

Течни диелектрици

Течните диелектрици са нискомолекулни органични вещества, които са полярни и неполярни. Техните електрофизични свойства значително зависят от строежа на молекулата и наличието на примеси. Примесите се образуват при окисление и разлагане на въглеродните фракции, при поглъщане на вода и попадане на частици от влакнест материал.

Течните диелектрици се характеризират с диелектрична проницаемост ϵ , диелектрични загуби (тангенс на ъгъла на диелектрични загуби $\text{tg}\delta$), диелектрична устойчивост – интензитет на пробивното поле $E_{\text{пр}}$.

В полярните течности (совол - хлориран дифенил, хексол – смес на метилхексилкарбинол и метилхексилкетон, етиленгликол – прост алкохол $\text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$) диелектричната проницаемост ϵ се определя едновременно от електронната и диполната поляризация. Например за хексола $\epsilon = 3$, а за етиленгликола $\epsilon = 40$.

В неполярните течности диелектричната проницаемост ϵ се определя само от електронната поляризация, не зависи от честотата и намалява с нарастване на температурата, доближавайки се до 1. Това се обяснява с намаляване на броя молекули в единица обем. В неполярните течности диелектричната проницаемост ϵ е по-малка отколкото в полярните. Например за тетрачлор метана CCl_4 $\epsilon = 2,163$, за толуола $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$ $\epsilon = 2,294$.

Електропроводимостта на течните диелектрици се определя от преместването на йоните, които се получават при дисоциация на течността и примесите, а също и на движението на заредени частици на примесите – молиони. С повишаване на температурата нараства подвижността на йоните и степента на топлинната дисоциация. Тези фактори водят до увеличаване на електропроводимостта.

При неголеми напрежения на електричното поле е в сила законът на Ом – електричният ток в течността е пропорционален на напрежението на полето. При електрични полета с голям интензитет $E \sim (1 - 100) \text{ MV/m}$ електричният ток не се подчинява на закона на Ом поради увеличаването на броя йони от електричното поле.

Освен йонна проводимост в течните диелектрици се наблюдава и *молионна електропроводимост*, при която носителите на заряд са малки заредени примеси. Такива примеси могат да бъдат водата, различни твърди високодисперсни частици, намиращи се в суспендирано състояние (влакна, зрънца, пращинки и др.). Тези частици адсорбират на повърхността си йони и при въздействието на електрично поле се преместват към съответния електрод. В техническите течни диелектрици, съдържащи определена част примеси, при стайна температура преобладава молионната проводимост. Такава се наблюдава в трансформаторното масло, съдържащо малки частици глина и емулгирана вода.

Пречистването на течните диелектрици от примеси значително повишава тяхното специфично съпротивление, но напълно да се премахнат примесите е невъзможно.

Преобладаването на конкретен вид проводимост зависи от енергията на дисоциация, т.е. енергията, необходима за разрушаване на молекулите и образуване на йони. Колкото по-голяма е енергията на дисоциация, толкова по-малка е йонната проводимост.

В полярните течности диелектричните загуби се състоят от загуби на електропроводимост и загуби, свързани с диполно-релаксационна поляризация. Те

зависят от температурата, честотата и вискозитета, т.к. завъртането на диполите във вискозна среда създава загуби на енергия на триене на молекулите. При високи честоти течните диелектрици имат повишени диелектрични загуби. Например, совольт при температура 90°C и честота 50 Hz има $\text{tg}\delta = 0.015$. Затова не се препоръчва използването на течни диелектрици при високи честоти.

Диелектричните загуби в неполярните течности, не съдържащи примеси, са загуби на електропроводимост. Те не зависят от честотата и растат с нарастването на температурата, което се обяснява с увеличаването на тока на проводимост. Диелектричните загуби на тези течности са малки, т.к. е малка електропроводимостта им. Например, чистото трансформаторно масло при температура 90°C и честота 50 Hz има $\text{tg}\delta = 0.003$.

Диелектричната издръжливост на течните диелектрици основно се определя от наличието на странични примеси, полярността на течността, температурата и др. фактори. Присъстващите в течностите газови мехурчета се йонизират, отделящи енергия, която води до локално прегряване на течността. Това води до образуване на газов канал между електродите и като резултат се получава електрически пробой в течността. Освен газовите включвания важен фактор, водещ до снижаване на диелектричната издръжливост на течните диелектрици, е водата. Водните капки се поляризират под действието на електричното поле и образуват между електродите вериги с повишена проводимост, по които става електричният пробив. Диелектричната издръжливост на течности, съдържащи примеси, е по-малка от тази на пречистените.

