

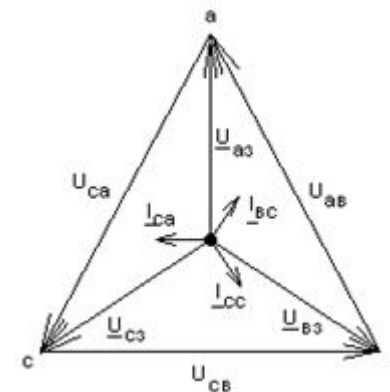
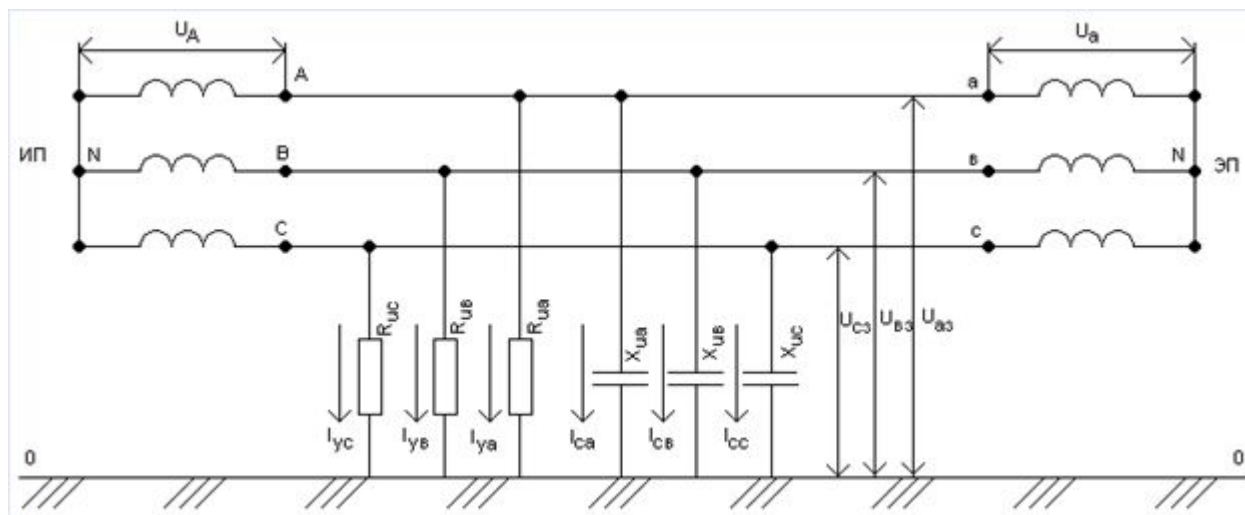
Лекция 2

