

Основные характеристики диэлектриков

Основные электрические характеристики электротехнических материалов

1. ϵ - диэлектрическая проницаемость.

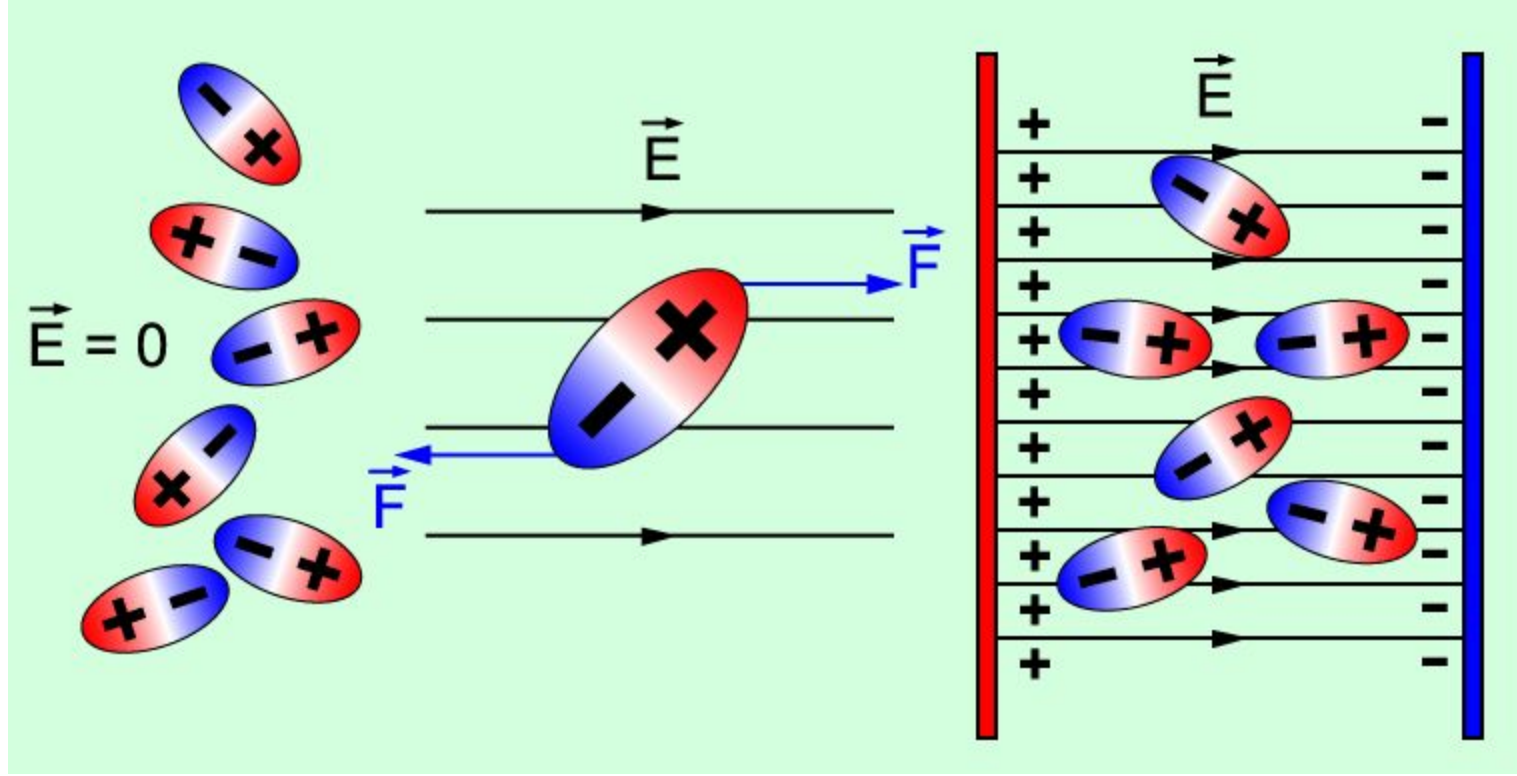
2. $\rho_v; \rho_s$ - удельные сопротивления.

3. δ и $\operatorname{tg} \delta$ - угол диэлектрических потерь.

4. E - (электрическая прочность)

Поляризация

- ***Поляризацией*** называется процесс ограниченного смещения или ориентации связанных электрических зарядов в диэлектрике под действием электрического поля.



- p - электрический дипольный момент i -й частицы (атома, молекулы), Кл*м;
- V - малый элемент объема, ;
- P – поляризованность, .

$$P = \frac{\sum v p_i}{\Delta V}$$

$$\vec{P}_V = \frac{1}{\Delta V} \sum_{i=1}^N \vec{p}_i, \quad \text{ил}$$

И

$$P = n\alpha E$$

$$D = \varepsilon_0 E + P$$

$$P = D - \varepsilon_0 E = \varepsilon_r E - \varepsilon_0 E = (\varepsilon_r - 1)\varepsilon_0 E = \chi \varepsilon_0 E$$

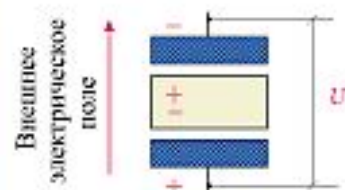
χ диэлектрическая
восприимчивость

α поляризуемос
ть

$$\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} \cdot \frac{M}{\rho} = \frac{4\pi}{3} N_A \alpha$$

$$\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} = \frac{1}{3} \left(\alpha + \frac{\rho^2}{3\varepsilon_0 k T} \right)$$

ϵ - Диэлектрическая проницаемость (или коэффициент поляризуемости)



Заряд конденсатора

$$Q = C \cdot U ;$$

можно представить:

$$Q = Q_0 + Q_p$$

Q_0 - между обкладками вакуум

Q_p - заряд на поверхности диэлектрика

ϵ - определяет интенсивность процесса поляризации

$$\epsilon = \frac{Q}{Q_0} = \frac{Q_0 + Q_p}{Q_0} = 1 + \frac{Q_p}{Q_0} \quad \epsilon - \text{относительная диэлектрическая проницаемость}$$

$$\underline{\epsilon = 1} \quad \text{- только в случае вакуума} \quad \epsilon = \frac{Q}{Q_0} = 1$$

Во всех остальных случаях $\epsilon > 1$

$$\epsilon_{\text{воздуха}} = 1,00058$$

$$\epsilon_a = \epsilon_0 \epsilon \quad , \text{ где}$$

ϵ_a - абсолютная диэлектрическая проницаемость

ϵ_0 - электрическая постоянная, $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$

ϵ - относительная диэлектрическая проницаемость.



