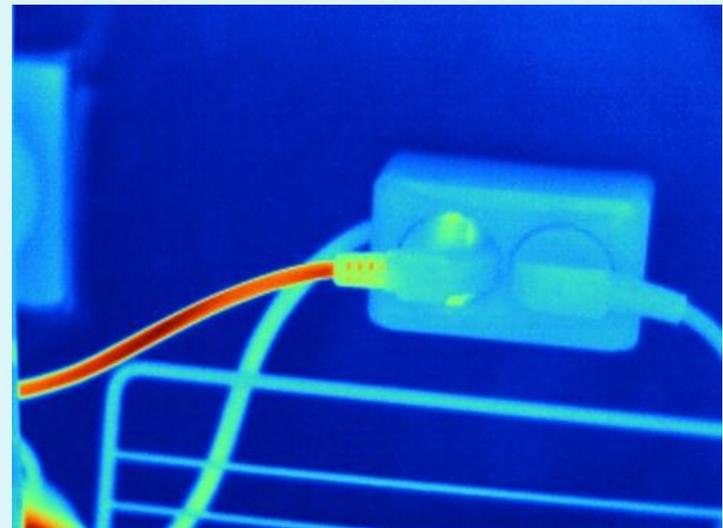


# Диэлектрические потери



Это та часть энергии приложенного электрического поля, которая рассеивается в диэлектрике за единицу времени.

Эта энергия переходит в тепло, и диэлектрик нагревается



# Величина, характеризующая ДП



1.  $\operatorname{tg} \delta$  – тангенс угла ДП, где  $\delta$  – угол, дополняющий до  $90^\circ$  угол сдвига фаз между током и напряжением (угол  $\varphi$ ) в емкостной цепи.

2.  $Q$  – добротность

$$Q = \frac{1}{\operatorname{tg} \delta}$$

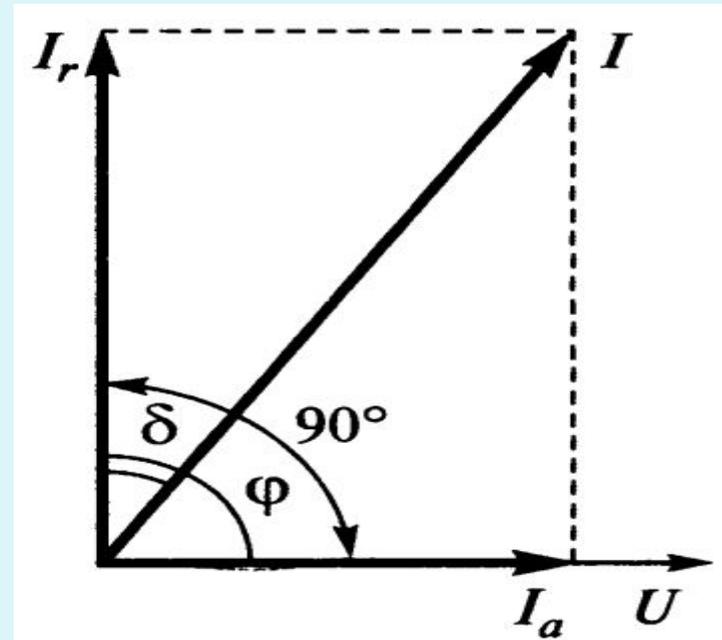
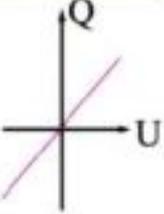
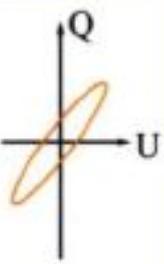


