



## Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем



*Направление подготовки  
140400.62 «Электроэнергетика и электротехника»*

*Квалификация выпускника: бакалавр*



Презентации разработаны в рамках реализации гранта «Подготовка высококвалифицированных кадров в сфере электроэнергетики и горно-металлургической отрасли для предприятий Амурской области»

## Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем

Лекции 54 (акад. час)	Экзамен 7 семестр (36 час)
Лабораторные занятия 18 (акад. час.)	
Практические занятия 18 (акад. час.)	
Курсовой проект 7 семестр	
Самостоятельная работа 54 (акад. час.)	
Общая трудоемкость дисциплины 180 (акад. час.), 5 (з.е.)	



## Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем



Тема лекции:

*Литература.*  
*Введение.*

Канд. техн. наук КОЗЛОВ А.Н.



Презентации разработаны в рамках реализации гранта «Подготовка высококвалифицированных кадров в сфере электроэнергетики и горно-металлургической отрасли для предприятий Амурской области»



## Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем



Презентации по курсу лекций обсуждены на заседании кафедры энергетики

«15» 11 2013 г., протокол № 4

Заведующий кафедрой Н.В. Савина

Презентации по курсу лекций одобрены на заседании учебно-методического совета направления подготовки 140400.62 – «Электроэнергетика и электротехника»

«16» 12 2013 г., протокол № 5

Председатель Ю.В. Мясоедов

Рецензент: А.А. Андро, директор по информационно-технологическому сопровождению филиала ОАО «Федеральная сетевая компания Единой энергетической системы» (ОАО «ФСК ЕЭС») – Магистральные электрические сети Востока (МЭС Востока)



Презентации разработаны в рамках реализации гранта «Подготовка высококвалифицированных кадров в сфере электроэнергетики и горно-металлургической отрасли для предприятий Амурской области»



В.А. Андреев

**Релейная защита  
и автоматика  
систем  
электрообеспечения**

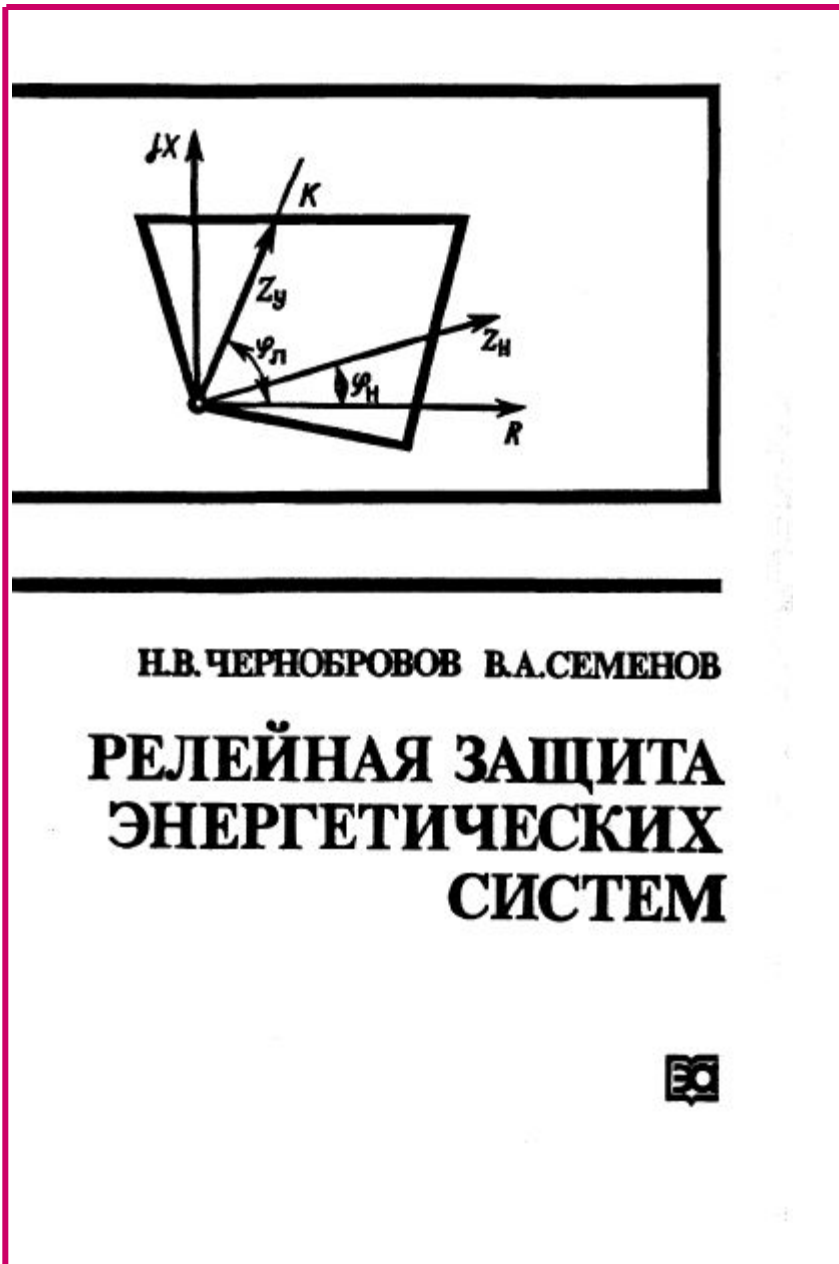


**Андреев, Василий  
Андреевич. Релейная  
защита и автоматика систем  
электрообеспечения [Текст] :  
учеб. : рек. Мин. обр. РФ / В.  
А. Андреев, 2008. - 640 с**

## Литература:

Чернобровое Н. В.,  
Семенов В. А.

Релейная защита  
энергетических систем:  
Учеб. пособие для  
техникумов. - М.:  
Энергоатомиздат, 1998. -  
800 с



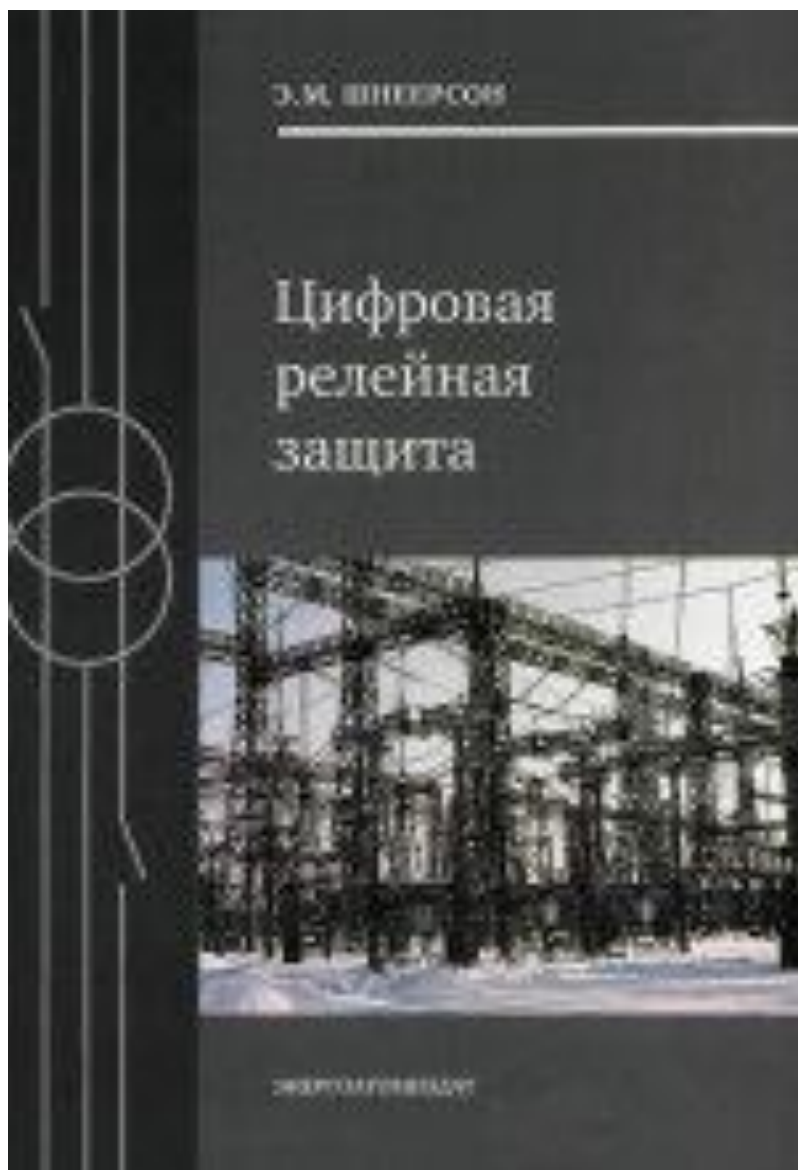
## Литература:



**Дьяков, Анатолий  
Федорович.**

**Микропроцессорная  
автоматика и релейная  
защита  
электроэнергетических  
систем**

**Учеб. пособие: рек. УМО /  
А. Ф. Дьяков, Н. И.  
Овчаренко, изд 2-е,  
стереотип.,  
2010. – 336 с.**



**Цифровая релейная защита.**

**Автор: Шнеерсон Эдуард Менделевич**

**Издательство:  
М.: Энергоатомиздат,  
2007 г.  
549 с: ил.**



**Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем [Электронный ресурс] : метод. указания к практ. занятиям. Ч. 1/ АмГУ, Эн. ф.; сост.: А. Н. Козлов, А. Г. Ротачева. - 2-е изд., испр. . - Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та, 2017. - 37 с. Режим доступа:**  
[http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU\\_Edition/7755.pdf](http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7755.pdf)

**Автоматика энергосистем [Электронный ресурс] : метод. указания к лаб. работам для направления подготовки "Электроэнергетика и электротехника"/ АмГУ, Эн.ф.; сост. А. Н. Козлов. - 2-е изд., испр.. - Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та, 2017. - 76 с  
Режим доступа:**  
[http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU\\_Edition/7750.pdf](http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7750.pdf)

**Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем [Электронный ресурс] : учеб.-метод. пособие к курс. проектированию / АмГУ, Эн. ф.; сост.: А. Н. Козлов, В. А. Козлов. - 2-е изд., испр. - Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та, 2017. - 64 с. Режим доступа:**

**[http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU\\_Edition/7748.pdf](http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7748.pdf)**

**Графическая часть курсовых проектов и выпускных квалификационных работ [Электронный ресурс] : учеб. - метод. пособие. Ч. 2 / АмГУ, Эн.ф.; сост.: А. Н. Козлов, В. А. Козлов. - Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та, 2017. - 168 с  
Режим доступа:**

**[http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU\\_Edition/7735.pdf](http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7735.pdf)**

## Особенности работы электроэнергетических систем

- Непрерывная и жесткая взаимосвязанность процессов производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии **НЕВОЗМОЖНО работать «на склад»** →
- Быстротечность процессов:
  - электромагнитный переходный процесс –  $10^{-7} \div 10^{-1}$  с.;
  - электромеханический переходный процесс –  $10^{-1} \div 10^0$  с.;
  - квалифицированный оперативный персонал - оценка ситуации, принятие решения и его реализация –  $0,5 \div 3$ с. **ручное управление неэффективно** →
- Высокие требования к надежности электроснабжения – определяющее значение имеют бесперебойность электроснабжения и качество электроэнергии
- Большое число элементов ЭЭС – невозможно держать персонал везде

# Последствия аварий (к.з.) и нештатных ситуаций на электрооборудовании.

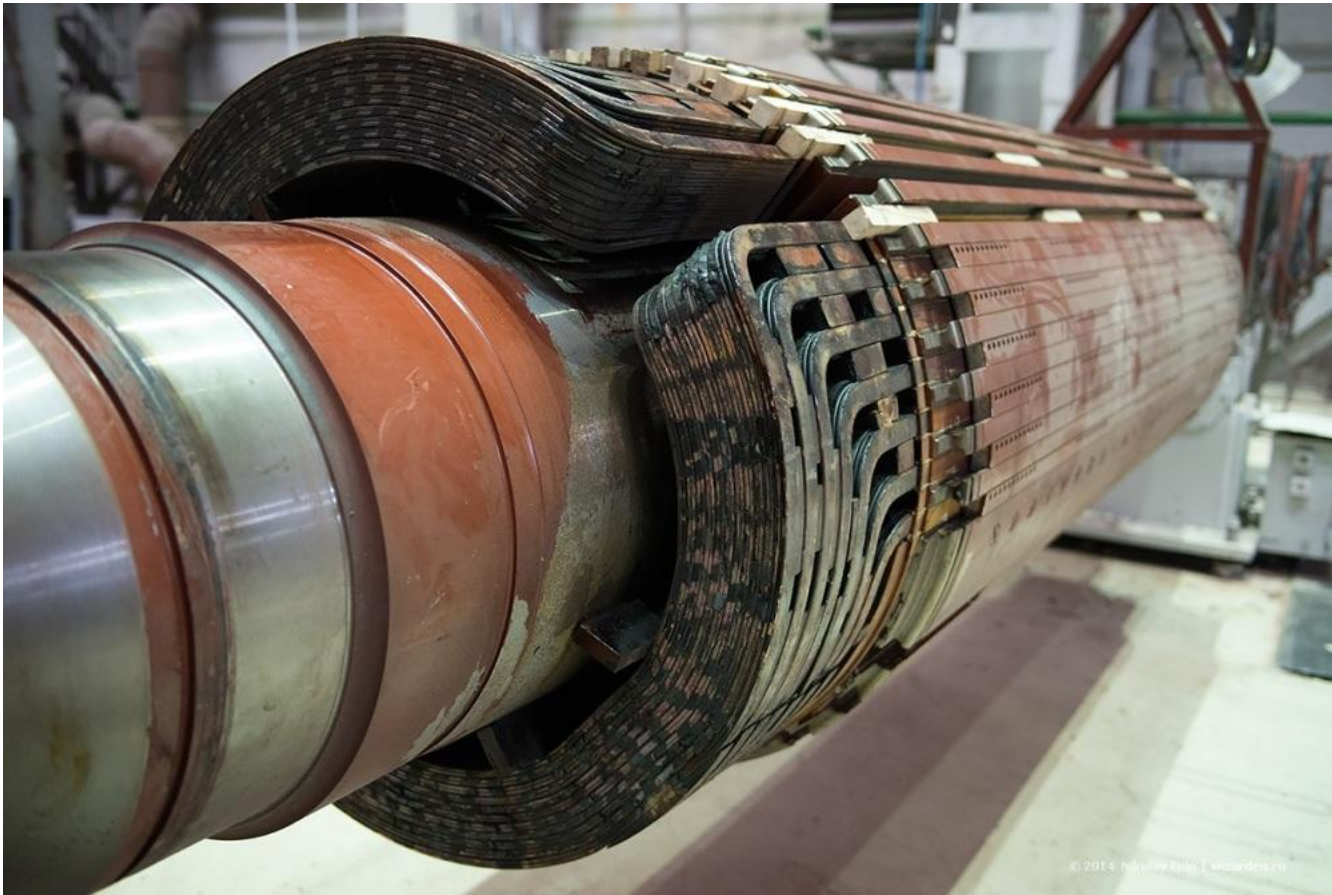
## 1. Генераторы и двигатели



*Короткое замыкание в статоре.  
Расплавлен медный проводник.  
Повреждено железо статора.  
Предстоит длительный ремонт.*



## 1. Генераторы и двигатели (продолжение)



*Повреждение изоляции обмотки ротора вследствие нагрева током (значительный тепловой импульс  $W=I^2t$ )*

## 2. Силовые трансформаторы



*Прогар и механическое повреждение обмотки высокого напряжения вследствие мощного короткого замыкания на трансформаторе ТМ 4000/35/6*



*Состояние активной части трансформатора ТМГ 630 кВА после КЗ*



*Сгоревший переключатель ПБВ на трансформаторе  
ТМЗ 1000 кВА*





*Витковое замыкание, пробой изоляции у сухого трансформатора ТСГЛ 2500 кВА*

### 3. Воздушные линии электропередачи



## Причины повреждения опор и обрывов проводов воздушных ЛЭП



*Гололед и ледяной дождь*



*Запущенное состояние просеки*



## 4. Кабельные линии



## 5. Электрооборудование распределительных устройств



**Повреждения** вызывают появление значительных аварийных токов и сопровождаются глубоким понижением напряжения на шинах ЭС и ПС. Ток повреждения выделяет большое количество теплоты, которое вызывает сильное разрушение в месте повреждения (точка  $K$ ) и опасное нагревание проводов неповрежденных ЛЭП и оборудования, по которым этот ток проходит.

Релейная защита (РЗ) осуществляет непрерывный контроль за состоянием всех элементов ЭЭС и реагирует на возникновение повреждений и ненормальных режимов. При возникновении повреждений РЗ должна выявить поврежденный участок и отключить его от ЭЭС, воздействуя на специальные силовые выключатели, предназначенные для размыкания токов повреждения.

**Ненормальные режимы** обычно приводят к отклонению напряжения, тока и частоты от допустимых значений. При понижении частоты и напряжения создается опасность нарушения нормальной работы потребителей и устойчивости ЭЭС, а повышение напряжения и тока угрожает повреждением оборудования и ЛЭП.

