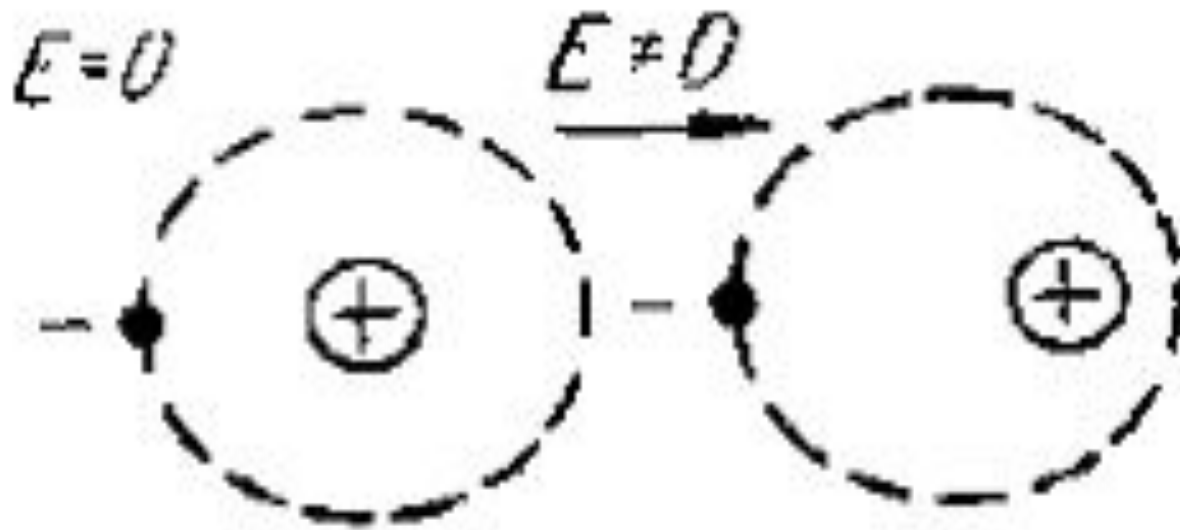


Поляризацией называется состояние вещества, при котором элементарный объем диэлектрика приобретает электрический момент.

- **№2. Физические процессы в диэлектриках. электропроводность диэлектриков**
- Содержание лекции: определение явлений поляризации и электропроводности, их количественные характеристики и методы определений.
-
- Цели лекции: изучить физических явлений в диэлектрике, находящемся в электрическом поле: электропроводность диэлектрика.
-
- При разработке изделий электропромышленности необходим рациональный выбор ЭТМ. Этот выбор приходится делать из большого количества диэлектрических материалов. Чтобы правильно выбрать нужный материал, надо знать критерии выбора. К ним относятся электрические и физико-химические свойства диэлектриков. К электрическим свойствам относятся относительная диэлектрическая проницаемость, которая является количественной характеристикой явления поляризации, удельное сопротивление, которое определяет электропроводность диэлектриков, тангенс угла диэлектрических потерь, диэлектрические потери и электрическая прочность, пробой диэлектриков.
-

2.1 Диэлектрическая проницаемость и ее связь с электрической поляризацией

-
- Все диэлектрики имеют связанные электрические заряды: электронные оболочки атомов, заряженные отрицательно, и атомные ядра, несущие положительный заряд. При отсутствии электрического поля эти заряды расположены концентрически, поэтому атомы электрически нейтральны. Под действием внешнего электрического поля (E), электронные оболочки атомов смещаются в сторону, обратную направлению поля, образуя поляризованные атомы.



- а) нейтральный атом б) поляризованный атом.

