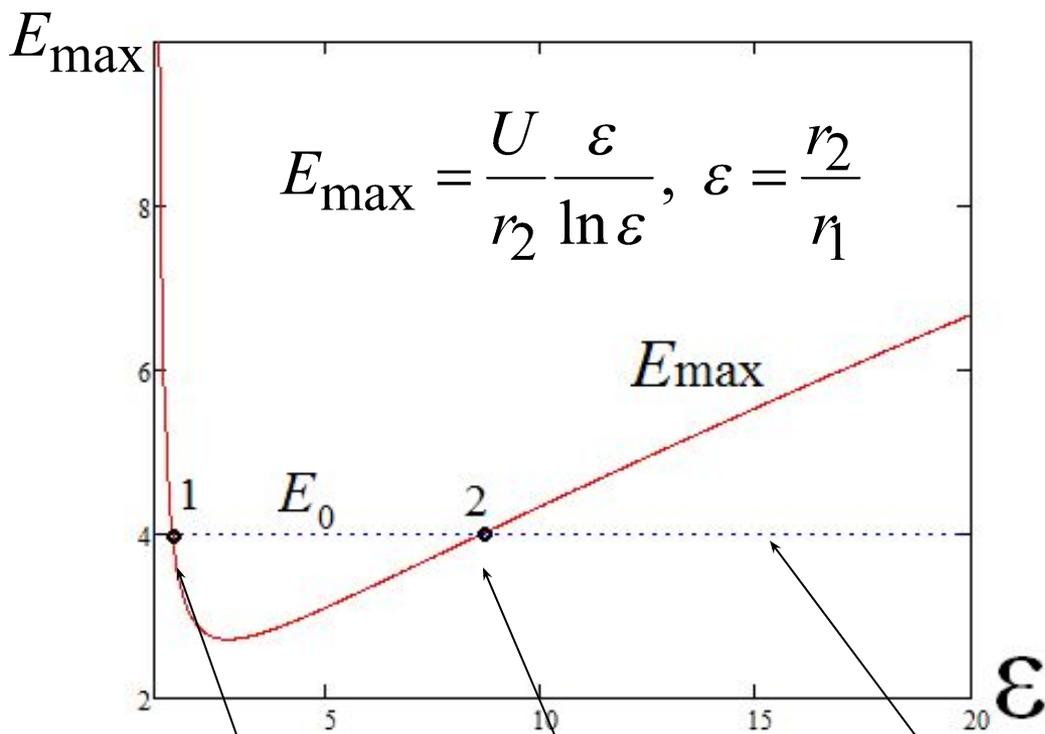




Разряд в неоднородном электрическом поле. Корона

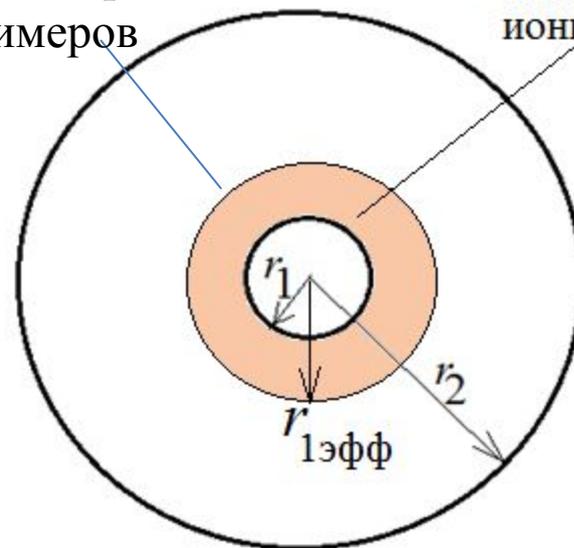
Сценарии разрядных процессов в коаксиале

