

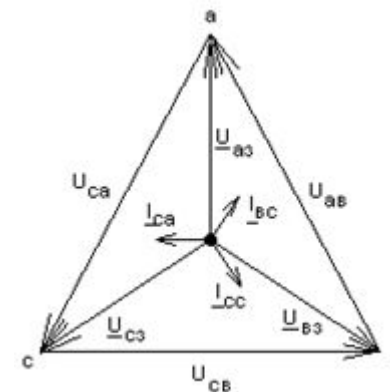
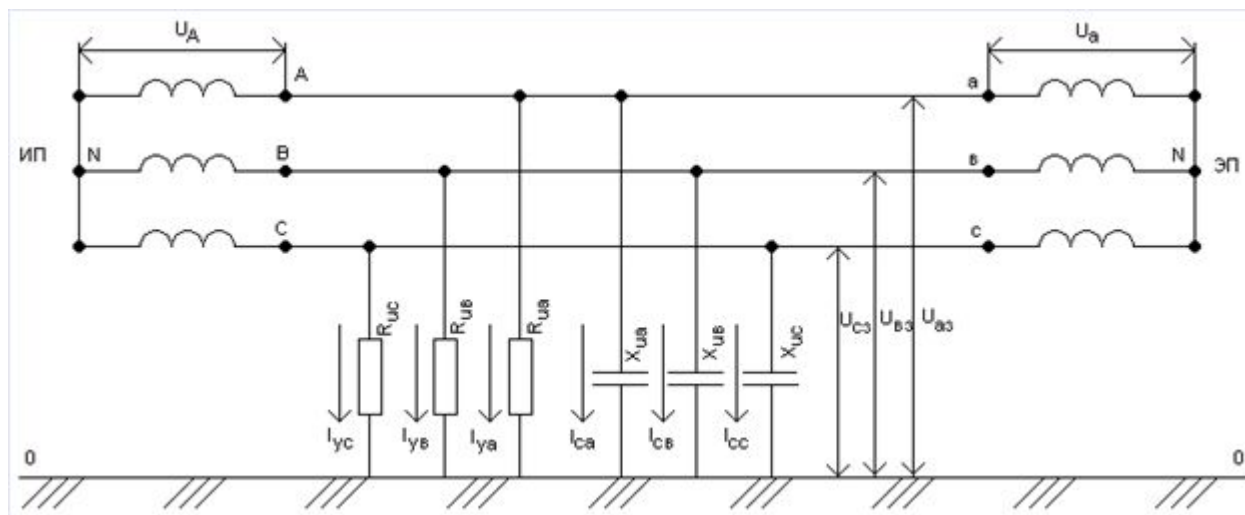
# Лекция 2

## Электрические воздействия на изоляцию

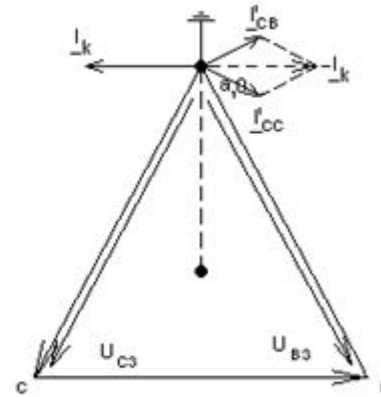
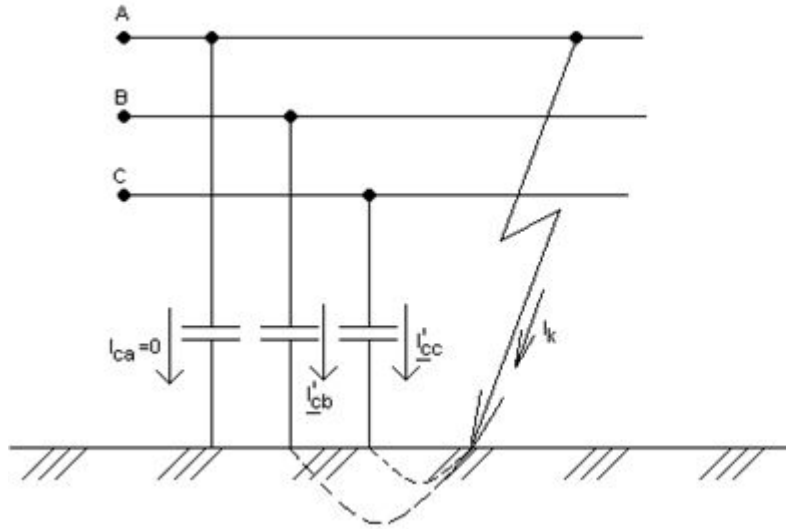
Номинальные междуфазные напряжения								Наибольшее рабочее напряжение электрооборудования
кВ								
Сети и приемники	Генераторы и синхронные компенсаторы	Трансформаторы и автотрансформаторы без РПН			Трансформаторы и автотрансформаторы с РПН			
		первичные обмотки		вторичные обмотки	первичные обмотки		вторичные обмотки	
(6)	(6,3)	(6) или (6,3)*	(6,3) или (6,6)	(6) или (6,3)*	(6,3) или (6,6)	(7,2)		
10	10,5	10 или 10,5*	10,5 или 11,0	10 или 10,5*	10,5 или 11,0	12,0		
20	21,0	20 -	- 22,0	20 или 21,0*	- 22,0	24,0		
35	-	35 -	38,5 -	35 или 36,75	- 38,5	40,5		
110	-	- -	121 -	110 или 115	115 или 121	126		
220	-	- -	242 -	220 или 230	230 или 242	252		
330	-	330 -	347 -	330 -	330 -	363		
500	-	500 -	525 -	500 -	500 -	525		
750	-	750 -	787 -	750 -	750 -	787		
1150	-	- -	- -	1150 -	- -	1200		

