — никель—рух, НМ — марганец — рух, ВЧ — юқори частотали литий — рух, СЧ — шта юқори частотали, ВТ — тўғри бурчакли гистерезис сиртмогига эга. Ҳарфий белгилар олдидаги рақамлар бошланғич магнит сингдирувчанликнинг шртгача қийматини билдиради. Шта юқори частотали ферритларнинг маркаларидаги бундай рақамлар тшъин узунлигининг шртгача қийматини (см), гистерезис сиртмоғи тўғри бурчакли бўлган ферритларда эса коэрцитив кучни (А/М) билдиради. Масалан, 4000 НМ — бошланғич магнит сингдирувчанлиги 4000 га тенг бўлган марганец—рух феррит; 150 ВЧ — бошланғич магнит сингдирувчанлиги 150 га тенг бўлган юқори частотали феррит. Ферритларнинг ышшимча Ҳарактеристикалари: зичлиги 3800—5000 кг/м³; КТР= $(5\div 12)\cdot 10^{-6}$ 1/°C; ыоваклиги 1—15%. 46- расмдан кўриниб турибдики, ферритлар металл магнит-юмшоқ материалларга нисбатан кичик тшъиниш индукциясига эга, шу сабабли улардан кучли майдонларда фойдаланиш юқори самара бермайди. Шундай ферритлар борки, масалан, НМС ферритлар улар катта тшъиниш индукциясига эга. 18-жадвалдан кўриниб турибдики, ферритнинг бошланғич магнит сингдирувчанлиги қанча кичик бўлса, ундан шунча кенг частоталар диапазонида фойдаланиш мумкинлиги кўриниб турибди.

Ферритларнинг афзаллиги шундан иборатки, кенг частоталар диапазонида магнит характеристикалари барыарор, уярма тоқларга кам энергия исроф бўлади, электромагнит тшъиннинг сшшиш коэффициенти кичик шунингдек, феррит буюмларни тайёрлаш осон. Ферритлар ҳам барча магнит материаллар каби, фақат Кюри температураси T_k гача шзининг магнит хоссаларини саылайди. Таркиби турлича бўлган ферритлар учун T_k нинг қиймати кенг ораликда ётади: 70° дан 500°C, гача СВЧ (ШЮЧ) аппаратураларнда металл магнит материаллар ва паст частотали ферритлар (никель - рух ва бошқа ферритлар) солишпирма электр қаршилиги кичиклиги сабабли қўлланилмайди, акс холда уярма тоқларга сарфланадиган энергия йўқолишлари ортиб кетади.

СВЧ (ШЮЧ) техникасида поликристалл ва монокристалл ферритлар қўлланилади. Поликристалл ферритлар ыаторига литийли (10СЧ9), магнийли, никелли ва бошқа ферритлар

киради. Ферритларнинг бу гуруҳи СВЧ (ЩЮЧ) диапазонида катта солиштирама электр ыаршиликка (10^8 — 10^{10} Ом·м) ва барыарор магнит характеристикаларга эга. Солиштирама электр қаршилиги катта ва диэлектрик исрофлари кичиклиги билан фарқланувчи феррит гранатлар СВЧ (ЩЮЧ) техникасида кенг ыулланади.

Доимий магнитлар тайёрлаш учун магнит-қаттиқ ферритлардан фойдаланилади, улардан барийли ферритлар $BaO \cdot 6F_2O_3$ кўп ишлатилади. Барийли ферритлар магнит-юмшоқ ферритлардан фарқли равишда куб тузилишга эмас, балки гексагонал кристалл тузилишга эга бўлиб, магнит анизотроп хусусиятга эга, бу эса мазкур ферритнинг коэрцитив кучини оширади. Барийли ферритлар, тузилишига кўра ихтиёрий жойлашган кристалл заррачалар тшцлаמידан ташкил топган поликристалл материаллардан иборат, бу эса барча йўналишларда ферритнинг бир жинслилигини билдиради. Бу ферритлар изотроп ҳисобланади (БИ маркали).

Агар пресслаб магнит тайёрлаш жараёнида кукунсимон массага кучланганлиги катта ($H \approx 800$ кА/М) ташқи магнит майдони таъсир эттирилса, кристалл заррачалар бир йўналишда жойлашиб қолади. Шундай усулда тайёрланган барийли магнитлар анизотроп бўлади (БА маркали), улар шчоыда қиздириб юмшатиладан сўнг изотроп магнитларни кига нисбатан магнит характеристикалари юқори бўлади. Барийли ферритлардан тайёрланган магнитлар катта солиштирама электр ыаршиликка (10^3 — 10^6 Ом·м) эга. Фойдаланиш ыулай бўлиши учун барийли магнитларнинг узунлиги кшцдаланг кесими га нисбатан ыисыароы танланади.

16-Жадвал. Магнит-юмшоқ ферритларнинг магнит характеристикалары.

Феррит маркаси	Бошлангич магнит сингдирувчанлиги (ўртача қий·мати)	Коэрцитив куч. А/м	Солиштирама электр қаршилик. Ом·м	Чегаравий частота*, МГц	Кюри температураси, °С
6000 НМ	6000	12	0,1	0,01	130
4000 НМ	4000	16	0,5	0,7	130
3000 НМ	3000	24	0,5	0,8	140
2000 НМ	2000	20	0,5	1,5	200
1000 НМ	1000	80	0,5	1,6	200
1000 НМ	1000	32	20	0,4	110
600 НН	600	56	10^2	1,2	110
400 НН	400	80	10^3	2,0	120
200 НН	200	160	10^2	3,0	120
150 ВЧ	150	640	10^6	25	400
100 ВЧ	100	720	10^4	35	400
50 ВЧ2	50	800	10^6	70	450
10 ВЧ2	10	560	10^6	250	500

Барийли ферритлар магнит характеристикаларининг барыарорлиги билан фарқ қилади, бироқ улар температуранинг кескин ўзгаришига сезгир.

Феррит маркаси*	Қолдиқ магнит индукция, Тл	Коэрцитив куч, кА/м	Максимал магнит энергия, кЖ/м ³	Солиштирма электр қаршилиги**, мкОм·м	Кюри температураси, °С
6БИ240	0,19	240	6	10 ⁸ —10 ⁹	450
7БИ300	0,20	300	7		
16БА190	0,30	190	16		
15БА300	0,30	300	15		
18БА220	0,33	220	18		
22БА220	0,36	220	22		
24БА210	0,37	210	24		
25БА150	0,38	150	25		
28БА170	0,38	170	28		
28БА190	0,39	190	28		

Улар танқис бўлмаган кукунсимон материаллар—темир оксидлари (Fe₂O₃) ва барий, карбонат (BaCO₃)лардан керамика тайёрлаш технологияси бўйича тайёрланади. Барийли ферритлардан тайёрланган магнитлар темир — никель — алюминий қотишмалари ва бошқа металл материаллардан тайёрланган магнитларга нисбатан анча арзон.

Ҳамма ферритлар жуда мўрт бўлади, шунингдек магнит хоссалари температурага ва механик таъсирларга боғлиқ. Бу уларнинг камчилиги ҳисобланади. Ферритлар магнит ярим ўтказгич ҳисобланади, демак температура ортган сари уларнинг солиштирма электр қаршилиги камаяди, бу эса уярма тоқларга кетадиган энергия сарфини орттиради. 19- жадвалда кенг қўлланиладиган барийли ферритларнинг асосий характеристикалари келтирилган.

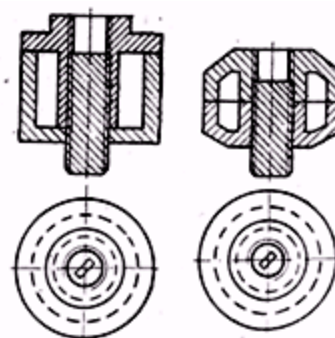
7.6. Магнитодиэлектриклар

Магнитодиэлектриклар магнит-юмшоқ материалнинг майин туйилган заррачаларидан иборат композицион материалдир. Бу заррачалар бир-бири билан бирор органик ёки аорганик диэлектрик орқали боғланган. Майин туйилган магнит-юмшоқ материаллар сифатида Карбонилр темир, альсифер ва кукун ҳолигача майдаланган пермаллойнинг баъзи турларидан фойдаланилади. Диэлектриклар сифатида эса эпоксид ёки бакелит смолалар, полистирол, суюқ шиша ва бошқалар ишлатилади.

Диэлектрикнинг вазифаси магнит материал зарраларини бир-бири билан боғлашдан ташқари улар орасида электрдан изоляцияловчи қатлам ҳосил қилиш, шу билан магнит-диэлектрикнинг солиштирма электр қаршилигини оширишдан иборат. Бу эса уярма тоқларга сарфланадиган энергия исрофини кескин камайтиради, шу билан магнит-диэлектриклардан юқори частоталарда (магнит-диэлектрик таркибига боғлиқ равишда 10 дан 100 МГц гача) ҳам фойдаланишга имкон беради. Карбониль темир ва полистирол асосидаги магнит-диэлектриклар альсифер ва бакелит смолалар асосидаги магнит-диэлектрикларга нисбатан анча юқори частоталарда ишлаши мумкин.