Пусть E_0 - начальная напряженность разряда



Граница распада стримеров

Область ионизации



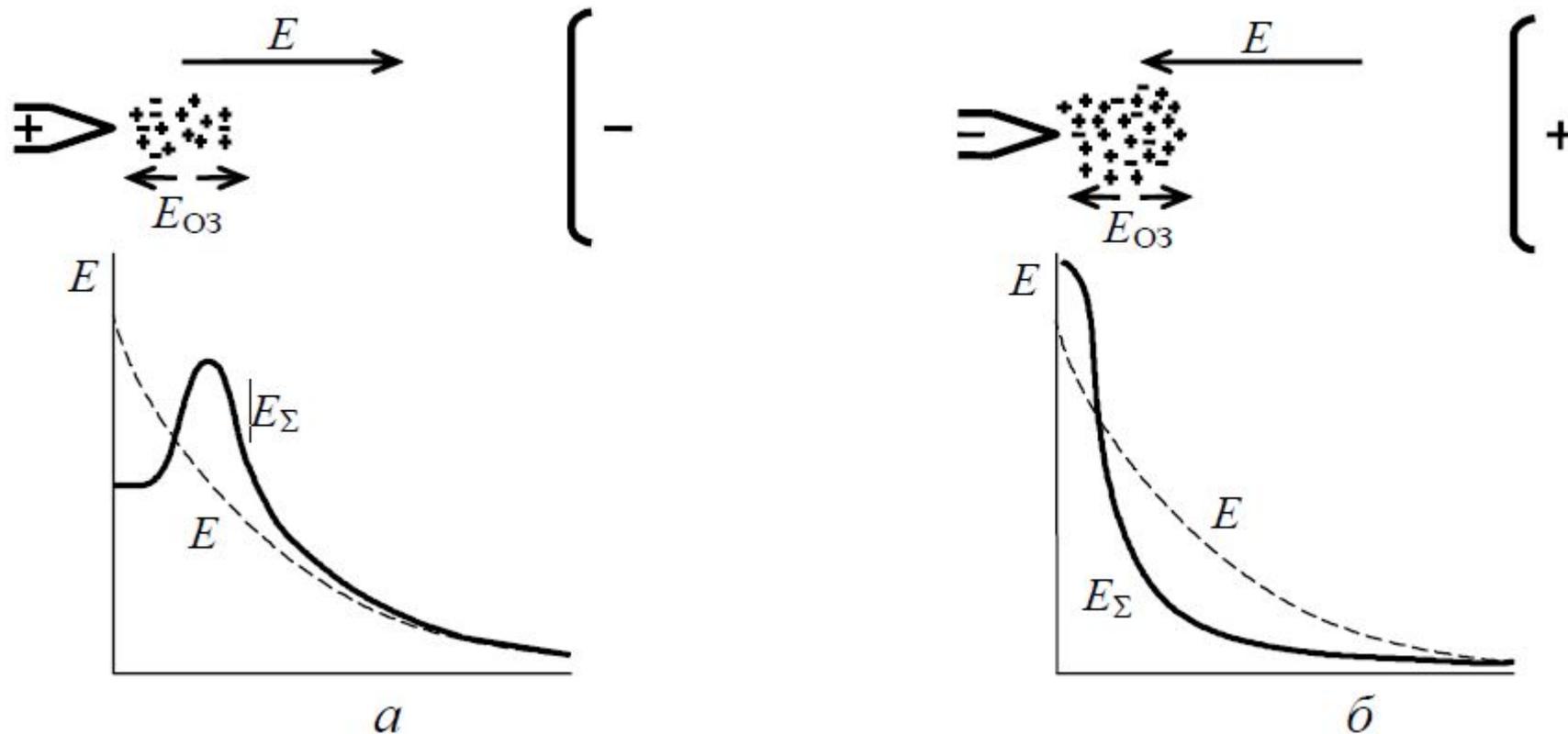
Область резко неоднородное поле

Перекрывание промежутка

Незавершенный разряд – ионизация только вблизи r_1 - КОРОНА

Для перекрытия надо увеличить напряжение

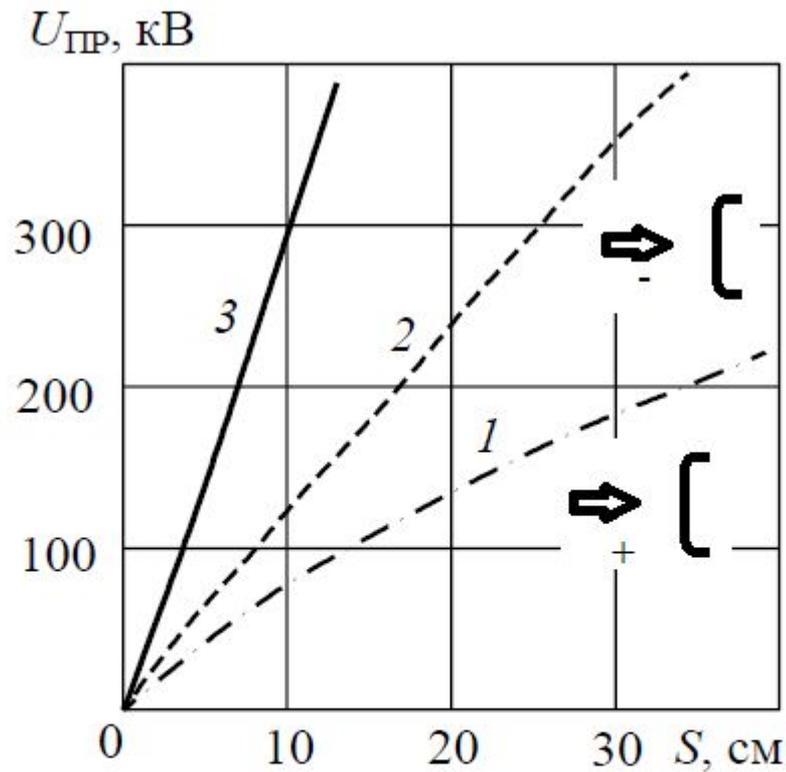
Эффект полярности



Образование анодного (а) и катодного (б) стримера

E – вакуумное поле промежутка,

E_{Σ} - суммарное поле с учетом объемного заряда после ионизации



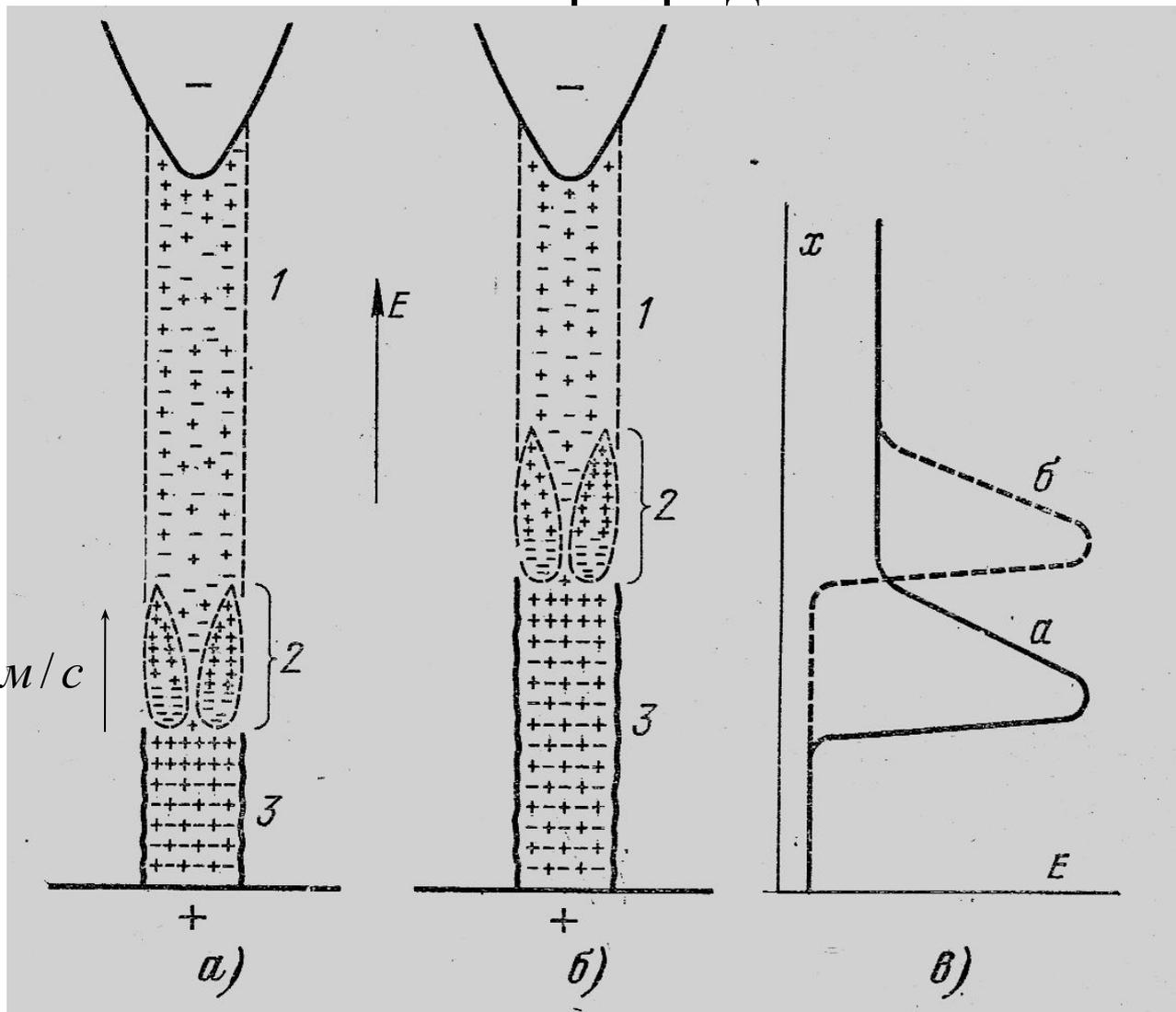
Зависимость пробивного напряжения от расстояния между электродами стержень–плоскость на импульсном напряжении:

1 – положительная полярность острия; 2 – отрицательная полярность острия; 3 – однородное поле