Для турбогенераторов мощностью 100 МВт и выше, гидрогенераторов мощностью 50 МВт и выше, синхронных компенсаторов мощностью 160 Мвар и выше и присоединяемых непосредственно к ним первичных обмоток трансформаторов и автотрансформаторов, а также соответствующего электрооборудования допускаются номинальные напряжения 13,8; 15,75; 18,0; 20,0; 24,0 и 27,0 кВ.

### Сети с изолированной нейтралью



## Режим однофазного короткого замыкания

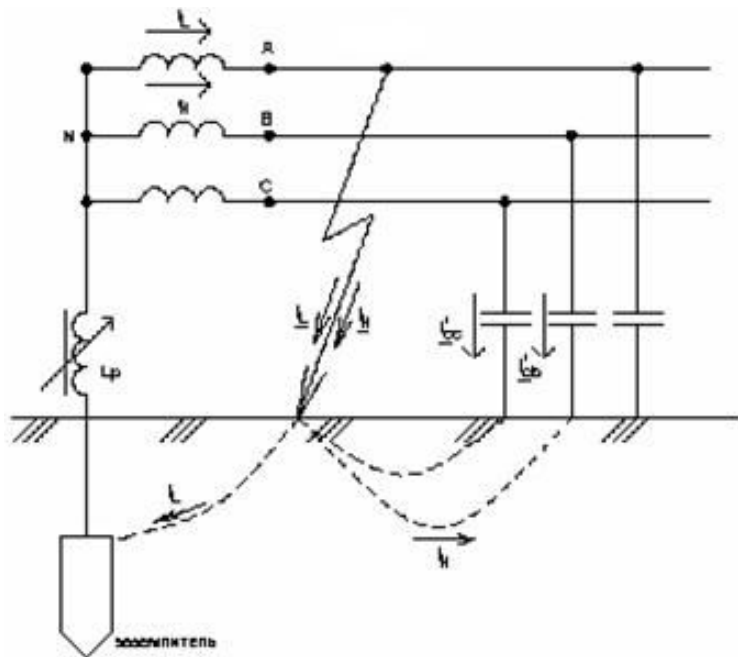


$$U_{\phi B} = U_{\phi C} = U_{\text{линейное}} \quad U_{\phi A} = 0 \quad I_{\text{кз}} = \sqrt{3} U_{\text{л}} \omega C_{\phi}$$

Пример. ВЛ 35 кВ, L=50 км, провод АС 175 С $\phi$ =0.5мкФ  $I_{\text{кз}} = 5.7 \text{ А}$

Токи ОКЗ близки имеют порядок емкостного тока фазы.  
Допускается длительное (до 48 часов ОКЗ)