Электрические воздействия на изоляцию

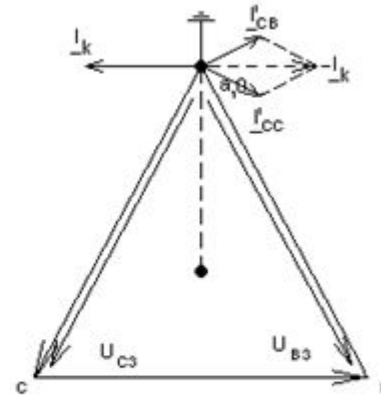
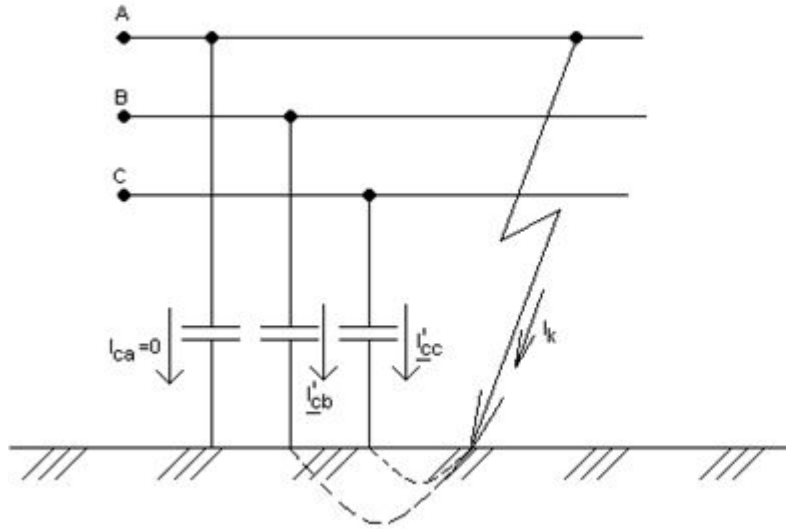
| Номинальные междуфазные напряжения | | | | | | | | | Наибольшее рабочее напряжение электрооборудования |
|------------------------------------|--------------------------------------|---|-----------------|-------------------|---|----------------|-------------------|-------|---|
| кВ | | | | | | | | | |
| 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) | (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 | 10 или 10,5* | 10,5 или 11,0 | 12,0 | |
| 20 | 21,0 | 20 - | - 22,0 | 20 или 21,0* | - 22,0 | 20 или 21,0* | - 22,0 | 24,0 | |
| 35 | - | 35 - | 38,5 - | 35 или 36,75 | - 38,5 | 35 или 36,75 | - 38,5 | 40,5 | |
| 110 | - | - - | 121 - | 110 или 115 | 115 или 121 | 110 или 115 | 115 или 121 | 126 | |
| 220 | - | - - | 242 - | 220 или 230 | 230 или 242 | 220 или 230 | 230 или 242 | 252 | |
| 330 | - | 330 - | 347 - | 330 - | 330 - | 330 - | 330 - | 363 | |
| 500 | - | 500 - | 525 - | 500 - | 500 - | 500 - | 500 - | 525 | |
| 750 | - | 750 - | 787 - | 750 - | 750 - | 750 - | 750 - | 787 | |
| 1150 | - | - - | - - | 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

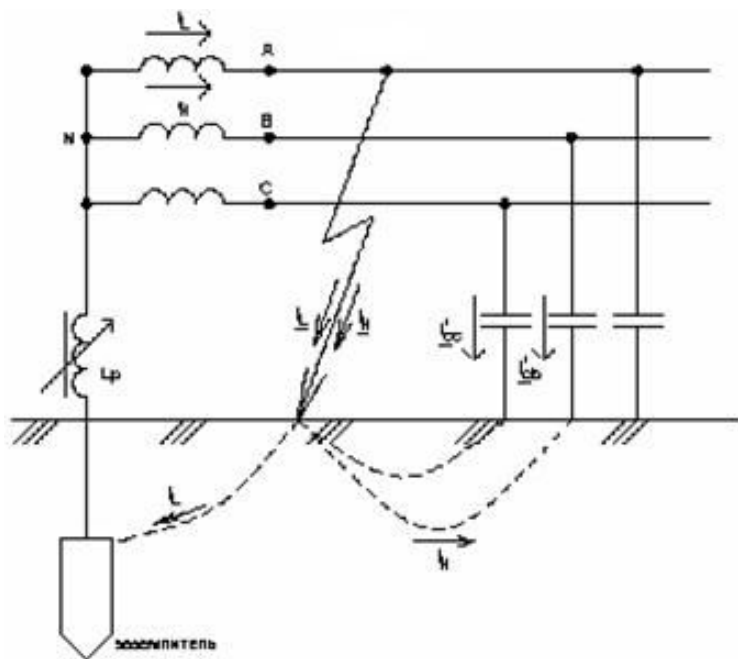


$$U_{\phi B} = U_{\phi C} = U_{\text{линейное}} \quad U_{\phi A} = 0 \quad I_{\text{кз}} = \sqrt{3} U_{\text{л}} \omega C_{\phi}$$

