

## 18 Органические электроизоляционные материалы

### Волокнистые изоляционные материалы

Большинство применяемых в электротехнике волокнистых материалов состоят из органического полимера – целлюлозы. Это дерево, бумага, картон и хлопчатобумажные ткани. Диэлектрическая проницаемость целлюлозы  $\varepsilon \approx 6,6$ ;  $\operatorname{tg}\delta \approx 0,02$ . Кроме целлюлозы в изоляционных целях используются материалы из шёлковых, искусственных, синтетических, стеклянных и асбестовых волокон.

Благодаря упорядоченному строению волокно обладает особой прочностью и гибкостью. Общим недостатком волокнистых материалов является большая гигроскопичность. Поэтому в большинстве случаев волокнистая изоляция пропитана жидкими диэлектриками либо совместно с полимерами образует композиционные материалы.

*Дерево* применяют для изготовления штанг, рукояток, опорных и крепежных деталей масляных трансформаторов, опор линий электропередачи и связи.

Для изготовления электротехнических *бумаг* и *картонов* используют щелочную целлюлозу желтоватого цвета, имеющую большую прочность, чем белая кислотная. Выпускают следующие разновидности бумаг: кабельную – для изоляции жил силовых кабелей, телефонную – для кабелей связи, пропиточную – для изготовления гетинакса, конденсаторную, микалентную – для подложки микаленты. Картон отличается от бумаг большей толщиной.

*Фибру* изготавливают из слоёв бумаги, пропитанной раствором хлористого цинка. Применяют в качестве конструкционного дугогасящего материала.

Текстильные материалы применяют для изоляции обмоточных проводов и шин, а также для изготовления локотканей и текстолитов.

### Изоляционные масла

Наибольшее распространение получило *трансформаторное масло* – жидкость от почти бесцветного до тёмно-жёлтого цвета, представляющая собой смесь различных углеводородов. Получается из нефти посредством её ступенчатой перегонки с последующей тщательной очисткой от химических примесей. Основные области

применения трансформаторного масла – силовые маслonaполненные трансформаторы и высоковольтные масляные выключатели.

Заполняя поры волокнистой изоляции, масло существенно повышает её электрическую прочность, улучшает отвод тепла от обмоток и сердечников, а в масляных выключателях способствует гашению электрической дуги, возникающей между расходящимися контактами.

По своим электрическим характеристикам хорошо очищенное от примесей и влаги трансформаторное масло имеет свойства неполярного диэлектрика:  $\epsilon = 2,2-2,3$ ;  $\text{tg}\delta \leq 0,003$ ;  $\rho = 10^{12}-10^{13}$  Ом·м (характеристики приведены для  $t = 20$  °С и  $f = 50$  Гц).

Недостатком трансформаторного масла является его горючесть.

*Конденсаторное масло* служит для пропитки бумажной изоляции конденсаторов и отличается особо тщательной очисткой адсорбентами.

*Кабельные масла* используются для пропитки бумажной изоляции силовых кабелей. Для увеличения вязкости в них добавляют канифоль или синтетический загуститель.

### **Электроизоляционные лаки и компаунды**

*Лаки* это растворы смол, битумов и высыхающих масел в летучих растворителях. При сушке лака растворитель улетучивается, а лаковая основа полимеризуется, образуя лаковую плёнку. По назначению лаки подразделяют на: пропиточные, покровные и клеящие.

Пуём *пропитки* лаком изготавливают лакоткани и лакобумаги.

*Покровные лаки* образуют механически прочную, гладкую, влагостойкую плёнку на поверхности диэлектрика или металла.

*Клеящие лаки* используют, например, для склеивания между собой листочков расщеплённой слюды при изготовлении миканитов или для приклеивания их к бумажным подложкам микаленты.

По составу различают лаки: бакелитовые, глифталевые, кремнийорганические, поливинилхлоридные, нитроцеллюлозные, масляные, битумные и другие.

*Компаундами* называют смеси различных изоляционных веществ (смол, битумов и т. д.), которые переходят из жидкого состояния в твёрдое при остывании или благодаря вводимым в них отвердителям. В составе компаунда могут быть пластификаторы, наполнители, разбавители и т. д. По назначению компаунды делят на две основные группы: пропиточные и заливочные.

Различают термопластичные и терморезистивные компаунды.

*Термопластичные компаунды* размягчаются при нагревании и отвердевают при охлаждении. К их числу относятся битумные компаунды, которые представляют собой сложные смеси углеводов.

*Термореактивные компаунды* необратимо отверждаются в результате химических реакций. Они, как правило, обладают более высокой нагревостойкостью по сравнению с термопластичными компаундами, так как при нагревании уже не размягчаются. Однако заливка термореактивным компаундом практически исключает возможность ремонта детали или прибора в случае их повреждения. К числу термореактивных относятся компаунды на основе полиэфирных, кремнийорганических и эпоксидных смол. Эпоксидные компаунды обладают малой усадкой при затвердевании, исключительной прочностью и весьма высокими влагозащитными свойствами. После добавления в эпоксидную смолу полиэтиленполиамина в соотношении 1:10 и перемешивания она застывает с небольшим нагревом.