Рис. 4.1. Векторная диаграмма диэлектрика с потерями

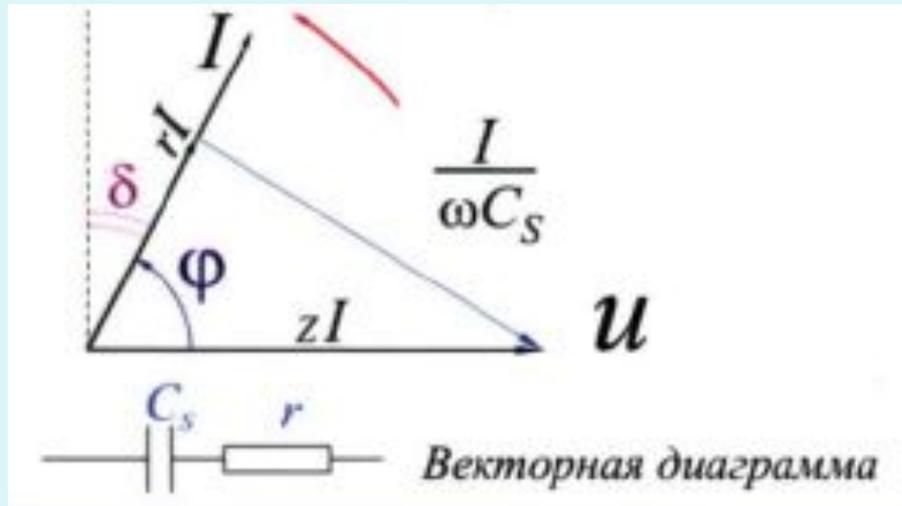
# Причины ДП



Причины потерь	Виды диэлектриков		
<p><b>I. Поляризации</b></p> <p><u>Мгновенная</u>  <math>Q</math> – заряд на обкладках конденсатора  <math>U</math> – приложенное напряжение.                      В неполярных диэлектриках</p>		<p><u>Релаксационная</u>                      В дипольных жидких и твёрдых диэлектриках, в диэлектриках с неплотной упаковкой ионов</p> 	<p><u>Спонтанная</u>                      В сегнетоэлектриках</p> 
<p><b>II. Сквозная электропроводность</b></p>	В жидких и твёрдых диэлектриках с большими значениями $\gamma_v$ и $\gamma_s$		
<p><b>III. Ионизация газа</b></p>	В газообразных диэлектриках и в диэлектриках с газовыми включениями		
<p><b>VI. Неоднородность структуры</b></p>	В диэлектриках с неоднородной структурой		

# Эквивалентные схемы замещения диэлектрика с потерями

## 1. Последовательная СЗ:



1.  $tg\delta$  – тангенс угла ДП, где  $\delta$  – угол, дополняющий до  $90^\circ$  угол сдвига фаз между током и напряжением (угол  $\varphi$ ) в емкостной цепи.

2.  $Q$  – добротность  

$$Q = \frac{1}{tg\delta}$$

1.  $tg\delta$  – тангенс угла ДП, где  $\delta$  – угол, дополняющий до  $90^\circ$  угол сдвига фаз между током и напряжением (угол  $\varphi$ ) в емкостной цепи.

2.  $Q$  – добротность  

$$Q = \frac{1}{tg\delta}$$

1.  $tg\delta$  – тангенс угла ДП, где  $\delta$  – угол, дополняющий до  $90^\circ$  угол сдвига фаз между током и напряжением (угол  $\varphi$ ) в емкостной цепи.

2.  $Q$  – добротность  

$$Q = \frac{1}{tg\delta}$$

1.  $tg\delta$  – тангенс угла ДП, где  $\delta$  – угол, дополняющий до  $90^\circ$  угол сдвига фаз между током и напряжением (угол  $\varphi$ ) в емкостной цепи.

2.  $Q$  – добротность  

$$Q = \frac{1}{tg\delta}$$

# Эквивалентные схемы замещения диэлектрика с потерями

## 1. Параллельная СЗ:

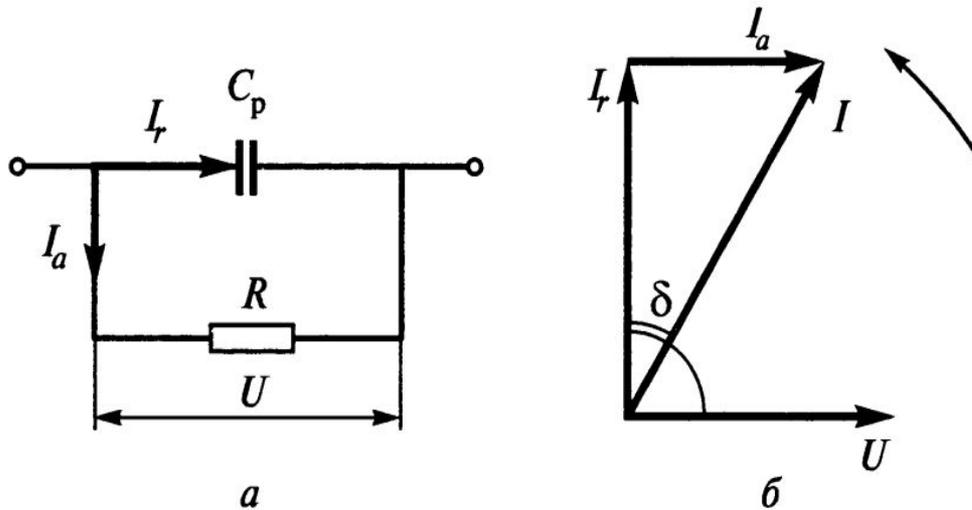


Рис. 4.2. Параллельная эквивалентная схема замещения диэлектрика с потерями (а) и векторная диаграмма токов в ней (б)

