

А.И. НАЗАРОВ

ХТК

**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ  
АППАРАТЫ И  
ОБОРУДОВАНИЕ  
НАПРЯЖЕНИЕМ  
ВЫШЕ 1000 В**

*Учебное пособие*



А.И.Назаров

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ  
АППАРАТЫ И  
ОБОРУДОВАНИЕ  
НАПРЯЖЕНИЕМ ВЫШЕ  
1000 В

\* \* \*

Учебное пособие

Кировск  
2014

**Рецензенты:**

**А.Л. Грабчак**, начальник цеха электроснабжения ОАО “АПАТИТ”  
**Ю.В. Яблочкин**, главный электрик ОАО “АПАТИТ”

**А.И.Назаров.**

**Электрические аппараты и оборудование напряжением выше 1000 В:**  
учебное пособие. – Кировск: ХТК, 2014. – 57 с.

Настоящее пособие предназначено для студентов, изучающих электрическое оборудование и системы электроснабжения предприятий, установок и гражданских зданий. Содержит сведения по устройству, назначению, принципу действия и выбору электрических аппаратов и оборудования напряжением выше 1000 В, а также об устройствах и системах релейной защиты и автоматики, применяемых в промышленности.

## РАЗДЕЛ 1 АППАРАТУРА ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Изоляторы .....	4
Шины .....	5
Предохранители .....	6
Разъединители .....	7
Выключатели нагрузки .....	8
Короткозамыкатели и отделители .....	9
Силовые выключатели .....	10
Масляные выключатели .....	10
Воздушные выключатели .....	14
Элегазовые и вакуумные выключатели.....	15
Электромагнитные выключатели .....	18
Вакуумные выключатели .....	19
Приводы выключателей.....	21
Современные выключатели и КРУ .....	22
Элегазовые выключатели и КРУ напряжением 35 кВ ..	25
Вакуумные выключатели напряжением выше 10 кВ.....	27
Вакуумные аппараты для частой коммутации.....	28
Вакуумные и элегазовые КРУ напряжением 35 кВ.....	28
Особенности эксплуатации вакуумных и элегазовых аппаратов.....	29
Разрядники и ограничители перенапряжений .....	31
Измерительные трансформаторы и датчики тока и напряжения.....	31
Контрольные вопросы.....	33

## РАЗДЕЛ 2 РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА

Общие понятия и определения.....	35
Реле РТ-40.....	36
Реле РТ-80.....	37
Реле напряжения.....	37
Вспомогательные реле.....	38
Виды защиты электрических сетей и установок.....	38
Выбор уставок срабатывания МТЗ.....	40
Современные системы защиты.....	45
Газовая защита.....	46
Защита отдельных линий, установок и машин.....	47
Автоматика в системах электроснабжения.....	49
Автоматическое повторное включение.....	51
Автоматическое включение резервного питания.....	52
АРТ и АЧР.....	53
Контрольные вопросы.....	54
Литература.....	56

## Пояснительная записка.

Изучение элементов аппаратуры и аппаратов высокого напряжения является важнейшей частью изучения электрооборудования станций и подстанций. В настоящей работе рассматриваются устройство и принцип действия основных типов высоковольтной аппаратуры, условия их выбора и грамотной эксплуатации. Приводятся описания традиционных и новейших типов оборудования отечественного и зарубежного производства.

### Раздел 1. АППАРАТУРА ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Для передачи большой мощности на расстояние применяется напряжение выше 1000 В, которое называют высоким напряжением, куда относят величины напряжения 6, 10, 35, 110, 150, 220 кВ и выше. Аппаратура высокого напряжения имеет увеличенные габариты, массу, большую стоимость, поэтому требует применения современных материалов и качественного технического обслуживания, и предусматривает высокую квалификацию обслуживающего персонала.

В данном разделе рассматриваются элементы, аппараты и устройства для электроустановок высокого напряжения.

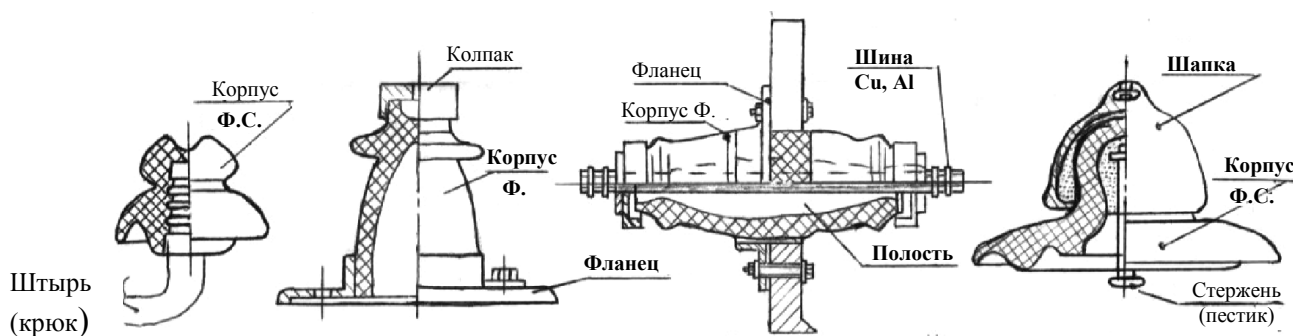
#### *Элементы аппаратуры напряжением выше 1000 В*

К элементам и аппаратам напряжением свыше 1000 В относят: изоляторы, шины, предохранители, разъединители, выключатели нагрузки, короткозамкатели, отделители, силовые выключатели, разрядники, реакторы, измерительные трансформаторы.