*При возникновении ненормальных режимов РЗ также должна выявлять их и в зависимости от характера нарушения либо отключать оборудование, если возникла опасность его повреждения, либо производить автоматические операции, необходимые для восстановления нормального режима, либо осуществлять сигнализацию оперативному персоналу, который должен принимать меры к ликвидации возникшего ненормального режима.*

## Назначение устройств РЗ, А и Т

1. **Быстрое отключение повреждений;**
2. **Ликвидация ненормальных режимов;**
3. **Восстановление питания после ликвидации или локализации аварии (АПВ, АВР, ЧАПВ);**
4. **Поддержание на заданном уровне параметров режима у потребителей – частоты, напряжения, активной мощности и т.п. (АРВ, АЧСР, АРКТ);**
5. **Пуск и останов синхронных машин**
6. **Преобразование схемы по заранее заданным жестким алгоритмам при дефиците активной мощности в ЭЭС или угрозе нарушения устойчивой работы ЭЭС (АЧР, АЛАР, АПАХ, ДА, ОГ, ПА и т.п.);**
7. **Контроль за параметрами, информация о состоянии элементов ЭЭС и системы в целом, передача управляющих команд**

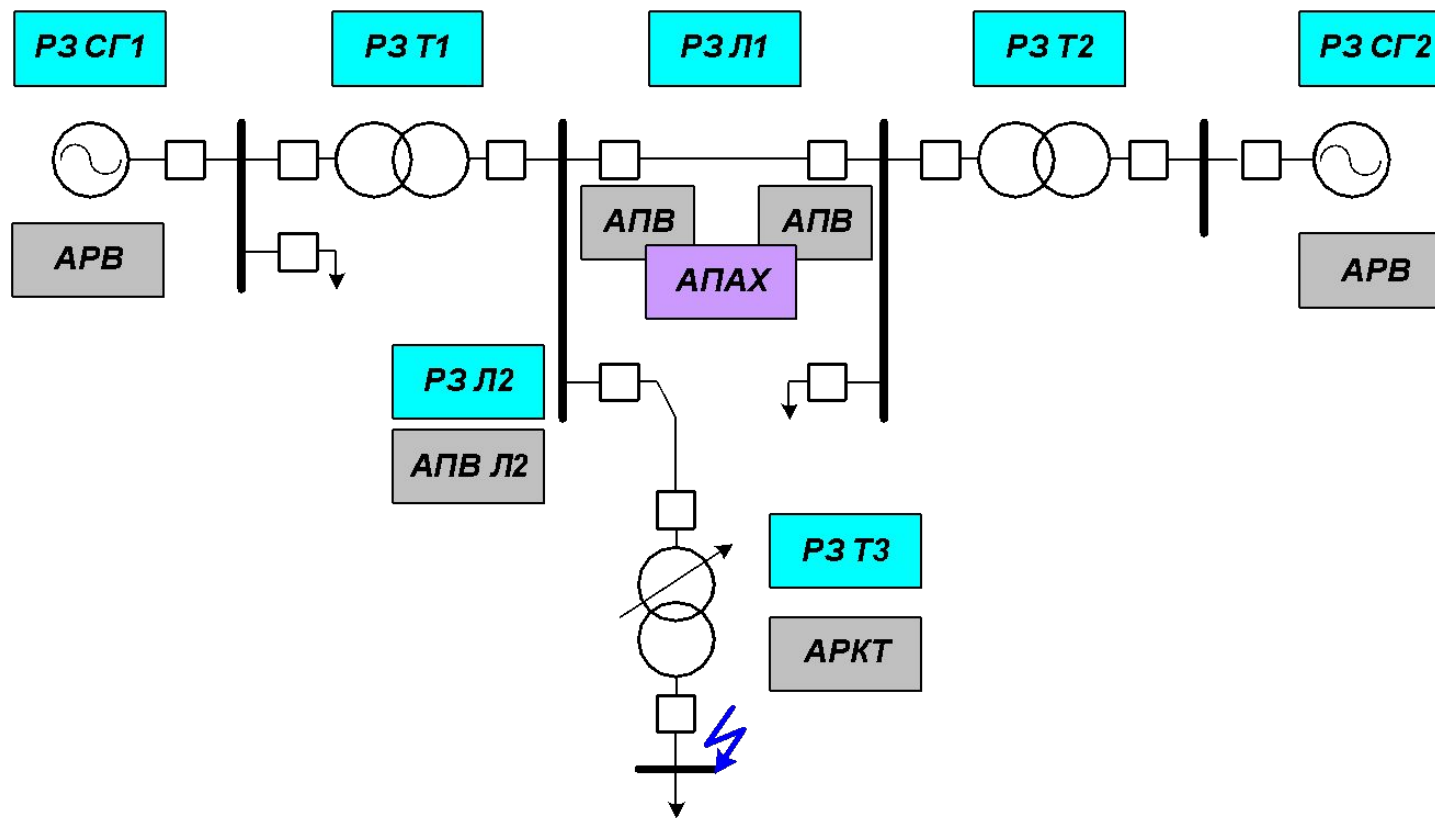
1,2 – Релейная защита

3-6 – Устройства автоматики

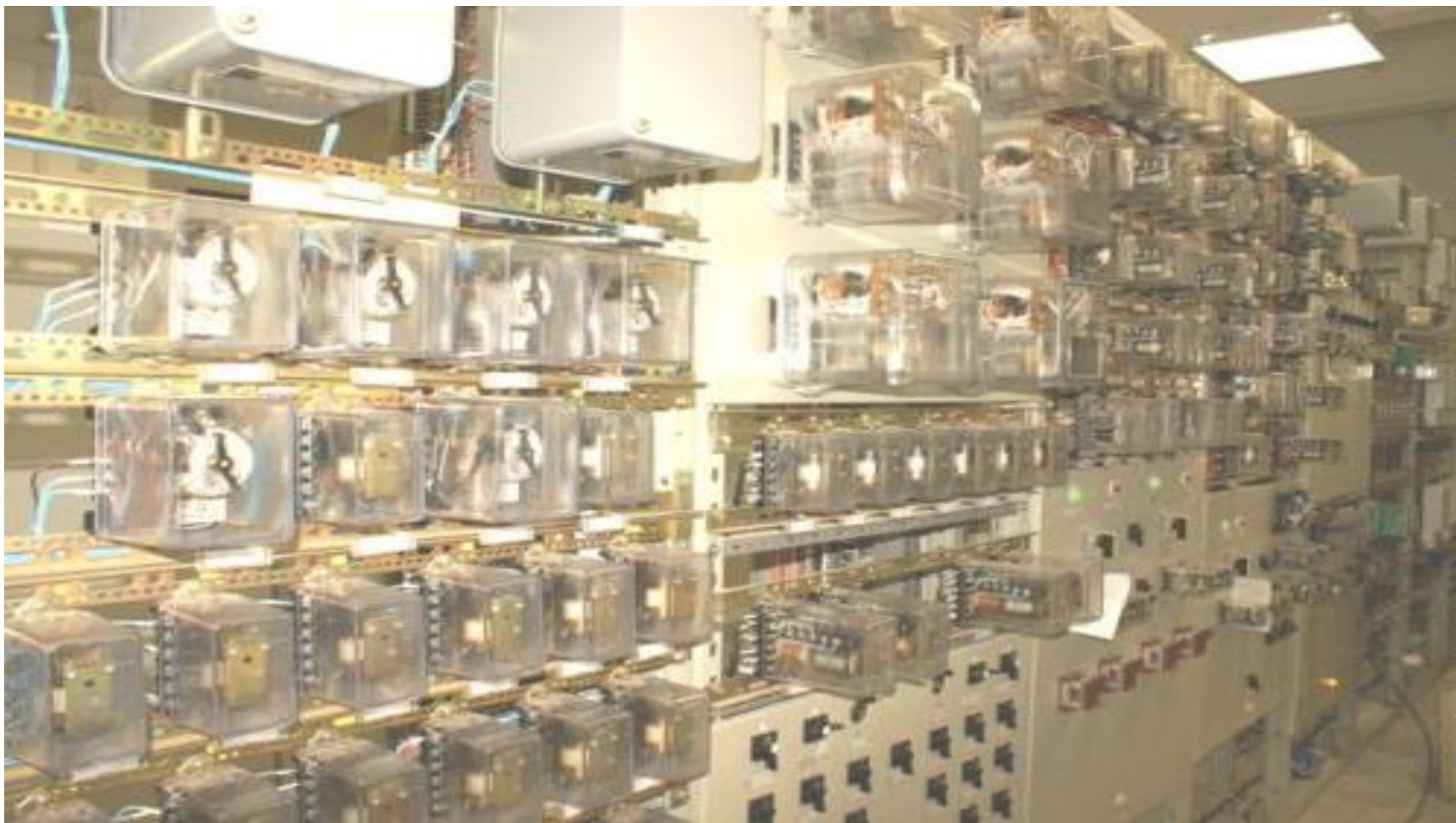
7 – телемеханика.



## Схема участка ЭЭС



## Панели релейной защиты на электромеханической элементной базе (на «рассыпных» элементах)



## Коридоры обслуживания панелей РЗиА



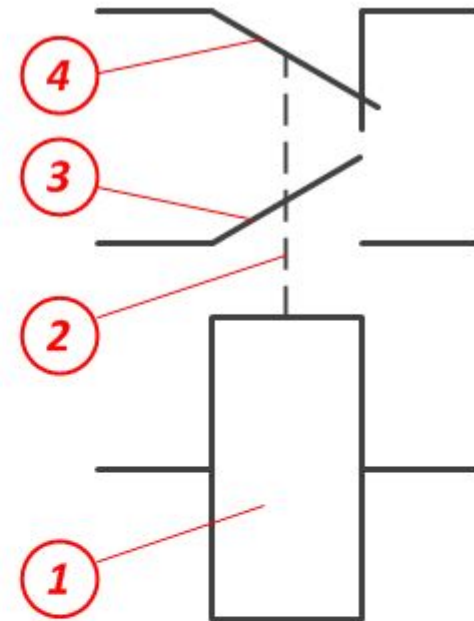
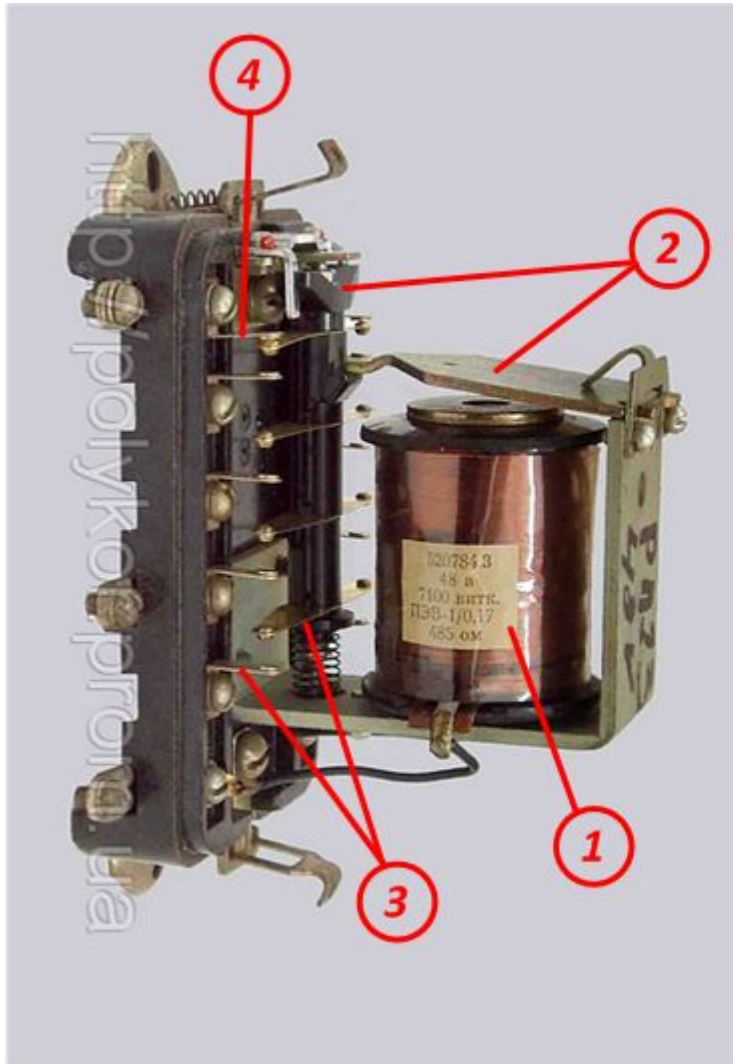
**Релé** (фр. *relais*) — элемент автоматических устройств, который при воздействии на него внешних физических явлений скачкообразно принимает конечное число значений выходной величины

## RELAIS

- 1) (*chevaux de*) *relais* — сменные, перекладные лошади
- 2) пункт перегрузки, перепряжки; почтовая станция, место смены лошадей
- 3) этап
- 4) перен. посредник, средство связи (*между людьми*)
- 5) посменная работа (*équipe de relais* — смена)
- 6) спорт (*course par, de*) *relais* — эстафета, эстафетный бег

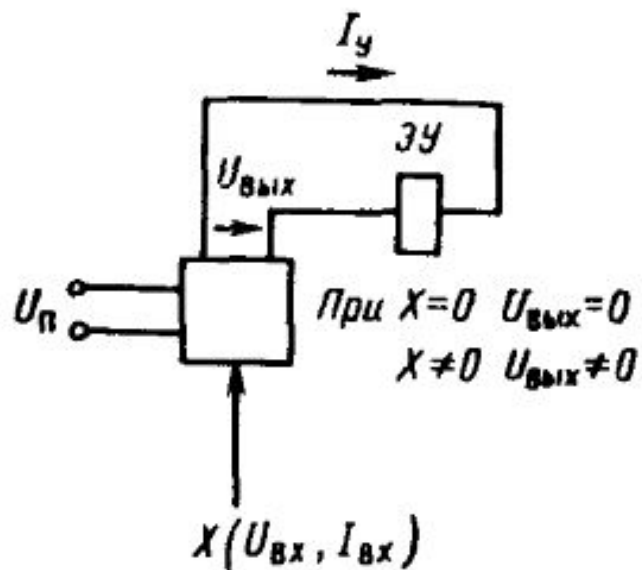
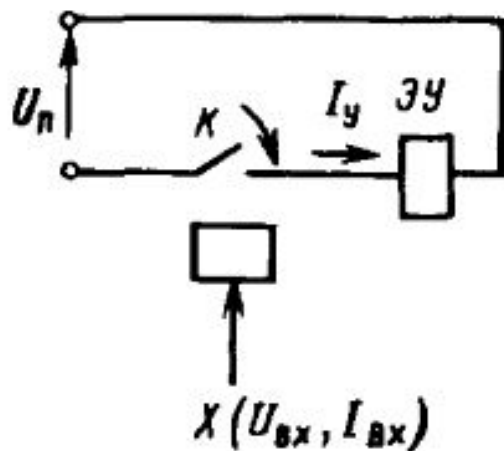
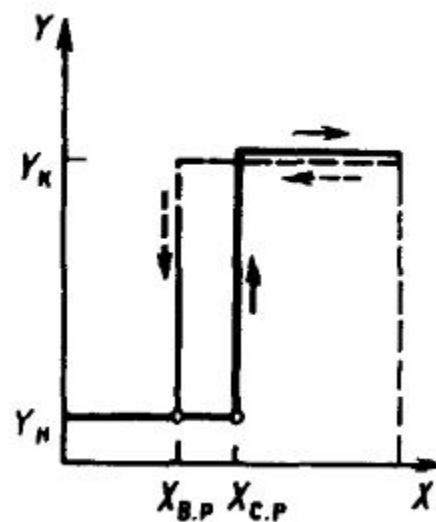
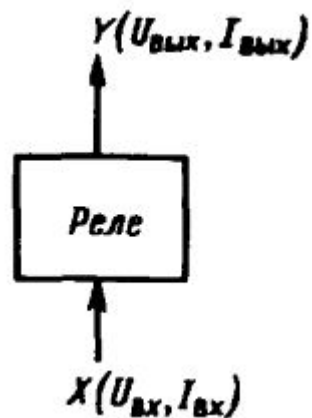
.....


## Изображение реле на схемах



- 1 – катушка реле
- 2 – механическая часть
- 3 – контакт замыкающий
- 4 – контакт размыкающий

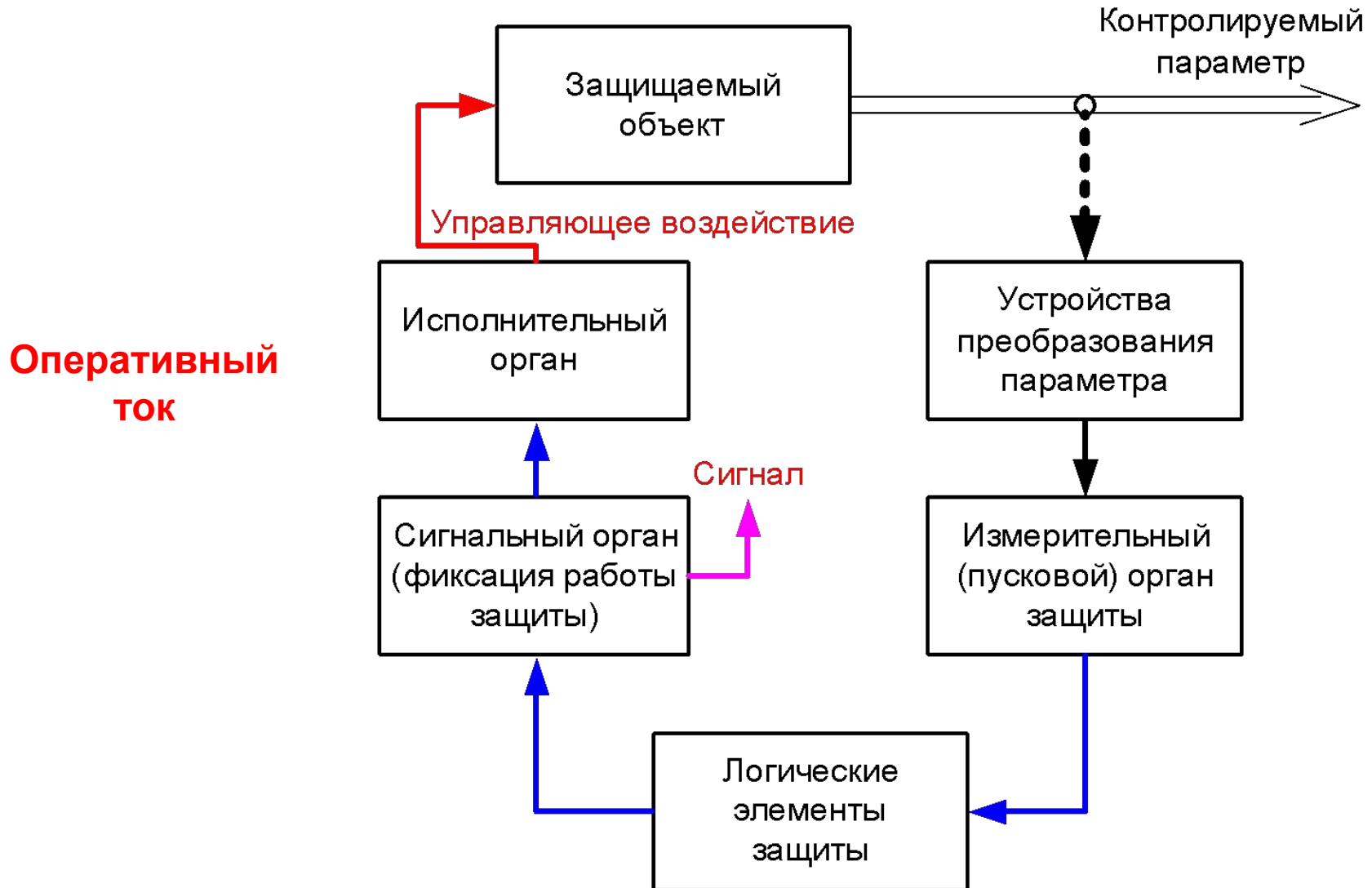
## Релейная характеристика





**Элементы и функциональные части  
устройств, их назначение и основные  
принципы действия**

# Конфигурация устройства релейной защиты на электромеханической (полупроводниковой) базе





# Устройства преобразования параметра

Трансформатор тока



Трансформатор напряжения НТМИ



*ТТ и ТН выполняют гальваническую развязку цепей защиты и измерения от сети высокого напряжения и уменьшают измеряемые сигналы до приемлемого уровня*

# Измерительные (пусковые) реле

Реле РТ-40/10



Абсолютно безотказные и достаточно надежные РТ-40 имеют механическую систему работы. Благодаря чему их можно регулировать и ремонтировать имея при себе лишь плоскогубцы, отвертку и немного знаний.