Главный разряд



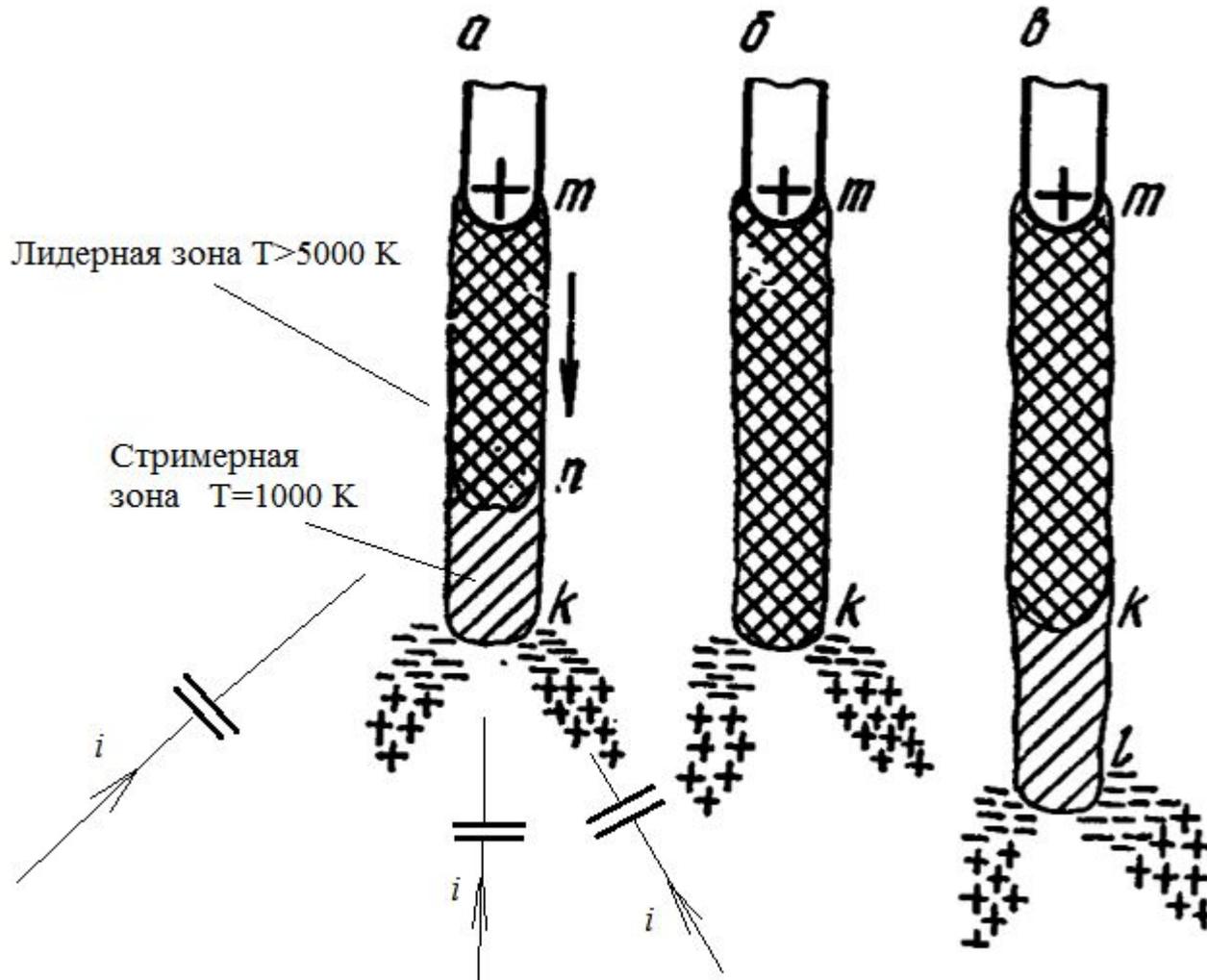
$$v = 10^7 \text{ м/с}$$

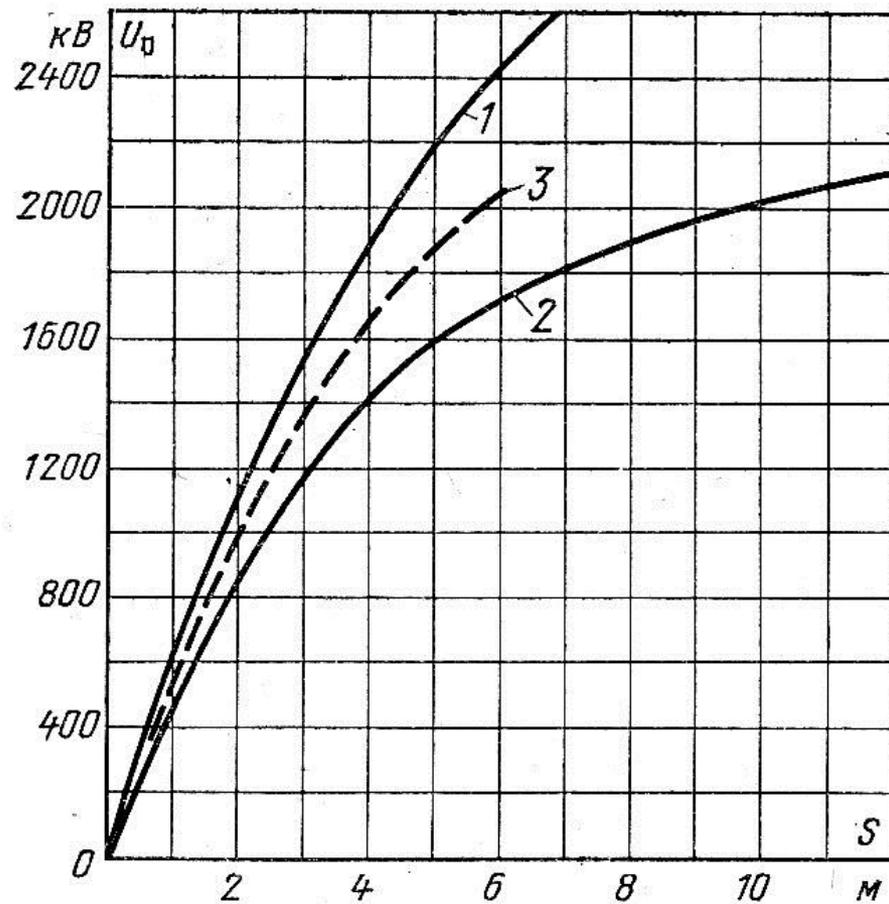


Последовательные стадии развития обратного разряда (а и б) и распределение продольной напряженности электрического поля в канале (в). 1 стримерный канал 2 – зона повышенной напряженности(зона перестройки канала) 3 – канал обратного разряда

Разряд в резко неоднородном поле в длинных ($S > 5$ м) промежутках - лидер

Относительно низкая средняя напряженность электрического поля 1-2 кВ/см



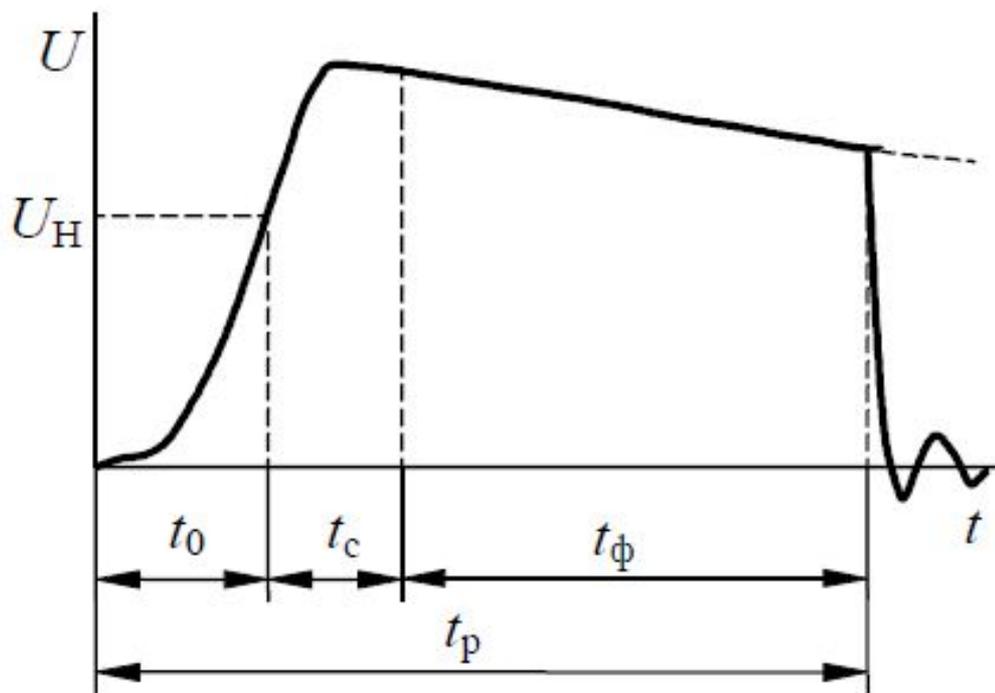


Амплитуда разрядных напряжений воздушных промежутков при промышленной частоте. Нормальные атмосферные условия.