**1 ИЗОЛЯТОРЫ** – предназначены для изоляции токоведущих частей от нетокведущих (корпуса, массы, земли) и для крепления проводников (шин, токопроводов, проводов).

Изоляторы бывают: опорные, проходные и подвесные; для внутренней и наружной установки; стационарные, аппаратные (в аппаратах) и линейные (на линиях). Материалы для изготовления изоляторов: - фарфор, стекло, пластмассы.

Изоляторы применяются при любом напряжении. Если внутренняя полость изолятора заполнена маслом, или элегазом, то его называют маслonaполненным или газонаполненным вводом, такие вводы применяют на оборудовании при напряжении выше 35 кВ.



**Рисунок 1 – Устройство штыревого, опорного, проходного и подвесного изоляторов**

Маркировка изоляторов:

#### **1.1. Опорные**, предназначены для крепления и изоляции токоведущих частей РУ

- |                |                |
|----------------|----------------|
| О – опорный    | К – колонковый |
| Н – наружный   | Р – ребристый  |
| С – стержневой | Ш – штыревой   |

У – усиленный

ШФ – штыревой фарфоровый

ШС – штыревой стеклянный

**1.2. Проходные** ИП (У) – изолятор проходной (усиленный)

**1.3. Подвесные** ПС (Ф) – подвесной стеклянный (фарфоровый), для воздушных ЛЭП, ПСРГ – ребристый для загрязненных районов.

**1.4. Штыревые** - для воздушных ЛЭП: ШФ, ШС, ШФГ и др.

**Пример:** КИОСУ – 110 – 2000 – изолятор опорно-колонковый, стержневой, усиленный, на напряжение 110 кВ, предел прочности на изгиб  $F_{доп.} = 2000$  кг (20 кН).

ОНШ – 35 – изолятор опорный, штыревой, наружный, на напряжение 35 кВ.

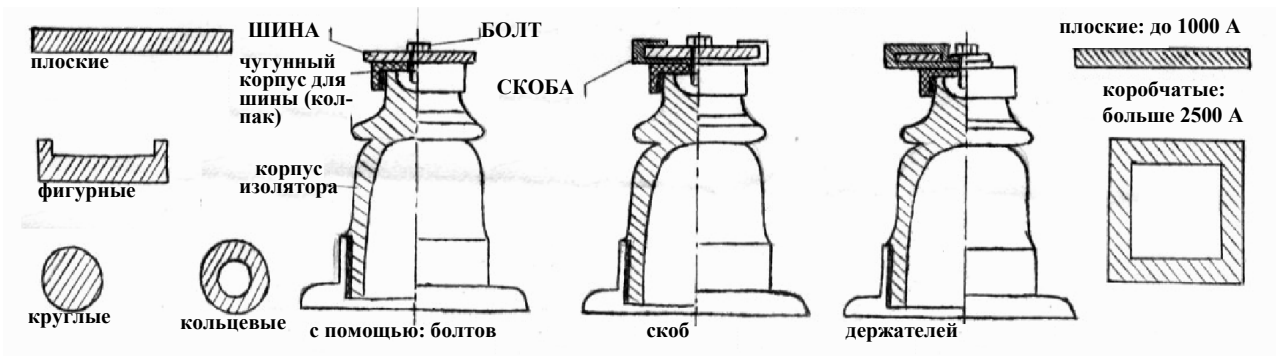
На воздушных линиях применяются штыревые изоляторы (до 35 кВ) и подвесные - от 6 кВ и выше. При напряжении выше 10 кВ подвесные изоляторы собирают в гирлянды: 35 кВ - 3-4 шт.; 110 кВ - 7-8 шт.; 220 кВ - 12-14 шт.; 6-10 кВ – 1 шт.

Выбор изоляторов производится:

– по назначению;

– по номинальному напряжению;

– по механической нагрузке при токе КЗ, при этом:  $F_{\max КЗ} \leq 0.6 F_{доп.}$  (Н).



**Рисунок 2 - Формы сечения и способы крепления шин.**

**2 ШИНЫ.** Шины предназначены для проведения тока и изготавливаются из алюминия, меди, стали. В распределительных устройствах шины крепятся к изоляторам с помощью болтов, скоб и держателей. Чаще всего шины изготавливаются из алюминия. В открытых распределительных устройствах, а иногда и в закрытых распределительных устройствах подстанций применяются **гибкие** шины, конструктивно схожие с гибкими проводами. Формы сечения шин: плоские, круглые, кольцевые (трубчатые).