РН-113



Релейное устройство обладает следующими возможностями:

- защита минимального напряжения
- защита максимального напряжения
- задержка времени на включение цепи

# Логические элементы защиты

Реле тока РТ-80



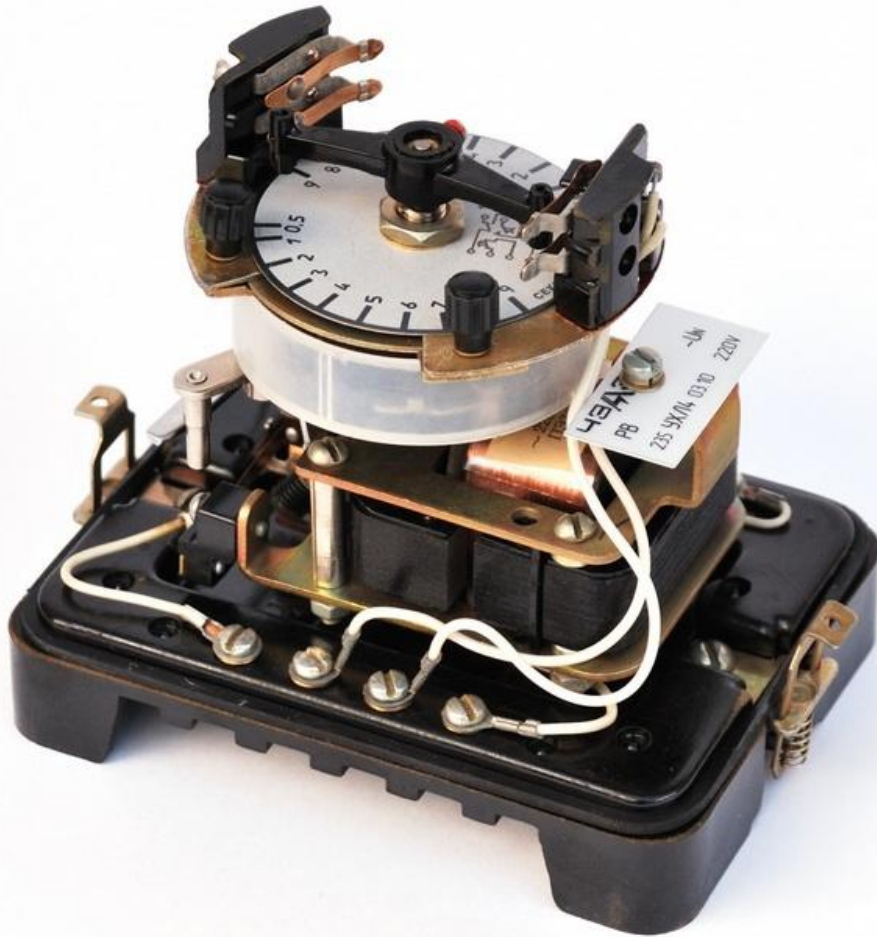
Его эффективности и простоте могут позавидовать многие другие устройства защиты. Оно имеет зависимую от тока выдержку времени. То есть чем быстрее будет возрастать ток, тем быстрее в реле замкнутся нужные контакты (или разомкнутся, в зависимости от типа исполнения). Также РТ- 80 имеет орган быстрого срабатывания - отсечку.

Таймер - реле времени РЭВ-302



Таймер годовой многофункциональный программируемый с функциями реле напряжения и фотореле

## Логические элементы защиты



*Реле времени с часовым механизмом РВ 235 УХЛ4. С производства давно сняты, но в эксплуатации используются*



*Двухканальное реле времени РЭВ-201 0-220с 220В*

# Логические элементы защиты

## Реле промежуточное РП-23

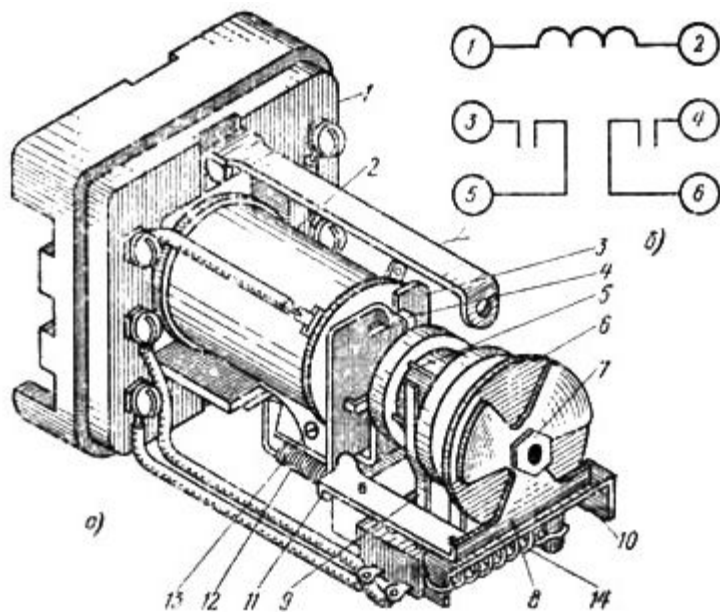


На переменном оперативном токе




На постоянном оперативном токе

## Указательное (сигнальное) реле РУ-21



## Панель сигнализации





**Коммутационная аппаратура,  
используемая  
во вторичных цепях РЗиА**

## Ключи управления



Переключатели кулачковые  
универсальные ПКУ-3-16  
ПКУ-3-38 ПКУ-3-58 ...





В схемах управления применяются ключи поворотного типа. Подача команд и перевод ключа из одного положения в другое производится поворотом рукоятки на некоторый угол. Конструкция некоторых типов ключей выполнена таким образом, чтобы операция производилась в два приема, что способствует предупреждению ошибок при операциях.

Положение рукоятки	Тип контакта						
	1-10	4	6	1	20	40	
Отключено							
Предварительно включено							
Включить							
Включено							
Предварительно отключено							
Отключить							

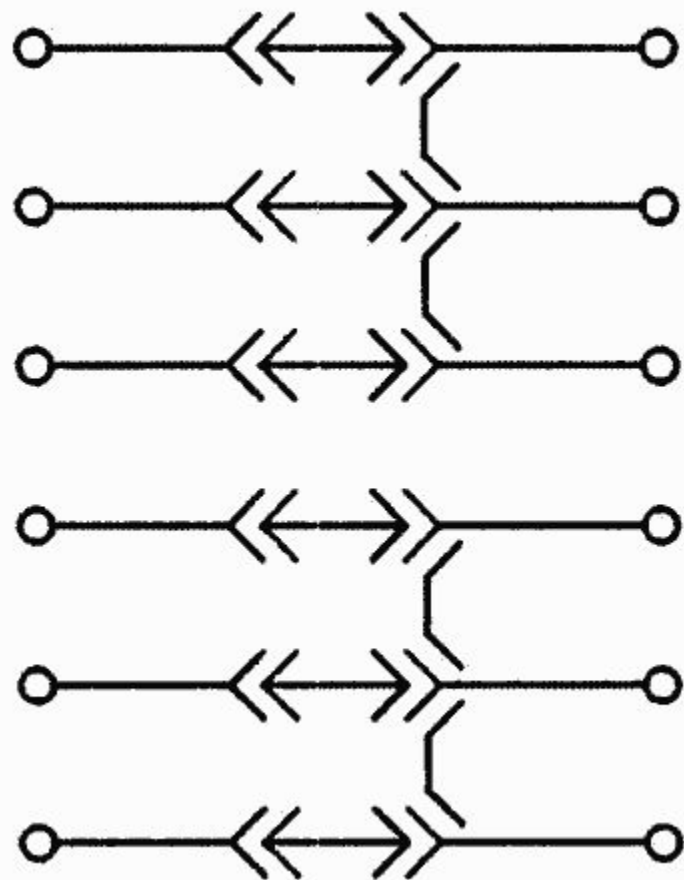
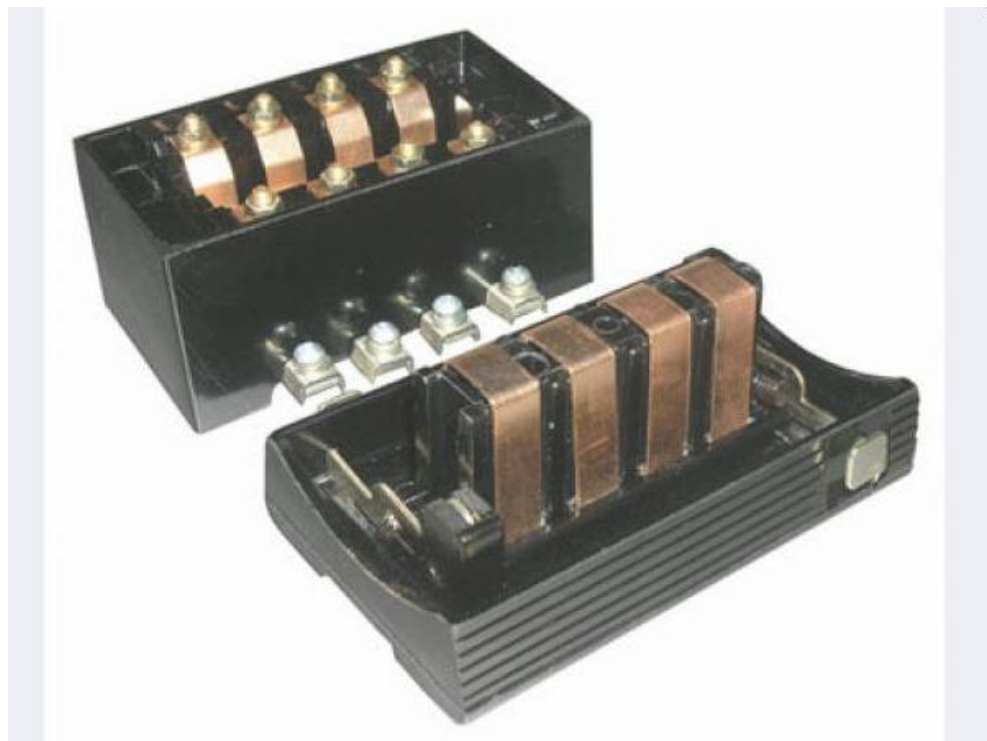
Примечание. Рукоятка ключа указана по виду спереди, а контакты — по виду сзади.

**В зависимости от характера фиксации и конструкции рукоятки ключи управления имеют следующие наиболее распространенные исполнения:**  
**КВ и МКВ** — с самовозвратом в среднее положение;  
**КВФ** — с двумя фиксированными положениями и самовозвратом из оперативных положений в фиксированные;  
**КСВФ** — то же, что КВФ, но со встроенной в рукоятку лампой.

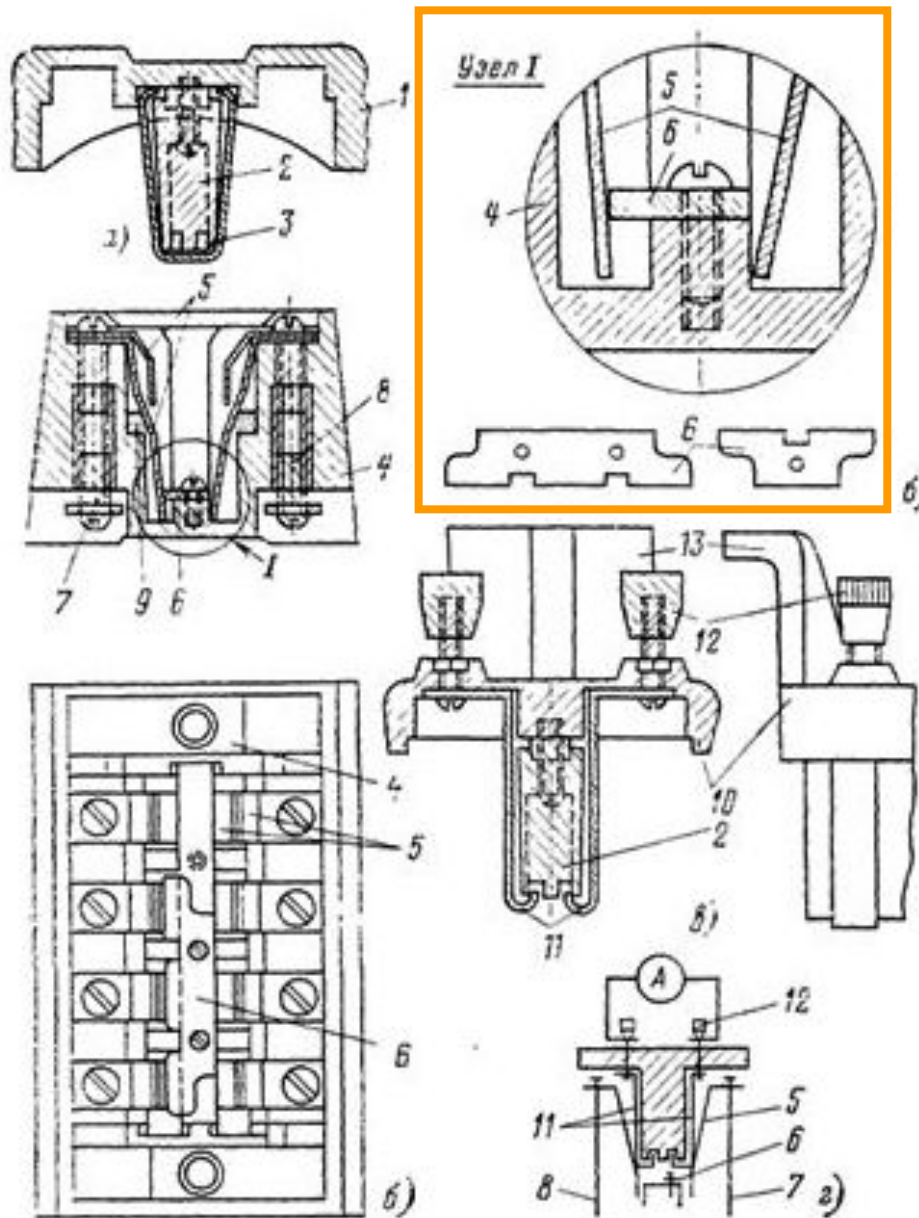
## Накладка контактная НКР-3



## Блок испытательный БИ-4, БИ-4М, БИ-6



*Блок испытательный БИ предназначен для использования в качестве многополюсных штепсельных разъемов в цепях релейной защиты, автоматики и измерительных приборов.*



## Блок испытательный

3 — контактная  
пластина,

4 — корпус блока,

5 — двойные  
главные контактные  
пластины,

6 — закорачивающая  
пластина

## Устройства коммутирующие для вспомогательных цепей типа КСА



Предназначены для коммутации низковольтных вспомогательных цепей: сигнальных, аварийных, блокировочных, управления, других вторичных цепей. КСА работают в составе приводов разъединителей и заземлителей.

*Блок-контакт КСА представляет собой пакетный переключатель, состоящий из наборных секций, число которых составляет: 2 (КСА-2), 4 (КСА-4), 6 (КСА-6), 8 (КСА-8), 10 (КСА-10), 12 (КСА-12). Каждая секция представляет собой группу, отделенную от других секций межсекционными пластинами-изоляторами, между которыми с двух сторон установлены контактные группы. Клипса представляет собой подвижный и неподвижный контакт, соединенные между собой штифтом. Внутри клипсы установлена пружина, обеспечивающая надежное примыкание подвижного контакта с центральным, вращающимся контактом.*

## Устройства коммутирующие для вспомогательных цепей типа КСА



Вторичные приборы и аппараты предназначены для контроля за состоянием первичного (силового) оборудования и режимом работы электроустановок, а также для управления этим оборудованием.

*Блок-контакты КСА, КБО, КБВ по существу являются датчиками механических перемещений, поскольку они преобразуют в электрические сигналы механические перемещения контролируемого оборудования, с которым связаны кинематически. Блок-контактами КСА снабжают приводы выключателей и разъединителей, магнитные контакторы и пускатели, автоматы и другое оборудование.*

Угол поворота вала, при котором происходит размыкание четной группы и замыкание нечетной контактной группы

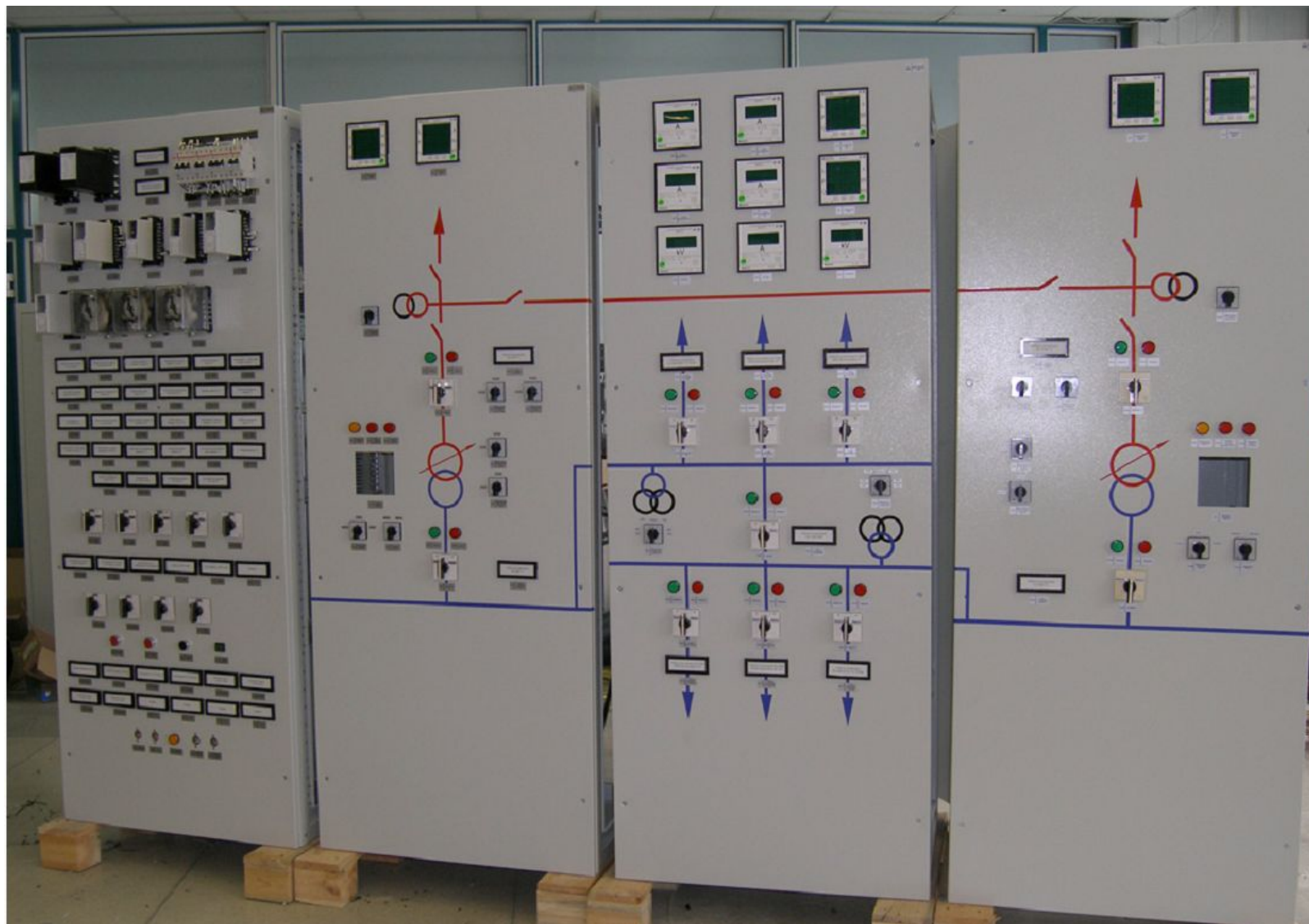
КСА-хх ист х.х.х-30 Угол переключения 30°