1.  $\operatorname{tg} \delta$  – тангенс угла ДП, где  $\delta$  – угол, дополняющий до  $90^\circ$  угол сдвига фаз между током и напряжением (угол  $\varphi$ ) в емкостной цепи.
2.  $Q$  – добротность  

$$Q = \frac{1}{\operatorname{tg} \delta}$$

1.  $\operatorname{tg} \delta$  – тангенс угла ДП, где  $\delta$  – угол, дополняющий до  $90^\circ$  угол сдвига фаз между током и напряжением (угол  $\varphi$ ) в емкостной цепи.
2.  $Q$  – добротность  

$$Q = \frac{1}{\operatorname{tg} \delta}$$

1.  $\operatorname{tg} \delta$  – тангенс угла ДП, где  $\delta$  – угол, дополняющий до  $90^\circ$  угол сдвига фаз между током и напряжением (угол  $\varphi$ ) в емкостной цепи.
2.  $Q$  – добротность  

$$Q = \frac{1}{\operatorname{tg} \delta}$$

1.  $\operatorname{tg} \delta$  – тангенс угла ДП, где  $\delta$  – угол, дополняющий до  $90^\circ$  угол сдвига фаз между током и напряжением (угол  $\varphi$ ) в емкостной цепи.
2.  $Q$  – добротность  

$$Q = \frac{1}{\operatorname{tg} \delta}$$

# ДП, обусловленные электропроводностью

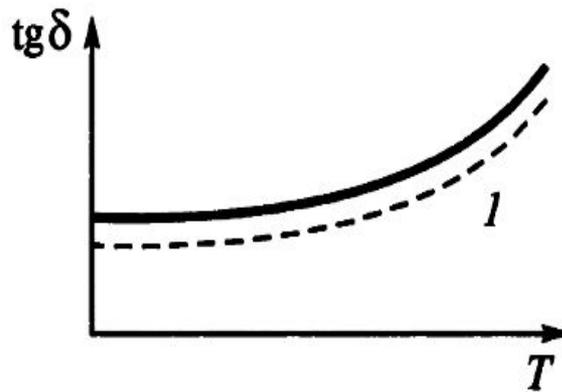
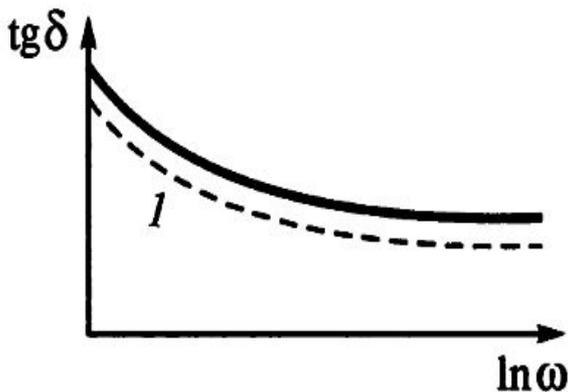


1.  $\operatorname{tg} \delta$  – тангенс угла ДП, где  $\delta$  – угол, дополняющий до  $90^\circ$  угол сдвига фаз между током и напряжением (угол  $\varphi$ ) в емкостной цепи.

2.  $Q$  – добротность

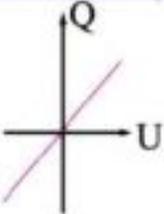
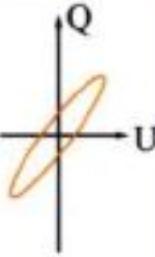
$$Q = \frac{1}{\operatorname{tg} \delta}$$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{R\omega C} = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{R \cdot 2\pi f \cdot \epsilon\epsilon_0 \left(\frac{S}{h}\right)} = \frac{1}{\rho \frac{h}{S} \cdot 2\pi f \cdot \epsilon\epsilon_0 \left(\frac{S}{h}\right)} = \frac{1}{\rho \cdot 2\pi f \cdot \epsilon\epsilon_0} = \frac{1,8 \cdot 10^{10}}{\rho \cdot f \cdot \epsilon}$$