- 1 — промежуток стержень — стержень;
- 2 — промежуток стержень — плоскость;
- 3 — промежуток провод — стойка опоры.

Влияние времени приложения напряжения на электрическую прочность газовой изоляции.

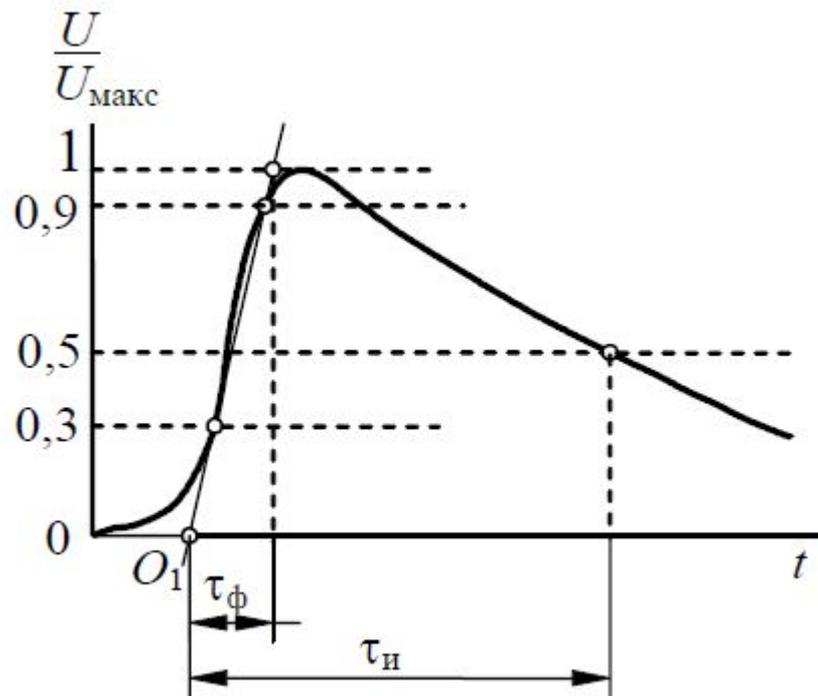
Вольт-секундная характеристика (ВСХ)



Временная структура развития разряда на импульсном напряжении

t_c - время появления эффективного электрона

t_f - время формирования разряда (основная доля лавинная и стримерная фазы)



Определение параметров стандартного импульса напряжения

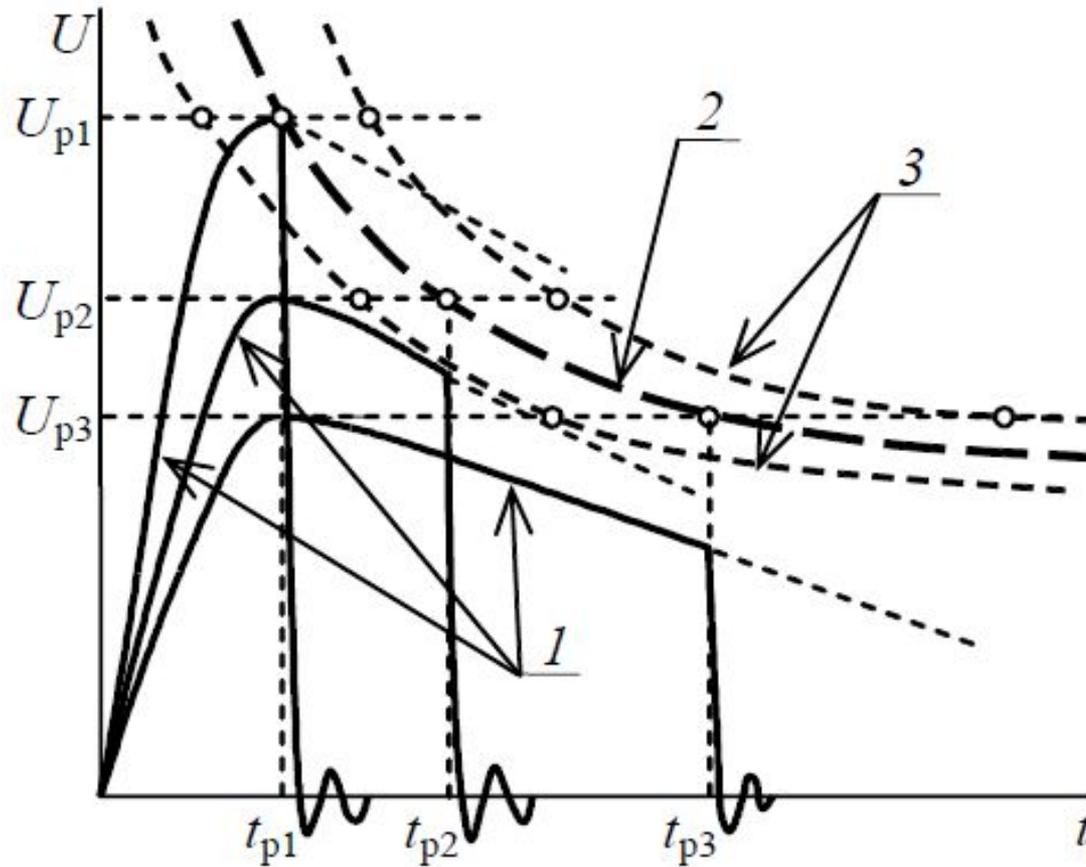


Параметры стандартного
грозового импульса 1.2/50 мкс

Длительность фронта $\tau_{\phi} = 1,2 \pm 0,4$ мкс

Длительность импульса $\tau_n = 50 \pm 10$ мкс

Зависимость максимального разрядного напряжения от времени действия импульса называется вольт-секундной характеристикой



Построение вольт-секундной характеристики изоляции по опытным данным (грозовые импульсы):
1 – импульсы напряжения; 2 – кривая средних значений пробивного напряжения; 3 – границы разброса пробивных напряжений