Карбонилр магнит-диэлектрикларнинг иш температураси —60 дан+100°С гача, Альсиферлар учун — 60 дан + 120°С гача. Магнит-диэлектрик таркибида 15—40% диэлектрик бўлганда, улар диамагнит материал ҳисобланиб ($\mu < 1$), уларнинг магнит характеристикалари бошланғич ферромагнит тўлдиргиччикига (карбониль темир, альсифер ва б.) нисбатан ўнлаб марта камаяди.

Магнитодиэлектрикларнинг магнит характеристикалари ферритларникидан бирмунча паст бўлишига қарамай, улар электроаппаратураларнинг юқори частотали қисмларидаги



41-расм. Мураккаб шаклдаги магнитодиэлектрик ўзақлар (зирхловчи копламалар).

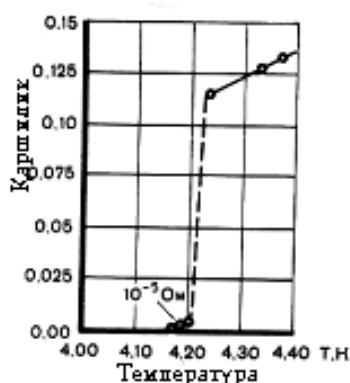
Ўзақларни тайёрлашда фойдаланилади. Бунга сабаб шуки, магнитодиэлектрикларнинг магнит характеристикалари ферритларникига нисбатан жуда барқарор ва улардан мураккаб шаклдаги ўзақлар тайёрлаш имкони бор (47-расм). Магнитодиэлектрик буюмлар қиздириб пресслаш ёки босим остида қуйиш усулларида тайёрланади. Магнитодиэлектриклардан буюмлар ишлаб чиқариш ферритларга нисбатан анча содда, шу сабабли уларга юқори температурада иссиқлик ишлов беришнинг хожати йўқ. Бундан ташқари, магнитодиэлектриклардан ясалган буюмларнинг сиртлари жуда тоза ва ўлчамлари аниқ чиқади.

Молибденли пермаллой ёки карбонилли темир қўшилган магнитодиэлектрикларнинг магнит характеристикалари жуда юқори. Магнитодиэлектрик деталларнинг пресслаш босими қанча юқори бўлса, уларнинг магнит сингдирувчанлиги ва бошқалар шунча юқори бўлади. Буюмнинг шакли ва мураккаблигига боғлиқ равишда бу босим қиймати $(14\div 20)\cdot 10^2$ МПа оралиқда бўлади. Уларнинг солишгирма қаршилиги эса $10^4 - 10^6$ Ом·м атрофида.

VIII-БОБ. ЎТА ЎТКАЗУВЧАНЛИК ВА ЎТА ЎТКАЗГИЧЛАР

8.1. Ўта ўтказувчан материаллар

1911 йилда Голланд олими Х. Камерлинг-Оннес симобнинг жуда паст температурадаги қаршилигини ўлчаётиб, ўта ўтказувчанлик ҳодисасини очди. Уни моддани бегона моддалардан максимал тозалашда ва температурани максимал даражада пасайтирганда қаршилиги қанчагача пасайиши қизиқтирган. Бу тажриба қутилмаган натижани берди: температура 4,15 К (-268,85 градус)га пасайганда симобнинг қаршилиги бир зумда йўқолди. Қаршилиқнинг бундай ўзгариши 1-расмда кўрсатилган.



42-расм. Қаршилиқнинг паст температураларда “йўқолиши”.

Ўта ўтказувчанлик ҳолатига ўтиши.

Ўтган асрнинг бошларидаёқ қаттиқ жисмларда ток ташувчи восита электронлар эканлиги маълум эди. Улар манфий зарядга эга, атомлардан анча енгил. Мусбат зарядланган ядро Кулон қонунига асосан электрон билан ўзаро таъсирлашади. Ҳар бир электрон ядро атрофида ўз “орбитасига” эга. Орбита ядрога қанча яқин бўлса электрон унга шунча кучли тортилади, электронни ядродан ажратиш олиш учун шунча кўп энергия талаб қилинади. Аксинча, энг четки ядроларни ажратиш енгил, унинг учун озроқ энергия талаб қилинади. Ташқи электронлар валентли дейилади.

Ташқи электронлар қаттиқ жисм ҳосил қилган атомларда ҳақиқатан ҳам енгил ажралади ва қарийиб эркин электронлар газини ҳосил қилади. Худди, қаттиқ жисмни бир кўза деб фарз қилинса, у тўла газ. Бу газ – эркин электронлар. Бу қаттиқ жисм парчасига электр майдони таъсир этса, электрон газдан “шамол” пайдо бўлади, яъни электронлар ҳаракатга келиб, майдон таъсирида бир томонга интилади. Бу “шамол” электр тоқидир.

Металлар

Маълумки, ҳамма моддалар ҳам ток ўтказавермайди. Диэлектрикларнинг валентли электронлари ўз атомларига “қаттиқ”, яъни кучли боғланган, уларни ажратиш олиб, бир томонга юргизиш осон эмас. Бунинг сабаблари мураккаб ва бу ерда тушунтириб ўтиришга эҳтиёж йўқ. Баъзан диэлектрикни ҳам ўтказувчанлик хусусиятига эга бўлишга мажбур қилиш мумкин. Масалан, катта босим таъсирида атомлар ўзаро яқинлашади ва диэлектрик металлга айланиб, ўтказувчан бўлиб қолади.

Металларда ҳам электронлар тўла эркинликка эга эмас. Улар ўз ҳаракати мобайнида атомларнинг қолдиқларига туртинади ва сочилиб кетадилар. Бунда ишқалиш юз беради ва биз уни ток қаршилиқка учради, деймиз. (Аслида қаршилиқнинг табиати ҳам анча мураккаб). Ўта ўтказувчанлик ҳолатида эса қаршилиқ йўқолади, нолга тенг бўлиб қолади. Электронлар ҳаракати ишқалнишсиз рўй беради. Шу билан бирга бизнинг кундалиқ ҳаётимизда олган тажрибамиз бундай бўлиши мумкин эмас, дейди. Физикларнинг кўп йиллик тадқиқотлари бу қарама-қаршилиқни ҳал қилишга қаратилган эди.

Қаршилиқ

Металлнинг электр қаршилиги унинг ўлчамлари билан боғлиқ. Қуйидаги формулада

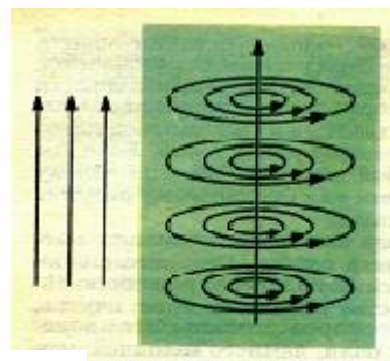
$$R = \rho \frac{l}{s}$$

R-қаршилиқ, ўлчов бирлиги Ом; s-металл парчасининг ток ўтиши йўналишидаги қўндаланг кесими, мм²; l -металл парчасининг ток йўналишидаги узунлиги, м; ρ -металлнинг солиштирма қаршилиги, Ом*м. Соф мис энг яхши ток ўтказувчилардан бири. Унинг хона

Бу хусусий майдон ҳам ўта ўтказувчанликни бузишга ҳаракат қилади. Критик зичликдаги ток ёки критик ток шундайки, у критик магнит майдон кучланганлиги ҳосил қилади ва ўта ўтказувчанликни бузади.

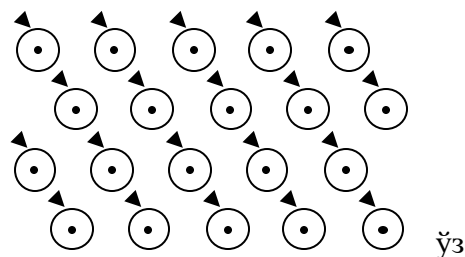
Ўта ўтказгичлар икки турга бўлинади. Биз шу пайитгача 1-турини муҳокама қилиб келдик. 1-турнинг хусусияти шундаки, улар ўз танасидан магнит майдонини сиқиб чиқаради, унинг қиймати критик майдон кучланганлиги H_c га камайиб етмагунча унга қарши кўрашади. H_c дан юқори қийматларда нормал ҳолатга ўтади. Оралиқ ҳолатда намуна (ўта ўтказгич) худди бир неча соҳаларга бўлиниб, ўз танасининг баъзи соҳаларига магнит майдони киришга рухсат беради. Яъни, нормал (магнит майдони кирган) ва ўта ўтказувчан (магнит майдони кирмаган) соҳаларга бўлинади. Нормал соҳалардан H_c майдон кучланганлиги “оқиб” туради, ўта ўтказувчан соҳаларда майдон нолга тенг. Бундай, 1-тур ўтказгичларга симоб, қалай, кўрғошин кабилар киради.

2-тур ўта ўтказгичлар - асосан, қотишмалар. Тоza моддалардан эса бу турга ниобий мансуб. 2-тур ўта ўтказгичлар ҳам магнит майдонини сиқиб чиқаради. Фақат жуда кичик майдонни. Майдон кучланганлиги ошиши билан, 2- тур ўта ўтказгич бу майдонни ўзига киритиш имконини топади ва шу вақтнинг ўзида ўта ўтказувчанликни сақлаб қолади. Бу ҳолат критикдан анча кичик майдон кучланганлигида юз беради: ўта ўтказгичда ўз-ўзидан уюрма тоқлар пайдо бўлади. Ток уюрмалари ўтказгич бўйлаб оқмасдан, ўтказгич танасида муайян диаметрли ҳалқаларга ўхшаб (10^{-7} см) тартиб билан жойлашади, уюрмалар канали ҳосил қилади.



