

# Основные характеристики диэлектриков

## Основные электрические характеристики электротехнических материалов

1.  $\epsilon$  - диэлектрическая проницаемость.

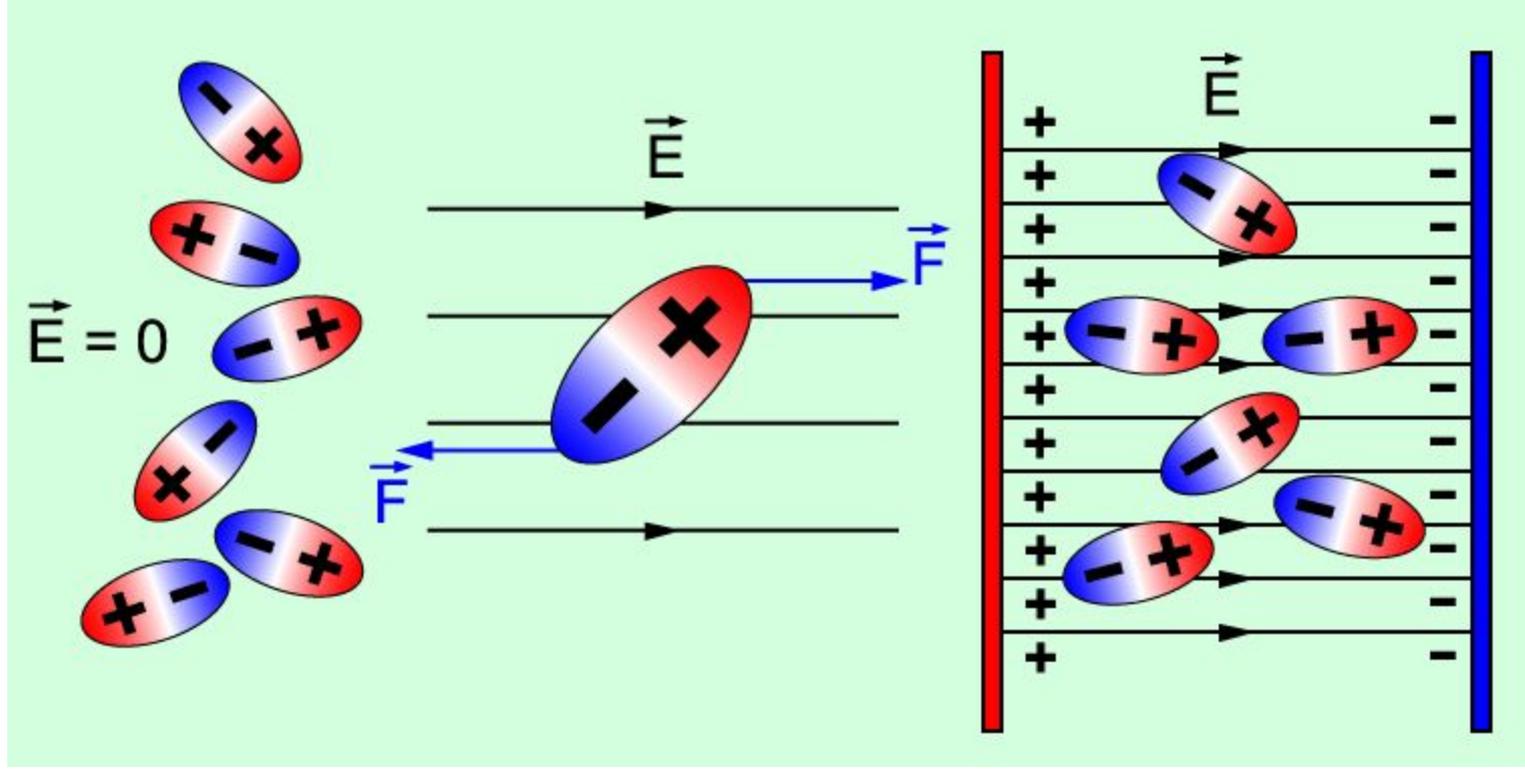
2.  $\rho_v; \rho_s$  - удельные сопротивления.

3.  $\delta$  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

$$P = n\alpha E$$

$$D = \varepsilon_0 E + P$$

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

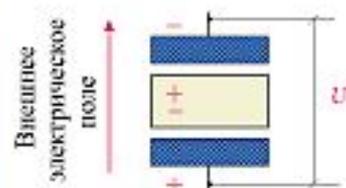
$\chi$  диэлектрическая  
восприимчивость

