

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Лекции: 32 ч
Практики: 24 ч
Лабораторные: 16 ч
Самост.: 108 ч

Экзамен

Васильев Алексей Сергеевич

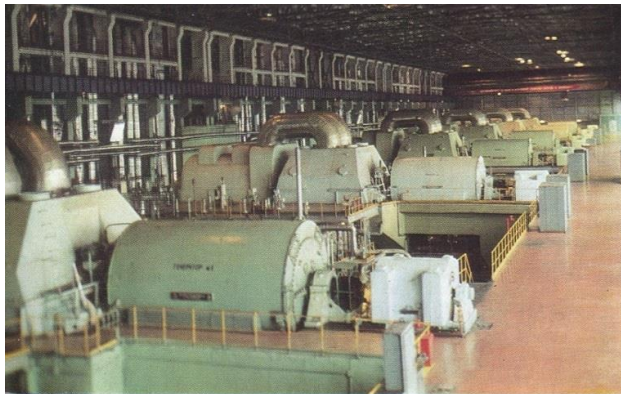
к.т.н. доцент ОЭЭ ИШЭ

Лекция 1

Виды повреждений и ненормальных режимов работы энергосистем

**Защищаемые объекты
энергосистемы и причины
их повреждения**

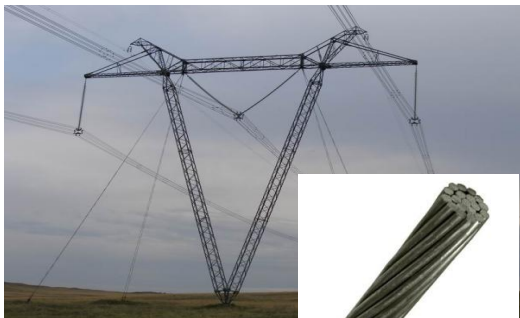
Защищаемые объекты энергосистемы



1. Генераторы



2. Трансформаторы



4. Воздушные линии
от 6 до 750 кВ



5. Кабельные линии
от 6 до 500 кВ



3. Шины распределительного устройства



6. Двигатели, бытовая нагрузка

Причины повреждений воздушных линий (КЗ)



Старение и разрушение
изоляторов



Ионизация воздуха
после удара молнии



Механическое
повреждение



«Пляска» проводов
при сильном ветре



«Ждущая березка»



Ветка, заброшенная
ветром

Повреждения кабельных линий – повреждения изоляции

Здоровый кабель



1. Заводские дефекты.

2. **Ошибки проектной организации** при расчёте сечения и марки кабеля (токовая перегрузка), не учитываются условия эксплуатации: **агрессивная среда почвы, электротранспорт, вращающиеся машины, мосты, грызуны,.....**

3. **Нарушения при монтаже:**

- уменьшение радиуса изгиба кабеля
- кабели примыкают друг к другу (местный перегрев до 100 °С),
- механические повреждения при прокладке.

4. **Неправильная эксплуатация:**

- перенапряжения при замыканиях на землю (6–35 кВ),
- циклы нагрева и охлаждения (высыхание изоляции, трещины),
- проникновение воздуха и влаги к оболочке кабеля (потеря диэлектрических свойств оболочки),
- сотрясение и вибрация (разрушение оболочки).



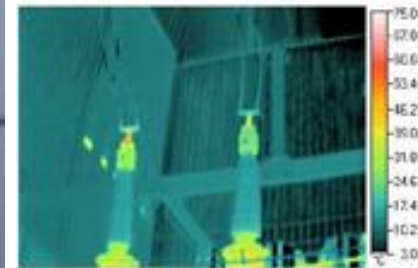
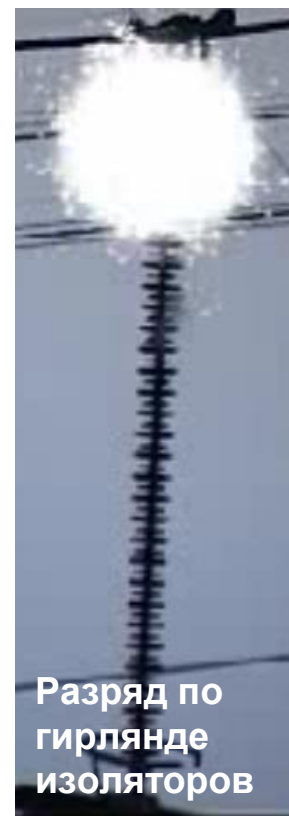
Поврежденный кабель