- Смещение зарядов тем больше, чем больше вектор E . При снятии электрического поля заряды возвращаются в прежнее состояние. В полярных диэлектриках происходит ориентация диполей в направлении поля; при отсутствии поля диполи дезориентируются вследствие теплового движения. Большинство диэлектриков имеют линейную зависимость электрического смещения от E поля. Особую группу составляют диэлектрики, у которых поляризованность (P) изменяется нелинейно от изменения напряженности E поля, такие диэлектрики называются сегнетоэлектриками.
- Любой диэлектрик с нанесенными на него электродами, включенный в электрическую цепь, может рассматриваться как конденсатор определенной емкости. Заряд всякого конденсатора равен

-

-

$$Q = CU,$$

-

- где U - приложенное напряжение;

- C - емкость конденсатора.

- Количество электричества - заряд Q складывается из 2-х составляющих: Q_0 которое было бы на электродах, если бы их разделял вакуум, и Q_d которое обусловлено поляризацией диэлектрика, разделяющего электроды.

-

-

$$Q = Q_0 + Q_d.$$

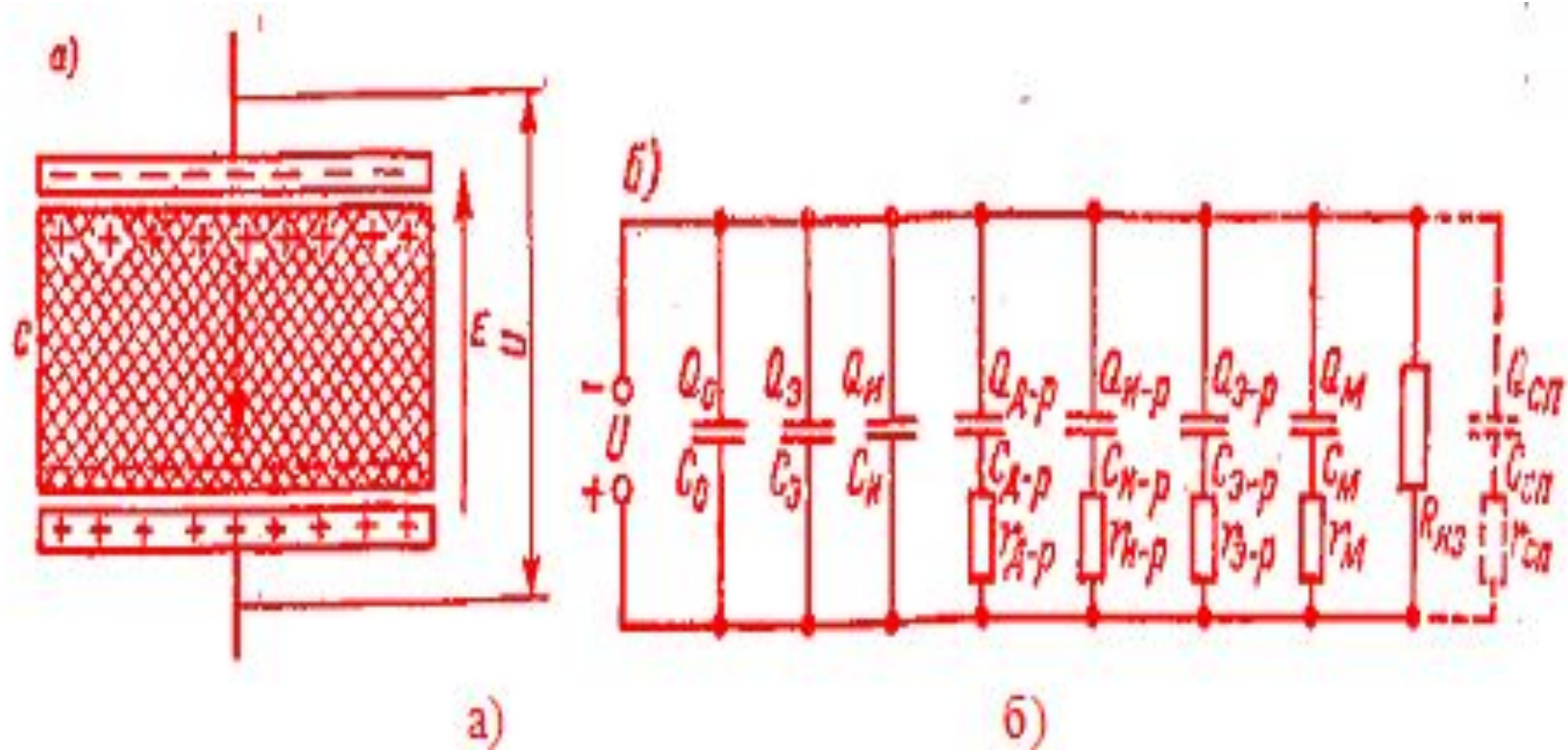


Рисунок 2.2 - Диэлектрик сложного состава с разными механизмами поляризации в электрическом поле (а) и его эквивалентная схема (б)

- На рисунке 2.2: U - источник напряжения, C_0 и Q_0 - емкость и заряд в вакууме; прочие C и Q - соответственно емкости и заряды от электронной, ионной, дипольно-релаксационной, ионно-релаксационной, электронно-релаксационной, миграционной и спонтанной поляризации; Γ - с соответствующими индексами - сопротивления, эквивалентные потерям энергии при этих механизмах поляризации, R - сопротивление изоляции сквозному току через диэлектрик.