47-расм. 2-тур ўта ўтказгичда уюрма тоқлар канали, Канал магнит майдонини ўзига "ютиб" олган

Бу канал магнит оқимининг бир қисмини ўзига ютиб олади. Ўта ўтказгичда бу уюрмалар канали ташқи магнит майдонга параллел жойлашган (6-расм). Ташқи майдон бўлмаса уюрмалар ҳам йўқ. Улар танага фақат ён сиртлар орқали кириш ёки чиқишлари мумкин. Бу кириш ва чиқиш жараёнида улар ўзлари билан ташқи майдон оқимини ичига олиб кириб кетиши ёки олиб чиқиши мумкин. Агар ташқи магнит майдон кучланганлигини оширсак уюрманинг ўлчамлари ўзгармайди, у олиб кирадиган магнит оқими кўпаймайди балки, оддийгина, уюрмаларнинг сони кўпаяди, ораларидаги масофа камаяди. Магнит майдони йўналишида қаралса (яъни уюрманинг тубидан), уюрмалар ўзаро учбурчак тартибда жойлашганлиги микроскопда кузатилган (48-расм). Янги, пастки критик магнит майдони кучланганлиги H_{c1} , деб аталган қийматда ўта ўтказгич танасида биринчи уюрмалар пайдо бўлади. Майдонни янада кучайтиришда давом этилса, уюрмалар сони ошаверади. Улар орасидаги масофа камаёверади.



48-расм. Уюрма тоқларнинг ўта-ўтказувчан танасидаги учбурчаксимон жойлашуви. Майдон куч чизиклари бизга томон уюрма марказидан ўтиб келмокда (нукталар).

Агар майдон кучайтирилаверса, уюрмалар бир-бирига шунчалик яқинлашадики, улар бирлашиб, ўзаро қуюлиб кетади. Бунда ўта ўтказгич нормал ўтказгич ҳолатига қайтади, ўта ўтказувчанлик йўқолади. Ўта ўтказувчанликнинг бузилишига олиб келувчи магнит майдон кучланганлиги юқори критик кучланганик H_{c2} дейлади. Мана шундай қилиб, 2-тур ўта ўтказгич магнит майдони ва ўта ўтказувчанликни бир бири билан “яраштириш”га, “келиштириш”га интилади. 2-тур ўта ўтказгичда уюрмадан ташқарида (бирок намуна танасида) магнит майдони йўқ.

Ўта ўтказувчанликни дахлдор энг муҳим омилларни кўриб чиқдик. Улардан ташқари атомлар кристалл панжарасининг тузилиши, унинг тебраниши, модда таркибидаги бегона моддалар, таркибдаги нуқсонлар ва бошқа кўп ва мураккаб омиллар ҳақида алоҳида тўхталмадик. Чуқур назарий ва математик мулоҳазалар ушбу китоб доирасига кирмайди.

Ўта ўтказувчанликка ҳаётдан мисол олинадиган бўлса, балетни кўрсатиш мумкин, спектакил бошланиши олдида артистлар сахнада юришибди. Ҳар ким ўзича, бирор тартибли ҳаракат йўқ. Бу - ўтказгичнинг нормал ҳолатига мос. Ёки солдатлар камандирнинг буйруғи билан сафда кетишмоқда. Бу ҳам нормал ҳолатда ўтказгичдаги токка мисол. Энди сахнада спектакил бошланди, деб фараз қилинг. Мураккаб ва нозик ҳаракатлар барча артистларда бир хил ва жуда юқори санъат билан бажарилмоқда. Қаторда юрган солдатлар ёки тартибсиз ҳаракатдаги артистларга қарагандан кўра балетни томоша қилиш минглаб карра завқ беришини нормал ўтказувчанликдаги ва ўта ўтказувчанликдаги тоқлар билан қиёслаш мумкин.

8.2. Ўта ўтказгичларнинг қўлланилиши

Симлардан электр тоқини узатишида исрофлар айнан қаршилиқларда рўй беради. Қаршилиги йўқ симлардан фойдаланиш қанчалик фойдали эканлиги равшан. Ҳозирда ишлаб чиқарилаётган энергиянинг 10% и симларда исроф бўлмоқда. Бу жуда катта энергия - ҳар 10та электростанциянинг бири исрофларни қоплашга ишламоқда. Бу муаммони ҳал қилишда ўта ўтказгичлар қўл келади. Бироқ, уларни тайёрлаш жуда қийин, қиммат ва мураккаб масала.

Ўта ўтказувчанликни ҳосил қилувчи паст температурани мураккаб жиҳозлар ёрдамида ҳосил қилинадиган суюқ гелий таъминлайди. Суюқ гелийни суюқ ҳолда ушлаб туриш учун унда ҳосил бўлаётган иссиқликни кўп миқдордаги суюқ азот воситасида ташқарига узатиб туриш керак. Уларни ташқи иссиқ муҳитдан изоляциялаш керак. Суюқ гелий камёб ва қиммат. Аппаратура ва уни ишлатиш учун одамлар юқори технологияларга мансуб бўлиши талаб қилинади. Шунинг учун ўта ўтказгичларнинг критик температурасини кўтариш жуда муҳим масала. Юқори критик температурали (масалан, - 200⁰С ва удан юқори) ўта ўтказгичлар яратиш технологияси йўлга қўйилса, бу температурани таъминлаш учун арзон ва мўл суюқ азотдан фойдаланиш мумкин. Ҳозирча фақат ихчам технологик жиҳозлардагина суюқ гелий билан совутиладиган ўта ўтказгичлар қўлланилмоқда.

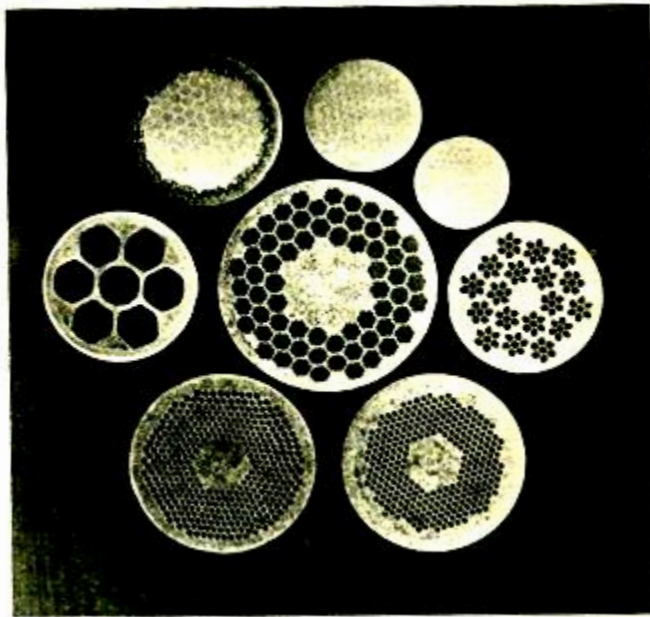
Магнитлар

Доимий магнитлар бизга таниш. Уларнинг майдон кучланганлиги унча юқори эмас. Кучли магнит оқимларини электромагнитлар (пўлат ёки бошқа, магнит оқимини яхши ўтказувчи ўзакли катта чўлғам)лар билан ҳосил қилинади. Катта майдон кучланганлигига чўлғамнинг ўрамлар сони ва (ёки) тоқини ошириб эришиш мумкин. Ток ошган сари сим кизийди. Уни сув билан совитиб бир неча минг Эрстед кучланганлик олиш мумкин. Ўн минглаб Эрстед кучланганлик олиш учун ўта ўтказгичлардан фойдаланмасдан бошқа иложи йўқ.

Ўта ўтказгичли магнитлар яратишда дастлаб 1-тур ўта ўтказгичлардан фойдаланишга ҳаракат қилинди. Уларнинг паст критик магнит майдон кучланганликлари (H_c) бу ерда асосий тўсиқ бўлиб қолди. 2-тур ўта ўтказувчанлик очилгандан сўнг кучли магнитлар яратишга амалий ва самарали уринишлар бошланди. Бунда муаммо ўта ўтказгичнинг баъзи участкаларида нормал ўтказгич (қаршилиқ) пайдо бўлиб қолиши ҳодисаси, яни ўта ўтказгичнинг турғунлиги муаммоси катта тўсиқ бўлди. Уни турли усуллар билан ошиб ўтишга эришилмоқда.

Ўта ўтказувчан симлар

Замонавий ўта ўтказувчан симлар 2-тур ўтказувчанликка асосланган. Ниобий (Nb) ва титан (Ti) қотишмасидан қилинган симлар энг кўп қўлланилиб келинмоқда эди. Бу симларнинг sanoat намуналари (кўндаланг кесими) 49-расмда кўрсатилган.



49-расм. Ниобий (Ni) титан (Ti) қотишмасидан қилинган ўта ўтказувчан симларнинг кўндаланг кесимлари.
(Тешиклардан суяқ гелий оқади.)

