

Лекция 1.

Общие сведения о технике высоких напряжений. Характеристика электрического поля

Традиционное разделение электроустановок на установки низкого напряжения и высоковольтные электроустановки с границей в 1000 В определяется уровнем опасности для человека. Существует, однако, другой серьезнейший фактор, приводящий к коренному отличию электроустановок низкого и высокого напряжений – это поведение изоляции электроустановки. В низковольтных установках в подавляющем большинстве случаев изоляционные расстояния определяются механическими соображениями, то есть возможностью выдерживать механические нагрузки или исключением возможного соприкосновения токоведущих частей между собой. В высоковольтных установках на первое место выходит проблема возможных повреждений изоляции из-за большого напряжения на ней. *К примеру, для напряжения 220 В воздушный промежуток в доли миллиметра с точки зрения электрической прочности уже вполне приемлем (хотя и недостаточен из-за возможности механического соприкосновения), то для напряжения 110кВ воздушный промежуток размером в десятки сантиметров уже не является изоляцией и вполне может быть пробит.* Именно специфическая проблема изоляции при высоких напряжениях ставит основной задачей техники высоких напряжений обеспечение необходимого уровня электрической изоляции элементов электроустановок. Высокие напряжения широко используются в электротехнологии (осаждение частиц в сильном электрическом поле, электрогидравлический эффект и др.), а также в электрофизических установках различного назначения.

Техника высоких напряжений представляет собой науку о характеристиках устройств и процессах в них при экстремальных электромагнитных воздействиях – высоких напряжениях и сильных токах,

также о технологическом использовании этих процессов. Один из основных разделов техники высоких напряжений посвящен свойствам и характеристикам изоляционных конструкций электрооборудования высокого напряжения и условиям их надежной эксплуатации при воздействии рабочего напряжения, грозовых и внутренних перенапряжений. Данный раздел был рассмотрен вами в курсе дисциплины «Техника высоких напряжений».

Характеристика электрического поля

Основной характеристикой электрического поля в заданной точке является его напряженность.

Напряженность электрического поля (E В/м – вольт на метр) есть векторная величина, определяемая отношением силы, действующей в поле на электрический заряд, к величине заряда.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

Под действием напряженности может происходить пробой или перекрытие изолирующей среды.

Потенциал электрического поля (φ , В – вольт) является скалярной величиной. Точки электрического поля имеют положительный, отрицательный или нулевой потенциалы.

Положительный потенциал данной точки электрического поля равен энергии, которую приобретает единичный положительный заряд при его перемещении внешними силами из точки с нулевым потенциалом в данную точку против действия сил электрического поля.

Нулевым потенциалом условно обладают точки, удаленные в бесконечность от заряда или заземленные.

Отрицательный потенциал характеризует расход энергии поля на перемещение единичного положительного заряда из точки с нулевым потенциалом в данную точку по направлению действия сил электрического поля.

Точки электрического поля, имеющие одинаковый потенциал, образуют *эквипотенциальные поверхности*.

Разность потенциалов двух точек электрического поля называется напряжением U между этими точками и измеряется в вольтах:

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = \Delta\varphi$$

Из определения потенциала как энергии единичного заряда, внесенного в данную точку поля, следует, что разность потенциалов между двумя точками поля $\Delta\varphi$ есть приращение или убыль этой энергии. Для заряда, по величине отличного от единицы, это приращение энергии можно рассматривать как работу ΔA , произведенную силой qE на отрезке пути Δa .

При совпадении направления действия силы qE с направлением перемещения заряда работа отрицательна, т.е. производится за счет сил поля, а при несовпадении – работа положительна, так производится за счет внешних сил:

$$-\Delta A = qE\Delta a.$$

Отсюда может быть получена математическая связь между потенциалом и напряженностью:

$$-d\varphi = -\frac{dA}{q} = E da,$$

или

$$E = -\frac{d\varphi}{da} [\text{В/м}].$$

Напряженность электрического поля есть скорость убывания (знак минус) потенциала по направлению силовых линий поля.