- Важнейшей характеристикой диэлектрика, имеющей особое значение для техники, является относительная диэлектрическая проницаемость- ϵ , которая представляет отношение заряда на конденсаторе, содержащем данный диэлектрик к заряду, который был на конденсаторе тех же размеров, если бы между электродами был вакуум или воздух

- $$\epsilon = Q / Q_0 = (Q_0 + Q_d) / Q_0 = 1 + Q_d / Q_0,$$

- из (2.3) следует, что ε для любого вещества больше единицы.
- Соотношение (2.2) может быть представлено
-
- $$Q = Q_0 \varepsilon = CU = C_0 U \varepsilon,$$
-
- где C - емкость конденсатора, если бы его электроды разделял вакуум.
- Относительная диэлектрическая проницаемость зависит от структуры диэлектрика, от агрегатного состояния, частоты и напряженности поля, температуры, давления и др.
- Диэлектрическая проницаемость твердых сложных диэлектриков (смесь компонентов) может быть определена на основании логарифмического закона смешения (в общем случае применим для расчета самых различных свойств - теплопроводности, показателя преломления и др.)

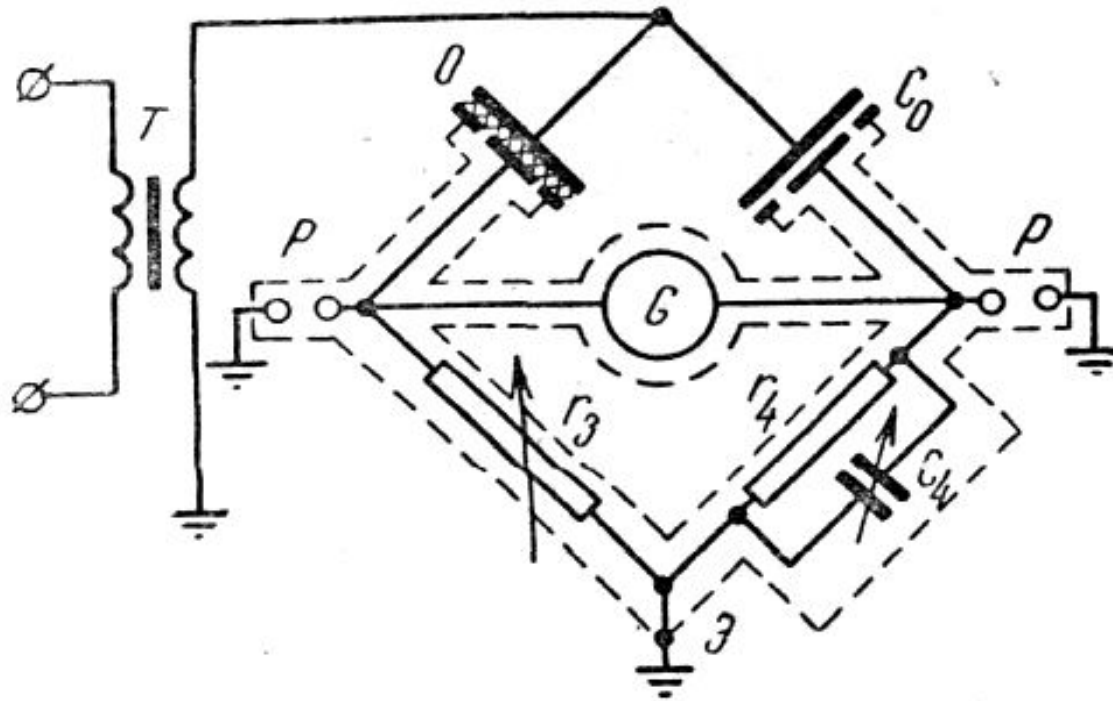
- $$\varepsilon^X = \theta_1 \varepsilon_1^X + \theta_2 \varepsilon_2^X,$$
-
- где $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ – диэлектрическая проницаемость отдельных компонентов;
- θ_1, θ_2 - объемные концентрации компонентов;
-
- $$(\theta_1 + \theta_2) = 1;$$
-
- X - константа, характеризующая распределение компонентов и принимает значение от +1 до -1.

