

До електроізоляційних матеріалів відносяться діелектричні матеріали, що застосовуються для усунення витоку електричної енергії в електротехнічних пристроях.

Електроізоляційні матеріали широко застосовуються в промисловості, радіо- і приладобудуванні, розвитку електричних мереж. Нормальна робота електричного приладу або безпеку схеми електропостачання багато в чому залежить від використовуваних діелектриків. Деякі параметри матеріалу, призначеного для електричної ізоляції, визначають його якість і можливості. Застосування ізоляційних матеріалів обумовлено правилами безпеки. Цілісність ізоляції є запорукою безпечної роботи з електричним струмом. Вельми небезпечно використовувати прилади з пошкодженою ізоляцією. Навіть незначний електричний струм може вплинути на організм людини.

В залежності від потужності струму, що проходить по провіднику, використовують різні типи ізоляції, які відрізняються своїми можливостями.

**Електроізоляційні матеріали бувають газоподібними, рідкими і твердими.**

**1. Газоподібні діелектрики** Найбільш поширеними газоподібними діелектриками є повітря, азот, водень і елегаз (електротехнічний газ - являє собою Шестифтористу сірку SF<sub>6</sub> (шестифтор)).

Електроізоляційні гази поділяються на природні та штучні. До природних відноситься **повітря**, які застосовується в якості ізоляції між струмоведучими частинами ліній електропередач і електричних машин. В якості ізолятора - повітря має недоліки, які унеможлиблює його використання в герметичних пристроях. Через наявність високої концентрації кисню повітря є окислювачем, і в неоднорідних полях проявляється низька електрична міцність повітря. У силових трансформаторах і високовольтних кабелях в якості ізоляції використовують **азот**. **Водень**, крім електроізоляційного матеріалу, також являє собою примусове охолодження, тому часто використовується в електричних машинах. У герметичних установках найчастіше застосовують **елегаз**. Заповнення елегазом робить пристрій вибухобезпечним. Застосовується в високовольтних вимикачах.

*Азот* – газ без кольору та запаху, має однакову з повітрям електричну міцність та діелектричну проникність. Завдяки цьому він часто застосовується для заповнення газових конденсаторів. Також азот використовується в масло наповнених трансформаторах для захисту масла від контакту з повітрям (киснем) і вологою (азотний захист).

*Водень* – дуже легкий газ без кольору та запаху, має високу питому теплопровідність і теплоємність. Електрична міцність водню становить 60% від

міцності повітря. Використовується як охолоджуюче середовище в електричних машинах великої потужності. При цьому, також, помітно зменшуються втрати на тертя ротору машини в газі, та уповільнюється старіння органічної ізоляції обмоток машини. Водень також використовується в якості відновлювального середовища при паянні та термічній обробці.

*Гелій* – інертний газ. Гелій не горить та не підтримує горіння. Електрична міцність гелію в 17 разів менша міцності повітря. Застосовується в якості низькотемпературного хладагенту.

*Елегаз* (SF<sub>6</sub>, шести фториста сірка) – не токсичний, хімічно стійкий газ, не розкладається при нагріванні до 8000 С, має в 2,5 рази більшу електричну міцність у порівнянні із повітрям ( = 2,5). Використовується у газонаповнених конденсаторах, кабелях та у високовольних вимикачах. Має значні переваги при підвищеному тиску.

Для зменшення вартості елегаз часто використовують у суміші із азотом. Для заповнення електровакуумних приладів та ламп застосовуються інертні гази аргон, неон та інші.

Найбільшого поширення в техніці отримали тверді діелектрики, які можна побачити на шнурах побутової техніки або будь-яких інших електричних приладів вони бувають органічного та неорганічного походження, природні або штучні.

Застосування електроізоляційних матеріалів залежить від їх властивостей, основними з яких є: електрична провідність і опір, відносна діелектрична проникність і електрична міцність.

Електропровідність— здатність речовини проводити електричний струм.

Діелектрична проникність характеризує здатність діелектрика утворювати електричну ємність.

Електрична міцність характеризує здатність діелектрика зберігати свої електроізоляційні властивості при додатку до нього певної напруги.