КСА-хх исп х.х.х-60 Угол переключения 60°

КСА-хх исп х.х.х-90 Угол переключения 90°

КСА-хх исп х.х.х-120 Угол переключения 120°

# Продукция ООО "ЭК "Экнис-Украина"

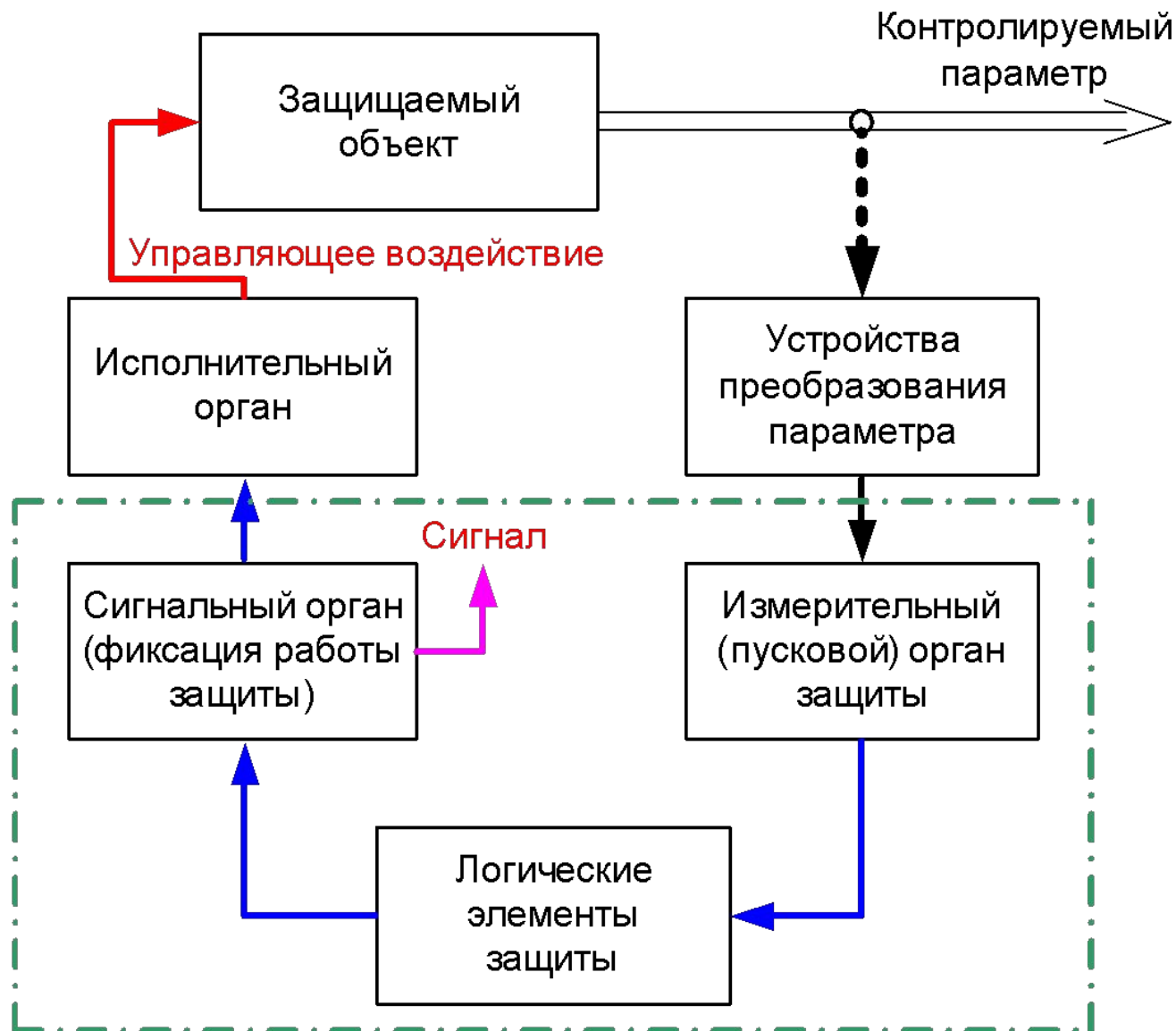




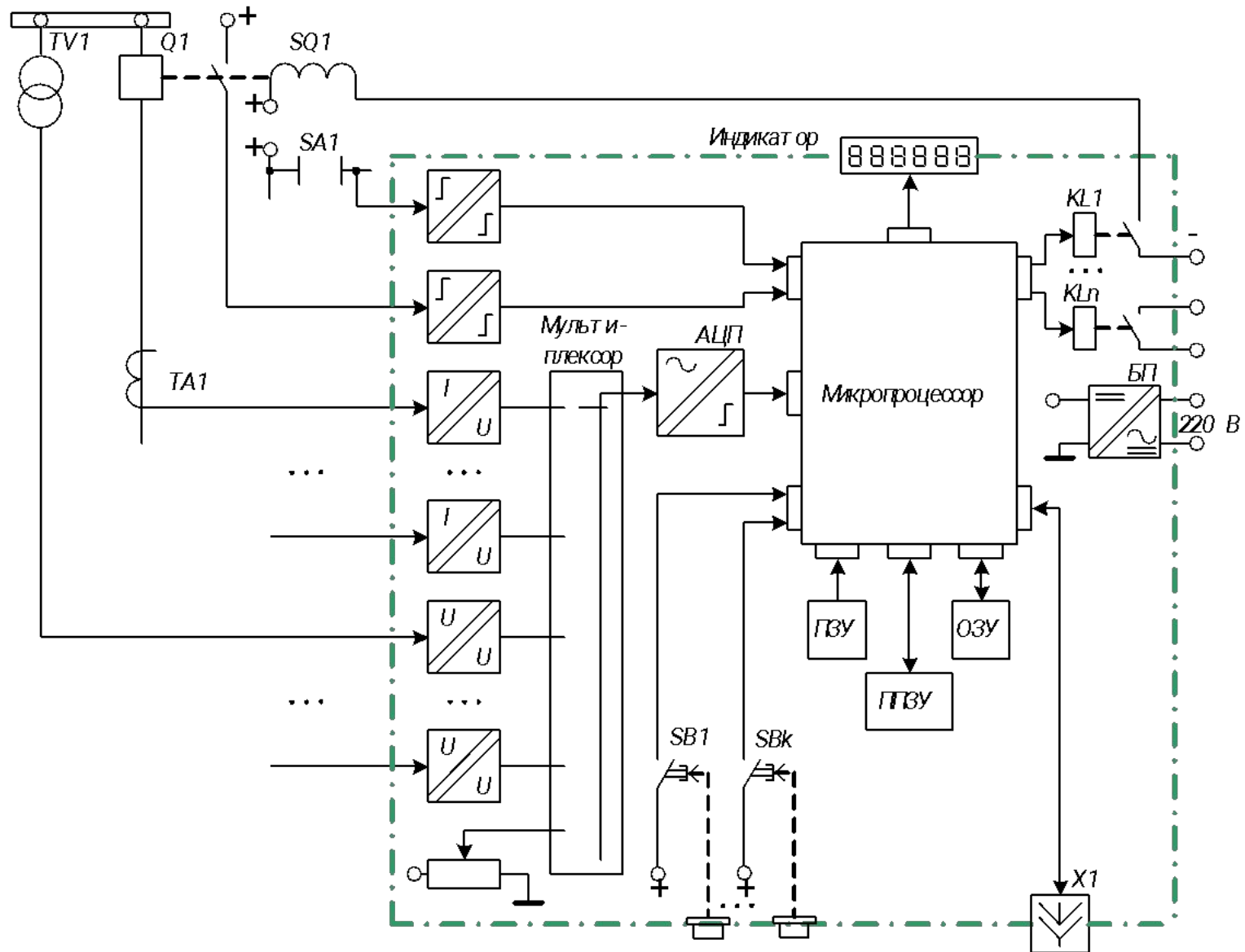
# Цифровые устройства релейной защиты



# Принцип построения устройства релейной защиты на микропроцессорной базе



# Структурная схема цифрового устройства релейной защиты



# Панели цифровых защит



# Микропроцессорный терминал «Сириус-2-РН»



# Микропроцессорный терминал НТЦ «Механотроника»



# Устройство РЗиА РС-81



# Терминал релейной защиты силового трансформатора ABB RET 541



# Терминал ABB REL 670 (комплект ступенчатых защит ЛЭП)



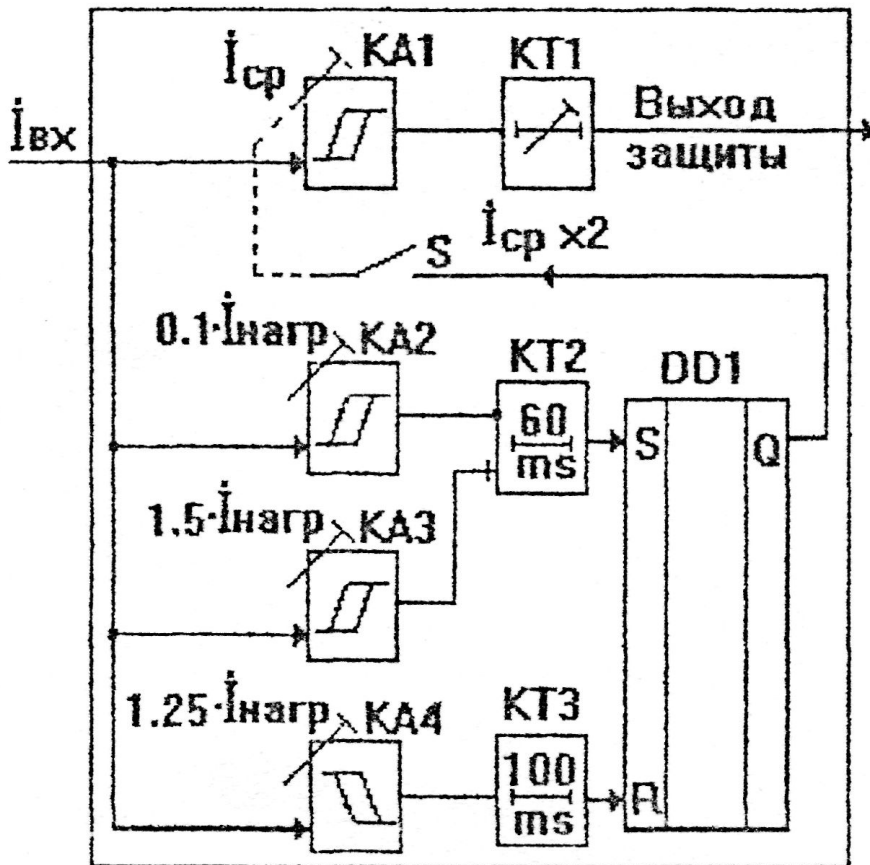


## Некоторые элементы цифровых реле на схемах

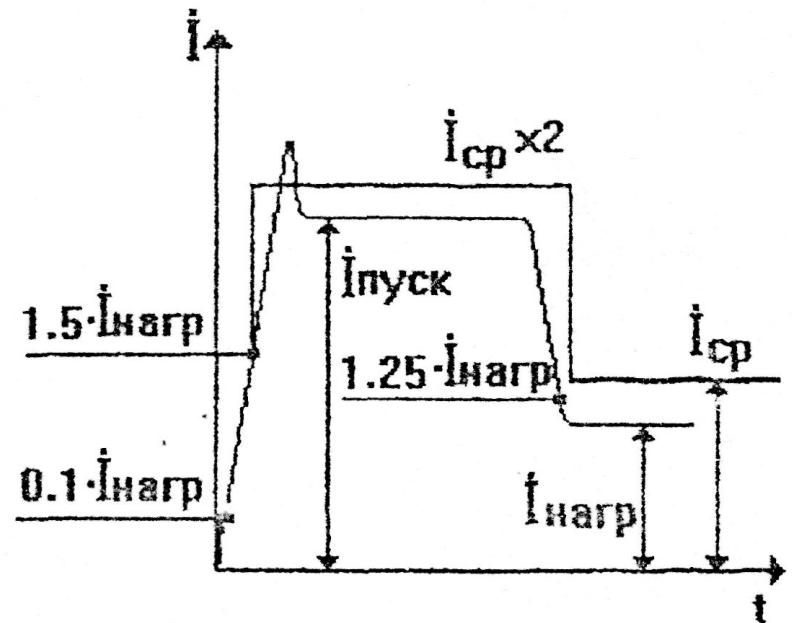
**КА1-КА4 – пороговые элементы** (срабатывание при достижении входным сигналом уровня уставки). Иногда их называют «**компаратор**», т.е. устройство, предназначенное для сравнения **двух входных сигналов**.

**КТ1-КТ3 – таймеры**

**DD1 - триггер**



а)



б)



# Оперативный ток в цепях релейной защиты

Оперативный ток питает вторичные устройства оборудования, такие как: цепи релейной защиты, устройства автоматики и телемеханики, цепи управления выключателями, аппаратуру дистанционного управления и др.

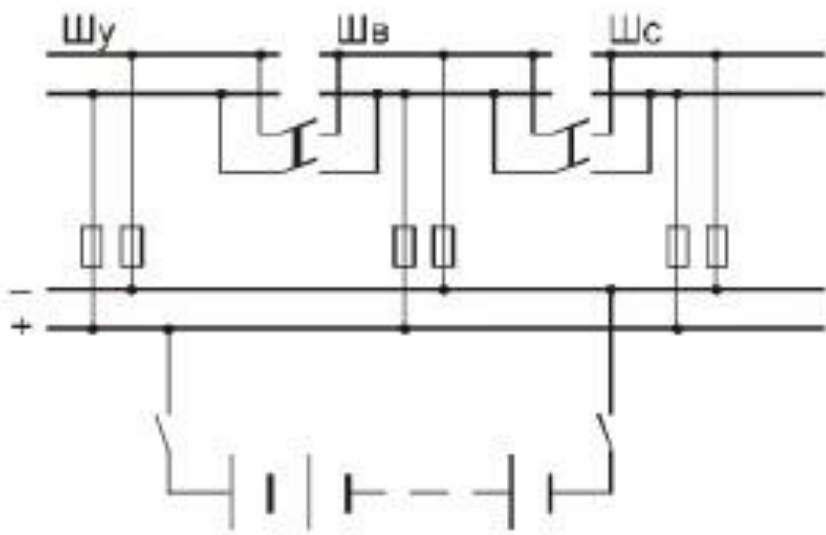
**Источники оперативного тока** должны обеспечивать высокую надежность работы, и гарантировать питание устройств во время аварийных режимов. Источники оперативного тока должны обладать стабильным напряжением и мощностью, чтобы их было достаточно для своевременной работы релейной защиты, автоматики и других подстанционных устройств.

Оперативный ток может быть переменным или постоянным.

Постоянный оперативный ток имеет стандартные величины номинального напряжения: **24 В, 48 В, 110 В и 220 В**. Аккумуляторные батареи, напряжение которых 110 В или 220 В, являются основными источниками питания оборудования постоянным током.

*Независимо от общего состояния основной сети, аккумуляторные батареи (при постоянном оперативном токе) постоянно обеспечивают ее током, поэтому они, среди источников питания, являются самыми надежными.*

*Наряду с основным положительным свойством аккумуляторов — надежностью, существуют несколько недостатков этого источника питания. Это: большая стоимость аккумуляторных батарей, сложность сети постоянного тока, и необходимость в зарядных агрегатах.*



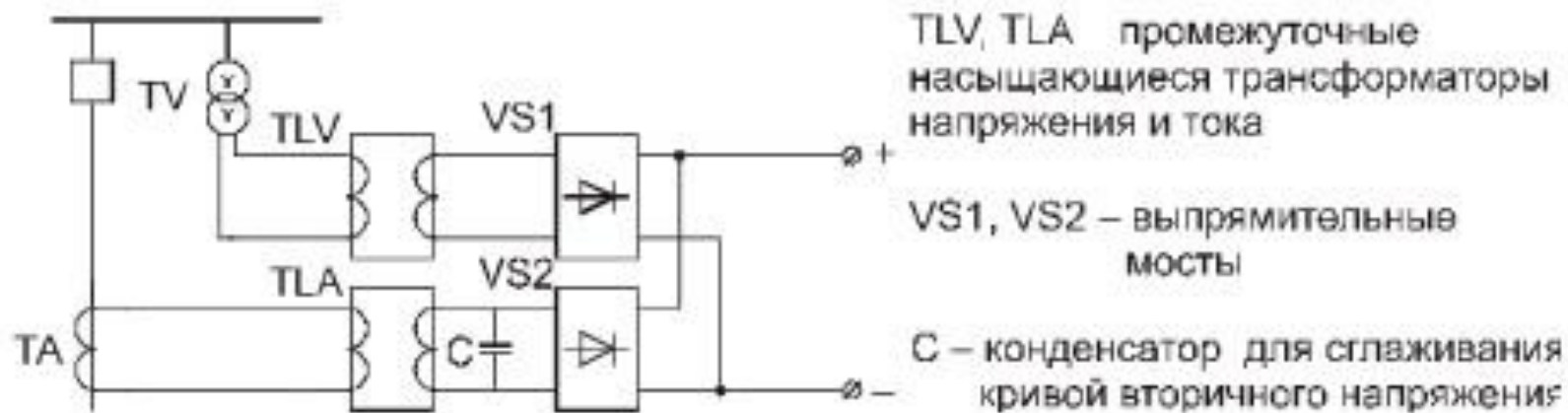
Шу - шинки управления.  
РЗ и А и катушки отключения

Шв - шинки катушек включения (400 - 500 А), может быть несколько секций

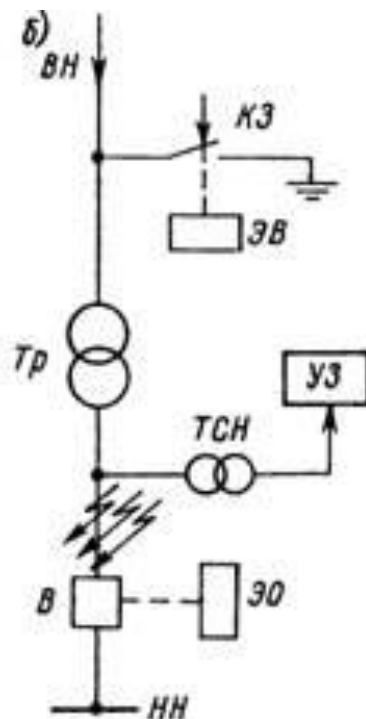
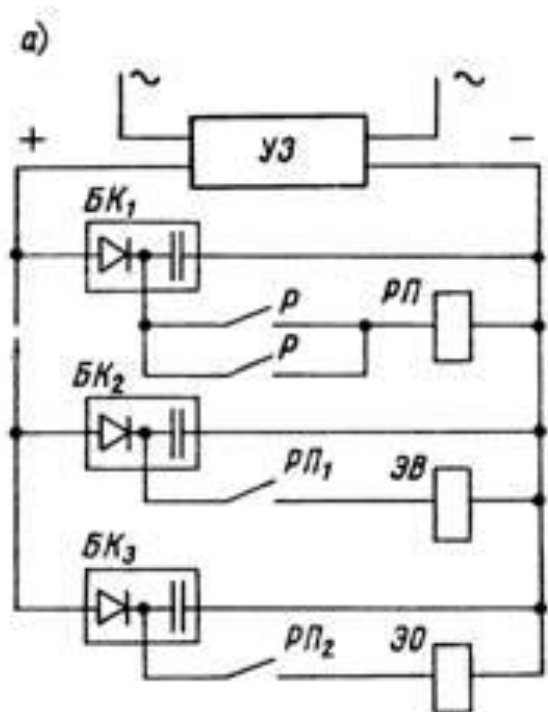
Шс - шинки сигнализации

Чтобы повысить надежность источника питания, сеть разделяют на несколько секций — изолированных между собой участков через секционный выключатель с автоматическим вводом резерва. То есть при пропадании напряжения на одной из секции, питание на неё будет подано автоматически с рабочей секции.

