

## Средства защиты от перенапряжений

### Превентивные

- грозозащитные тросы
- молниеотводы
- качественно выполненные заземления
- выключатели без повторных зажигания дуги
- заземление нейтрали через дугогасящие катушки

### Коммутационны

е

- защитные искровые промежутки
- трубчатые разрядники
- вентильные разрядники
- ограничители перенапряжений нелинейные (ОПН)

# Грозозащитный трос: сталь или сталь-алюминий

Для линий 110 кВ и выше на стальных и ж/б опорах применяются по всей длине

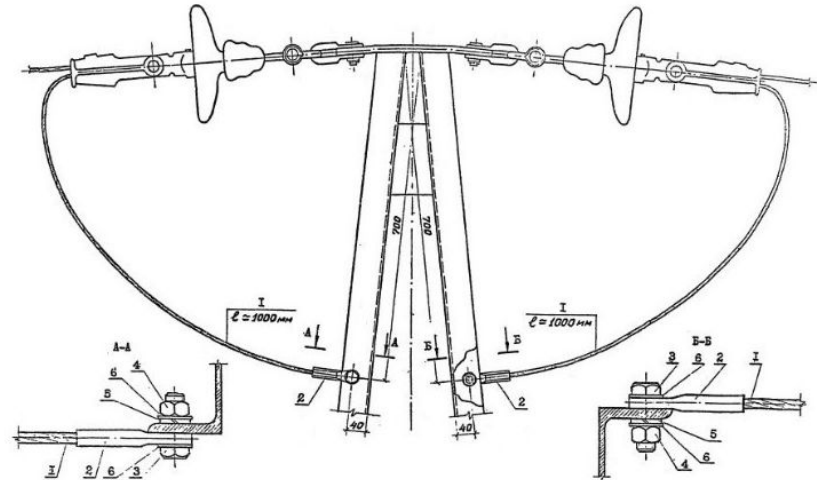
Оцинкованные стальные проволоки



Для линий 35 кВ и ниже применяются только на подходах к п/с

Для ВЛ 110 кВ трос монтируют непосредственно на опору, ВЛ 220 кВ и выше - на изоляторах

### Монтаж грозотроса на изоляторах



Проблемы эксплуатации грозотроса : коррозия, «пляска»

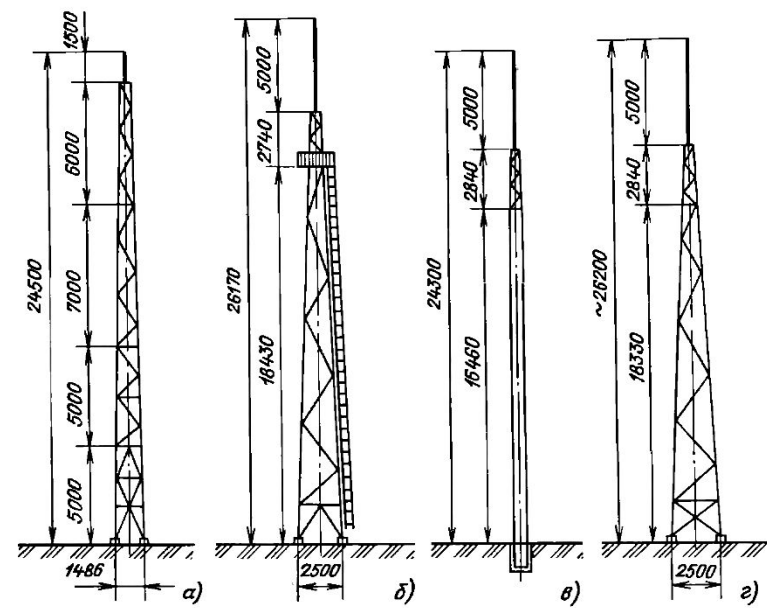
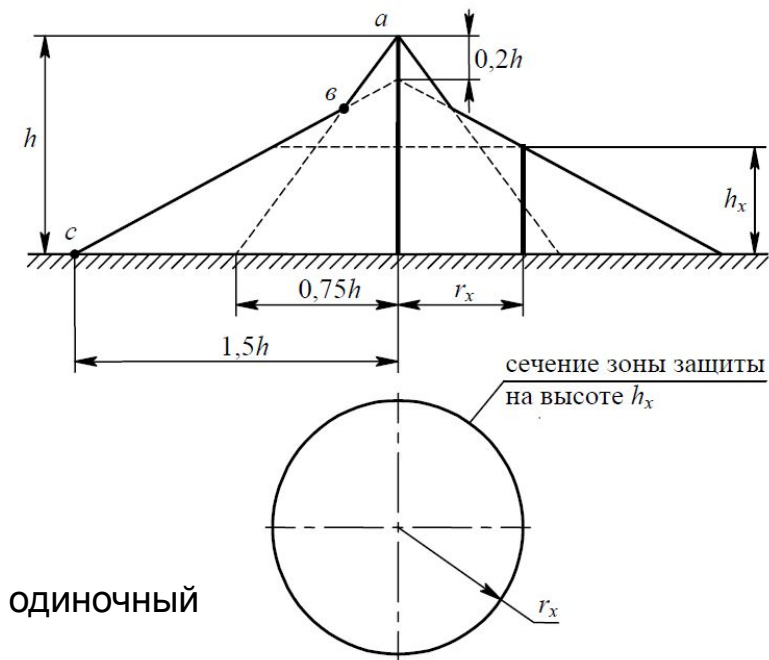
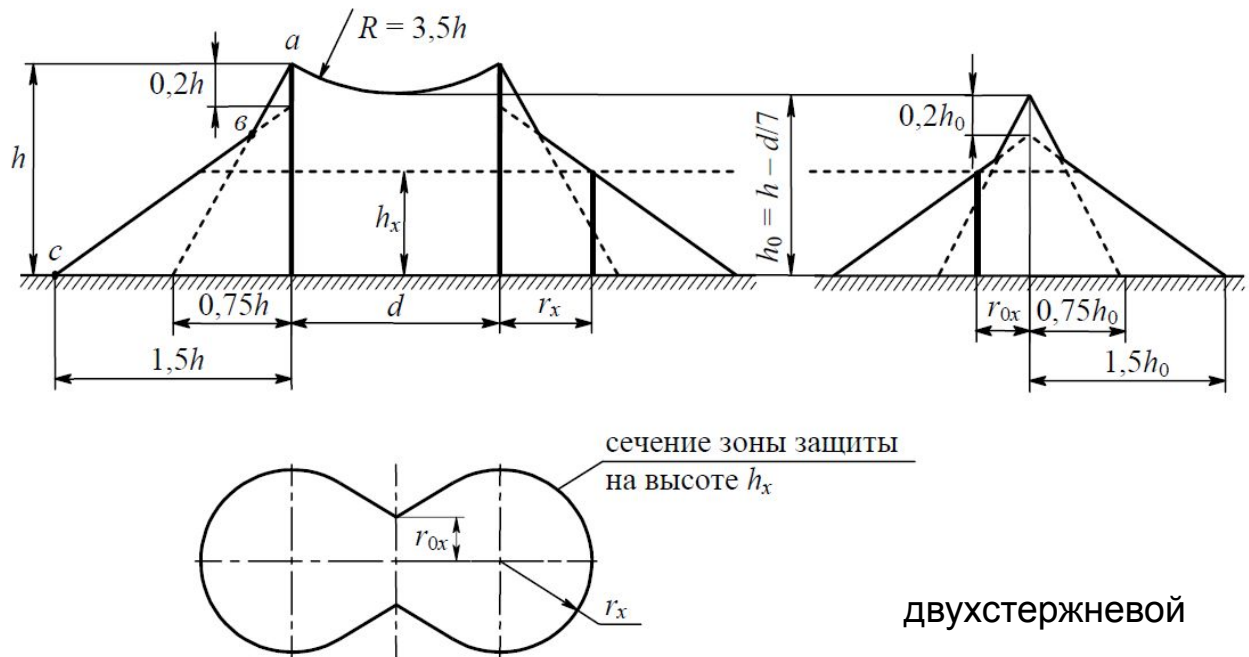


Рис. 6.5. Стержневые молниеотводы:  
а, г — металлические; б — прожекторная мачта; в — железобетонный

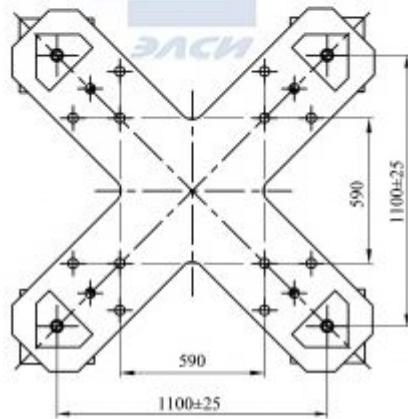
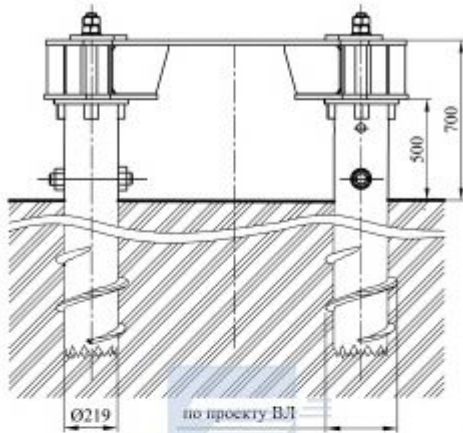
## Стержневые молниеотводы

