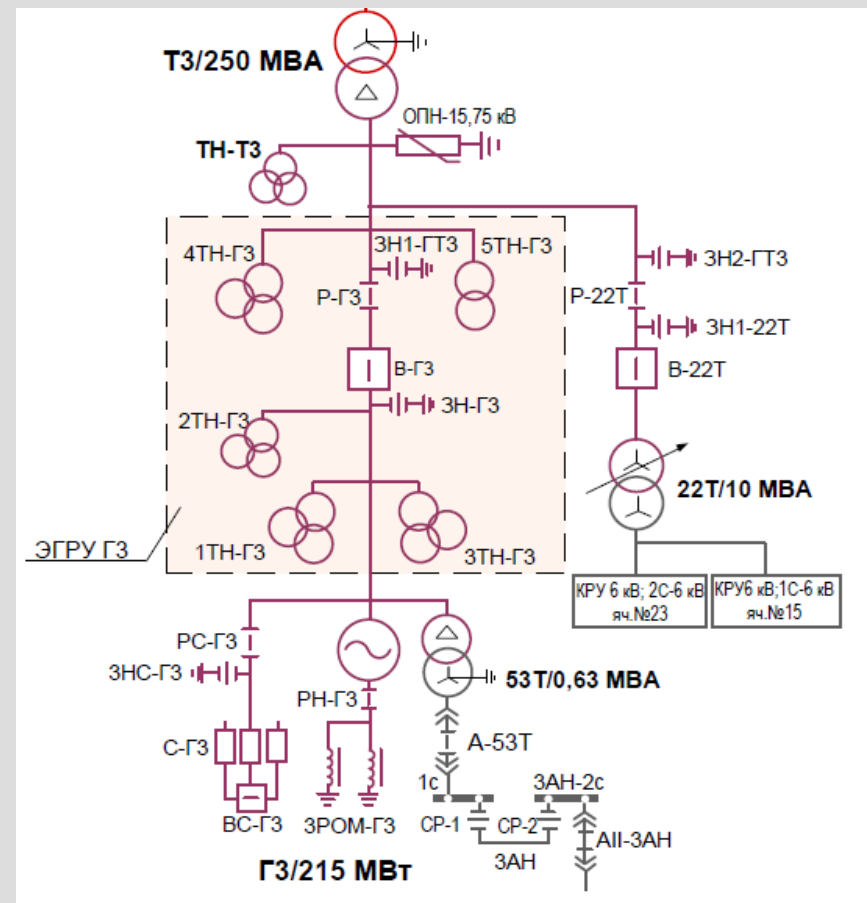
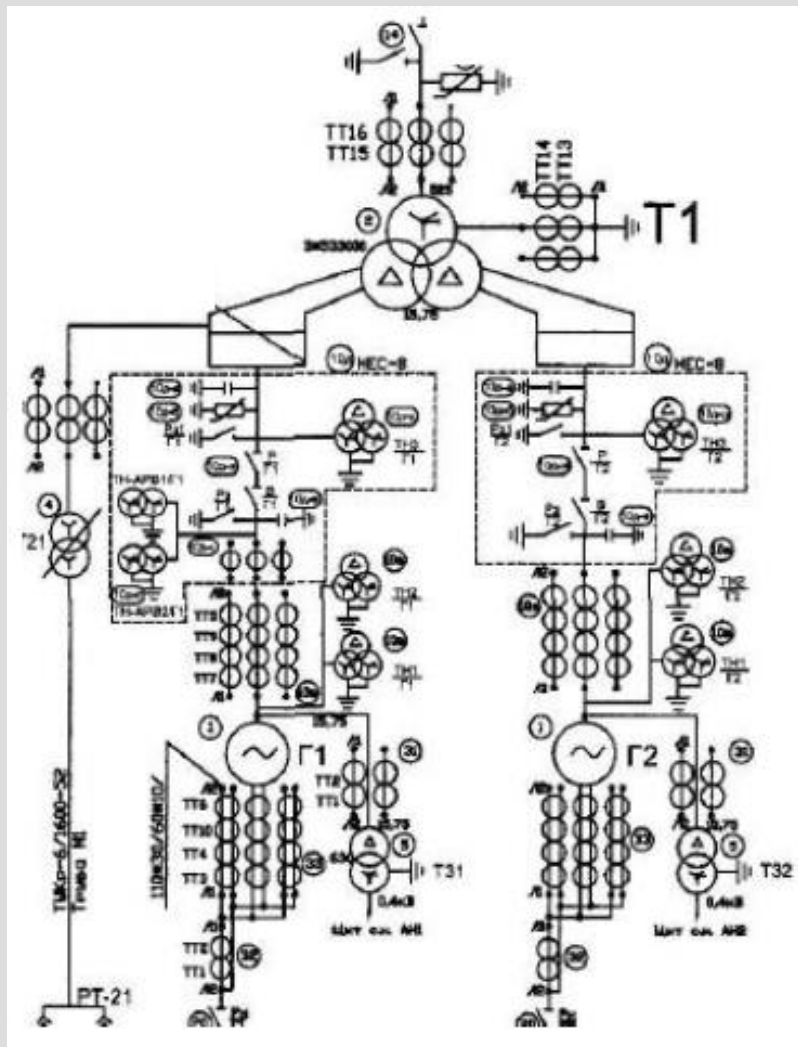


*Электрическая часть ГЭУ
кафедра «Электрические станции», МЭИ
доцент Чо Гван Чун Дмитрий Иванович*

*Лекция 4
Коммутационные и защитные
аппараты*

Цепи генераторного напряжения ГЭС



Назначение и основные параметры В

- ✓ Коммутация токов нагрузки
- ✓ Коммутация сверхтоков (перегрузки и КЗ)

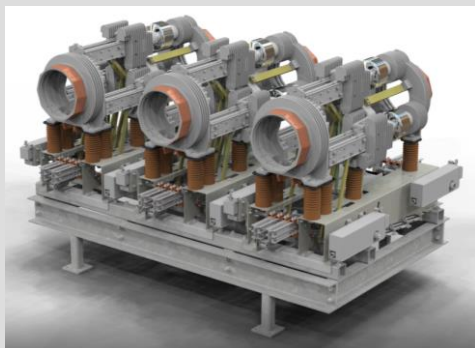
Ном. напряжение/Набольшее рабочее напряжение ... 6/7,2; 10/12; 15/17,5; 20/24... 110/126; 220/252; 330/363; 500/525; 750/787 кВ

Номинальный ток ... 630, 1250, 1600, 2000, 3150, 3600 А... до 20 кА

Ном. ток отключения, $I_{норм}$. 12; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63 ... кА

Стойкость токам КЗ, ПВН

Элегазовое ГРУ

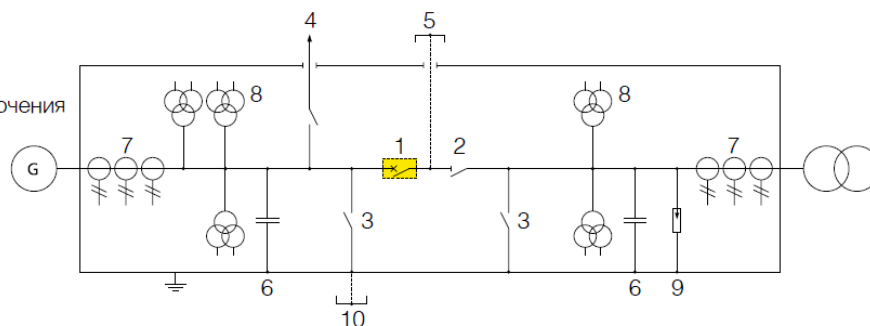


**Выключатель
Разъединитель, КЗ
ТТ, ТН
ОПН**



Однолинейная схема ЭГРУ

- 1 Генераторный выключатель
- 2 Разъединитель
- 3 Заземлитель
- 4 Пусковой разъединитель для подключения тиристорного преобразователя частоты
- 5 Ручное короткозамыкающее соединение (при снятой крышке)
- 6 Конденсатор
- 7 Трансформаторы тока
- 8 Трансформаторы напряжения
- 9 ОПН
- 10 Короткозамыкающее соединение с приводом от двигателя (на заземлителе со стороны генератора)



Иногда возникают сложности:

1 Мощность вторичных обмоток изм. трансформаторов рассчитана на МПРЗ (20-30 ВА)

2 Параметры ОПН

3 Испытания повышенным напряжением цепи генераторного напряжения

Типы выключателей

- *Элегазовый (ВГУ-300Б-40/3150 У1)*
- *Вакуумный (ВВЭ-10-20/1600 У3) до 35 кВ*
- *Баковый (масляный) (У-11А-2000-40 У1)*
- *Маломасляный (масляный) (ВМПЭ-10-630 У3)*
- *Воздушный (ВВГ-20-160/12500 У3)*
- *Электромагнитный (ВЭ-10 -1250-20 У3)*



Номенклатура выключателей



BB/TEL-10-20 (10 кВ, 630 А, 20 кА)

C-35-2000/50Y1 (35 кВ, 2000 А, 50 кА)



ВМП-10 (10 кВ, 1000 А, 31,5 кА)

Номенклатура выключателей



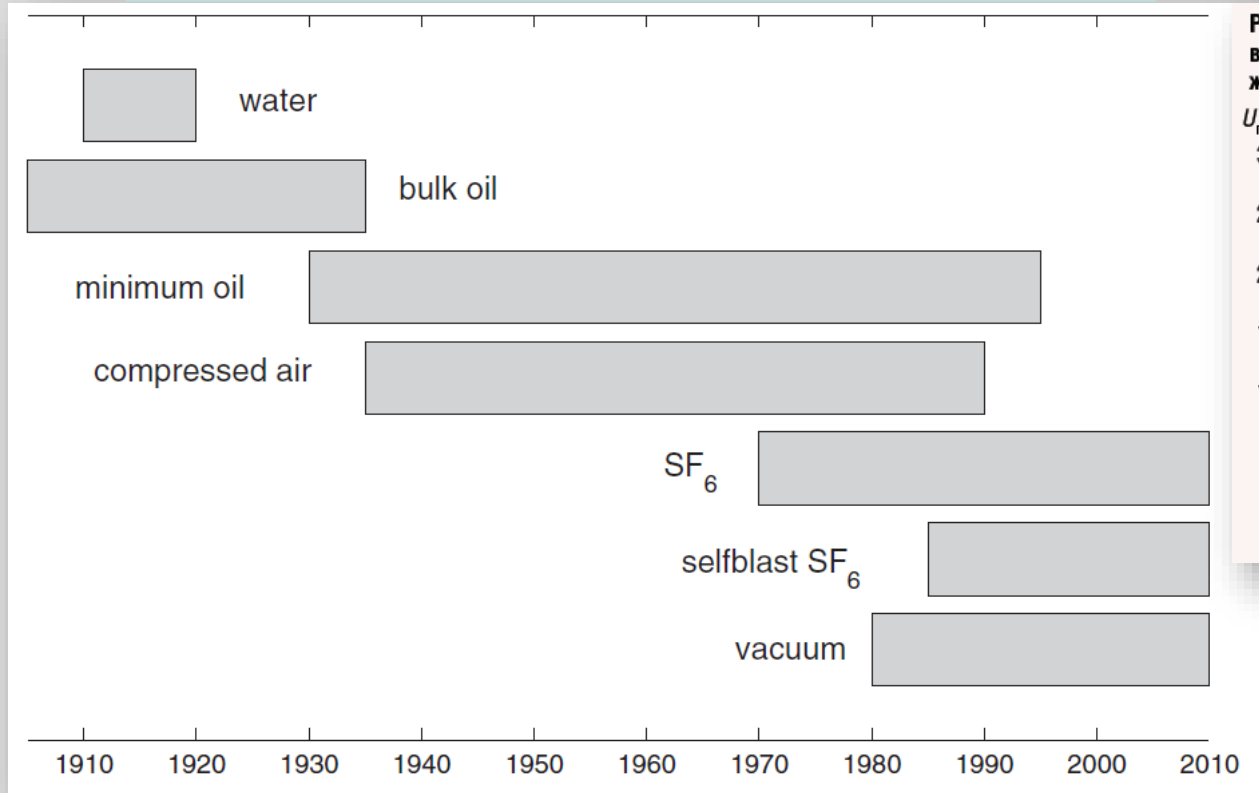
S-E LF, 10 кВ



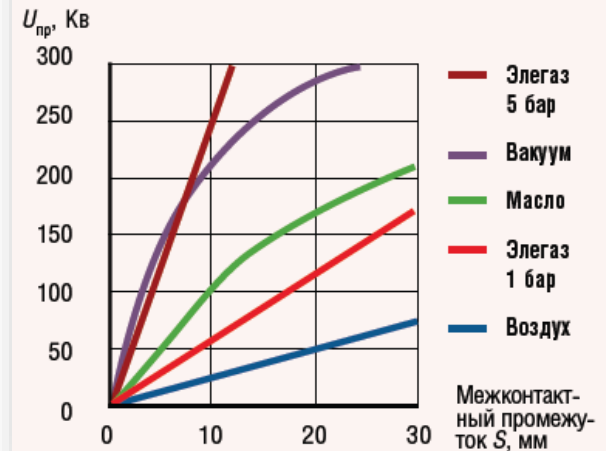
ABB PM, 500 кВ

Сопоставление дугогасительных сред

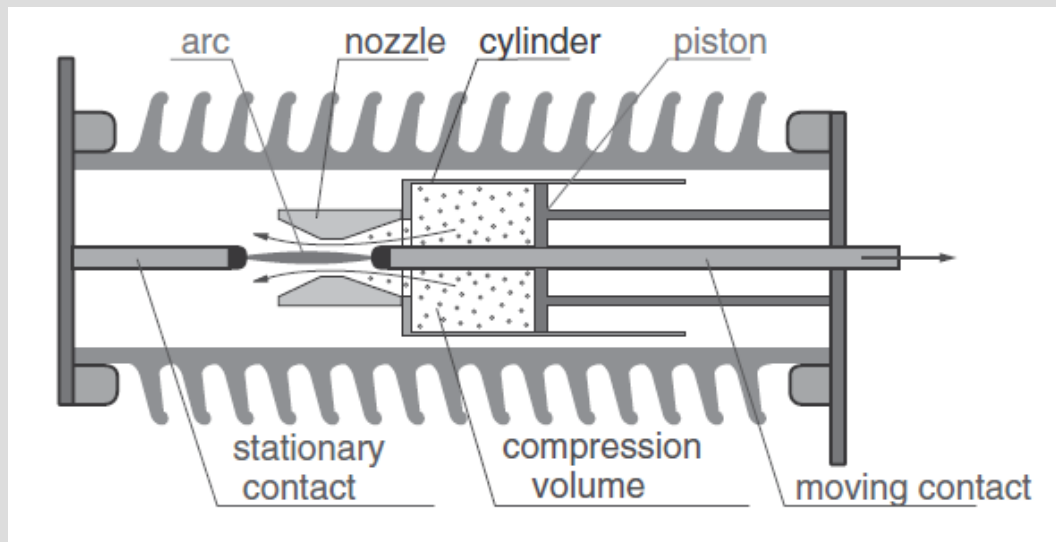
Эволюция дугогасительных сред



Разрядное импульсное пробивное напряжение $U_{пр}$ в зависимости от величины межконтактного промежутка S в различных дугогасящих средах