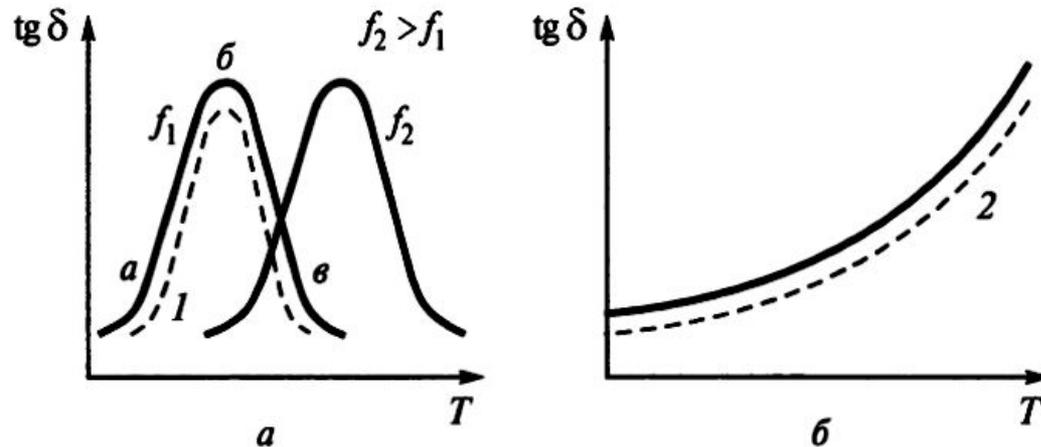


# ДП, обусловленные релаксационными видами поляризации



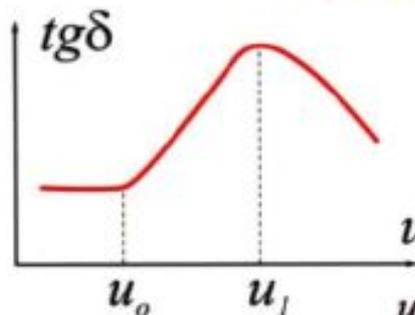
Причины потерь	Виды диэлектриков		
<p><b>I. Поляризации</b></p>	<p><u>Мгновенная</u>                      Q – заряд на обкладках конденсатора                      U – приложенное напряжение.                      В неполярных диэлектриках</p> 	<p><u>Релаксационная</u>                      В дипольных жидких и твёрдых диэлектриках, в диэлектриках с неплотной упаковкой ионов</p> 	<p><u>Спонтанная</u>                      В сегнетоэлектриках</p> 
<p><b>II. Сквозная электропроводность</b></p>	<p>В жидких и твёрдых диэлектриках с большими значениями <math>\gamma_v</math> и <math>\gamma_s</math></p>		
<p><b>III. Ионизация газа</b></p>	<p>В газообразных диэлектриках и в диэлектриках с газовыми включениями</p>		
<p><b>VI. Неоднородность структуры</b></p>	<p>В диэлектриках с неоднородной структурой</p>		

# ДП, обусловленные релаксационными видами поляризации



**Рис. 4.5.** Схематическое изображение температурной зависимости тангенса угла диэлектрических потерь  $\text{tg } \delta$ , обусловленных дипольно-релаксационной (а) и ионно-релаксационной (б) поляризациями:  
образующие  $\text{tg } \delta$ , вызванные: 1 — дипольно-релаксационной поляризацией;  
2 — ионно-релаксационной поляризацией

## Диэлектрические потери в газах



Источник потерь – электропроводность.

Изменение  $\text{tg} \delta$  в зависимости от напряжения для изолятора с воздушными включениями.

$u$  Кривая ионизации –  $\text{tg} \delta = f(u)$ .

$u_0$  – начало ионизации;  $u_1$  – ионизированный газ

### Ионизация воздуха вызывает:

1) образование озона и окислов азота.  
(результат – химическое разложение органической изоляции);

2) явление короны  
(результат – потери на ионизацию воздуха у поверхности ЛЭП, что снижает КПД ЛЭП)



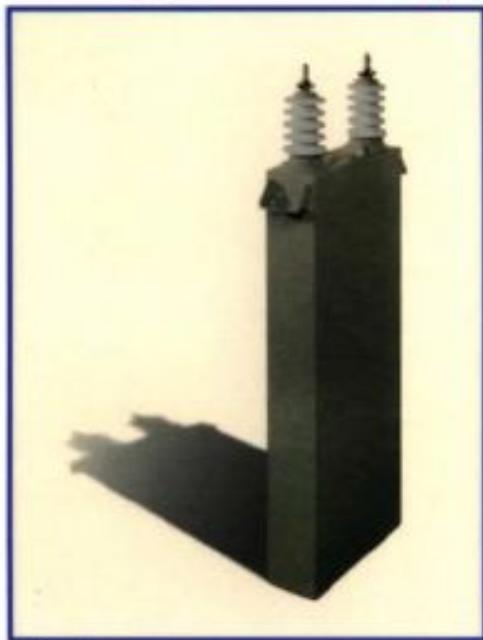
# Диэлектрические потери в жидких диэлектриках