$\alpha$  поляризуемос  
ть

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

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

**$\epsilon$ - 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

**$\epsilon$**  - определяет интенсивность процесса поляризации

$$\epsilon = \frac{Q}{Q_0} = \frac{Q_0 + Q_p}{Q_0} = 1 + \frac{Q_p}{Q_0}$$

$\epsilon$  - относительная диэлектрическая проницаемость

**$\epsilon = 1$**  - только в случае вакуума

$$\epsilon = \frac{Q}{Q_0} = 1$$

Во всех остальных случаях  **$\epsilon > 1$**

$\epsilon$  воздуха = 1,00058

$$\epsilon_a = \epsilon_0 \epsilon$$
 , где

$\epsilon_a$  - абсолютная диэлектрическая проницаемость

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

$\epsilon$  - 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

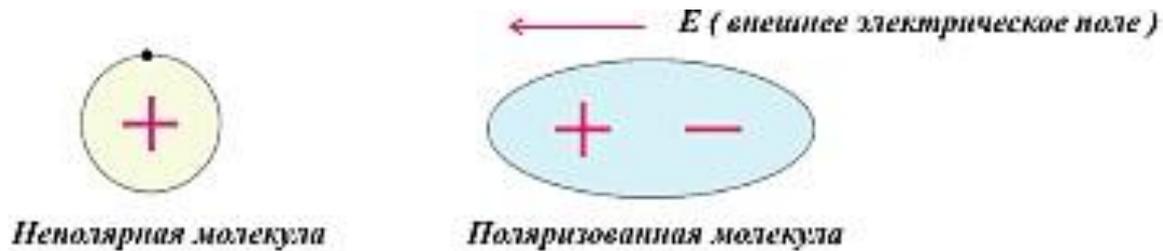
## Упругие виды поляризации

1. Электронная
2. Ионная

## Релаксационные виды поляризации

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

# Электронная поляризация

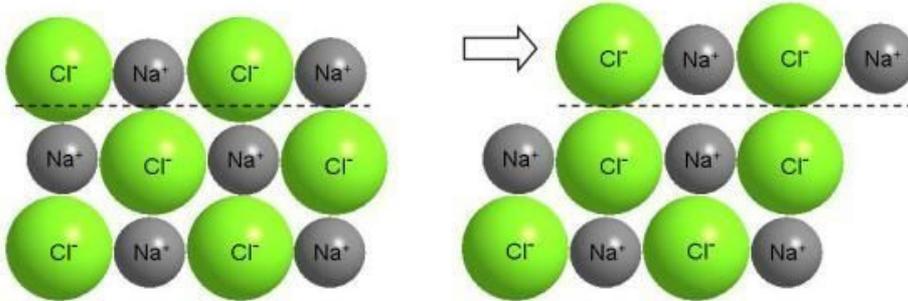


Время поляризации  $\tau = 10^{-14} \div 10^{-15} \text{ c}$

Не зависит от частоты поля, от температуры

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

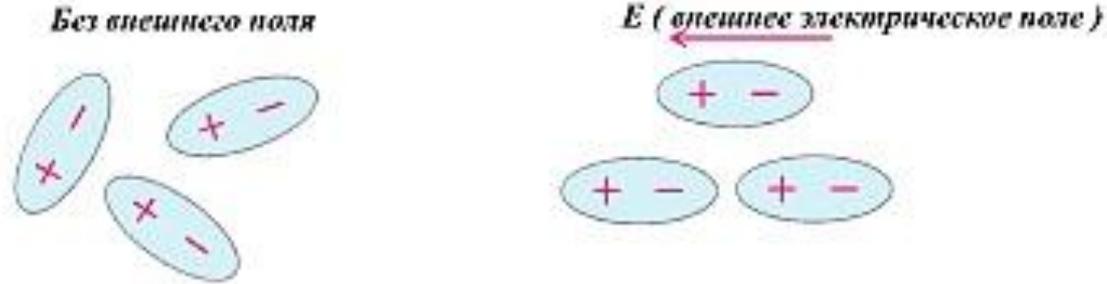
# Ионная поляризация



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

$$\varepsilon = 4 - 30$$

# Дипольная поляризация



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

# Время релаксации

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

где  $N_0$  и  $N_{\tau}$  - число ориентированных диполей в начальный,

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

$\tau$  - время, прошедшее с момента снятия поля, с;

$\tau_0$  - постоянная времени (время релаксации), с;

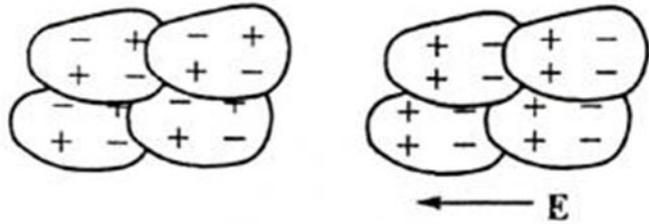
$e$  - основание натуральных логарифмов ( $e = 2,718$ ).

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

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

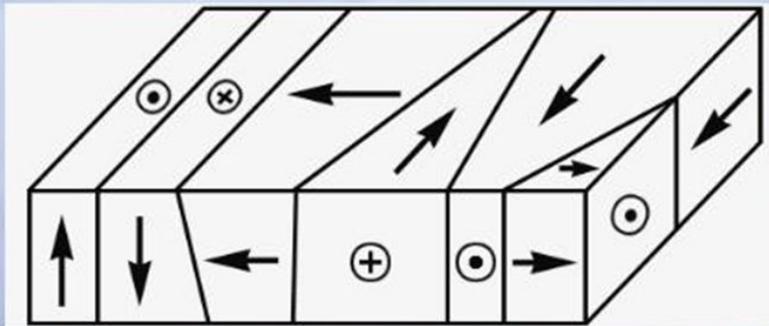
# Ионно-релаксационная

# Миграционная поляризация



# Спонтанная поляризация

Сегнетоэлектрики состоят из доменов – областей с различными направлениями поляризации. В отсутствии 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  $\text{BaTiO}_3$ . Стрелки указывают направление вектора поляризации

сегнетоэлектрики (титанат бария)