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

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

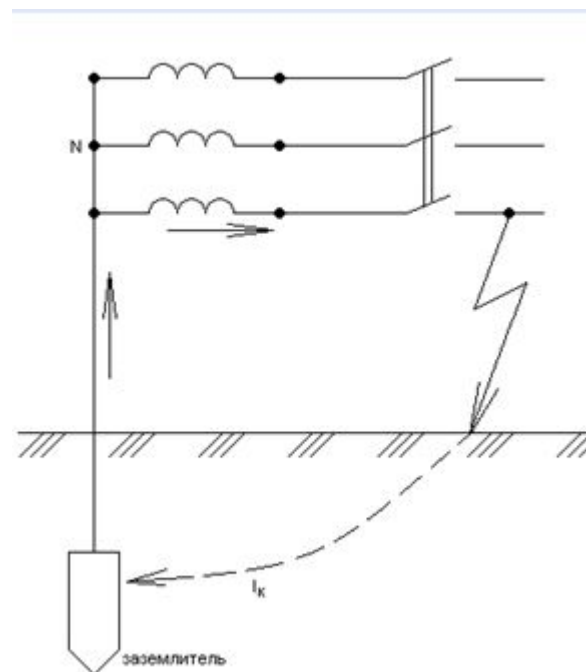
Заземление нейтрали через ДГР



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

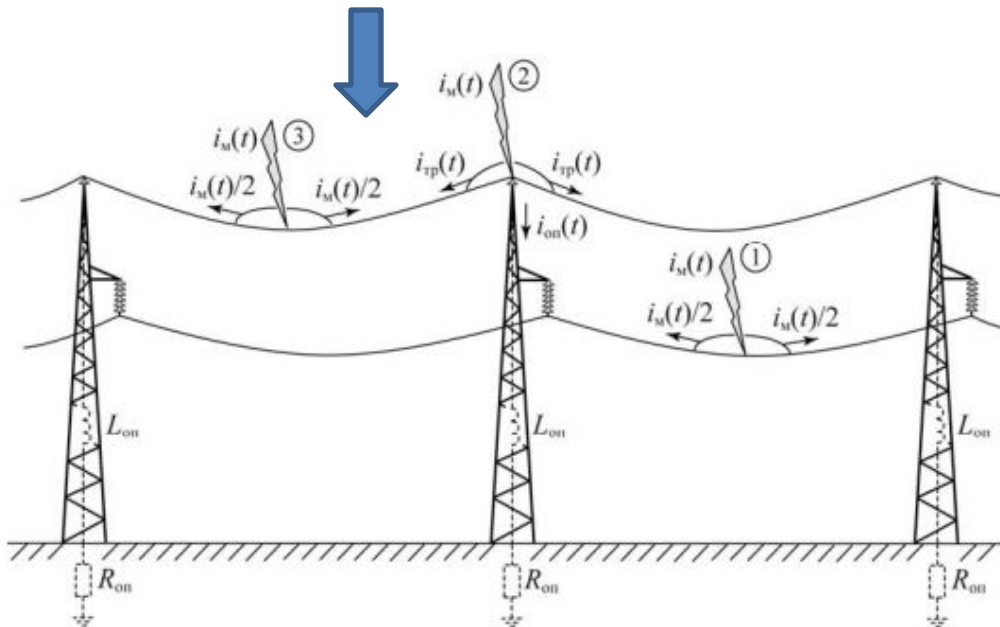
ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ

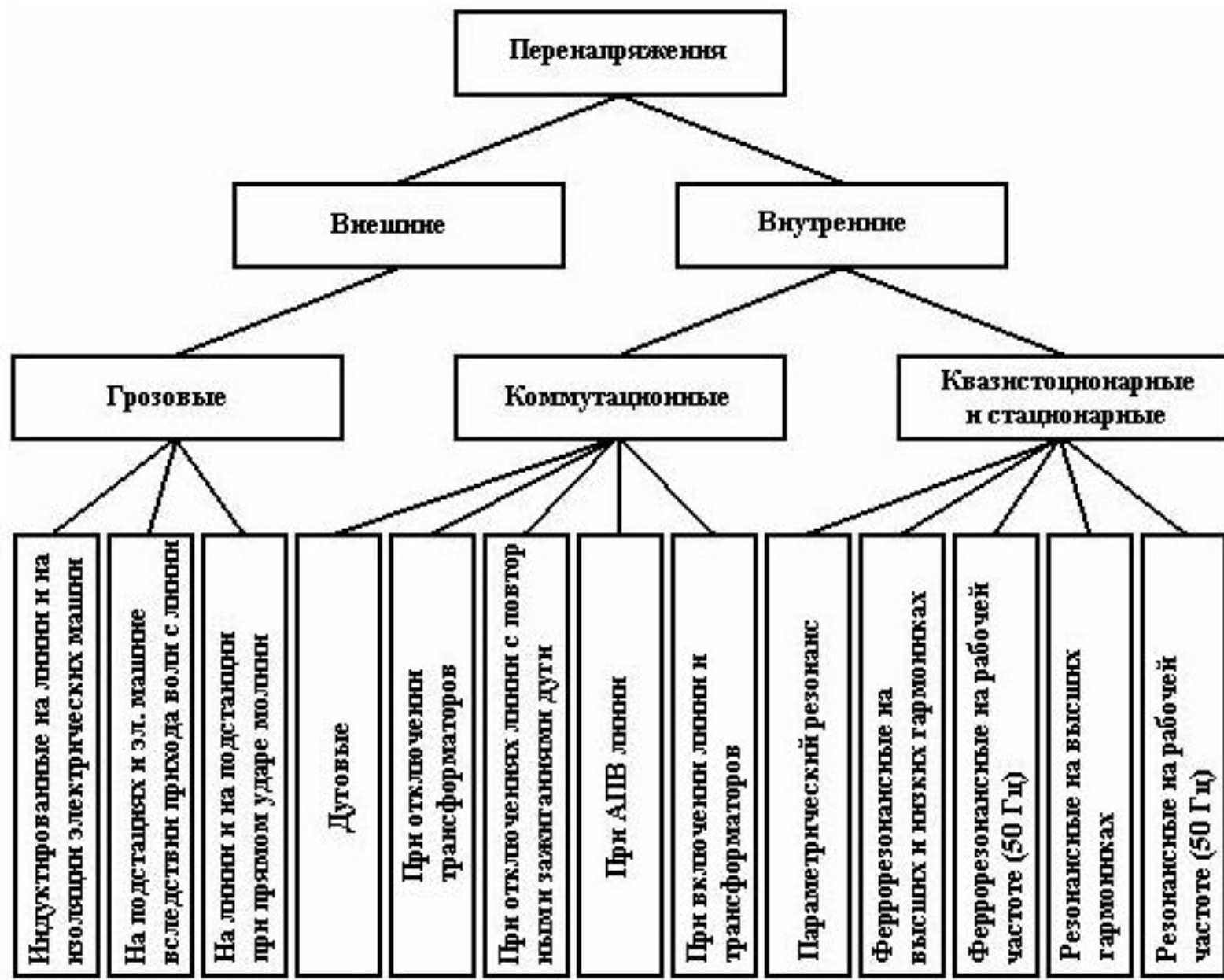
ВНЕШНИЕ:

- 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 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 $k_{п} < 1.15$