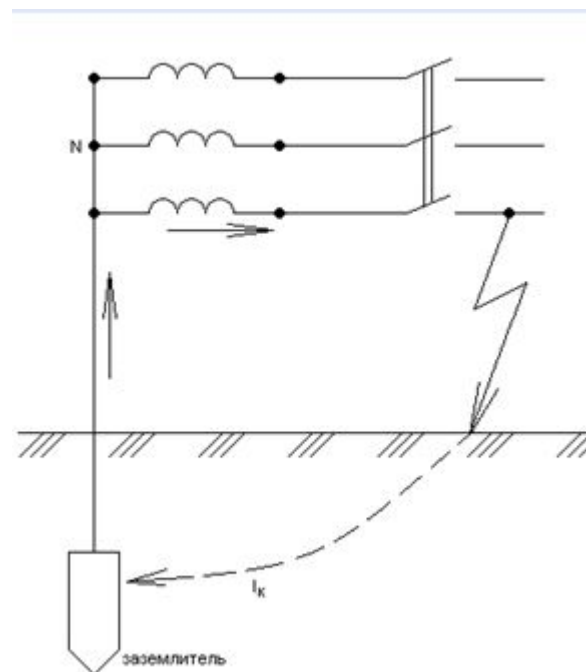
## Заземление нейтрали через ДГР



Подавление дуговых перенапряжений

Выполнить лабораторную работу #1  
«Фазные напряжения при ОКЗ в  
сетях с различными режимами  
нейтрали» Matlab Simulink

## Эффективное заземление нейтрали (сети 110кВ и выше)



Большие токи ОКЗ – необходима быстрая работа релейной защиты для отключения (доли секунды)

ОКЗ не приводит к существенному повышению напряжения на здоровых фазах.

При наличии падения напряжения на линии для поддержания нормального уровня напряжения у потребителя напряжения повышают на стороне генератора. Поэтому изоляция подвергается повышенному напряжению промышленной частоты

$$U_{\text{возд } 50\text{Гц}} = \begin{cases} U_n \frac{K_p}{\sqrt{3}} & U_n \geq 110 \text{ кВ} \\ U_n K_p & U_n \leq 35 \text{ кВ} \end{cases}$$

# Перенапряжения и их классификация

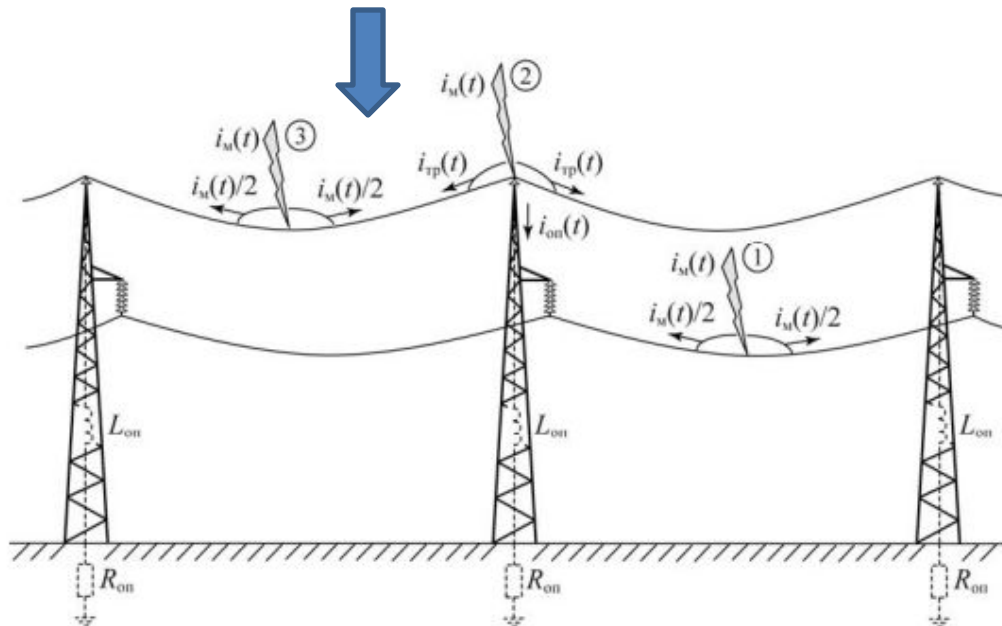
## ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ

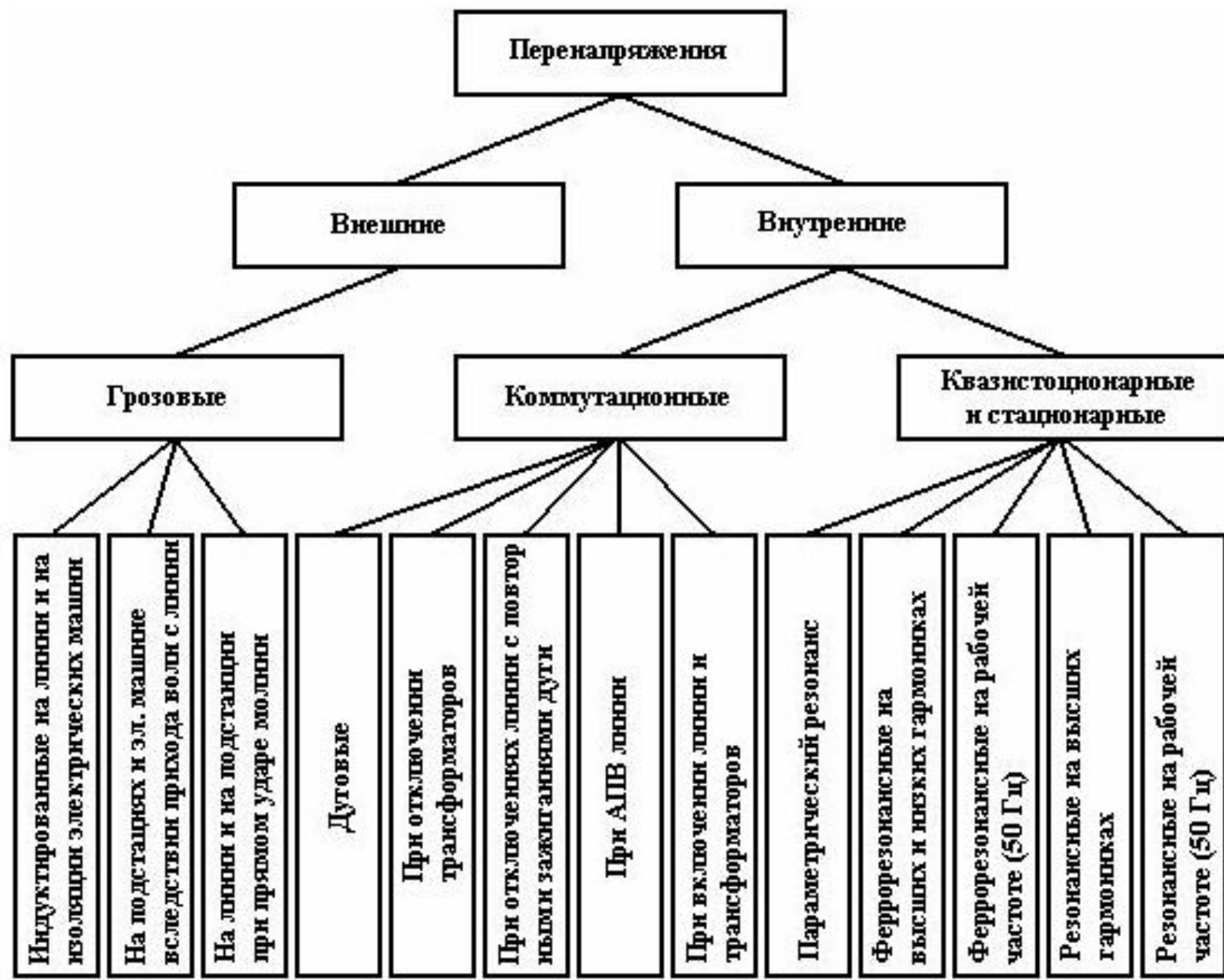
### ВНЕШНИЕ:

- 1) Прямой удар молнии
- 2) Обратное перекрытие
- 3) Индуцированные

### ВНУТРЕННИЕ

- 1) Квазистационарные: резонансные,
- 2) Коммутационные





# Внутренние перенапряжения

Определение кратности перенапряжения

$$k_n = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}U_{н.р.ф}}$$

Основные характеристики перенапряжений:

- 1) Кратность
- 2) Длительность воздействия
- 3) Форма кривой напряжения
- 4) Частота воздействия
- 5) Ширина охвата сети

Квазистационарные (режимные) перенапряжения  $k_n \leq 1.5 \div 2$   $\tau = 1с \div 10 мин$

- 1) Перенапряжения на разомкнутом конце линии
- 2) Резонансные перенапряжения на основной частоте и высших гармонических
- 3) Феррорезонанс



## Коммутационные перенапряжения

Возникают при включении /выключении линий электропередачи, отключении короткого замыкания, перемежающемся дуговым замыкании (ОДЗ)

$$k_n \leq 3 \div 4.5 \quad \tau = 0.01c \div 0.1c$$

Длительность и кратность зависит от ряда трудно учитываемых факторов : вида коммутации, типа аппарата, особенностей гашения дуги и т.д.