строение молекул

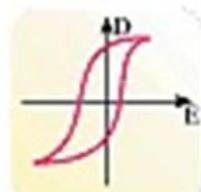


$$\epsilon = 500 \div 9000$$



доменная структура

① Самопроизвольная поляризация



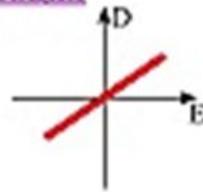
у сегнетоэлектриков

②  $D = f(E)$

Диэлектрический гистерезис

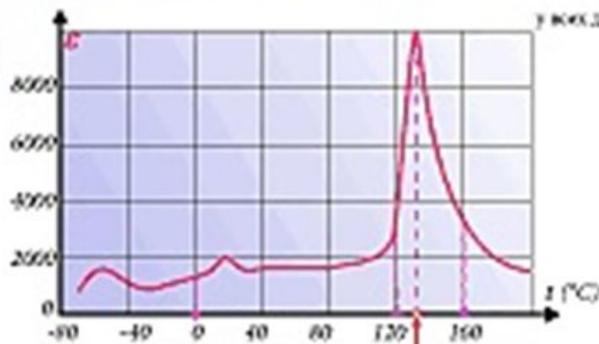
$$D = \epsilon E$$

D - электрическое смещение



у всех диэлектриков

③  $\epsilon = f(t)$

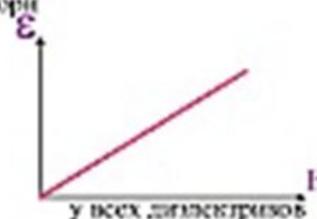


точка Кюри

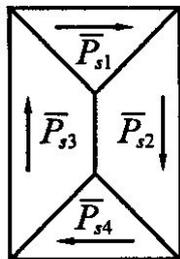
④  $\epsilon = f(E)$



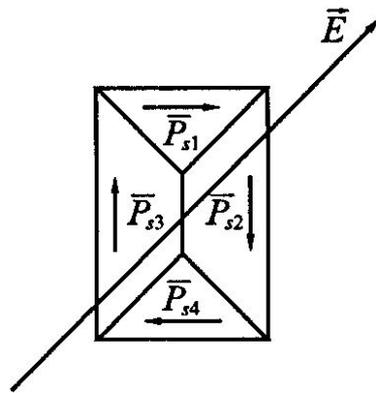
у сегнетоэлектриков



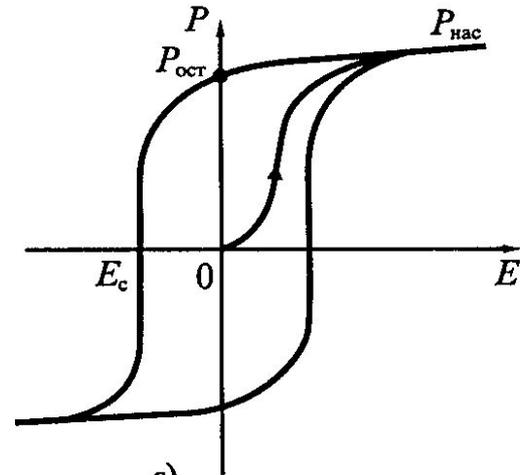
у всех диэлектриков



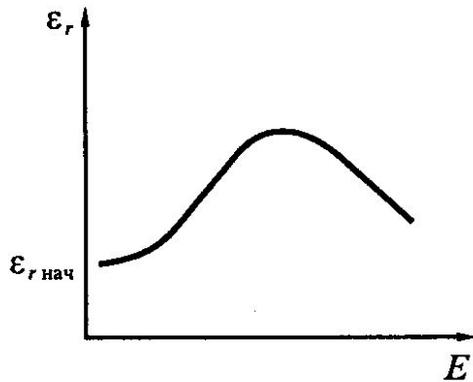
a)



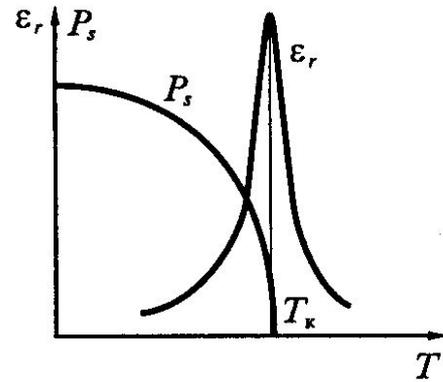
б)



в)

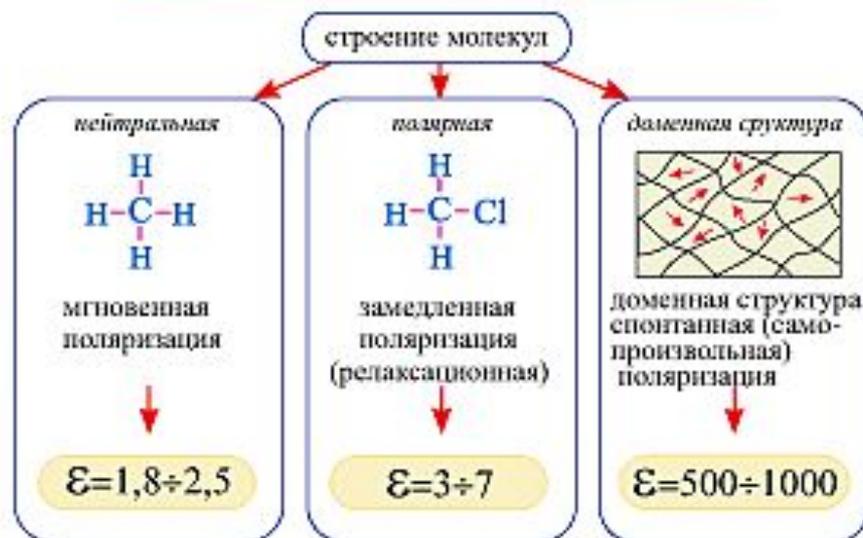


г)



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**

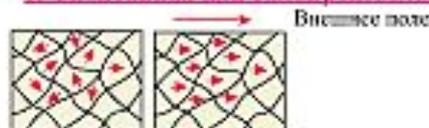
*Вид поляризации зависит от строения молекул*

**I Миграционная поляризация**

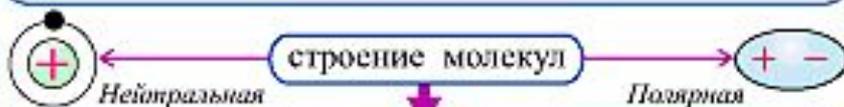


- 1) При низких частотах
  - 2) Со значительным рассеянием энергии
- В слоистых пластиках:  
тепловые, текстолит,  
стеклотекстолит.