Повреждения сборных шин

Сборные шины являются узловым пунктом схемы соединения, через который протекает вся мощность станции или подстанции.

- перекрытия шинных изоляторов,
- поломки изоляторов при переключениях;
- перекрытия измерительных трансформаторов,
- перекрытия вводов на выключателях,
- ошибки обслуживающего персонала при переключениях.



Повреждения двигателей

Неисправности вызваны нарушением изоляции обмоток статора и ротора.
80–95% – обмотка статора,
25–30% составляют перекрытия и пробой изоляции в коробках выводов.

Причины повреждений изоляции:

- 1) заводские дефекты;
- 2) неудовлетворительно выполненный ремонт электродвигателя;
- 3) неблагоприятные условия эксплуатации.

Видами повреждений электродвигателей являются:
многофазные к.з. в обмотке статора,
однофазные замыкания обмотки статора на землю,
двойные замыкания на землю,
замыкания части витков в одной фазе обмотки статора.

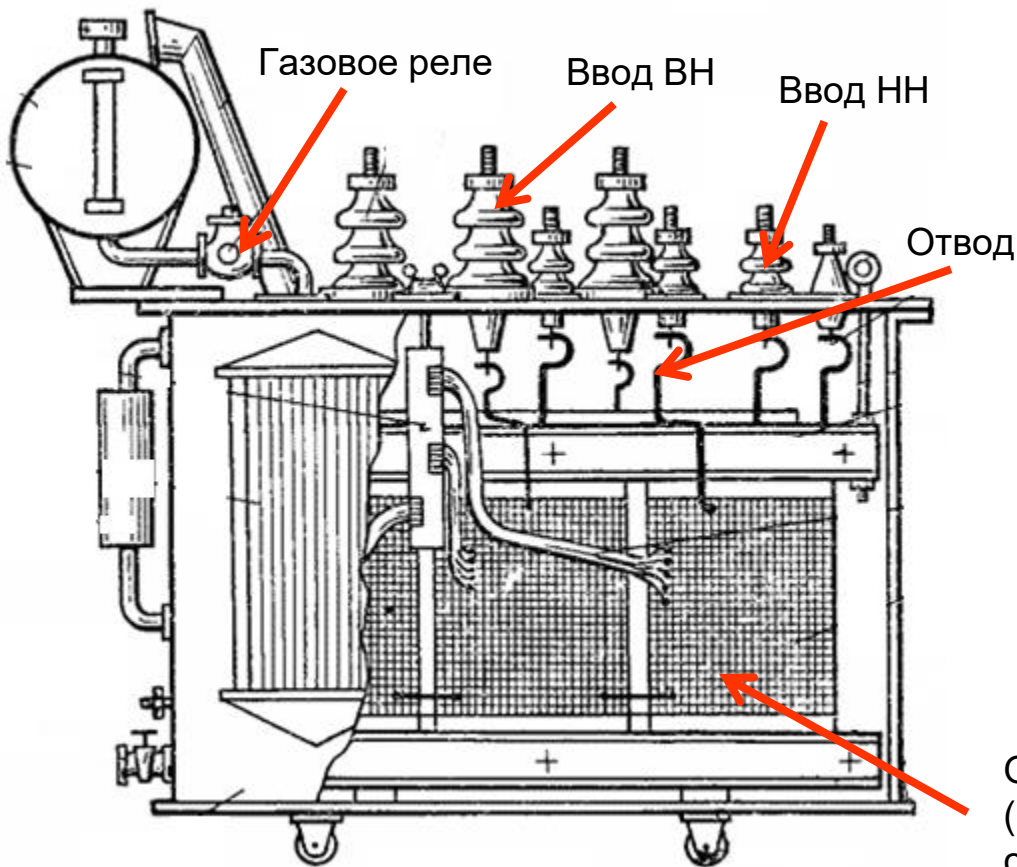


Двигатели



Обмотка статора двигателя

Повреждения трансформаторов (Т)



Ненормальные режимы работы Т

- Сверхтоки, проходящие через Т при внешних КЗ.
- Перегрузка.
- Выделение из масла горючих газов.
- Понижение уровня масла.

Вероятности повреждений

- Витковая изоляция – 60%.
- Отводы – 8%.
- Вводы – 7%.
- Магнитопровод – 2%.

Обмотка ВН
(внутри НН)
с витковой изоляцией



Витковое КЗ



Ползущий разряд

Ненормальные режимы работы Т

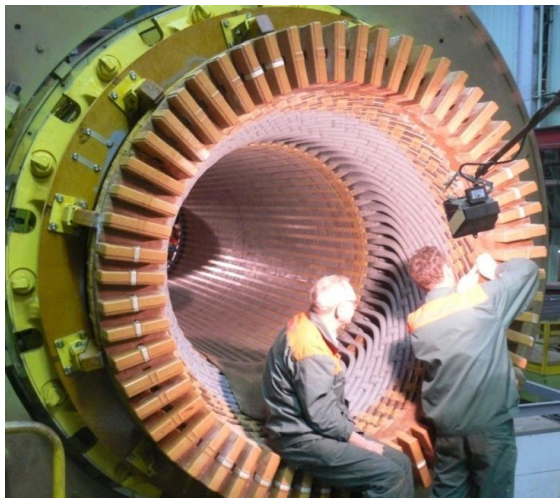
- Сверхтоки, проходящие через Т при внешних КЗ.
- Перегрузка.
- Выделение из масла горючих газов.
- Понижение уровня масла.

Вероятности повреждений

- Витковая изоляция – 60%.
- Отводы – 8%.
- Вводы -7%.
- Магнитопровод -2%.

Повреждения в обмотке статора

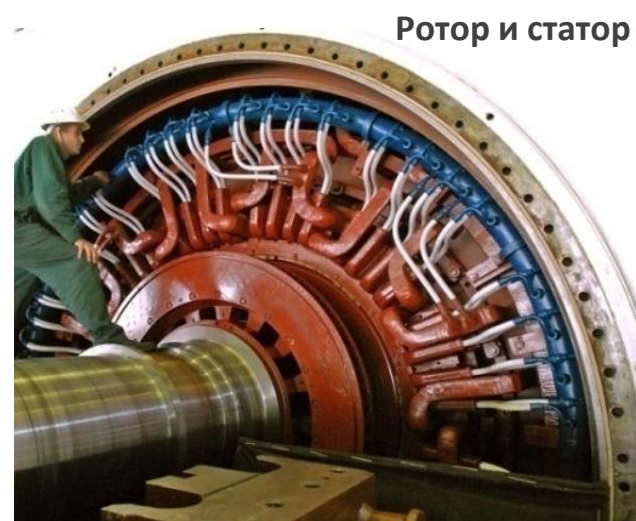
- Многофазные КЗ статора.
- Витковые замыкания
- Однофазные замыкания на землю (на корпус).
- Двойные замыкания на землю.