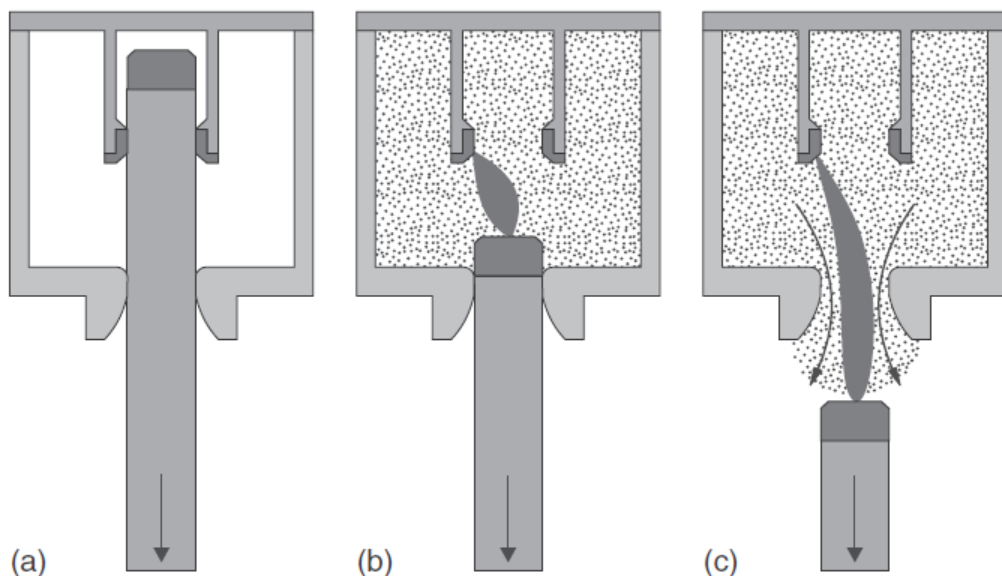


Гашение дуги в элегазовом выключателе



(Дуга, сопло, цилиндр, поршень
Неподвижный контакт, сжатый
объем, подвижный контакт)

*Гашение дуги потоком
элегаза, который
создается за счет
перепада давления,
обеспечиваемого
тепловой энергией дуги, а
также поршневым
устройством*



Видео

Давление элегаза
0,45-0,7 МПа (4,5-7 Бар⁹)

Элегазовый выключатель 500 кВ

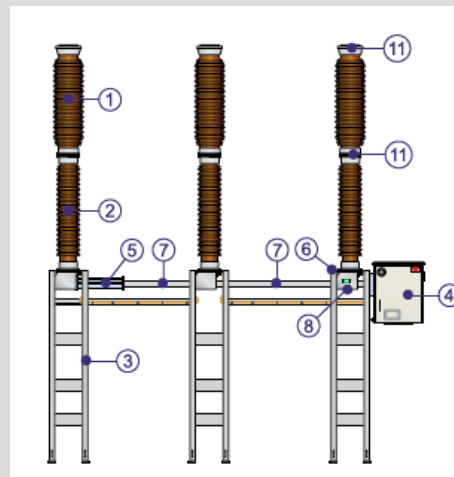
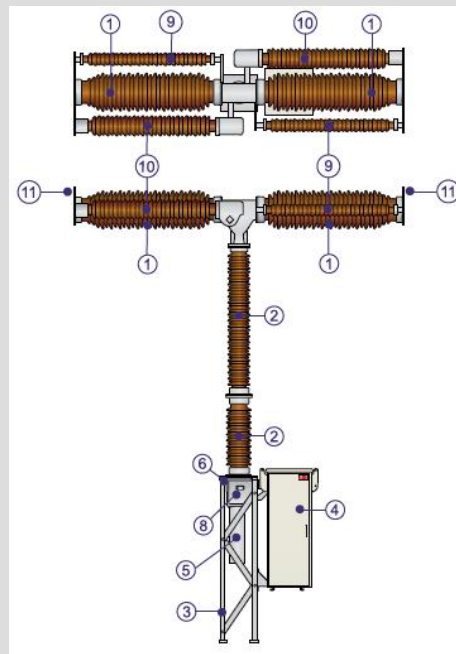
Гашение электрической дуги отключения осуществляется в **двухразрывном** автокомпрессионном дугогасительном устройстве.

Шунтирующие конденсаторы (1600 пФ) обеспечивают равномерное распределение напряжения между разрывами дугогасительного устройства отключенного выключателя

Подвижные контакты, автокомпрессионный цилиндр и дутьевое сопло образуют единый подвижный узел

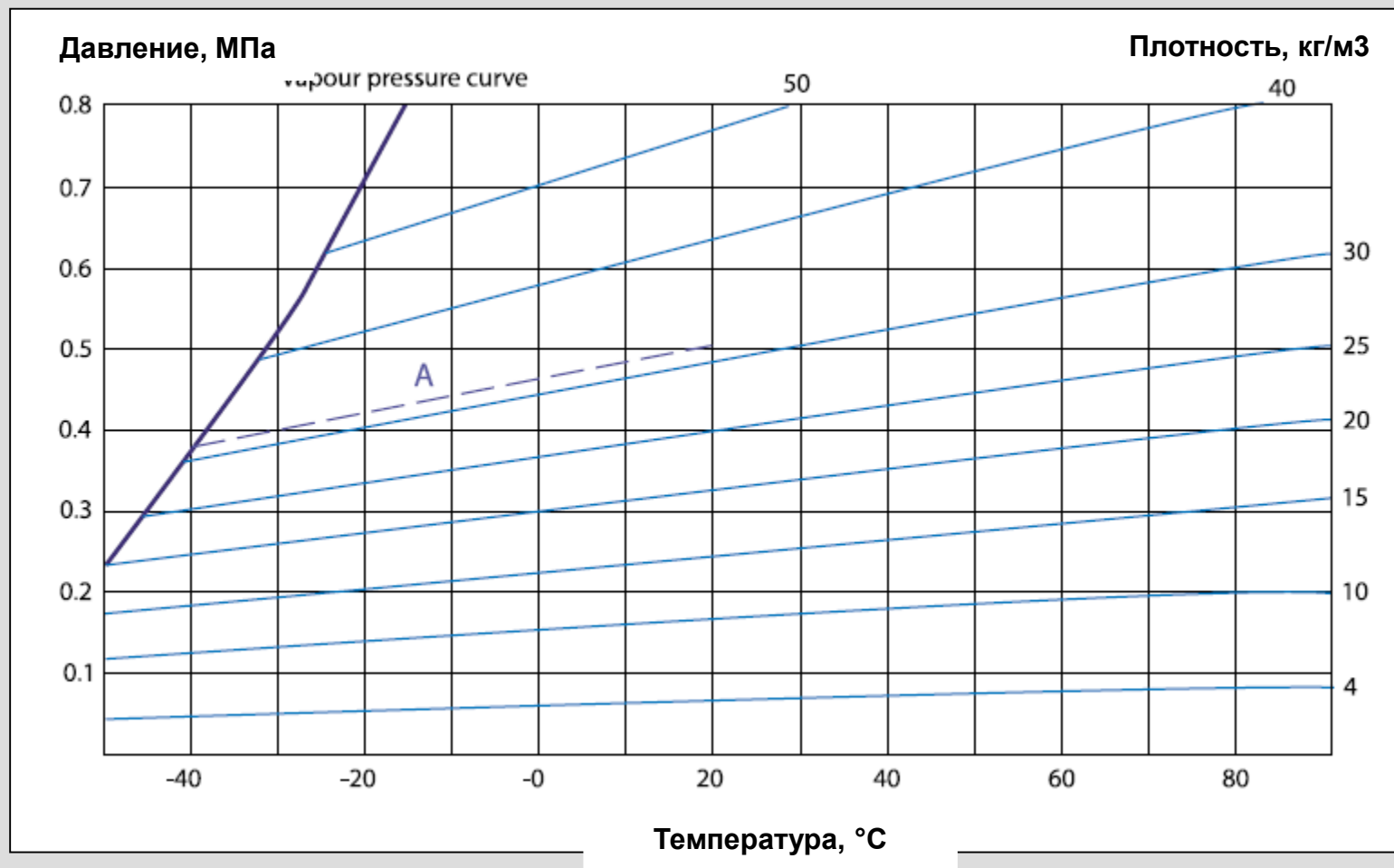
При появлении в помещении с элегазовым оборудованием **запах тухлых яиц** все лица без указанных защитных средств обязаны покинуть помещение

500 кВ



До 300 кВ

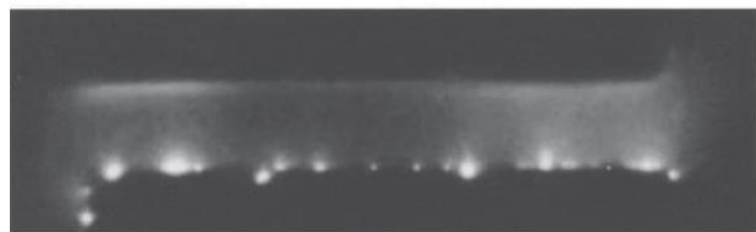
Давление элегаза в выключателе (пример)



**Конденсация элегаза выключателя с нормальным давлением 0,5 Мпа
при 20 °С начинается с -40 °С**

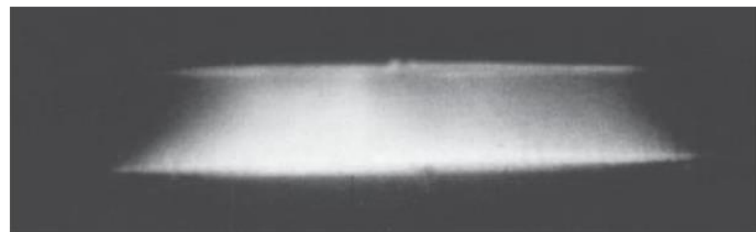
Гашение дуги в вакууме

а) Катодные пятна вблизи прохождения тока через ноль (2 кА)



(a)

б) Аксиальное магнитное дутье (60 кА)

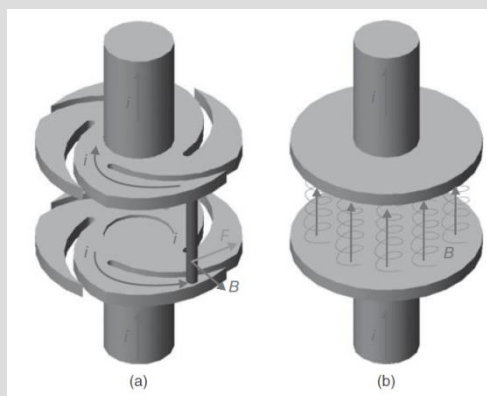


(b)

с) узкая дуга при радиальном магнитном дутье (40 кА)



(c)