Диэлектрическая проницаемость (ϵ , Ф/м) – основная характеристика электрических свойств изолирующего материала, физически

характеризующая интенсивность процессов поляризации в среде диэлектрика, происходящих под действием внешнего электрического поля. Математически она может быть представлена произведением двух величин:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon' \text{ [Ф/м]},$$

где

$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – электрическая постоянная, установленная опытным путем;

ε' – относительная диэлектрическая проницаемость материала (величина безразмерная).

Значения относительных диэлектрических проницаемостей различных изоляционных материалов (частота переменного тока 50 Гц):

№	Изоляционный материал	Относительная диэлектрическая проницаемость, ε'
1	Воздух	1,001
2	Парафин	1,9-2,2
3	Масло трансформаторное	2,2-2,5
4	Савол	5,0-5,2
5	Резина вулканизированная	3-3,2
6	Органическое стекло	3,0-3,6
7	Кварцевое стекло	4,0-4,2
8	Кварц	4,3-4,7
9	Стекло обычное	6,0-10
10	Электрофарфор	5,5-7,5
11	Электрокартон	3,0-4,0
12	Бумага кабельная	3,2-4,2
13	Гетинакс	6,5-8
14	Бакелит	4,5-4,8

15	Текстолит	8,0-9,0
16	Стеатит	5,5-6,5
17	Шифер	6-7,5
18	Слюда мусковит	6-8,0
19	Вода дистиллированная	80
20	Сегнетова соль	500-600
21	Элегаз	1,0021
22	Полиэтилен	2,23

Общие характеристики твердых диэлектриков.

Твердые диэлектрики - это чрезвычайно широкий класс веществ, содержащий вещества с радикально различающимися электрическими, теплофизическими, механическими свойствами. Например, диэлектрическая проницаемость меняется от значения, незначительно превышающего 1, до более чем 50000, в зависимости от типа диэлектриков: неполярный, полярный, сегнетоэлектрик. Вкратце коснемся этих определений применительно к твердым диэлектрикам.

Неполярный диэлектрик - вещество, содержащее молекулы с преимущественно ковалентной связью.

Полярный диэлектрик - вещество, содержащее дипольные молекулы или группы, или имеющие ионы в составе структуры.

Сегнетоэлектрик - вещество, имеющее в составе области со спонтанной поляризацией.

Механизмы поляризации у них резко различаются:

- чисто электронная поляризация у неполярных диэлектриков типа полиэтилена, полистирола, при этом ϵ - мала, не более 3, диэлектрические потери тоже малы;

- ионная поляризация у ионных кристаллов типа NaCl или дипольная у полярных диэлектриков типа льда, при этом ϵ может находиться в пределах от 3-4 до 100, диэлектрические потери могут быть весьма значительны, в особенности на частотах вращения диполей и других резонансных частотах;

- доменная поляризация у сегнетоэлектриков - при этом ϵ максимальна и может достигать 10000-50000, диэлектрические потери могут быть весьма

значительны, в особенности на резонансных частотах и в области повышенных частот.

Особенности механизмов проводимости в твердых диэлектриках - концентрация носителей очень мала, подвижность ионов в гомогенных материалах очень мала, подвижность электронов в чистых материалах велика, в технически чистых - мала. Механизмы электропроводности различны в разных веществах. Ионная проводимость реализуется у полидисперсных диэлектриков (картон, бумага, гетинакс, дерево) и ионных кристаллов. В первом случае ионы передвигаются по границам раздела, образованным слипшимися дисперсными частицами. Появление носителей заряда сильно связано с влажностью этих материалов и определяется диссоциацией примесей и полярных групп основного вещества на поверхности раздела. В случае ионных кристаллов, в проводимости участвуют ионы основного вещества, примесей, дефекты структуры. Электронная проводимость реализуется у титанатов бария, стронция и т.д., электронная, дырочная и ионная проводимость у полимеров.

