

13 Электроизоляционные материалы

Электроизоляционные материалы окружают и отделяют друг от друга токоведущие части электрических устройств, элементы схемы или конструкции, находящиеся под различными электрическими потенциалами. Изоляция обкладок конденсаторов позволяет получать требуемые значения электрической ёмкости.

Для изоляции применяют газы, жидкости и твёрдые вещества. По химическому составу электроизоляционные материалы подразделяют на: органические, элементоорганические и неорганические. Твёрдые материалы классифицируют на основе особенностей их строения. Это полимеры и эластомеры (каучуки), волокна (пропитанные), лаки и компаунды, стёкла, кристаллы и плёнки, а также композиции диэлектриков волокнистого и кристаллического строения с аморфным связующим.

Под действием электрического поля диэлектрик поляризуется, кроме того, через него протекает небольшой ток сквозной проводимости. От этого тока, но в основном от потерь энергии при замедленных видах поляризации, диэлектрик нагревается, что может привести к пробоям. Пробой возможен также в результате ударной ионизации и электрохимического старения.

Сопротивление изоляции и электропроводность диэлектриков

В диэлектрике различают токи сквозной проводимости и токи смещения связанных зарядов (при замедленных видах поляризации их называют токами абсорбции, от лат. absorbeo – поглощаю). Сумма токов сквозной проводимости и абсорбции называется током утечки.

Сопротивление изоляции R_{ISO} определяется законом Ома:

$$R_{ISO} = U_{ИЗМ} / I_{СКВ},$$

где R_{ISO} – сопротивление изоляции, Ом;

$U_{ИЗМ}$ – постоянное напряжение измерения, В;

$I_{СКВ}$ – сквозной ток утечки, А.

Электропроводность диэлектрика характеризуется только током сквозной проводимости. Для исключения токов абсорбции её измеряют при постоянном напряжении через 1 минуту после его подачи (за это время токи абсорбции спадают практически до нуля).

Электропроводность диэлектриков возрастает при нагреве и повышении влажности. У твёрдых материалов различают объёмную и поверхностную электропроводность. Для численной оценки качества изоляционных материалов можно использовать значения его удельной электрической проводимости – объёмной γ_V , См/м (сименс, делённый на метр), и поверхностной γ_S , См.

На практике чаще используют обратные величины – удельные объёмное ρ_V и поверхностное ρ_S электрические сопротивления.

Удельное объёмное электрическое сопротивление ρ_V , Ом·м (ом, умноженный на метр), численно равно сопротивлению куба с ребром в 1 м, мысленно выделенного из исследуемого материала, если ток проходит от одной грани этого куба к противоположной.

У электроизоляционных материалов $\rho_V > 10^8$ Ом·м, они практически не проводят электрический ток.

Удельное поверхностное электрическое сопротивление ρ_S , Ом, численно равно сопротивлению квадрата любых размеров, мысленно выделенного на поверхности материала, если ток проходит от одной стороны этого квадрата к противоположной.

Поляризация диэлектриков и диэлектрические потери

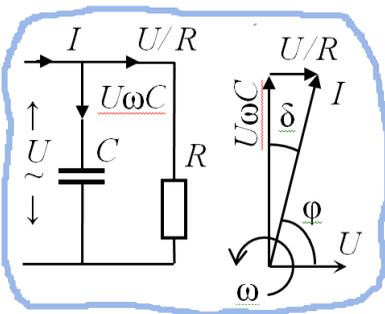
Поляризацией вещества называют смещение связанных зарядов. Способность диэлектрика поляризоваться в электрическом поле характеризуется значением *относительной диэлектрической проницаемости* ϵ

$$\epsilon = C / C_0,$$

где C – ёмкость конденсатора, заполненного диэлектриком;

C_0 – ёмкость конденсатора того же размера в вакууме.