**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.)

поляризация

Характеризуется:  
интенсивностью  
процесса  
поляризации.

$\epsilon$

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)

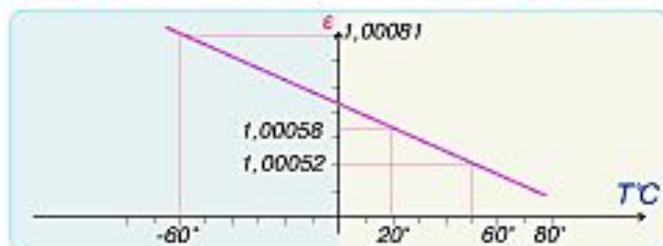


### Диэлектрическая проницаемость газов

$\epsilon$  Водорода = 1,00027



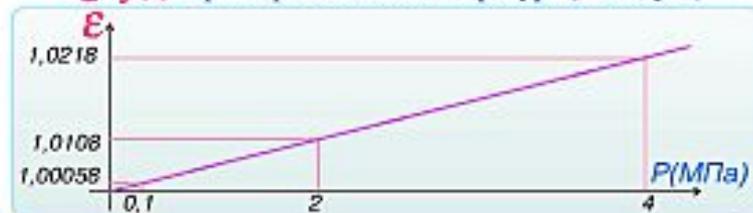
$\epsilon = f(T)$  при постоянном давлении ( $\epsilon$  воздуха)



Температурный коэффициент диэлектрической проницаемости

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

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



### Диэлектрическая проницаемость жидких диэлектриков

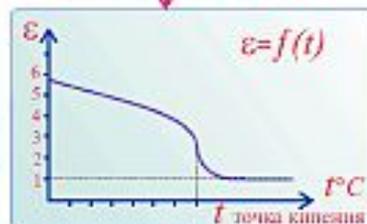
$\epsilon \gg 1$

т.к. плотность жидкости  $\rho$ , большая величина

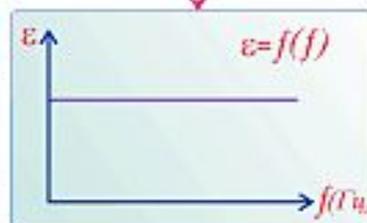
строение молекул

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

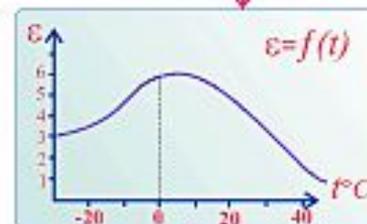
**полярные**  
(совол)  
 $\epsilon = 3,5 \div 5$



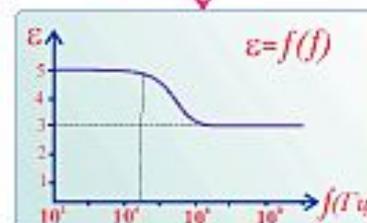
Поляризация - электронная



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  $\epsilon$  и в качестве диэлектриков не применяются.



Диэлектрики

### Диэлектрическая проницаемость твёрдых диэлектриков

$\epsilon$  - 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)

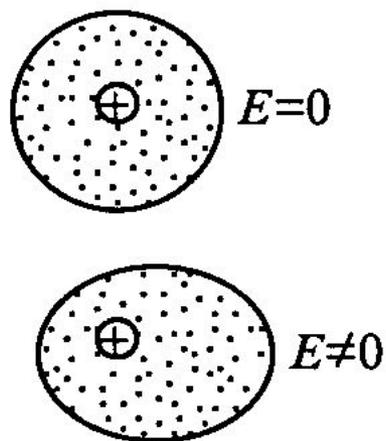
электронная и ионная  
поляризации

Ионные кристаллы  
с неплотной упаковкой

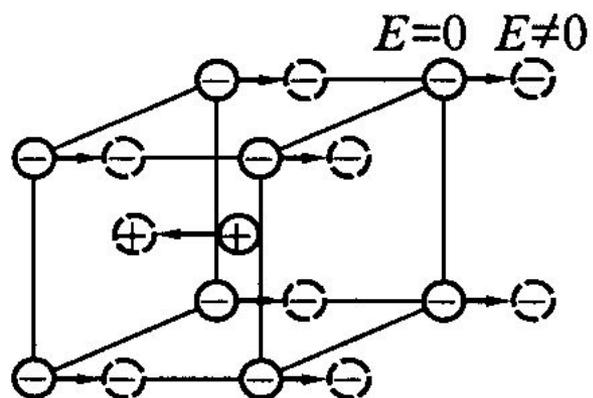
частиц  $\epsilon = 4 \div 10$   
(электротехнический  
фарфор)

электронная, ионная,  
ионно - релаксационная  
поляризации

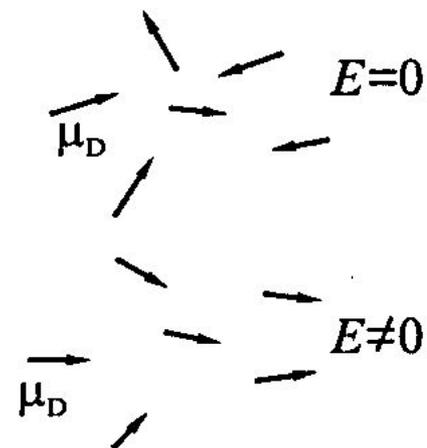




a)