Основные виды поляризации

1. Упругая или мгновенная поляризация, **без потерь энергии**
2. Неупругая, замедленная или релаксационная поляризация, нарастающая и убывающая, сопровождающаяся **потерями энергии** в диэлектрике

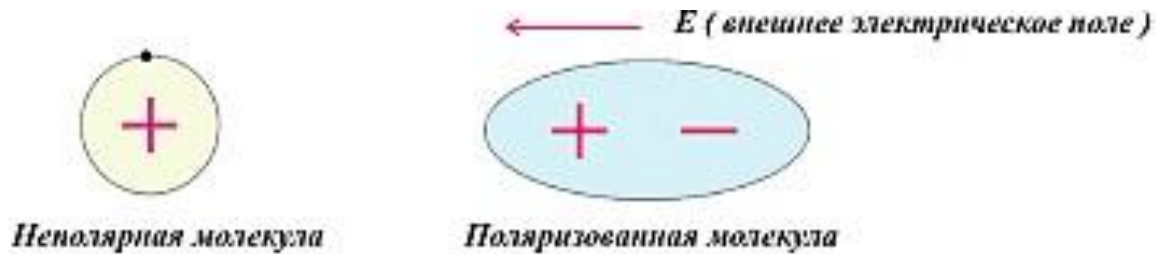
Упругие виды поляризации

1. Электронная
2. Ионная

Релаксационные виды поляризации

1. Дипольная
2. Ионно-релаксационная
3. Миграционная
4. Спонтанная

Электронная поляризация

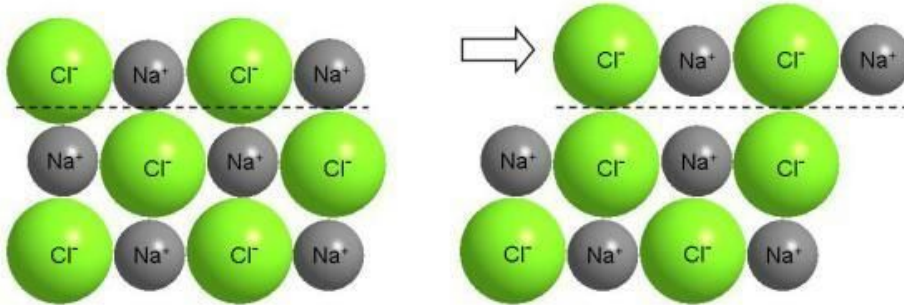


Время поляризации $\tau = 10^{-14} \div 10^{-15} \text{ c}$

Не зависит от частоты поля, от температуры

$$\varepsilon = 1 - 2,5$$

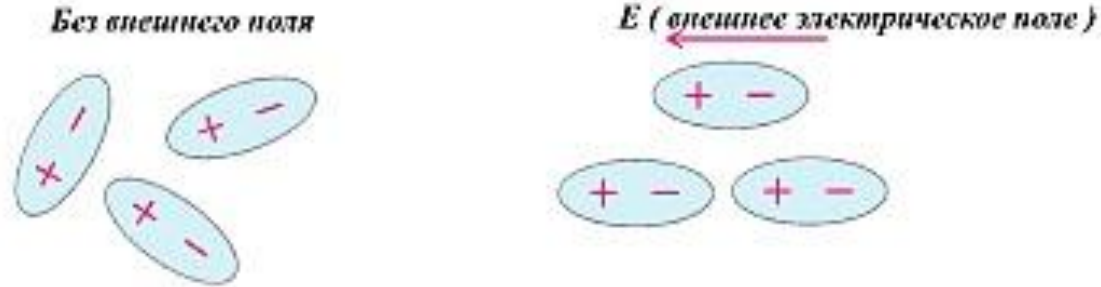
Ионная поляризация



$$\tau = 10^{-12} - 10^{-13} \text{ c}$$

$$\varepsilon = 4 - 30$$

Дипольная поляризация



$$\tau = 10^{-6} - 10^{-8} \text{ c}$$

Время релаксации

$$N_{\tau} = N_0 e^{-\tau/\tau_0}$$

где N_0 и N_{τ} - число ориентированных диполей в начальный,

т.е. в момент отключения поля, и текущий моменты времени, M^{-3} ;

τ - время, прошедшее с момента снятия поля, с;

τ_0 - постоянная времени (время релаксации), с;

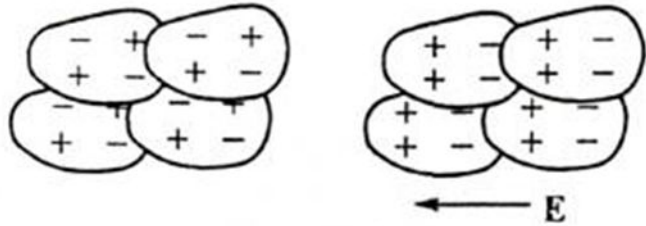
e - основание натуральных логарифмов ($e = 2,718$).

Если принять $\tau = \tau_0$, то получим

$$N_{\tau_0} = N_0 / e$$

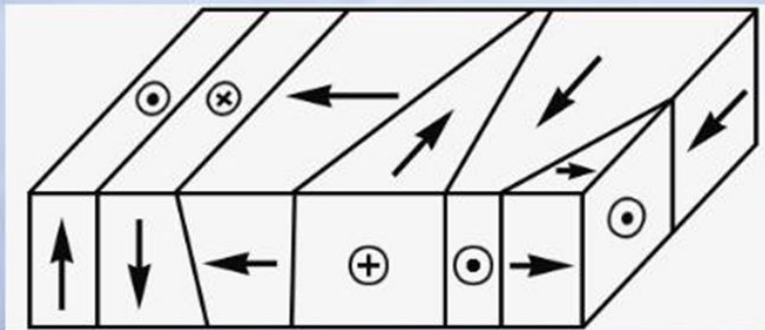
Ионно-релаксационная

Миграционная поляризация



Спонтанная поляризация

Сегнетоэлектрики состоят из доменов – областей с различными направлениями поляризации. В отсутствие поля суммарный дипольный момент практически отсутствует. Под действием электрического поля E доменные границы смещаются так, что объем доменов, поляризованных по полю, увеличивается за счет доменов, поляризованных против поля.