На електричні властивості діелектриків впливають вологість, температура, наявність хімічних домішок і т. п.

**2. Рідкі електроізоляційні матеріали** часто застосовуються в електричних машинах і апаратах. У трансформаторі роль ізоляції грає масло. До рідких діелектриків також відносять зріджені гази, ненасичені вазелінові і парафінові масла, дистильована вода (очищена від солей і домішок).

Основними характеристиками рідких діелектриків є діелектрична проникність, електрична міцність і електропровідність. Також електричні параметри діелектриків в чому залежать від ступеня їх очищення. Тверді домішки можуть збільшувати електропровідність рідин за рахунок розростання вільних іонів і електронів. Очищення рідин шляхом дистиляції, іонним обміном і т.д. призводить до зростання величини

електричної міцності матеріалу, тим самим знижуючи його електропровідність. Рідкі діелектрики поділяють на три групи:

- нафтові олії;
- рослинні масла;
- синтетичні рідини.

Найбільш часто використовуються нафтові олії, такі як трансформаторне, кабельне та конденсаторне. Синтетичні рідини (кремнійорганічні і фторорганічні з'єднання) також використовуються в апаратобудуванні. Наприклад, кремнійорганічні сполуки морозостійкі і гігроскопічні, тому застосовуються як ізолятор в невеликих трансформаторах, але їх вартість вище ціни нафтових масел. Рослинні масла практично не використовуються в якості ізоляційних матеріалів у електроізоляційній техніці. До них відносяться рицинове, льняне, конопляне і тунгове масло. Ці матеріали являють собою слабополярні діелектрики і використовуються в основному для просочення паперових конденсаторів і в якості шаропокриваючої речовини в електроізоляційних лаках, фарбах, емалях.

**Органічні діелектричні матеріали** поділяються на *природні та синтетичні*. Природні органічні діелектрики в даний час використовуються вкрай рідко, так все більше розширюється виробництво синтетичних, тим самим знижуючи їх вартість. До природних органічних діелектриків відносять целюлозу, каучук, парафін і рослинні масла (касторове масло). Більшу частину синтетичних органічних діелектриків представляють різні пластмаси і еластомери (полімери з високоеластичними властивостями в широкому температурному діапазоні (наприклад, гума, каучук.), часто використовувани в електричних побутових приладах та іншої техніки. **Неорганічні діелектричні матеріали** ділять на *природні та штучні*. Найбільш поширеним з природних матеріалів є слюда (прозорий матеріал), яка володіє хімічною і термічною стійкістю. До штучних неорганічних діелектриків відносять скло і матеріали на його основі, а також фарфор і кераміку. У залежності від області застосування штучного діелектрика можна надати особливі властивості. Наприклад, для прохідних ізоляторів використовують кераміку.

**Волокнисті матеріали** часто застосовуються для ізоляції в електричних апаратах і машинах. До них відносять матеріали рослинного походження (каучук, целюлозу, тканини), синтетичний текстиль (нейлон, капрон), а також матеріали з полістиролу, поліаміду і т.д.

Органічні волокнисті матеріали володіють високою гігроскопічністю, тому рідко використовуються без спеціальної просочення. Останнім часом замість органічних матеріалів застосовують синтетичні волокнисті ізоляції, які володіють більш високим рівнем теплостійкості. До них відноситься скляне волокно і азбест. Скловолокно

просочують різними лаками і смолами для підвищення його гідрофобних властивостей (властивість деяких речовин не змочуватися та відштовхувати вод).

**3. Тверді діелектрики** застосовуються в різних сферах енергетики. Наприклад, керамічні електроізоляційні матеріали найбільш часто використовуються в якості лінійних і прохідних ізоляторів на підстанціях. В якості ізоляції електричних приладів використовують папір, полімери, склотекстоліт (полімерний матеріал, армований скловолокном). Для машин і апаратів найчастіше застосовують лаки, картон, компаунд (Електроізоляційний матеріал з асфальтових і парафінових речовин та олій.). Для застосування в різних умовах експлуатації ізоляції надають деякі особливі властивості шляхом поєднання різних матеріалів: теплостійкість, вологостійкість, радіаційна стійкість і морозостійкість. Теплостійкі ізолятори здатні витримувати температури до  $700^{\circ}\text{C}$ , до них відносяться скло, матеріали на їх основі, і деякі полімери.