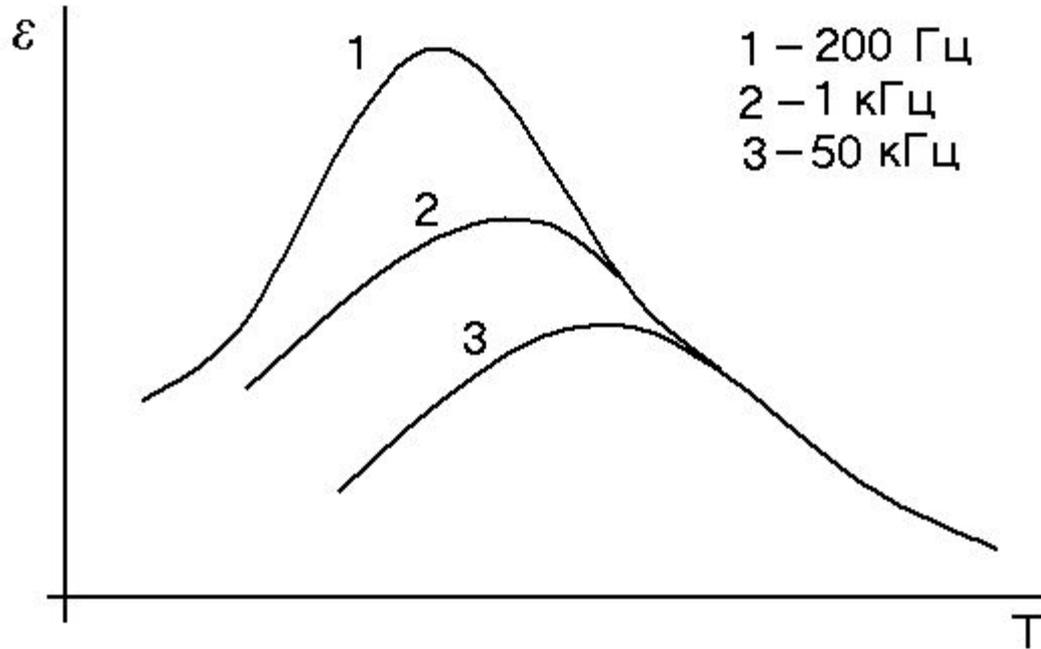


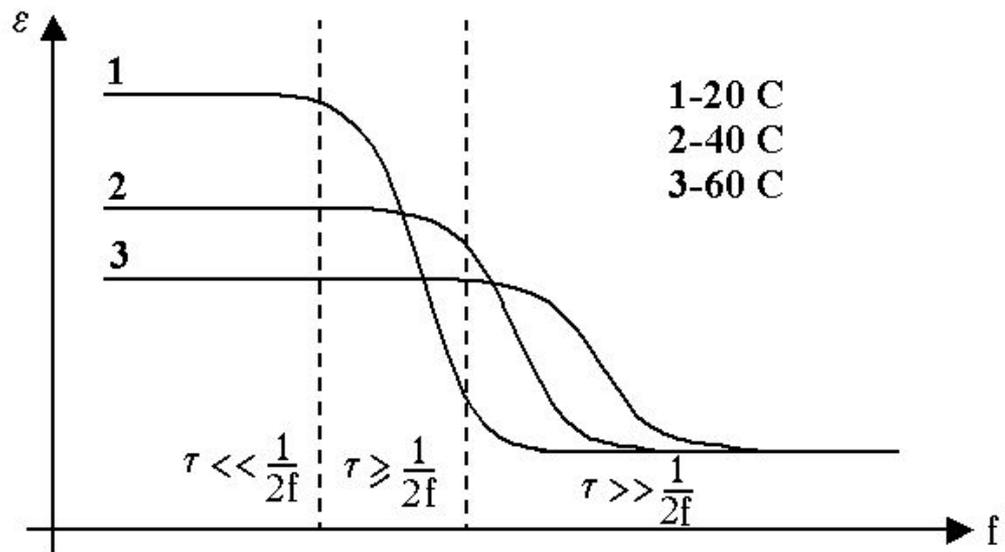
b)



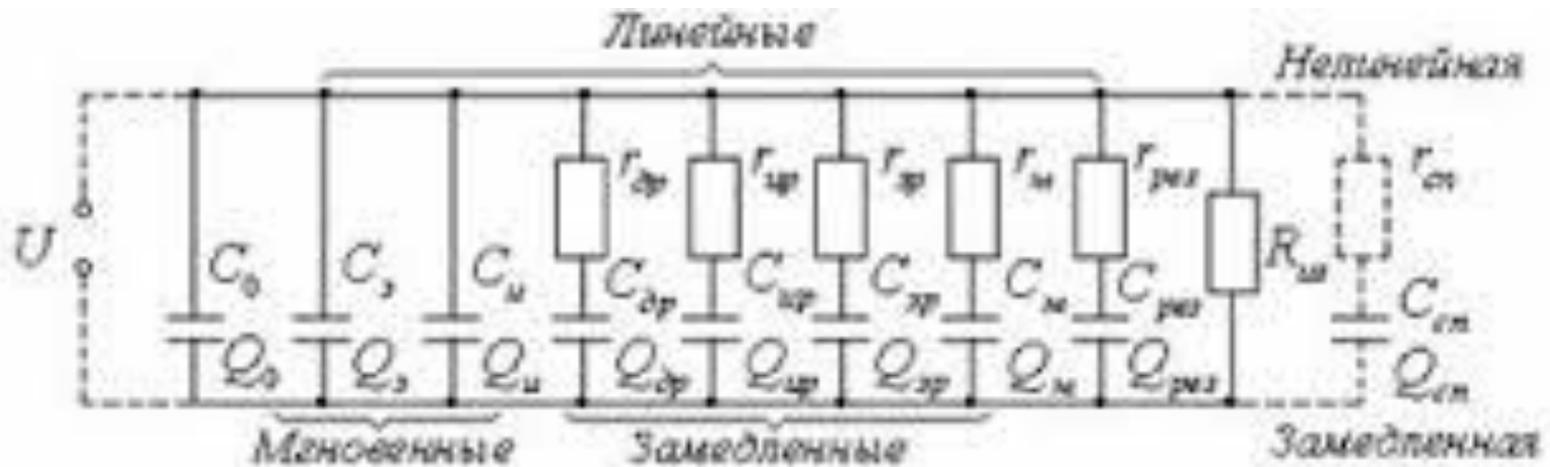
c)