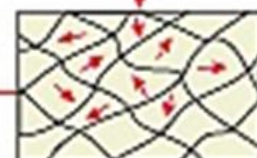
Изображение доменов тетрагональной модификации BaTiO_3 . Стрелки указывают направление вектора поляризации

сегнетоэлектрики (титанат бария)

строение молекул

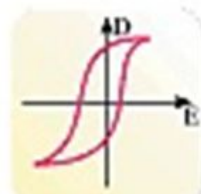


$$\epsilon = 500 \div 9000$$



доменная структура

① Самопроизвольная поляризация



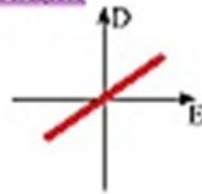
у сегнетоэлектриков

② $D = f(E)$

Диэлектрический гистерезис

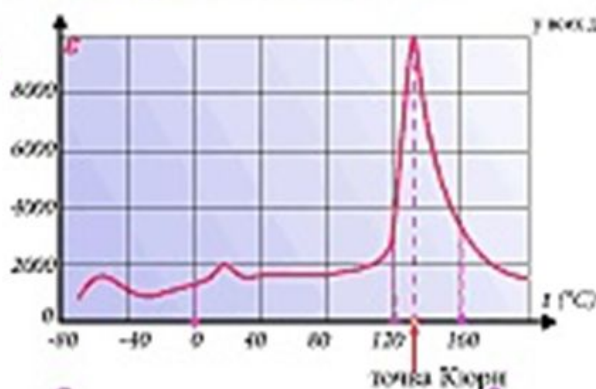
$$D = \epsilon E$$

D - электрическое смещение



у всех диэлектриков

③ $\epsilon = f(t)$

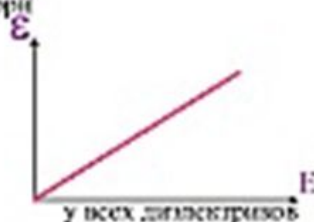


точка Кюри

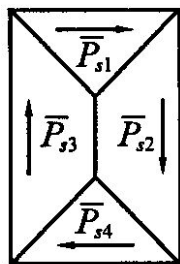
④ $\epsilon = f(E)$



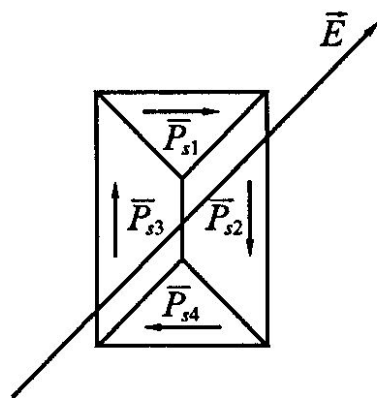
у сегнетоэлектриков



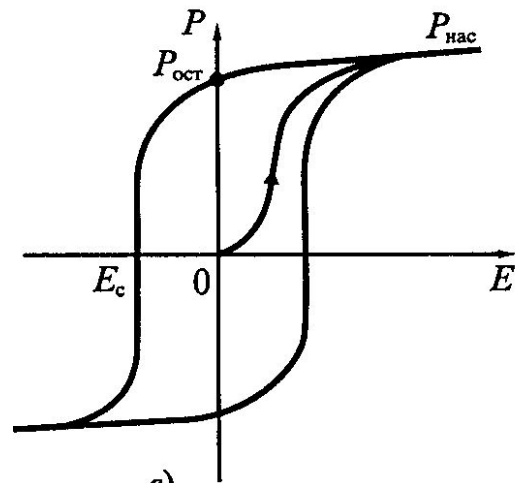
у всех диэлектриков



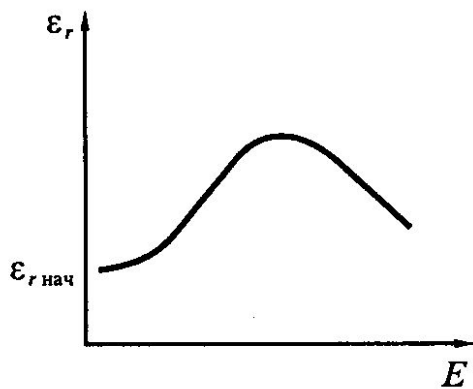
a)



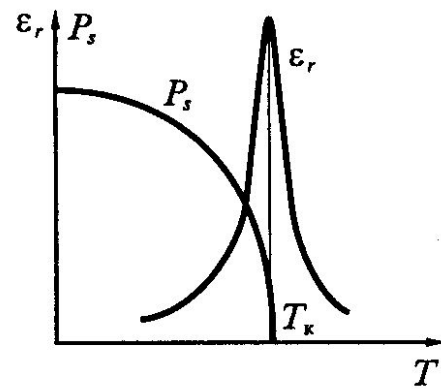
б)



в)

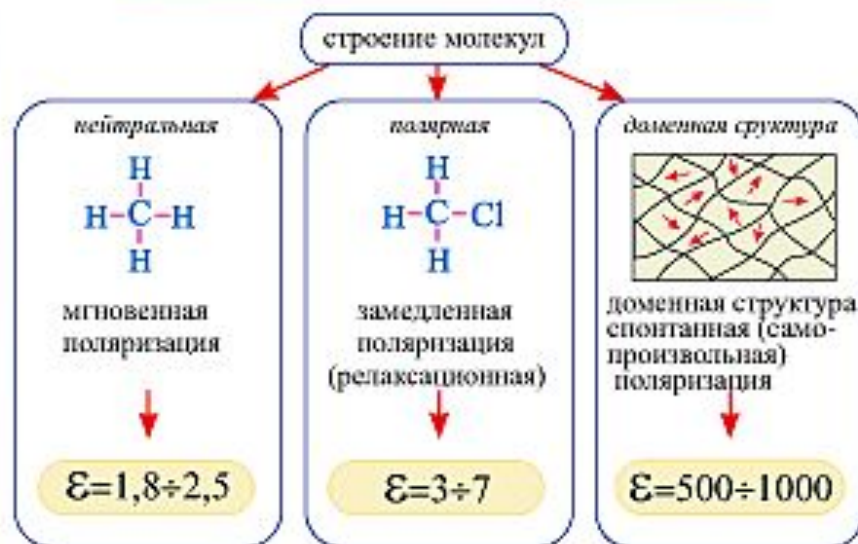


г)