Коэффициент импульса

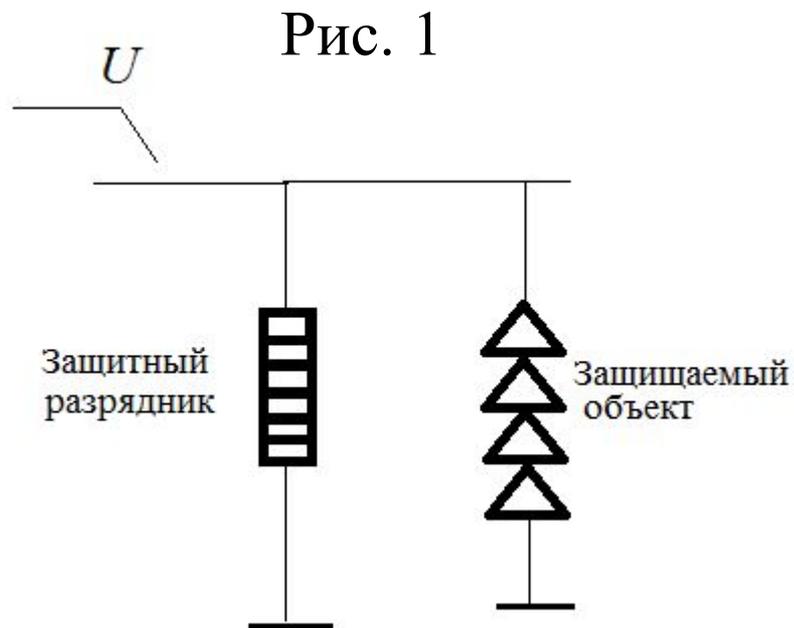
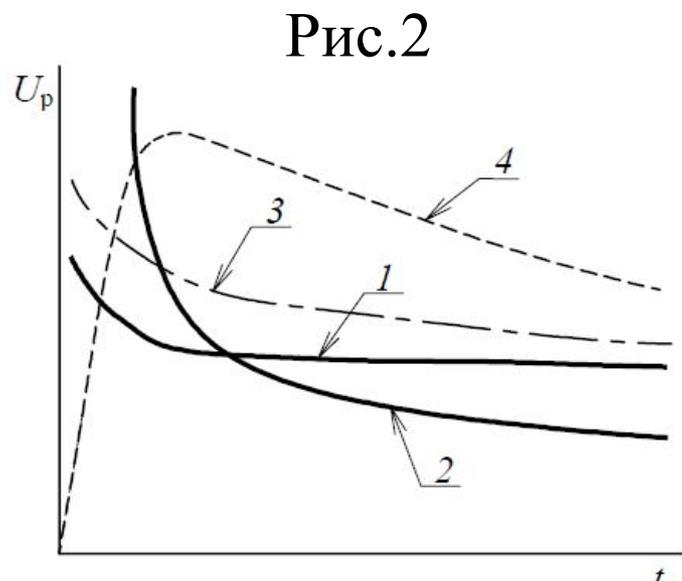


$$K = \frac{U_{p50\%имп}}{U_p \sim}$$

← 50% разрядное импульсное напряжение

← Разрядное напряжение при промышленной частоте

Координация ВСХ защитных разрядников и защищаемого оборудования



ВСХ защитных разрядников и изоляции:

- 1 – ВСХ вентильного разрядника (однородное поле);
- 2 – ВСХ трубчатого разрядника (резконеоднородное поле);
- 3 – ВСХ защищаемого объекта; 4 – импульс напряжения

Коронный разряд

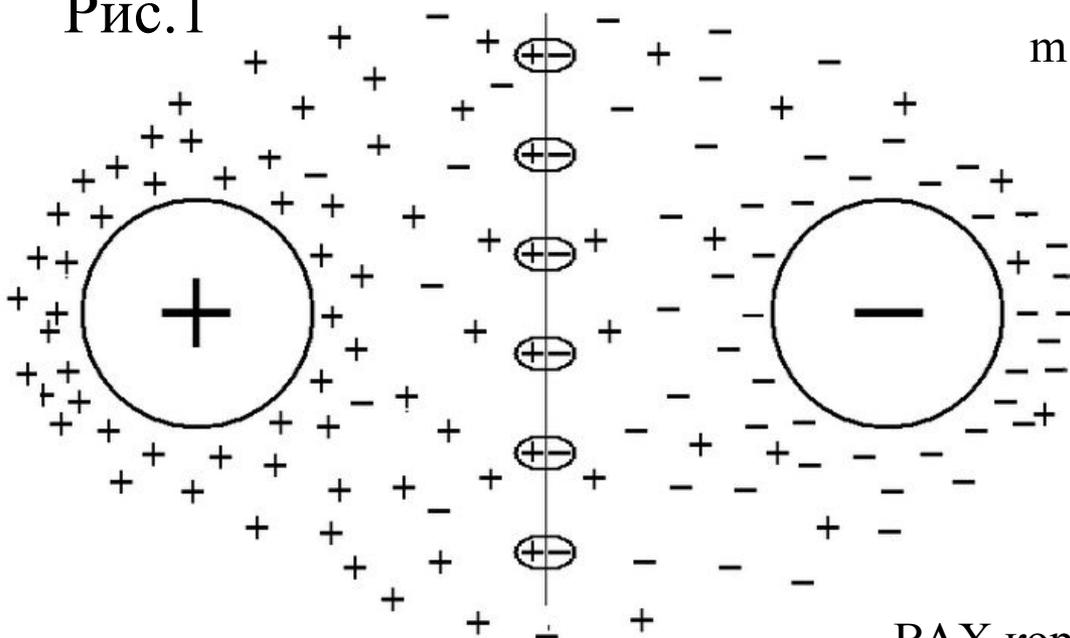


Общие характеристики:

1. Лавинная и стримерная форма
2. Локализация ионизационных процессов вблизи криволинейных поверхностей электродов
3. Электромагнитные (0.154-100 МГц) и акустические помехи
4. Потери на воздушных линиях электропередачи в плохую погоду 100-200 кВт/км

Корона при постоянном напряжении

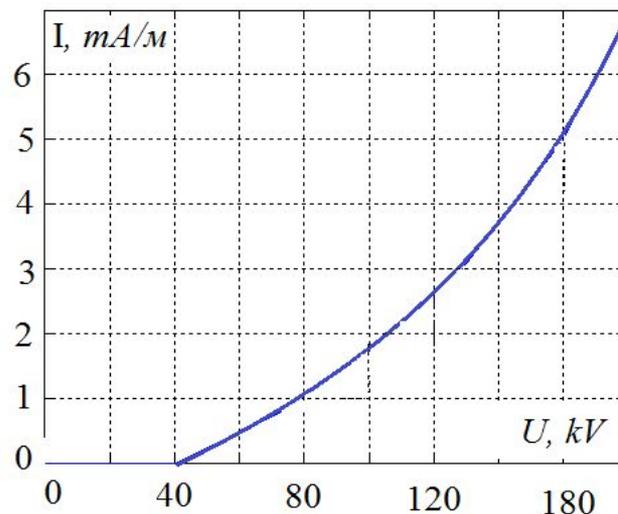
Рис.1



Напряженность начала короны

$$(1) \quad E_k = 23.3\delta m \left(1 + \frac{0.62}{(r\delta)^{0.38}} \right) \text{кВ/см}$$