Методы экспериментального определения и расчета ϵ

-
- ϵ является важнейшей характеристикой диэлектрика. Для определения ϵ находят емкость C_x конденсатора с диэлектриком из испытуемого материала. В случае плоской формы образца расчет ϵ производят по формуле:

- $$\epsilon = C_x 4\pi d / S \epsilon_0,$$

- где δ - толщина образца, м;
- S - его площадь, м^2 ;
- ϵ_0 - электрическая постоянная, равная $8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.
- Для определения C_x применяется мостовой метод. Измерения производятся на переменном напряжении низкой частоты по схеме в соответствии с рисунком 2.3



- Переменное напряжение низкой частоты
- C_x считается определенным, если сопротивления цепей $C_x \cdot r_3 = C_3 \cdot (r_4 + C_4)$ будут равны; в этом случае ток через гальванометр G будет минимальным или равным 0.
- Равенство сопротивлений в цепях достигается регулированием сопротивления r_3 и емкости C_4 .

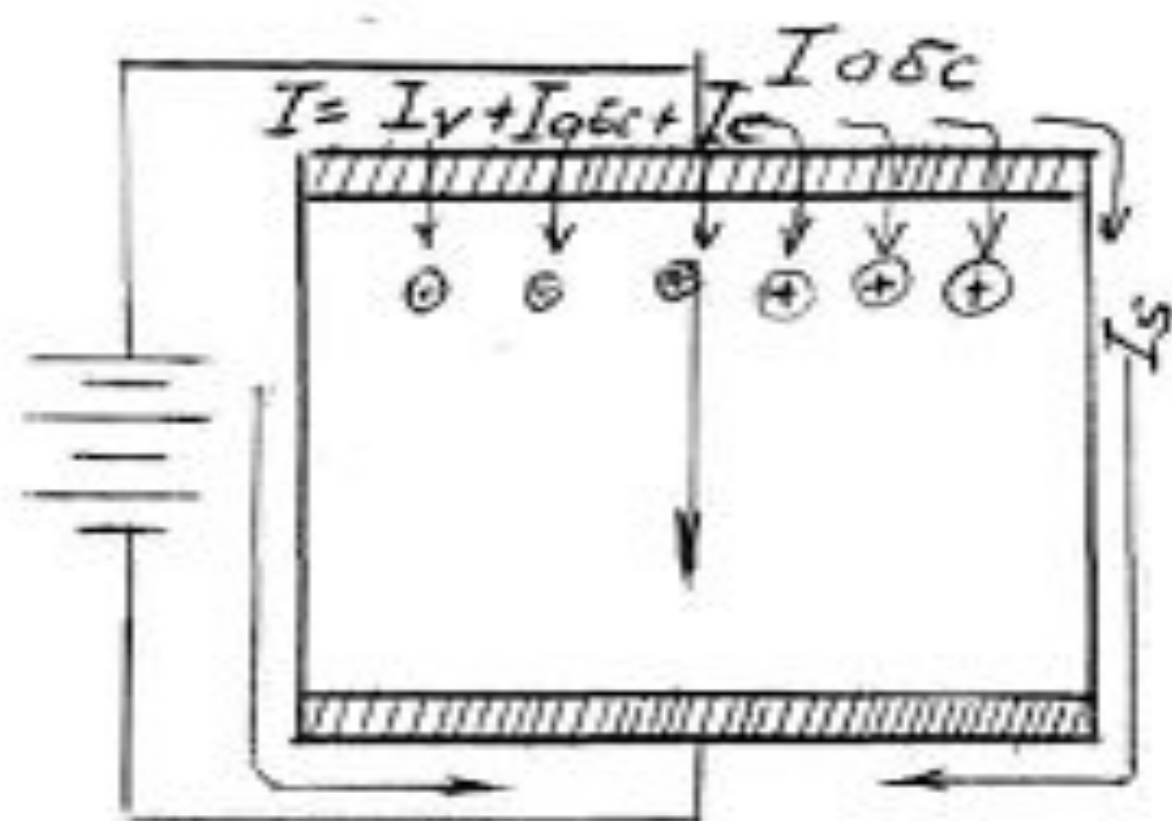
Электропроводность диэлектрика

- Все диэлектрические материалы под воздействием постоянного напряжения пропускают некоторый весьма незначительный ток, называемый “током утечки”. Общий ток утечки через изоляцию составит

$$I = I_v + I_s,$$

- где I_v - объемный ток;
- I_s - поверхностный ток.