Схема замещения диэлектрика с потерями представляет собой идеальный конденсатор с током поляризации равным $U \cdot \omega C$ (напряжение U , умноженное на ёмкостную проводимость ωC , на векторной диаграмме опережает по фазе напряжение на 90°). Параллельно ему подключен резистор с током потерь U / R (напряжение U , делённое на сопротивление R , по фазе совпадает с напряжением). Сумма I токов поляризации и потерь опережает по фазе напряжение U на угол φ близкий к 90° . Угол δ , дополняющий угол φ до 90° , называется *углом потерь*. Тангенс угла потерь $\operatorname{tg} \delta$ является важнейшей характеристикой диэлектрика. Он показывает, какая часть от энергии, запасаемой в диэлектрике при его поляризации, теряется (расходуется на его нагрев). Нагрев может привести к тепловому разрушению – пробой диэлектрика.



Пробой изоляции и электрическая прочность диэлектрика

Находясь в электрическом поле, диэлектрик может потерять свойства изоляционного материала, если напряжённость поля превысит некоторое критическое значение. Явление образования проводящего канала под действием электрического поля называют *пробоем*. Если произошёл пробой газовой изоляции, то благодаря высокой подвижности молекул пробитый участок после снятия напряжения восстанавливается. Жидкий диэлектрик также может восстановить свои изоляционные свойства, но частично, так как загрязняется из-за распада части молекул. Пробой твёрдых диэлектриков приводит к необратимому разрушению изоляции.

Значение напряжения, приводящего к пробую изоляции, называют *пробивным напряжением* $U_{пр}$. Значение пробивного напряжения зависит от толщины диэлектрика h и формы изоляционной детали, а также конфигурации электродов и параметров приложенного напряжения – полярности, частоты, амплитуды. Поэтому оно характеризует не столько свойства материала, сколько способность конкретного изоляционного

изделия противостоять воздействию конкретного электрического поля.

Характеристикой самих материалов, удобной для их сравнения, является электрическая прочность. *Электрической прочностью* называют напряжённость $E_{\text{пр}}$, соответствующую пробивному напряжению $U_{\text{пр}}$ в *однородном* электрическом поле.

Электрическая прочность $E_{\text{пр}}$ измеряется в вольтах, делённых на метр

$$E_{\text{пр}} = U_{\text{пр}} / h,$$

где $U_{\text{пр}}$ – пробивное напряжение, В;

h – расстояние между электродами, м.

На практике используют единицу измерения $\text{kB} / \text{мм} = \text{MB} / \text{м}$.

В зависимости от механизма протекания, пробой диэлектриков может быть исключительно электрическим, электротепловым и электрохимическим.

При электрическом пробое канал высокой проводимости возникает за счёт ударной и фотонной ионизации. Из первоначально немногих свободных электронов, образовавшихся при поглощении кванта света или радиоактивного излучения и разгоняемых электрическим полем, в результате их столкновения с атомами вещества образуется лавина.

Электротепловой пробой происходит за счёт разогрева диэлектрика под действием приложенного напряжения вследствие *диэлектрических потерь*. При нём пробивное напряжение зависит от условий охлаждения изоляции, в том числе и от температуры окружающей среды.

Однако, чаще всего, причиной выхода изоляции из строя является *электрохимический пробой*, происходящий в результате её старения – постепенного необратимого ухудшения свойств из-за различных химических реакций, вызванных воздействием высокого напряжения.

Особенно опасны *частичные разряды*, возникающие в местах концентрации напряжённости электрического поля, совпадающих с различного рода неровностями поверхностей металлических

предметов. При частичных разрядах образуются активные газы, разрушающие изоляцию. Под действием этих газов, особенно озона, в присутствии воды в твёрдой изоляции развиваются *водяные дендриты (водные триинги)*, прорастающие вглубь материала изоляции подобно корням деревьев, что уменьшает его толщину и со временем приводит к пробоям.

Искусство монтажника высоковольтного оборудования – сгладить неоднородности электрического поля, чтобы не было частичных разрядов. Это достигается опиливанием различных выступов, а также за счёт нанесения на поверхность металлических предметов полупроводящих покрытий или диэлектрических плёнок с повышенной диэлектрической проницаемостью.