д)

Диэлектрическая проницаемость



Конденсатор

Величина ёмкости
конденсатора

$$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 \cdot S}{d} \text{ [Ф]}, \text{ где}$$

S - площадь электродов
d - толщина диэлектрика

Диэлектрики

Основные виды поляризации диэлектриков

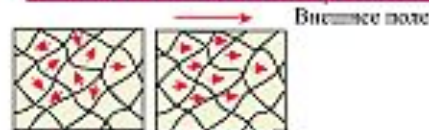
Вид поляризации зависит от строения молекул

I Миграционная поляризация



- 1) При низких частотах
 - 2) Со значительным рассеянием энергии
- В слоистых пластиках: гетиним, текстолит, стеклотекстолит.

II Спонтанная или самопроизвольная поляризация



- 1) Домены
- 2) Очень сильное рассеяние энергии в сегнетоэлектриках



III Мгновенная

- 1) Быстро
- 2) Упруго
- 3) Без рассеяния энергии

1. Электронная
Во всех видах диэлектриков

2. Ионная
В твердых телах с ионным строением (кварц, слюда, корунд.)

строение молекул

поляризация

Характеризуется: интенсивностью процесса поляризации.

ϵ

нейтральные диэлектрики (1,8 - 2,5)

полярные диэлектрики (3 - 10)

IV Замедленная

- 1) Замедленно
- 2) С рассеянием энергии

1. Электронно-релаксационная

В двуокиси титана, с примесью Ca, Ba

2. Ионно-релаксационная

Неорганические стекла

3. Дипольно-релаксационная

В дипольных диэлектриках (органические вещества - целлюлоза)



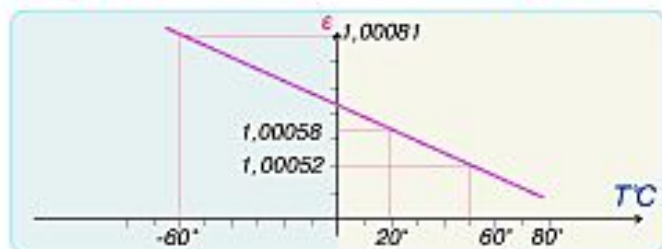
Диэлектрики

Диэлектрическая проницаемость газов

ϵ Водорода = 1,00027



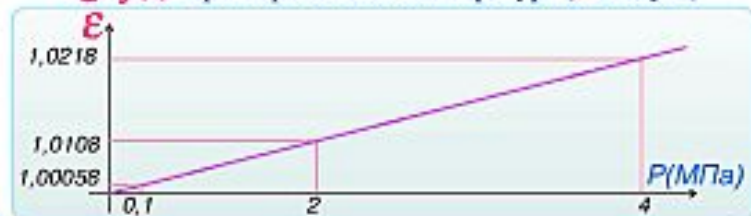
$\epsilon = f(T)$ при постоянном давлении (ϵ воздуха)



Температурный коэффициент диэлектрической проницаемости

$$TK \epsilon = \frac{1}{\epsilon} \frac{d\epsilon}{dt}$$

$\epsilon = f(P)$ при нормальной температуре (ϵ воздуха)



Диэлектрики

Диэлектрическая проницаемость жидких диэлектриков

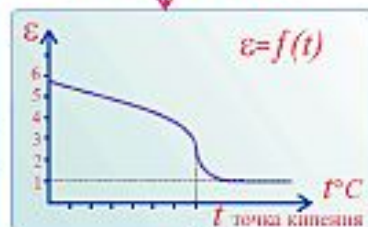
$\epsilon \gg 1$

т.к. плотность жидкости ρ , большая величина

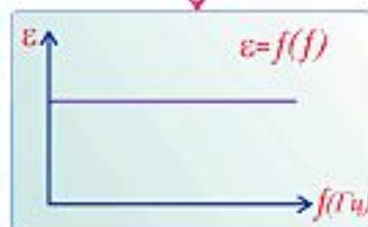
строение молекул

неполярные
(трансформаторное масло)
 $\epsilon = 2,1 \div 2,5$

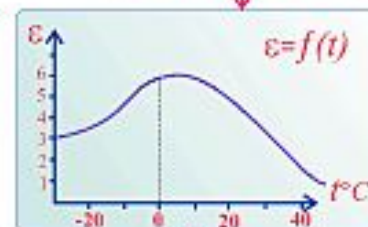
полярные
(савол)
 $\epsilon = 3,5 \div 5$



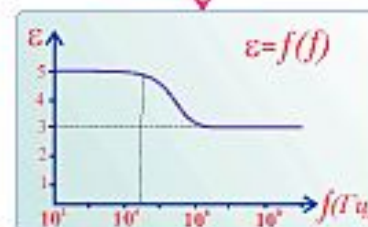
Поляризация - электронная



Эти диэлектрики применяются на всех частотах.



Поляризация - электронная и дипольная



Эти диэлектрики применяются на низких частотах.

Сильнополярные жидкости (вода, этиловый спирт) имеют очень высокие значения ϵ и в качестве диэлектриков не применяются.