Вероятностная оценка кратности коммутационного перенапряжения при  $k_{п} < 1.15$

$$P(k > k_n) = 1 - F(k_n) = 1.58 \{1 - \exp[-\exp(-A(k_n - 1.15))]\}$$

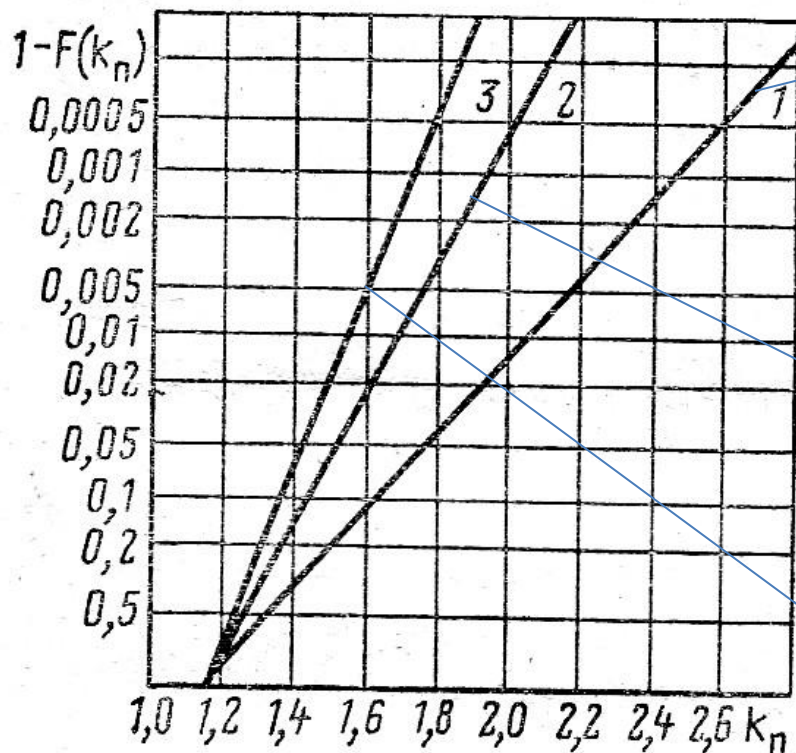
$A$  зависит от характеристики коммутирующего аппарата, мощности подстанции, количества отходящих и приходящих линий, длины и дополнительного (реакторы) оборудования линий

$$F(k_n) = P(k \leq k_n) \quad F(k_n) = \int_{1.15}^{k_n} f(k) dk$$

$f(k)$  - плотность распределения кратности перенапряжений

При  $k_n > 1.6$  разлагая внешнюю экспоненту в ряд получим

$$P(k > k_n) = 1.58e^{-A(k_n - 1.15)}$$



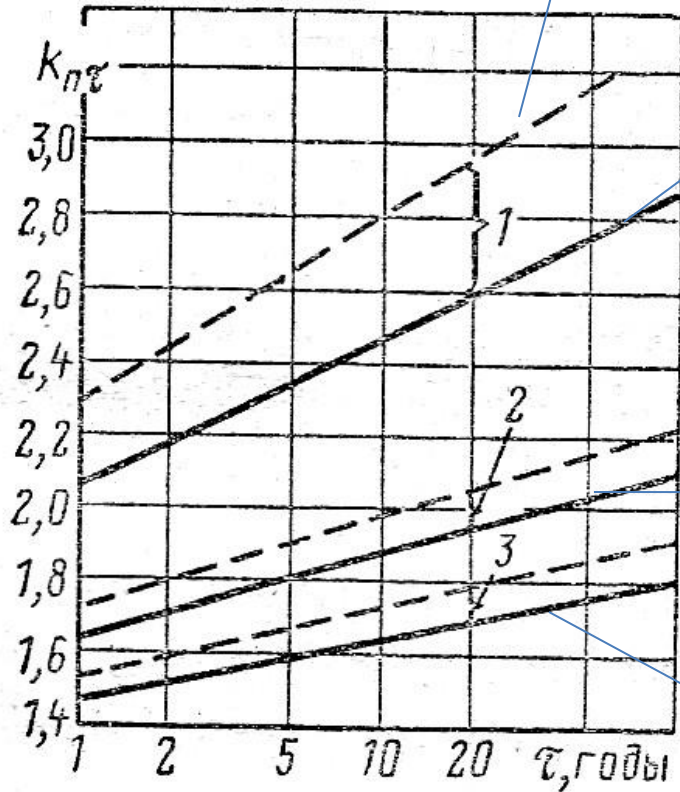
Подстанции с 2-4 отходящими линиями при отсутствии средств ограничения внутренних перенапряжений при наличии повторных зажигания дуги