m – коэффициент шероховатости

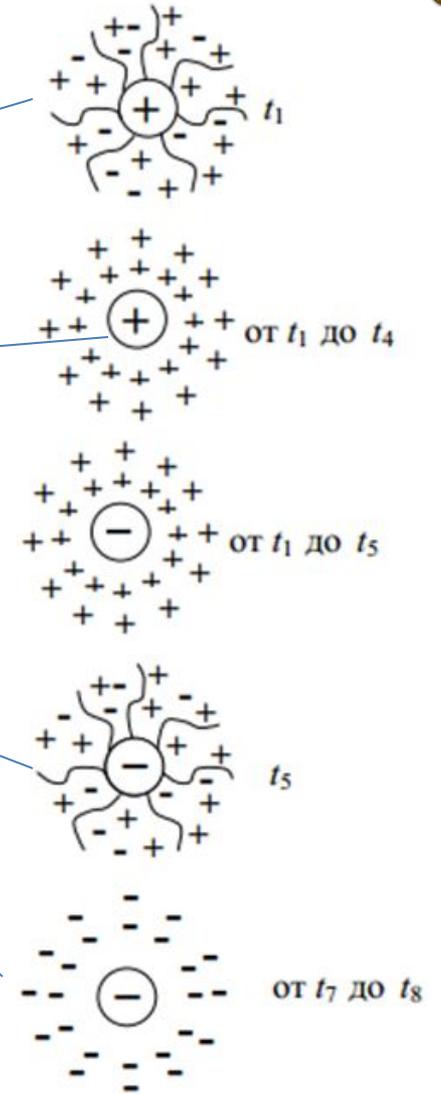
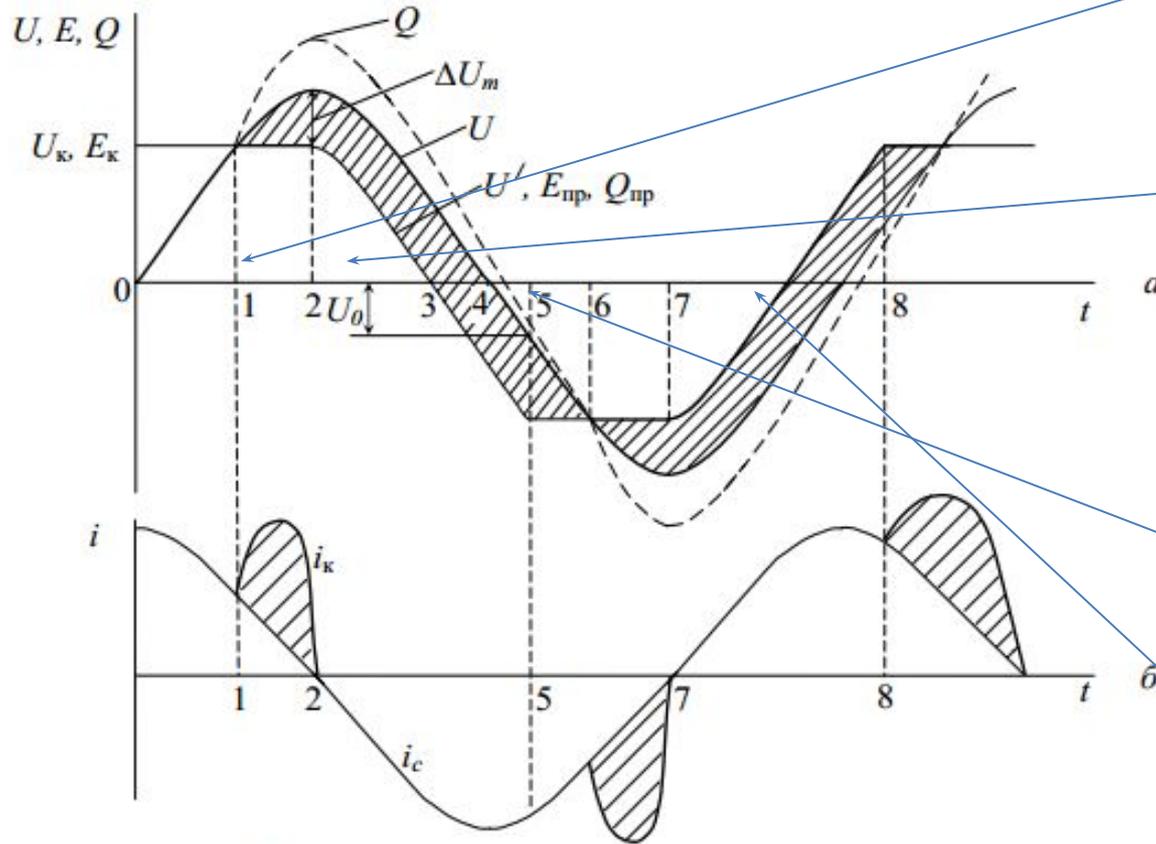


ВАХ короны (ряд проволок $r=1.5$ мм между плоскостями)

Корона при переменном напряжении



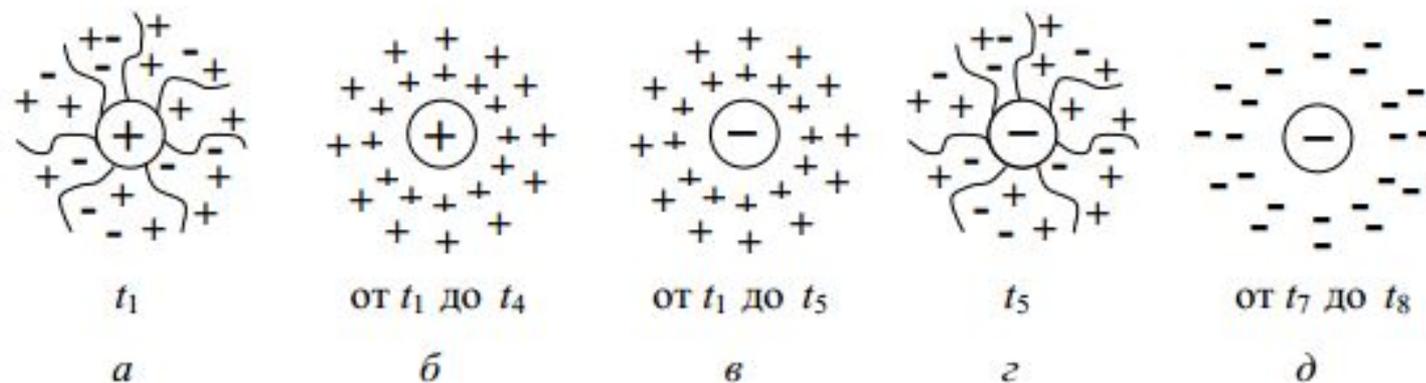
Емкостной ток провода на землю $i_c = C \frac{du}{dt}$



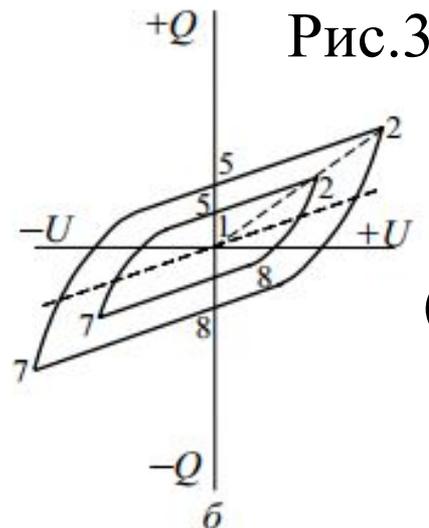
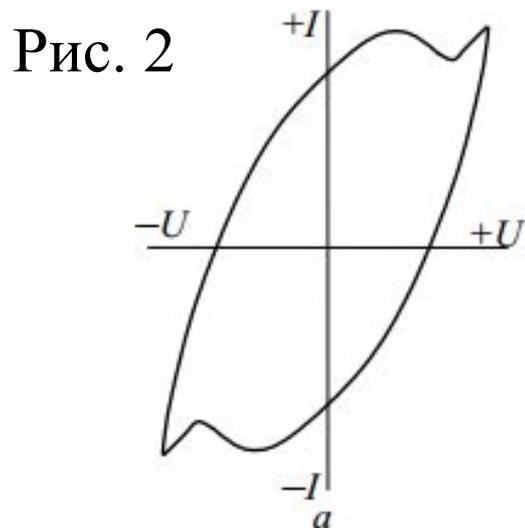
Корона на проводах при переменном напряжении:

a — изменение во времени напряжения и напряженности электрического поля на проводе и суммарный заряд; *б* — емкостный ток (i_c) и ток короны (i_k)