Диэлектрики

**Диэлектрическая проницаемость
твёрдых диэлектриков**

ϵ - имеет самые различные значения

В твёрдых диэлектриках возможны все виды
поляризации

строение молекул

Неполярные

$\epsilon = 1,9 \div 6$

(полистирол, парафин,
алмаз)

Полярные

$\epsilon = 4 \div 10$

(целлюлоза, полимеры)

строение молекул

**Ионные кристаллы
с плотной упаковкой**

частиц $\epsilon = 6 \div 150$

(кварц, слюда, корунд)

электронная и ионная
поляризации

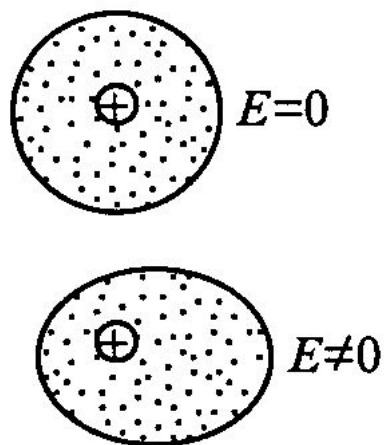
**Ионные кристаллы
с неплотной упаковкой**

частиц $\epsilon = 4 \div 10$

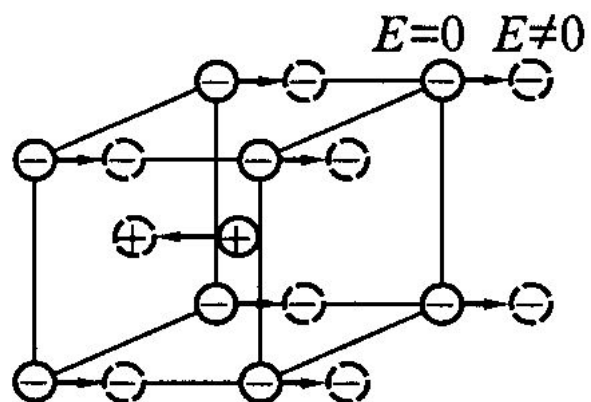
(электротехнический
фарфор)

электронная, ионная,
ионно - релаксационная
поляризации

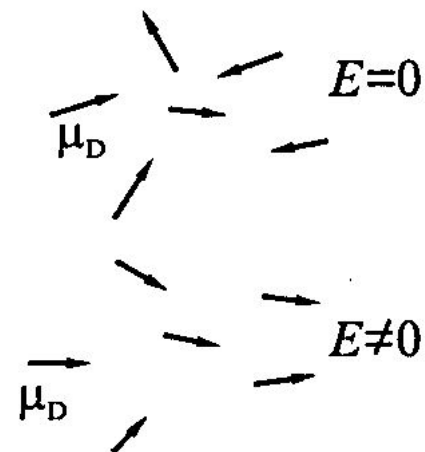




a)

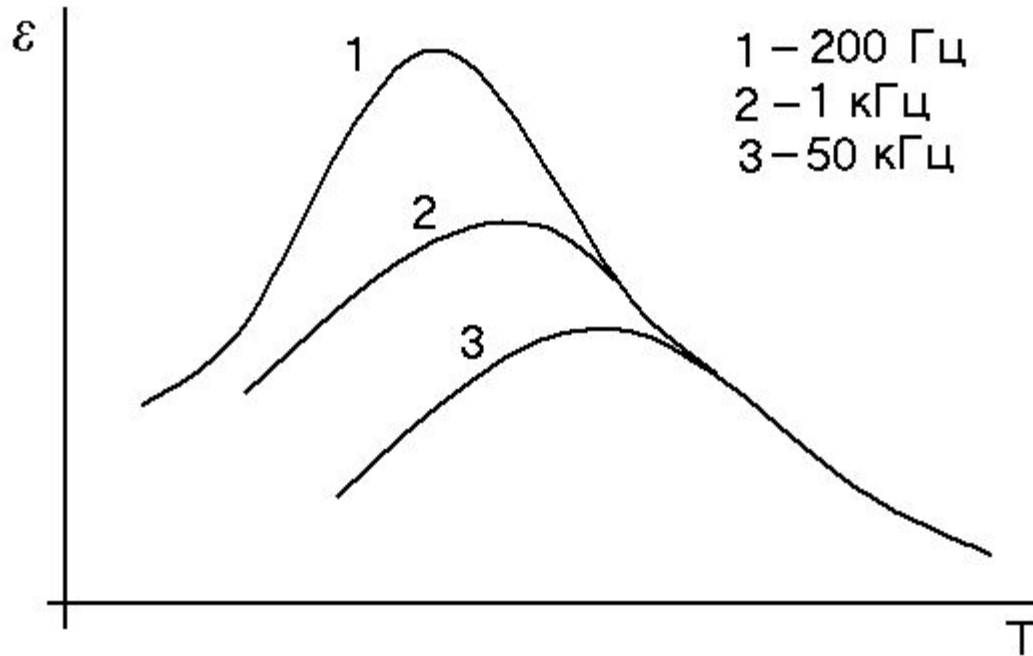


b)



c)