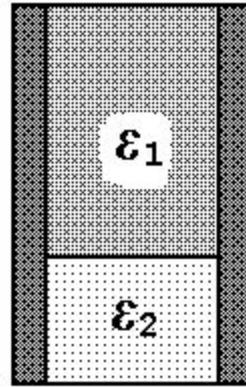
# Зависимость диэлектрической проницаемости от внешних факторов



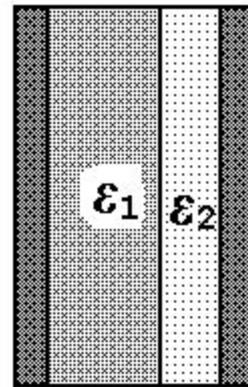


# Схема замещения диэлектрика

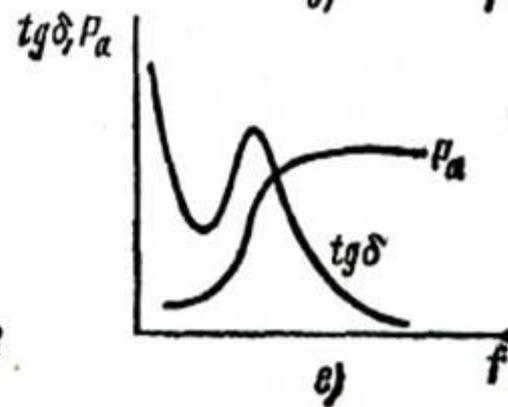
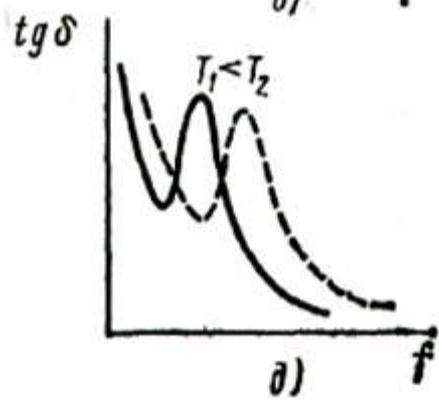
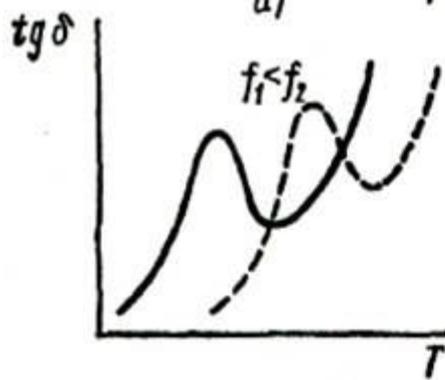
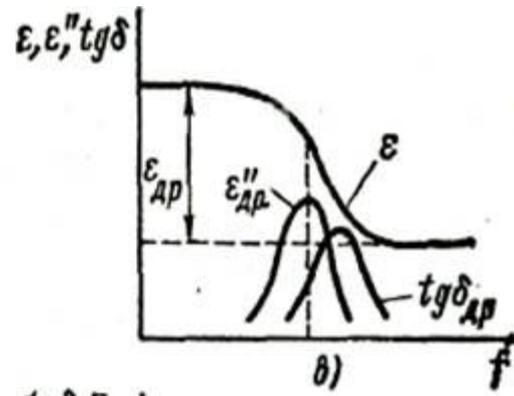
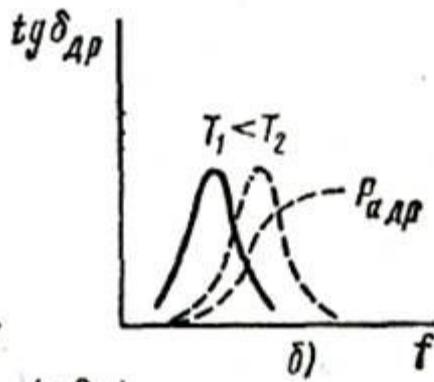
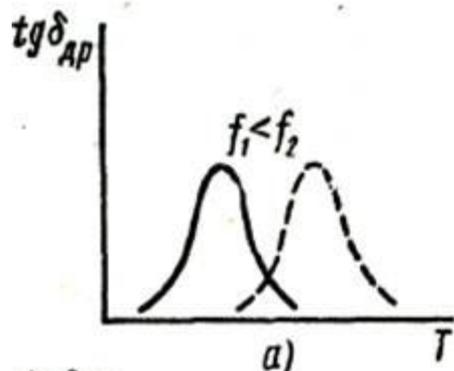


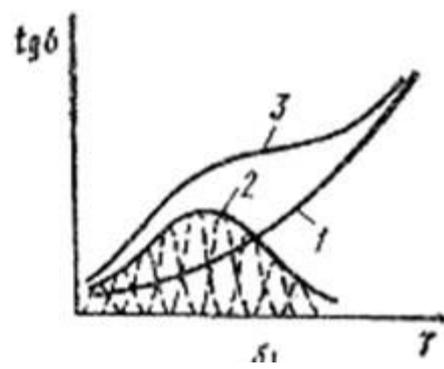
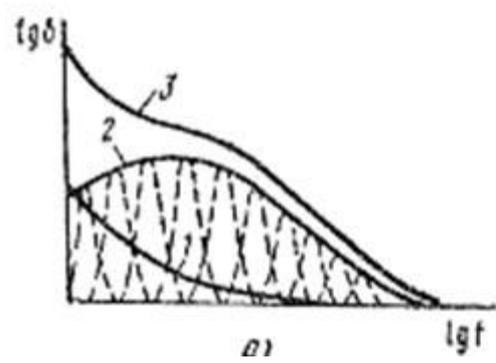