Вакуумные выключатели



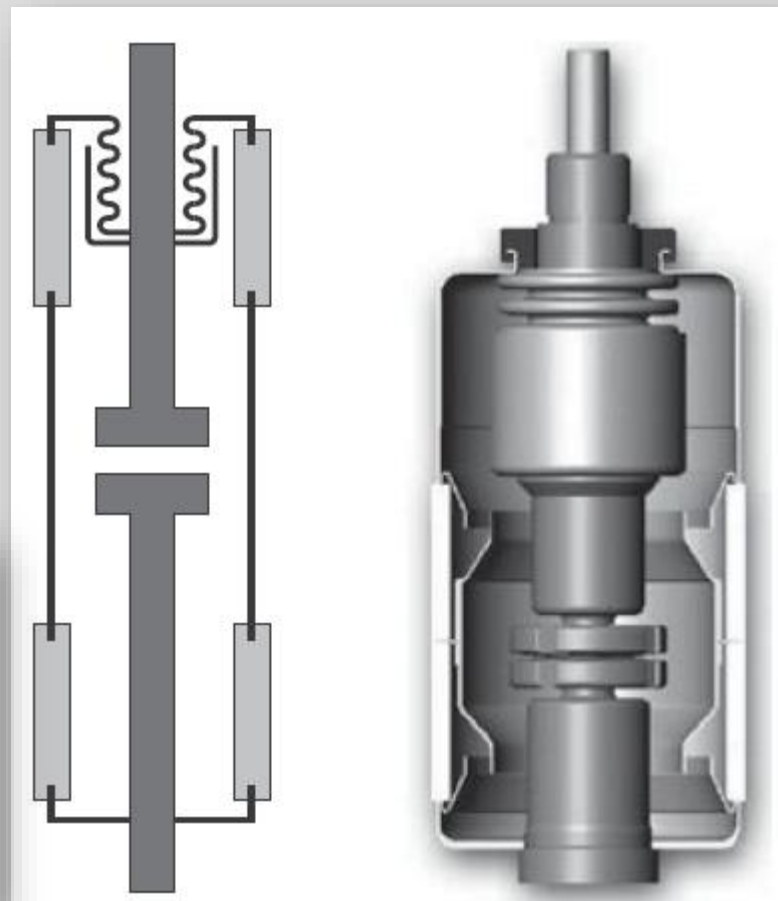
Изношенные контакты ВВ



с аксиальным
дутьем (AMF)



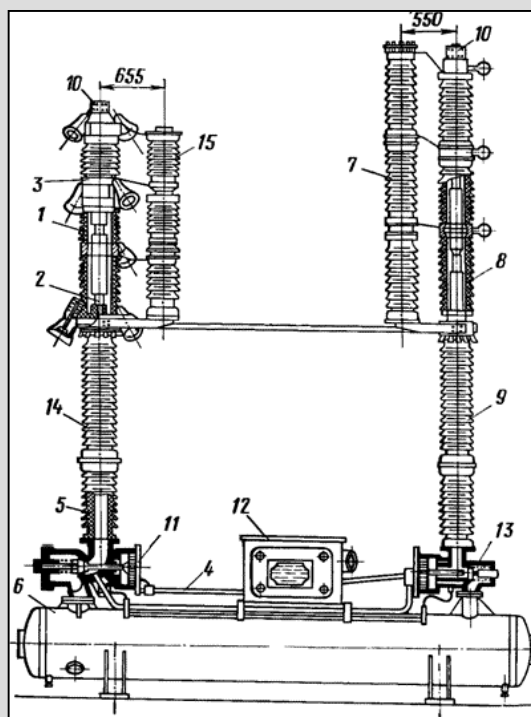
с
радиальным
дутьем (RMF)



ДГК ВВ

Гашение дуги сжатым воздухом

Ограниченная мощность коммутируемой цепи (от 100 до 250 кВ на 2 разрыва) – необходимо последовательно соединять нескольких модулей



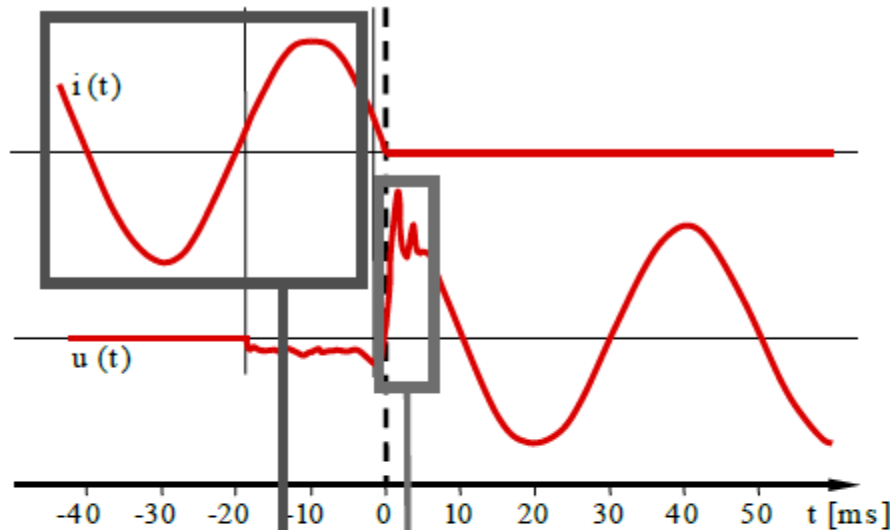
765 кВ, 14 ДГК на полюс.
ASEA (1968 г)

Давление воздуха
до 0,4 МПА (до 4 Бар)

Рис. 40. Воздушный выключатель типа ВВН.

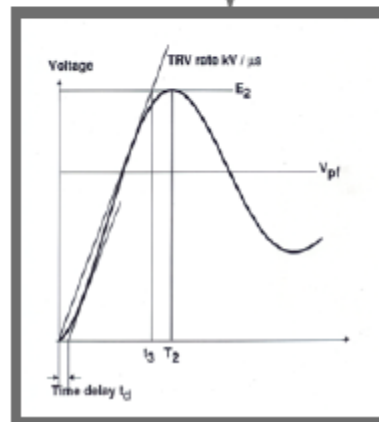
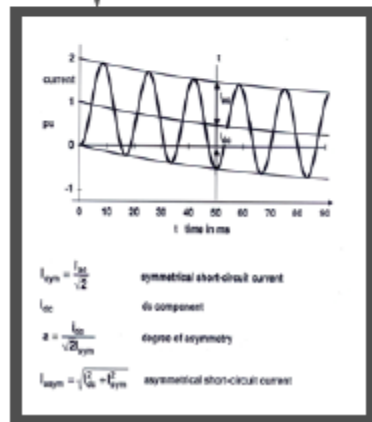
1 — дугогасительная камера; 2—подвижный контакт; 3 — средний фланец; 4 — штанга; 5 — опорный изолятор; 6 — резервуар; 7—емкостный делитель напряжения; 8 - отделитель; 9 - опора отделителя; 10 — контакт; II — дутьевые клапаны; 12 — шкаф управления; 14 опора камеры; 15 — делитель напряжения.

Отключение тока КЗ



Размыкание дугогасительных контактов

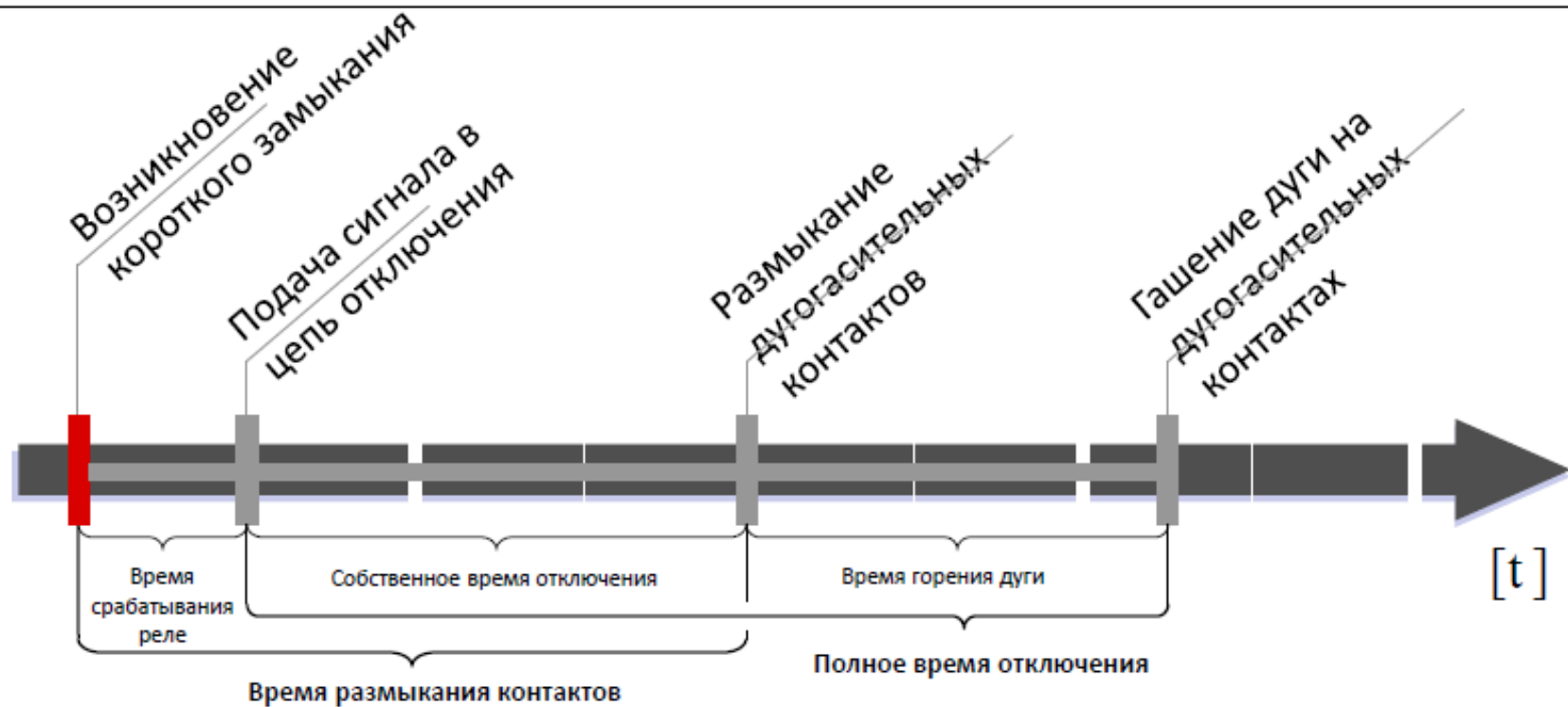
Характеристики тока короткого замыкания (КЗ)



Характеристики переходного восстанавливающегося напряжения (ПВН)

Отключение тока КЗ (2)

Временная диаграмма



Параметры выключателей

Собственное время откл?

30 – 50 мс (вакуумные, элегазовые)

50 - 100 мс (маломасляные)

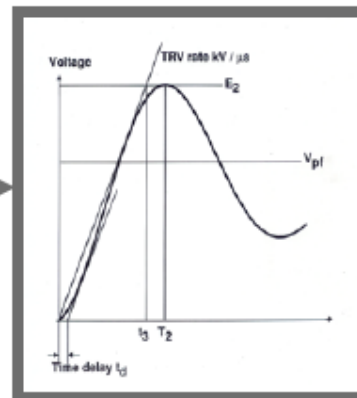
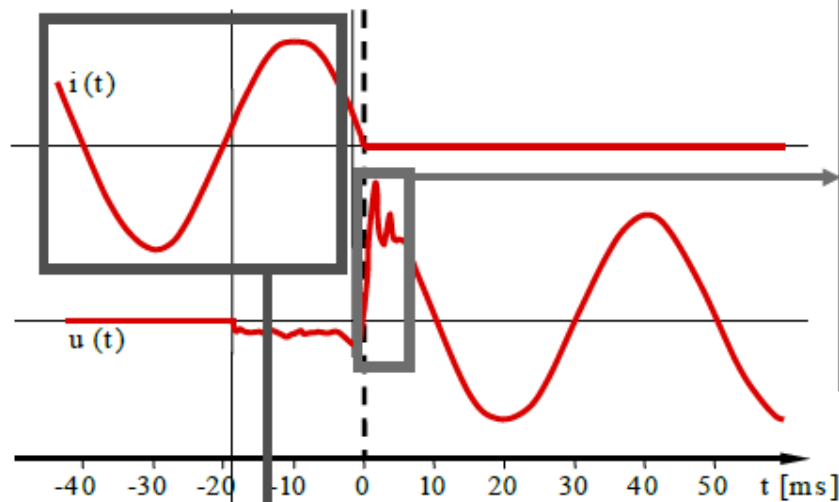
Полное время откл?

50 - 70 мс (вакуумные, элегазовые)

100 – 150 мс (маломасляные)

$$t_{в.в.к\lambda} = t_{с.в.отк\lambda} + t_{дуги}$$

Отключение тока КЗ (3)



Характеристики ПВН

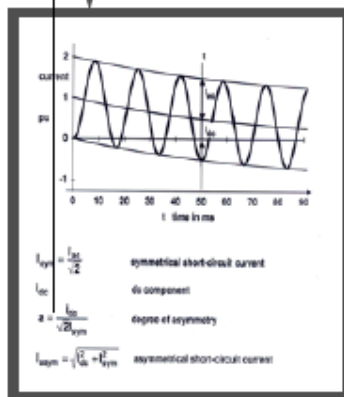
Скорость нарастания

Высокие требования предъявляются к выключателю по следующим параметрам:

- Номинальный ток
- Ток отключения (со стороны системы / генератора)
- Ток при коммутации в условиях рассогласования фаз
- Процентное содержание апериодической составляющей, запаздывание перехода тока через ноль
- Скорость нарастания ПВН

Характеристики тока КЗ

Апериодическая составляющая



Международные НТД по выключателям

IEC 62271-100

HIGH-VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR –
Part 100: Alternating-current circuit-breakers

1 General

1.1 Scope

...
Generator circuit-breakers installed between generator and step-up transformer are not within the scope of this standard.
...