Зависимость диэлектрической проницаемости от внешних факторов



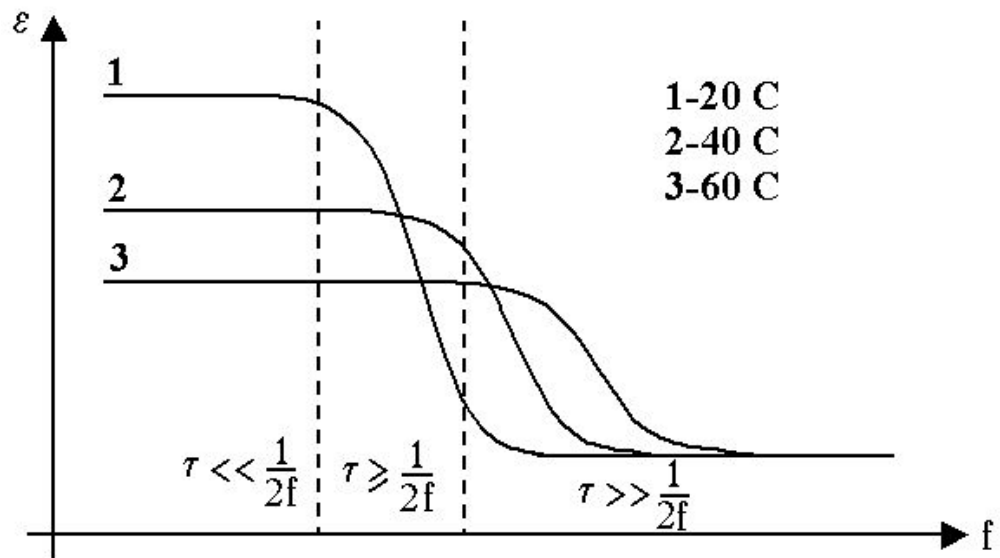
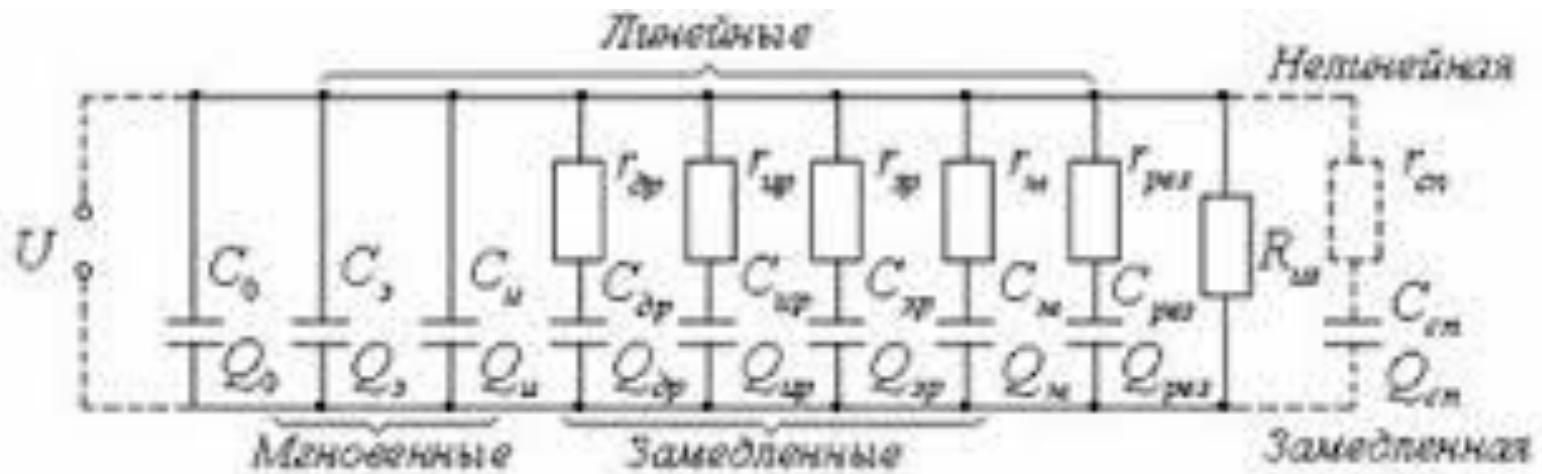
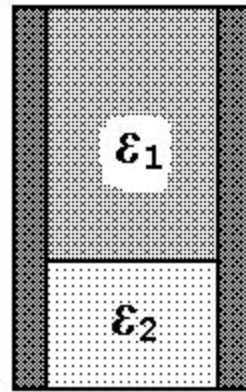
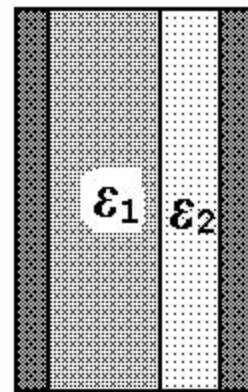


Схема замещения диэлектрика

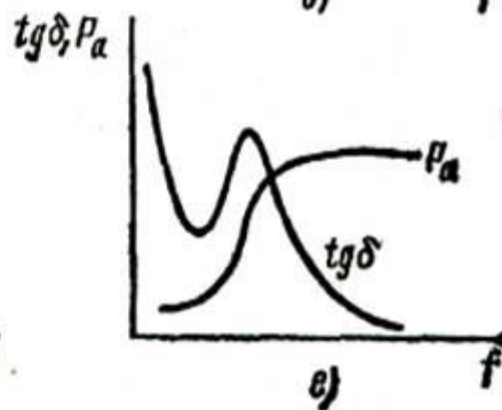
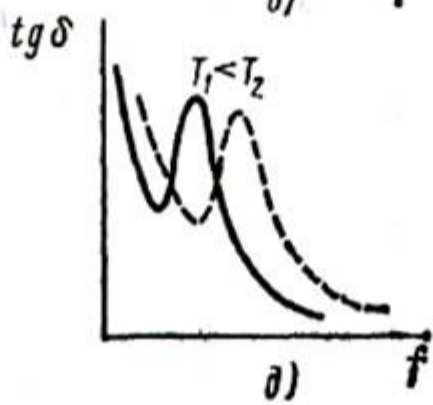
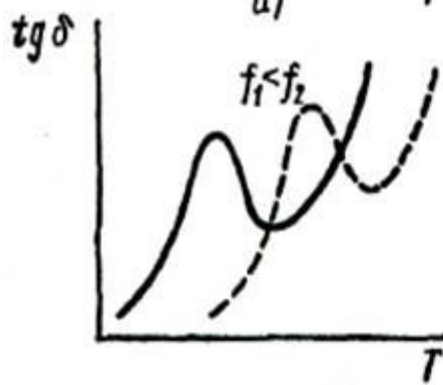
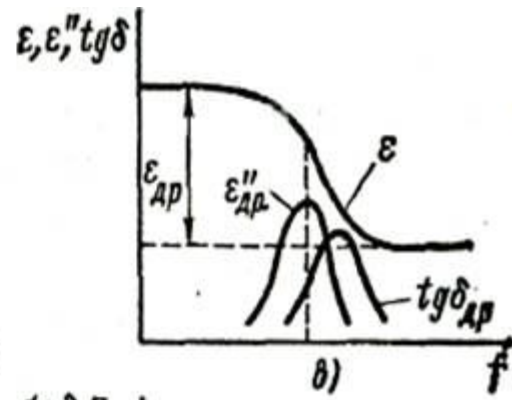
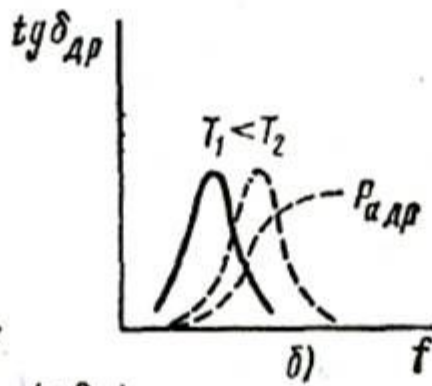
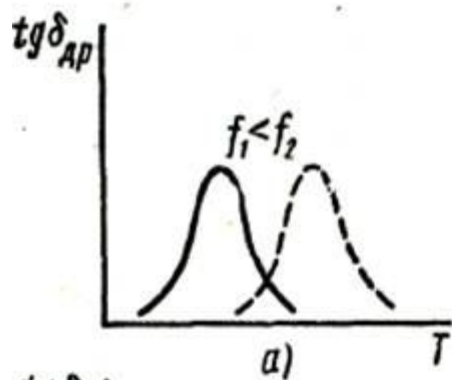