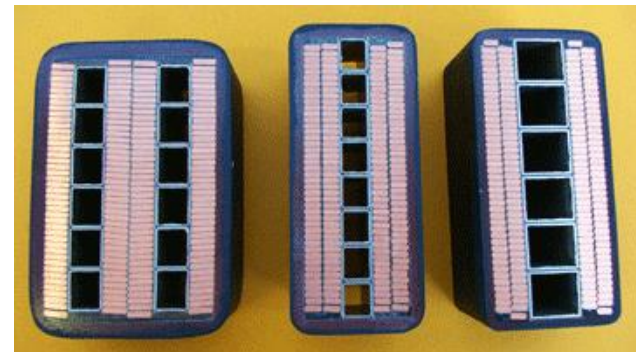
Монтаж обмотки статора



Стержни обмотки статора



Ротор и статор



Сечения стержней обмотки статора

Конструкция неявнополюсного ротора турбогенератора



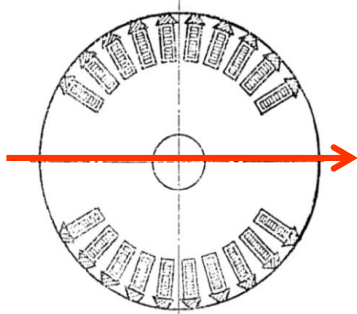
Цельнокованные валы роторов турбогенераторов, рабочая часть до 7 м, полная длина до 12-15 м



Изоляция в пазах



Пазы для обмотки возбуждения на рабочей части вала



Поперечный разрез ротора, Медные стержни обмотки «насыпаются» в пазы и крепятся немагнитными клиньями



Ротор

Повреждения ротора (в обмотке возбуждения)

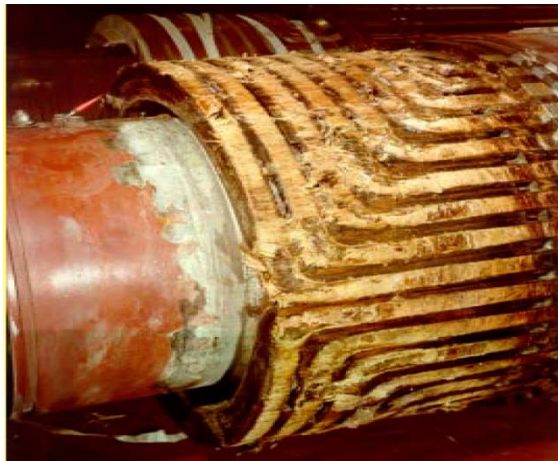
Замыкание на землю (тело ротора) в одной точке.
Замыкание на землю в двух точках цепи возбуждения.

Причины повреждений

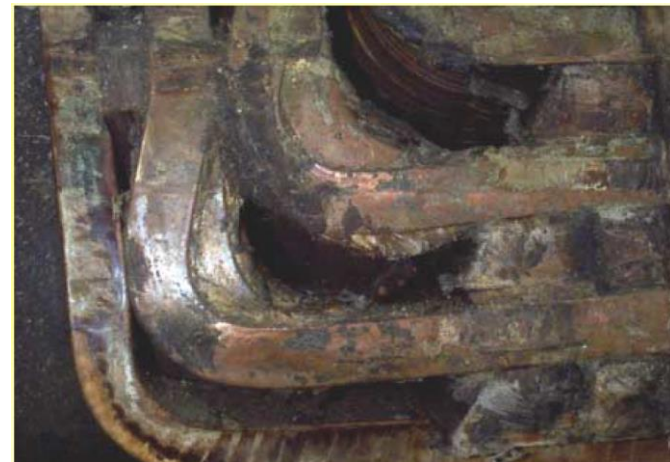
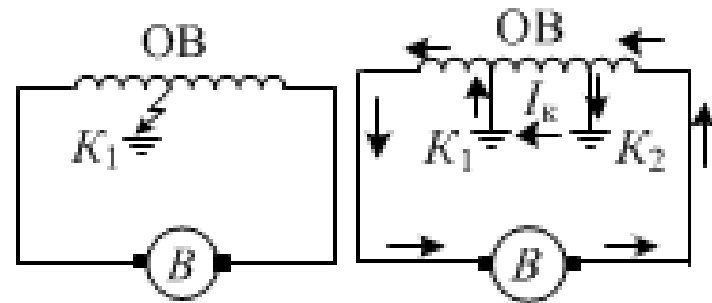
- высокие температуры,
- механические усилия при вращении



Неповрежденные лобовые части обмотки ротора



Последствия высоких температур



Деформация лобовых частей обмотки ротора

Аварийные ситуации из-за ошибок персонала



- отключение разъединителей под нагрузкой,
- включение на ошибочно оставленное заземление...