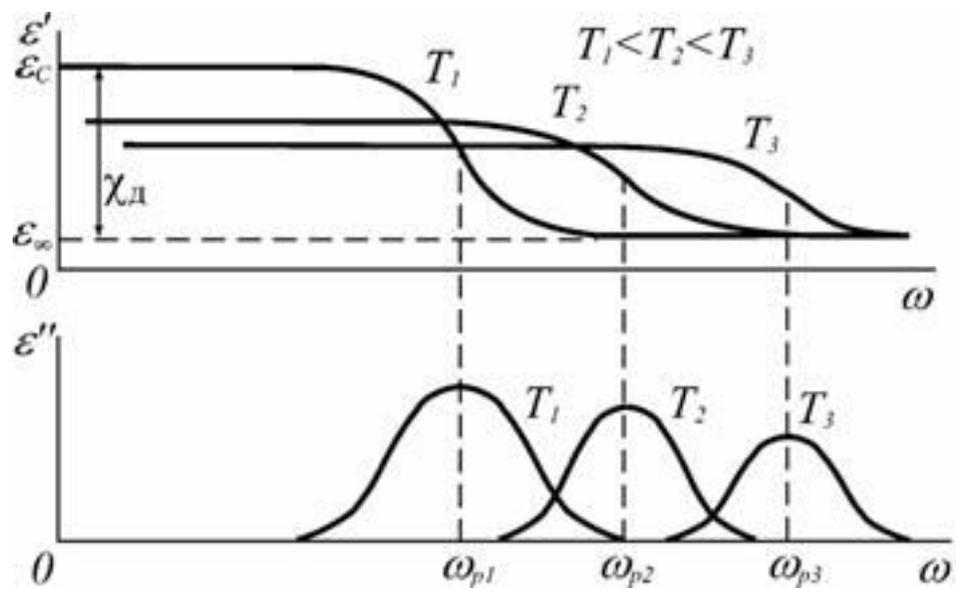
a)