IEC/ IEEE 62271-37-013 (IEEE C37.013)

HIGH-VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR –
Part 37-013: Alternating-current generator circuit-breakers

1 General

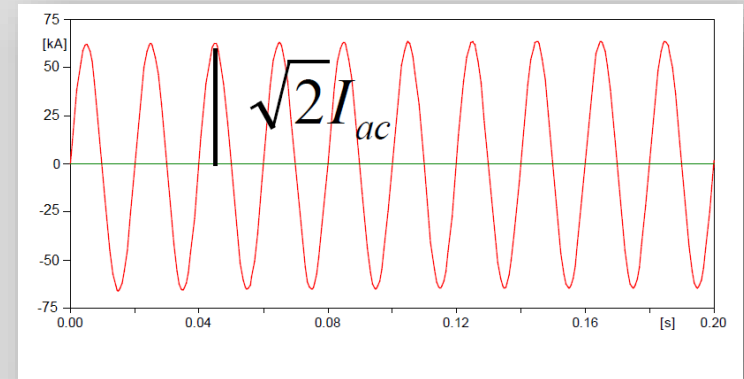
1.1 Scope

This part of IEC 62271 is applicable to three-phase a.c. high-voltage generator circuit-breakers, hereafter called generator circuit-breaker, designed for indoor or outdoor installation and for operation at frequencies of 50 Hz and 60 Hz on systems having voltages above 1 kV and up to 38 kV.

- Требования к генераторным и «сетевым» выключателям по МЭК регламентированы **разными стандартами**
- **Требования к генераторным выключателям более жесткие, чем к «сетевым»**

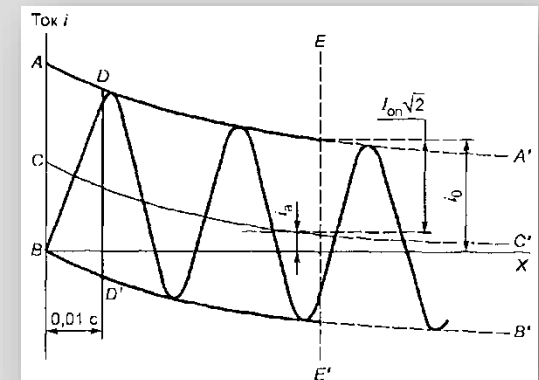
Отключение периодической составляющей тока КЗ

- амплитуда тока КЗ;
 - ✓ номинальные токи отключения В, Ю.ном, до 63 кА
 - ✓ номинальные токи включения В.



Отключение аperiodической составляющей тока КЗ

- наличие аperiodической составляющей в отключаемом токе
 - ✓ нормированное содержание аperiodической составляющей, $\beta_{\text{ном}}$ – до 100% по ГОСТ Р 52565



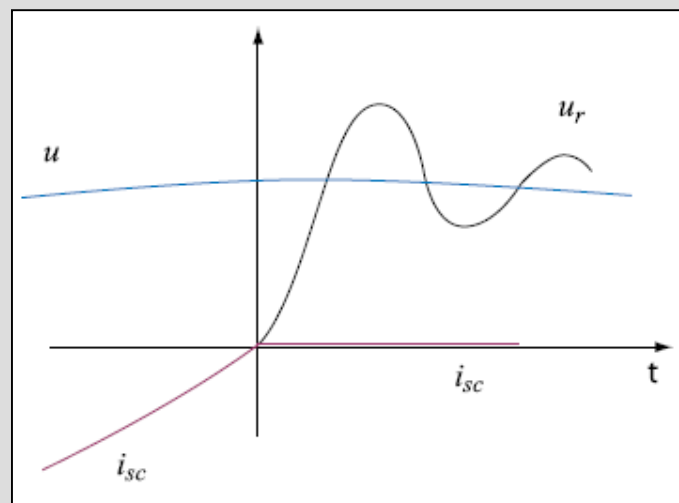
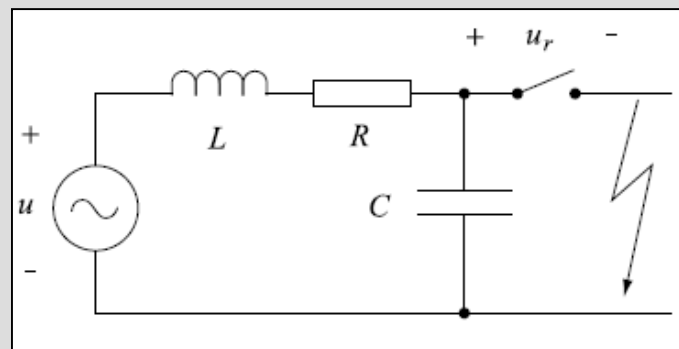
ПВН на контактах выключателя

Переходное восстанавливающееся напряжение (ПВН) - напряжение, появляющееся на полюсе выключателя после погасания дуги

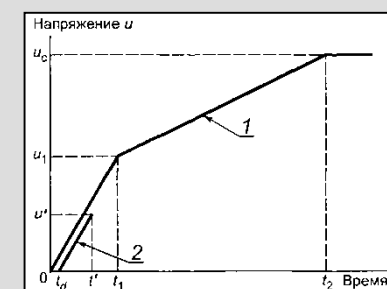
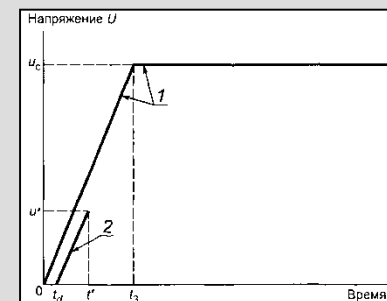
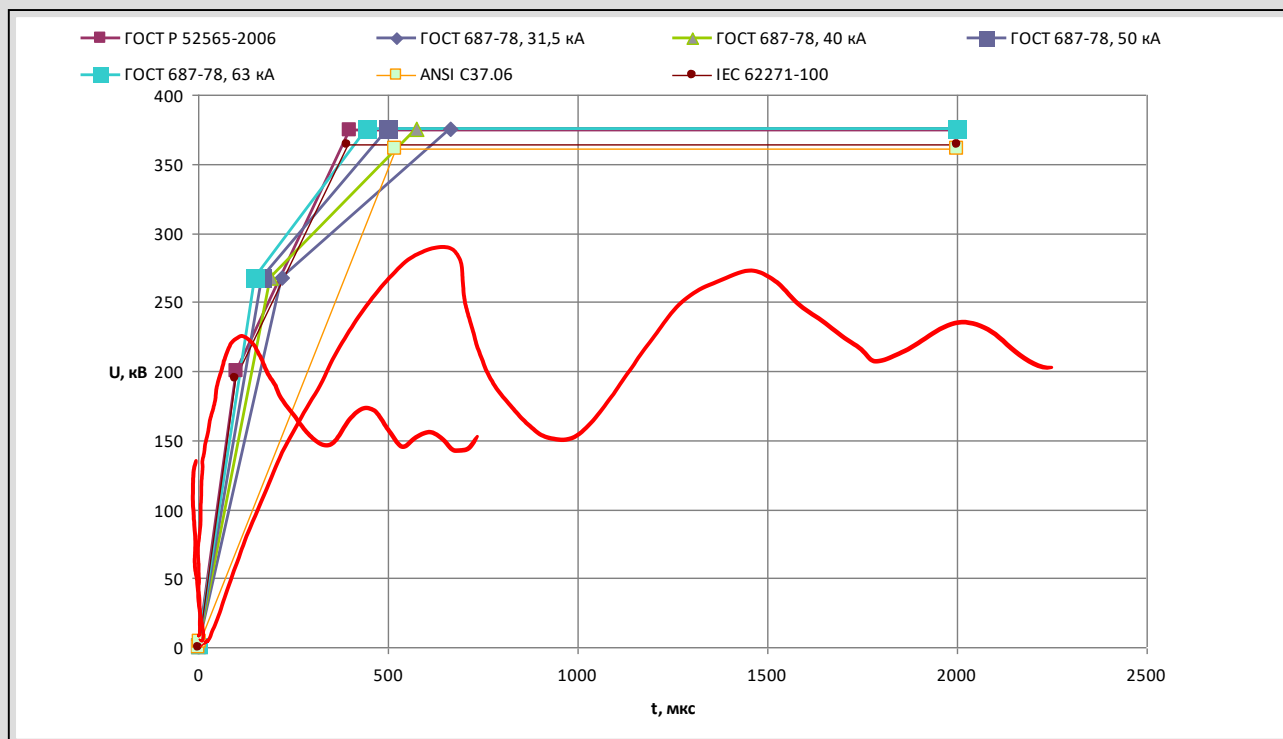
Параметры ПВН:

- скорость роста;
- пиковое значение.

Погасание дуги приводит к разряду энергии запасенной в индуктивности источника (+ПС) емкость цепей на землю со стороны ПС. Переходный процесс приводит к образованию в/ч составляющая напряжения, накладываемой на напряжение 50Гц

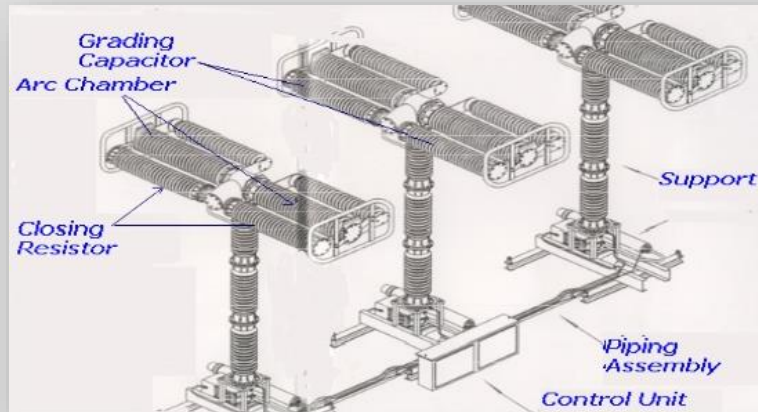


Допустимые нормируемые параметры ПВН



**Сопоставление нормированных характеристик ПВН для
выключателей 220 кВ по ГОСТ и 245 кВ по ANSI и IEC**

ПВН

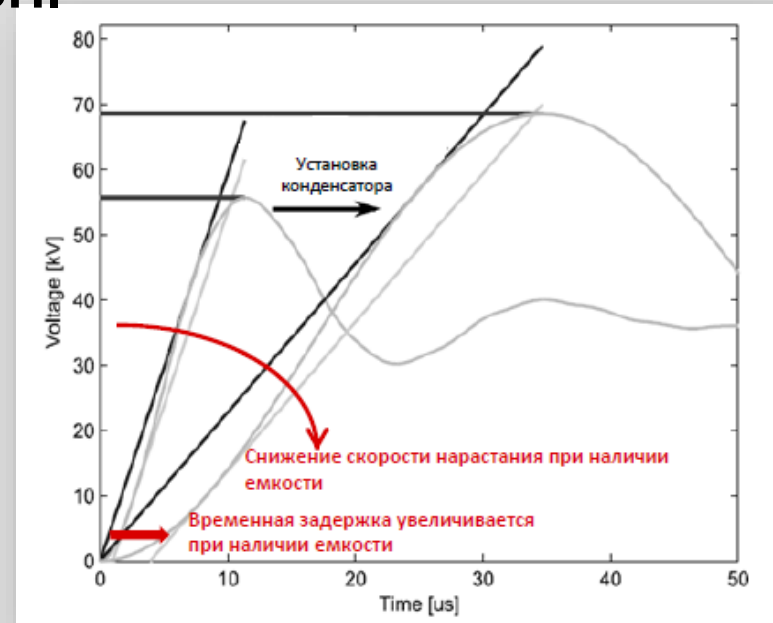


Конденсаторы:

- выравнивают напряжение между ДГК;
- уменьшают скорость роста ПВН.

330-500 кВ – два разрыва на фазу элегазового В. Каждый конденсатор имеет емкость более 1000 пФ.

220 кВ - один разрыв на фазу элегазового В. Конденсаторы, не применяют у элегазовых, но применяют у воздушных.



Генераторные выключатели

Отключающая способность:

Номинальный ток отключения (со стороны системы):

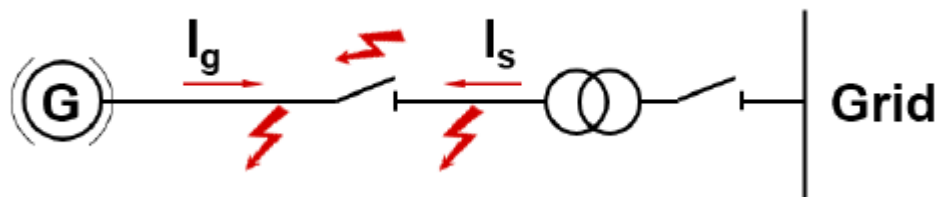
- Действующее значение, апериодическая составляющая, характеристики ПВН

Номинальный ток отключения (со стороны генератора):

- Действующее значение, апериодическая составляющая, характеристики ПВН

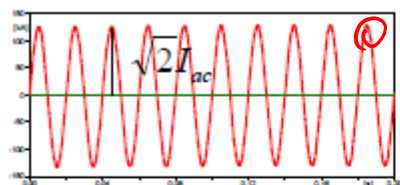
Отключающая способность при рассогласовании фаз

- Действующее значение, апериодическая составляющая, характеристики ПВН

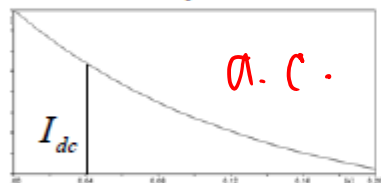


Генераторные выключатели (2)

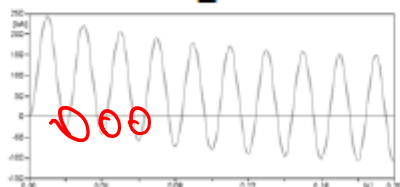
Со стороны системы



+

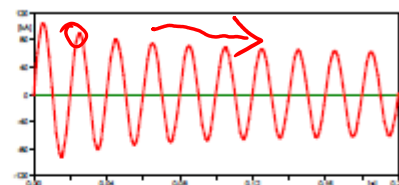


=

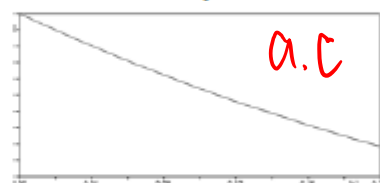


Относительное содержание
аperiodической составляющей

Со стороны генератора

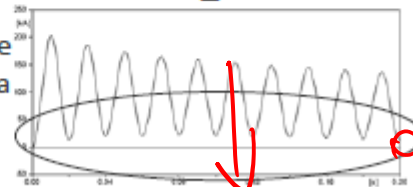


+



=

Запаздывание
перехода тока
через ноль



$$a = \frac{I_{dc}}{\sqrt{2}I_{ac}}$$

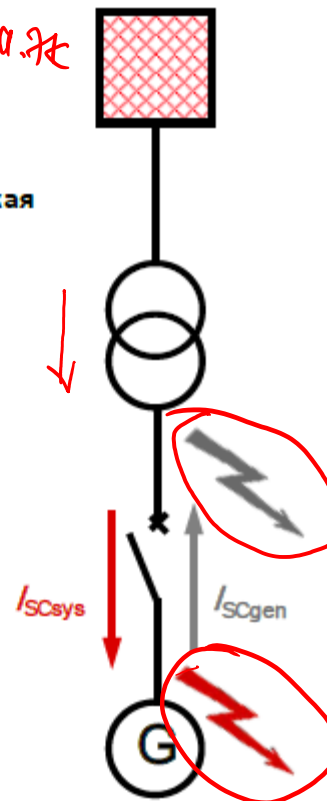
a > 100 % ?