Во время короткого замыкания жесткие шины и изоляторы испытывают большие динамические нагрузки. Наиболее распространенными при токах до 1000 А являются алюминиевые плоские шины. Они крепятся, как правило, плашмя. Шины коробчатого сечения применяются при токах больше 2500 А. Допустимая температура шин при нормальной работе не более  $70^{\circ}$  С при температуре воздуха  $25^{\circ}$  С. Предельная температура шин: медных -  $300^{\circ}$  С; алюминиевых -  $200^{\circ}$  С; стальных -  $300^{\circ}$  С.

Для отличия фазировки шины окрашивают и располагают в определенном порядке: ближняя к проходу людей шина окрашивается в красный цвет.

Цвета окраски шин для переменного тока:

Фаза	А	обозначение.	$L_1$	желтый	– дальняя
	В		$L_2$	зеленый	– средняя
	С		$L_3$	красный	– ближняя
	Н		О	голубой или полосатый	ж/з.

для постоянного тока:

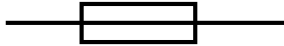
+ красный; – синий; рабочий 0 – голубой.

Выбор шин производится:

- по рабочему току нагрузки, напряжению;
- по электротермической стойкости в режиме КЗ;
- по электродинамической стойкости в режиме КЗ.

### 3 ПРЕДОХРАНИТЕЛИ.

FU



Предохранители предназначены для защиты силовых и измерительных трансформаторов, другого оборудования от коротких замыканий. Следует помнить, что предохранители не могут обеспечивать защиту от перегрузок.

Предохранители бывают кварцевые ПК, газогенерирующие (выхлопные) ПВ, стреляющие ПС, ПСН.

Маркировка предохранителей:

ПК 1,2,3,4 – предохранитель с кварцевым заполнением, цифры – номера серий;

ПКТ – трансформаторный,

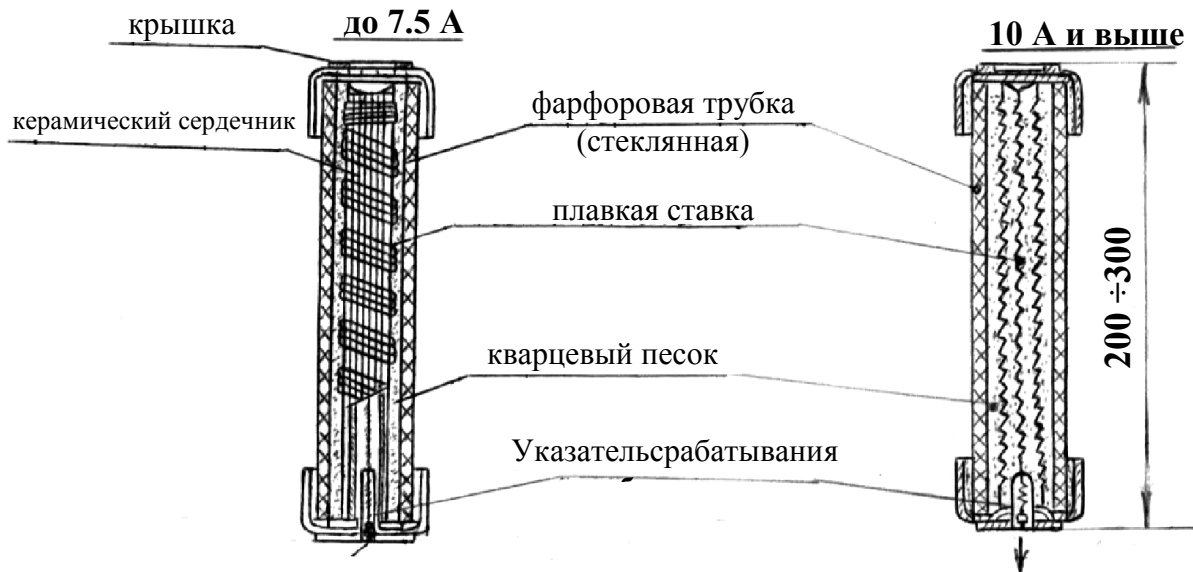
ПКЭ – экскаваторный,

ПКТН – для защиты трансформаторов напряжения,

ПКЭН – для экскаваторных КРУ,

ПК-1-4 – предохранитель с указателем срабатывания,

ПС, ПСН – предохранитель стреляющий наружной установки.