Добавим некоторые термины, специфичные для твердых диэлектриков:

химическая стойкость - способность выдерживать контакты с разными средами (кислота - кислотостойкость, щелочь - щелочестойкость, озон - озоностойкость, масло - маслостойкость, вода - водостойкость);

трекингостойкость - способность противостоять действию дуги;

дендритостойкость - способность противостоять образованию дендритов.

Все диэлектрические материалы можно разделить на группы, используя разные принципы. Например, разделить на неорганические и органические материалы.

Неорганические диэлектрики: стекла, слюда, керамика, неорганические пленки (окислы, нитриды, фториды), металлофосфаты, электроизоляционный бетон. Особенности неорганических диэлектриков - негорючи, как правило, свето-, озono- термостойки, имеют сложную технологию изготовления. Старение на переменном напряжении практически отсутствует, склонны к старению на постоянном напряжении.

Органические диэлектрики: полимеры, воски, лаки, резины, бумаги, лакоткани. Особенности органических диэлектриков - горючи (в основном), малостойки к атмосферным и эксплуатационным воздействиям, имеют (в основном) простую технологию изготовления, как правило, более дешевы по сравнению с неорганическими диэлектриками. Старение на постоянном напряжении практически отсутствует, на переменном напряжении стареют за счет частичных разрядов, дендритов и водных триингов.

Применение в энергетике:

- линейная и подстанционная изоляция - это фарфор, стекло и кремнийорганическая резина в подвесных изоляторах ВЛ, фарфор в опорных и проходных изоляторах, стеклопластики в качестве несущих элементов, полиэтилен, бумага в высоковольтных вводах, бумага, полимеры в силовых кабелях;
- изоляция электрических приборов - бумага, гетинакс, стеклотекстолит, полимеры, слюдяные материалы;
- машин, аппаратов - бумага, картон, лаки, компаунды, полимеры;
- конденсаторы разных видов - полимерные пленки, бумага, оксиды, нитриды.

С практической точки зрения в каждом случае выбора материала электрической изоляции следует анализировать условия работы и выбирать материал изоляции в соответствии с комплексом требований. Для ориентировки целесообразно разделить основные диэлектрические материалы на группы по условиям применения.

1. Нагревостойкая электрическая изоляция. Это в первую очередь изделия из слюдяных материалов, некоторые из которых способны работать до температуры 700 °С. Стекла и материалы на их основе (стеклоткани, стеклослюдаины). Органосиликатные и металлофосфатные покрытия. Керамические материалы, в частности нитрид бора. Композиции из кремнийорганики с термостойким связующим. Из полимеров высокой нагревостойкостью обладают полиимид, фторопласт.
2. Влагостойкая электрическая изоляция. Эти материалы должны быть гидрофобны (несмачивание водой) и негигроскопичны. Ярким представителем этого класса является фторопласт. В принципе возможна гидрофобизация путем создания защитных покрытий.
3. Радиационно стойкая изоляция. Это, в первую очередь, неорганические пленки, керамика, стеклотекстолит, слюдянитовые материалы, некоторые виды полимеров (полиимиды, полиэтилен).
4. Тропикостойкая изоляция. Материал должен быть гидрофобным, чтобы работать в условиях высокой влажности и температуры. Кроме того, он должен быть стойким против плесневых грибов. Лучшие материалы: фторопласт, некоторые другие полимеры, худшие - бумага, картон.
5. Морозостойкая изоляция. Это требование характерно, в основном для резин, т.к. при понижении температуры все резины теряют эластичность. Наиболее морозостойка кремнийорганическая резина с фенильными группами (до -90°С).
6. Изоляция для работы в вакууме (космос, вакуумные приборы). Для этих условий необходимо использовать вакуумно-плотные материалы. Пригодны некоторые, специально приготовленные керамические материалы, малопригодны полимеры.

Полимерные материалы.