Яхшироқ электр характеристикалари $Ni_3 Sn$ (ниобий-қалай) бирикмасига тааллуқли. У 100 минг Эрстедгача магнит майдон кучланганлигига ҳам чидамли. Шу вақтнинг ўзиде 1000 A/mm^2 ток зичлиги бундай ўта ўтказгич симда оқиб туриши мумкин. Ундаги симимиз $1-2 \text{ A/mm}^2$ ток зичлигига мўлжалланган. Ниобий-қалайдан сим яшаш қийин, бунинг устига у жуда мўрт – ишлатиш давомида синиши, парчланиши мумкин.

Ўта ўтказгич сим диаметри $0,1 \text{ мм}$ анча кичик. Тайёр ўта ўтказгич сим ўн минглаб толалардан ташкил топган. Токлар мис матрица (қолип)да жойлашприлади ва сим ўқи атрофида эшилиб чиқади. Мис билан қопланган бўлиши керак. Бу симлар яна ўзига ўхшаганлари билан эшилиб янада юқорироғи ҳосил қилинади. Мис қопламнинг вазифаси – ўта ўтказгичнинг

бирор участкаси ўз хусусиятини йўқотиб, нормал, яъни қаршиликли ўтказгичга айланиб қолса, симнинг катта ток ўз йўлини ўша мис қоплами орқали давом эттириб туради.

Ўта ўтказгич симларни бор бўйича нафақат ичидан, танасидан, балки ташқарисидан суяқ гелий билан қўшимча совутиб туриш керак. Бунинг учун мис матрицада суяқ гелий оқадиган махсус каналлар қилинади. Бир килограмм ўта ўтказгич шу миқдордаги мисдан минглаб марта қиммат, лекин у ўтказадиган улкан токни ҳисобга олсак – арзон чиқади.

8.3. Ўта ўтказгичли магнитларнинг қўлланилиши

Кучли магнит майдонлар ҳозирги кунда термоядро электростанцияларида термоядро синтезида ҳосил бўлган 100 минглаб градусли плазмани муаллақ ҳолатда ушалаб туриш бўйича илмий тадқиқотларда энг кўп ишлатилмоқда. Бу ишлар 40-50 йил олдин бошланган. Лекин термоядро реакторини яратиш бўйича реал лойиҳаларни эндиликда амалга оширишга киришилди. Ўта қиммат бу станция бутун дунёнинг етакчи 14 давлати тўплаган илмий-техникавий натижалар, лойиҳалар, энг муҳими - маблағи ҳисобига ғарбий Европанинг океанга туташ бирор мамлакатига қурилиши режалашприлган. Қурилиш 15-20 йил давом этиши кутилмоқда. Лойиҳанинг асосий ғояси, конструктив ечимлари Россияга тегиши. Унинг номи - Токамак-15. (Тороидальная магнитная катушка). Тор (тешик қулча, бублик)симон трубанинг ташқи диаметри 15..25м бўлиб, барча канструкция суяқ гелий ичида жойлашиши кўзда туглади.

Энг замонавий диагностика аппаратларида ЯМР-томографларида ўта ўтказувчанлик ёрдамида ҳосил қилган магнитлар қўлланилади. (ЯМР – ядровий магнит резонанси). Бу шундай медицина асбобики, у баъзи атомлар (м: водород атоми)нинг кучсиз магнит майдонига резонанс тебранишлар билан “жавоб” беришига асосланган. Резонанс часотаси магнит майдони кучланганлигига пропорционал. Компьютер ёрдамида инсон организмидаги ядроларнинг ташқи магнит майдонига жавобини таҳлил қилиб, организмнинг қатлам ва қатлам тасвирини олиш мумкин. Бошқа, масалан, ультратовуш интроскоплари воситасида бундай натижага эришишнинг иложи йўқ эди. ЯМР – томограф цилиндрнинг ичидаги ўта ўтказувчан магнит 15...20 минг Эрстед майдон кучланганлиги ҳосил қилади. Яхши тасвир олиш учун майдон бир жинслиги $0,1\%$ дан ёмон бўлмаслиги керак.

Рентгеноскопиядан ЯМР – томография нафақат самарали, балки хавфсиз ҳамдир. ЯМР – томография ғояси 1971-йилда пайдо бўлиб, жаҳон буйича 1985-йилда 300 та, 1988- йилда 2000 дан ортиқ саноат намунаси яратилди. Шу кунларда Республикамиз вилоятлари марказларидаги салоҳиятли медицина ташкилотлари ҳам ЯМР – томографлари билан таъминланмоқда.

8.4. Джозефсон эффектлари

Бу эффект икки ўта ўтказгичнинг ўзаро контактида пайдо бўлади. Эффектни 1962-йилда инглиз олими Б. Джозефсон очган.

Икки бўлак ўта ўтказгич оламин. Улардаги электронлар ҳаракати бир бирига боғлиқ эмас (ҳар бўлак - ўзича) бу бўлакларни яқинлаштирамиз ва битта бутунга айлантирамиз. Энди барча электрон жуфтларнинг ҳаракати ўзаро боғлиқ. Контактнинг ҳолати, сифати нафақат контактнинг яқинларидаги, балки, барча электронларга таъсир қилади. Икки бўлак мутлақо бир бирига алоқаси йўқ ҳолатидан уларнинг тўла бирлиги, яхлитлигига ўтиш қачон ва қандай рўй беради?

Ўта ўтказувчан электронлар қанчадир узунлик масшгаби ξ билан ҳарактерланади. Ўта ўтказувчан электронларнинг миқдори ўтказгичнинг бир қисмидан иккинчи қисмига сақраб ўзгармайди. Бу - ўта ўтказгичнинг чегараси ўта ўтказувчанлик ҳолатини кескин чеклай олмайди, дегани. Ҳақиқатан, бу таъсир чегарадан ξ узунликкача давом этар экан. Агар ўта ўтказгичга юпқа металл плёнка ётқизсак (қалинлиги ξ дан кичик), унда бу плёнка ҳам ўта ўтказувчан хусусиятларига эга бўлиб қолар экан. Бу ҳодиса яқинлик эффекти, Джозефсон эффекти дейилади.

Джозефсон эффекти икки бўлак ўта ўтказгич орасига юпқа металл ёки диэлектрик плёнка қўйилганда юз беради. Плёнканинг қалинлиги шундайки, бўлаklar бир бирининг ўта ўтказувчанлигини “сезишади”. Бироқ улар бир биридан плёнка билан ажралиб ҳам туришади. Плёнка орқали ўзаро таъсир натижасида мавжуд бўлган ўта ўтказувчанлик *кучсиз* дейилади. Ҳар бир ўта ўтказгичда электрон жуфтлар бир *фазада* ҳаракатланади. Фазалар чегара билан ажратилган бўлаklarда бир ҳил эмас. Бу фарқ электронларнинг контакт орқали ўтиши билан боғлиқ (таъминланган). Айнан бўлаklarдаги электрон тўлқинлар фазаларидаги фарқ аҳамиятга эга.

Стационар Джозефсон эффекти – контакт орқали ўз-ўзидан, қандайдир кучланишсиз ток оқишидир. Бу ток икки бўлак ўта ўтказгичда электрон жуфтлар тўлқинлари орасидаги фазалар фарқи билан яратилган. Бу ток - кичик, лекин, ўлчаси бўладиган даражада - миллиамперлар.

Контактга ўзгармас U кучланиш берилса, ностационар Джозефсон эффекти юз беради. Унда контакт актив қаршилиқ намоён қилади ва у орқали ўзгарувчан ток оқади. Одатдаги Ом қонунидан фарқли равишда U кучланиш плёнка орқали ўтаётган токни эмас унинг частотасини белгилайди. Милливолтлар тартибидаги кучланишларда частота юзлаб ва минглаб гегагерцни ташкил қилади. Джозефсон контакти нафақат ўзгармас кучланишни ўзгарувчанга айлантиради, балки тебраниш контури каби электромагнит тўлқинлар чиқаради. Бу тўлқинлар ўта юқори частотага эга.

Ўзига хос бу ҳодиса ҳам амалда кенг қўлланилмоқда. Ўта сезгир ва аниқ магнит майдон кучланганлигини ўлчагичлар, инсон организмни тегмасдан, ишончли текширувчи асбоблар, сезгир вольтметрлар, паст температурали (10^{-5} 10^1 К) термометрлар, Вольтнинг янги, аниқ эталони кабилар яратилди.

8.5. Кривоўтказгичлар

Ўта ўтказувчанликдан ташқари электротехникада кривоўтказувчанлик ҳодисаси ҳам кенг қўлланилмоқда. Кривоген (паст, минус 100... 200 С) температураларда баъзи металллар анча кичик, лекин ўта ўтказувчанликдан катта, қаршилиқка эга бўладилар. Улар кривоўтказгичлар дейилади. Бу ҳодисанинг моҳияти ўта ўтказувчанликка ўхшаш, бироқ фарқли ҳолатлари ҳам кўп. Энг муҳими, кривоўтказувчанлик нормал паст температурадаги ўтказувчанликнинг хусусий холи.

Анча кичик, лекин барибир, чекланган қаршилиги криоўтказгичдаги рухсат этилган ток зичлигини кескин оширишга имкон бермайди. Шунга қарамасдан, бу зичлик хона ва баланд температуралардаги зичликка нисбатан анча катта. Уларда температуранинг кенг ораликда ўзгаришида қаршилиқнинг оҳиста ўзгариши кузатилади. Ўта ўтказгичларда эса триггер эффекти, яъни муайян ва кичик температуравий ораликда қаршилиқнинг сакраб ўзгариши мавжуд. Криоўтказгичларда Майснер эффекти ҳам кузатилмайди.