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

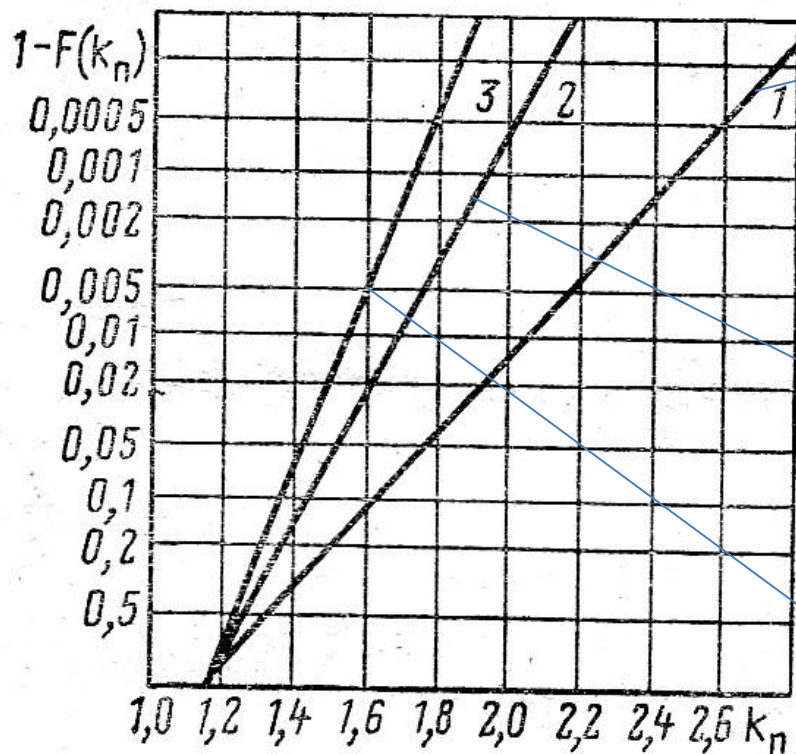
A зависит от характеристики коммутирующего аппарата, мощности подстанции, количества отходящих и приходящих линий, длины и дополнительного (реакторы) оборудования линий

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

$f(k)$ - плотность распределения кратности перенапряжений

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

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



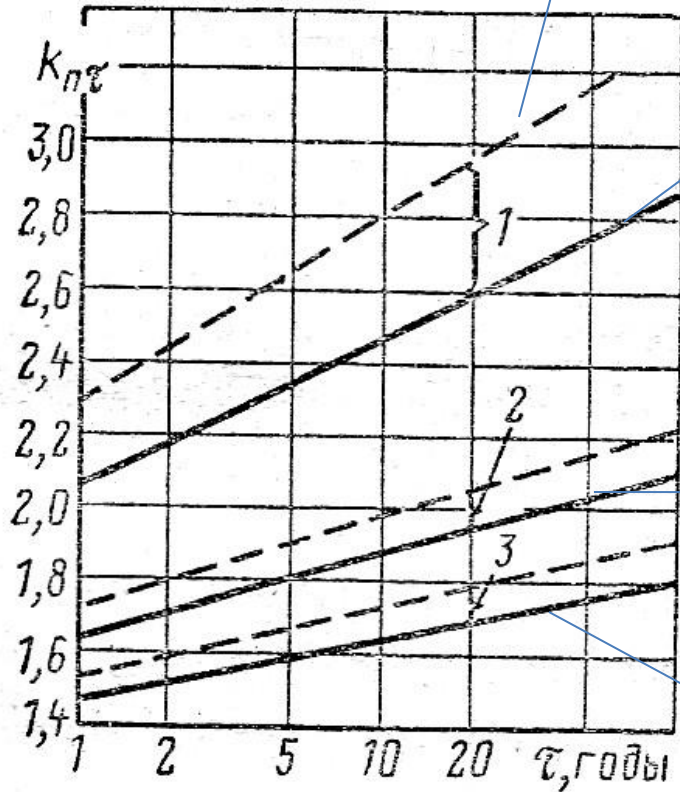
Подстанции с 2-4 отходящими линиями при отсутствии средств ограничения внутренних перенапряжений при наличии повторных зажиганий дуги

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

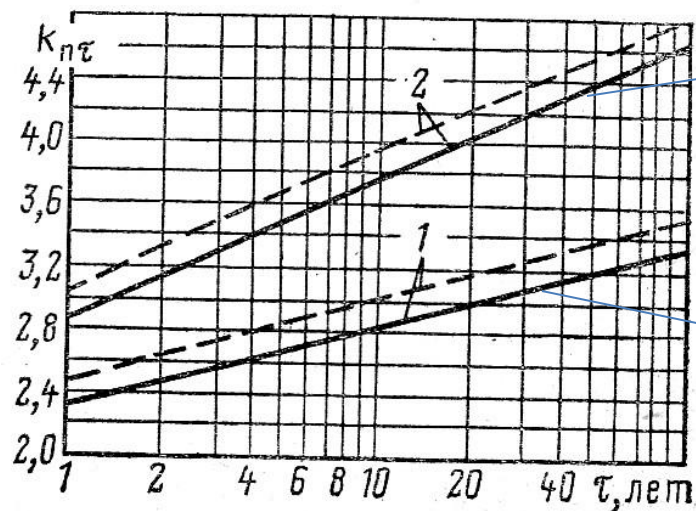
Кратности перенапряжений на шинах подстанций, превышаемые 1 раз в τ лет

