

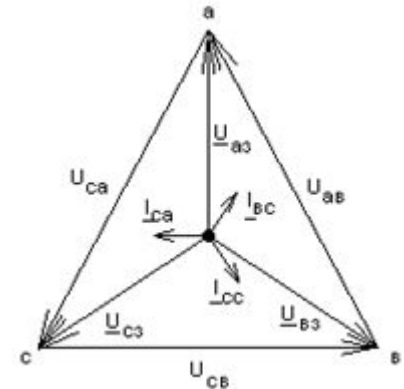
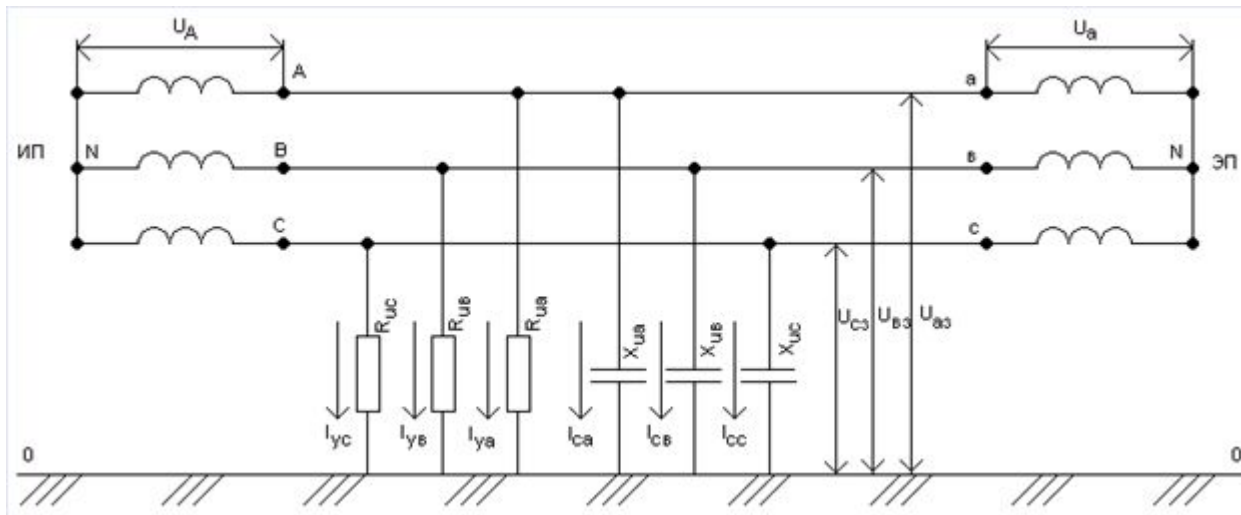
Лекция 2

Электрические воздействия на изоляцию

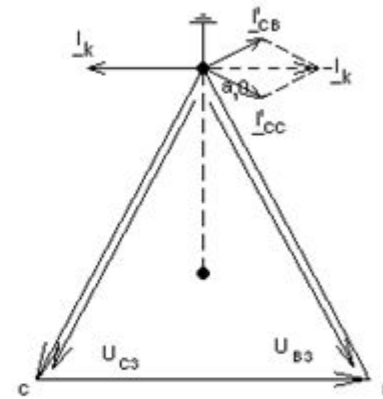
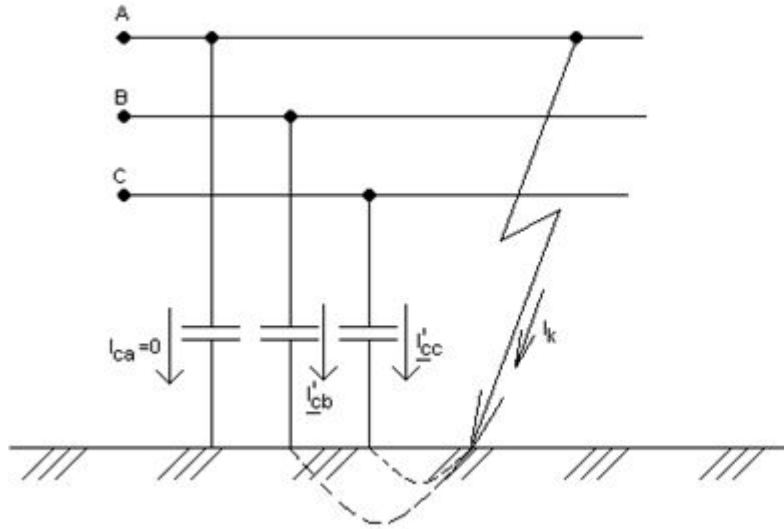
Номинальные междуфазные напряжения								Наибольшее рабочее напряжение электро- оборудования
кВ								
Сети и приемники	Генераторы и синхронные компенсаторы	Трансформаторы и автотрансформаторы без РПН		Трансформаторы и автотрансформаторы с РПН				
		первичные обмотки	вторичные обмотки	первичные обмотки	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