При наличии быстродействующих выключателей

Мощные подстанции с числом линий больше 4

Функция распределение кратности перенапряжений

Верхняя граница 95%  
доверительного интервала



Подстанции с 2-4 отходящими линиями при отсутствии средств ограничения внутренних перенапряжений при наличии повторных зажиганияй дуги

При наличии быстродействующих выключателей

Мощные подстанции с числом линий больше 4

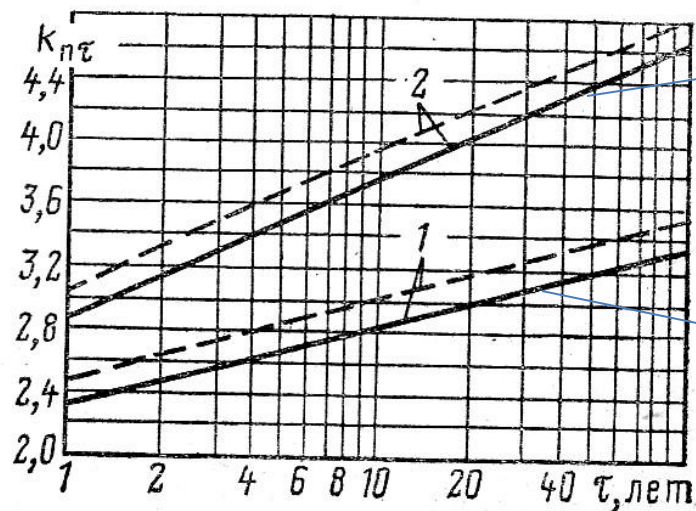
Кратности перенапряжений на шинах подстанций, превышаемые 1 раз в τ лет

Число перенапряжений в год ,имеющих кратность  $k_n$  или более

$$N_{kn} = N_n [1 - F(kn)] \quad N_n - \text{общее число перенапряжений в год}$$

При  $k_n > 1.6$  (см. формулы выше) получим за  $\tau$  лет  $N_{kn} = 1.58 N_n \tau \cdot e^{-A(k_n - 1.15)}$