$I_{no} \approx I_{ac} T_{a.т}$

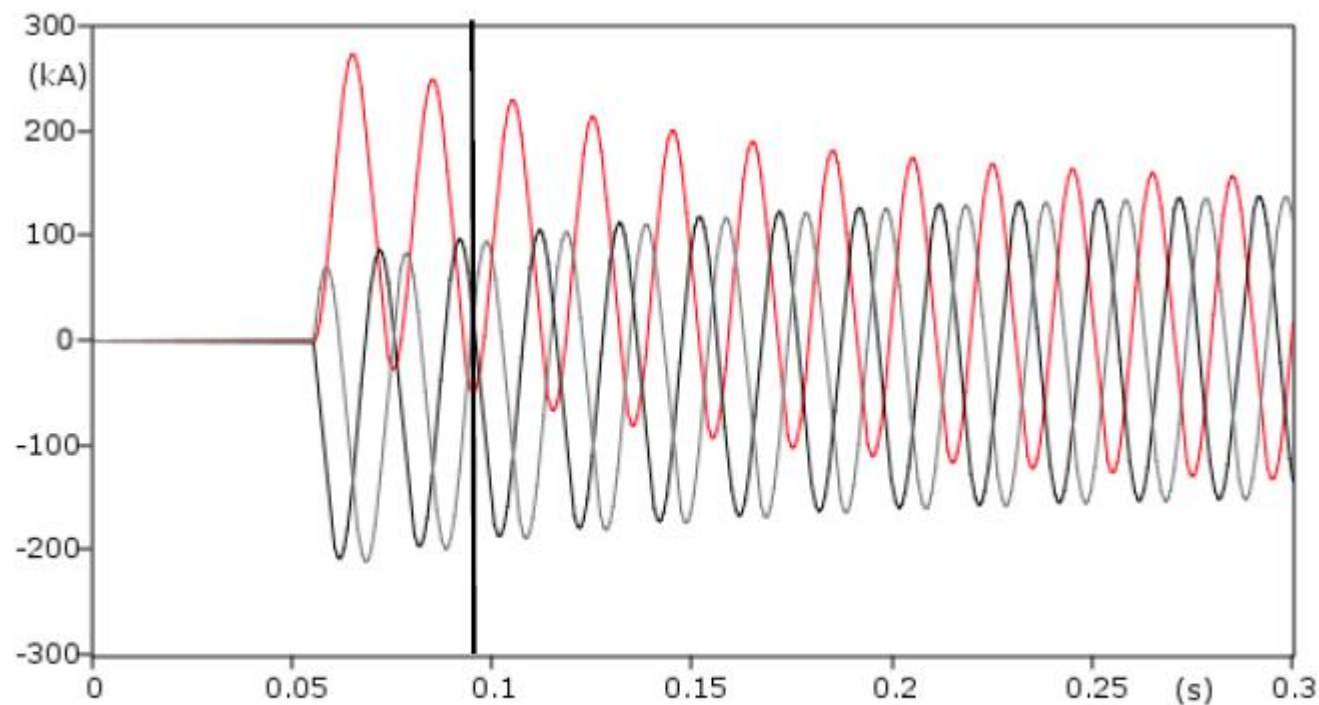
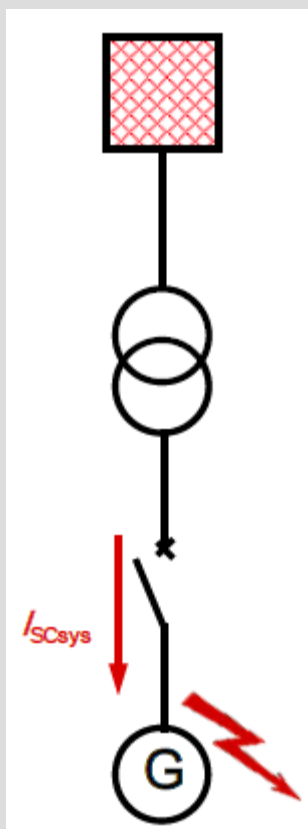
AC / периодическая
составляющая

DC /
аperiodическая
составляющая

Полный ток



Ток КЗ от системы



Собственное время отключения 40 мс:

$I_{pk} = 272.5$ кА

$I_{sym} = 98.4$ кА

$a = 66.41\%$

Большая амплитуда периодической составляющей тока КЗ
Содержание апериодической составляющей в токе КЗ не превышает 100%

Статистика компании АВВ



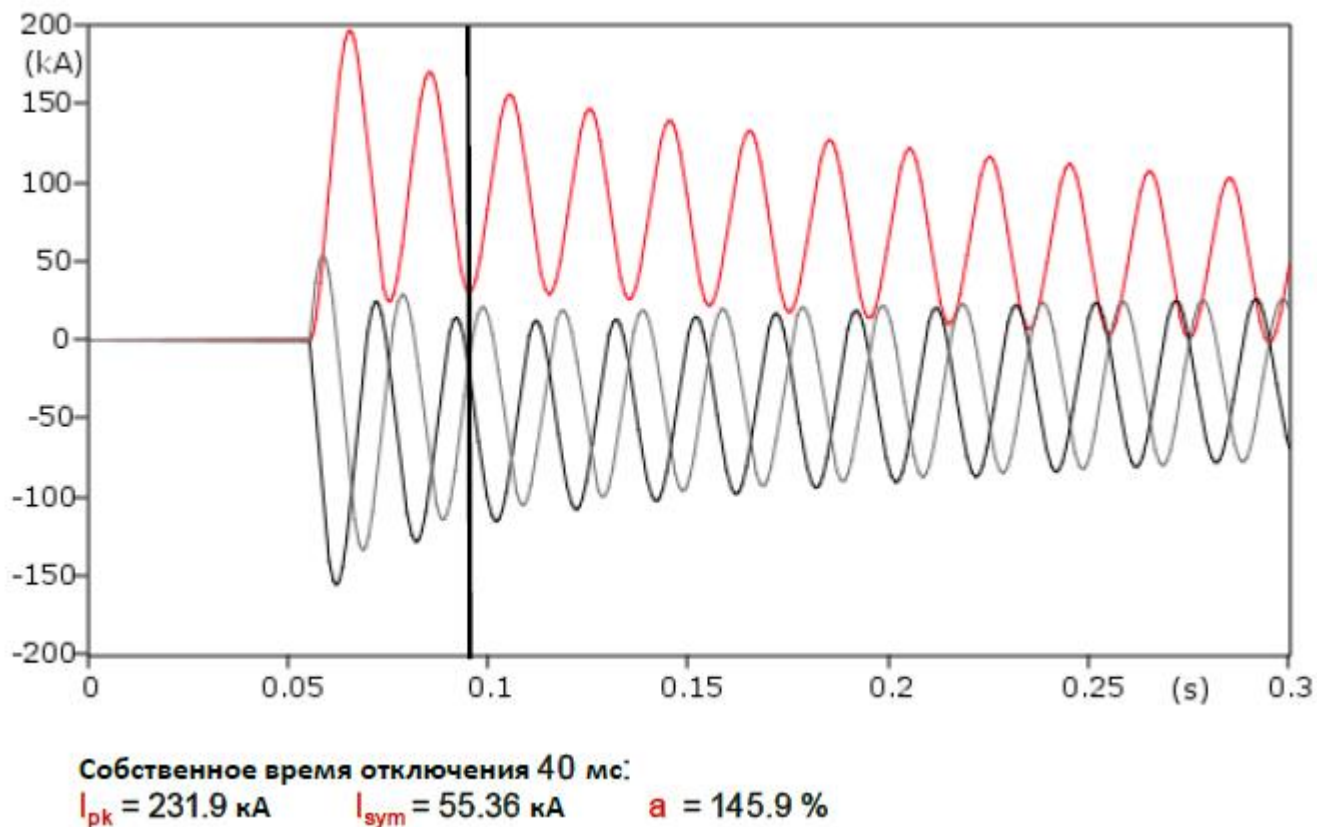
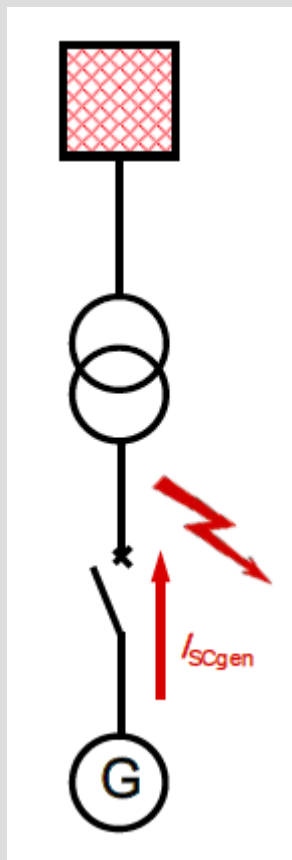
**Периодическая составляющая тока
КЗ от системы**

- Периодическая составляющая увеличивается с ростом мощности генераторов
- Содержание аperiodической составляющей не превышает 100 %. В среднем – 72 %



**Процентное содержание
аperiodической составляющей в
токе КЗ**

Ток КЗ от генератора



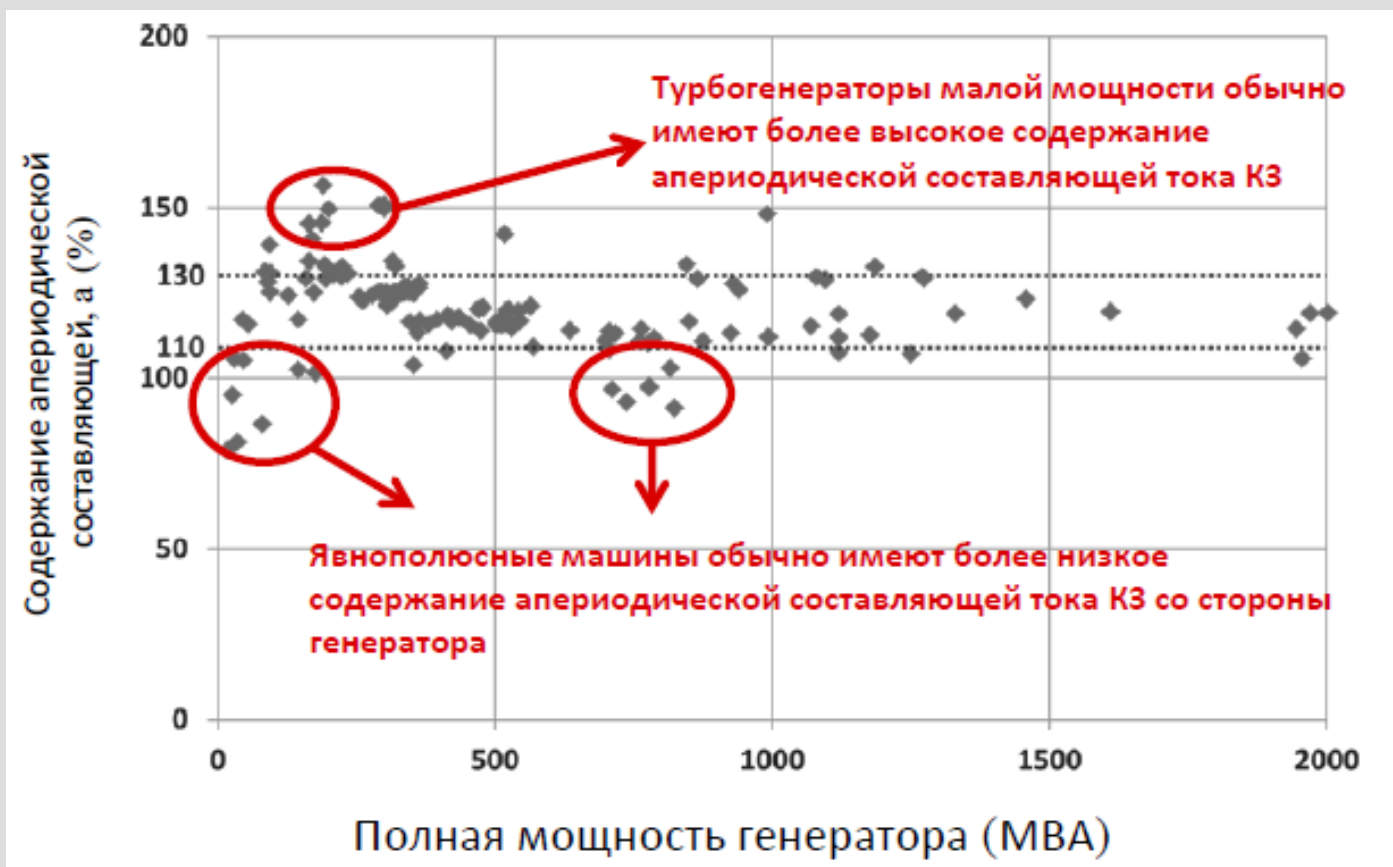
Небольшая амплитуда периодической составляющей тока КЗ
Высокое содержание апериодической составляющей в токе КЗ
Задержка перехода тока через нуль

Статистика АВВ (2)



**Ток КЗ от генератора / Ток КЗ от
системы**

Статистика АВВ (3)



Процентное содержание аperiodической составляющей в токе K3

Классы выключателей по условиям отключения токов КЗ от генераторов

Класс G1

Два значения:

- I_{scg} при **110%** апериодической составляющей (на момент размыкания контактов)
- **0.74** x I_{scg} при **130%** апериодической составляющей (на момент размыкания контактов)

Пример: $I_{scg} = 100$ кА, G1

- 100 кА / 110%
- 74 кА / 130%

Класс G2

Одно значение:

- I_{scg} при **130%** апериодической составляющей (на момент размыкания контактов)

Пример: $I_{scg} = 100$ кА, G2

- 100 кА / 130%

по IEC/IEEE 62271-37-013

Разъединители

Назначение?