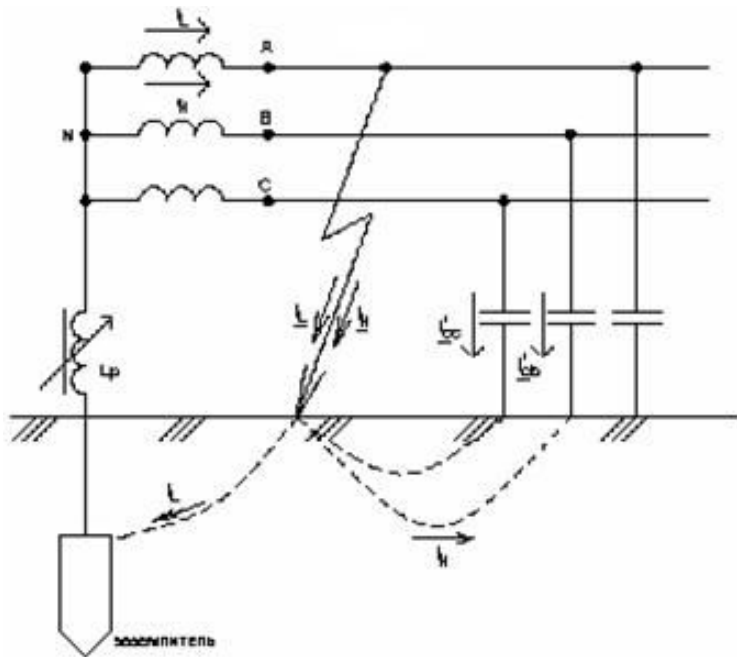


$$U_{\phi B} = U_{\phi C} = U_{\text{линейное}} \quad U_{\phi A} = 0 \quad I_{k3} = \sqrt{3} U_L \omega C_{\phi}$$