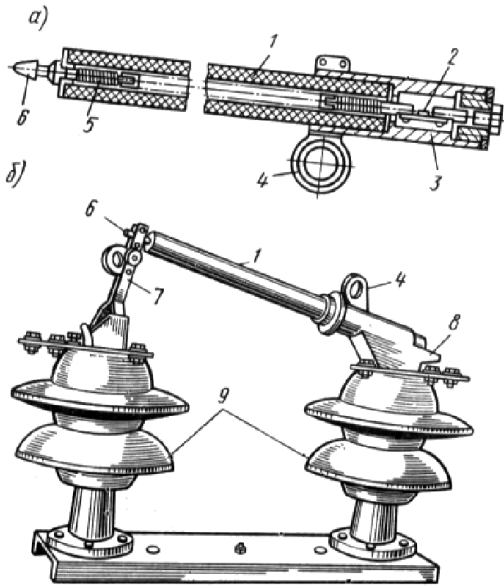
**Рисунок 3 – Устройство предохранителя ПК-2-6-20/7, 5-2-УЗ.**

Предохранители применяются для защиты электроустановок от коротких замыканий при напряжении до 110 кВ. Предохранители бывают кварцевые, выхлопные или стреляющие. Предохранители устанавливаются в КРУ для защиты силовых трансформаторов, трансформаторов напряжения, других приемников ограниченной мощности. Часто предохранители используются совместно с разъединителями или выключателями нагрузки. Патрон изготавливается из стекла, фарфора или из другого материала. Типы маркируются буквами и цифрами: П – предохранитель, К – кварцевое заполнение, Т – для трансформаторов, ТН – для трансформаторов напряжения, Э – экскаваторный.

**Пример:** ПК-4-10-160/120-20 У1 – предохранитель кварцевый, 4 серии на 10 кВ, номинальный ток предохранителя – 150 А, номинальный ток плавкой вставки – 120 А, максимальный ток отключения – 20 кА, для умеренного климата, категория размещения – на улице.

Предохранители типа ПК применяются при напряжении до 10 кВ;  
 ПКТН – до 35 кВ; ПС, ПСН – до 110 кВ при наружной установке.

**Пример:** ПСН-110-50/50-2,5 У1 – предохранитель стреляющий, наружной установки, на 110 кВ, номинальный ток предохранителя  $I_{ном.п} = 50$  А; номинальный ток плавкой вставки  $I_{ном.в} = 50$  А



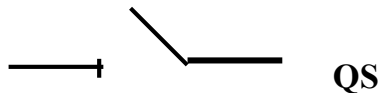
1- трубка из газогенерирующего материала, 2 – плавкая вставка, 3 – металлический колпак, 4 – скоба, 5 – проводник, 6 – наконечник, 7 – рычаг, 8 – держатель, 9 – изоляторы.

**Рисунок 4 - Предохранитель стреляющий ПСН – 35 и изолятор силиконовый на 110 кВ**

максимальный ток отключения  $I_{макс} = 25$  кА; масса 800 кг, габариты: длина – 1480 мм; ширина – 2130 мм.

Выбор предохранителей производится:

- по назначению;
- по рабочему напряжению;
- по току плавкой вставки;
- по току отключения предохранителя.



#### 4 РАЗЪЕДИНИТЕЛИ.

Высоковольтные разъединители предназначены для включения и отключения электроустановок (только без нагрузки!) и обеспечения видимого разрыва цепи. Разъединители применяются при любом напряжении внутри электроустановок, в КРУ и в открытых распределительных устройствах наружных установок. Разъединителями разрешается отключать ток 30 А при напряжении до 10 кВ, а также ток 5А до 35 кВ при замыкании на землю.

Разъединители выпускаются на номинальный ток до 5000 А. Разъединители бывают одно-, двух-, трехполюсные; с заземляющими ножами и без них.

По способу действия различаются: вертикально-рубящего типа, поворотного, штепсельного (втычного) типа, поступательного действия.

Маркировка разъединителей:

РВ(З) – вертикально-рубящего типа внутренней установки (с заземляющими ножами) – до 35 кВ.

РВП(З) – с поступательным движением внутренней установки.

РВФ(З) – с проходными изоляторами (для перехода в другое помещение)

РЛНД – линейный, наружной установки, двухколонковый поворотного типа (в горизонтальной плоскости) – до 500 кВ.

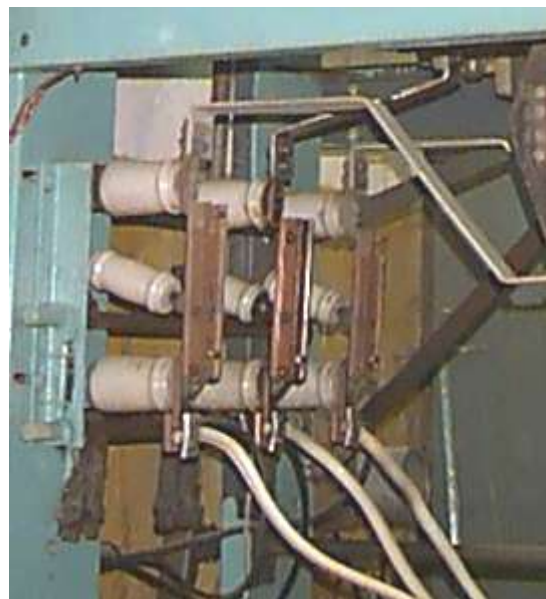
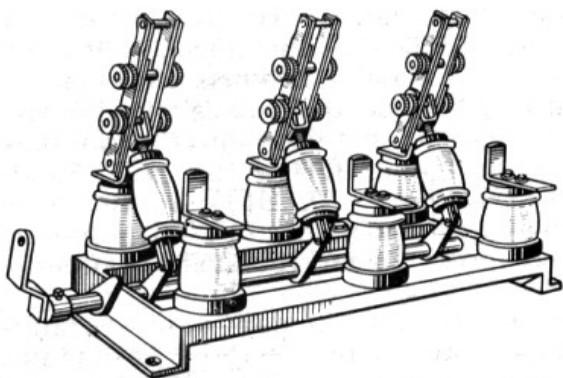
РПД – подвесной до 500 – 700 кВ.