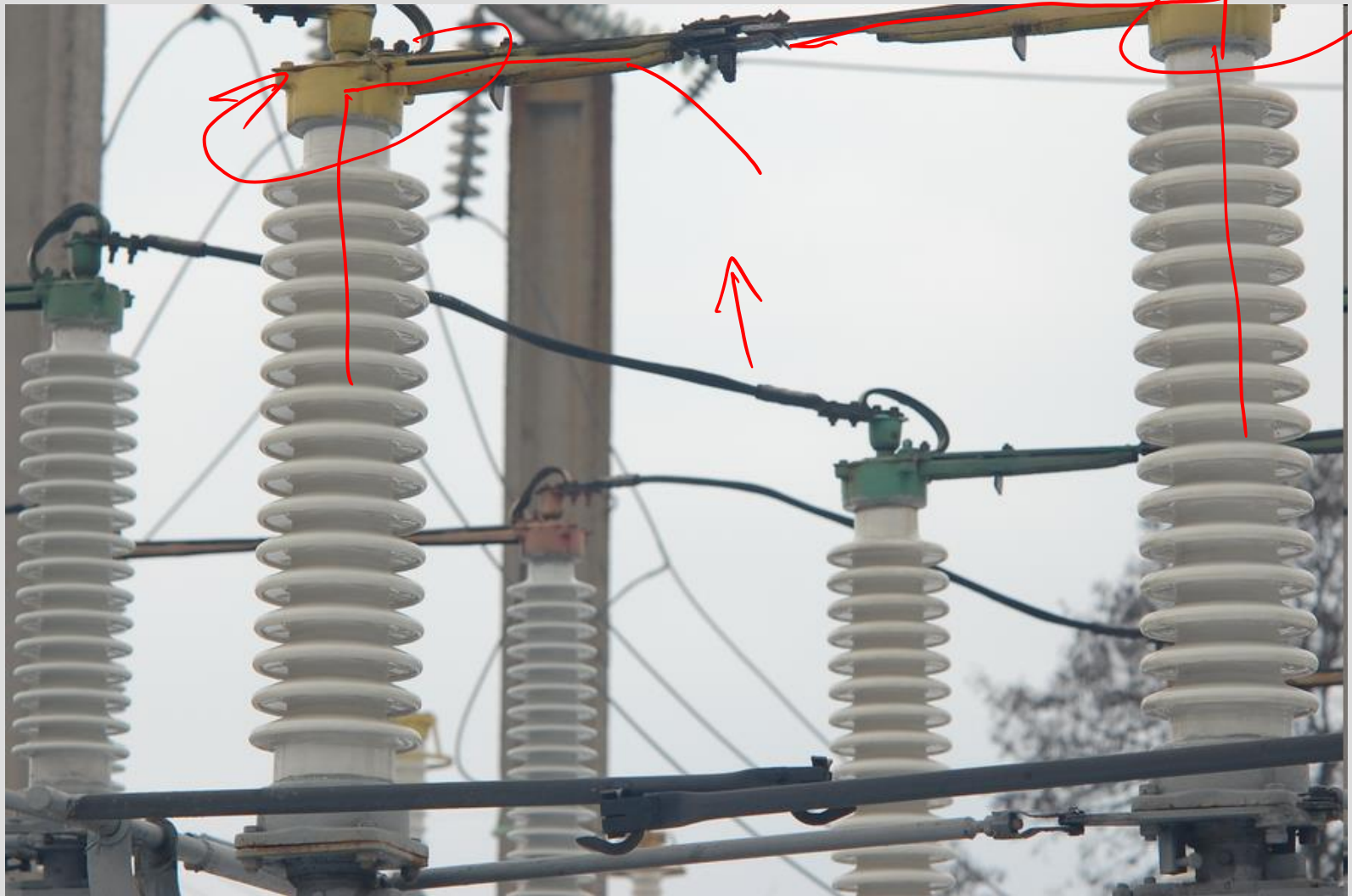


Коммутация цепей без нагрузки

Отключение трансформаторов и линий на х.х.

Создание видимого разрыва цепи

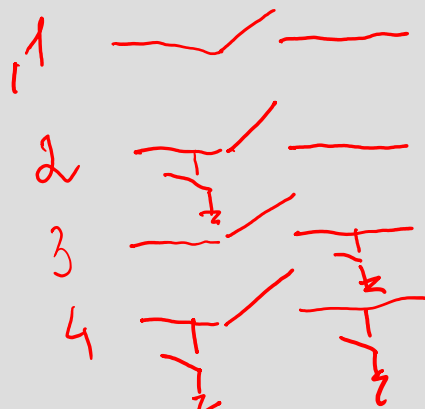
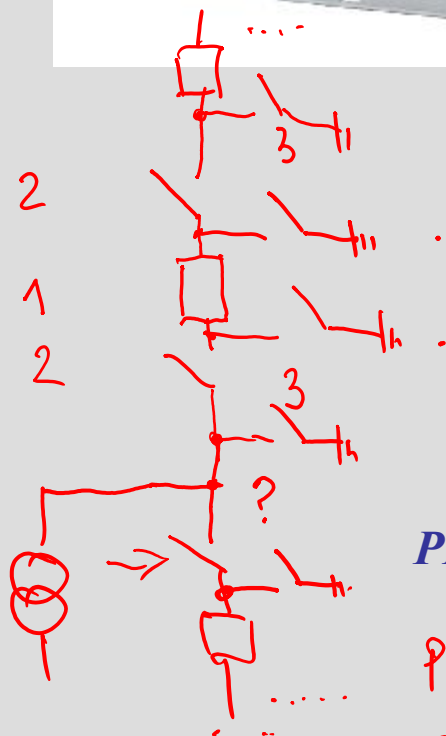
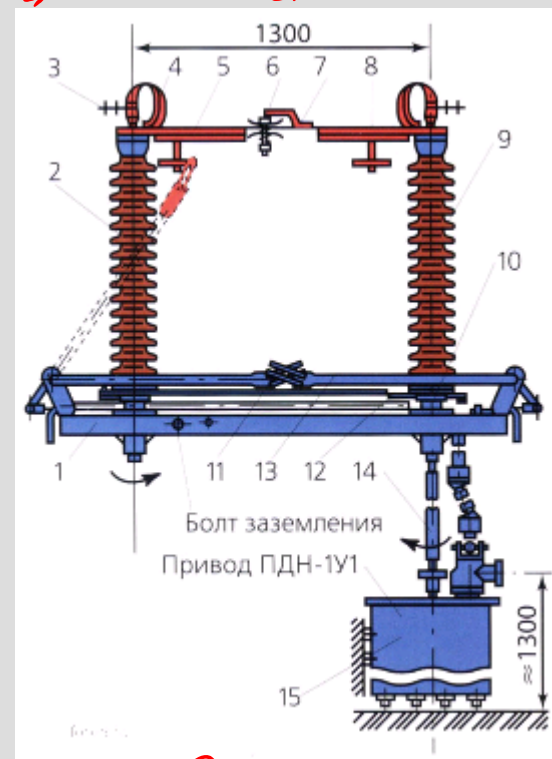
Разъединители 110 кВ на ОРУ



Номенклатура разъединителей

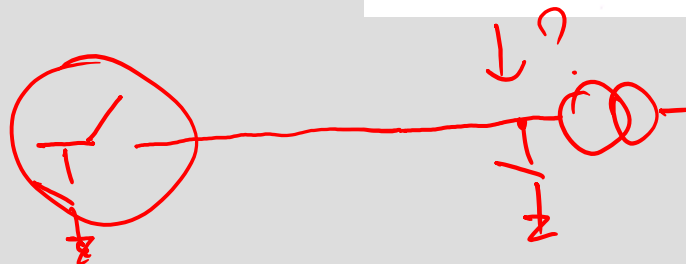


РЛНД-10Б/400 У1 (10 кВ, 400А)



РНД3.2-110/2000 У1 (110 кВ, 2000 А)

РНД3.1
РНД



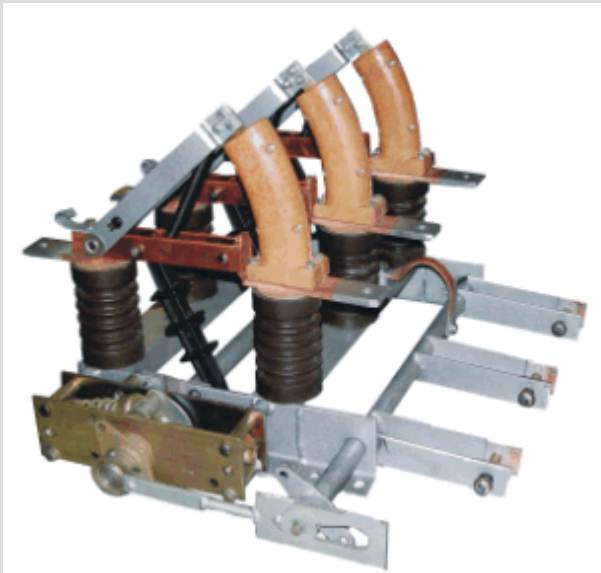
Выключатели нагрузки

Назначение?



Коммутация цепей под нагрузкой

Номенклатура выключателей нагрузки



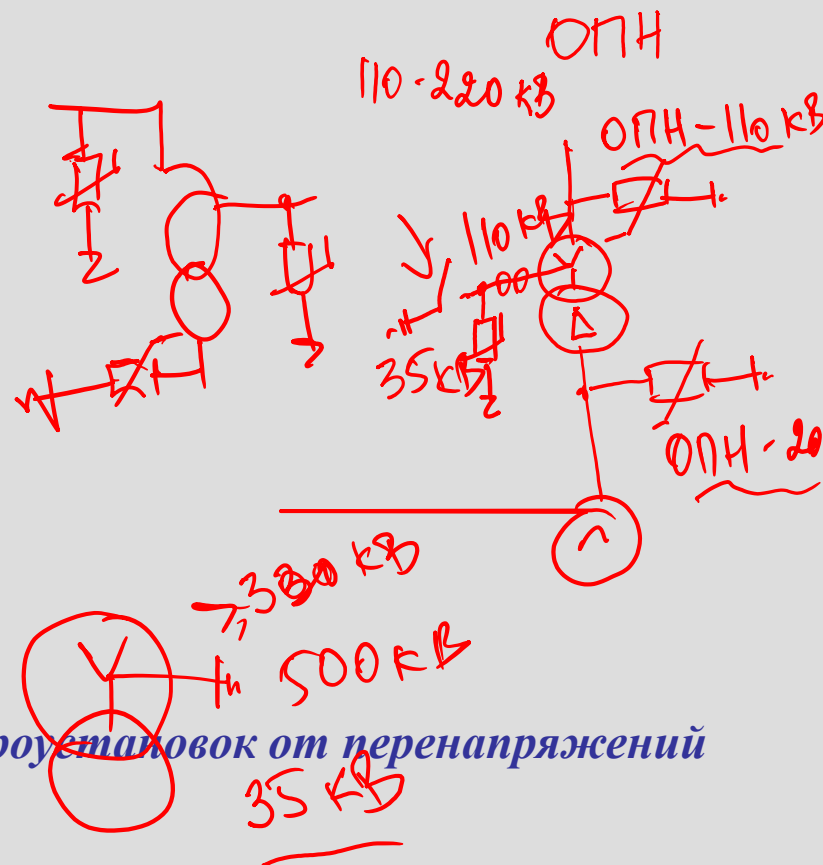
*ВНБ-10/630 УХЛ2 (10 кВ, 630А, дугогасительная
вакуумная камера КДВА2-10-16/1000 УХЛ2*

ВНП-М1-10/630-20 (10 кВ, 630 А, автогаз)

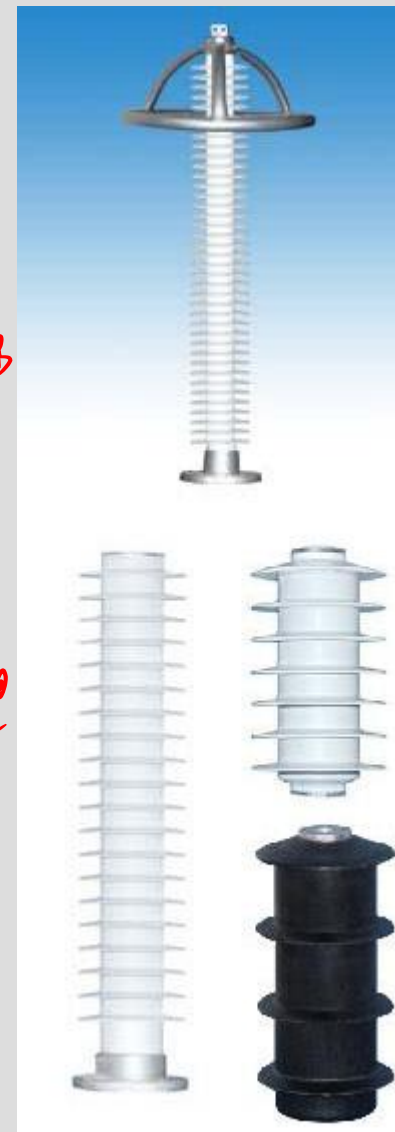


Разрядники

Назначение?