Пример. ВЛ 35 кВ, L=50 км, провод АС 175 Сф=0.5мкФ $I_{k3} = 5.7$ А

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

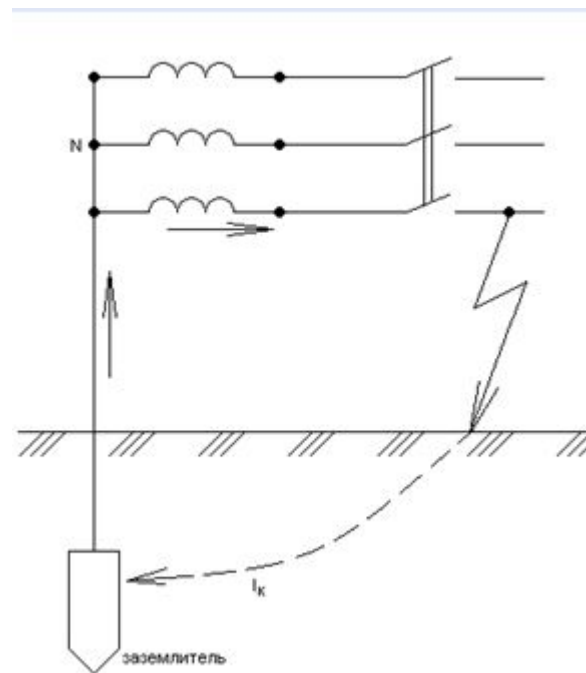
Заземление нейтрали через ДГР



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

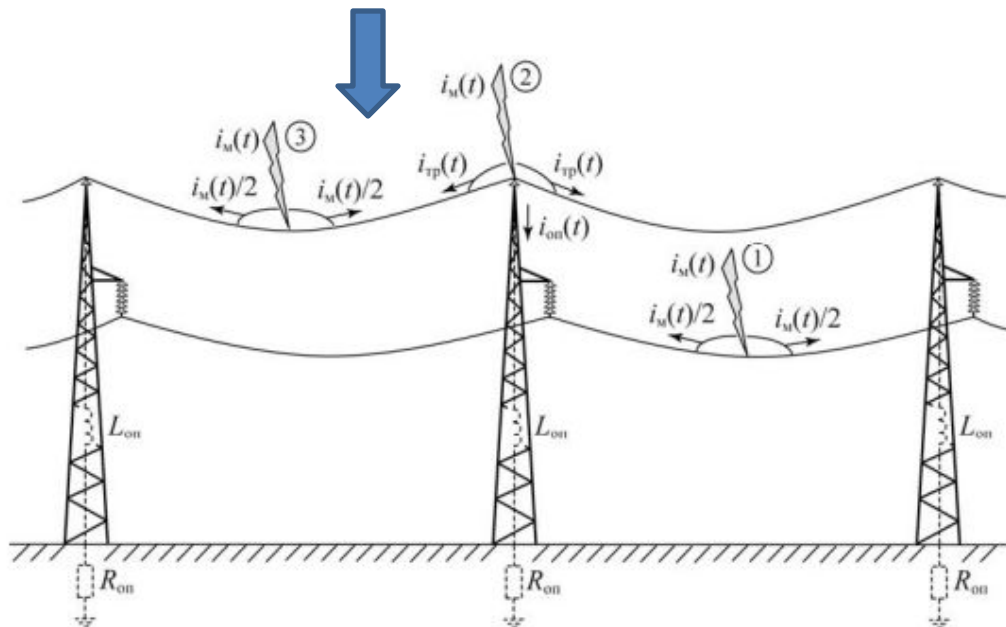
ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ

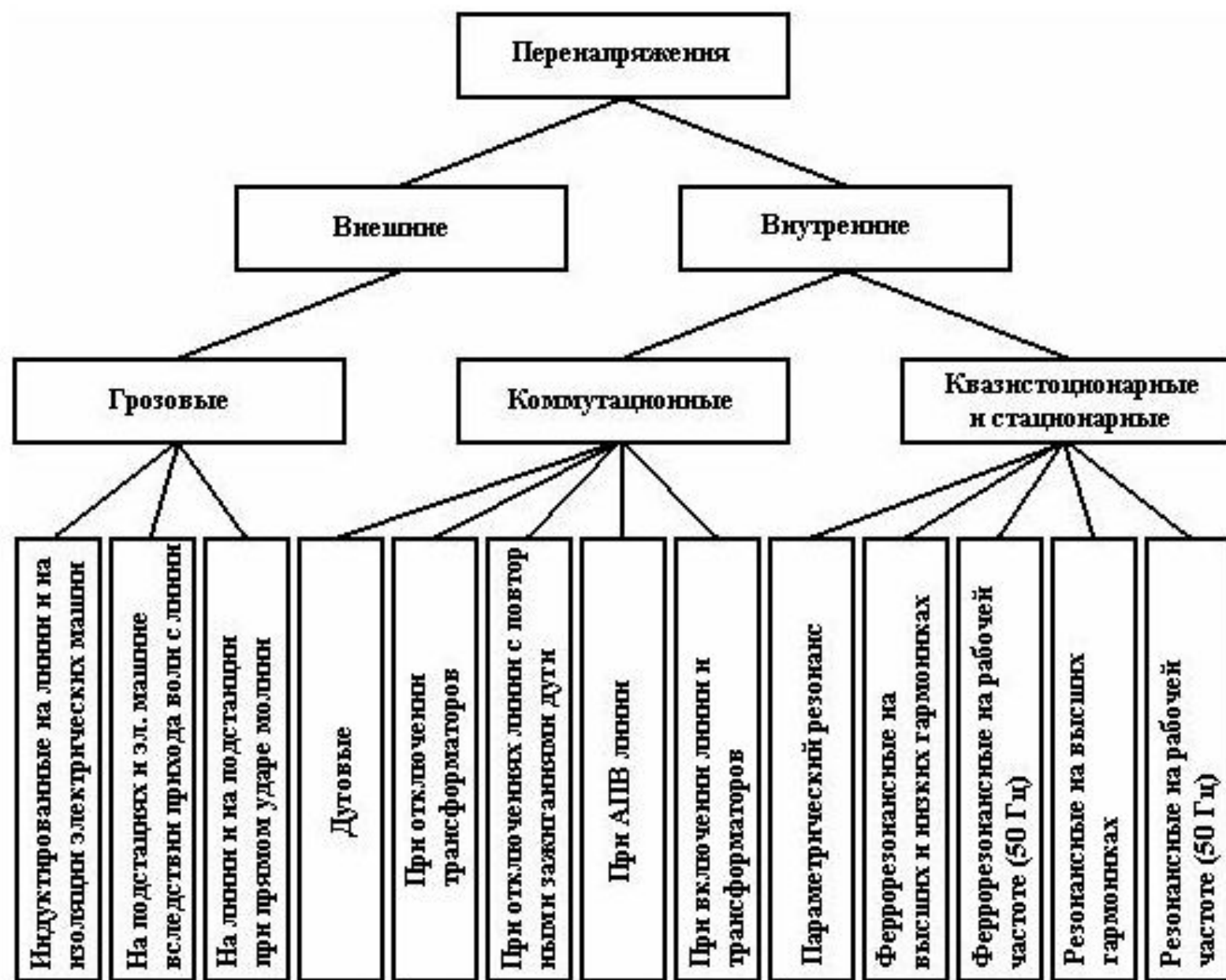
ВНЕШНИЕ:

- 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 дуговом 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 $k_{п} < 1.15$

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

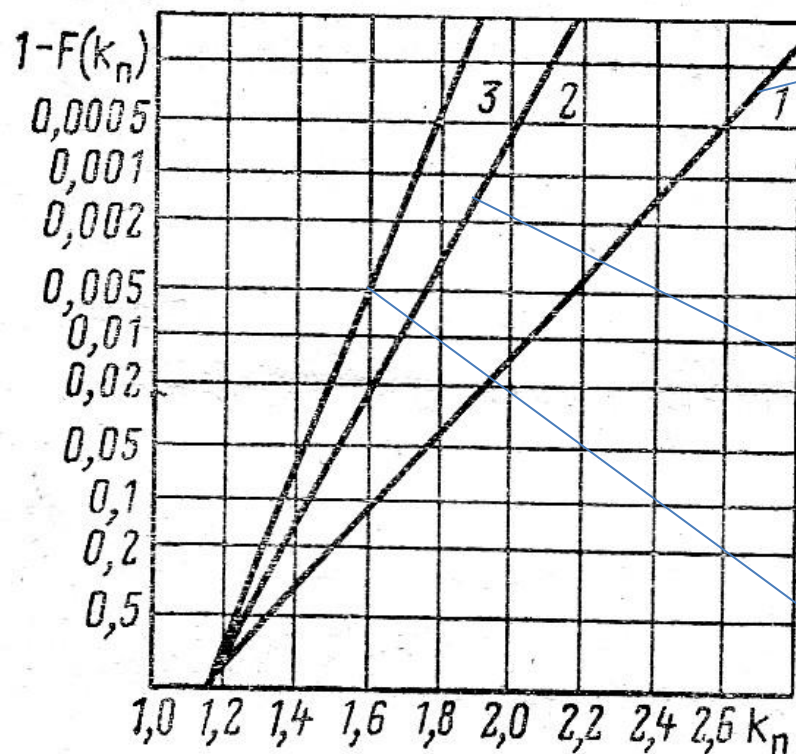
A зависит от характеристики коммутирующего аппарата, мощности подстанции, количества отходящих и приходящих линий, длины и дополнительного (реакторы) оборудования линий