Полимеры, как правило, являются хорошими диэлектриками. Они обладают низкими диэлектрическими потерями, высоким удельным сопротивлением, высокой электрической прочностью, высокой технологичностью и, как правило, невысокой ценой. Кроме того, на основе полимеров с дисперсными добавками различной электропроводности, теплопроводности, магнитной проницаемости, диэлектрической проницаемости, твердости и т.п. можно получать разнообразные композиционные материалы с широким спектром свойств. По технологическим признакам полимерные материалы делятся на 2 класса - термопласты и реактопласты

Термопласты - размягчаются при нагревании, что позволяет использовать простую технологию термопрессования. При этом гранулы исходного полимера помещают в камеру термопласт - автомата, нагревают до температуры размягчения, прессуют и охлаждают. Так делают мелкие диэлектрические детали. Для крупногабаритных изделий, типа кабелей, полутвердый расплав выдавливают через фильеру вместе с внутренним электродом кабеля.

Наиболее распространенным диэлектриком этого класса является полиэтилен $\text{H}-(\text{CH}_2)_n\text{H}$. Полиэтилен производят путем полимеризации газа этилена при повышенных давлениях и температурах. В основном используются две технологии. Исторически первой была технология получения полиэтилена при высоком давлении до 250 МПа и температуре до 300 °С с помощью иницирующих агентов-окислителей. При этом получается т.н. полиэтилен высокого давления ПЭВД, для которого используется и другое название - полиэтилен низкой плотности (ПЭНП). В настоящее время более распространена технология получения полиэтилена с помощью катализаторов при невысоком давлении до 1 МПа, невысокой температуре до 80 °С. При этом получается т.н. полиэтилен низкого давления ПЭНД, для которого используется и другое название - полиэтилен высокой плотности (ПЭВП). Главное отличие полученных продуктов с физико-химической точки зрения - повышенная водостойкость ПЭНД по сравнению с ПЭВД. Другие характеристики практически одинаковы: удельное сопротивление 10¹⁴-10¹⁵ Ом·м, удельное поверхностное сопротивление 10¹⁵ Ом, диэлектрическая проницаемость 2.2-2.4, тангенс угла диэлектрических потерь 10⁻⁴, электрическая прочность 45-55 кВ/мм, теплопроводность 0.3-0.4 Вт/(м·К), теплоемкость 2 кДж/(кг·К), плотность 920-960 кг/м³. Класс нагревостойкости Y. Полиэтилен широко используют в качестве силовой электрической изоляции в кабелях, в особенности т.н. "сшитый" полиэтилен. (В зарубежной литературе - cross-linked polyethylene). Его получают либо облучением высокоэнергетичными частицами (электронами, фотонами, тяжелыми частицами), либо вулканизацией. При

этом образуется пространственная сетка, подобно тому, как это реализуется в резине. Модифицированный материал может эксплуатироваться при температуре до 200 °С, кроме того, он становится более стойким по отношению к агрессивным средам и растворителям, механически более прочным, его удельное сопротивление повышается примерно на два порядка.

Из других термопластичных полимеров, используемых в энергетике в виде электроизоляционных пленок отметим полипропилен, поливинилхлорид, лавсан.

Рядом уникальных свойств обладает фторопласт (политетрафторэтилен). Он химически инертен, не растворяется в растворителях, вплоть до температуры 260 °С, абсолютно не смачивается водой, не гигроскопичен. Недостатки - не стоек под действием радиации, обладает хладотекучестью.

Реактопласты - при нагревании не размягчаются, после достижения некоторой температуры начинают разрушаться. Изделия из них обычно делают различными способами. Одна из распространенных дешевых технологий заключается в следующем. Сначала готовят пресс-порошки полимера. Затем пресс порошок засыпают в пресс-форму и прессуют при определенном давлении и температуре. При этом возникает сцепление между деформированными частицами, и после охлаждения материал готов к использованию. Возможно проведение полимеризации из исходных компонентов в заранее подготовленных формах. Так делают изделия из эпоксидных полимеров, кремнийорганической резины.

Достаточно дешевы и технологичны реактопласты на основе фенолформальдегидных полимеров (бакелит) и аминокформальдегидных полимеров. Их электрофизические характеристики невысоки.