### Зоны защиты

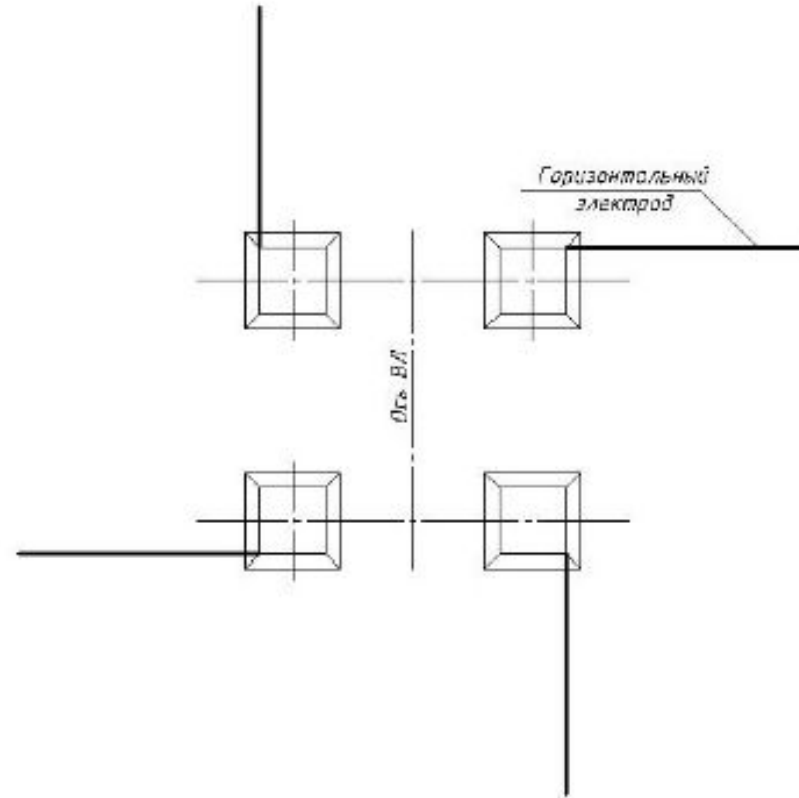
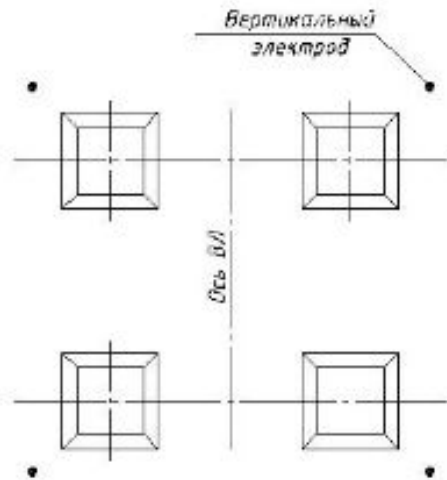


# Заземляющие устройства (ЗУ)

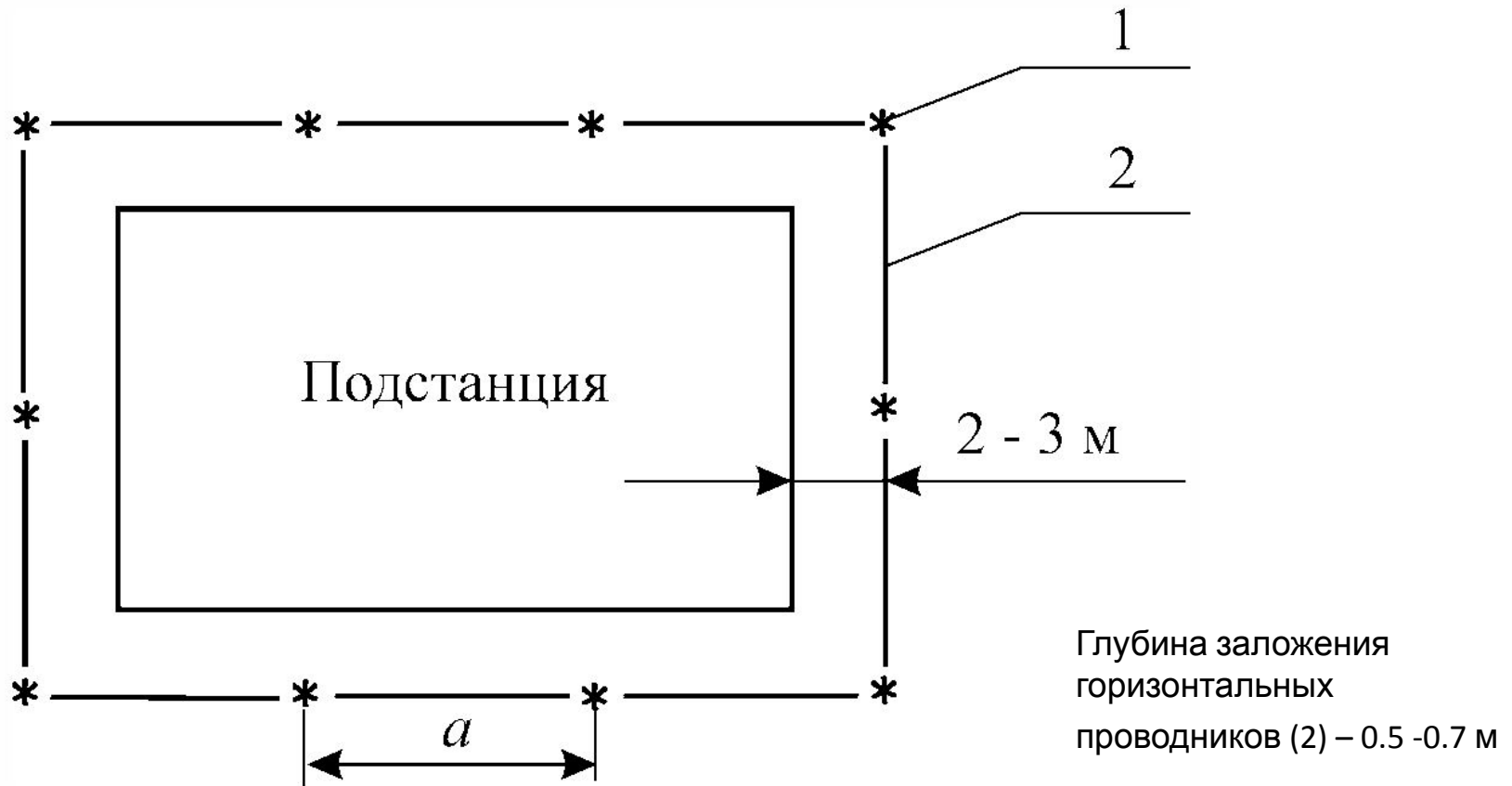
Естественное заземление сваями фундамента опоры



Искусственные заземлители опор применяются при недостаточно низком сопротивлении растекания тока естественного заземления. Выполняется стальным прутом >10 мм или трубами