## Блоки питания оперативных цепей



## Использование энергии предварительно заряженных конденсаторов



При срабатывании устройства защиты замыкаются контакты **Р** и катушка **РП** промежуточного реле срабатывает за счет энергии, запасенной в конденсаторе **БК1**.

При срабатывании реле **РП** замыкаются его контакты **РП1** и **РП2**, создавая цепи разряда конденсаторов **БК2** и **БК3**, соответственно,

на **ЭВ** короткозамыкателя **КЗ** и **ЭО** выключателя **В**.

Для уменьшения емкости и габаритов конденсаторов напряжение заряда принято равным 400 В. Схема защиты получается довольно громоздкой, поскольку на каждую операцию требуется отдельный блок конденсаторов.

Но главным недостатком является быстрый разряд конденсаторов при исчезновении напряжения питания зарядного устройства (**УЗ**).

## Источники оперативного тока для цифровых защит

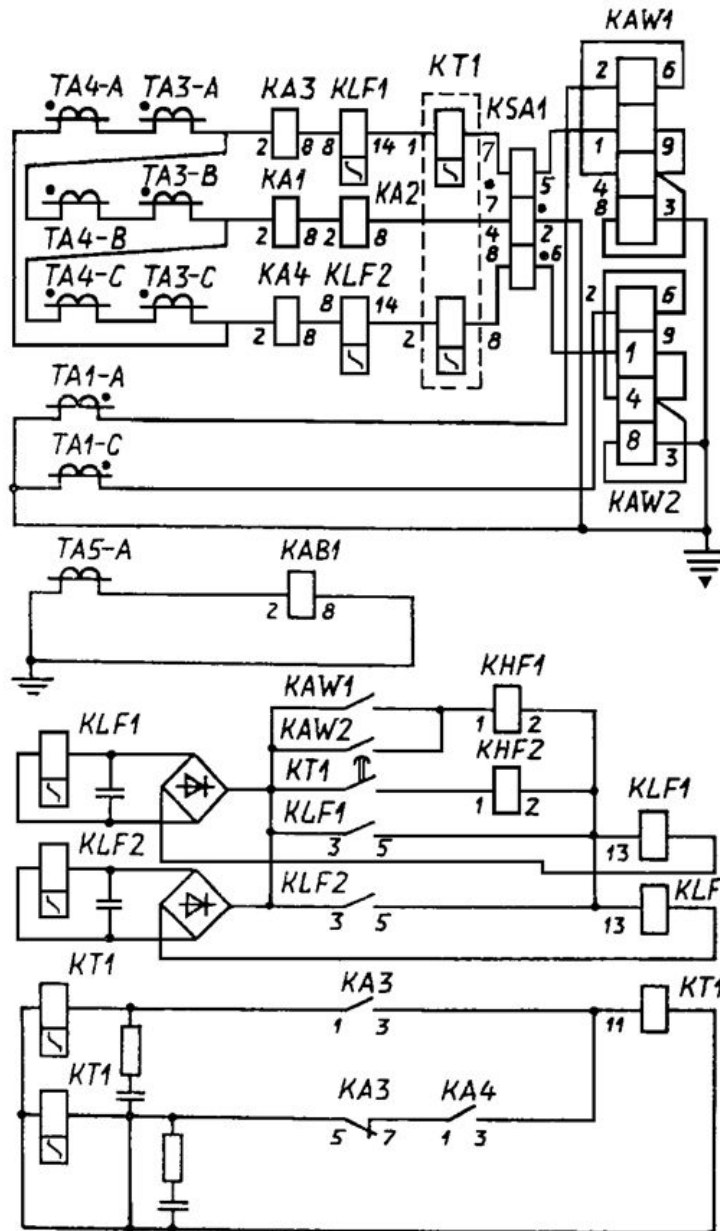
*Цифровые защиты требуют применения таких источников оперативного тока, которые обеспечивают нужные низкие уровни напряжений для правильной работы цифровых устройств.*

*Блок питания цифровой защиты обеспечивает стабилизированное напряжение на всех узлах процессора независимо от изменений напряжения в питающей сети.*

*Обычно в блоке питания формируется ряд дополнительных сигналов, исключающих неправильную работу цифрового устройства защиты в момент появления и исчезновения напряжения питания.*



# Переменный оперативный ток



Дифференциальная токовая защита, максимальная токовая защита от перегрузки, реле обдувки, реле контроля тока в линии


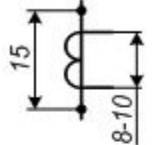
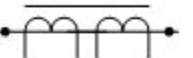
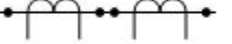
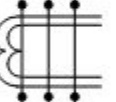
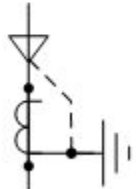

Реле контроля тока короткозамыкателя

Выходные цепи дифференциальной максимальной токовой защиты и защиты от дуговых замыканий на стороне 110 кВ

Цели оперативного тока

# Графические обозначения в схемах РЗиА

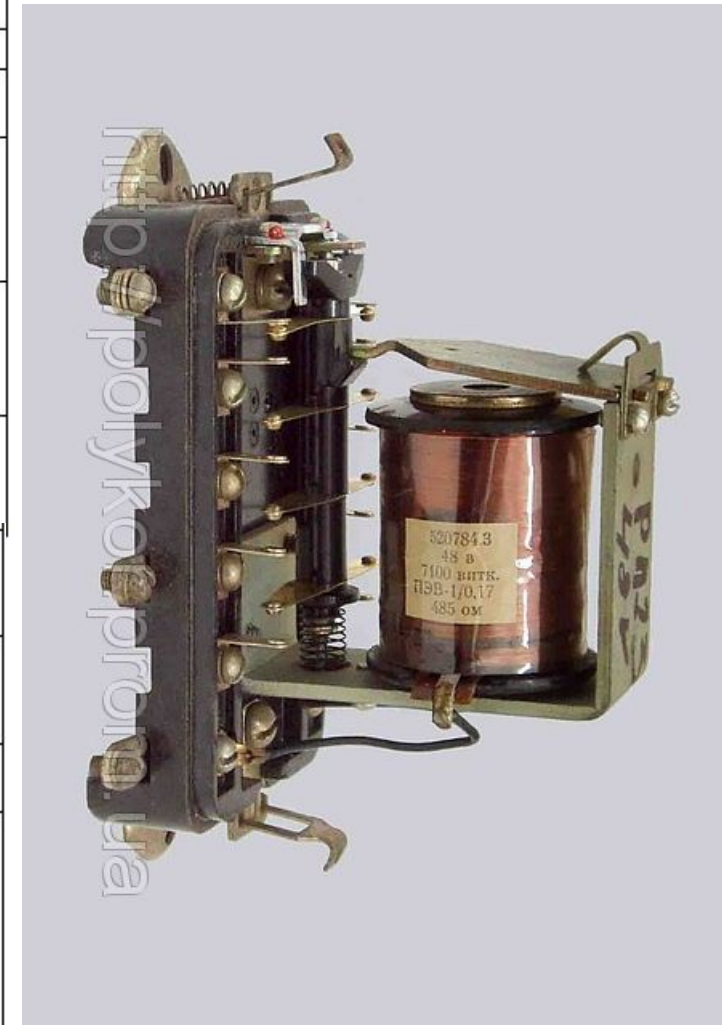
## Трансформаторы тока

Трансформатор тока с одной вторичной обмоткой		
Трансформатор тока с одним сердечником и двумя вторичными обмотками		
Трансформатор тока с двумя сердечниками и двумя вторичными обмотками		
Трансформатор тока шинный, нулевой последовательности, с обмоткой подмагничивания		
Трансформатор тока нулевой последовательности, кабельный, с заземлением воронки кабеля через окно трансформатора тока		
Трансформатор тока с быстронасыщающимся сердечником		

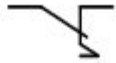
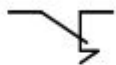
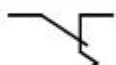




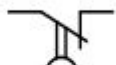




## Коммутационные устройства и контактные соединения

Наименование	Графическое обозначение	Размер
1	2	3
Контакт. Общее обозначение		
– замыкающий		
– размыкающий		
– переключающий		
– <u>переключающий без разрыва цепи</u>		
– <u>переключающий со средним положением</u>		
Контакт импульсный замыкающий		
– при срабатывании		
– при возврате		
– при срабатывании и возврате		


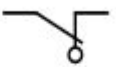






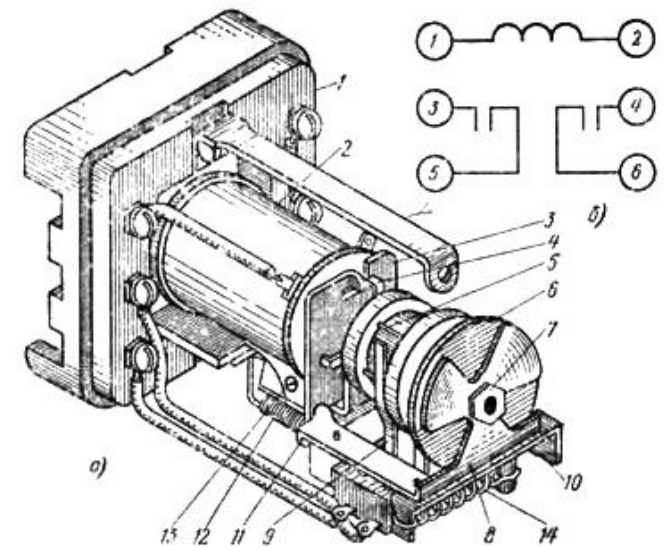
## Коммутационные устройства и контактные соединения

Контакт импульсный размыкающий		
– при срабатывании		
– при возврате		
– при срабатывании и возврате		
Контакт замыкающий с замедлением		
– при срабатывании		
– при возврате		
– при срабатывании и возврате		
Контакт размыкающий с замедлением		
– при срабатывании		
– при возврате		
– при срабатывании и возврате		

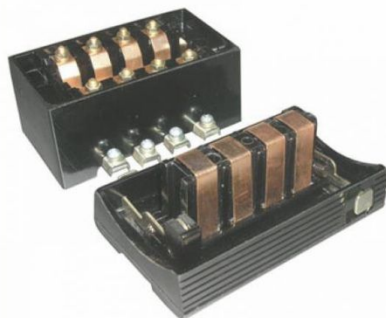


## Коммутационные устройства и контактные соединения

Контакт без самовозрата (для указательных реле)		
– замыкающий		$\varnothing 2$
– размыкающий		
Контакт электротеплового реле при разнесенном способе изображения схемы		
Контакт с <u>дугогашением</u> для коммутации сильнотоковой цепи (контакт <u>контатора</u> , магнитного пускателя)		
– замыкающий		
– размыкающий		
Контакт с устройством <u>дугогашения</u> (контакт <u>контатора</u> , магнитного пускателя)		
– замыкающий		
– размыкающий		


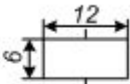

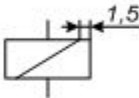
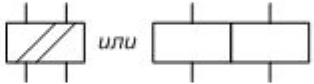


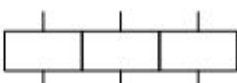

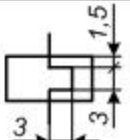


# Коммутационные устройства и контактные соединения



Переключатель цепи управления (ключ управления)		
Соединение контактное		
- неразборное		Ø1,5-2
- разборное		
Контакт разъёмного соединения		
- общее обозначение		
- штырь		
- гнездо		
- однопроводное разборное (разъёмное) соединение		
- <u>четырёхпроводное</u> разборное (разъёмное) соединение		
Перемычка контактная (накладка)		
- для отключения цепи		
- для переключения цепи		

## Обмотки электромагнитов, реле и других электромеханических устройств

Наименование	Графическое обозначение	Размер
1	2	3
Катушка электромеханического устройства. Общее обозначение		
– с одной обмоткой		
– с двумя обмотками		
<u>Примечание 1:</u> при разнесенном способе каждую обмотку изображают отдельно в виде:		
<u>Примечание 2:</u> при необходимости начало обмотки показывается точкой:		
Трехфазное реле		
Электротепловое реле		

## ВИДЫ СХЕМ, ТРЕБОВАНИЯ К УМЕНИЮ ЧТЕНИЯ СХЕМ

*Аппараты изображаются на электрических схемах, как правило, в положениях, соответствующих отсутствию напряжения во всех цепях.*

Для схем релейной защиты допускается изображение контактов реле в рабочем положении готовности к действию, если при этом обеспечивается бóльшая наглядность и облегчается понимание принципов работы схем релейной защиты и автоматики.

Такое изображение контактов должно быть оговорено прямо на поле чертежа.



**В зависимости от назначения применяются следующие виды схем релейной защиты и автоматики:**

*принципиальные совмещенные;*

*принципиальные развернутые;*

*монтажные;*

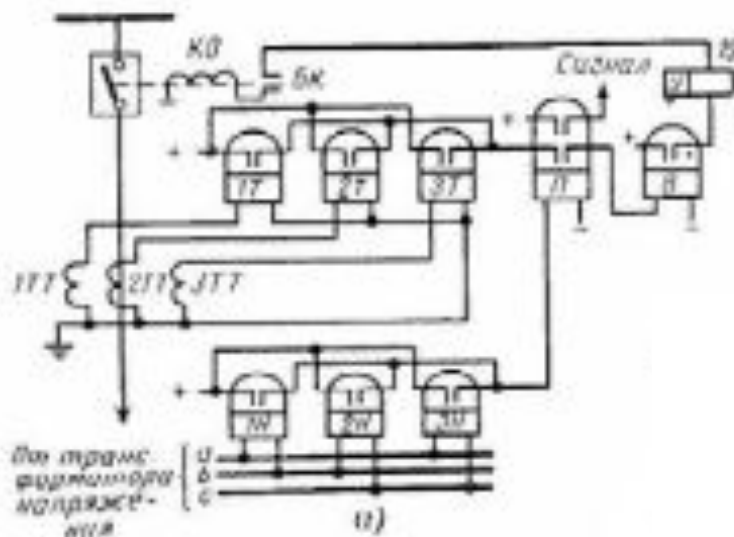
*принципиально-монтажные;*

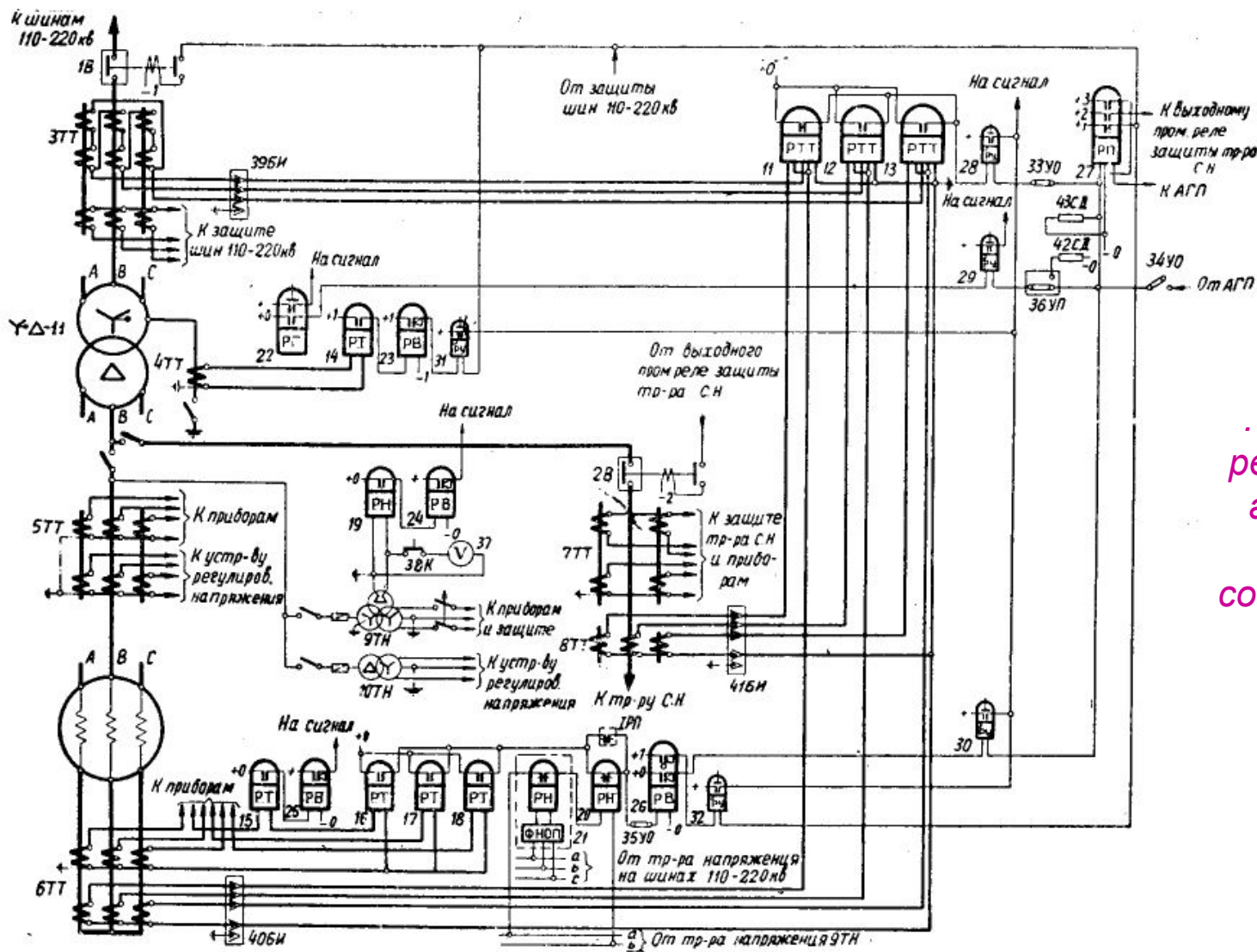
*структурные (функциональные);*

*логические.*

**Принципиальные совмещенные схемы** релейной защиты, автоматики, цепей управления выполняются совместно на одном чертеже со схемами соединения первичных цепей. Все реле и другие аппараты изображаются условными обозначениями также в совмещенном виде. Схемы внутренних соединений реле, их зажимы и источники питания оперативным током не показываются.