Эпоксидные полимеры обладают хорошей механической прочностью, удовлетворительными электрофизическими характеристиками. Они являются полярными диэлектриками, некоторые марки эпоксидных материалов имеют диэлектрическую проницаемость до 16. Высокая полярность приводит к слабой водостойкости. Главное преимущество эпоксидных компаундов - простота технологии приготовления. Компаунды холодного отверждения получают смешиванием эпоксидной смолы, отвердителя и пластификатора. В период времени до начала твердения (от минут до часов) жидкую композицию можно заливать в требуемую форму. Часто компаунд используют для ремонта диэлектрических деталей в качестве клея.

Из других полимеров-реактопластов отметим диэлектрический материал с высокой механической прочностью - капролон, с большим диапазоном рабочих температур (-100°С до +250°С) - полиимиды и композиты на их основе.

Бумага и картон.



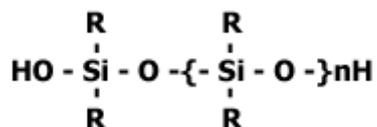
Важным преимуществом этих материалов является то, что они производятся из возобновляемого сырья, а именно из древесной массы. Технология приготовления состоит из варки щепы и опилок в щелочном растворе с добавками. Целлюлозные волокна разделяются, полученная пульпа загущается удалением некоторого количества воды, из нее удаляются металлические примеси. Затем следует прокатка между вальцами, при повышенных давлении и температуре. Чем выше плотность бумаги, тем выше как механическая, так и электрическая прочность бумаги. Самые тонкие и прочные бумаги используются для изготовления конденсаторов. Достаточно отметить, что плотность конденсаторных бумаг достигает 1.6 т/м^3 , т.е. более, чем в 1.5 раза превышает плотность воды. При этом электрическая прочность бумаги толщиной 10 мкм, пропитанной трансформаторным маслом, составляет до 10 МВ/см.

Электротехнический картон используется в качестве диэлектрических дистанцирующих прокладок, шайб, распорок, в качестве изоляции магнитопроводов, пазовой изоляции вращающихся машин и т.п. Картон, как правило, используется после пропитки трансформаторным маслом. Электрическая прочность пропитанного картона достигает 40-50 кВ/мм. Поскольку она выше прочности трансформаторного масла, для увеличения электрической прочности трансформаторов зачастую устраивают в среде масла специальные барьеры из картона. Маслобарьерная изоляция обычно имеет прочность $E=300-400 \text{ кВ/см}$. Недостатком картона является гигроскопичность, в результате попадания влаги уменьшается механическая прочность и, резко уменьшается электрическая прочность (в 4 и более раз).

Материалы для изоляторов.

В последнее время бурно развивается производство изоляторов для ВЛ на основе кремнийорганической резины. Этот материал относится к каучукам, основное свойство которых - эластичность. Это позволяет изготавливать из каучуков не только изоляторы, но и гибкие кабели. В энергетике используются разные типы каучуков: натуральные каучуки, бутадиеновые, бутадиен-стирольные, этиленпропиленовые и кремнийорганические.

Основу кремнийорганических резин составляют полиорганосилоксаны



Где R - одинаковые, либо разные органические радикалы. В зависимости от типа этих радикалов меняются свойства кремнийорганической резины. Иногда в основной цепи чередуются не только кремний и кислород, но и бор (боросилоксановые каучуки), углерод (силкарбоновые каучуки), азот (силоксановые каучуки). Получают кремнийорганическую резину из исходного каучука с помощью вулканизации, т.е. сшивки в пространственные комплексы исходных молекул. При этом химическая связь возникает либо по концевым H и OH группам, либо по радикалам. Реакция протекает за счет радиационного облучения, либо за счет химических агентов при повышенной температуре. Как правило, с завода-изготовителя поступает готовая к вулканизации масса.