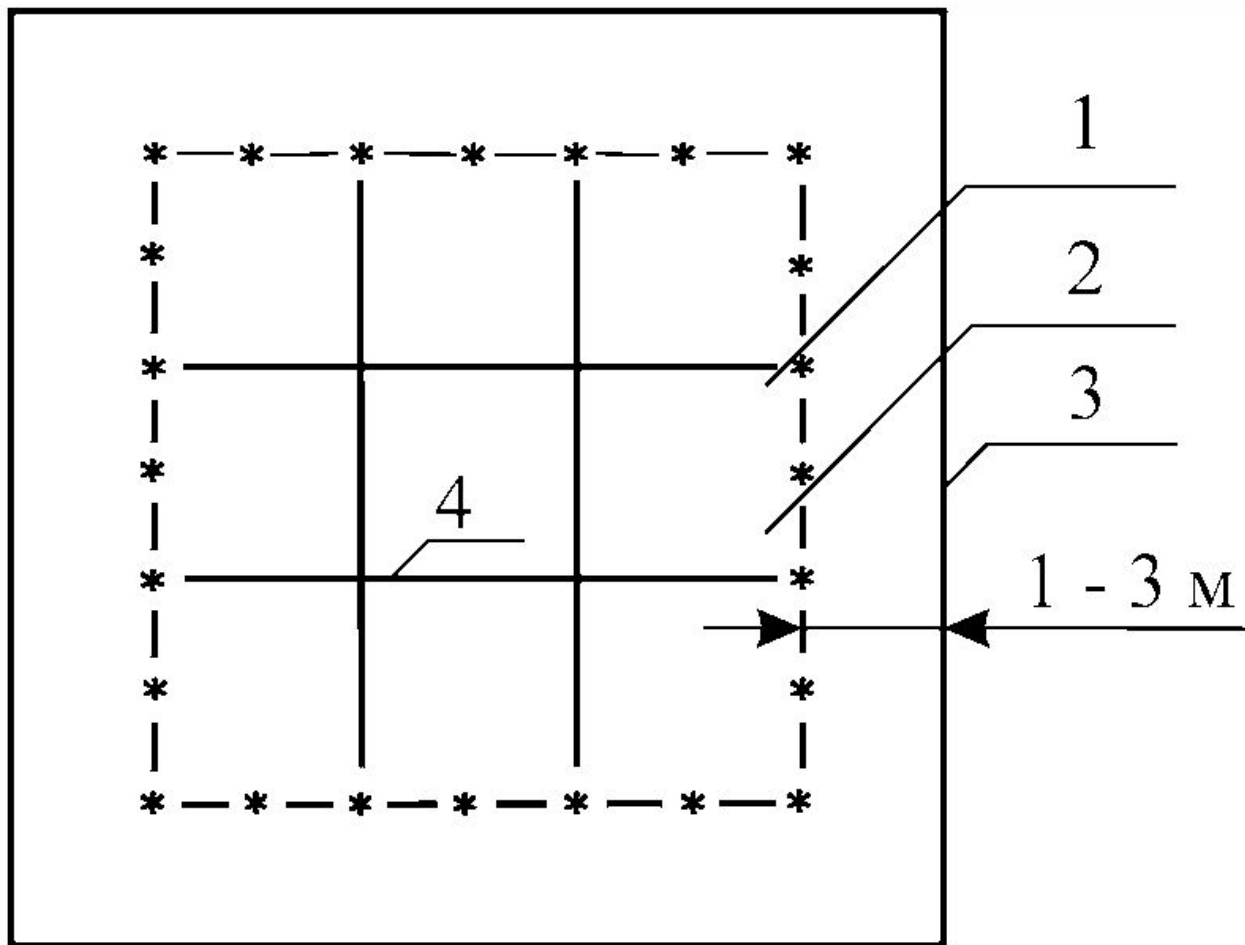
# Устройство заземляющего контура подстанций высокого напряжения



Контурный заземлитель закрытой, отдельно стоящей подстанции:  
1 – вертикальные электроды; 2 – горизонтальный электрод

Длина вертикальных электродов 5-10 м. Материалы: пруток (>10 мм), уголок толщина полки > 4 мм, трубы с толщиной стенки более 3.5 мм).

**Основная эксплуатационная проблема - коррозия**



Контурный заземлитель открытой подстанции:

- 1 – вертикальные электроды; 2 – горизонтальный электрод; 3 – ограда;
- 4 – выравнивающая сетка

**Допустимое сопротивление  $R_3$  (Ом) при протекании тока  
промышленной частоты**

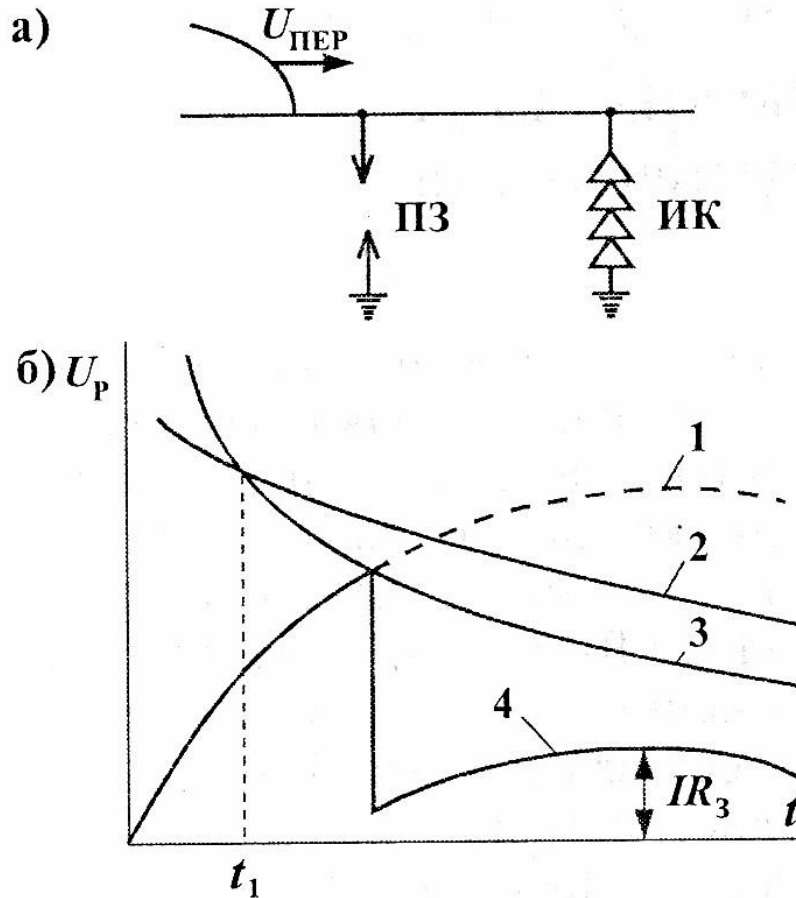
Объект	Величина $\rho_3$ (Ом·м)				
	До 100	100–500	500–1000	1000–5000	Более 5000
Подстанции 110кВ	0,5	1,5–0,75	0,75–1,1	1,1–3,7	0,5(0,87 + $\rho_3/770$ )
Подстанции 3–35 кВ	250/ $I_3$ , но не более 10 Ом	250/ $I_3$ – 375/ $I_3$	250/ $I_3$ – 550/ $I_3$	250/ $I_3$ – 1850/ $I_3$	250/ $I_3$ – (0,87 + $\rho_3/770$ )
Опоры линии	$\leq 10$	$\leq 15$	$\leq 0$	$\leq 30$	$\leq 6 \cdot 10^{-3} \rho_3$
Отдельно стоящие мол- ниеотводы	10–15				
Стержневые молниеотво- ды, установ- ленные на порталах	4–5				

Примечания: 1.  $I_3$  — наибольший ток, протекающий через заземляющее устройство;



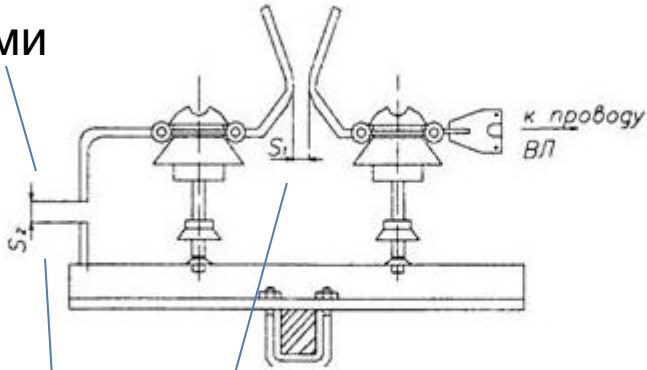
# Коммутационные средства защиты от перенапряжений

Принцип защиты от перенапряжений защитным коммутационным аппаратом



## Защитные искровые промежутки

Предотвращает  
закорачивание  
птицами



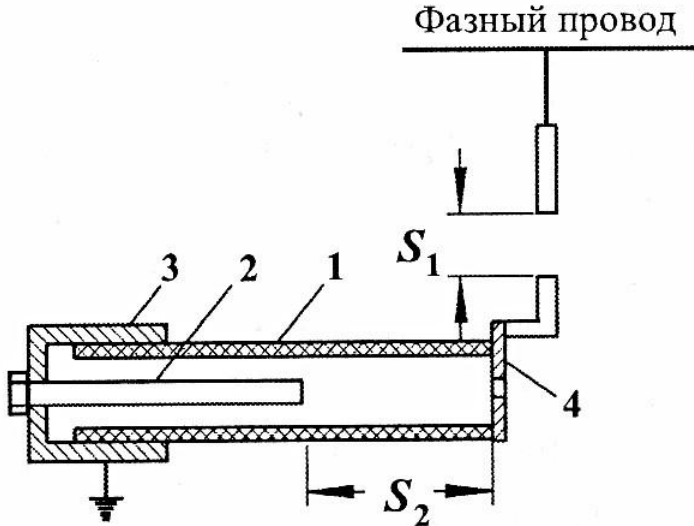
Роговой искровой промежуток для защиты подстанций и ВЛ



Параметры	Номинальное напряжение, кВ									
	3	6	10	20	35	110	150	220	330	500
Длина защитного промежутка, мм	20	40	60	140	250	650	930	1350	1500	1800
Длина дополнительного искрового промежутка, мм	5	10	15	20	30	—	—	—	—	—
Разрядное напряжение промышленной частоты 50 Гц, кВ	20	34	45	70	105	252	348	495	560	750
Импульсное разрядное напряжение, кВ										
— положительной полярности;	33	51	66	121	195	466	618	735	945	1065
— отрицательной полярности	34	53	68	134	220	510	698	817	1070	1190

Недостатки:  
нестабильность  
параметров,  
влияние  
климатических  
условий, срез  
напряжения