Ізоляція, стійка до радіації використовується в приладах з атомними елементами. До неї відносяться неорганічні плівки, деякі види полімерів, склотекстоліт (полімерний матеріал, армований скловолокном) і матеріали на основі слюди. Морозостійкими вважаються ізоляції, які не втрачають своїх властивостей при температурі до  $-90^{\circ}\text{C}$ . Особливі вимоги пред'являються до ізоляції, призначеної для приладів, що працюють в космосі чи умовах вакууму. Для цих цілей застосовуються вакуумно-щільні матеріали, до яких належить спеціальна кераміка.

#### **4. Електроізоляційні матеріали, що твердіють**

Електроізоляційні лаки та компаунди займають проміжне положення між рідкими та твердими ізоляційними матеріалами, вони складають групу матеріалів, які рідкі у вихідному стані (під час застосування) і тверді після застосування.

##### **Смоли**

Основою лаків та компаундів є смоли. За походженням вони діляться на природні та на синтетичні.

**Природні смоли** – це продукт життєдіяльності рослин та живих організмів. До них відносяться каніфоль, шелак та копали.

Каніфоль – це суміш органічних кислот, яку одержують шляхом відгонки рідких складових часток живиці (смоли хвойних дерев).

Каніфоль застосовується у складі покривних та заливних лаків з метою уповільнення їх старіння, прискорення висихання та підвищення діелектричних характеристик. Каніфоль добре розчиняє окис міді при підвищеній температурі, тому вона широко застосовується для паяння міді у якості флюсу.

**Шелак** – матеріал, який одержують шляхом очищення гумілаку (виділення деяких тропічних комах на деревах). Шелак добре розчиняється у спирті, частково розчиняється в ацетоні, майже не розчиняється в бензині. Розплавлений шелак сумісний із каніфоллю, копалами, гліфталем та бітумами.

Шелак застосовують у складі лаків для склеювання, для виготовлення ізоляції на основі слюди.

**Копали (бурштин)** – викопна смола рослин, які існували десятки тисяч років тому. Основною перевагою полірованого бурштину є те, що його поверхневий опір майже не залежить від вологості. Він практично не розчиняється в будь-яких розчинниках. Температура плавлення  $T_{пл} = 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Застосовують бурштин в якості добавки до лаків, його застосування дуже обмежене із-за високої вартості.

Синтетичні смоли діляться на термопластичні та термореактивні.

**Термопластичні смоли** характеризуються двома стадіями стану – вихідним та під час нагрівання. При нагріванні вони розплавляються, їх хімічний склад при цьому не змінюється, вони легко розчиняються в розчинниках. При подальшому нагріванні вони випаровуються і руйнуються.

Основними представниками синтетичних термопластичних смол є: поліаміди, поліімідиди, поліуретани та ін.

**Поліаміди** – термопластичні полярні діелектрики із лінійною структурою. Вони мають високу механічну міцність, малий коефіцієнт тертя, високу еластичність, хімічно стійкі. Але вони мають не високі діелектричні властивості, які сильно залежать від підвищення температури ( $\epsilon = 1011\text{ Ом}\cdot\text{м}$ ;  $\tan\delta = 3,5$ ).

Найбільш поширені поліаміди – капрон, нейлон. Їх застосовують для виготовлення волокон, текстилю, гвинтів, шайб та ін.

**Поліімідиди** – органічні полімери із високою нагрівостійкістю ( $3000^{\circ}\text{C}$ , та  $5000^{\circ}\text{C}$  короткочасно) та високими діелектричними властивостями ( $\epsilon = 1016\text{ Ом}\cdot\text{м}$ ). Використовують поліімідиди для виготовлення плівок, лаків та емалей.

**Поліуретани** – лінійні термопластичні матеріали, які після затвердіння перетворюються в термореактивні полімери. Стійкі до окислення, впливу кислот,

розчинників, вологи та морозу. Діелектричні характеристики дещо вищі ніж у полдіамідів ( $\epsilon = 1012 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ,  $\tan \delta = 4,5$ ).