Защита электроустановок от перенапряжений

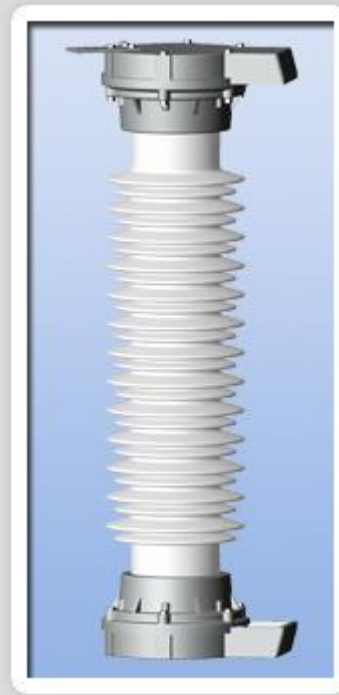


Номенклатура разрядников

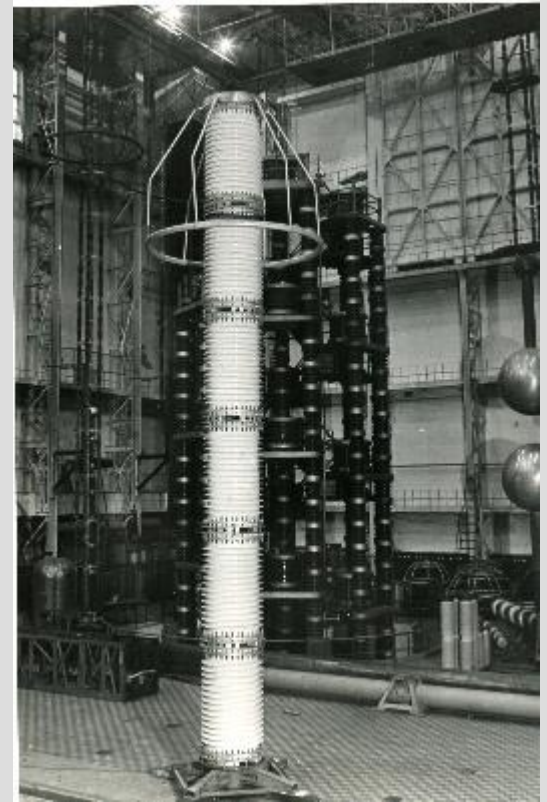


РВМ-110

РВМК-1150 (1150 кВ, вентильный)



ОПН-110 УХЛ1

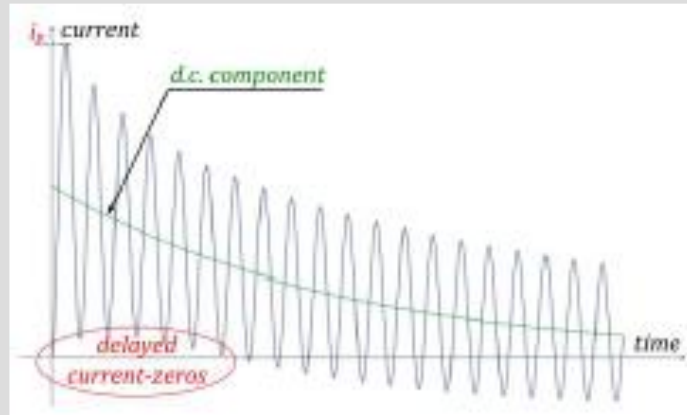
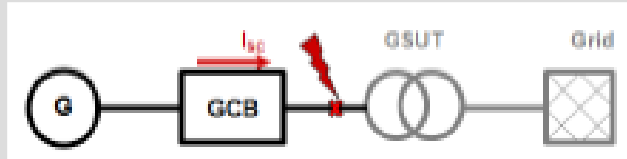


Методика выбора оборудования

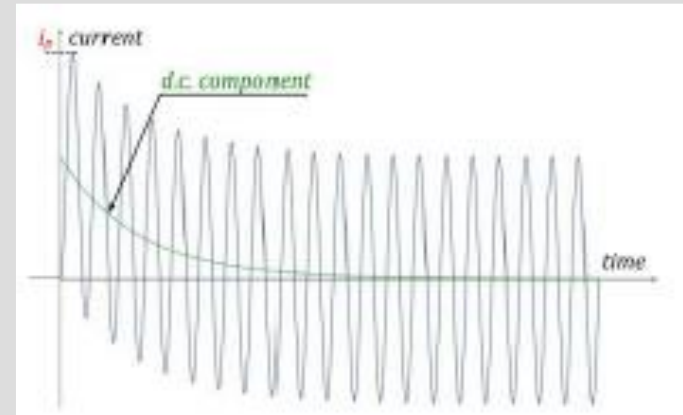
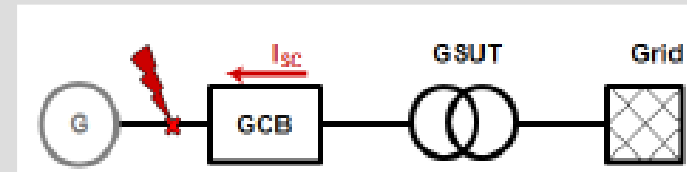
*Предварительный выбор выключателя
по продолжительному режиму работы*

*Проверка (уточнение) выключателя по
кратковременному (аварийному) режиму работы*

Отключение токов КЗ в цепи генератора (1)



Меньшие значения $I_{по}$
Медленное затухание
апериодич. составляющей



Большие значения $I_{по}$
Быстрое затухание а.с.

Предварительный выбор выключателя по продолжительным режимам работы

Выбор аппаратов производится по условиям нормального и наиболее тяжелого продолжительного режима

$$U_{нб.доп} \geq U_{нб.раб}$$

$$I_{ном} \geq I_{норм.расч}$$

$$k_n * I_{ном} \geq I_{прод.расч}$$

k_n - коэффициент допустимой перегрузки аппарата

При определении продолжительного расчетного тока учитывается:

- возможность перегрузки генератора (до 5%);
- отключение одного из вводов питания РП;
- вывод в ремонт одного из выключателей РУ повышенных напряжений

Проверка выключателя по аварийному режиму работы - на термическую стойкость

$$B_K \leq B_{K.\text{доп}}$$

$$B_{K.\text{доп}} = I_{\text{TEP.норм}}^2 * t_{\text{TEP.норм}}$$

$$t_{\text{откл}} < t_{\text{TEP.норм}}$$

$$B_{K.\text{доп}} = I_{\text{TEP.норм}}^2 * t_{\text{откл}}$$

$$B_K = I_{n0}^2 * \left(t_{\text{откл}} + T_{a.\text{ЭК}} * \left(1 - e^{\frac{-2 * t_{\text{откл}}}{T_{a.\text{ЭК}}}} \right) \right)$$

$$t_{\text{откл}} \geq 3 * T_{a.\text{ЭК}}$$

$$B_K = I_{n0}^2 * (t_{\text{откл}} + T_{a.\text{ЭК}})$$

$$t_{\text{откл}} = t_{P3} + t_{\text{в.собртв}}$$

Проверка выключателя по аварийному режиму работы - на электродинамическую стойкость

$$I_{пр.скв} \geq I_{н0}$$

$$i_{пр.скв} = i_{дин} \geq i_{уд}$$

$I_{пр.скв}, i_{пр.скв}$ - каталожные значения

$I_{н0}, i_{уд}$ - расчетные значения

Проверка выключателя на коммутационную способность

Включающая способность:

$$I_{\text{вкл.ном}} \geq I_{n0}$$

$$i_{\text{вкл.ном}} \geq i_{\text{уд}}$$

Отключающая способность:

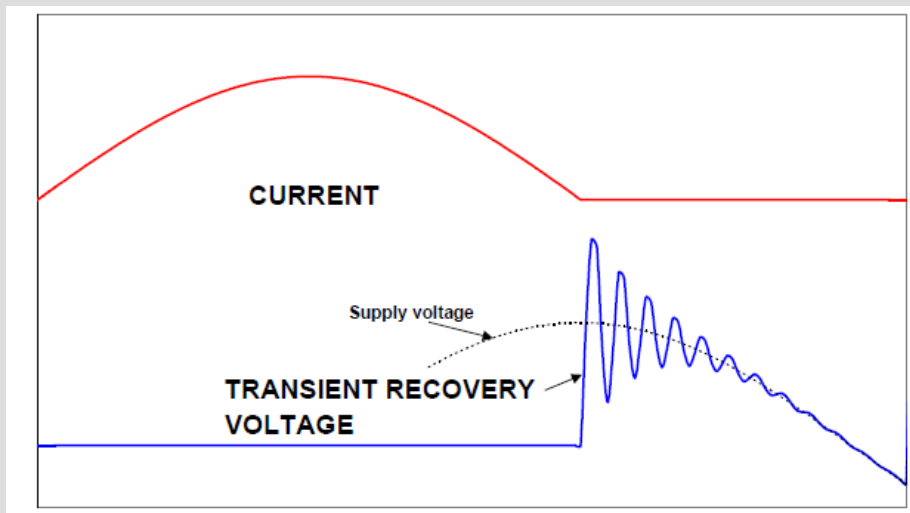
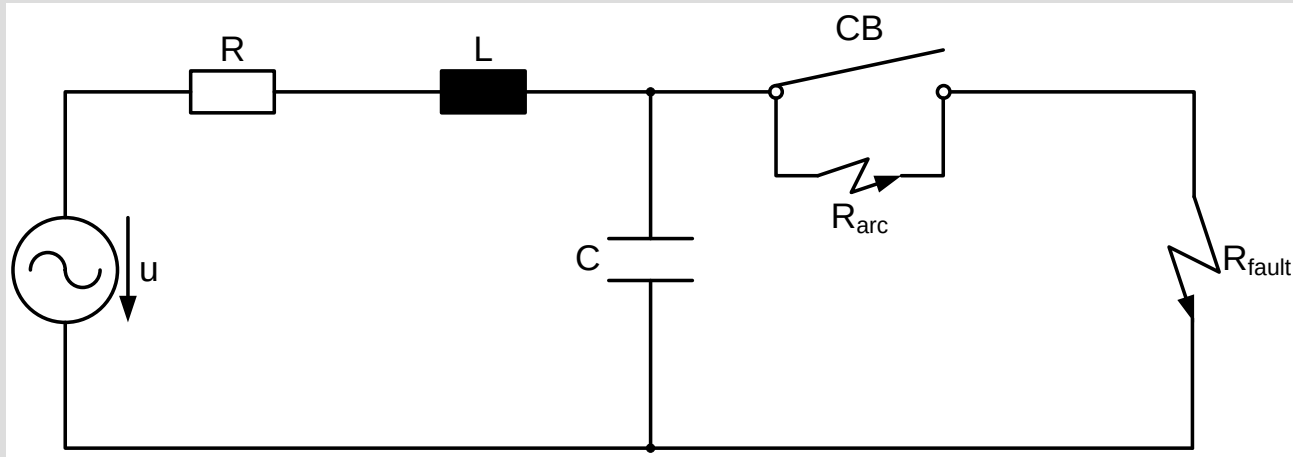
$$I_{\text{откл.ном}} \geq I_{n\tau}$$

$$i_{a.\text{норм}} \geq i_{a\tau}$$

$\beta_{\text{норм}}$ - нормированное содержание
апериодической
составляющей в токе
отключения (25%)

$$i_{a.\text{норм}} = \sqrt{2} * \frac{\beta_{\text{норм}}}{100} * I_{\text{откл.ном}}$$

Переходное восстанавливающееся напряжение (1)