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

$f(k)$ - плотность распределения кратности перенапряжений

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

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



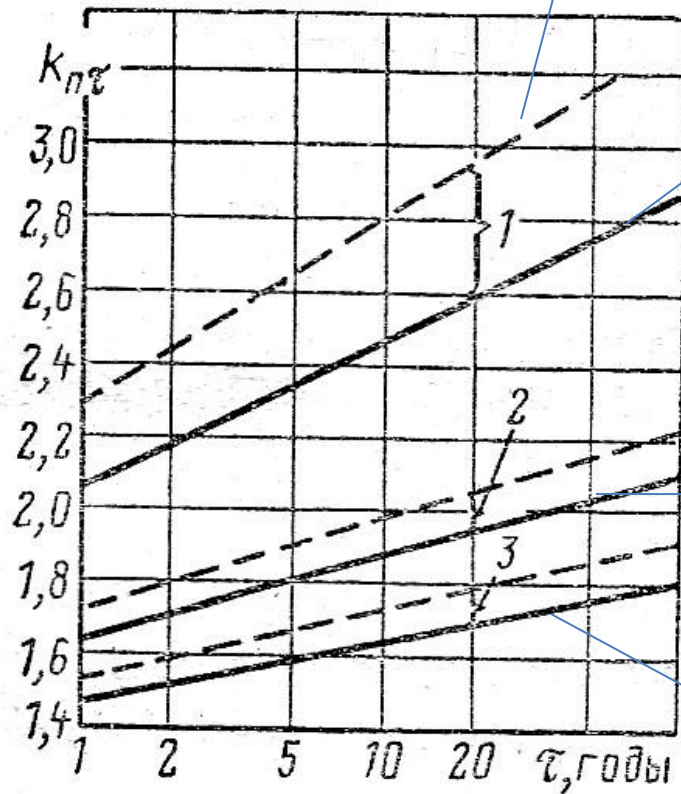
Подстанции с 2-4 отходящими линиями при отсутствии средств ограничения внутренних перенапряжений при наличии повторных зажигания дуги

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
зажиганий дуги

При наличии
быстродействующих
выключателей

Мощные подстанции с
числом линий больше 4

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

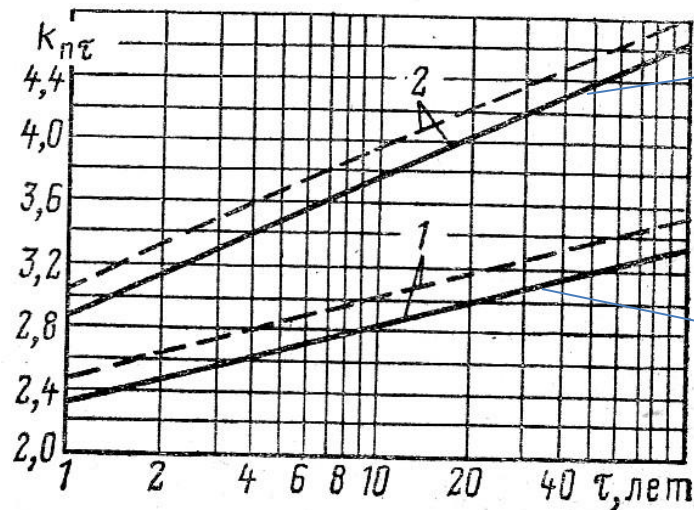
Число перенапряжений в год ,имеющих кратность k_n или более