Рис.1



Объемные заряды в окрестности провода в различные моменты времени



Мощность потерь на корону

$$(1) P = \frac{1}{T} \int_0^T u \cdot i dt = \frac{1}{T} \int_0^T u \cdot dQ$$

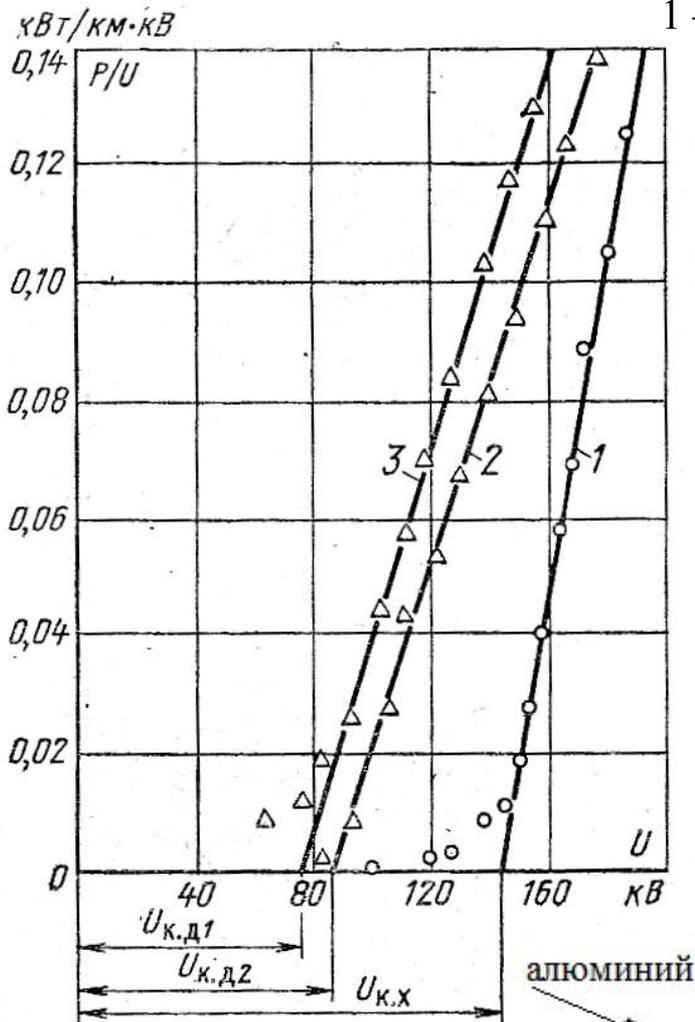
Характеристики короны:

a— вольт-амперная характеристика короны; б— вольт-кулоновая характеристика короны

Мощность потерь на корону по опытным данным



1 – хорошая погода 2 – дождь 1мм/ч 3 – дождь 36 мм/ч



$$E_k = 23.3m\delta \left(1 + \frac{0.62}{(r\delta)^{0.38}} \right) \quad (1)$$

m - коэффициент гладкости

Погода	m
хорошая	0.85
туман	0.7
иней, гололед, изморозь	0.6

Каплеобразование → рост потерь

«старение» провода → Уменьшение потерь

Потери на корону на
проводе АСО-150

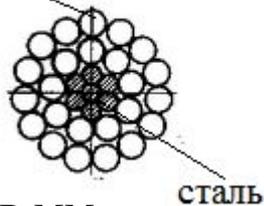


Рис. 1

$S=150$ кв.мм

сталь

Расщепление проводов для снижения потерь на корону

Поле одиночного провода (ТОЭ)

В.Ф.Миткевич 1910

$$E = \frac{q}{2\pi\epsilon r} = \frac{C_0 U_\phi}{2\pi\epsilon r} \quad (1)$$

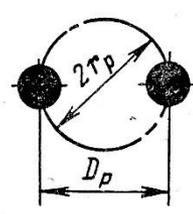
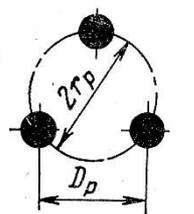
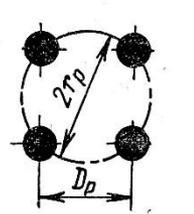
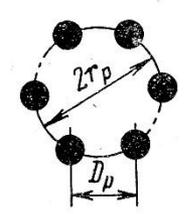
$$E_{\max} = \frac{C_0 U_\phi}{2\pi\epsilon_0 r_0 n} \left[1 + (n-1) \frac{r_0}{r_p} \right] \quad (2)$$

C_0 - рабочая емкость фазы



Эквивалентные радиусы и коэффициент усиления поля для некоторых типов расщепленных проводов

$$U_H = \frac{2\pi\epsilon_0 m n r_0 E_n}{1 + (n-1)(r_0/r_p)} \cdot \frac{1}{C_0} \quad (3)$$

Характеристика провода	Эскиз расщепленного провода			
				
Число проводов в фазе	2	3	4	6
Радиус расщепления r_p	$\frac{D_p}{2}$	$\frac{D_p}{\sqrt{3}}$	$\frac{\sqrt{2}}{2} D_p$	D_p
Эквивалентный радиус r_ϵ	$\sqrt{r D_p}$	$\sqrt[3]{r D_p^2}$	$\sqrt[4]{2} \sqrt[4]{r D_p^3}$	$\sqrt[6]{6} \sqrt[6]{r D_p^5}$
$k_y = \frac{E_{\max}}{E_{\text{ср}}}$	$1 + 2 \frac{r}{D_p}$	$1 + 2 \sqrt[3]{3} \frac{r}{D_p}$	$1 + 3 \sqrt[4]{2} \frac{r}{D_p}$	$1 + 5 \frac{r}{D_p}$