- Следовательно, проводимость складывается из объемной проводимости и поверхностной проводимости, отсюда

$$G = G_v + G_s.$$



Виды электрического тока в диэлектрике

Величины, обратные проводимостям, называются сопротивлениями изоляции – объемным, поверхностным и результирующим

$$R = \frac{1}{G} = \frac{R_v + R_s}{R_v \cdot R_s}$$

Для сравнительной оценки объемной и поверхностной проводимости пользуются значениями

удельного объемного сопротивления - ρ_v и удельного поверхностного сопротивления- ρ_s .

В системе СИ ρ_v [Ом·м] рассчитывается по формуле:

$$\rho_v = \frac{R_v \cdot S}{h}$$

$$\rho_v = \frac{R_v \cdot S}{h},$$

где R_v - объемное сопротивление образца, Ом;

S - площадь электрода, м²;

h - толщина образца, м.

ρ_v [Ом] определяется из выражение.

$$\rho_s = \frac{R_s \cdot d}{l},$$

где R_s - поверхностное сопротивление образца, Ом;

d - ширина электродов на поверхности образца, м;

l - расстояние между электродами, м.

Удельная электропроводность диэлектриков зависит от агрегатного состояния, химического состава и структуры, от воздействия внешних факторов: температуры, E , влажности и др.

Зависимость удельной электропроводности диэлектриков различных агрегатных состояний, химического состава и структуры от воздействия внешних факторов: температуры, E , влажности и др.