# Трубчатые разрядники



1 – газогенерирующая трубка (винипласт, фибробакелит)  
2, 4 – электроды  
3 - корпус

Номинальное напряжение, кВ	Наибольшее допустимое напряжение на разряднике, кВ <sup>1</sup>	Обрываемые токи КЗ, кА <sup>1</sup>		Внешний промежуток, мм (не менее)	Импульсное пробивное напряжение при импульсе 1,2/50 мкс, кВ <sup>2</sup> (не более)		Пробивное напряжение на промышленной частоте, кВ <sup>1</sup> (не менее)	
		нижний предел	верхний предел		при $t_p = 2 \text{ мкс}$	минимальное	в сухом состоянии	под дождем
3	3,5	0,3	2,5	5	50	45	10	7
		0,5	5,0					
		2,0	10,0					
		5,0	20,0					
6	6,9	0,2	1,0	10	75	65	33	30
		0,5	2,5					
		0,5	5,0					
		1,0	5,0					
		2,0	10,0					
		5,0	20,0					

Недостатки: износ газогенерирующего элемента, наличие верхней и нижней граница для отключаемого тока, газовые выбросы в процессе срабатывания при давлении 10-20 Атм

# Параметры трубчатых разрядников на высокие классы напряжения

Номинальное напряжение, кВ	Наибольшее допустимое напряжение на разряднике, кВ <sup>1</sup>	Обрываемые токи КЗ, кА <sup>1</sup>		Внешний промежуток, мм (не менее)	Импульсное пробивное напряжение при импульсе 1,2/50 мкс, кВ <sup>2</sup> (не более)		Пробивное напряжение на промышленной частоте, кВ <sup>1</sup> (не менее)	
		нижний предел	верхний предел		при $t_p = 2$ мкс	минимальное	в сухом состоянии	под дождем
10	11,5	0,2	1,0	15	80	70	40	38
		0,5	2,5					
		0,5	5,0					
		1,0	5,0					
		2,0	10,0					
		5,0	20,0					
35	40,5	0,2	1,0	100	230	200	95	80
		0,5	2,5					
		1,0	5,0					
		2,0	10,0					
		5,0	20,0					
		8,0	30,0					
110	100,0	0,5	2,5	400	600	500	235	220
		1,0	5,0					
		2,0	10,0					
		5,0	20,0					
		8,0	30,0					
150	138,0	2,0	10,0	500	700	650	450	350
		5,0	20,0					
220	200,0	2,0	10,0	700	1200	1150	750	500
		5,0	20,0					

Преимущества РТ перед «рогами» - отсутствие длительного КЗ при срабатывании. Недостатки: нестабильность вольт-секундных характеристик, наличие срезов напряжения.



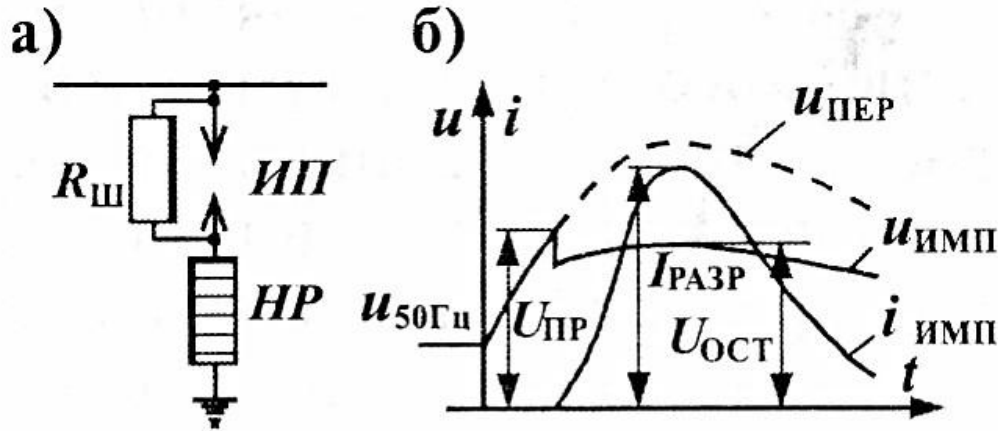
Трубчатый разрядник серии РТВ



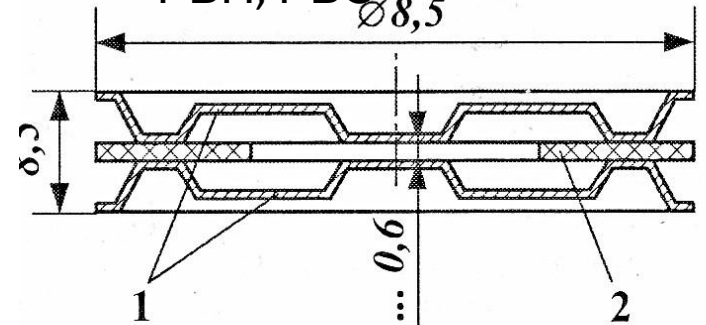
Разрядники РТФ-6, РТФ-10, РТФ-35 кВ

# Вентильные разрядники

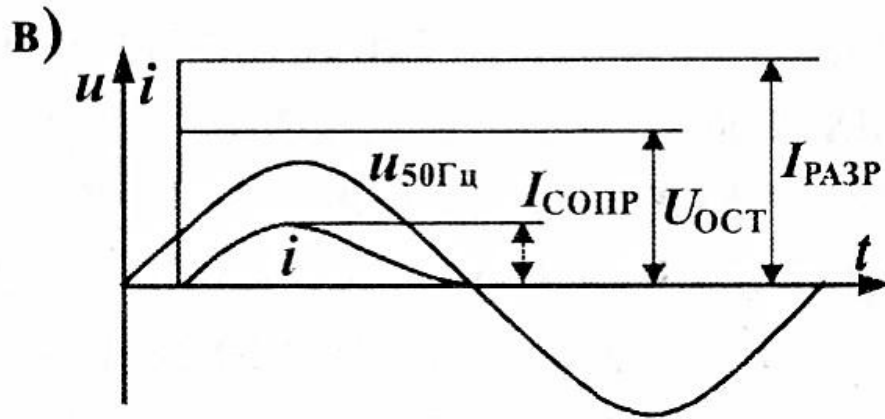
Принцип работы



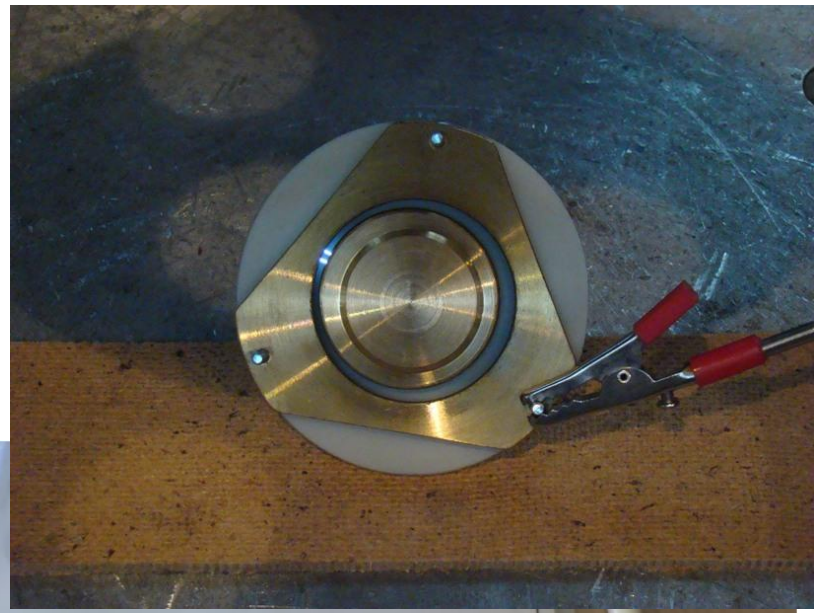
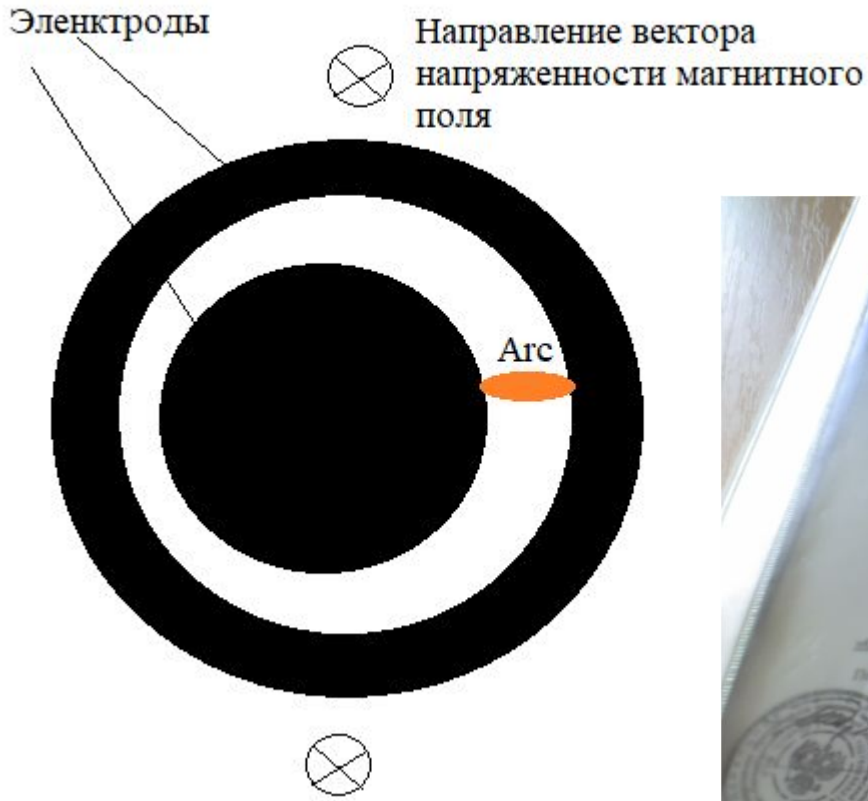
Искровые промежутки с неподвижной дугой разрядников РВС, РВП, РВО