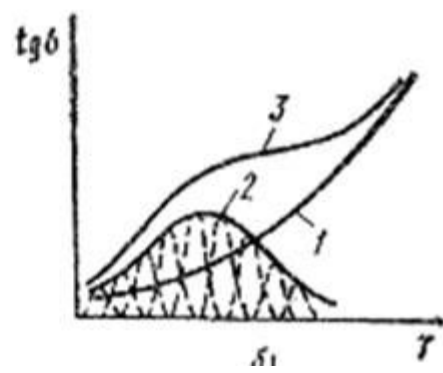
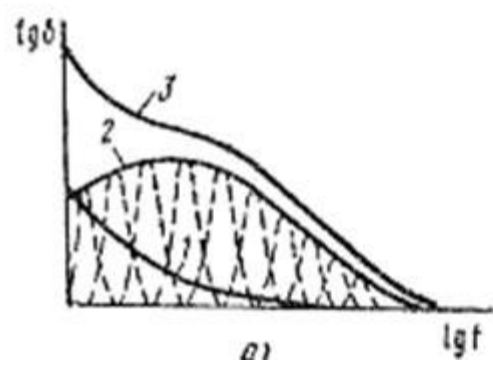


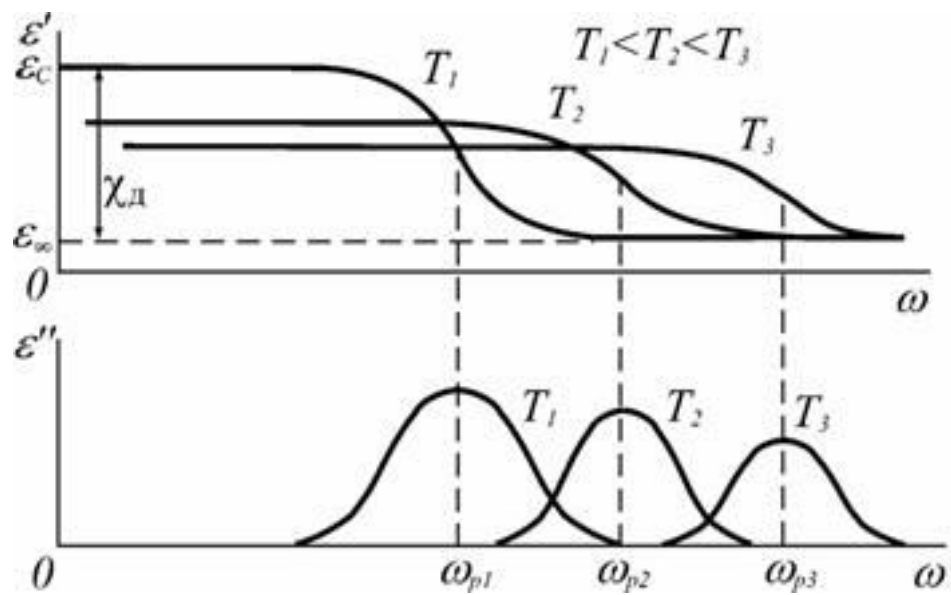
a)