РНВ(З) – наружной установки с вертикальным движением ножей.

**Пример:** РНД - 500/1000-УІ – разъединитель наружной установки, двухколонковый,  $U_{ном}=500$  кВ,  $I_{ном} = 1000$  А, масса 6-7 т., габариты: высота – 6,4 м, ширина – 6 м.

В обозначениях разъединителей также применяются следующие буквы:

О – однополюсный, У – усиленная изоляция, Б – с механической блокировкой ножей, П – с рычажной передачей.



**Рисунок 5 – Разъединитель трехполюсный вертикально-рубящего типа внутренней установки РВФ 10/630**

Выбор разъединителей производится:

- по напряжению
- по номинальному рабочему току
- по току термической стойкости в режиме КЗ

**Приводы разъединителей.** Для включения разъединителей применяются различные приводы, позволяющие производить коммутацию на определенном расстоянии.

- рычажный ПР-3; ПР-10; ПР-11 – применяются для разъединителей типа РВ, РВО, РЛВО, РВФ(З)

- двигательный (моторный) ПД-12

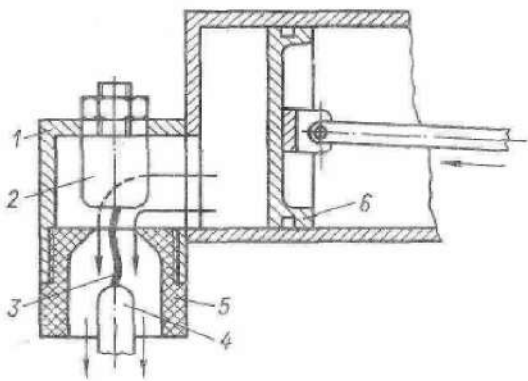
- рычажный для наружной установки – ПРН-1; ПРН-3.



### 3. ВЫКЛЮЧАТЕЛИ НАГРУЗКИ.

Выключатели нагрузки предназначены для отключения электроустановок напряжением до 10 кВ под нагрузкой (но не при КЗ!) и для обеспечения видимого разрыва цепи. По конструкции похожи на разъединители, но с дугогасительными камерами, содержащими вкладыши из органического стекла.

Номинальный ток выключателя нагрузки – 400; 630 А.



Типы: ВНП-16, 17 – выключатель нагрузки с предохранителями. Гашение электрической дуги происходит за счет выделения газа при разложении вкладышей из органического стекла при действии электрической дуги.

Эти выключатели также называют автогазовыми. В некоторых выключателях применяют катушки магнитного дутья или дутье воздуха. Замена вкладышей производится через 150-200 отключений при токе 100 А, однако при токе 400 А – после 3-4 отключений.

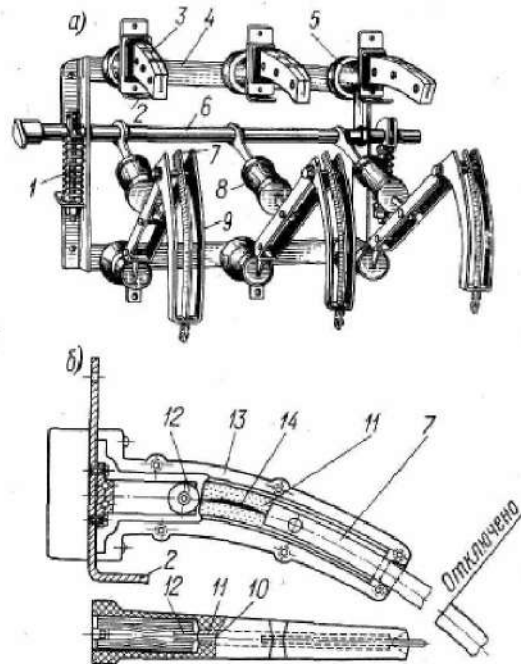
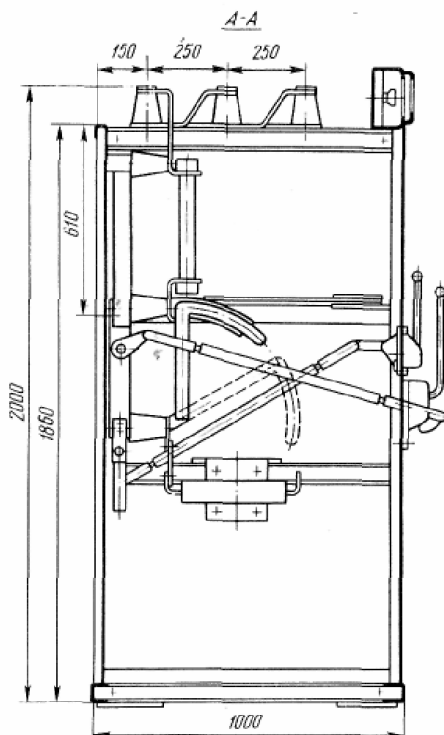
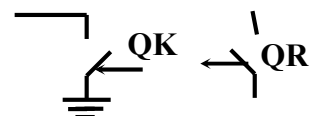