Свойства чистых кремнийорганических резин неудовлетворительны, в первую очередь ввиду низкой прочности и недостаточной свето-озоностойкости. В настоящее время изоляторы делают из композиционных материалов на основе кремнийорганических каучуков. В качестве усиливающих активных наполнителей используют нанопорошки двуокиси кремния (аэросил, белая сажа) и двуокиси титана. Из электрофизических и теплофизических свойств композиционного материала отметим:

диэлектрическая проницаемость	$\epsilon = 2.9 - 3.6;$
удельное объемное сопротивление	$10^{12} - 10^{13} \text{ Ом м};$
удельное поверхностное сопротивление	$10^{12} - 10^{14} \text{ Ом};$
тангенс угла диэлектрических потерь	$5 \cdot 10^{-4} - 2 \cdot 10^{-3};$
электрическая прочность	$18 - 24 \text{ кВ/мм},$
теплопроводность	$1.0 - 1.2 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)};$
теплоемкость	$1.2 - 1.5 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)};$
плотность	$1100 - 1600 \text{ кг/м}^3;$

прочность на разрыв	4 - 6 МПа.
---------------------	------------

Резюмируя свойства кремнийорганических резин, отметим, что они имеют удовлетворительные электрофизические свойства, высокую теплоемкость, сравнительно невысокую механическую прочность. Из других свойств выделим, то, что они стойки к действию озона, света и масла, морозостойки $(-50 - 90)^{\circ} \text{C}$ и нагревостойки $(180 - 250)^{\circ} \text{C}$, влагонепроницаемы, но газопроницаемы, масло-бензонестойки.

Электротехнический фарфор является искусственным минералом, образованным из глинистых минералов, полевого шпата и кварца в результате термообработки по керамической технологии. К числу наиболее ценных его свойств относится высокая стойкость к атмосферным воздействиям, положительным и отрицательным температурам, к воздействию химических реагентов, высокие механическая и электрическая прочность, дешевизна исходных компонентов. Это определило широкое применение фарфора для производства изоляторов. Основные характеристики:

диэлектрическая проницаемость	7;
удельное объемное сопротивление	1011 Ом·м;
удельное поверхностное сопротивление	109 - 1012 Ом;
тангенс угла диэлектрических потерь	$2 \cdot 10^{-2}$;
электрическая прочность	25 - 30 кВ/мм,
теплопроводность	1.0 - 1.2 Вт/(м·К);
теплоемкость	1.2-1.5 кДж/(кг· К);
плотность	2300-2500 кг/м ³ ;
прочность на разрыв	90 МПа.

Сравнивая данные по фарфору и кремнийорганическим резинам, можно выделить, что недостатками фарфора являются хрупкость, высокая плотность, низкая теплопроводность, высокие диэлектрические потери.

Электротехническое стекло в качестве материала для изоляторов имеет некоторые преимущества перед фарфором. В частности у него более стабильная сырьевая база, проще технология, допускающая большую автоматизацию, возможность визуального контроля неисправных изоляторов.

Дело в том, что при пробое изолятора в гирлянде, его диэлектрическая "юбка" разрушается и падает на землю в случае выполнения юбки из стекла, тогда как при пробое фарфорового изолятора юбка остается целой. Поэтому неисправные стеклянные изоляторы видны невооруженным глазом, тогда как диагностика вышедших из строя фарфоровых

изоляторов возможна только с помощью специальных приборов, например приборов ночного видения "Филин".

По химическому составу стекло является набором окислов кремния, бора, алюминия, натрия, кальция и т.п. По термодинамическому состоянию оно представляет собой сильно загустевшую жидкость вследствие переохлаждения. Обычное, щелочное стекло непригодно для изготовления изоляторов ввиду растрескивания, помутнения и т.п. в условиях эксплуатации. Для этой цели разработано специальное малощелочное стекло. Его характеристики:

диэлектрическая проницаемость	7;
удельное объемное сопротивление	1012 Ом· м;
удельное поверхностное сопротивление	1014 Ом;
тангенс угла диэлектрических потерь	$2.4 \cdot 10^{-2}$;
электрическая прочность	48 кВ/мм,
теплопроводность	0.92 Вт/(м·К);
теплоемкость	1 кДж/(кг· К);
плотность	2500 кг/м ³ ;
прочность на разрыв	90 МПа.