Ўта ўтказгичлар ўрнига криоўтказгичларни қўллаш ўз афзалликларига эга. Электр машиналари, трансформаторлар ва аппаратларда уни қўллаб, совутгич сифатида суюқ водород, суюқ азот ишлатиш мумкин. Бунда ўта ўтказгичда ишлатиладиган суюқ гелий ва кучли иссиқлик изоляциясига сарфланадиган катта ҳаражатлардан қутилиш мумкин.

Криоўтказгичлар сифатида алюминий, мис ёки қимматбаҳо бериллийдан фойдаланилади. Уларнинг криоўтказгичлик хусусиятлари қуйидагича;

18-Жадвал

	Мис	Алюминий	Бериллий
Солишгирма қаршилиги, Мх Ом*м	0,03	0,04	0,3
Ишчи криотемператураси, К	21 (суюқ водород)	21 (суюқ водород)	78 (суюқ азот)

Ҳар қандай ҳолда криоўтказгич ўта тоза таркибга эга бўлиши талаб қилинади .

IX БОБ. КАВШАРЛАР, ФЛЮСЛАР ВА ЕЛИМЛАР

9.1. Кавшарлар ва флюслар

Кавшарлар металл қисмларни кавшарлашда боғловчи моддалар сифатида ишлатиладиган тоза металллар ёки қотишмалардир. Ҳар қандай кавшарни шундай танлаб олиш керакки, унинг суяқланиш температураси шу кавшар билан бириктириладиган металл қисмларнинг суяқланиш температурасидан анча паст бўлиши лозим.

Кавшарлар осон суяқланадиган ва қийин суяқланадиган кавшарларга бўлинади.

Осон суяқланадиган, яъни юмшоқ кавшарларнинг суяқланиш температураси 500°C дан паст, қийин суяқланадиган, яъни қаттиқлариники эса 500°C дан юқори бўлади.

Кавшарларнинг маркаларида ҳарф ва рақамлар қуйидагиларни, яъни биринчи ўринда турган П ҳарфи кавшар (припой)ни, ундан кейинги ҳарфлар эса О — қалай, Су — сурьма, С — кўрғошин, А — алюминий, Ср — кумуш, М — мис, Кр — кремний, Ви — висмут, Зл — олтин, К — кадмийни билдиради. Ҳарфлардан кейин келадиган рақамлар асосий металл массасининг кавшардаги процент миқдорини кўрсатади. Масалан, ПОС-90; қалай-кўрғошинли кавшар, таркибида масса жиҳатдан 90% қалай бор; ПОСК-50-18 таркибида 50% қалай, 18% кадмий бор, қолганини эса кўрғошин ташкил этади.

Қалай-кўрғошинли кавшарлар энг кўп ишлатилади. Улар жуда суяқ-оқувчан бўлади ва энг тор чокларга ҳам яхши кириб боради, кўпчилик металллар, мис, латунь, пўлатлар, рух билан яхши бирикади ва анчагина пухта кавшар чоклар ҳосил қилади. Таркибидаги қалайнинг миқдори 15% дан кам бўлган кавшарлар катта механикавий пухталиқ талаб қилинмайдиган деталларни кавшарлаш учун ишлатилади. Таркибида висмут миқдори кўп (50—57%) бўлган қалай-кўрғошинли кавшарларнинг суяқланиш температураси энг паст (79—95°C), лекин улар билан кавшарланган чоклар мўрт бўлади.

Қийин суяқланадиган кавшарлар жумласига мис-рухли (ПМЦ-54, ПМЦ-48 ва бошқалар) ва мис-кумушли қотишмалар (ПСр-72, ПСр-70, ПСр-50 ва бошқалар), шунингдек, алюминийнинг мис, рух ва кремний билан ҳосил қилган қотишмалари киради. Мис-кумушли кавшарлар энг кўп ишлатилади. Улар солиштирма электр қаршилиги кичиклиги билан ажралиб туради ва шу сабабли қора ва рангли металллардан ясалган ток ўтказувчи қисмларни кавшарлаш учун кенг қўламда ишлатилади; бу металлларга шу кавшар яхши ёпишади. Бунда механикавий пухта ва коррозиябардош кавшар чоклар ҳосил бўлади.

Алюминий асосида мис, кремний ва қалай қўшиб тайёрланган кавшарларнинг механикавий мустаҳкамлиги катта ва атмосфера коррозиясига чидамли бўлади. Бу кавшарлар алюминий симларни ва алюминийдан ҳамда уларнинг қотишмаларидан ясалгани деталларни кавшарлаш учун ишлатилади.

Мис-рухли кавшарлар мўрт бўлади ва вибрация ҳамда зарбий юкламаларга чидамли эмас, чокларнинг электр қаршилиги жуда кичик бўлади. Бу кавшарлар мис, латунь, бронза ва пўлатлардан ясалган деталларни кавшарлаш учун ишлатилади.

Кавшарлаш учун кавшардан ташқари флюсловчи моддалар — флюслар ҳам керак бўлади. Флюсларнинг вазифаси кавшарланадиган металллар сиртини оксидлар ва бошқа ифлосликлардан тозалаш ҳамда кавшарлаш пайтида кавшарланаётган металллар сиртини оксидланишдан сақлашдан иборат.

Флюслар қаттиқ кукунсион моддалар (бура, борат кислота, канифоль ва бошқалар) ёки суяқликлар (рух хлориднинг сувдаги эритмаси, канифолнинг спиртдаги эритмаси ва бошқалар) бўлиши мумкин. Баъзан ярим суяқ флюслар — пасталар ишлатилади.

Осон суяқланадиган кўрғошин асосли кавшарлар билан мис, латунь ва бронзаларни кавшарлашда чокларни коррозиялантирмайдиган флюслар ишлатилади. Бундай флюслар жумласига канифоль, канифолнинг этил спиртдаги эритмаси ва канифоль асосида олинган бошқа таркиблар киради. Канифоль активлиги кам бўлган флюс ҳисобланади, шу сабабли

канифолли флюс суртишдан олдин кавшарланадиган металлларнинг сиртини яхшилаб тозалаш лозим.

Қийин суюқланадиган (қаттиқ), яъни 500°С дан юқори температурада суюқланадиган кавшарлар билан кавшарлашда канифоль ва юқори температурада парчаланадиган бошқа флюсларни ишлатиб бўлмайди. Пўлат, мис ва миис қотишмаларини (латунь, бронза ва бошқаларни) юқори температурада кавшарлашда флюс сифатида, кўпинча, бура $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ёки унинг борат кислота H_3BO_3 ва бошқа тузлар билан аралашмасидан фойдаланилади. Ҳавода осон оксидланадиган алюминийни кавшарлаш учун алюминийдаги зич оксидлар пардасини эрита оладиган жуда актив флюслар ишлатилади. Бундай флюслар жумласига литий хлорид, натрий фторид, рух хлорид ва калий хлориддан иборат таркиб киради. Флюслар танлашда доимо қуйидагиларга эътибор бериш керак: қаттиқ флюснинг суюқланиш температураси кавшарнинг суюқланиш температурасидан, кавшарлаш температураси эса флюснинг термик парчланиш температурасидан паст бўлиши лозим. Қаттиқ кавшарлар билан кавшарланганда чоклар коррозияланишининг олдини олиш учун чокларни чўтка ёрдамида қайноқ сув билан ювиб, флюс қолдиқларини йўқотиш керак.

9.2. Елимлар ва боғловчи таркиблар

Елимлар ва боғловчи таркиблар электр аппаратлар, асбоблар ва электр ускуналарнинг бошқа турларини ишлаб чиқаришда кенг ишлатилади. Елимлар ва боғловчи таркиблардан электр изоляцион хоссаларнинг яхши бўлиши ҳамма вақт ҳам талаб этилмайди. Бу материаллар, аввало, елимлаш — металл ва металлмас материалларга ёпишиш (адгезия) хоссасига эга бўлиши керак.

Бирор икки материалнинг бир-бирига ёпишиши елим пардасининг ёпиштириладиган материаллар сирти билан бирикиб қолиши натижасида содир бўлади. Елим пардасида содир бўладиган химиявий реакциялар натижасида елим ёпиштириладиган қисмларни бир-бирига мустақкам бириктирувчи қаттиқ моддага айланади. Елим пардасининг ёпиштириладиган материал сирти билан бирикиб қолишига химиявий реакцияларгина эмас, балки елим пардаси билан ёпиштириладиган материалларнинг сирти орасида молекулалараро ва электростатик кучларнинг вужудга келиши ҳам сабаб бўлади.