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 τ лет $N_{kn} = 1.58 N_n \tau \cdot e^{-A(k_n - 1.15)}$

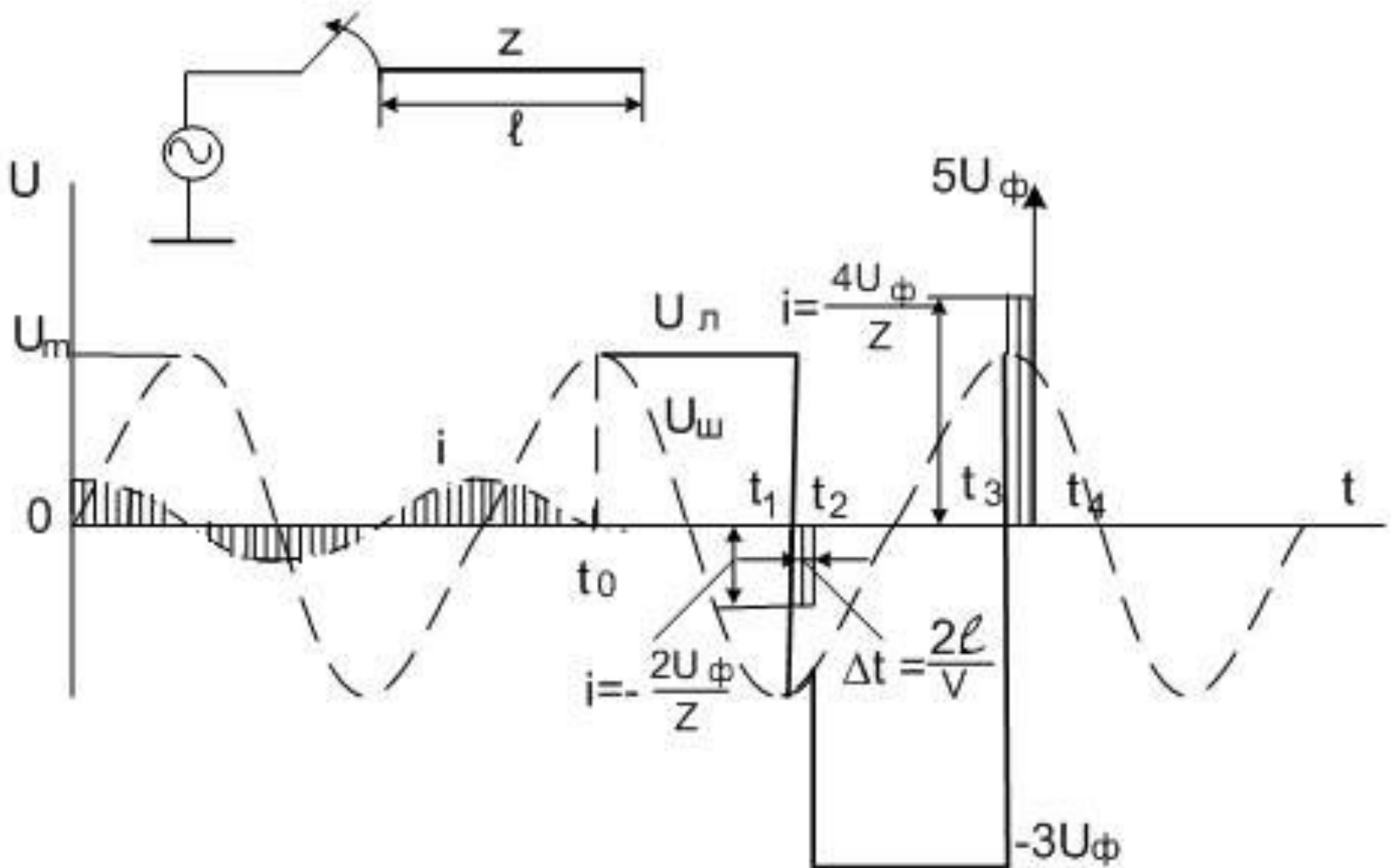
$$k_{p\tau} = 1.15 + \frac{1}{A} \ln(1.58 N_n \tau)$$