Като течни електроизолационни материали в електротехническите устройства се използват нефтени (минерални) масла (трансформаторни, кабелни, кондензаторни), синтетични течни диелектрици (хлориран въглерод, силиций- и флуор- органични течности, сложни естери от различни типове) и различни масла.

Нефтени електроизолационни масла. Нефтените масла се получават в процеса на стъпалчесто дестилиране на нефта и отделяне от нефта на дестилати от нестабилни съединения (нефтенови киселини, сяр, смола, кислород, азот и др.)

Технологичната операция на почистване на нефтения дестилат от странични примеси се нарича рафиниране. От нейното качество в определена степен зависят експлуатационните свойства на маслото.

Тези масла имат редица свойства, които им осигуряват широко приложение. Те са сравнително евтини и могат да се произведат в големи количества, при добро пречистване имат малък тангенс на ъгъла на диелектричните загуби $\text{tg}\delta$, имат достатъчно висока диелектрична издръжливост.

Към недостатъците на нефтените масла се отнасят ограниченият интервал на работните температури, пожаро- и взривоопасност, склонност към стареене.

При работа в малкозапълнен електрически апарат вследствие на окислението на съответните фракции на въглеродородите, маслото постепенно старее и става по-тъмно. В него се образуват частично разтворими и частично неразтворими замърсяващи продукти. Неразтворимите тежки примеси се отлагат на поставените в маслото детайли във вид на „утайка“, вискозитетът на маслото се увеличава, което влошава топлоотвеждането от нагриващите се детайли. Процесът на стареене се ускорява при контакт с въздуха, особено ако въздухът съдържа озон; въздействието на светлина и електрично поле; допир с някои метали (мед, желязо, олово и др.) и други вещества с

кристален строеж; повишаване на температурата; контакт с каучук.

При стареенето в електрично поле някои видове масла отделят газове, което е опасно, защото мехурчетата с газ могат да станат огнища на частични разряди. Ако при това температурата на газообразните продукти (смес на парите на маслото и въздуха) е по-висока от температурата им на запалване, то може да стане взрив.

Способността на маслата да не отделят газове при стареене в електрично поле (или даже да поглъщат по-рано отделените газове) се нарича *газоиздръжливост на маслата*.

За борба със стареенето на маслата се използват следните средства:

- въвеждат се антиокислителни добавки (инхибитори), които лесно се свързват с кислорода, защитавайки въглеводородните фракции от окисление, забавят стареенето на маслата и увеличават техния срок на годност. Инхибитори са йонол, пирамидон и др.;
- ограничава се работната температура: 95°C за трансформатори с въздушно охлаждане и 85°C – с водно;
- прави се непрекъзната филтрация на маслата през адсорбент;
- остарялото мало се подлага на регенерация, т.е. възстановяване на неговите свойства чрез пречистване и сушене.

Трансформаторно масло. Течност от почти безцветно до тъмно-жълт цвят. По химичен състав са нефтенови и парафинови въглеводороди и затова са неполярни диелектрици с малка диелектрична проникваемост $\epsilon = 2,2 - 2,3$. След рафинирането маслото допълнително се пречиства. За това то се обработва с алкална основа, промива се с вода и се суши. Окончателното пречистване се прави с адсорбент (силикагел, инфузорна пръст) и филтриращи преси.

Трансформаторното масло има следните свойства:

- малък вискозитет, което е много важно, т.к. много вискозното масло по-лошо отвежда топлината от намотките и сърцевината на трансформатора и по-лошо пропива порестата изолация;
- температурата на замръзване е -70 °C, което е много важно за апаратурата, работеща при ниски температури на околната среда;
- електричната издръжливост е $E_{пр.} = (10-20) \text{ MV/m.}$, много е чувствителна към овлажняване, но при изсушаване се възстановява;
- топлоемността и топлопроводимостта на маслото се увеличават с нарастване на температурата – при свободна конвекция маслото отвежда топлината от потопените в него намотки и сърцевини на трансформатори 25-30 пъти по интензивно от въздуха.

Основните недостатъци на трансформаторното масло са стареенето, възпламеняемост и горимост, хигроскопичност (забранено е съхраняването му в открити съдове). Трансформаторното масло се използва като изолираща и охлаждаща среда в силовите и импулсните трансформатори, високоволтови превключватели, дъгогасяща среда.