### **Композиционные пластмассы и слоистые пластики**

Композиционные пластмассы, предназначенные для изготовления изделий методом горячего прессования или литья под давлением, состоят из связующего вещества – полимера и наполнителей (древесная мука, очёсы хлопчатника, каолин, кварцевый песок, асбестовое или стеклянное волокно и т. д.), а также красителей и пластификаторов.

Широкое применение для изготовления изоляционных плат, в том числе и для печатного монтажа, нашли слоистые пластики – гетинакс и текстолит.

*Гетинакс* изготавливают из слоёв бумаги, пропитанной спиртовым или водно-спиртовым раствором резольной фенолформальдегидной смолы. Слоистое строение гетинакса приводит к анизотропии свойств. Вдоль слоёв удельное объёмное сопротивление гетинакса в 50–100 раз, а электрическая прочность в 5–8 раз ниже, чем поперек. Перпендикулярно слоям электрическая прочность составляет около 30 МВ/м,  $\varepsilon = 6-7$ , а  $\text{tg}\delta = 0,04-0,08$  (на частоте  $10^6$  Гц).

*Текстолит* – слоистый пластик, аналогичный гетинаксу, но при его изготовлении используют хлопчатобумажную ткань, либо ткани из синтетических волокон. Если в качестве наполнителя использовать ткань из стеклянных волокон, то получим материал под названием

стеклотекстолит, а если асбест – асботекстолит. Связующим веществом в этих материалах служат эпоксидные или полиэфирные смолы.

Для изготовления печатных плат на гетинакс и текстолит (стеклотекстолит) с одной или с двух сторон приклеивают тонкие слои медной фольги толщиной 0,035–0,05 мм. Требуемый рисунок печатной схемы получают путём её травления в растворе хлорного железа.

### Полимеры

*Полиэтилен* – основной полимерный материал для высокочастотной и высоковольтной изоляции. Структурную формулу *полиэтилена* можно записать в виде  $[-CH_2 - CH_2 -]_n$ , где  $n$  – степень полимеризации, т. е. число молекул мономера этилена, объединяющихся в молекулу полимера.  $\varepsilon = 2,2-2,4$ ;  $tg\delta = 2-5 \cdot 10^{-4}$ ;  $\rho = 10^{14}-10^{16}$  Ом·м,  $E_{пр} = 40-150$  МВ/м. В последнее время всё шире применяется изоляция из сшитого (вулканизированного) полиэтилена. Сшивание линейных молекул полиэтилена в пространственную структуру происходит при радиоактивном облучении и повышает механическую прочность и нагревостойкость. Широко применяются изоляционные трубки и муфты из термоусаживаемого полиэтилена.

*Поливинилхлорид (ПВХ)* – твёрдый продукт полимеризации газа винилхлорида  $H_2C=CH-Cl$ , представляющего собой этилен, в молекуле которого один атом водорода замещен атомом хлора.  $\varepsilon = 3-6$ ;  $tg\delta = 0,01-0,06$ ;  $\rho = 10^{11}-10^{14}$  Ом·м,  $E_{пр} = 15-50$  МВ/м.

Благодаря сильным межмолекулярным взаимодействиям поливинилхлорид является материалом жестким и негибким. Для придания эластичности к ПВХ добавляют пластификаторы – органические полярные жидкости с высокой точкой кипения.

*Политетрафторэтилен* (ПТФЭ, фторопласт-4, тефлон) получают путём полимеризации тетрафторэтилена  $F_2C = CF_2$  (этилен, в молекуле которого все четыре атома водорода замещены атомами фтора).  $\varepsilon = 1,9-2,2$ ;  $tg\delta = 2-3 \cdot 10^{-4}$ ;  $\rho = 10^{14}-10^{16}$  Ом·м,  $E_{пр} = 40-250$  МВ/м.

Среди всех органических полимеров ПТФЭ выделяется высокой нагревостойкостью (около 300 °С) и очень высокой стойкостью к действию химических реагентов. Так, на него совершенно не действуют серная, соляная, азотная и плавиковая кислоты, щелочи и т. п. По стойкости к химически активным веществам ПТФЭ превосходит золото и платину. Он негорюч, не растворяется ни в одном из известных растворителей, негигроскопичен и не смачивается водой и другими жидкостями.

## Резины

*Резины* – это материалы на основе каучука (натурального или синтетического). Чистый каучук практически неполярен, его удельное сопротивление  $\rho \approx 10^{14}$  Ом·м,  $\varepsilon = 2,4$ ,  $\text{tg}\delta = 0,002$ . При добавлении серы и нагревании происходит вулканизация каучука. Если серы 1–3 % получают мягкую резину, если 30 % и более – эбонит. Резины применяют для изоляции гибких проводов, шнуров и кабелей, а также для защитных перчаток, галош, ковриков.

Хлоропреновый каучук (наирит, неопрен), отличается стойкостью к действию масла, бензина, озона и других окислителей, а также не поддерживает горения. Он используется для защитных оболочек кабелей.

Кремнийорганические (силиконовые) каучуки отличаются высокой нагревостойкостью (до 250 °С), устойчивостью к дуге и скользящим разрядам. Применяются для покрытия стеклопластиковых изоляторов.