Лекция 2

Требования к релейной защите (РЗ)

Блок-схемы РЗ
Требования к РЗ
Классификация РЗ

Релейная защита – это совокупность специальных автоматических устройств, предназначенных для предотвращения развития аварий в энергетической системе и её элементах.

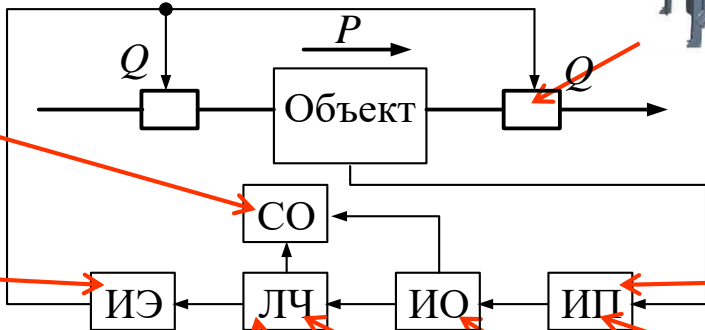
РЗ предназначена для выявления и отключения защищаемого элемента энергосистемы при его **повреждении** или **ненормальном режиме** за минимально возможное время.

Реле – аппарат, который реагирует на изменение контролируемой величины и скачкообразно изменяет свое состояние при достижении входной величиной определенного значения – уставки.

Общая структура (блок-схема) релейной защиты



Вакуумный выключатель



Промежуточное реле

ИП – измерительные преобразователи,
ИО – измерительные (пусковые) органы,
ЛЧ – логическая часть,
ИЭ – исполнительный элемент,
СО – сигнальный орган.