Относительно малая величина сопровождающего тока <math>< 100 \text{ A}</math>

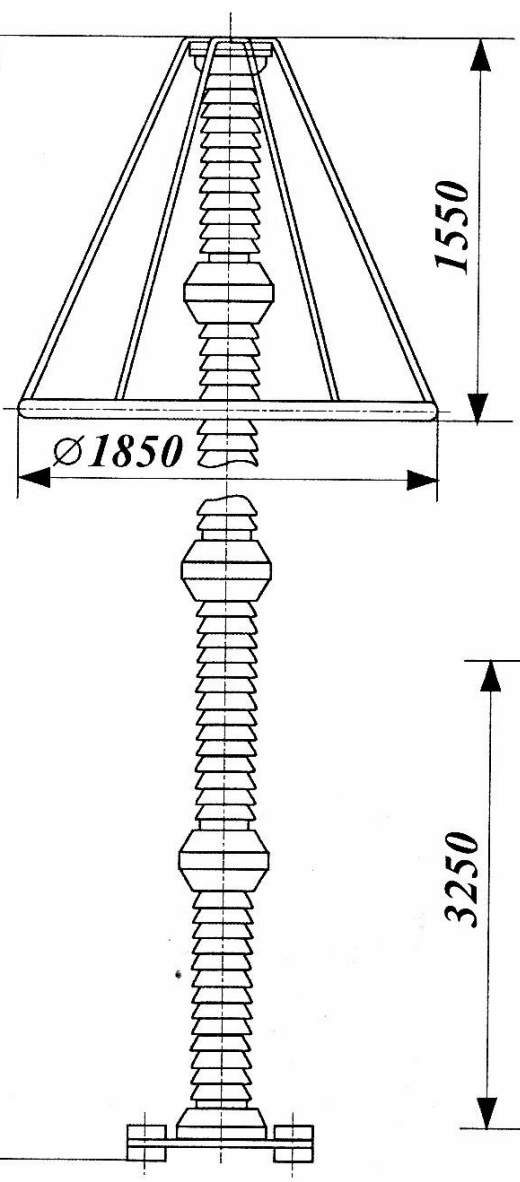


# Устройство искровых промежутков разрядников РВМГ

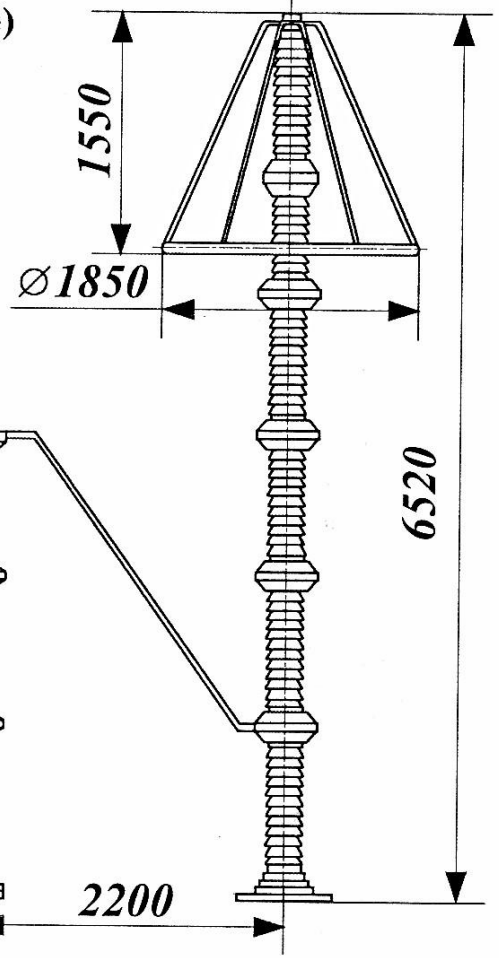


Сопровождающий ток более 1000 А

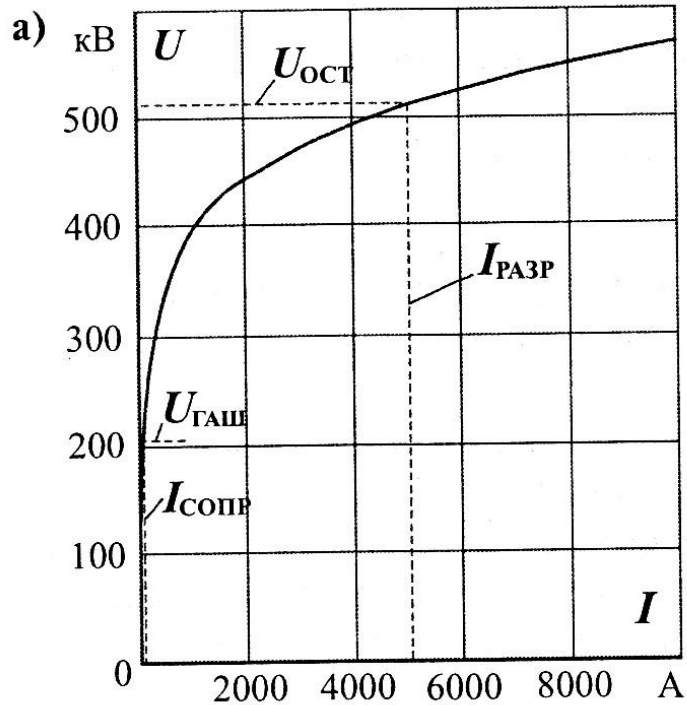
1) 6500 (PBMI-220M; PBMA-220), 6660 (PBMI-I-220)



e)

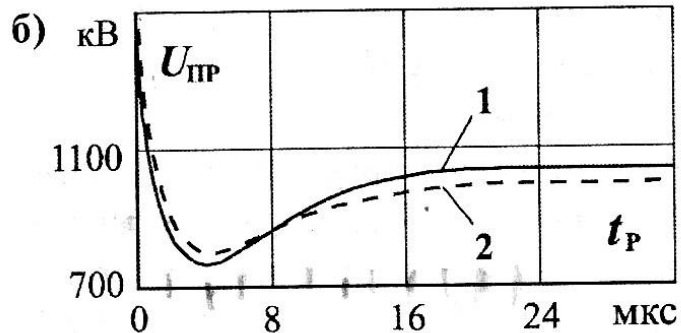






Вольт-амперная характеристика  
резистора РВМГ- 220

Материалы для резисторов в  
вилит, тервит



Вольт-секундная характеристика  
РВМГ-500

1- положительная полярность  
импульса, 2- -отрицательная  
полярность импульса

# Нелинейные ограничители перенапряжений

Недостатки вентильных разрядников:

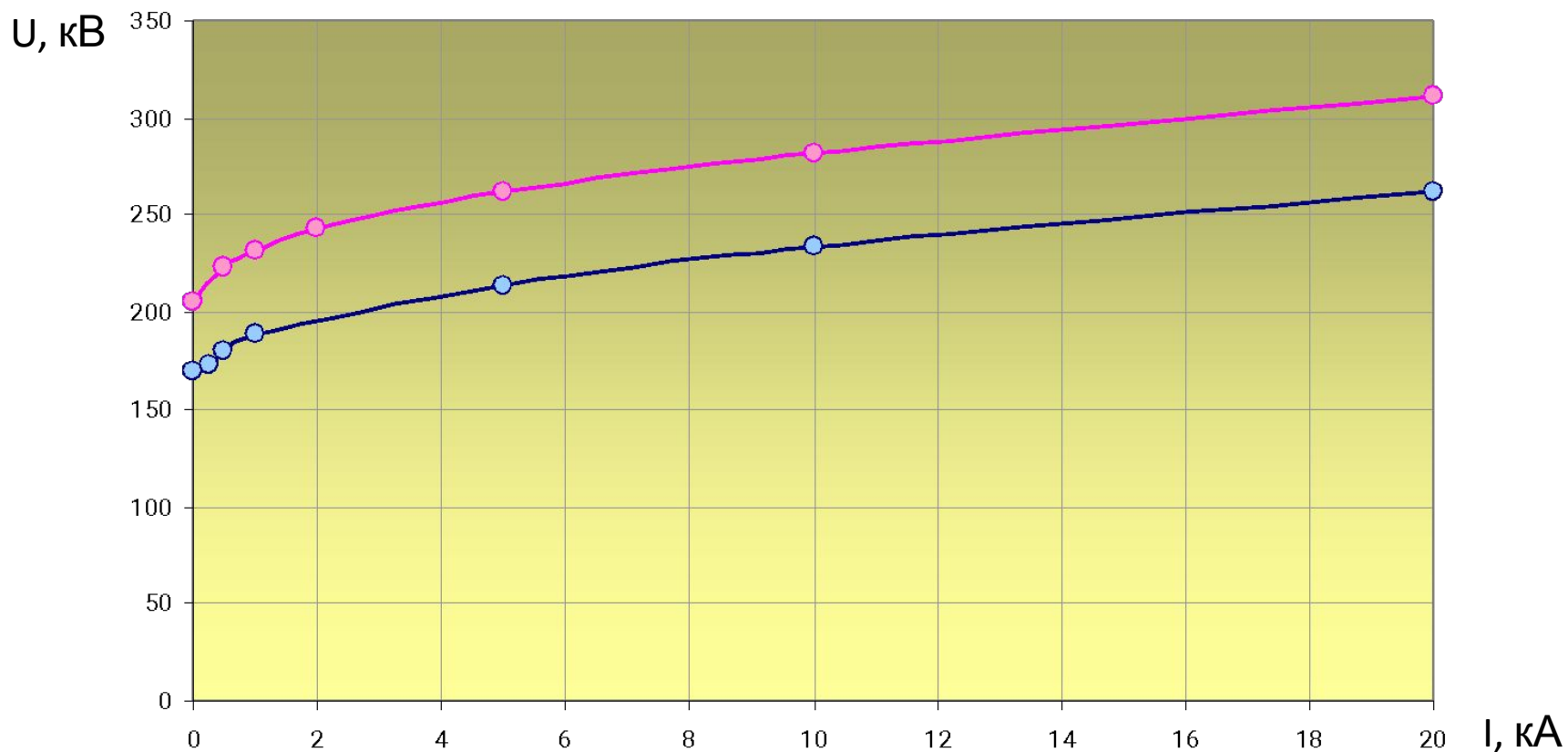
- 1) Нестабильность защитных характеристик (искровых промежутков)
  - 2) Нестабильность ВАХ вилитовых дисков (влияние температуры и влажности)
  - 3) Сложность профилактики
  - 4) Сложность конструкции
  - 5) Перенапряжения на стороне низкого напряжения трансформаторов при срезе волн перенапряжений на стороне высокого напряжения
- Преимущества окисдно-цинковых нелинейных резисторов

- 1) Резко нелинейная ВАХ
- 2) Возможность отказа от применения искровых промежутков
- 3) Малые токи (1 мА) в рабочем режиме, до 100 кА при коммутации перенапряжений

# Вольтамперные характеристики ОПН класса напряжения 110 кВ

ОПН-П-110/88/10/2 III (IV) УХЛ1; 12,9 кДж/кВ

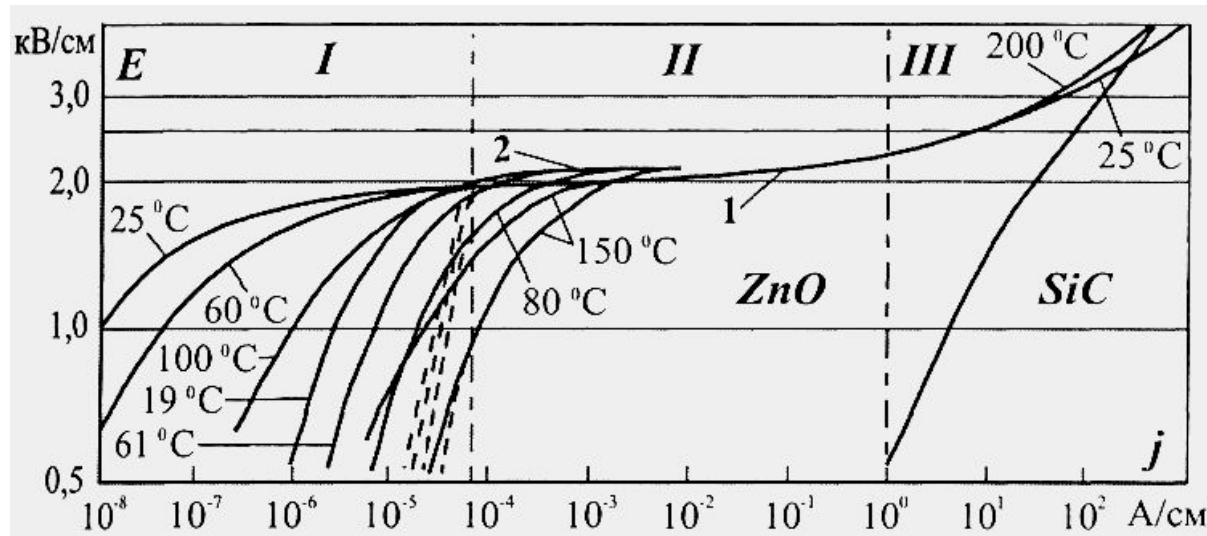
ОПН-П-110/73/10/2 III (IV) УХЛ1; 7,4 кДж/кВ



Чем ниже ВАХ, тем лучше защита от грозовых воздействий.

Выбраны два ОПН с самой высокой и с самой низкой ВАХ.

# Вольт-амперная характеристика оксидно-цинковых варисторов

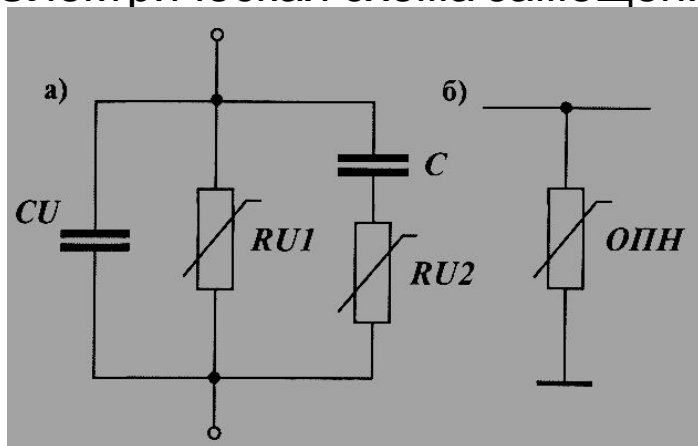


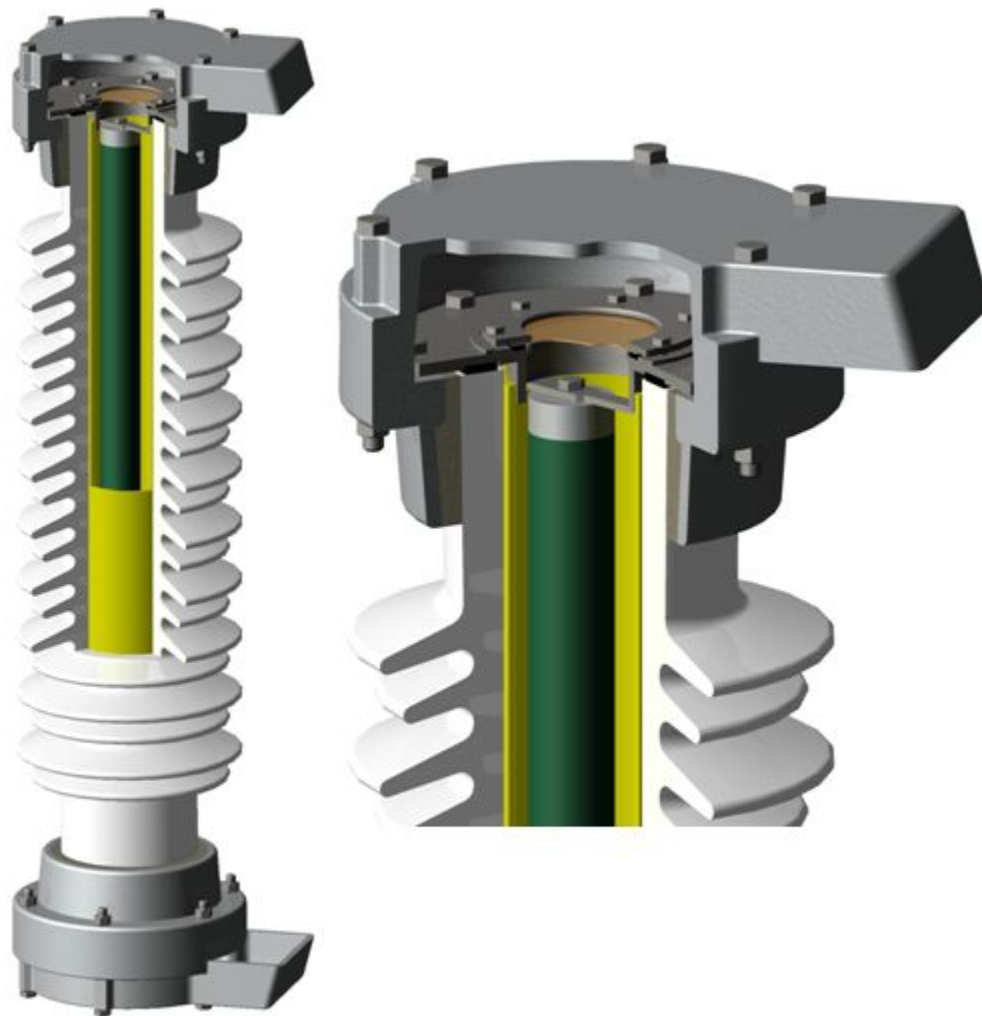
$$E = k \frac{S^\alpha}{h} j^\alpha$$

1 – постоянный ток и импульсы напряжения 8/20 мкс

2 – переменный ток (штриховые линии с учетом емкостной составляющей)