Рисунок 6 – Общий вид КРУ с выключателем нагрузки ВНП и конструкция автогазового выключателя нагрузки ВН – 10.

Привод выключателей – ручной, рычажный типа ПР; ПРА-17; (А – для дистанционного управления) ПЭ -11 – электромагнитный. В настоящее время находят применение вакуумные и элегазовые выключатели нагрузки отечественного и зарубежного производства, однако они не обеспечивают видимый разрыв цепи при отключении, поэтому при их использовании необходимо применение разъединителей.

#### 4. КОРОТКОЗАМЫКАТЕЛИ И ОТДЕЛИТЕЛИ.



**Короткозамыкатели** предназначены для создания искусственного замыкания на землю в сетях напряжением 35-220 кВ при повреждениях на трансформаторных подстанциях, не имеющих силовых выключателей. При создании КЗ на землю срабатывает защита на пи-

тающей подстанции (РПС) и питающая линия отключается. Короткозамыкатели имеют дистанционного управления с помощью электромагнитного или моторного привода.

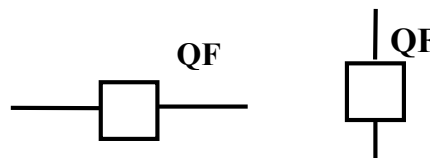
**Пример:** КЗ-110-12, 5 -У1- напряжение 110 кВ, 12,5 кА – максимальный ток аппарата.

**Отделители** предназначены для автоматического отключения питающей линии в период бестоковой паузы (после срабатывания короткозамыкателя и защиты на РПС). После отключения отделителя питающая линия снова может включиться, но напряжение на ГПП поступать не будет, т.к. отделитель отключен.

Конструктивно отделитель похож на разъединитель с автоматическим приводом. Отделители применяются при напряжении 35-220 кВ.

**Пример:** ОД-110-У-1000-У1. Отделитель двухколонковый (поворотный в горизонтальной плоскости), на 110 кВ,  $I_{ном} = 1000$  А, для умеренного климата, размещение – на улице. Габариты: высота – 210-250 мм, ширина – 1535 мм на один полюс, масса без привода – 780 кг.

## 5. СИЛОВЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ.



Силовые выключатели применяются при любом напряжении для коммутации электрических цепей в любых режимах, в т.ч. при КЗ. Основные параметры:  $U_{ном}$ ,  $I_{ном}$ ,  $I_{макс}$ . (ток отключения при КЗ),  $S_{макс}$  – мощность отключения при КЗ,  $t_{св}$  – время собственное отключения

Силовые выключатели разделяются:

- по роду установки: внутренней и наружной,
- по роду дугогасящей среды: масляные, воздушные, электромагнитные, элегазовые и вакуумные.
- по количеству и объему масла масляные делятся на многообъемные и малообъемные выключатели.

**5.1. Масляные выключатели многообъемные (баковые)** с большим объемом масла применяются при напряжении до 220 кВ, имеют большое время отключения – до 0,15 с, пожароопасные, т.к. содержат много масла. Кроме этого масло из выключателей необходимо менять после каждого отключения тока КЗ. При напряжении 6-10 кВ все три полюса выключателя помещаются в общий бак. При напряжении свыше 10 кВ выключатели имеют отдельные баки на каждую фазу. В настоящее время большинство масляных выключателей заменяются на более современные, не содержащие масла.

Типы выключателей:

ВМЭ-6-200-1, 25 У2 – экскаваторный баковый

ВМБ-10-200-1.25 – баковый

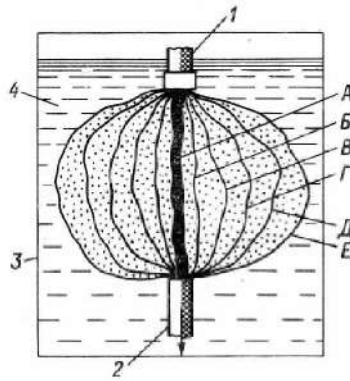
С-35М-630-Ю У1 – баковый серии «С»

МКП-110-1000-20 У1 – камерный подстанционный У-220-2000-40 У1 – серия «Урал» на 20 кВ;  $I_{ном}=2000$  А;  $I_{откл} = 40$  кА для наружной установки, умеренного климата.