*Принципиальные совмещенные схемы наиболее наглядно показывают связь между реле и другими аппаратами, а также последовательность их действий*





Примечание  
 1 PР - контакт реле положения  
 «включено» (PВ)  
 выключателя 1В

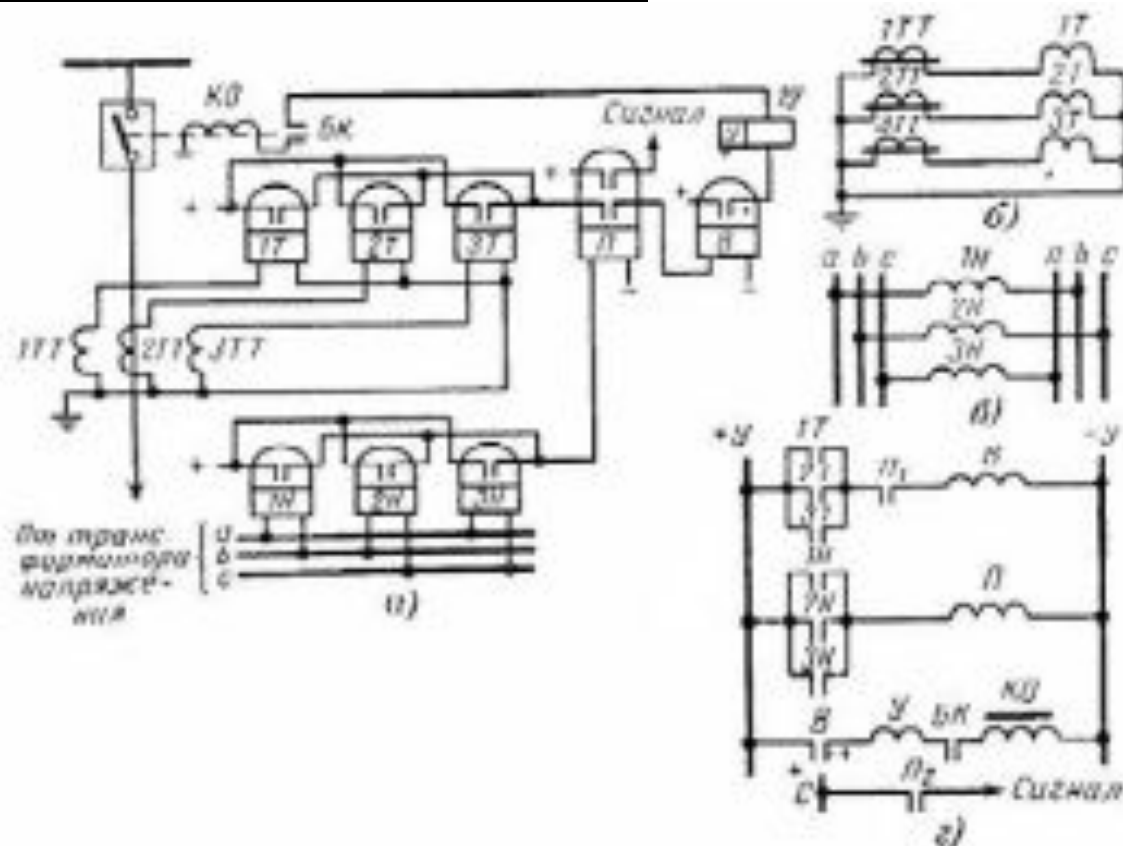
. В сложных схемах релейной защиты и автоматики (РЗА) принципиальные совмещенные схемы утрачивают свою наглядность.

**Принципиальные развернутые схемы** выполняются по отдельным цепям: тока, напряжения, оперативного тока, сигнализации и т.д. В этих схемах реле и другие аппараты изображаются в разнесенном виде, т.е. обмотки реле изображаются в одной части схемы, контакты – в других. Сложные развёрнутые схемы поясняются подписями, указывающими назначение отдельных цепей.

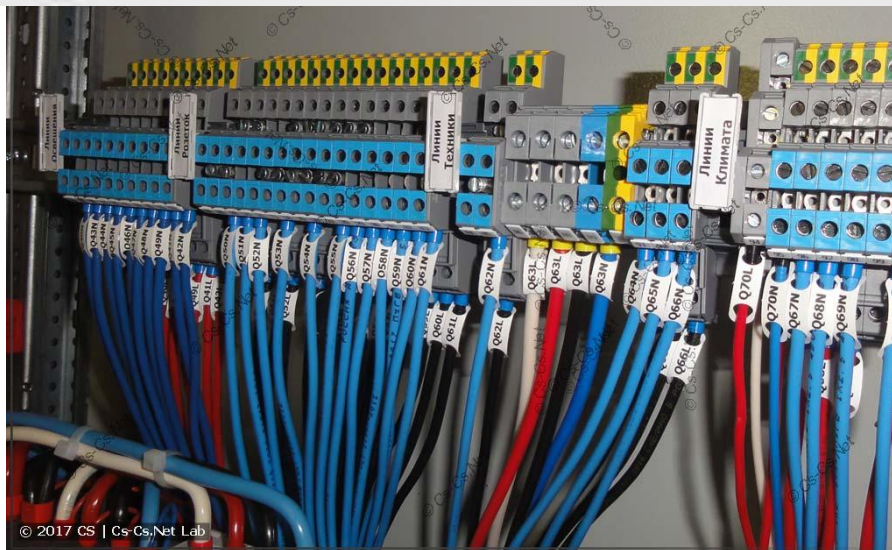
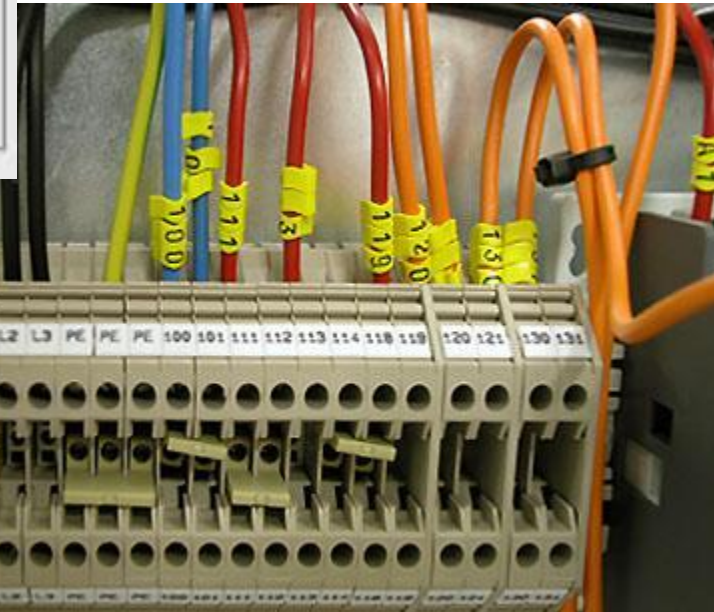
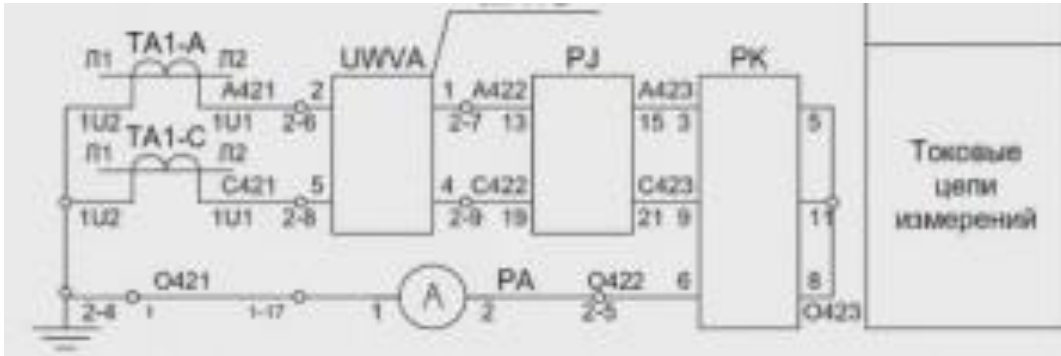
*б) развёрнутая схема токовых цепей;*

*в) развёрнутая схема цепей напряжения;*

*г) развёрнутая схема цепей постоянного оперативного тока и сигнализации.*



**Монтажные схемы** представляют собой рабочие чертежи, по которым производится монтаж панелей релейной защиты, автоматики, управления, сигнализации и др. На монтажных схемах реле, приборы, зажимы и соединяющие их провода располагаются, как на панели, и маркируются. Монтажные схемы, на которых отражены все фактические соединения, выполненные при монтаже и наладке, называются *исполнительными*.



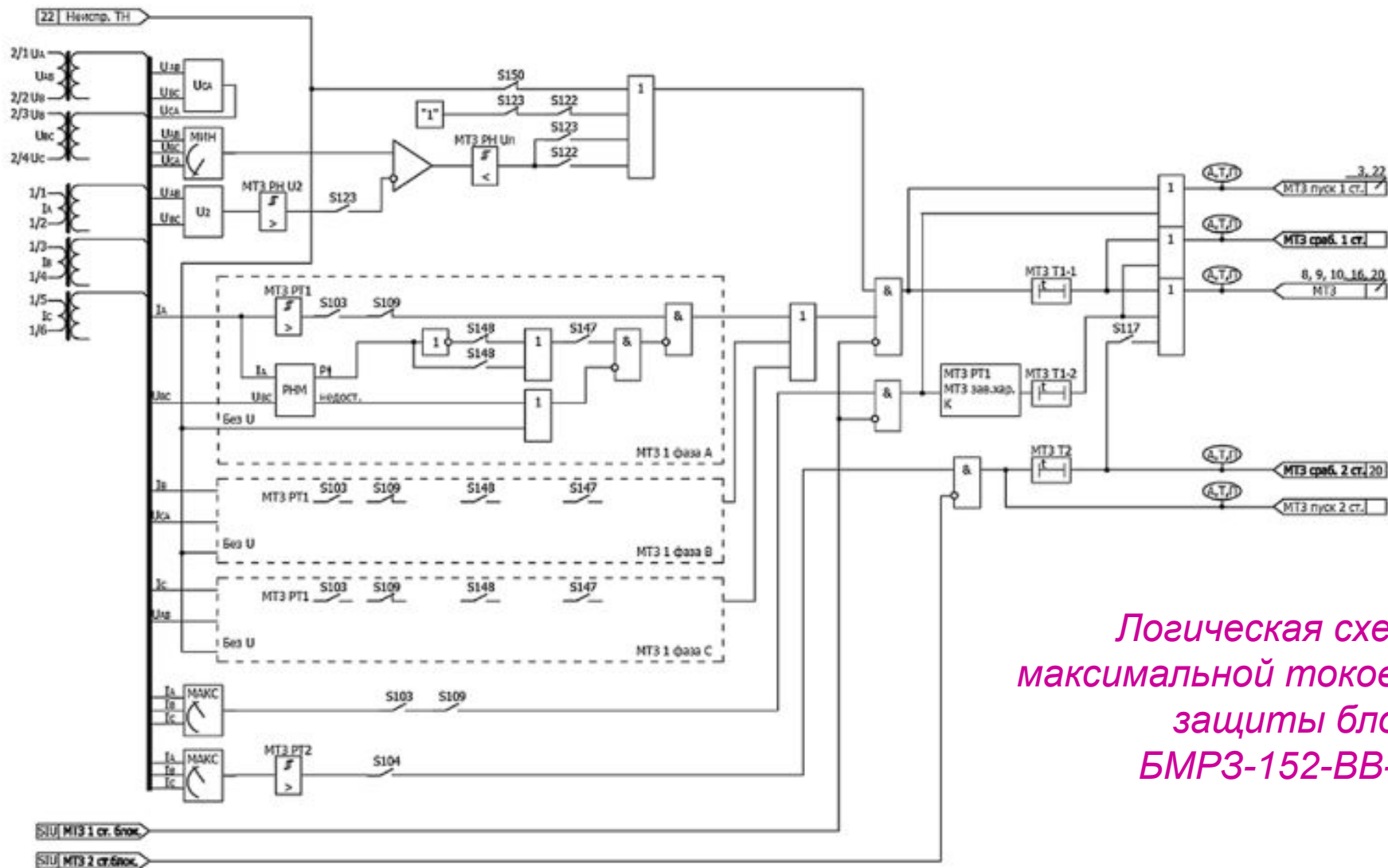
**Принципиально-монтажные схемы** это принципиальные схемы РЗА, на которых указываются номера клемм и зажимов реле, приборов с указанием маркировки цепей. По принципиально-монтажным схемам, как правило, удобно выполнять работы по техническому обслуживанию устройств релейной защиты и автоматики.

**Структурные схемы** применяются для изображения общей структуры устройств релейной защиты и автоматики без выделения отдельных реле и других аппаратов. Они изображаются не с помощью условных обозначений, а в виде целых узлов или органов устройства и взаимных связей между ними. Узлы и связи между органами изображаются прямоугольниками, в которые помещаются надписи и условные индексы, поясняющие функциональное назначение данного узла или органа. **Примером структурной схемы может быть схема цифрового устройства защиты.**

## ЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ЦИФРОВЫХ ТЕРМИНАЛОВ

**Логические схемы** — это весьма сжатый способ представления информации о работе алгоритмов блока. В микропроцессорных устройствах релейной защиты нет промежуточных реле, нет электрических связей между реле, весь данный процесс выполняется в виде программы в процессоре блока, работающей по определенным алгоритмам. **Графическое представление работы алгоритмов блока выполняется в виде логических схем**, которые приводятся производителями блоков в руководствах по эксплуатации.

Логическая схема максимальной токовой защиты терминала БМРЗ-152-ВВ-01 представлена на следующем слайде

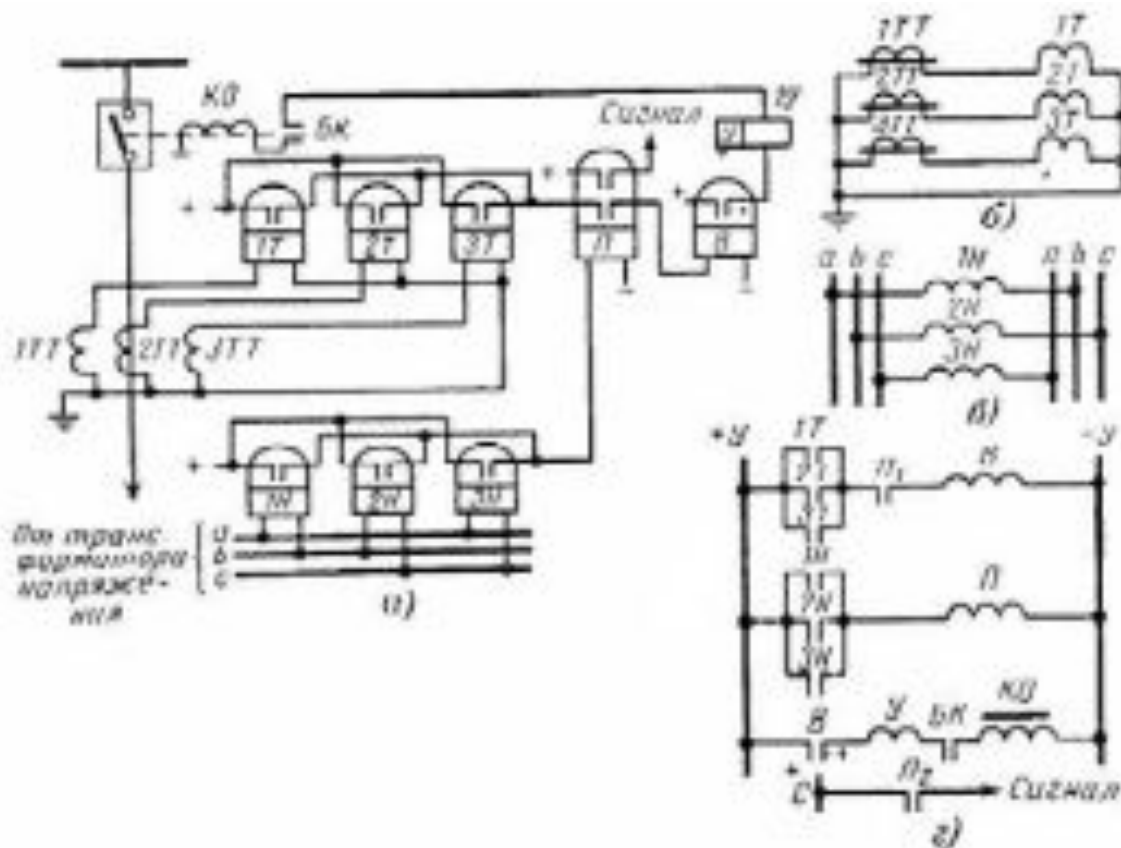


Логическая схема максимальной токовой защиты блока БМР3-152-ВВ-01



## ТРЕБОВАНИЯ К УМЕНИЮ ЧТЕНИЯ СХЕМ

Принципиальные схемы комплектов РЗА – вторые по важности и сложности во всем проекте. Независимо от того, что вам нужно сделать – разработать схему или проверить готовую, работа с ней требует определенной квалификации. Глядя, например, на схему РЗА ввода 10 кВ, поначалу не знаешь, за что хвататься.



Как упростить работу с принципиальной схемой без ущерба качеству?

**Нельзя рассматривать несколько цепей сразу, т.е. едим слона по частям**

Если смотреть всю схему сразу, то ничего хорошего, скорее всего, не получится – слишком много информации. Вы должны разделить схему на независимые участки и работать с каждым отдельно. Для любых схем РЗА – электромеханических, или с микропроцессорными терминалами таких участков можно условно выделить 10:

1. Поясняющая схема;
2. Измерительные цепи (цепи тока и напряжения);
3. Цепи привода выключателя;
4. Цепи оперативного тока (включая питание терминала);
5. Цепи сигнализации;
6. Выходные цепи (включая цепи ТС и резервные выходы);
7. Цепи АСУ;
8. Вспомогательные цепи (обогрев, освещение, розетки и т.д.);
9. Перечень элементов (может идти отдельно от схемы);
10. Таблицы или логические схемы для параметрирования (могут быть выделены в отдельную часть).

## Какие участки принципиальной схемы самые критические?

Чаще всего:

- Измерительные цепи (100% критически важны);
- Цепи привода выключателя (100% критически важны);
- Цепи оперативного тока (примерно 40% этих цепей критически важны – остальные вспомогательные)
- Выходные цепи (примерно 40% этих цепей критически важны – остальные вспомогательные);
- Таблицы или логические схемы для параметрирования (для МП РЗА примерно 30% функций являются критическими – остальные вспомогательные).

Начинайте с этих цепей и делайте их качественно. Это позволит избежать серьезных ошибок в проекте и, в будущем, больших аварий на объекте.

Это не означает, что остальные цепи делать не нужно. Нужно, но после того как завершены все работы по критическим.