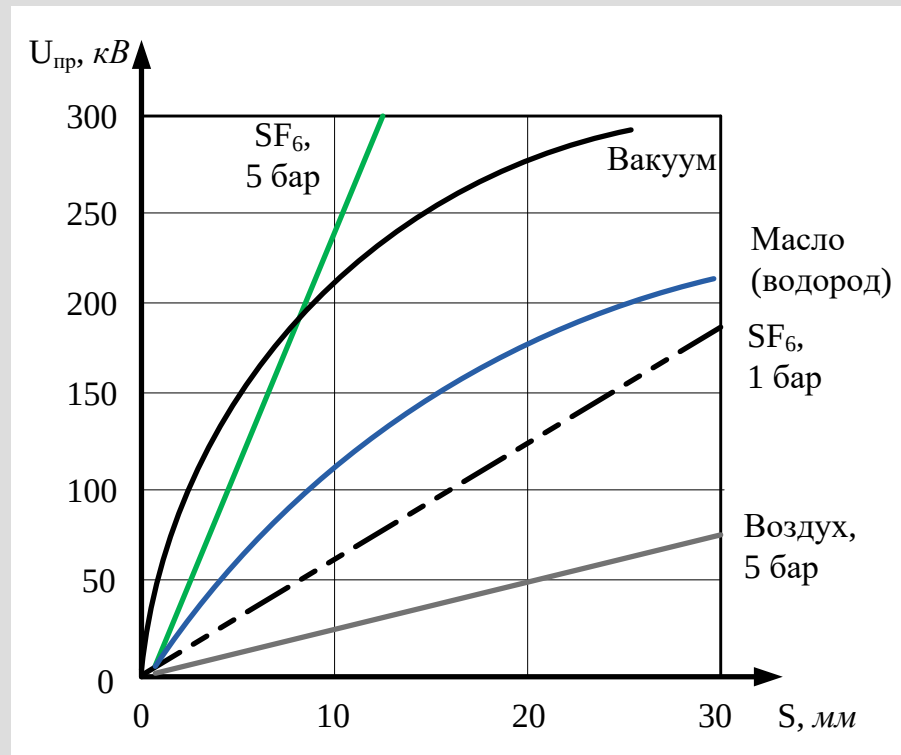


После отключения цепи происходит заряд емкости C от источника – к выключателю прикладывается ПВН с частотой

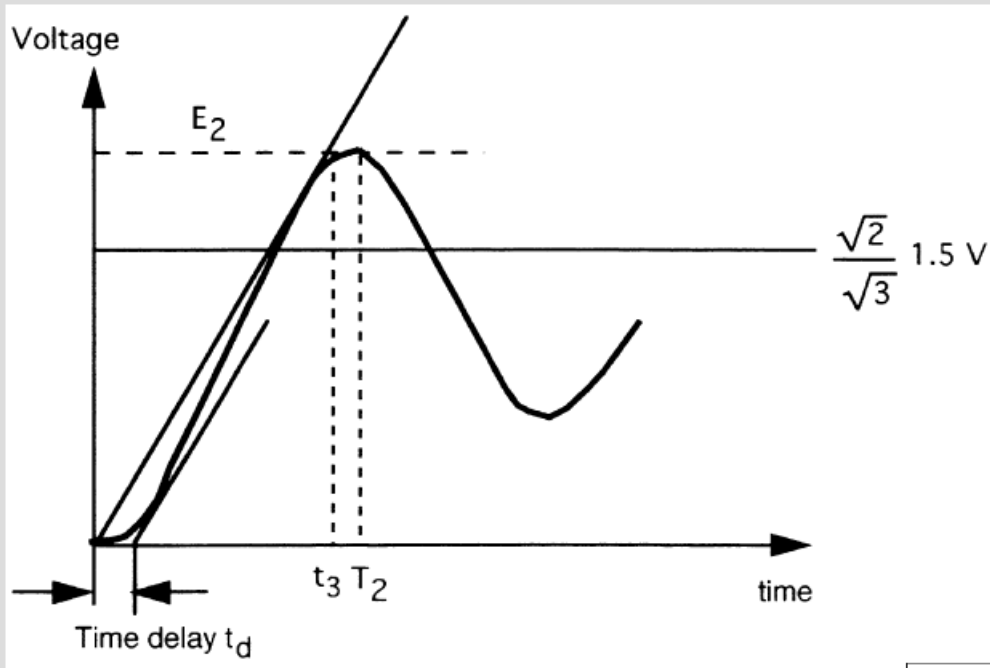
$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

Переходное восстанавливающееся напряжение (2)

Скорость восстановления электрической прочности промежутка между контактами зависит от среды и скорости расхождения контактов



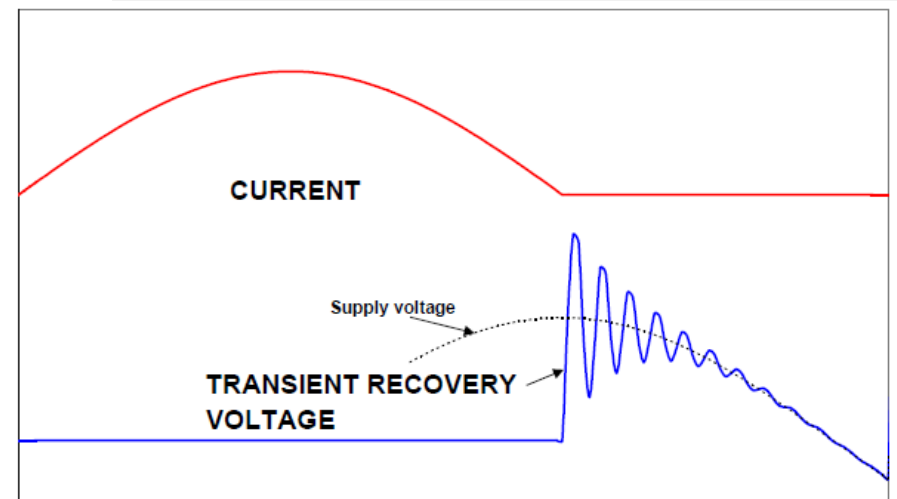
Проверка выключателя по переходному восстанавливающему напряжению



Параметры ПВН:

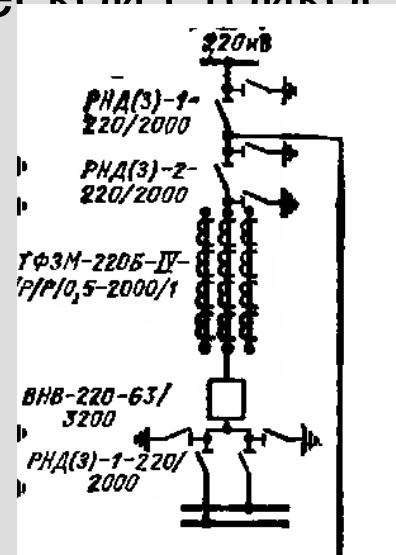
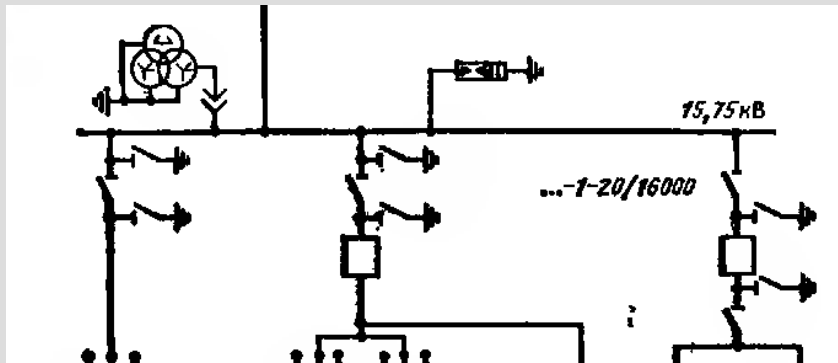
- пиковое значение, кВ;
- время пикового знач., мкс;
- скорость роста, кВ/мкс

Проверка заключается в том, чтобы кривая ПВН не пересекала и лежала ниже границы допустимых значений



Выбор разъединителей

- Выбор по продолжительным режимам работы (наибольшее рабочее напряжение и ток);
- Выбор количества и расположения заземляющих ножей;
- Проверка по термической стойкости;
- Проверка по электродинамической стойкости.



Выбор трансформаторов тока

- Выбор по классу точности и проверка по нагрузке вторичных цепей (см. ниже);
- Выбор по продолжительным режимам работы (наибольшее рабочее напряжение и ток);;
- Проверка по термической стойкости;
- Проверка по электродинамической стойкости;

$$Z_{\text{ном}} \geq Z_{\text{пров.}} + Z_{\text{приб.}} + Z_{\text{конт.}}$$

Классы точности

0,5 (0,2S) – измерения и учет ЭЭ;

1 (3) – щитовые приборы

10P – РЗиА

Номинальная нагрузка, Ом, в классе			
0,5	1	3	10P
0,4 ...	...	...	0,6 ...

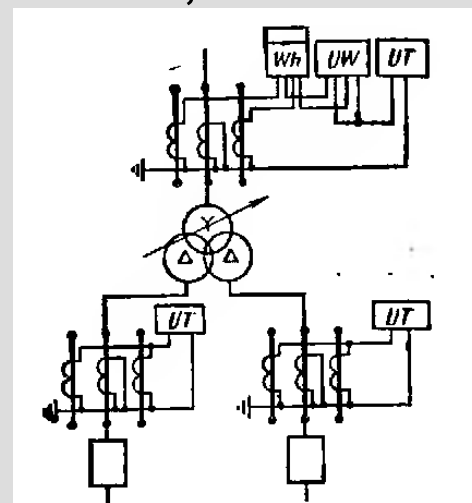
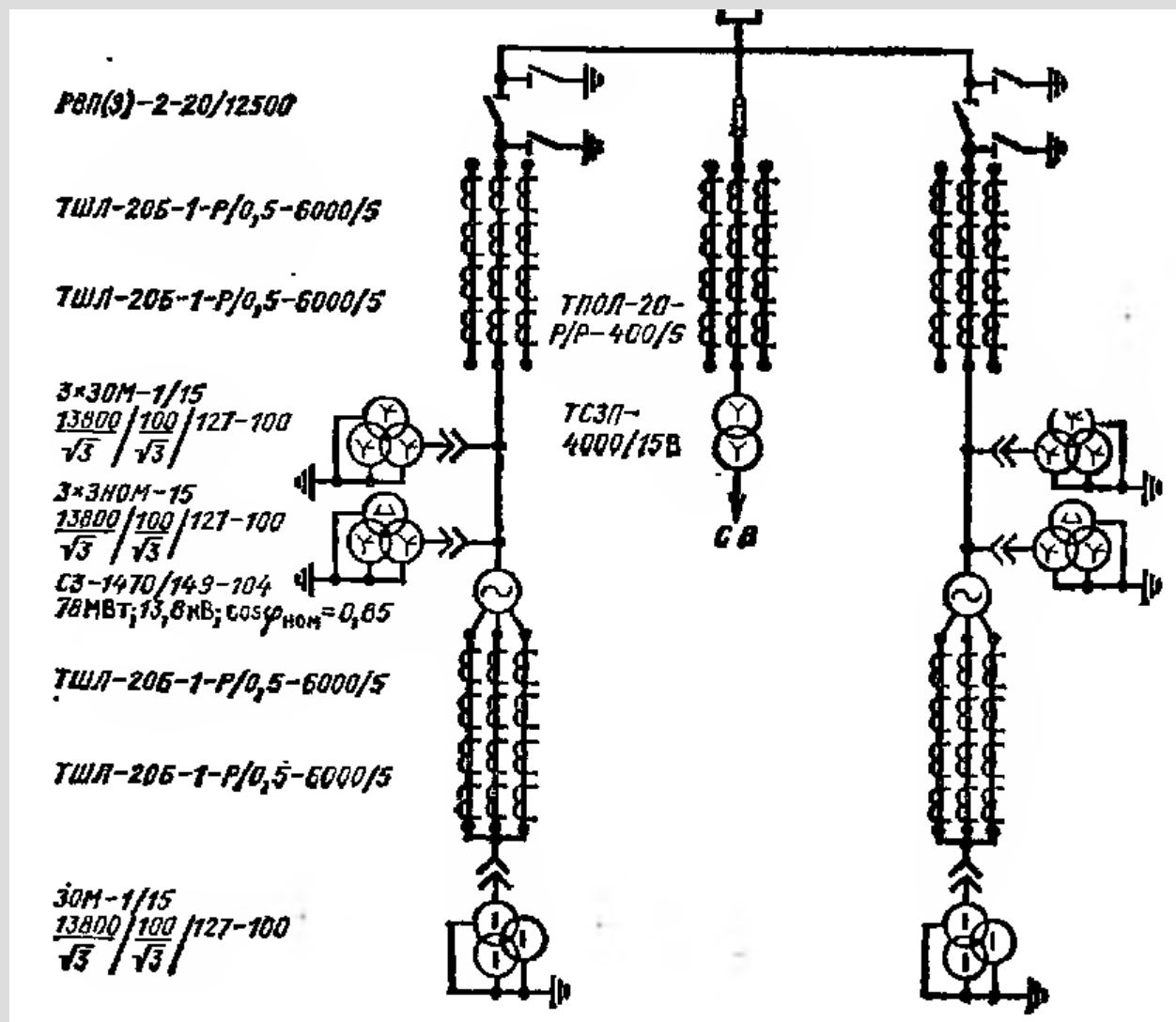


Рис. 8.18. Подключение контрольно-измерительных приборов рабочего трансформатора собственных нужд

Пример обозначения на схеме



Выбор трансформаторов напряжения

- Выбор по классу точности и проверка по нагрузке вторичных цепей (см. ниже);
- Выбор по наибольшему рабочему напряжению;
- Выбор по типу и схеме соединения обмоток – по назначению ТН

$$S_{\text{ном}} \geq \sqrt{P_{\text{приб.}}^2 + Q_{\text{приб.}}^2}$$