К недостаткам стекла, точнее способа его производства, относится большая энергоемкость получения материала, т.к. стекло длительно варят при высоких температурах.

Слюдавые материалы.

Слюда является основой большой группы электроизоляционных изделий. Главное достоинство слюды - высокая термостойкость наряду с достаточно высокими электроизоляционными характеристиками. Слюда является природным минералом сложного состава. В электротехнике используют два вида слюд: мусковит $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$ и флогопит $KMg_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$. Высокие электроизоляционные характеристики слюды обязаны ее необычному строению, а именно - слоистости. Слюдавые пластинки можно расщеплять на плоские пластинки вплоть до субмикронных размеров. Разрушающие напряжения при отрыве одного слоя от другого слоя составляют примерно 0.1 МПа, тогда как при растяжении вдоль слоя - 200-300 МПа. Из других свойств слюды отметим невысокий $tg\delta$, менее чем 10^{-2} ; высокое удельное сопротивление, более 1012 Ом·м; достаточно высокую электрическую прочность, более 100 кВ/мм; термостойкость, температура плавления более 1200° С.

Слюда используется в качестве электрической изоляции, как в виде щипаных тонких пластинок, в т.ч. склеенных между собой (миканиты), так

и в виде слюдяных бумаг, в.т.ч. пропитанных различными связующими (слюдиниты или слюдопласты). Слюдяная бумага производится по технологии, близкой к технологии обычной бумаги. Слюда размельчают, готовят пульпу, на бумагоделательных машинах раскатывают листы бумаги.

Миканиты обладают лучшими механическими характеристиками и влагостойкостью, но они более дороги и менее технологичны. Применение - пазовая и витковая изоляция электрических машин.

Слюдиниты - листовые материалы, изготовленные из слюдяной бумаги на основе мусковита. Иногда их комбинируют с подложкой из стеклоткани (стеклослюдинит), или полимерной пленки (пленкослюдинит). Бумаги, пропитанные лаком, или другим связующим, обладают лучшими механическими и электрофизическими характеристиками, чем непропитанные бумаги, но их термостойкость обычно ниже, т.к. она определяется свойствами пропитывающего связующего.

Слюдопласты - листовые материалы, изготовленные из слюдяной бумаги на основе флогопита и пропитанные связующими. Как и слюдиниты, они также комбинируются с другими материалами. По сравнению со слюдинитами они обладают несколько худшими электрофизическими характеристиками, но обладают меньшей стоимостью. Применение слюдинитов и слюдопластов - изоляция электрических машин, нагревостойкая изоляция электрических приборов.

Электрическое смещение (D , Кл/м²) – электрическая индукция (современное название) – характеристика, определяющая действие электрического поля на диэлектрик, – есть векторная величина, равная произведению вектора напряженности электрического поля в рассматриваемой точке на диэлектрическую проницаемость среды:

$$D = E\varepsilon \text{ [Кл/м}^2\text{]}.$$

Электрическое смещение представляет собой плотность электрических зарядов на поверхности заряженного тела либо заряд, индуктируемый на каждом квадратном метре проводящей поверхности, внесенной в электрическое поле нормально к его силовым линиям.

Электрическая емкость (С, Ф) – понятие, применяемое к конструкциям, представляющим собой проводящие тела (электрода), разделенные слоем диэлектрика. Конструкции, использованные для накопления или сохранения зарядов, называются *конденсаторами*.

Если электроды конденсатора соединить с источником напряжения, то они приобретут соответствующие равные по величине и противоположные по знаку потенциалы:

$$U = \varphi_1 - (-\varphi_2) = 2\varphi$$

По мере протекания процесса **поляризации** в диэлектрике на поверхности электродов накапливаются заряды. Опыт показывает, что между величиной накопившегося заряда Q и величиной напряженности U между электродами существует связь, зависящая от геометрических размеров конденсатора и рода диэлектрика. Эту связь с количественной стороны характеризует емкость C .

Емкость есть отношение заряда к напряжению:

$$C = \frac{Q}{U}$$