Реле времени - 245



Реле тока PT-40

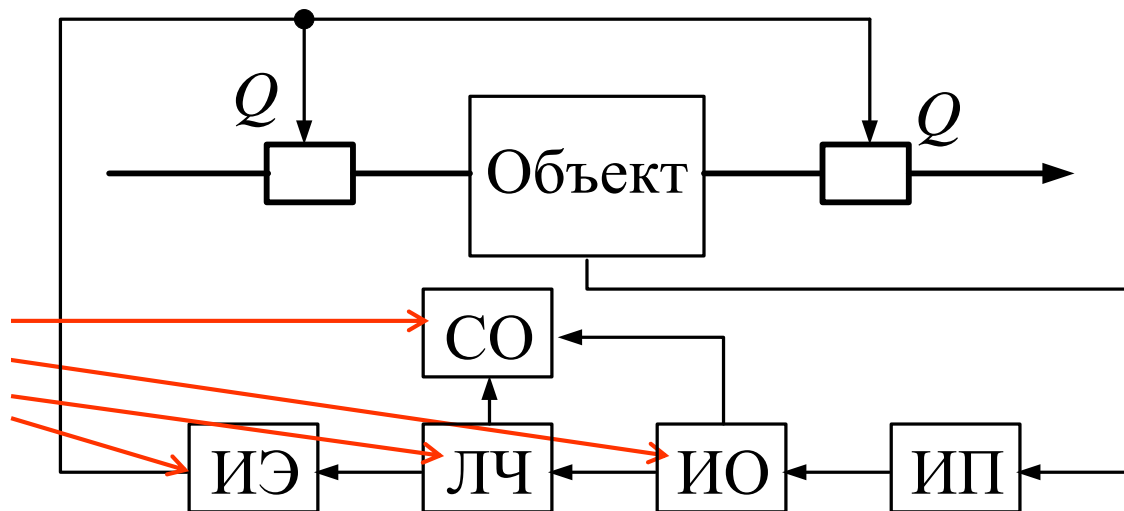


Трансформаторы тока

Общая структура (блок-схема) релейной защиты



Шкаф ШЭ2607,
Защита и автоматика
вводов 6-35 кВ



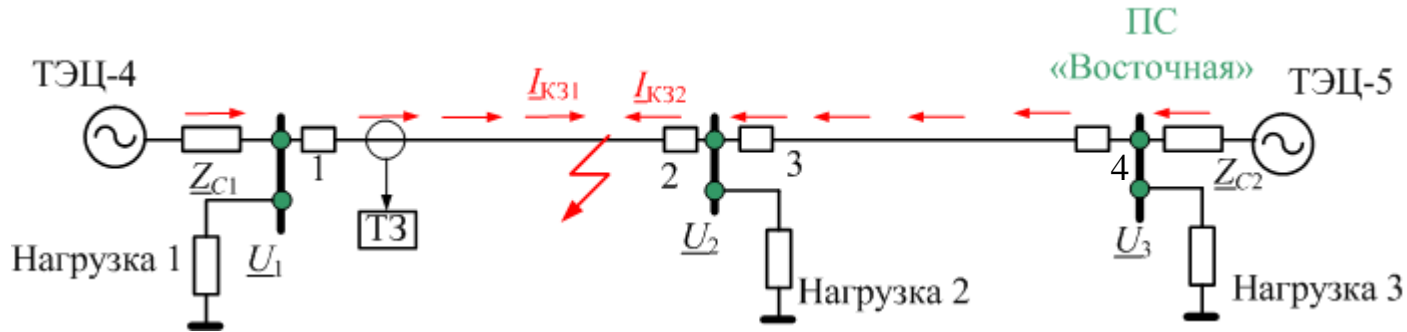
ИП – измерительные преобразователи,
ИО – измерительные (пусковые) органы,
ЛЧ – логическая часть,
ИЭ – исполнительный элемент,
СО – сигнальный орган.

Требования к РЗ

1. **Чувствительность** – способность защиты срабатывать при минимальных токах КЗ

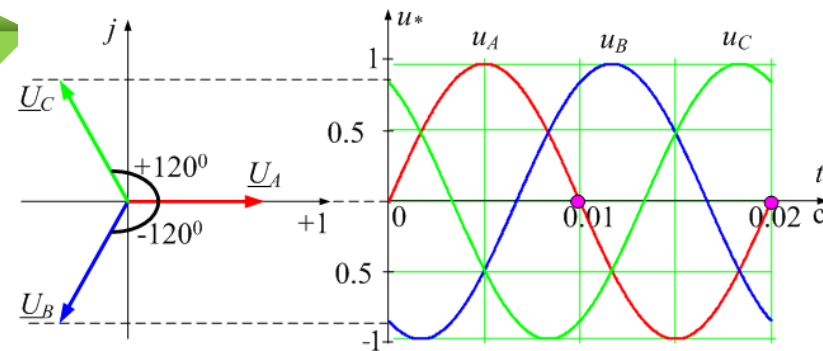
$$K_{\text{ч}} = I_{\text{кз min}} / I_{\text{сраб}} > 2.$$

2. **Селективность** – отключение только поврежденного элемента.



3. **Быстродействие** – для предотвращения серьезного повреждения электрооборудования и нарушения работы потребителей, для повышения эффективности АПВ.

4. **Надежность.** Определяется срабатыванием РЗ во всех необходимых случаях и несрабатыванием, когда действия РЗ не требуется.



4. **Надежность.** Определяется срабатыванием РЗ во всех необходимых случаях и несрабатыванием, когда действия РЗ не требуется.