Елим чокнинг тахталигига елим пардасининг қалинлиги ва яхлитлиги, унинг елимлангандан кейинги ҳажмий қисқариши, ўзаро ёпиштириладиган материалларнинг таркиби ва структураси, шунингдек, ёпиштириладиган сиртларнинг қай даражада тайёрланганлиги таъсир этади. Елим ёпиштириладиган қисмлар орасидаги тирқишни батамом тўлдириши, унда ҳаво қолмаслиги зарур. Елим пардаси жуда ҳам қалин бўлмаслиги керак, лекин у ёпиштириладиган юзанинг ҳаммасида узлуксиз елим қатлами ҳосил қилиши лозим. Оптимал қалинликдаги яхлит елим парда ҳосил қилиш ва ёпиштириладиган сиртларнинг ғовақларига елим кириб бориши учун бу сиртларни олдиндан бир-бирига мос келтириш ва эритувчилар ёрдамида ифлосликлардан яхшилаб тозалаш керак. Яхши ёпишиши учун кўпчилик материалларга (металлар, пластмассаларга) олдиндан ёпиштириладиган сиртларида ғадир-будурлик ҳосил қилиш мақсадида кум оқими ёки жилвир қоғоз билан ишлов берилади. Бунинг натижасида елим суртилган чокнинг мустақкамлиги ортади. Елим чок мустақкам бўлиши учун ёпиштириладиган деталларни бир-бирига маълум босим остида босиш лозим. Жуда кўп елимлар 90—180°С ва ундан юқори температурада қиздирилгандагина қотади.

Елимлар моддаларнинг катта группасини ташкил этади. Электротехника саноатида ёпиштириш хусусияти энг кучли бўлган синтетик смолалар асосида олинган елимлар ишлатилади. Бу елимларнинг кўпчилиги яхши электроизоляция хоссаларга эга, Бундай елимлар жумласига қатламли слюда, изоляция ишлаб чиқаришда слюда япроқларини елимлаб ёпиштириш учун кенг қўламда ишлатиладиган глифталли ёпиштирувчи лаклар киради. Қатламли электроизоляция пластмассалари (гетинакс, текстолит ва бошқалар)

ишлаб чиқаришда кенг қўламда ишлатиладиган бакелитли лаклар ҳам ана шундай елимлар қаторига киради.

Бутварфенол смолаларнинг спиртдаги эритмалари бўлган БФ елимлари кўп ишлатилмоқда. Бу елимлар уч хил БФ-2, БФ-4 ва БФ-6 маркада чиқарилади. Улар бир-биридан таркиби жиҳатдан фарқ қилади ва ўзига хос хусусиятлари бўлади, шу сабабли турли соҳаларда ишлатилади. Масалан, БФ-2 ва БФ-4 елимлари металллар, пластмассалар, шиша, керамика, слюда ва ёғочни елимлаб ёпиштириш учун ишлатилади. БФ-4 елими билан елимланган чок вибрацияга жуда чидамли бўлади. БФ-6 елими эластик чок ҳосил қилади, шу сабабли резина ва газламаларни бир-бирига елимлаб ёпиштириш па уларни металллар ҳамда пластмассаларга ёпиштириш учун тавсия этилади.

БФ елими ҳар қайси ёпиштириладиган сиртга икки уч қатлам қилиб суртилади. Ҳар қайси қатламнинг хона температурасида қуриш вақти 1 соатни ташкил этади, шундан сўнг кейинги елим қатлами суртилади ва у ҳам 1 соат давомида қурилади. Сўнгра ёпиштириладиган деталлар бир-бирига бириктирилади ва салгина ишқаланади. Шундан кейин улар $(4—12) \cdot 10^5$ Н/м² босим ҳосил қилувчи пресс ёки струбцина остига қўйилади.

БФ-2 ва БФ-4 елими 0,5—3 соат давомида 140—150°C температурада, БФ-6 эса 90—100°C температурада қотади. Қиздириш вақтини кўпайтириш елим чокнинг пухталигини оширади. Елим чокни юқори температураларда тутиб туриш учун ёпиштириладиган деталлар термостатга жойланади ёки плиталари иситиладиган пресс ишлатилади. Бириктириладиган деталларни пресшлашда ҳосил бўладиган елим оқмалари шпатель (металл кўракча) ёки латга билан олиб ташланади.

БФ елимлари ҳосил қилган чоклар сув, минерал мойлар, керосин, бензин ва кўпчилик спиртлар таъсирига чидамли бўлади. Улар металлларни коррозиялантормайди ва —60 дан +80°C гача температуралар оралиғида ишлаши мумкин.

Суюқ ва қаттиқ эпоксид смолалар асосида олинган елимлар кенг қўламда ишлатилмоқда. Маълумки, эпоксид смолалар металлларга, пластмассаларга, шиша, керамика ва бошқа материалларга нисбатан адгезияси катталиги билан ажралиб туради. Бундан ташқари, эпоксид смола ва елимларнинг қотгандаги ҳажмий қисқариши кам бўлади, бу эса елим чокнинг мустаҳкамлигини оширади. Эпоксид елимлар 20°C ва ундан юқори температураларда: 120—170°C да қотади * (иссиқда қотадиган елимлар). Эпоксид суюқ смолалардан ҳавони чиқариб юбориш учун уларга 50—70°C да вакуумда ишлов бериш, сўнгра эса қотиргичлар билан аралаштириш керак. Эпоксид елимлардан ЭД-15 ва ЭД-16 смолалар асосида олинган елимлар кенг қўламда ишлатилади, улар суюқ қиёмсимон массалар бўлиб, бу массаларга 15—20% қотиргич — полиэтиленполиамин қўшилади. Бошланғич компонентлар яхшилаб аралаштирилади. Тайёрланган елим 2—6 соат давомида ишлатишга яроқли бўлади, бу вақт ўтгандан кейин тез қуюқлаша бошлайди ва аста-секин қаттиқ моддага айланади. Шу сабабли қотиргични (полиэтиленполиаминни) смолага елимни бевосита ишлатишдан олдин қўшиш керак. Олдиндан тайёрланган ва тозаланган сиртларга бир қават елим суртилади, сўнгра ҳавода 15—30 минут давомида қурилади. Шундан кейин ёпиштириладиган сиртлар бир-бирига бирлаштирилади ва $(1—2) \cdot 10^5$ Н/м² босим билан босилади.

Елим чок 20°C да 18 соат давомида қотади. Елим чок анча мустаҳкам бўлиши учун уни 100°C да яна 4 соат тутиб туриш керак.

Агзр ЭД-15 ёки ЭД-16 смолага бошқа қотиргич — малеин ангидрид (30%) қўшилса, қайноқ ҳолда қотадиган елим олинади. Бу ҳолда елим чок 120°C да 16—24 соат давомида қотади.

Кўпинча, елим чокни қотиришнинг босқичли режими қўлланилади: 120°C да 6—8 соат, сўнгра 150°C да 4—6 соат давомида қотирилади. Елим чокларни қотиришнинг иккала босқичида ҳам бирлаштириладиган сиртлар $(0,5—3) \cdot 10^5$ Н/м² босим остида бўлиши керак.

Иссиқбардошлигини ошириш ва елим чоклардаги қолдиқ кучланишни камайтириш мақсадида елимларга тўлдиргичлар: чангсимон кварц, цемент ва металл (кумуш, мис ва бошқалар) қуқунлари қўшилади. Бу қуқунлар ўтказувчанлиги катта бўлган елим чоклар

олишга имкон беради. Бу — электр аппаратлар ва асбобларнинг металлдан ясалган ток ўтказувчи деталларини елимлаб ёпиштиришда зарур.

Елимларнинг асосий характеристикаси (уларни ишлатилган олдинги) қовушоқлиги бўлиб, унинг қиймати технологик инструкцияда кўрсатилган қийматларга етказилади. Бунинг учун елим аралашмасини иситиш, елимнинг қовушоқлигини эса вискозиметрлар ёрдамида қатъий назорат қилиб туриш керак бўлади.

Эпоксид елимлар кукун ёки чивиклар кўринишида бўлиши мумкин. Ёпиштириладиган металл ёки пластмасса деталларнинг олдиндан қиздирилган ($100\text{—}120^\circ\text{C}$) сиртларига кукунсимон елим юпка қатлам қилиб сепилади. Чивик холидаги елим ишлатилганда эса ёпиштириладиган қисмларнинг қиздирилган сиртларига шу чивик суртилади. Ёпиштириш технологиясининг бошқа ишлари суюқ эпоксид елимлар учун олдин баён қилинган усуллардан фарқ қилмайди. Елим чоклар $(0,5\text{—}0,3)\cdot 10^5$ Н/м² босим ва $120\text{—}200^\circ\text{C}$ температураларда тегишлича 10 дан 0,5 соатгача вақт оралиғида қотади. Эпоксид елим чоклар —60 дан + 100сС гача температуралар оралиғида ишлаши мумкин. Шунинг таъкидлаб ўтиш керакки, қотган эпоксид елим чоклар ва БФ елимлари яхши электрик характеристикаларга эга бўлади: $\rho_v = 10^{13}\text{—}10^{15}$ Ом·см; $E_m=10\text{—}15$ МВ/м.

Электротехника саноатида ва монтаж ишларида елимлардан ташқари боғловчи таркиблар (боғловчилар) ҳам кўп ишлатилади. Улар ҳамирсимон оқувчан массалар бўлиб, вақт ўтиши билан қотади. Елимлардан фарқли равишда, бу таркиблар ёпиштириш учун эмас, балки металл арматурани изоляторларга, масалан, фланецларни ўтказувчи ва таянч изоляторларга маҳкамлаш, осма изоляторларга чўян қалпоқларни ўрнатиш, шунингдек, осма ва шпирли изоляторлар каллагига металл стерженларни мустаҳкам ўрнатиш учун ишлатилади.