} сняты с производства

В выключателях применяется специальное трансформаторное масло, имеющее высокую электрическую прочность, высокую антиокислительную стабильность, низкую температуру застывания, в масле не допускается наличие механических примесей и воды. Марки масел: ТК, ТКп, АТМ-65 (арктическое с  $t$  застывания - минус 65 С), (К — кислотной очистки, П — с присадкой ионол).

Гашение дуги в масле широко применялся и продолжает применяться в масляных выключателях переменного тока на высокое напряжение. Контакты выключателя погружаются в масло. Возникающая при разрыве дуги высокая температура ( $5000-6000$  °С) приводит к очень интенсивному испарению окружающего ее масла с диссоциацией его паров вдоль дуги. Вокруг дуги образуется газовая оболочка -



*1-неподвижный контакт, 2-подвижный, 3-стенка полюса (бака), 4-масло, А-дуга, Б-водородная оболочка, В-зона распада, Г-зона газа, Д-зона пара, Е-зона испарения*

### **Рисунок 7 - Гашение дуги в масле при размыкании контактов.**

газовый пузырь, состоящий в основном из водорода (70 — 80% газов пузыря) и паров масла. При этом водород, обладающий наивысшими среди всех газов дугогасящими свойствами, наиболее тесно соприкасаются со стволom дуги. Выделяемые с большой скоростью газы проникают непосредственно в зону ствола дуги, вызывают перемешивание холодного и горячего газа в пузыре, создают интенсивное охлаждение и деионизацию дугового промежутка, особенно в момент прохождения тока через естественный нуль.

Быстрое (взрывное) разложение масла приводит к повышению давления внутри пузыря, что также способствует гашению дуги. В обычных инструкциях масляных выключателей давление в газовом пузыре повышается до 0,5-1 МПа, а в выключателях с дугогасительными камерами - еще больше.

Следует отметить, что сам процесс разложения масла с образованием газопаровой смеси с отбором от дуги большого количества энергии (30 - 35 %), что также благоприятно влияет на гашение дуги.

Процесс гашения в масле происходит тем интенсивнее, чем ближе соприкасается дуга с маслом и чем быстрее движется масло по отношению к дуге. При простом разрыве дуги в масле дуга окружена пузырем, заполненным парами масла и газа, находящимися в относительно спокойном состоянии. Воздействие самого масла на дугу относительно мало. Воздействие масла на дугу существенно увеличивается, если дуговой разрыв ограничить каким-либо замкнутым изоляционным устройством, так называемым дугогасительным устройством (камерой). В дугогасительных камерах создается более тесное соприкосновение масла с дугой, а также интенсивное обдувание дуги потоками газов, паров масла и самим маслом, в результате чего значительно возрастает продольный градиент напряжения, ускоряется процесс деионизации, сокращается время горения дуги, уменьшается ход контактов по сравнению с простым разрывом в масле.

В случае когда дуга горит в газовом пузыре, объем которого не ограничивается стенками, средняя температура газопаровой смеси находится в пределах 800-1000 К, а в случае горения дуги в узком, ограниченном объеме при больших токах средняя температура газопаровой смеси достигает 2000 - 2500 К, т.е. отвод энергии от дуги здесь значительно больший.

**Дугогасительные устройства** масляных выключателей по принципу действия могут быть разделены на три основные группы:

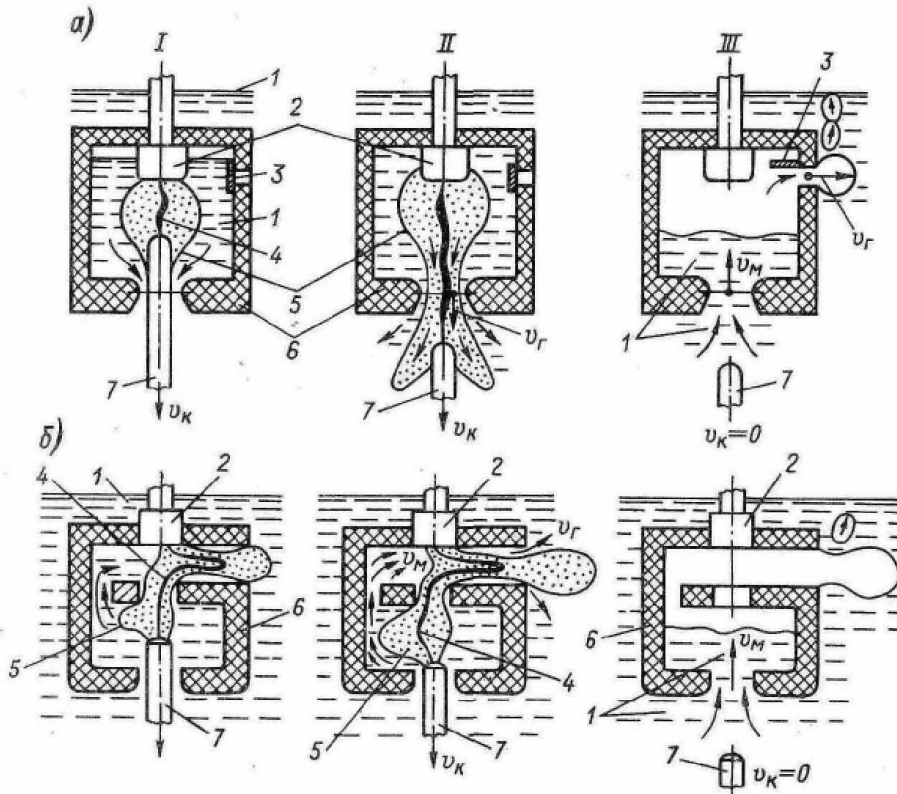
1. *Дугогасительные устройства с автодутьем*, в которых дутье газопаровой смеси и масла в зону гашения дуги создается за счет энергии, выделяющейся в самой дуге.