## Рассмотрим по очереди несколько первых пунктов из перечня для схемы защиты ввода 10 кВ

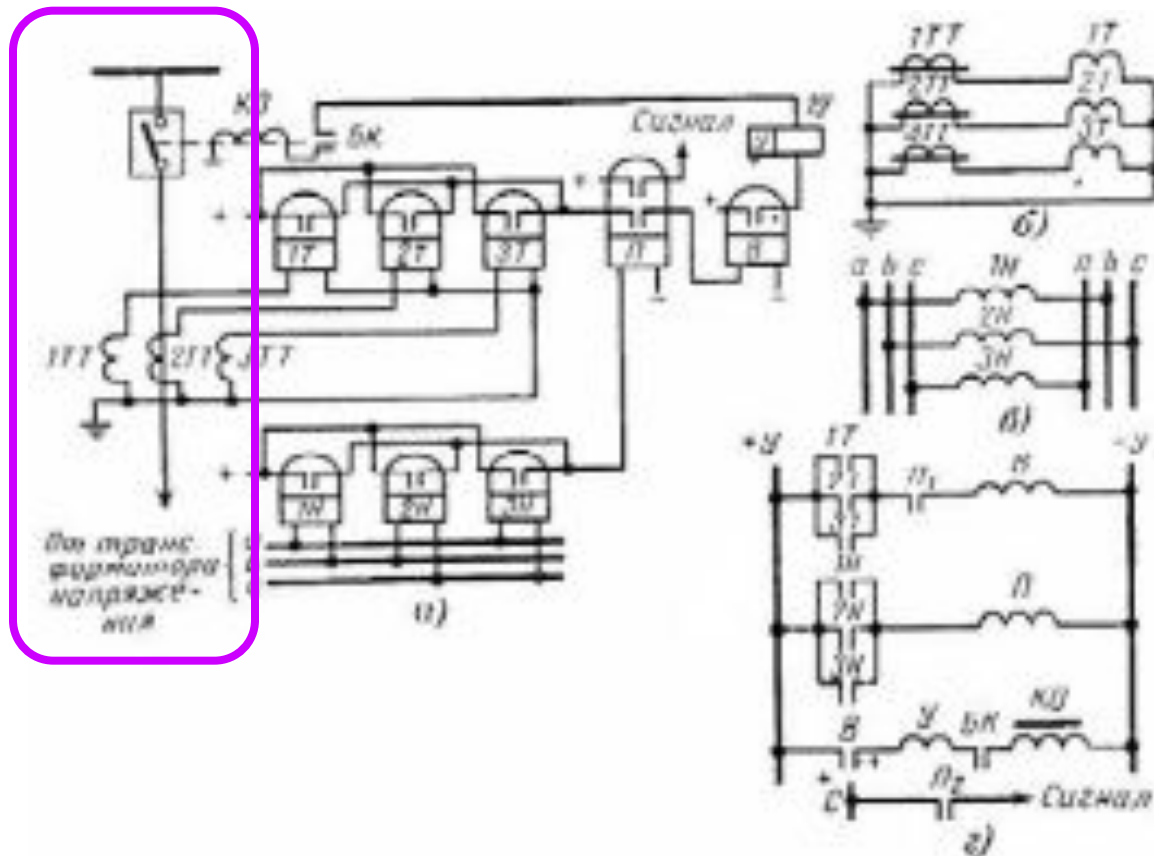
1. Поясняющая схема;

2. Измерительные цепи  
(цепи тока и  
напряжения);

3. Цепи привода  
выключателя;

4. Цепи оперативного  
тока (включая питание  
терминала);

5. Цепи сигнализации;



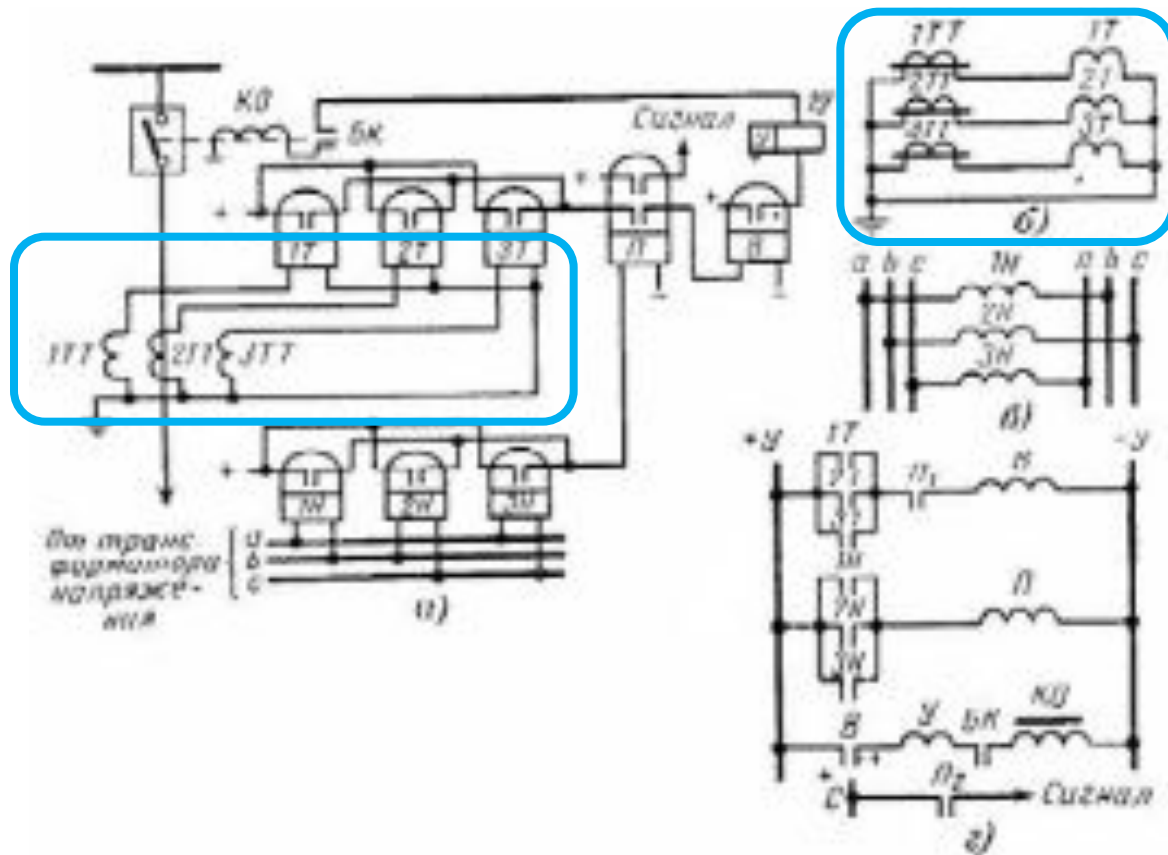
1. Поясняющая схема;

2. Измерительные цепи (цепи тока и напряжения);

3. Цепи привода выключателя;

4. Цепи оперативного тока (включая питание терминала);

5. Цепи сигнализации;



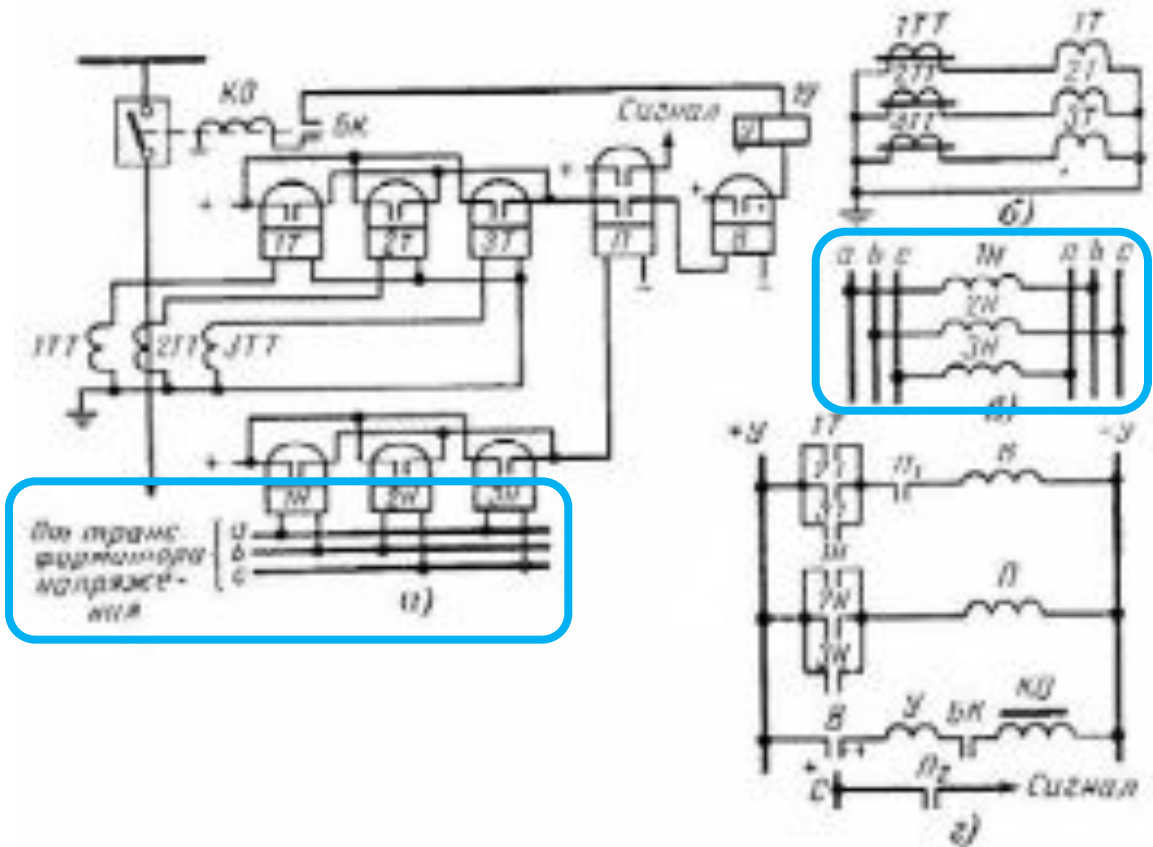
1. Поясняющая схема;

2. Измерительные цепи  
(цепи тока и  
напряжения);

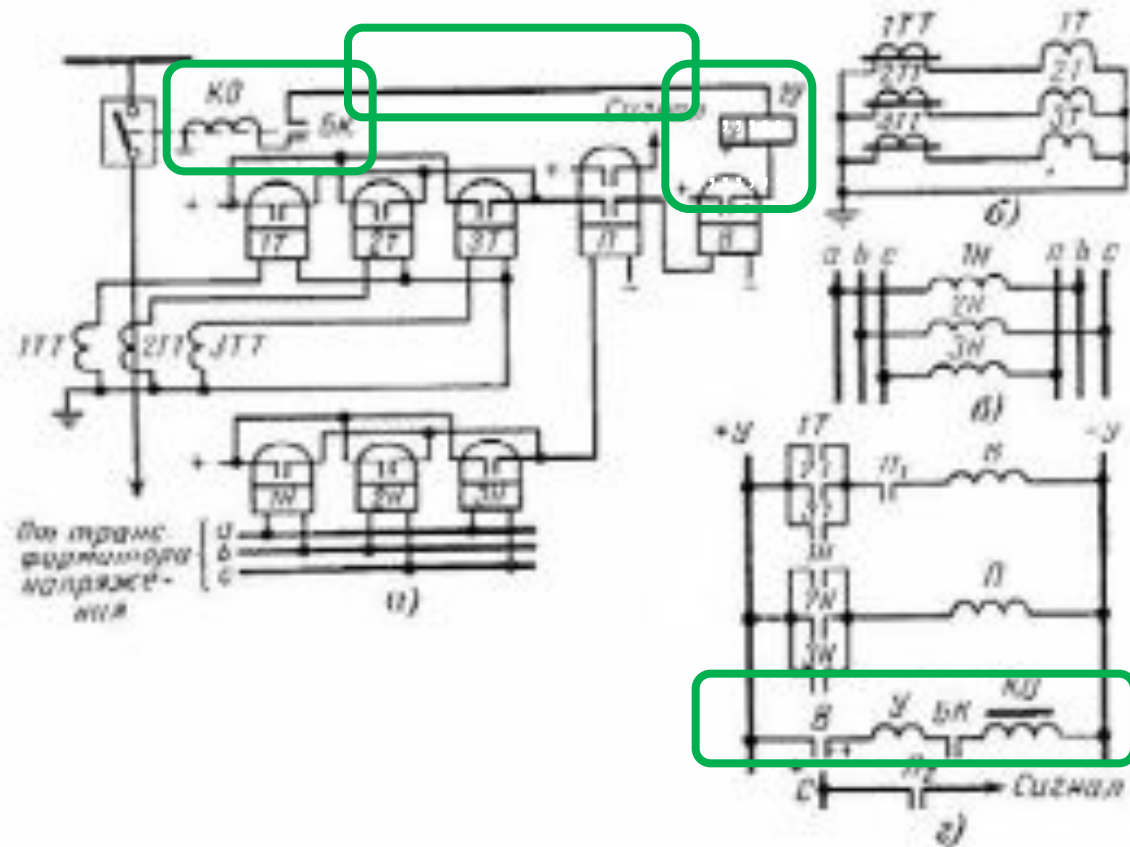
3. Цепи привода  
выключателя;

4. Цепи оперативного  
тока (включая питание  
терминала);

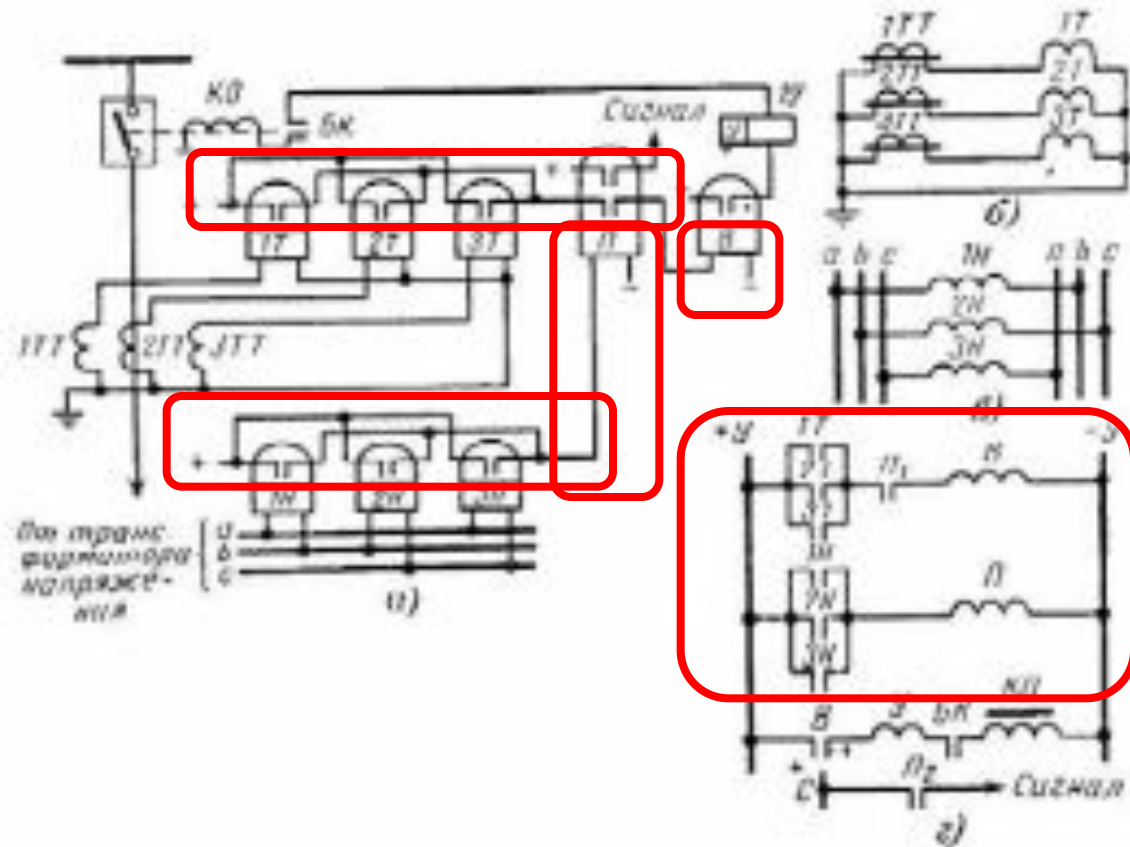
5. Цепи сигнализации;



1. Поясняющая схема;
2. Измерительные цепи (цепи тока и напряжения);
3. Цепи привода выключателя;
4. Цепи оперативного тока (включая питание терминала);
5. Цепи сигнализации;

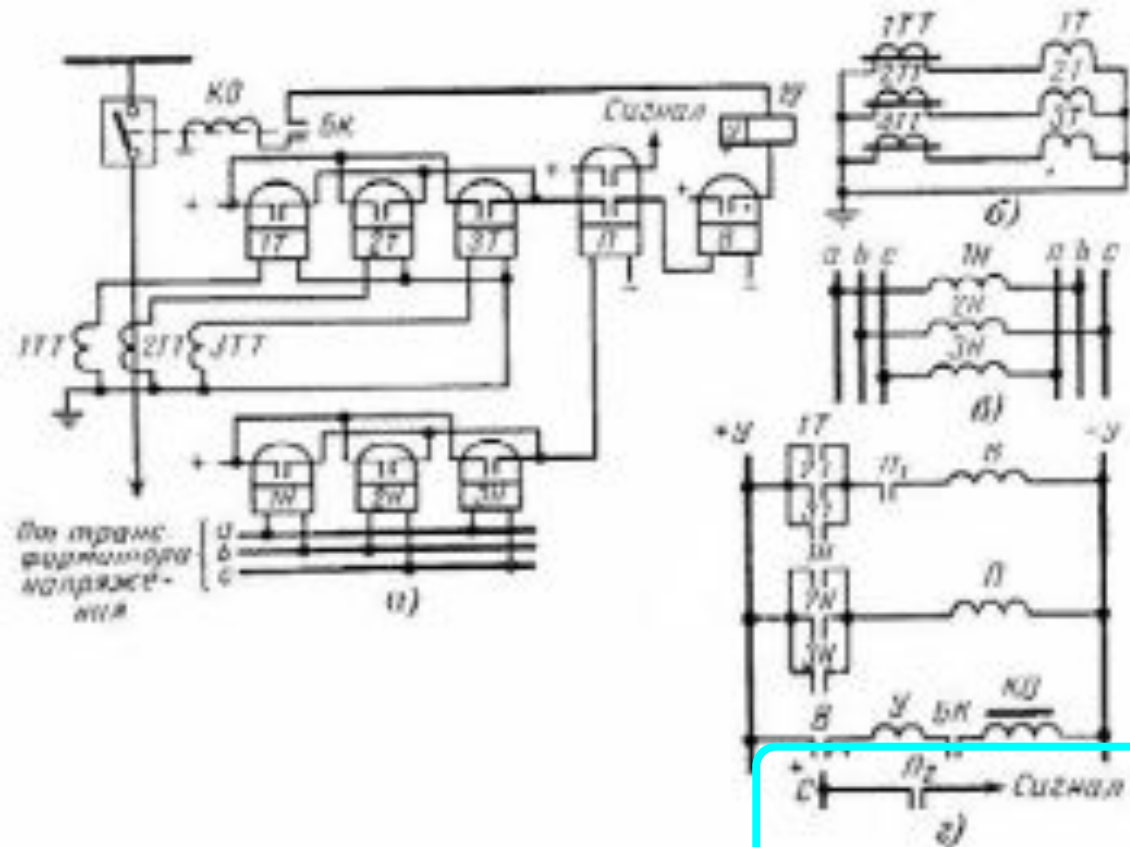


1. Поясняющая схема;
2. Измерительные цепи (цепи тока и напряжения);
3. Цепи привода выключателя;
4. Цепи оперативного тока (включая питание терминала);
5. Цепи сигнализации;