Кабелното масло се отличава от трансформаторното с повишен вискозитет, а от кондензаторното - с понижени диелектрични свойства. Те се използват като съставна част

в маслено-колофонните съединения за импрегниране на изолацията на силовите кабели.

Кондензаторното масло се получава от трансформаторното при допълнителна обработка във вакуум за отделяне на разтворения в него въздух, което намалява диелектричните загуби. Използват го за импрегниране на изолации в книжни и слоисти кондензатори, което позволява да се намалят габаритните размери, масата и цената на кондензаторите.

Синтетични течни диелектрици. Използването на синтетичните течни диелектрици е за предпочитане, когато техните свойства са по-добри от тези на електроизолационните масла. Например, ако се изисква използване на неполярни течни диелектрици или течни диелектрици с по-висока пожаро – и взривоопасна сигурност от електроизолационните масла.

Хлорирани въглеродороди. Получават се чрез замяна на някои или даже всички атоми на водорода с атоми на хлора в различните въглеродороди. Най-често се използват полярните продукти на хлорирания дифенил. Той и газовете, които се получават при въздействие с електрична дъга са токсични. Затова в някои страни използването му за импрегниране на кондензатори е забранено със закон. Най-известни представители на тази група са совол и севтол-10. Атомите в молекулите на тези материали са разположени несиметрично и затова те са полярни.

Совол и севтол-10 бавно стареят, не образуват с въздуха взривни вещества, нехигроскопични са, токсични и скъпи.

Совол (пентахлордифенил) е безцветна вискозна течност, получена при хлорирането на дифенила ($C_{12}H_{10}$), като пет от водородните атоми се заместват с хлорни атоми. Соволът е негорящо вещество, не се окислява, което е главното негово предимство пред нефтените масла. Но неговото приложение се ограничава от следните недостатъци: плътност $D = 1500 - 1560$, температура на запалване $205-230\text{ }^{\circ}C$, температура на замръзване $5\text{ }^{\circ}C$, диелектрична издръжливост при $20\text{ }^{\circ}C$, $E_{пр.} = 14-18\text{ MV/m}$, значителен вискозитет в областта на работните температури, което не позволява да бъде използван в чист вид. Той е примерно 10 пъти по-скъп от трансформаторното масло.

Използва се вместо кондензаторно масло за импрегниране на нисковолтови книжни кондензатори с повишен капацитет.

Севтол-10 е негорящ, с повишена температура на замръзване течност, която се получава при разреждане на совол с трихлорбензол. Използва се вместо трансформаторно масло за взривоопасни трансформатори.

Силициевоорганични течности. Това е продукт на синтеза на силициеви и въглеродни съединения, свойствата на които се определят от типа на органичните радикали. В съответствие с това се различават полидиметилсилоксанови, полидиетилсилоксанови и полиметилфенилсилоксанови течности.

Тези течности се характеризират с висока температурна издръжливост, ниска температура на замръзване, малък температурен коефициент на вискозност, химична инертност, малки диелектрични загуби (малък $tg\delta$) и ниска хигроскопичност.

Полиметилсилоксановите течности се получават от хидролиза на диметилхлорсиланови с триметилхлорсиланови течности. Те не се разтварят в спирт и ацетон, имат висока инертност и не влияят на свойствата на металите и каучука при контакт с тях. Използват се за импрегниране на книжни кондензатори и хидрофобизация на изолационни ленти.

Полидиетилсилоксановите течности са смеси от полиетилсилоксани. Безцветни. Използват се за импрегниране и заливка на кондензатори, работещи в температурен интервал от -60°C до $+100^{\circ}\text{C}$.

Полиметилфенилсилоксановите течности се отличават с по-голяма термоиздръжливост и издръжливост към радиационно излъчване.

Флуорорганичните течности са производни на въглеводородите, в които водородните атоми са заместени с флуор. Техните пари не образуват с въздуха взривоопасни смеси. Те имат малки диелектрични загуби (малък $\text{tg}\delta$), нищожно ниска хигроскопичност, висока устойчивост при нагряване (някои течности могат дълго да работят при температури 200°C и повече), висока топлопроводимост, висока дъгоустойчивост.

Флуорорганичните течности се използват за импрегниране и заливка на кондензатори и трансформатори, за изпитание на елементи от радиоелектрониката при ниски и при високи температури.

Освен разгледаните течни диелектрици в радиоелектрониката се използват и силно полярни синтетични електроизолационни течности. Например, етиленгликолът ($\text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$), който се използва в качеството на контролна течност при контрол за херметичност на микросхеми.