



Въпрос 6

## Загуби в диелектриците

# Съдържание



1

Основни понятия

2

Еквивалентни схеми

3

Релаксационни загуби

4

Загуби от електропроводимост

# I. Основни понятия



## 1. Дефиниция

Диелектрични загуби се нарича тази част от енергията на полето, която се отделя в диелектрика във вид на топлина.

Електрическата мощност, изразходвана за нагряването на диелектрика.

Загубите се дължат на: бавни поляризации, електропроводимост, примеси и други.

## 2. Загуби при постоянно поле

$$P = U \cdot I_{\text{yT}} = \frac{U^2}{R_{\text{из}}}$$

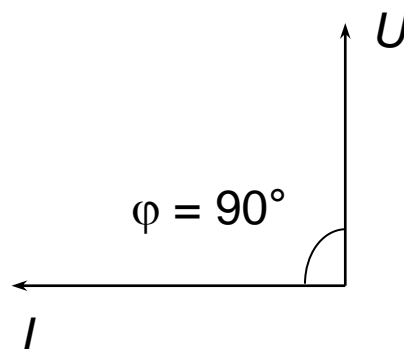
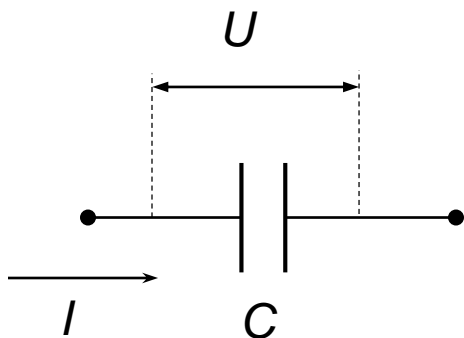
активни загуби

# I. Основни понятия



## 3. Загуби при променливо поле

### 3.1. Еквивалентна схема на диелектрик без загуби

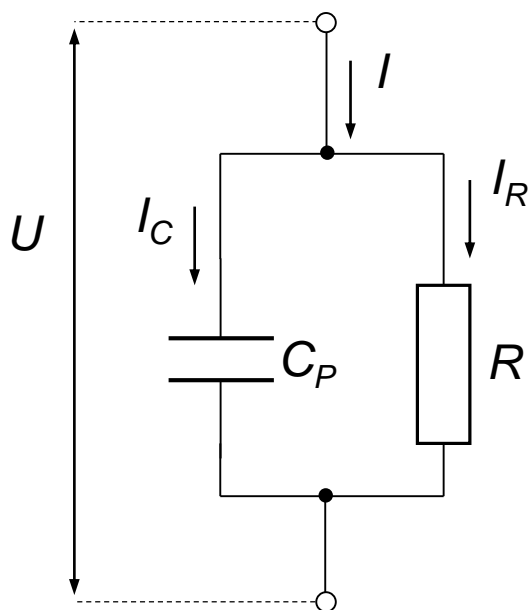


# I. Основни понятия



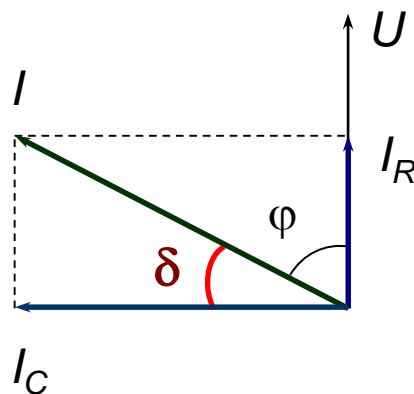
## 3. Загуби при променливо поле

### 3.2. Паралелна еквивалентна схема



$$I_R = \frac{U}{R}$$

$$I_C = \omega C_P U$$



Ъгълът на диелектричните загуби  $\delta$  допълва до  $90^\circ$  фазовия ъгъл между тока и напрежението.

$$\delta \approx \operatorname{tg} \delta$$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_R}{I_C} = \frac{U}{R} \cdot \frac{1}{\omega C_P U} = \frac{1}{\omega R C_P}$$