n - число проводов в фазе

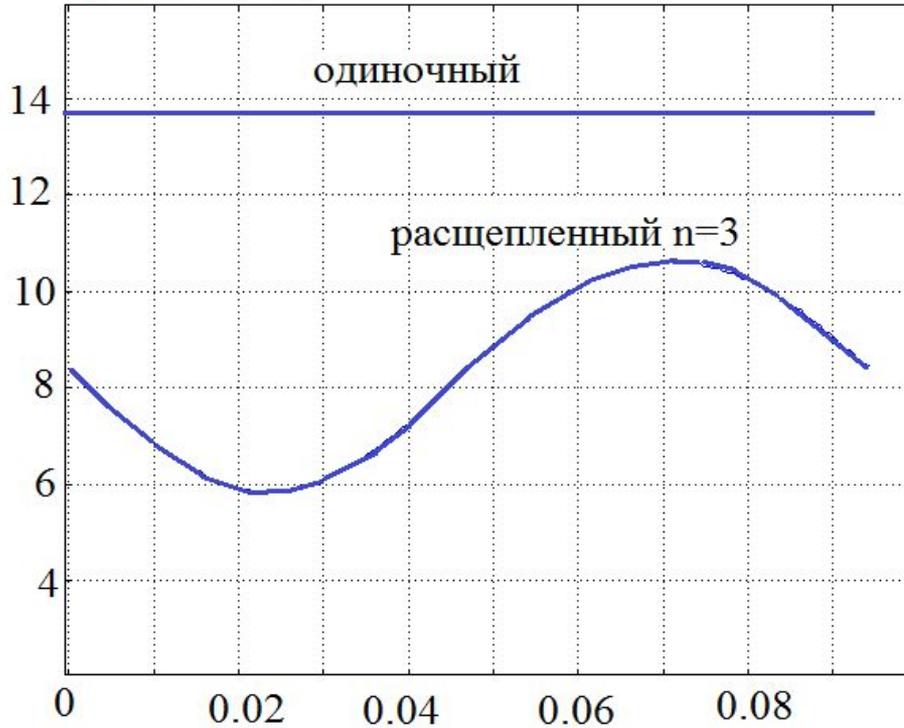
m - коэффициент шероховатости

Эквивалентный радиус

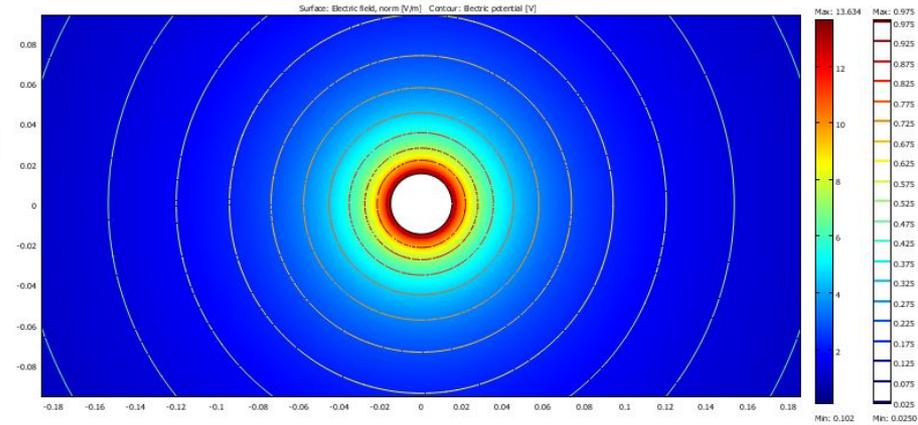
r_ϵ - радиус одиночного провода равной емкости



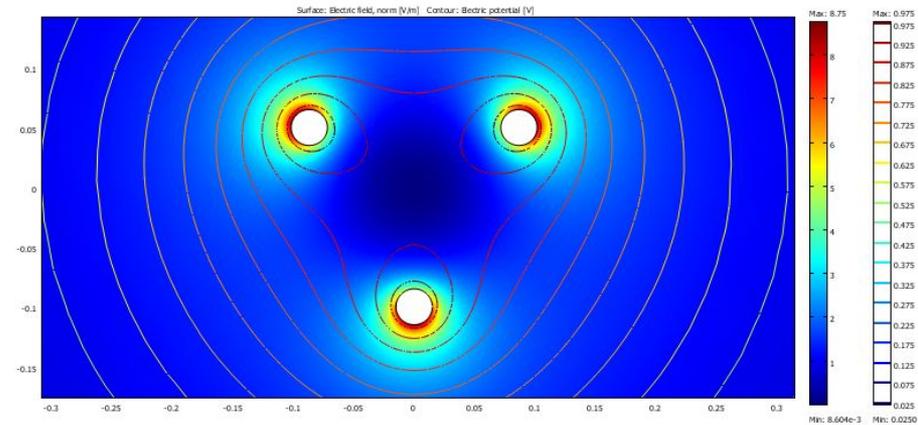
Распределение напряженности на поверхности провода (о.е.)



Картина поля одиночного провода



Картина поля расщепленного провода



Среднегодовые потери на корону по опытным данным

Н.Н. Тиходеев, Л.В. Егорова

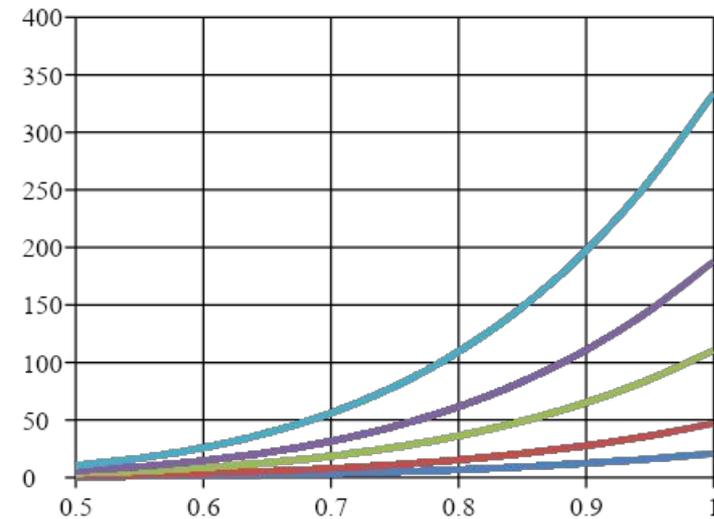


$$P_k = 2.5 \cdot 10^{-4} U_{\phi}^2 \left(\frac{\bar{U}_{\phi}}{\bar{U}_k} \right)^5 \quad \text{кВт/км} \quad \bar{U}_{\phi}, \bar{U}_k$$

↓

$P_k, \text{ кВт/км}$

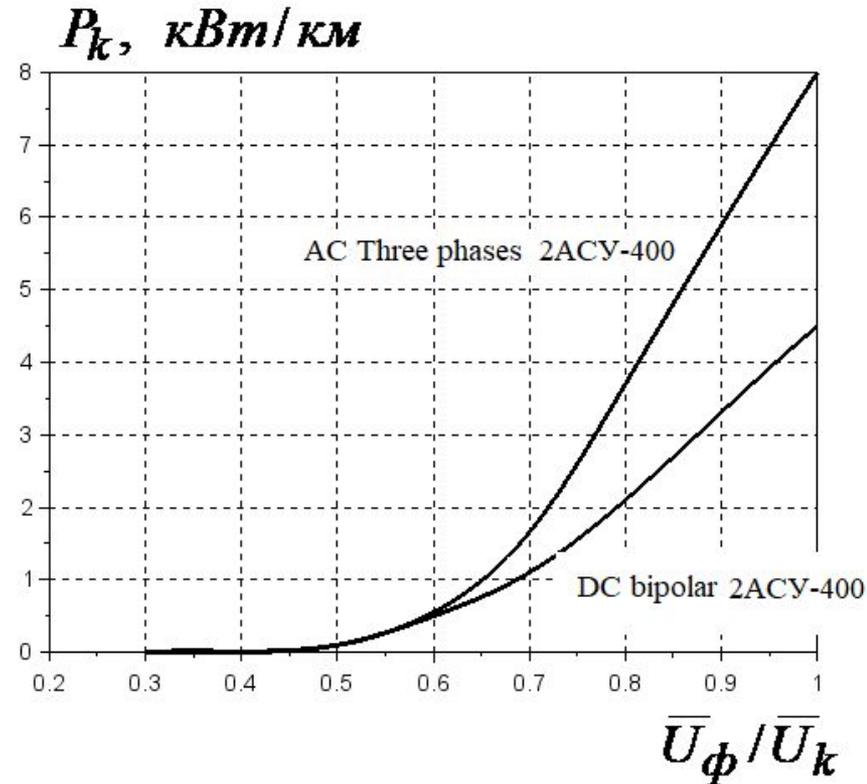
Действующие значения фазного напряжения и среднего по трем фазам критического напряжения короны, кВ



$\bar{U}_{\phi} / \bar{U}_k$

Допуск на радиопомехи

100 мкВ/м на частоте 100 МГц
на расстоянии 100 м от
крайнего провода в течение не
менее 90% времени года



Сравнение потерь на корону в линии
постоянного и переменного тока

Визуализация коронного разряда с помощью ультрафиолетовых камер.