$$N_{kn} = N_n [1 - F(k_n)]$$

N_n – общее число перенапряжений в год

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

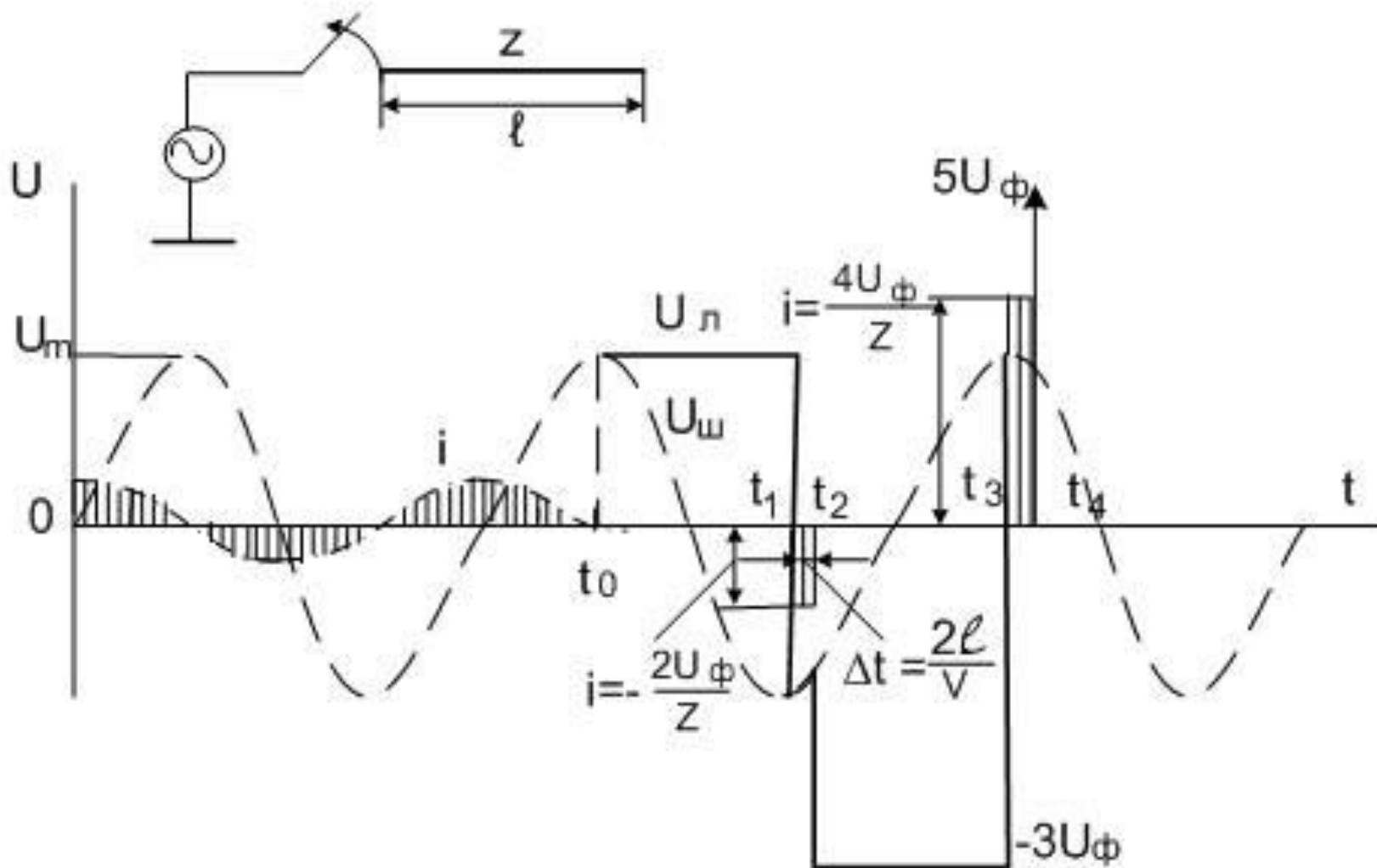
$$k_{p\tau} = 1.15 + \frac{1}{A} \ln(1.58 N_n \tau)$$