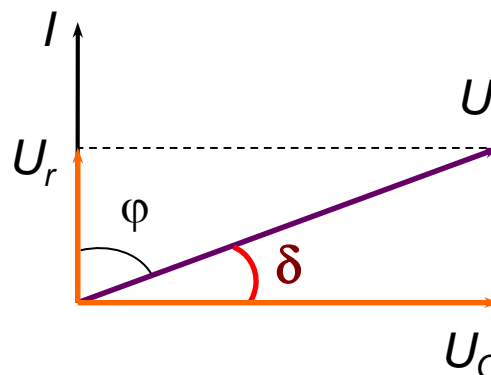
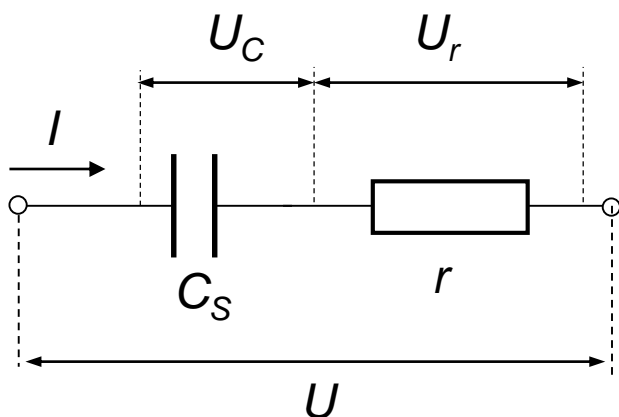
$$P = U I_R = \frac{U^2}{R} = U^2 \omega C_P \operatorname{tg} \delta$$

# I. Основни понятия



## 3. Загуби при променливо поле

### 3.3. Последователна (серијна) еквивалентна схема



$$\operatorname{tg} \delta = \frac{U_R}{U_C} = \frac{I \cdot r}{\frac{I}{\omega C_S}} = \omega r C_S$$

$$P = I \cdot U_r = I^2 \cdot r = \frac{U^2 \omega C_S \operatorname{tg} \delta}{1 + (\operatorname{tg} \delta)^2}$$

# I. Основни понятия



## 3. Загуби при променливо поле

$$(tg\delta)_{\text{ПАР}} = (tg\delta)_{\text{ПОСЛ}}$$

$$P_{\text{ПАР}} = P_{\text{ПОСЛ}}$$

Диелектричните загуби се определят от структурата на материалите и от околните условия и **не зависят** от избора на еквивалентна схема

## 4. Специфични загуби (загуби в единица обем)

$$P_v = \frac{P}{V} = \frac{\omega tg\delta CU^2}{S.d} = \frac{\omega tg\delta}{S.d} \cdot \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d} \cdot E^2 \cdot d^2 = E^2 \omega \epsilon_0 \epsilon_r tg\delta$$



## II. Видове загуби



### 1. Поляризационни (релаксационни) загуби

#### 1.1. Честотна зависимост

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{\operatorname{Im}[\dot{\epsilon}_r]}{\operatorname{Re}[\dot{\epsilon}_r]} = \frac{\operatorname{Im}[\dot{\epsilon}_r]}{\epsilon_r}$$

$$\operatorname{Im}[\dot{\epsilon}_r] = \epsilon_r \operatorname{tg}\delta = \frac{N\alpha_0\omega\tau}{\epsilon_0(1 + \omega^2\tau^2)}$$

С  $\operatorname{tg}\delta$  се оценяват загубите само при променливо поле



## II. Видове загуби



### 1. Поляризационни (релаксационни) загуби

#### 1.1. Честотна зависимост

$$\varepsilon_r \operatorname{tg} \delta = \frac{N \alpha_0 \omega \tau}{\varepsilon_0 (1 + \omega^2 \tau^2)}$$