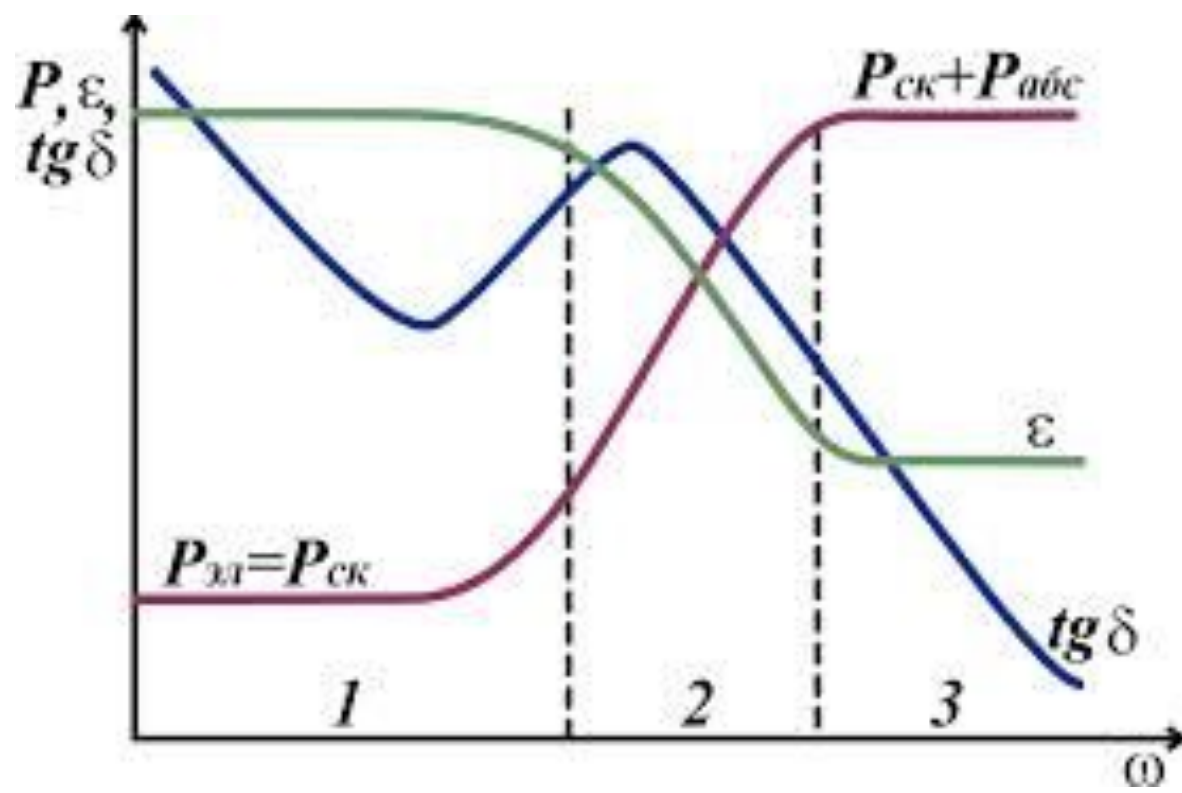


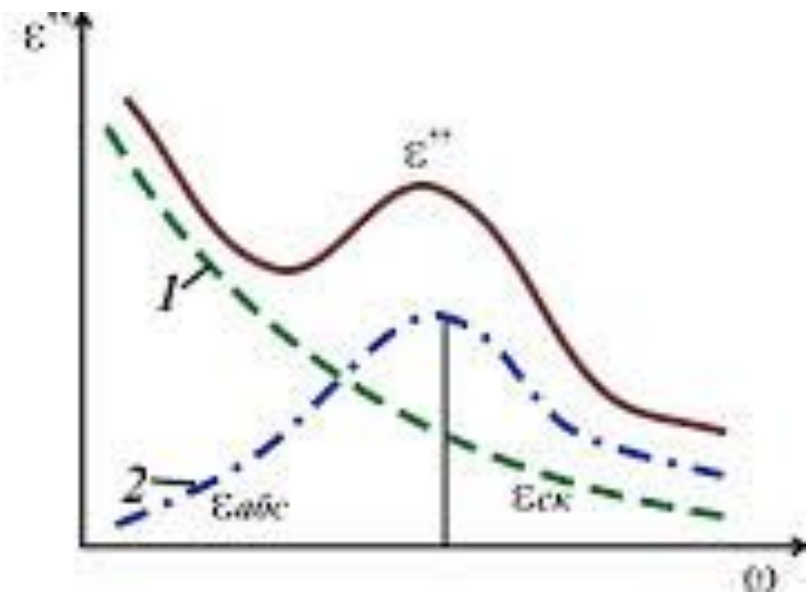
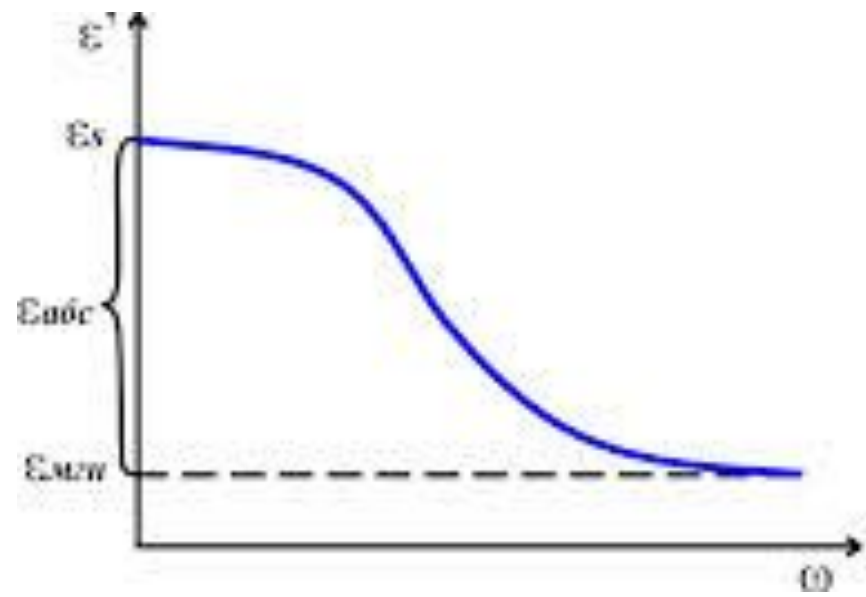
b)











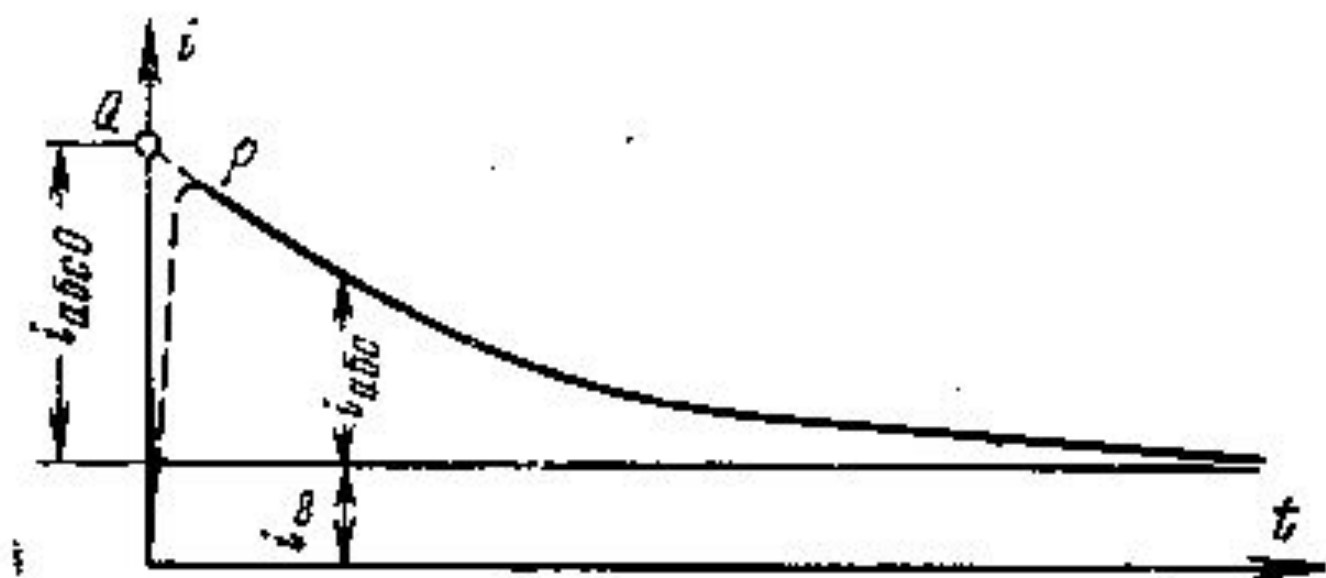


Рис. 1-3. Зависимость тока проводимости и тока абсорбции в изоляции о времени пребывания ее под постоянным напряжением.