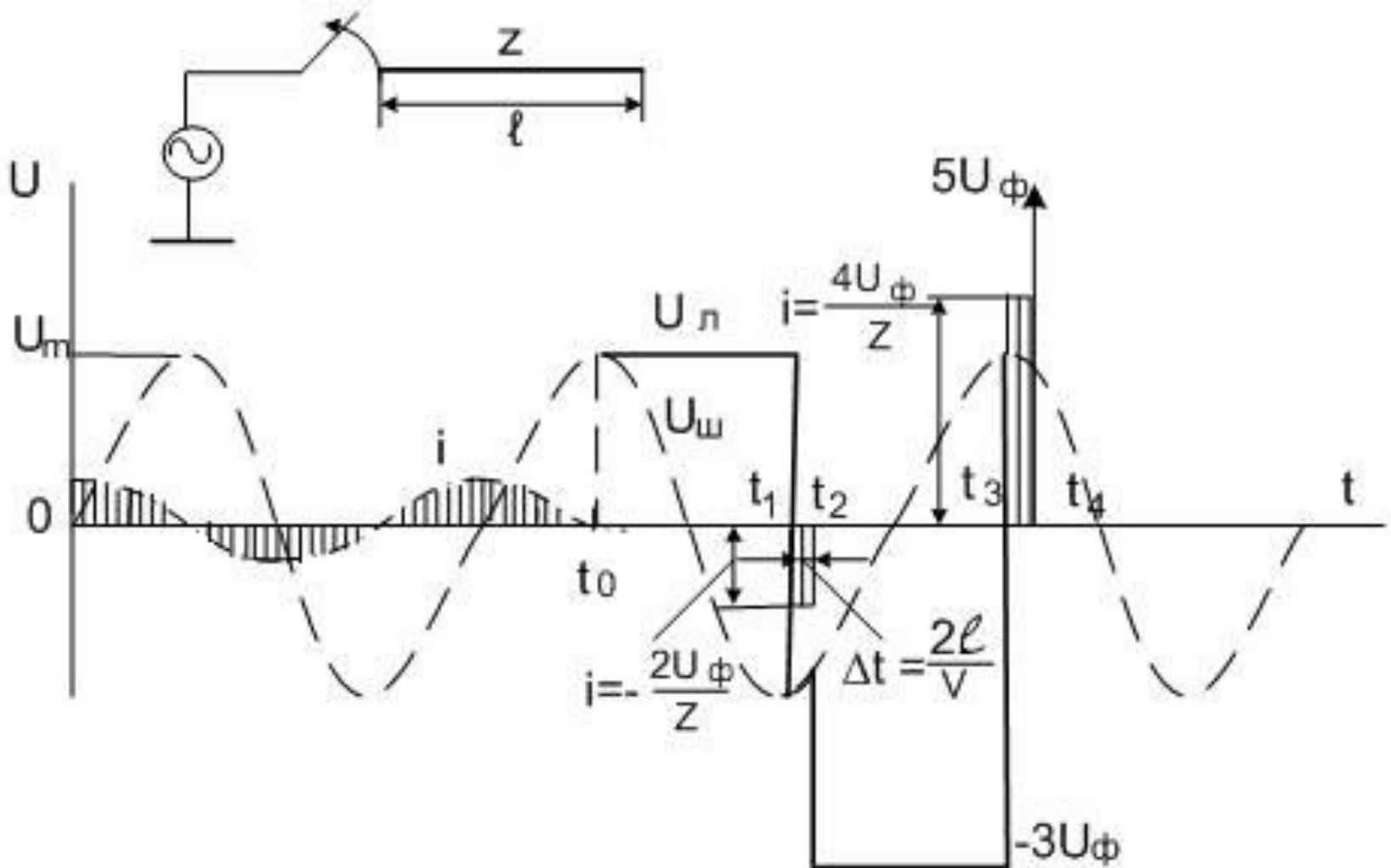
$$k_{p\tau} = 1.15 + \frac{1}{A} \ln(1.58 N_n \tau)$$



Плановые отключения и отключения КЗ

Плановые включения и успешные АПВ

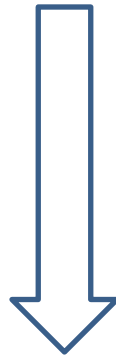
# Отключение холостой линии с повторными зажиганиями дуги



Большие запасы по электрической прочности изоляции вызывают неоправданный экономически рост ее стоимости. Поэтому применяются различные средства по снижению электрических воздействий на изоляцию

Расчетная кратность внутренних перенапряжений – максимальное значение кратности, наблюдаемое в течение длительного срока (50-100 лет)

Для обеспечения заданного уровня расчетной кратности применяются различные организационно-технические мероприятия



**Уровни коммутационных перенапряжений в сетях 6-35 кВ при коммутациях и однофазных дуговых замыканиях на землю и устройства для их ограничения**

п/п	Вид коммутации	Максимальная кратность неограниченных перенапряжений	Рекомендуемый уровень ограничения	Устройства для ограничения перенапряжений
1	2	3	4	5
1	Включение ВЛ и КЛ в нормальном симметричном режиме	2,0	-	резисторы, шунтирующие дугогасящие промежутки выключателей
2	Включение ВЛ и КЛ при наличии в сети ОЗЗ	3,0-3,5	2,6-2,8	ОПН+ Резистор в нейтрали ДГР
3	Отключение ненагруженных ВЛ и КЛ	4,0-4,3	2,6-2,8	ОПН + Резистор в нейтрали
4	Отключение ненагруженных трансформаторов	5,0-6,0	3,0-4,3	ОПН
5	Отключение двойного замыкания на землю	3,3	2,6-3,0	Релейная защита ОПН

**Уровни коммутационных перенапряжений в сетях 6-35 кВ при коммутациях и однофазных дуговых замыканиях на землю и устройства для их ограничения**

п/п	Вид коммутации	Максимальная кратность неограниченных перенапряжений	Рекомендуемый уровень ограничения	Устройства для ограничения перенапряжений
1	2	3	4	5
6	Включение электродвигателей при нормальном режиме сети 6-10 кВ	3,0-3,1	2,6-2,8	ОПН + Резистор в нейтрали
7	Включение электродвигателей при наличии в сети 6-10 кВ ОЗЗ	3,4	2,6-2,8	ДГР Резистор в нейтрали РВ RC-цепочка
8	Включение электродвигателей в процессе АВР и АПВ в сети 6-10 кВ	4,2	2,6-2,8	ОПН + Резистор в нейтрали
9	Отключение вращающихся электродвигателей 6-10 кВ	4,0-5,0	2,6-2,8	ОПН + Резистор в нейтрали



## Сети 110 -1150 кВ

### Организационные мероприятия по ограничению внутренних перенапряжений

Обеспечение оптимальной последовательности коммутаций, выбор мест подключения оборудования (например электромагнитных трансформаторов) и т.д.