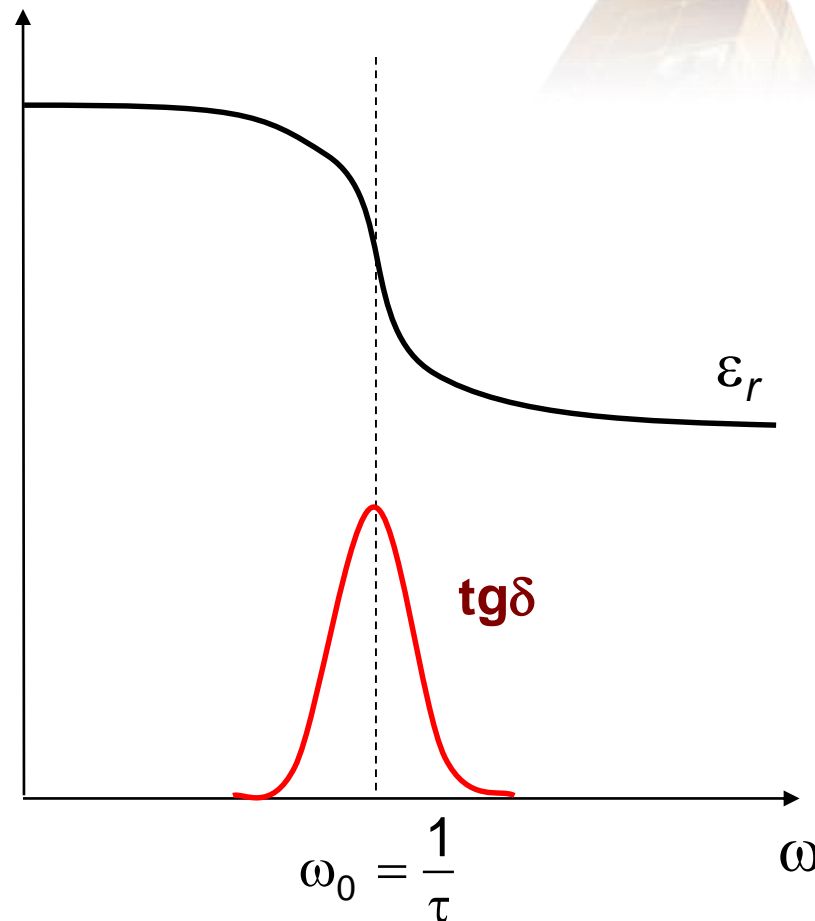
$$\omega \rightarrow 0 \Rightarrow \varepsilon_r \operatorname{tg} \delta \rightarrow 0 \Rightarrow \operatorname{tg} \delta \rightarrow 0$$

$$\omega \rightarrow \infty \Rightarrow \varepsilon_r \operatorname{tg} \delta \rightarrow 0 \Rightarrow \operatorname{tg} \delta \rightarrow 0$$

При високи честоти ( $\omega \gg \omega_0$ ) няма поляризация  $\Rightarrow$  поляризационните загуби не са дефинирани

$$\omega = \omega_0 = \frac{1}{\tau}$$

$$\operatorname{tg} \delta = (\operatorname{tg} \delta)_{\max} = \frac{N \alpha_0}{N \alpha_0 + 2 \varepsilon_0}$$