Аппаратная надежность РЗ обеспечивается надежностью её отдельных компонентов и правильными условиями эксплуатации.

Функциональная надежность РЗ достигается за счет совершенства алгоритма функционирования защиты.

* Резервирование

Релейная защита объекта в случае отказа основных защит или защит смежных присоединений должна обеспечивать отключение коротких замыканий.

Если защита обеспечивает резервирование срабатывания собственных защит объекта, то она обеспечивает функции ближнего резервирования.

Если РЗ обеспечивает резервирование при несрабатывании РЗ или выключателей смежных элементов, то она выполняет функции дальнего резервирования.

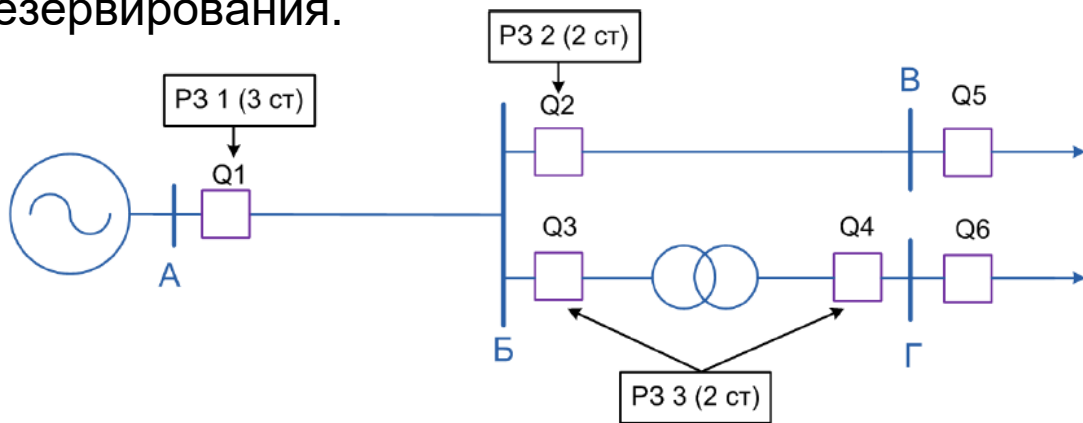


Схема сети для пояснения возможности резервирования

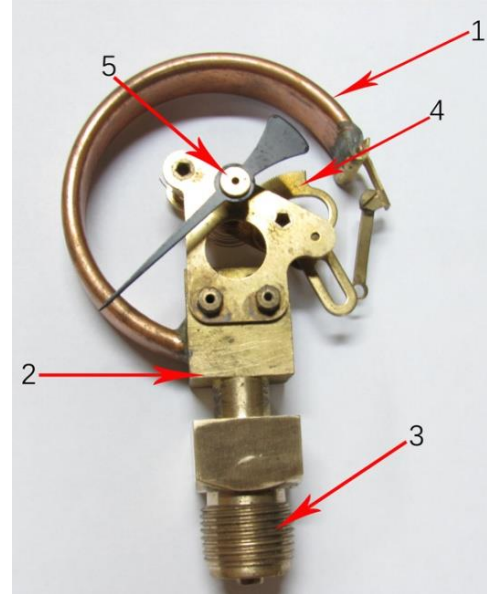
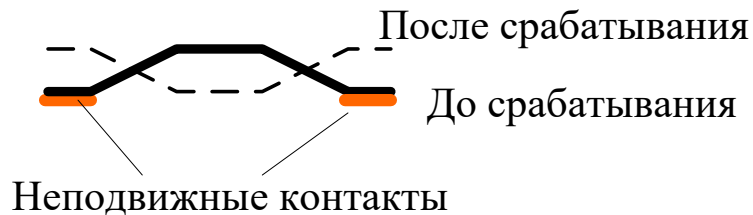
По способам обеспечения селективности все защиты можно разделить на две группы:

1. Защиты с относительной селективностью – могут работать при повреждении как на защищаемом объекте, так и при повреждении соседнего элемента.
 - токовые защиты;
 - защиты напряжения;
 - дистанционные защиты.
2. Защиты с абсолютной селективностью – работают только при повреждении на защищаемом объекте
 - дифференциальные защиты;
 - дифференциально-фазные защиты.