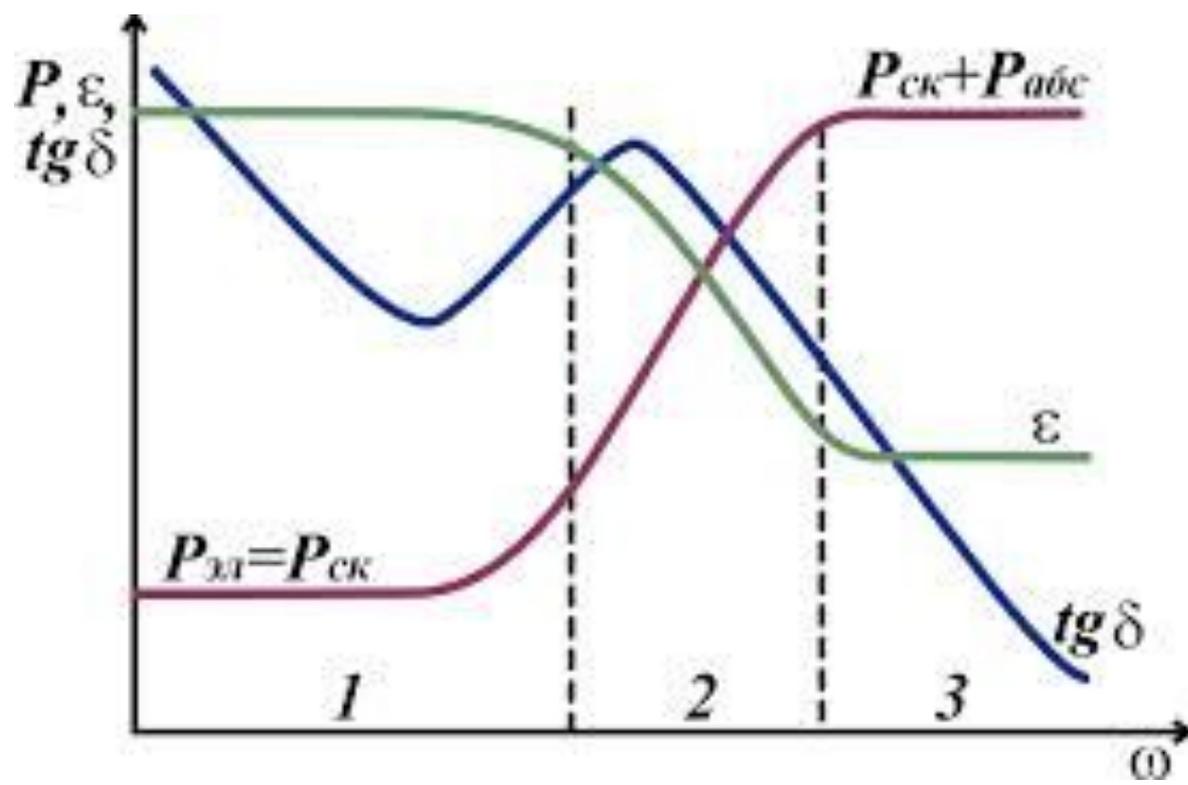


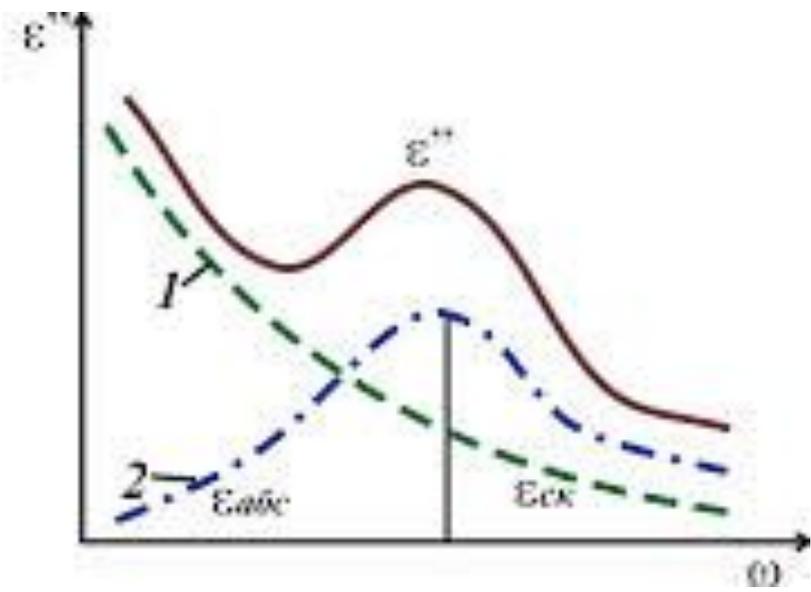
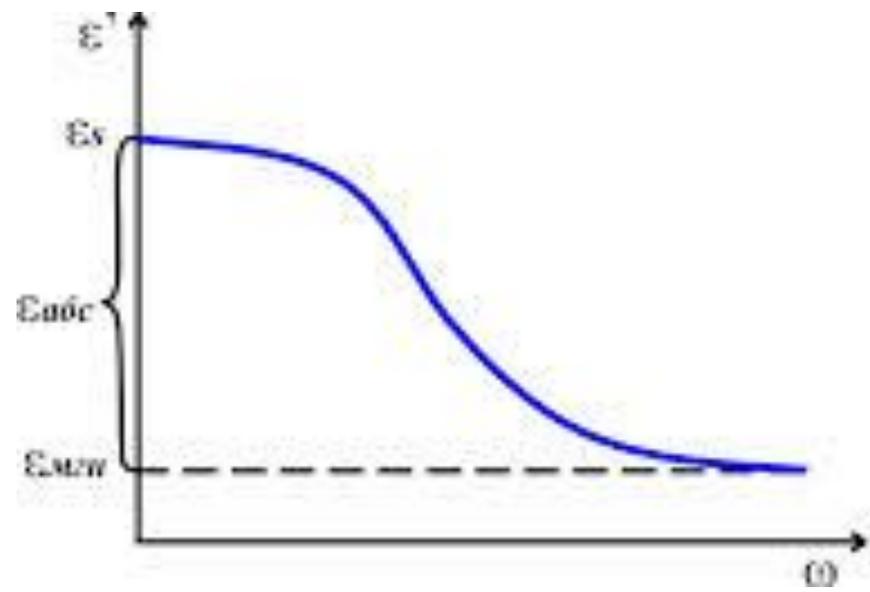
b)











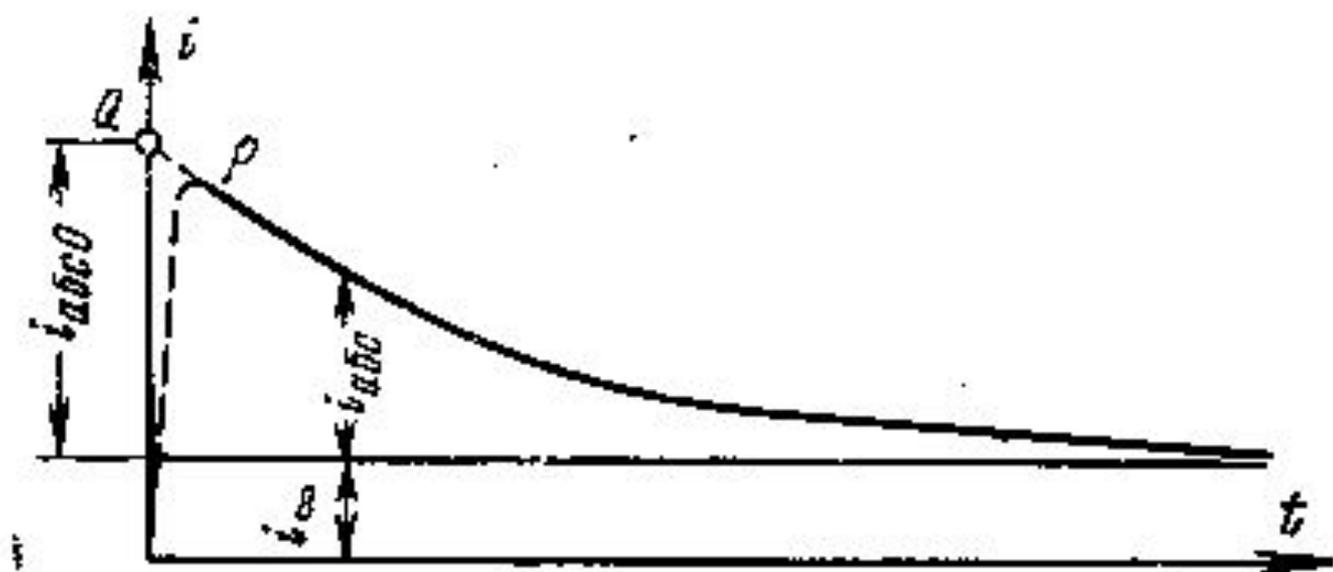


Рис. 1-3. Зависимость тока проводимости и тока абсорбции в изоляции о времени пребывания ее под постоянным напряжением.