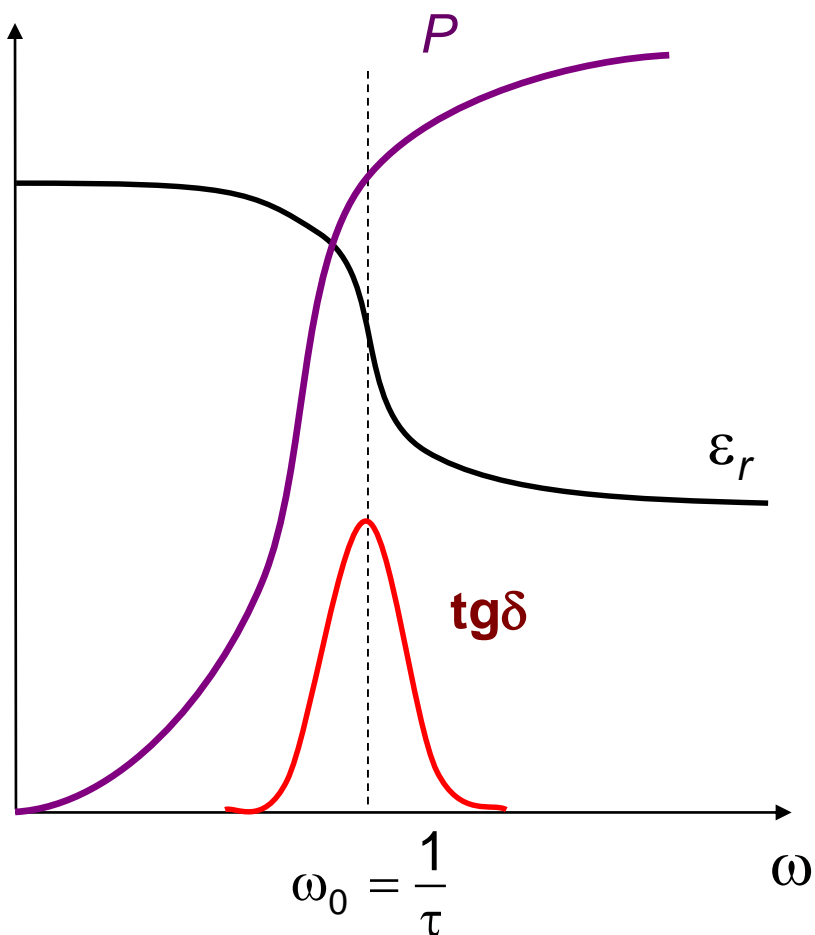


## II. Видове загуби



### 1. Поляризационни (релаксационни) загуби

#### 1.1. Честотна зависимост



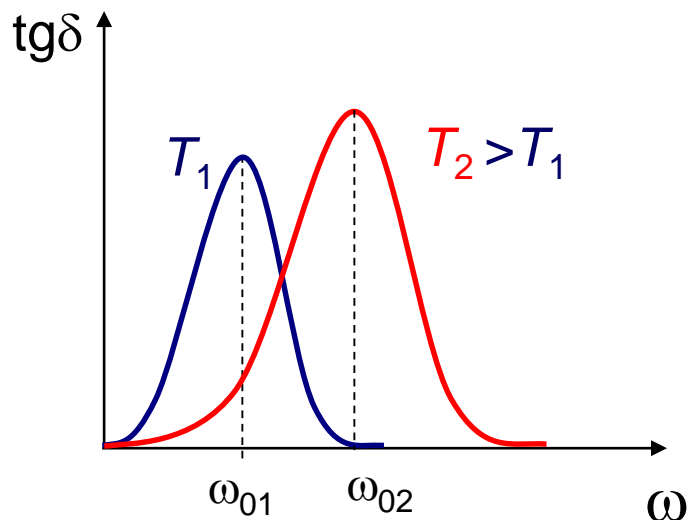
При високи честоти ( $\omega \gg \omega_0$ ) няма поляризационни загуби, но частиците продължават да трептят  $\Rightarrow$  отделената топлина (или  $P$ ) наства

## II. Видове загуби



### 1. Поляризационни (релаксационни) загуби

#### 1.2. Температурна зависимост



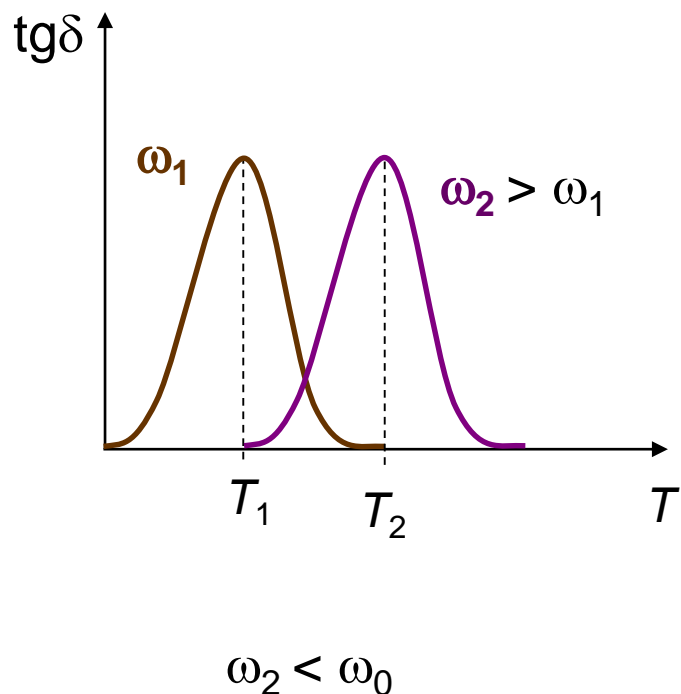
При по-висока температура се увеличава топлинното движение на частиците  $\Rightarrow \omega_{01}$  наства (или  $\tau$  намалява)