Плановые отключения и отключения КЗ

Плановые включения и успешные АПВ

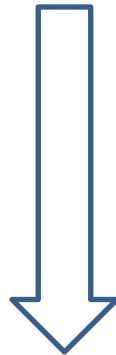
Отключение холостой линии с повторными зажиганиями дуги



Большие запасы по электрической прочности изоляции вызывают неоправданный 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

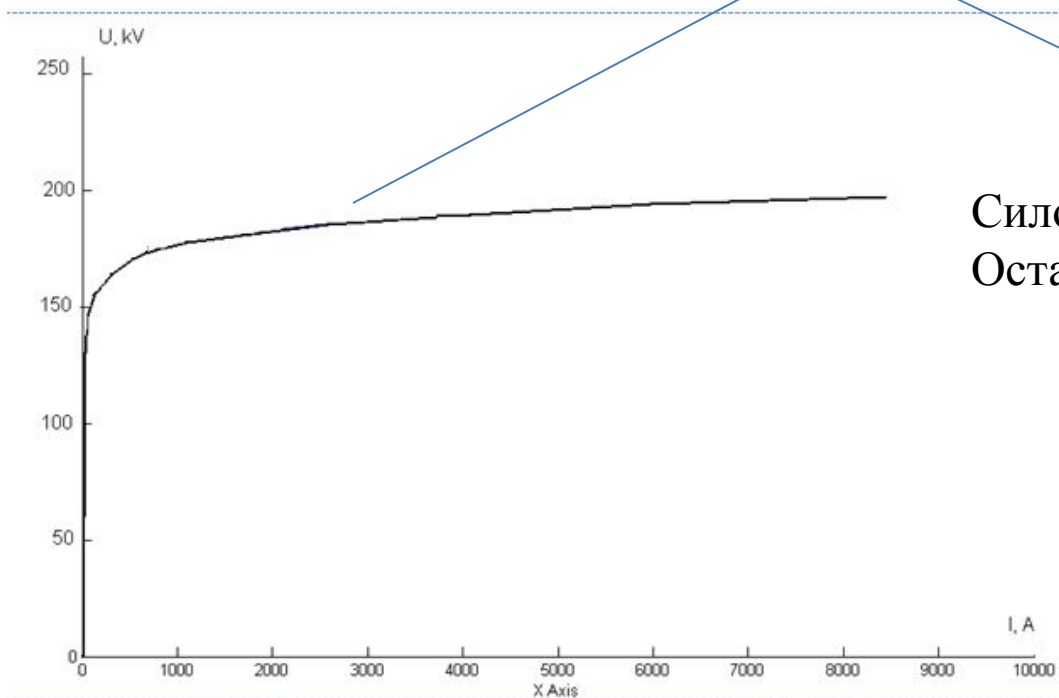
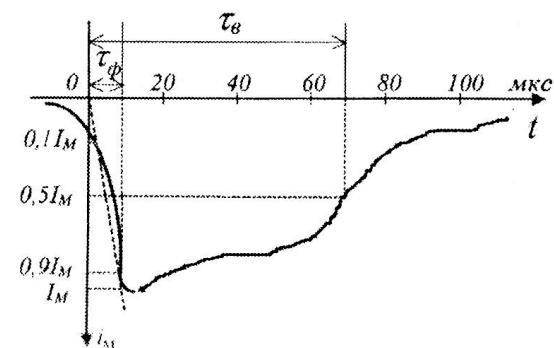


Рис.4 Вольтамперная характеристика ОПНГ-110



Осциллограмма тока
молнии

Пример реального переходного процесса при использовании ОПН