Электрическая схема замещения варистора

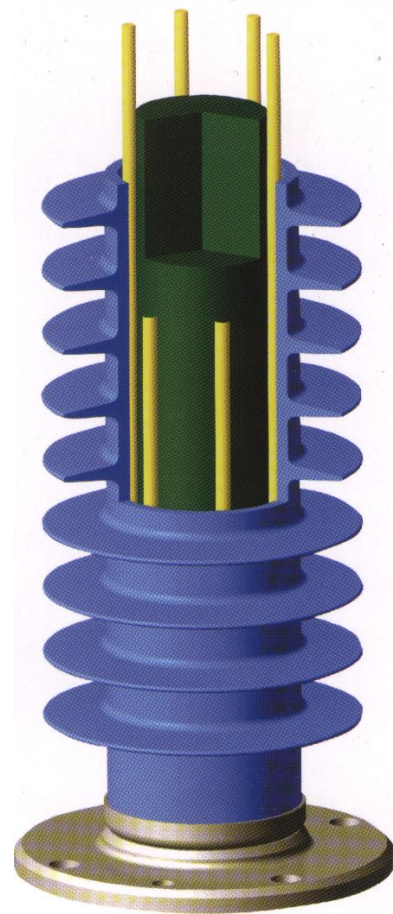
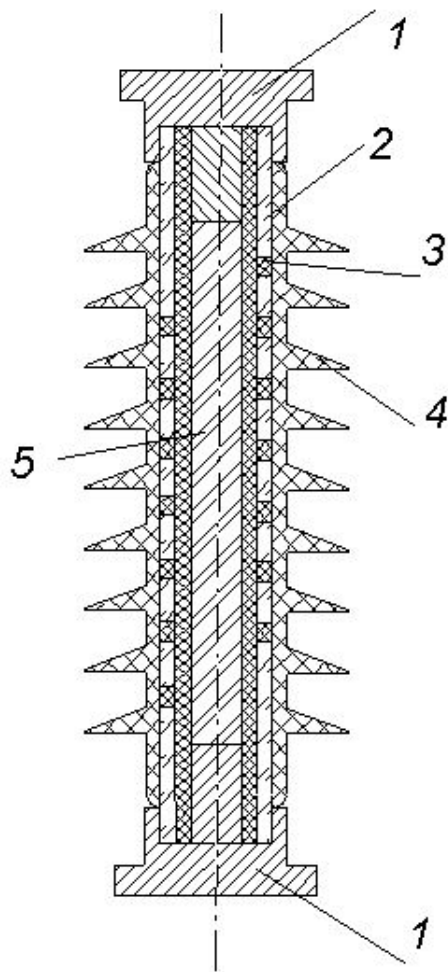




ОПН в фарфоровом корпусе.



ОПН-П-110



# Молниезащита подстанций высокого напряжения

Надежность защиты электрических станций и подстанций от грозовых перенапряжений должна быть значительно выше надежности грозозащиты линий электропередачи

Защита оборудования подстанций от прямых ударов молнии обеспечивается стержневыми молниеотводами

Необходима защита от волн, возникающих на отходящих от подстанции линиях при ударах молнии в провода или опоры этих линий

Защита от набегающих волн основана на выборе ОПН или разрядников с подходящими защитными характеристиками, выборе их числа и места установки, а также усилении защиты подходов линий для снижения числа набегающих волн с большой крутизной напряжения на фронте.

## **Уровень грозоупорности ПС**

определяется верхними пределами амплитуды тока молнии при прямых ударах в подстанцию, при которых еще не происходит прямого или обратного перекрытия между токоведущими и заземленными частями объекта.

Критерий не применим при оценке защиты от набегающих по линиям волн, так как крутизны фронтов и амплитуды импульсов могут сильно различаться в зависимости от места удара молнии

Критерием защиты от набегающих волн является кривая опасных волн в координатах крутизна – амплитуда волны перенапряжения

### Универсальный критерий для П/С ВН

среднее ожидаемое число лет безаварийной работы подстанции при грозовых воздействиях

$$\tau = \frac{1}{n_{\text{пр}} + n_0 + n_{\text{л}} + n_{\text{подх}}} \cong \frac{1}{n_{\text{л}} + n_{\text{подх}}},$$

Прямые удары молнии

Обр.

перекрытия

Приходящие по линии

Волны от ударов в зоне защищенного подхода.

Среднегодовое число превышения допустимого уровня перенапряжений при:



# П/С 330 кВ и выше

Вследствие больших габаритов подстанции защитные аппараты (ЗА) устанавливаются у каждого трансформатора и реактора

# П/С 110-220

кВ

По одному комплекту ЗА на каждую систему шин

# П/С 35 кВ и

ниже

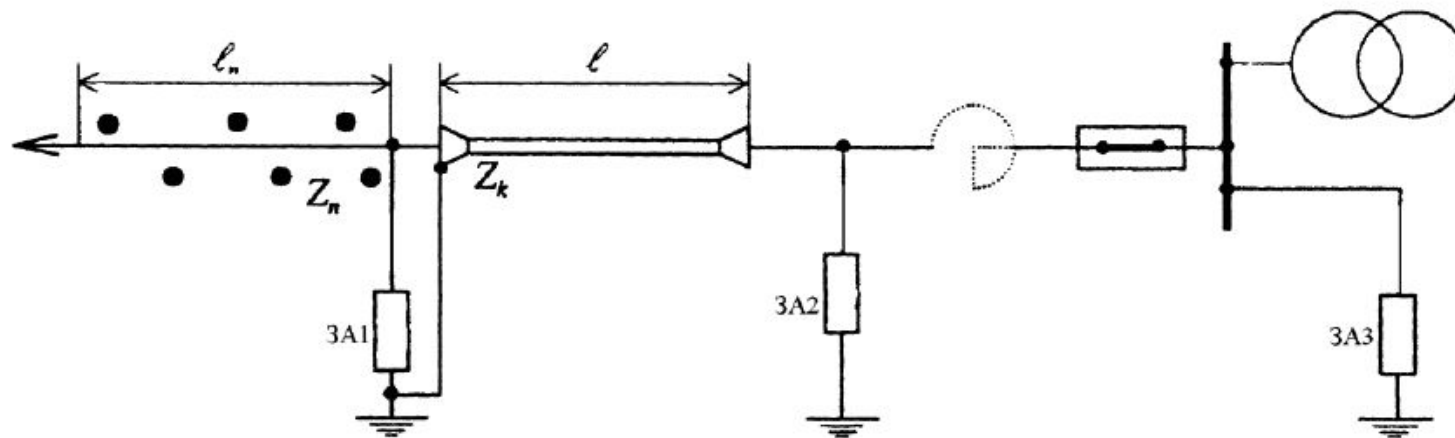


Схема грозозащиты подстанции 6–20 кВ

В схемах мощных подстанций (6–35 кВ) с большим числом отходящих кабелей устанавливают фидерные реакторы для ограничения тока короткого замыкания (рис. на предыдущем слайде). Для волны с крутым фронтом реактор представляет собой разомкнутый конец, поэтому установка ЗА между реактором и кабелем оказывается обязательной.