## II. Видове загуби



### 1. Поляризационни (релаксационни) загуби

#### 1.2. Температурна зависимост



С нарастване на  $T$  се увеличава топлинното движение на частиците  $\Rightarrow$  нараства  $\text{tg}\delta$

При много високи температури ( $T > T_1$ ) това движение е толкова голямо, че пречи на поляризацията  $\Rightarrow \text{tg}\delta \rightarrow 0$

При по-високи честоти на полето, външната енергия е по-голяма  $\Rightarrow$  частиците се поляризират до по-високи температури ( $T_2 > T_1$ )

## II. Видове загуби



### 2. Загуби от електропроводимост

Малки при добрите диелектрици и не зависят от честотата, защото изолационното съпротивление е омично

$$P = \frac{U^2}{R_{\text{из}}}$$

$$R_{\text{из}} = \frac{1}{\sigma} \cdot \frac{d}{S}$$

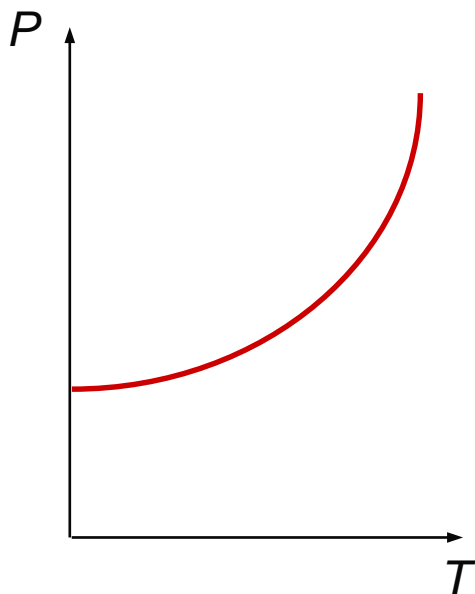
$$\sigma = A \exp\left(-\frac{b}{T}\right)$$

$$P = \frac{U^2 \cdot S \cdot \sigma}{d} = \frac{U^2 \cdot S}{d} A \exp\left(-\frac{b}{T}\right) = A_1 \exp\left(-\frac{b}{T}\right)$$

## II. Видове загуби



### 2. Загуби от електропроводимост



$$P = A_1 \exp\left(-\frac{b}{T}\right)$$

Загубите нарастват по експоненциален закон с увеличаването на температурата, докато изолационното съпротивление намалява по експоненциален закон.

## II. Видове загуби



### 3. Йонизационни загуби

Наблюдават се в газообразни и твърди диелектрици с газова фаза (керамики)

Получават се при  $U > U_{\text{йон}}$ :

$$P_{\text{йон}} = B \cdot f \cdot (U - U_{\text{йон}})^3$$

където  $B$  е коефициент;

$f$  – честота на приложеното напрежение;

$U$  – приложеното напрежение;

$U_{\text{йон}}$  – йонизационното напрежение.

При високи честоти тези загуби могат да нарастнат много и да предизвикат недопустимо нагряване на материала



## II. Видове загуби



### 4. Загуби от нееднородност

Проявяват се както в диелектрици с голямо количество случайни примеси (влага, оксиди), така и в композиционни диелектрици (керамики, пластмаси и др.)

### 5. Резонансни загуби

Проявяват се при много висока честота, когато тя съвпадне с честотата на собствените колебания на градивните частици. Те са максимални за строго определена честота и не зависят от температурата.

***Важно! На практика в реален диелектрик могат да се проявят повече от един вид загуби.***