строение молекул

неполярные –  $\operatorname{tg} \delta$  малый

Причина – электропроводность

(конденсаторное масло –  $\operatorname{tg} \delta = 0,001$ )

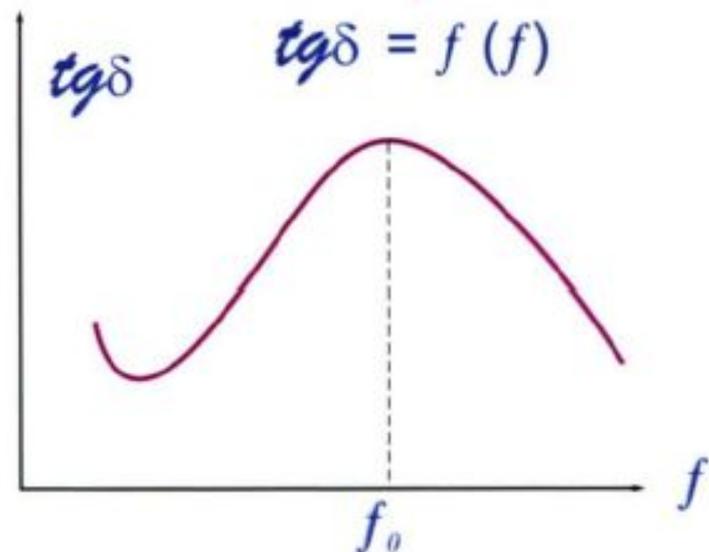


Конденсатор

полярные –  $\operatorname{tg} \delta$  большой

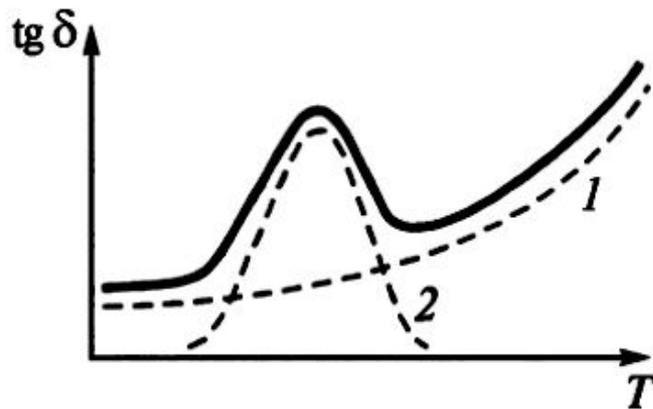
Причина – электропроводность и дипольно –  
релаксационная поляризация

(совол –  $\operatorname{tg} \delta = 0,02$ )

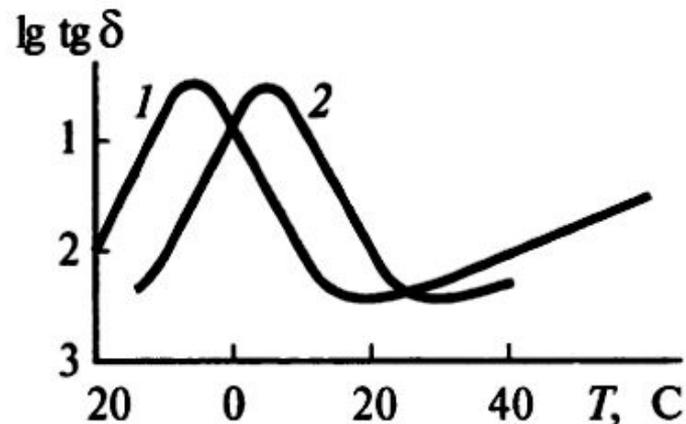


$f$  – частота приложенного напряжения

# Суммарные ДП полярных диэлектриков



*a*



*b*

**Рис. 4.8.** Общий вид (*a*) зависимости  $\text{tg} \delta$  жидких полярных диэлектриков от температуры  $T$ . Образующие  $\text{tg} \delta$ , обусловленные удельной электропроводностью (1) и дипольно-релаксационной поляризацией (2). Зависимость  $\text{tg} \delta$  полихлордифенила (*b*) от температуры  $T$  при частоте 50 Гц (1) и 1 кГц (2)