Изоляторларни ўрнатиб маҳкамлаш учун цемент-қумли боғловчи таркиблар энг кўп ишлатилади. Улар 2—3 қисм юқори сифатли портландцемент (500 ёки 600 маркали) билан бир қисм ювилган кварц қумидан таркиб топган. Портландцемент майда туйилган цемент клинкеридан иборат бўлиб, у таркибида оҳак ва гил ёки цементли табиий мергеллардан (табиий гелли оҳактошлардан) иборат бошланғич материаллар аралашмасини пишириш натижасида олинади.

Цемент таркибига грануллиланган (донадор) домна шлаги кўринишидаги гидравлик қўшимчалар (15% гача) ва бошқа минерал моддалар қўшилади; улар қотган цементнинг механикавий мустаҳкамлигини оширади. Цементга гидравлик қўшимчалар билан бирга инерт жинслар ҳам қўшилади. Цементнинг зичлиги 3000—3200 кг/м³ ни ташкил этади. Унинг бошқа цементлар олдида катта афзаллиги бор, яъни пўлат ва чўянга зарарли таъсир кўрсатмай, улар билан бирика олади. Портландцементнинг сифати унинг химиявий таркиби, бошланғич материалларни пишириш режими ва бошланғич материалларнинг майдаланганлик даражаси билан аниқланади.

Цементнинг энг муҳим характеристикалари бирикиб қолиш ва қотиш тезлигидир.

Цементнинг бирикиб қолиши — бу цемент ҳамирининг пластикмас қаттиқ массага айланишидир. Цементнинг қотиши — бу вақт ўтиши билан унинг механикавий мустаҳкамлигининг ортиб бориш процессидир. Цемент ҳавода ва сувда қотиши мумкин.

Портландцементлар бирикиб қолиш ва қотиш тезликлари анча кичиклиги билан фарқ қилади: у камида 45 мин. ўтгач, бирика бошлайди, қотиши кўпи билан 12 соат ўтгандан кейин тугайди. Бу цементнинг механикавий мустаҳкамлиги ортиб борадиган интенсив қотиши, асосан, биринчи ой давомида содир бўлади.

Портландцементнинг бирикиб қолиш ва қотиш тезликлари цементнинг температураси ва намлигига, цемент қориш учун ишлатиладиган сувнинг температурасига, шунингдек, теварак атрофдаги ҳавонинг температураси ва намлигига боғлиқ. Портландцементнинг химиявий ва гранулометриқ таркиби ҳам катта аҳамиятга эга. Нам тортган цементнинг бирикиб қолиш ва қотиш хоссалари ёмонлашади, шу сабабли портландцементни курук бинода кўпи билан уч ой сақлаш мумкин. Турли партиялардан олинган цементларни

аралаштиришга рухсат этилмайди. Цемент хаамири температурасининг пасайиши ҳам цементнинг бирикиш ва қотиш хоссаларини ёмонлаштиради.

Намуналарнинг сиқилишдаги механикавий мустаҳкамлигига қараб* (сувда 28 кун қотганидан кейин) портландцементлар тўрт хил марказда бўлади (24-жадвал).

Боғловчи таркибларнинг иккинчи компоненти кварц қуми бўлиб, у цемент-қумли таркибларда инерт тўлдирилган бўлиши керак.

Намуналар 40X40X160 мм ўлчамли ғўлачалар ҳолида бўлади. Уларни тайёрлаш учун цемент билан кварц қуми 1:3 нисбатида (масса жиҳатдан) олинади.

Бунинг учун у махсус қурилмааларда сув билан ювилади, сўнгра қуритилади. Бундан ташқари, қумнинг муайян гранулометриқ таркиби бўлиши, унинг асосий массасини (90%) 0,15—0,2 мм ўлчамли заррачалар ташкил этиши лозим.

19-жадвал

Цементларнинг механикавий характеристикалари (сувда 28 кун қотгандан кейин)

Цемент маркаси	Сиқилишдаги мустаҳкамлик чегараси (камида), Н/м ²	Эгилишдаги мустаҳкамлик чегараси (камида), Н/м ²
300	300·10 ⁵	45·10 ⁵
400	400·10 ⁵	55·10 ⁵
500	500·10 ⁵	60·10 ⁵
600	600·10 ⁵	65·10 ⁵

Ишлатиладиган цемент-қумли аралашмалар 75—80% портландцемент ва тегишлича 25—20% кварц қумидан иборат бўлади. Цемент ва қум вибрацион элак орқали элаб ўтказилади (алоҳида-алоҳида), сўнгра махсус аралаштиргичларда яхшилаб аралаштирилади.

Цемент-қумли аралашмани сувга қориш учун 100 қисм қуруқ аралашмага 16—18 қисм водопровод суви олинади. Қуруқ компонентлар билан сувнинг бундай нисбати цемент-қумли қоришмага, масалан, изоляторларни ўрнатиб маҳкамлашда зарурий оқувчанлик бахш этади, шунингдек, қотган цемент-қумли таркиб механикавий жиҳатдан анча мустаҳкам бўлади.

Портландцементлар гидравлик цементлар, яъни нам муҳитда катта тезлик билан қотадиган моддалар жумласига киради.

Портландцементнинг сувда қотишида унинг ҳажмий қисқариши жуда кам бўлади, чунки цемент таркибига кирувчи моддалар орасида сув таъсирида химиявий процесслар (гидролиз ва гидратланиш) содир бўлиши учун яхши шароит вужудга келади. Бунинг натижасида цемент доналари бўқади ва ҳосил бўлган цемент тоши узлуксиз зичлашиб боради, шу туфайли унинг механикавий мустаҳкамлиги ортади. Лекин цементнинг сувда қотиши —узқ давом этадиган процесс. Унинг тез қотиши учун маҳкамланган изоляторларда* цемент-қумли чокларни буғлаш усули қўлланилади. Бунинг учун изоляторлар буғлатиш камераларида тешик тоқчаларга жойлаштирилади, у ерга узлуксиз равишда 70—80°С температурали буғ кириб туради.

Цемент-қумли таркибларнинг ҳажми бир меъёрга ўзгариши керак. Вақт ўтиши билан, айниқса, ҳаводан намликни ютганида ҳажми нотекис ўзгарадиган цемент ишлатилганида цемент қатламининг ўзи ҳам, изоляторнинг арматураси ҳам бузилиши мумкин. Шу сабабли цемент ҳажмининг бир текис ўзгаришини, албатта, синаб кўриш лозим.

Портландцементнинг камчилиги вақт ўтиши билан ундан сувда эрийдиган эркин оҳакнинг ажралиб чиқишидир. Бу ҳол цемент қоришма билан электрокерамик материал ҳамда арматура орасидаги боғланишнинг бузилишига, яъни изоляторнинг бузилишига олиб келиши мумкин. Қотган цемент қоришмани сув таъсирида ишқорланишидан (эркин оҳак чиқишидан) сақлаш мақсадида цемент чоклар сув таъсирига чидамли лак ва эмаллар билан

қопланади. Бу яна шунинг учун ҳам зарурки, цемент қоплама орасига нам ўтиб, кирзадан қилинган компенсацион қистирмалар ёки пробкали композицияни хўлланса, изоляторларнинг электр мустаҳкамлиги камаяди.

АДАБИЁТЛАР

Асосий:

1. Н.П. Богородицкий, В.В. Пасынков, Б.М. Тареев. “Электротехнические материалы”. Ленинград, Энергия, 1985.
 2. Ю.В. Корицкий “Электротехнические материалы”. М., Энергия, 1976.
 3. Н.В. Никулин . “Электр материалшуносл ииги.” Тошкент, Ўқитувчи, 1981. 176 б.
 4. Н.В. Никулин, А.С. “Назаров Радоматериаллар” ва радиоқимонентлар Тошкент 1997й.
 5. Ш.М. Камолов, А.Ш. Ахмедов. “Матералшунослик” Фан-Тошкент 1994йил.
-
1. Ю.В. Корицкий, В.В.Пасынков, Б.М.Тареев. “Справочники по электротехническим материалам” М., Энергия.
 2. Е.М. Савицкий. “Металлы космической эры”.
 3. В.Д. Саболов “Физические основы электронной техники” Изд. Высш.шк. 1997.
 4. В.В. Крацухин, И.А.Соколов, Г.У.Кузнецов. “Физико-химические основы технологии полупроводниковых материалов”. М., Металлургия 1982.
 5. А.Я. Нашельский. “Производство полупроводниковых материалов”. Учеб.пос. М.,Металлургия 1985.
 6. А.А. Преображенский. “Теория магнетизма, магнитные материалы и элементы”. М., Энергия, 1976.
 7. В.А. Привезенцев, И.Б. Пешков: “Обмоточные и монтажные провода”, М., Энергия, 1971.