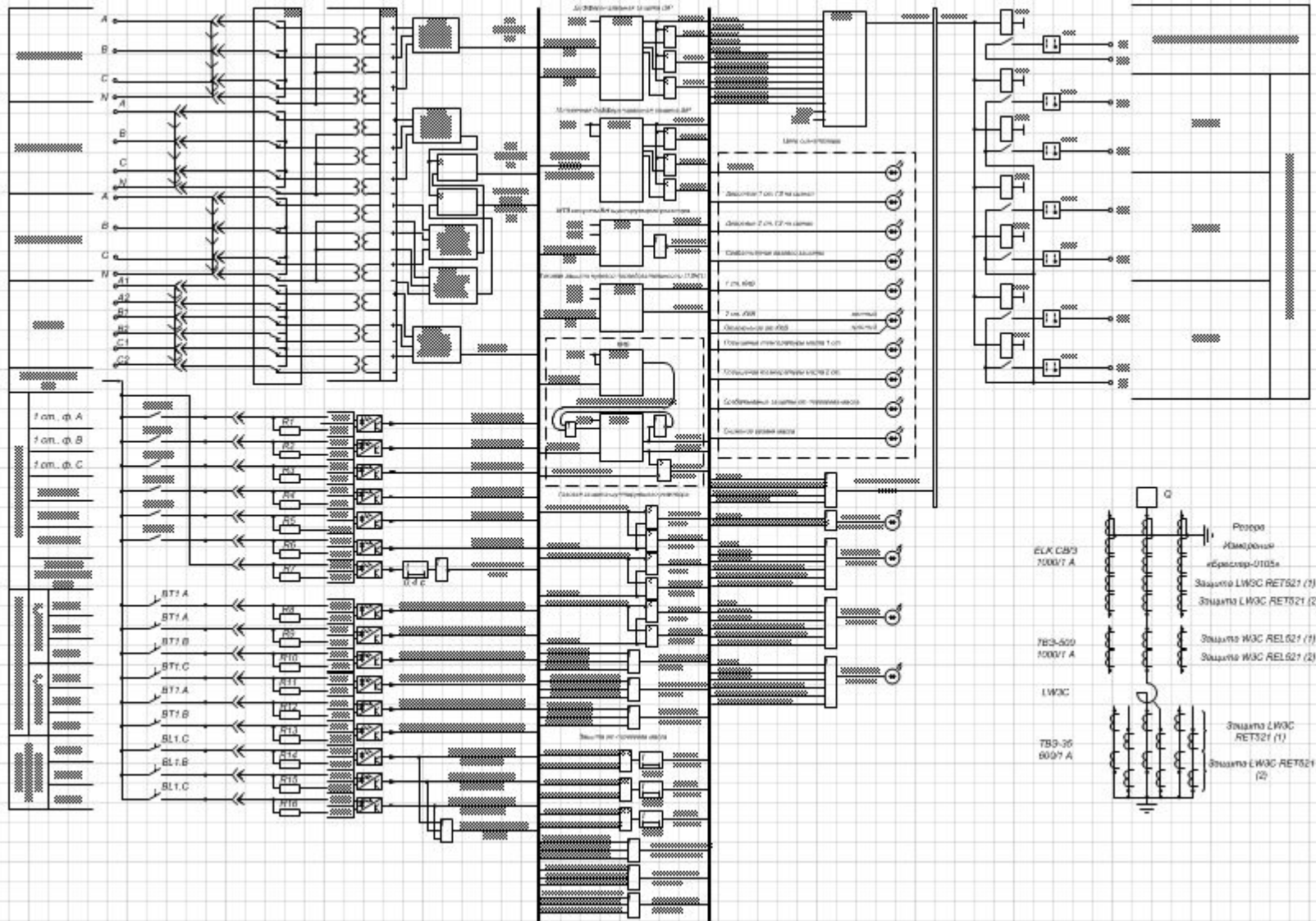




1. Поясняющая схема;
2. Измерительные цепи (цепи тока и напряжения);
3. Цепи привода выключателя;
4. Цепи оперативного тока (включая питание терминала);
5. Цепи сигнализации;



# Еще один пример: цифровая защита шунтирующего реактора



## Условные буквенно-цифровые обозначения в схемах РЗиА

AV	Устройство регулирования напряжения
AC	Устройство АВР
AK	Устройство (комплект) реле токовых защит
AKB	Устройство блокировки типа КРБ
AKS	Устройство АПВ
AKV	Устройство комплектное продольной дифзащиты ЛЭП
AKZ	Устройство комплектное реле сопротивления
AR	Устройство комплектное реле УРОВ
C	Конденсатор
EA1	Шинка вспомогательная (711)
EA2	Шинка вспомогательная (713)
EАН	Шинка вспомогательная сборительная
EAA	Шинка вспомогательная напряжения (A790)
EAC	Шинка вспомогательная напряжения (C790)
EB	Шинка блокировки
+EC	Шинка управления «+»
-EC	Шинка управления «-»
ECS1	Шинка синхронизации (721)
ECS2	Шинка синхронизации (722)
ECS3	Шинка синхронизации (723)
ECS4	Шинка синхронизации (724)
+EN	Шинка сигнализации «+»
- EN	Шинка сигнализации «—»
EHA	Шинка сигнализации аварийной
ENP	Шинка сигнализации предупредительной
ENT	Шинка сигнализации технологической

(+)EP	Шинка мигания
EPD	Шинка съема мигания
ESI.A	Шинка напряжения синхронизации (A610)
ES1.C	Шинка напряжения синхронизации (B610)
ES2.A	Шинка напряжения синхронизации (A620)
ES2.C	Шинка напряжения синхронизации (C620)
ESD	Шинка напряжения синхронизации (A780)
EV1A	Шинка напряжения (IT с обмотками, соединенными в звезду)
EVI.B	Шинка напряжения (IT с обмотками, соединенными в звезду, B600)
EV1.C	Шинка напряжения (IT с обмотками, соединенными в звезду, C600)
EV1.N	Шинка напряжения нейтрали (IT с обмотками, соединенными в звезду, C600)
EVLH	Шинка напряжения нейтрали (IT с обмотками, соединенными в разомкнутый треугольник, H600)
EV1.U	Шинка напряжения нейтрали (IT с обмотками, соединенными в разомкнутый треугольник, I606)
EV1.K	Шинка напряжения (IT с обмотками, соединенными в разомкнутый треугольник)
EVL.F	Шинка напряжения (IT с обмотками, соединенными в разомкнутый треугольник)
EVM.1	Шинка защиты минимального напряжения (011)
EVM.2	Шинка защиты минимального напряжения (013)
EY	Шинка питания приводов выключателей
HL	Прибор световой сигнализации
HLA	Световое табло
HLG	Лампа с линзой зеленой
HLR	Лампа с линзой красной
HLW	Лампа с линзой белой
HV	Ионный полупроводниковый сигнализатор

FU	Плавкий предохранитель
FV	Разрядник
K	Реле
KA	Реле тока
KAT	Реле тока с насыщающимся трансформатором
KAW	Реле тока с торможением
KAZ	Реле тока фильтровое
KB	Реле блокировки
KH	Реле указательное
KHA	Реле импульсной сигнализации
KL	Реле промежуточное, исполнительный орган
KM	Контактор, пускатель
KQC	Реле положения «Включено»
KQT	Реле положения «Отключено»
KSG	Реле газовое
KSV	Реле контроля цепей напряжения
KT	Реле времени
KV	Реле напряжения
KW	Реле мощности
KZ	Реле сопротивления
L	Реактор, дроссель, дугогасящая катушка
M	Двигатель
PA	Амперметр
PC	Счетчик импульсов
PF	Частотомер
PHE	Указатель положения
PO	Осциллограф

PQ	Указатель РПН
PS	Синхроскоп
PT	Секундомер, часы
PTY	Секундомер электрический (с электромагнитным приводом)
PTY	Секундомер электронный
PV	Вольтметр
PW	Ваттметр
R	Резистор
RP	Потенциометр
RR	Реостат
Q	Рубильник, выключатель силовых цепей
S	Рубильник, выключатель вспомогательных цепей, коммутационное устройство
SA	Переключатель, ключ вторичных цепей
SAB	Переключатель, ключ в цепях блокировки
SB	Кнопка
SF	Автоматический выключатель
SX	Накладка оперативная
T	Трансформатор
TA	Трансформатор тока
TAN	Трансформатор тока нулевой последовательности
TAV	Трансреактор
TL	Трансформатор промежуточный, нагрузочный, безопасности :
TUV	Трансформатор регулировочный
TV	Трансформатор напряжения
UV	Фазорегулятор, преобразователь напряжения
UVM	Фазорегулятор моторный

V	Электронный прибор
VC	Выпрямитель
VD	Диод, стабилитрон
VL	Электровакуумный прибор
VS	Тиристор
VT	Транзистор
X	Устройство соединительное
XA	Испытательный блок
XG	Испытательный зажим
XN	Соединение неразборное
XP	Соединение контактное, штырь
-KS	Соединение контактное, гнездо
SG	Блок испытательный
SQ	Путевой выключатель конечный
XT	Соединение разборное
XW	Соединение ВЧ
YAC	Электромагнит включения
YAT	Электромагнит отключения

**Латинские и старые русские обозначения элементов первичных и вторичных схем**

Наименование оборудования, аппаратуры	Латинское обозначение	Русское обозначение
Трансформатор, автотрансформатор	<i>T</i>	Т, АТ
Линия электропередачи	<i>W</i>	ВЛ
Двигатель	<i>M</i>	Д
Выключатель	<i>Q</i>	В
Магнитный пускатель, контактор	<i>QYA</i>	ПМ
Разъединитель заземляющий (стационарный)	<i>QSG</i>	ЗН
Разрядник	<i>FV</i>	Разр., Р
Трансформатор напряжения	<i>TU</i>	ТН
Трансформатор отбора напряжения	<i>TL V</i>	ТОН
Электромагнит включения (в приводе масляного выключателя)	<i>YMC</i>	ЭВ
Контактор включения (электромагнит включения в приводе воздушного выключателя)	<i>YAC</i>	КП, ЭВ
Электромагнит отключения	<i>YAT</i>	ЭО, КО
Автоматический электродвигательный редуктор	<i>ABM</i>	АМР, АДР
Рубильник	<i>S</i>	Руб., Р
Рубильник заземляющий	<i>SG</i>	ЗР
Ключ управления	<i>SA</i>	КУ
Кнопка управления	<i>SB</i>	КН
Накладка оперативная, отключающее устройство	<i>SX</i>	Н, ОУ
Вспомогательный контакт; выключатель, срабатывающий при достижении заданного положения (концевой, путевой)	<i>SQ</i>	БК, ВК
Вспомогательный контакт в цепи электромагнита включения	<i>SQC</i>	БКВ
Вспомогательный контакт в цепи электромагнита отключения	<i>SQT</i>	БКО
Вспомогательный контакт готовности пружин, управляемый электродвигателем завода пружин АВМ	<i>SQY</i>	КГП

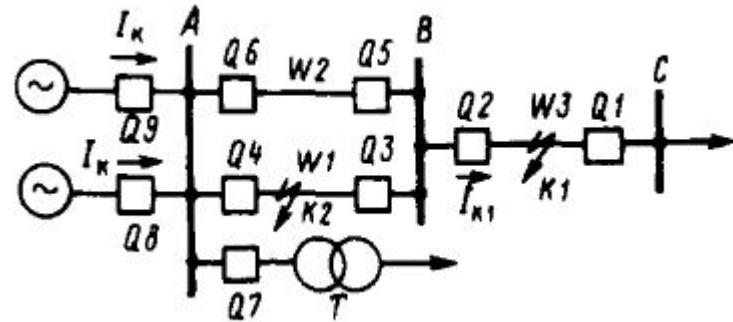


Вспомогательный контакт, фиксирующий аварийное отключение выключателя замыкается при любом включении выключателя, а размыкается только от ключа управления или ТУ)	SQA	БКА
Вспомогательный контакт, замыкающийся при отключении выключателя	SQK	БКД
Вспомогательный контакт, замыкающийся при включении выключателя; осуществляет пуск двигателя АВМ	SQM	БК
Блок питания	UG	БП
Устройство зарядное	AU	УЗ
Блок конденсаторный зарядный	CG	БК
Выпрямительный мост	VS	В
Плавкий предохранитель	F	ПП
Реле промежуточное	KL	РП
Реле времени	KT	РВ
Реле фиксации положения выключателя	KQ	РФ
Реле указательное	KH	РУ
Реле команды ВКЛЮЧИТЬ	KCC	РКВ
Реле команды ОТКЛЮЧИТЬ	KCT	РКО
Реле положения ВКЛЮЧЕНО	KQC	РПВ
Реле положения ОТКЛЮЧЕНО	KQT	РПО
Реле контроля напряжения на шинах	KVA	РНШ
Реле контроля синхронизма	KSS	РКС
Реле контроля напряжения на линии	KVW	РНЛ
Электротепловое реле (термореле)	KST	РТ°
Контактный манометр	BP	КМ
Счетчик	PC	Сч
Диод	VD	Д
Устройство АПВ	AKS	АПВ
Вольтметр	PV	V
Амперметр, миллиамперметр	PA, PmA	A, mA
Секундомер	PT	С

## ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К УСТРОЙСТВАМ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

Защита от повреждений должна удовлетворять четырем основным требованиям:

- действовать селективно,
- быстро,
- обладать необходимой чувствительностью к повреждениям
- надежно выполнять свои функции.



**Селективность.** Селективностью, или избирательностью, РЗ называется ее способность отключать только поврежденный участок сети. Так, при КЗ в точке  $K1$  РЗ должна отключать поврежденную ЛЭП выключателем Q2, ближайшим к месту повреждения. При таком действии РЗ электроснабжение всех потребителей, кроме питавшихся от поврежденной ЛЭП, сохраняется. В случае КЗ в точке  $K2$  при селективном действии РЗ должна отключаться поврежденная ЛЭП W1, а ЛЭП W2 - оставаться в работе

**Быстрота действия.** Отключение КЗ должно производиться с возможно большей быстротой для ограничения размеров разрушения в месте повреждения, обеспечения термической стойкости оборудования, кабельных и воздушных ЛЭП, повышения эффективности АПВ ЛЭП и сборных шин, уменьшения влияния снижения напряжения на работу потребителей и сохранения устойчивости параллельной работы генераторов электростанций.

Для сохранения устойчивости энергосистем требуется весьма малое время отключения КЗ. На ЛЭП 750-1150 кВ междуфазные КЗ необходимо отключать через 0,06-0,08 с после их возникновения, на ЛЭП 330-500 кВ - за 0,1-0,12 с, на ЛЭП 110-220 кВ-за 0,15-0,3 с.

В качестве приближенного критерия необходимости применения быстродействующих РЗ **Правила устройства электроустановок (ПУЭ)** рекомендуют определять остаточное напряжение на шинах ЭС и узловых ПС при трехфазных КЗ в конце защищаемого участка. Если остаточное напряжение получается ниже 60% номинального, то для сохранения устойчивости следует обеспечить быстрое отключение повреждений, т. е. применять быстродействующую РЗ.

Приведенное выше полное время отключения КЗ складывается из времени действия РЗ и выключателя, разрывающего ток КЗ.

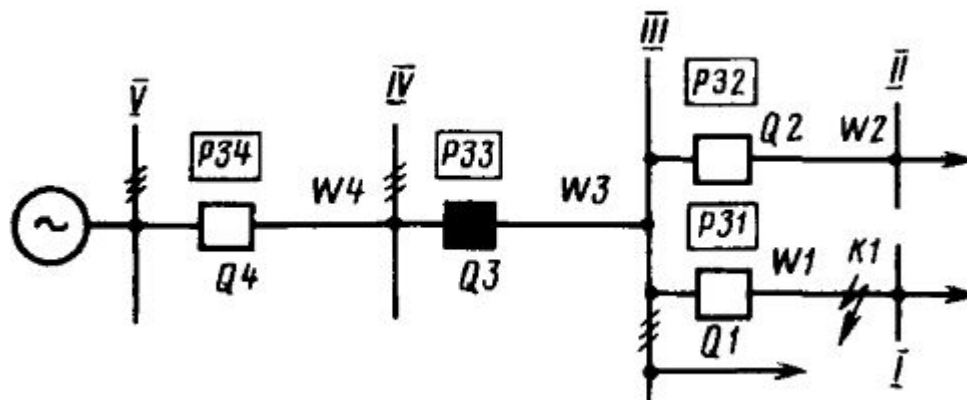
Для уменьшения времени отключения КЗ необходимо ускорять действие как РЗ, так и выключателей. Выключатели 220-750 кВ действуют за **0,04-0,06 с**. Наиболее быстродействующие РЗ, применяемые в отечественных энергосистемах, действуют за **0,02 - 0,04 с**.

В распределительных сетях 6-35 кВ, удаленных от основных ЭС, допускается отключение КЗ с временем **1,5-3 с**. Однако и в этих сетях следует стремиться к уменьшению времени действия РЗ.

Селективные быстродействующие РЗ сложны и дороги. В целях упрощения допускают применение простых быстродействующих РЗ, не обеспечивая необходимой селективности. При этом для исправления неселективности используют АПВ, быстро включающее обратно неселективно отключившийся участок, если КЗ произошло за его пределами.

**Чувствительность.** РЗ должна обладать достаточной чувствительностью при возникновении КЗ в пределах зоны ее действия. Так, например, РЗ4 должна отключать повреждения на участке V-IV (первом - основном), защищаемом РЗ4, и, кроме того, иметь достаточную чувствительность для действия при КЗ на следующем (втором - резервируемом) участке IV-III, защищаемом РЗ3. Последняя функция РЗ4 называется дальним резервированием. Такое резервирование необходимо для отключения КЗ в том случае, если РЗ второго участка (РЗ3) или выключатель Q3 не подействуют из-за неисправности. Таким образом, РЗ, предназначенные для дальнего резервирования, должны быть чувствительны и к КЗ в конце следующего участка (IV-III).

Чувствительность РЗ должна быть достаточной во всех, в том числе и в минимальных, режимах ЭЭС.



**Надежность.** Требование надежности состоит в том, что РЗ должна безотказно работать при повреждении в пределах установленной для нее зоны и не должна работать неправильно, когда работа ее не предусматривается. Отказ в работе или неправильное действие РЗ приводят к дополнительному нарушению электропитания потребителей, а иногда к авариям системного значения.