- Электропроводность газов. При малых напряженностях E в области слабых полей газы обладают малой электропроводностью $\rightarrow 0$. Количество свободных ионов и электронов не превышает 10^4 1/см. Плотность тока при этом $\rightarrow 10^{-10}$ А/см т.е. близка к 0. Ток в газах может возникнуть только при наличии в них свободных электронов. Ионизация нейтральных молекул газа возникает либо под действиям внешних факторов, либо вследствие соударений заряженных частиц с молекулами. Электропроводность газа, обусловленная действием внешних ионизаторов, называется несамостоятельной. В сильных полях проводимость становится самостоятельной с образованием лавины электронов за счет ударной ионизации в объеме газа. В слабых полях ударная ионизация отсутствует и самостоятельной электропроводности не обнаруживается. При ионизации газа, обусловленной внешними факторами, происходит расщепление молекулы на положительные и отрицательные ионы. Одновременно часть положительных ионов, соединяясь с отрицательными частицами, образует нейтральные молекулы. Этот процесс, как известно, называется рекомбинацией.

Электропроводность жидких диэлектриков.

- Электропроводность жидких диэлектриков подразделяется на *собственную* и *примесную*. Собственная электропроводность жидких диэлектриков определяется сквозным перемещением ионов, получаемых в результате диссоциации молекул и перемещением заряженных частиц примесей – молионов.
- Электропроводность неполярных жидкостей (нефтяные масла, кремнийорганические и др.) очень мала и возрастает лишь при увеличении полярных или диссоциированных примесей, включая воду. Электропроводность полярных жидкостей определяется диссоциацией молекул самой жидкости и наличия в ней примесей. Проводимость полярных жидкостей больше чем у неполярных.
- Температурная зависимость удельной проводимости (γ) жидких диэлектриков имеет экспоненциальной положительный характер

$$\gamma) = A e^{-\frac{a}{T}}$$

где A – коэффициент, характеризующей данную жидкость;
 $a = W/k$ – коэффициент, равный отношению энергии активации к постоянной Больцмана или

$$\gamma = \gamma_0 \cdot \dot{a}^\alpha$$

где α – температурный коэффициент.
 Зависимость γ жидкости от вязкости η выражена:

$$\gamma = \frac{n_0 \cdot q^2}{L \cdot \eta}$$

η – коэффициент вязкости;
 l – расстояние между частицами;
 q – заряд иона;
 n_0 – число ионов в единице объема.
 Удельное сопротивление жидких диэлектриков

$$\rho = B e T^{\frac{a}{T}}$$

Из этой зависимости видно, что область насыщения плотности тока, как у газов – отсутствует.

Электропроводность твердых диэлектриков

- Электропроводность твердых диэлектриков чаще носит ионный характер. Это связано с тем, что ширина запрещенной зоны в диэлектрике $\Delta W \gg kT$ и лишь ничтожное количество электронов может отрываться от своих атомов за счет теплового движения. Ионы же часто слабо связаны в узлах решетки, и энергия W для их срыва сравнима с kT .
- Например, для NaCl $\Delta W = 6$ эВ, а энергия отрыва положительного иона (+Na) $W = 0.85$ эВ, поэтому, несмотря на меньшую подвижность ионов ($u_{\text{ион}}$) по сравнению с подвижностью электронов ($u_{\text{эл}}$), ионная электропроводность γ оказывается больше электронной.
- Удельное сопротивление диэлектриков не зависит от направления приложенного напряжения, а зависит от химического состава и структуры. Сохранение пропорциональности между током и напряжением в твердых диэлектриках наблюдается до $E = 10^{-10^{-2}}$ В/м. При E , превышающих этот предел, зависимость носит экспоненциальный характер и выражается формулой Пуля:

-
-
-

$$\gamma = \gamma_0 e^{\beta E},$$

-
- где E – напряженность поля;
- γ_0 – удельная электропроводность в области независимости от E ;
- β – коэффициент, характеризующий материал.
- Зависимость удельного сопротивления твердых диэлектриков от температуры выражается:
- $$\rho_v = V e^{b/T} \text{ или } \rho = \rho_0 e^{-\alpha t}$$
-
- где V или v коэффициенты для данного материала;
- ρ_0 – удельное сопротивление при 0°C ;
- α – температурный коэффициент;
- b – для твердых диэлектриков находится в пределах от 10000 до 22000.