МУНДАРИЖА

Кириш	4
I-БОБ. Электротехник материалларнинг асосий характеристикалари	
1.1. Ҳозирги замон радиоэлектроникасида материалшуносликнинг ўрни.....	5
1.2. Электр характеристикалар	6
1.3. Механик характеристикалар	11
1.4. Иссиқлик характеристикалари	13
1.5. Физик-кимёвий характеристикалар.....	15
II-БОБ. Электр изоляция материаллар	
2.1 Газсимон диэлектриклар.....	17
2.2. Газсимон диэлектрикларнинг электр ўтказувчанлиги	17
2.3. Газсимон диэлектрикларнинг тешилиши	19
2.4. Суёқ диэлектриклар ҳақида умумий тушунча	21
2.5. Нефть мойлари	22
2.6. Синтетик суёқ диэлектриклар	25
2.7. Суёқ диэлектрикларнинг электр ўтказувчанлиги ва тешилиши.....	27
2.8. Юқори полимер қаттиқ материаллар	28
2.9. Қаттиқ полимеризацион диэлектриклар	29
2.10. Қаттиқ поликонденсацион диэлектриклар.....	34
2.11. Қиздиришга чидамли юқори полимер диэлектриклар	36
2.12. Лак ва эмаллар.....	39
2.13. Қоғоз ва картонлар	45
2.14. Лаки тўқималар, лента ва лакланган найлар	50
2.15. Пластмассалар.....	52
2.16. Қатламли пластмассалар	52
2.17. Слюдали материаллар	55
2.18. Слюдинит ва слюдопласт материаллар	59
2.19. Электр керамик материаллар	60
2.20. Силикат (анорганик) шишалар	64
2.21. Минерал диэлектриклар	66
2.22. Қаттиқ диэлектрикларнинг электр ўтказувчанлиги ва тешилиши.....	67
III-БОБ. Ўтказгич материаллар	
3.1. Солишгирма қаршилиги кам бўлган ўтказгич материаллар	69
3.2. Солишгирма қаршилиги катта бўлган ўтказгич материаллар*.....	72
3.3. Оловбардош ўтказгич материаллар.....	73
3.4. Металлокерамик материаллар ва буюмлар.....	74
3.5. Электр-қўмир буюмлар	75
IV-БОБ. Кабел маҳсулотлари. Чўлғам симлари. Монтаж учун симлар ва кабеллар.	
4.1. Кабел маҳсулотлари.....	78
4.2. Очиқ (изоляцияланмаган) симлар.....	79
4.3. Чўлғам симлари.....	80
4.4. Ўрнатиш симлари.....	80
4.5. Радиоэлектроникада қўлланиладиган соф металлар ва қотишмалар.....	82
V-БОБ. Ярим ўтказгич материаллар	
5.1. Асосий хоссалари.....	86
5.2. Ярим ўтказгич материаллар.....	92

VII-БОБ. Магнит материаллар	
7.1. Материалларнинг магнит характеристикалари.....	96
7.2. Магнит материаллар таснифи.....	98
7.3. Металл магнит-юмшоқ материаллар.....	100
7.4. Металл магнит-қаттиқ материаллар.....	102
7.5. Ферритлар.....	104
7.6. Магнитодиэлектриклар.....	107
VIII-БОБ. Ўта ўтказувчанлик ва ўта ўтказгичлар	
8.1. Ўта ўтказувчан материаллар.....	109
8.2. Ўта ўтказгичларнинг қўлланилиши.....	113
8.3. Ўта ўтказгичли магнитларнинг қўлланилиши.....	114
8.4. Джозефсон эффектлари.....	115
8.5. Кристоўтказгичлар.....	116
IX-БОБ. Кавшарлар, флюслар ва елимлар	
9.1. Кавшарлар ва флюслар.....	117
9.2. Елимлар ва боғловчи таркиблар.....	118
АДАБИЁТ.....	123
МУНДАРИЖА.....	124

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Глава I. Основные характеристики электротехнических материалов	
1.1. Место электротехнических материалов в современной электронике	5
1.2. Электрические характеристики	6
1.3. Механические характеристики	11
1.4. Тепловые характеристики.....	13
1.5. Физико-химические характеристики.....	15
Глава II. Электроизоляционные материалы	
2.1 Газовые диэлектрики.....	17
2.2. Электропроводимость газовых диэлектриков	17
2.3. Пробой газовых диэлектриков.....	19
2.4. Общие понятия о жидких диэлектриках.....	21
2.5. Нефтяные масла	22
2.6. Синтетические жидкие диэлектрики.....	25
2.7. Электропроводимость и пробой жидких диэлектриков	27
2.8. Высокополимерные твердые материалы.....	28
2.9. Твердые полимеризационные диэлектрики.....	29
2.10. Твердые поликонденсационные диэлектрики.....	34
2.11. Жаростойкие высокополимерные диэлектрики	36
2.12. Лаки и эмали.....	39
2.13. Электротехнические бумага и картон.....	45
2.14. Лакоткани, ленты и трубы	50
2.15. Пластмассы.....	52
2.16. Слоевые пластмассы.....	52
2.17. Слюдяные материалы... ..	55
2.18. Слюдинитовые и слюдопластовые материалы.....	59
2.19. Электрокерамические материалы.....	60
2.20. Силикатные (анорганические) материалы.....	64
2.21. Минеральные диэлектрики	66
2.22. Электропроводимость и пробой твердых диэлектриков.....	67
Глава III. Проводниковые материалы	
3.1. Проводниковые материалы с малым удельным сопротивлением	69
3.2. Проводниковые материалы с большим удельным сопротивлением.....	72
3.3. Жаропрочные проводниковые материалы.....	73
3.4. Металлокерамические материалы и изделия.....	74
3.5. Электроугольные изделия.....	75
Глава IV. Кабельные изделия. Обмоточные провода. Монтажные провода и кабели.	
4.1. Кабельные изделия.....	78
4.2. Открытые (неизолированные) провода.....	79
4.3. Обмоточные провода.....	80
4.4. Монтажные провода.....	80
4.5. Чистые металлы и сплавы, применяемые в электронике и электротехнике.....	82
Глава V. Полупроводниковые материалы	
5.1. Основные свойства	86
5.2. Полупроводниковые материалы.....	92

Глава VII. Магнитные материалы	
7.1. Магнит характеристики материалов	96
7.2. Классификация магнитных материалов.....	98
7.3. Магнитомягкие материалы	100
7.4. Магнитотвердые материалы	102
7.5. Ферриты.....	104
7.6. Магнитодиэлектрики.....	107
Глава VIII. Сверхпроводимость и сверхпроводники	
8.1. Сверхпроводниковые материалы.....	109
8.2. Применение сверхпроводников	113
8.3. Применение сверхпроводниковых магнитов.....	114
8.4. Эффекты Джозефсона.....	115
8.5. Криопроводники.....	116
Глава IX. Пайка, флюсы и клеи	
9.1. Пайка и флюсы.....	117
9.2. Клеи и связующие составы	118
Литература.....	123
Оглавление.....	124

THE CONTENTS

Introduction	4
The chapter I. The basic characteristics of electro technical materials	
1.1. Place of electro technical materials in modern electronics.....	5
1.2. Electrical characteristics	6
1.3. Mechanical characteristics	11
1.4. Thermal characteristics	13
1.5. Phizic-chemical characteristics	15
The chapter II. Dielectrics materials	
2.1 Gas dielectrics	17
2.2. Electro conductivity gas dielectrics	17
2.3. Test gas dielectrics	19
2.4. General(common) concepts about liquid dielectrics	21
2.5. Petroleum oils(butters)	22
2.6. Synthetic liquid dielectrics	25
2.7. Electro conductivity and test liquid dielectrics	27
2.8. Highpolymer firm materials	28
2.9. Firm polymerization dielectrics	29
2.10. Firm polikondensation dielectrics	34
2.11. Heat resisting highpolymer dielectrics	36
2.12. Varnishes and enamels	39
2.13. Electrotechnical paper and cardboard	45
2.14. Varnished cloth, tape and pipe.....	50
2.15. Plastic	52
2.16. Layers of plastic	52
2.17. Micas materials... ..	55
2.18. Mica stream and micas layers materials	59
2.19. Electro ceramic materials	60
2.20. Silicates materials	64
2.21. Mineral dielectrics	66
2.22. Electro conductivity and test firm dielectrics	67
The chapter III. Conductor's materials	
3.1. Conductor's materials with small specific resistance.....	69
3.2. Conductor's materials with the large specific resistance.....	72
3.3. Heat resisting conductor's materials.....	73
3.4. Metallceramics materials and products	74
3.5. Electrical products	75
The chapter IV. Cable products. winding of a wire. Assembly wires and cables.	
4.1. Cable products	78
4.2. Open (not isolated) wires.....	79
4.3. winding of a wire	80
4.4. Assembly wires	80
4.5. Is pure (clean)? e metals and alloys used in electronics and the electrical engineer	82
The chapter V. Semi-conductor materials	
5.1. Basic properties	86
5.2. Semi-conductor materials.....	92

The chapter VII. Magnetic materials	
7.1. Magnet of the characteristic of materials.....	96
7.2. Classification of magnetic materials.....	98
7.3. Magnet softening materials	100
7.4. Magnet hardness materials	102
7.5. Ferrite	104
7.6. Magnet dielectrics	107
The chapter VIII. Superconductivity and superconductors	
8.1. Superconductivity materials.....	109
8.2. Application of superconductors	113
8.3. Application сверхпроводниковых of magnets.....	114
8.4. Jozefson`s effects	115
8.5. Crioconductivity	116
The chapter IX. The soldering, adhesive	
9.1. Soldering.....	117
9.2. Adhesive and binding structures	118
The literature	123
Table of contents	124