Технические средства: ОПН, реакторы, предвключаемые резисторы выключателей

### Расчетная кратность внутренних перенапряжений

$U_{\text{ном}}$ , кВ	110	150	220	300	500	750	1150
$K_{\text{пр}}$ при отсутствии ОПН	3,2	3,0	3,0	2,7	2,5	2,1	1,8
$K_{\text{пр}}$ при наличии ОПН	2,3–2,5	2,2–2,4	2,2	2,2	2,2	2,0	1,7–1,8

Исходные данные: ...

# Грозовые перенапряжения

$$U_{\text{возд гроз}} = k_{\text{гроз}} U_{\text{ост ОПН}}$$

Расчетные кратности

Силовые трансформаторы 1.2

Остальное оборудование 1.3 - 1.4

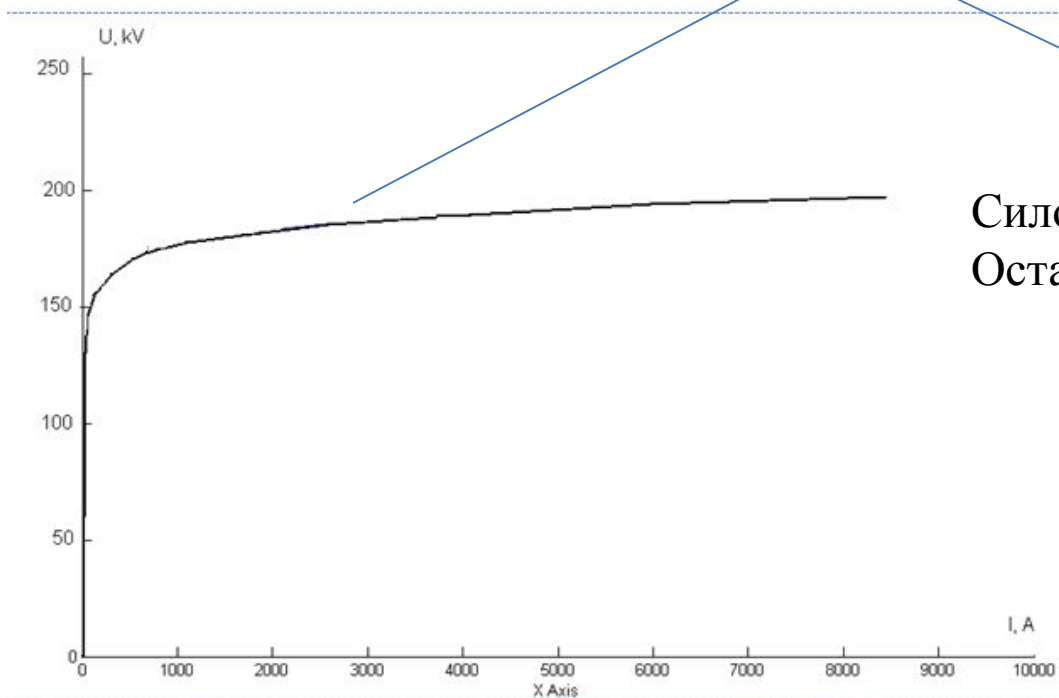
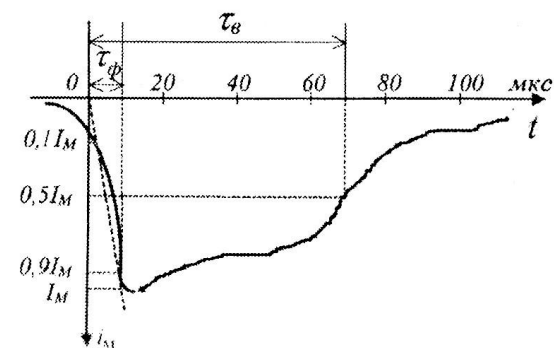


Рис.4 Вольтамперная характеристика ОПНГ-110



Осциллограмма тока  
молнии

# Пример реального переходного процесса при использовании ОПН