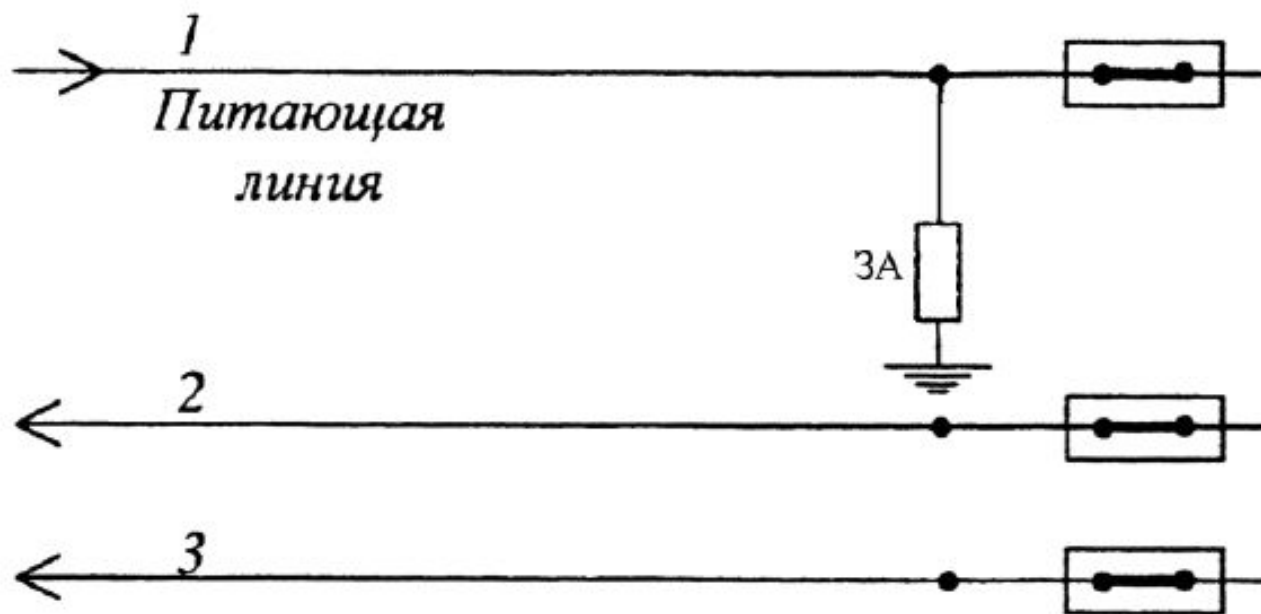
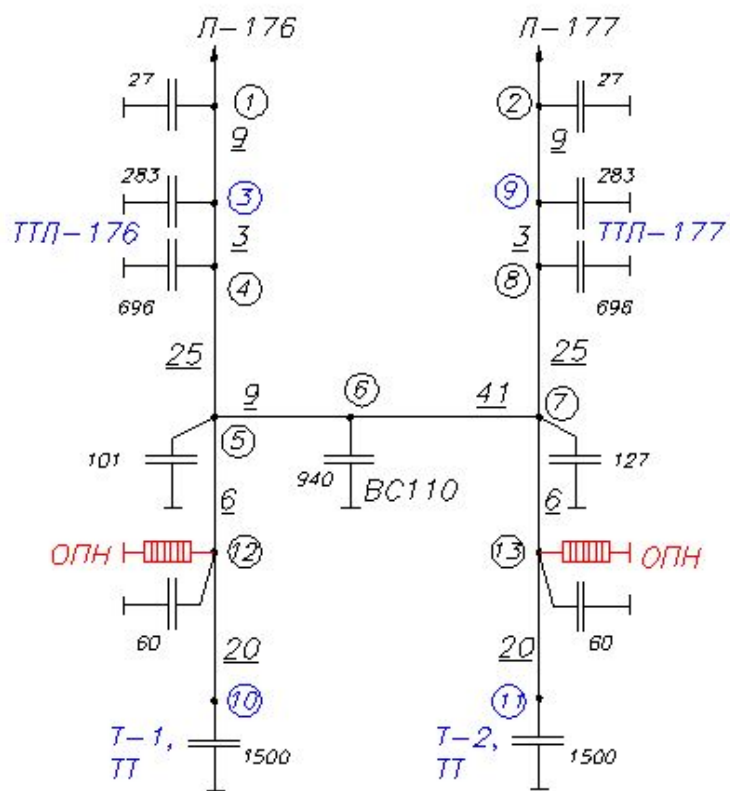


Схема грозозащиты переключательного пункта 6-10 кВ

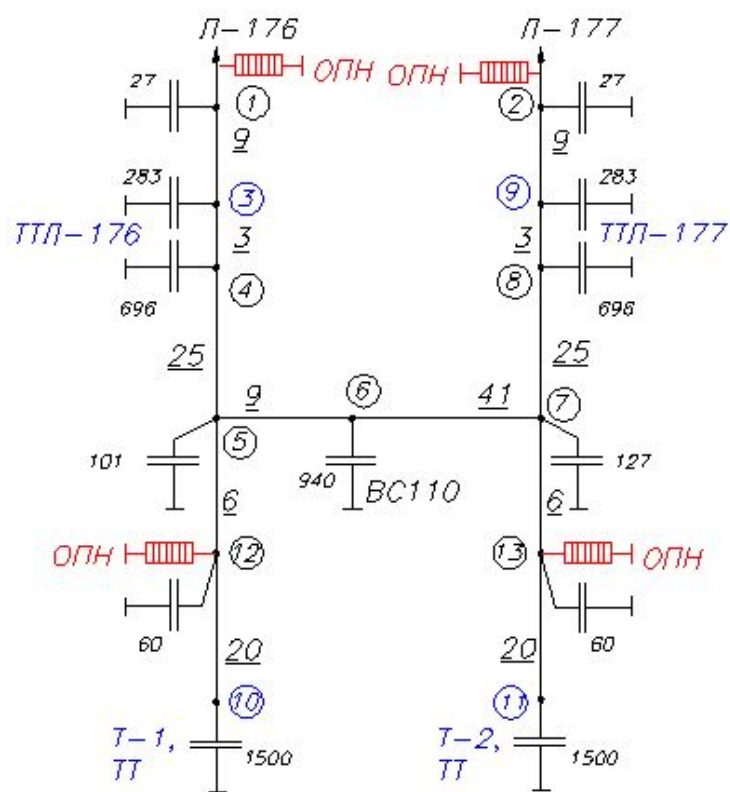
# Защита ПС110 кВ

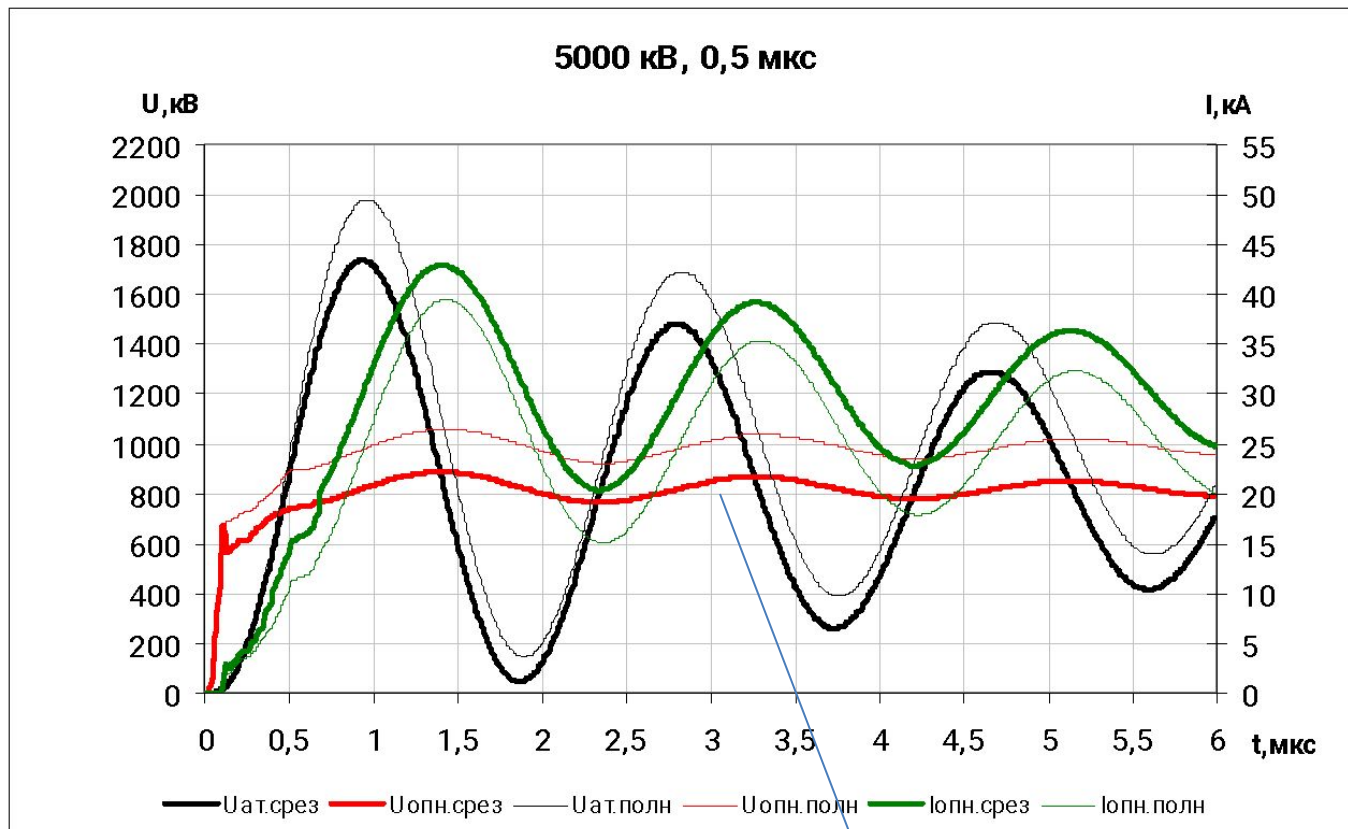
## Схемы грозозащиты

### Стандартная



### Каскадная





Ограничено с помощью  
ОПН