Классификация реле

По принципу действия:

- **Электрические** – реагирующие на отклонение электрических параметров (i , u , f , z , p).
- **Неэлектрические** – реагирующие на отклонение неэлектрических параметров (объем, давление, скорость выделения газов, скорость вращения).
- **Тепловые** – реагируют на количество выделенного тепла или изменение температуры.



Трубка Бурдона
Для контроля
давления газа

Классификация реле

По принципу работы

Электромеханические: реле, использующие относительное перемещение его механических элементов под воздействием тока, протекающего по его обмотке. (электромагнитные, индукционные, магнитоэлектрические).

Полупроводниковые.

Микропроцессорные.

По характеру изменения воздействующего параметра

Максимальные – срабатывают, когда значение контролируемого параметра превосходит заданную уставку.

Минимальные - срабатывают, когда значение контролируемого параметра меньше заданной уставки.



Реле тока PT-40

Условные обозначения для схем вторичных цепей [2]

Реле: КА, КV, КТ, КL, КН, КF, КZ, КW

Электромагниты: YAT, YAC.

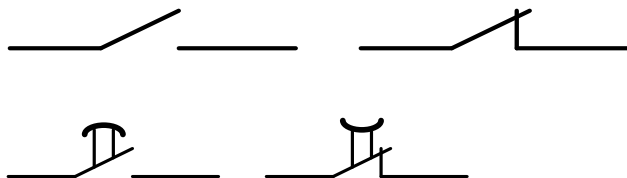
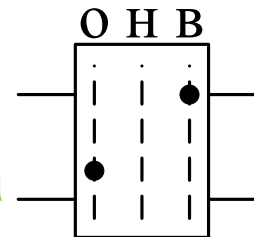
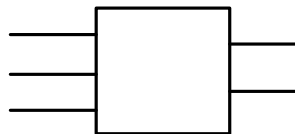
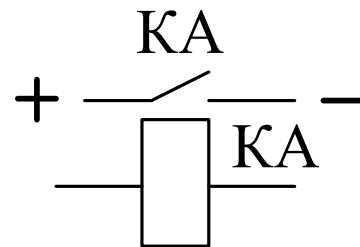
Фильтры: ZA2, ZV2, ZA0, ZV0.

Переключатель цепи управления с фиксацией переключающего механизма

Контакты:

мгновенные

с замедлением



Реле характеризуются

Величиной срабатывания (уставка)

$I_{с.р.}$ – наименьший ток, при котором реле срабатывает.

Величиной возврата

$I_{в.р.}$ – наибольший ток, при котором реле возвращается в исходное положение.

$$K_B = \frac{I_{В.Р.}}{I_{С.Р.}}$$



- 1 Андреев В.А.. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения : учебник для вузов. —Москва: Высшая школа, 2012. — 639 с.
2. Басс Э.И., Дорогунцев В.Г. Релейная защита электроэнергетических систем: учебное пособие для вузов – М.: Изд-во МЭИ, 2008. – 296 с.
3. Копьев В.Н. Релейная защита: учебное пособие. — Томск: Изд-во ТПУ, 2011 (для подготовки к ЛР).
4. Юдин С. М. [и др.] Испытательные системы серии "РЕТОМ" и их применение для проверки устройств релейной защиты и автоматики: учебное пособие. — Томск: Изд-во ТПУ, 2011. (для подготовки к ЛР).
5. Беркович М..А., Молчанов В.В., Семенов В.А. Основы техники релейной защиты. – 1984.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Васильев Алексей Сергеевич
vasilevas@tpu.ru

ТПУ – Томск 2021 г.



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