Плановые отключения и отключения КЗ

Плановые включения и успешные АПВ

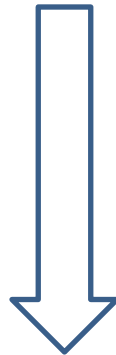
Отключение холостой линии с повторными зажиганиями дуги



Большие запасы по электрической прочности изоляции вызывают неоправданный экономический 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

использованы материалы: [1] – [4], [6] – [8], [10] – [12], [14] – [16], [18] – [20], [22] – [24], [26] – [28], [30] – [32], [34] – [36], [38] – [40], [42] – [44], [46] – [48], [50] – [52], [54] – [56], [58] – [60], [62] – [64], [66] – [68], [70] – [72], [74] – [76], [78] – [80], [82] – [84], [86] – [88], [90] – [92], [94] – [96], [98] – [100]

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

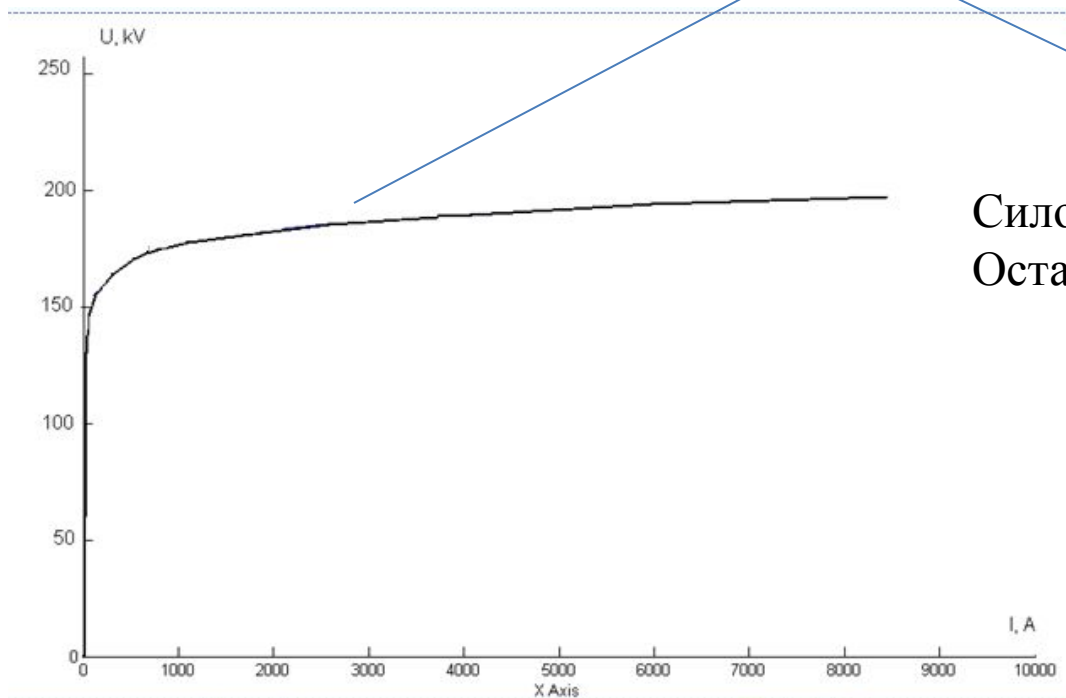
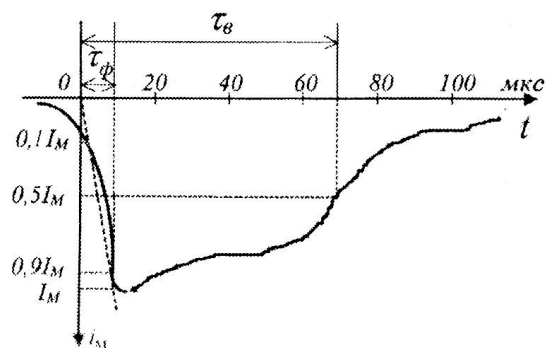


Рис.4 Вольтамперная характеристика ОПНГ-110



Осциллограмма тока
молнии

Пример реального переходного процесса при использовании ОПН