Поліуретани застосовуються для виготовлення тканин, покривних лаків, компаундів, клеїв плівок.

**Термореактивні смоли** при нагріванні розплавляються, а потім зазнають безповоротних змін – вони запікаються і набувають значної механічної міцності.

При цьому вони втрачають властивість плавитися і розчинятися в розчинниках.

Основні представники синтетичних термореактивних смол: епоксиди, поліефіри, фенолформальдегіди та кремнійорганічні смоли.

**Епоксидні смоли** представляють собою термопластичні низько плавкі рідкі матеріали, які легко розчиняються у розчинниках, не розчиняються у воді,

мало розчиняються у спирті, мають значний термін зберігання без втрати властивостей.

Після додавання отверджувачів вони швидко твердіють. Після затвердіння вони стають термореактивними. Епоксидні смоли в рідкому стані токсичні.

Епоксидні смоли використовують для виготовлення лаків, клеїв, компаундів.

**Поліефірні смоли** за властивостями близькі до природних смол. До них відносяться лавсанова, гліфталева смоли та полікарбонати.

Питомий електричний опір поліефірних смол  $= 1011 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ,  $\tan \delta = 4$ .

Лавсан використовують для виготовлення волокон, тканин та плівок. Гліфталеву смолу використовують в якості основи для лаків пластмас та клеїв. Полікарбонати використовують для виготовлення шаруватих пластиків, компаундів, плівок.

**Фенолформальдегідні смоли** – це продукт поліконденсації фенолу у водному розчині формальдегіду. Основною їх особливістю є здатність разом із наповнювачами утворювати фенопласти які мають високу міцність та добрі електроізоляційні властивості ( $\epsilon = 1012 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ;  $\tan \delta = 5,5$ ). енолформальдегідні смоли застосовують для виготовлення шаруватих пластиків, корпусів електротехнічних виробів, лаків, клеїв, для заміни шелаку.

### **Електроізоляційні компаунди**

Електроізоляційні компаунди – це просочувальні та заливні суміші, які не мають у своєму складі розчинників і знаходяться у момент застосування при нормальній або підвищеній температурі в рідкому стані та твердіють після застосування внаслідок охолодження, або хімічних процесів. Внаслідок відсутності розчинників компаунди краще за лаки забезпечують герметизацію вузлів електричних машин та апаратів.

Залежно від складу компаунди бувають термопластичними та термореактивними. До термопластичних належать компаунди на основі бітумів, воскоподібних речовин та термопластичних смол. Термореактивні компаунди виготовляють на основі епоксидних, поліефірних та інших синтетичних смол. За призначенням компаунди поділяють на просочувальні, заливні та кабельні.

Бітумні компаунди – це найбільш старий клас діелектриків. Основною складовою частиною їх є бітуми (природні, або одержані при перегонці нафти). Бітумні компаунди розм'якшуються при нагріванні і твердіють при охолодженні, вони володіють високою вологостійкістю та добрими електроізоляційними властивостями. Ці компаунди застосовують для просочування та одержання монолітної ізоляції обмоток високовольтних електричних машин та машин вологостійкого виконання.

Епоксидні компаунди представляють собою епоксидну смолу, до якої додаються наповнювачі та пластифікатори. Безпосередньо перед застосуванням компаунду до нього додається затверджувач. Епоксидні компаунди мають високу еластичність, можуть використовуватись при вологості 95% та при температурі від –60 до 180 0С. Основні марки: Д, ПК, ЕПК, ЭКС та ін. Епоксидні компаунди використовують для просочування обмоток трансформаторів, дроселів, електричних машин, для виготовлення склослюдинитових стрічок, для напилення на обмотки та на метал (пази електричних двигунів).

Поліефірні компаунди виготовляють на основі насичених поліефірних смол з додаванням розбавлювачів (стирол, метилметакрилат) та каталізаторів. Їх застосовують для просочування обмоток електричних машин та апаратів вологостійкого та тропічного виконання. Поліефірні компаунди після затвердіння дають значну усадку.