2. *Дугогасительные устройства с принудительным* (импульсным) масляным дутьем, у которых масло в зону гашения дуги (к месту разрыва) подается с помощью специальных нагнетающих гидравлических механизмов за счет постороннего источника энергии.

3. Дугогасительные устройства с магнитным гашением дуги в масле, у которых столб дуги под влиянием поперечного магнитного поля перемещается в узкие, заполненные маслом каналы и щели, образованные стенками из изоляционного материала.

Наибольшее распространение находят дугогасительные устройства первой группы, так как обеспечивают большую эффективность гашения при сравнительно несложных конструкциях.

Принципиальные схемы работы простейших дугогасительных камер с автодутьем основаны на следующем. Газовый пузырь, образующийся вокруг дуги при размыкании контактов, приводит к существенному повышению давления в ограниченном объеме камеры. Масло и продукты его разложения, стремясь выйти через отверстия в камере, создают интенсивное обдувание дуги потоками газопаровой смеси и масла.



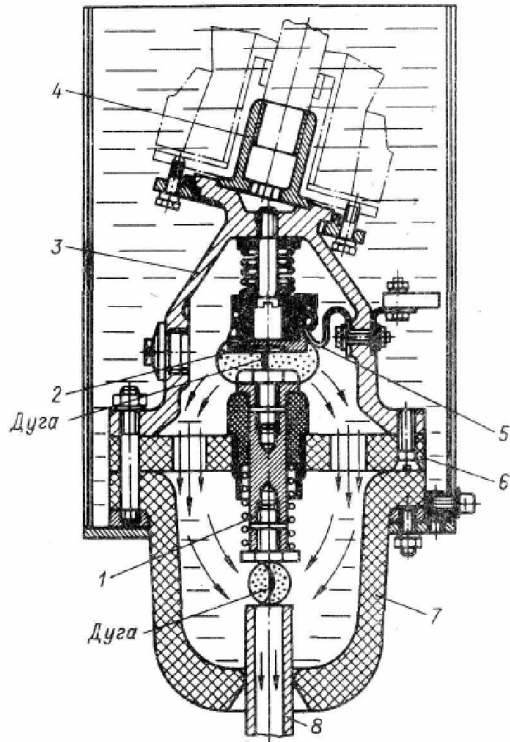
1-масло, 2-неподвижный контакт, 3-клапан, 4-дуга, 5-газовый пузырь, 6-камера, 7-подвижный контакт

**Рисунок 8 – Гашение дуги в масляной среде с продольным (а) и поперечным (б) дутьем**

Масляный баковый выключатель состоит из контактной и дугогасительной систем; расположенных в баке с маслом, и привода, расположенного снаружи бака.

Баки могут выполняться с круговым, эллиптическим или прямоугольным сечением. Первые два обладают более высокой прочностью, но и большим объемом, последний — меньшей прочностью, но и меньшим объемом. В последнее время находит применение так называемая чечевицеобразная форма бака, обладающая повышенной прочностью при небольшом объеме.

Бак заливается до определенного уровня трансформаторным маслом. Между поверхностью масла и крышкой бака должен остаться некоторый свободный объем (обычно 20 — 30% объема бака) — «воздушная буферная подушка», сообщающаяся с окружающим пространством через газоотводную трубку. Воздушная подушка снижает давление, передаваемое на стенки бака при отключении, исключает выброс масла из бака и предохраняет выключатель от взрыва при чрезмерном давлении.



Высота уровня масла над местом разрыва контактов должна быть такой, чтобы исключить выброс горячих газов, выделяющихся при разложении масла, в воздушную подушку при отключении. Прорыв этих газов может при определенных соотношениях привести к образованию взрывчатой смеси (гремучего газа) и взрыву выключателя. Высота уровня масла над местом разрыва контактов определяется номинальным напряжением и отключаемой мощностью. Например, в выключателях 6—10 кВ с отключаемой мощностью 200—400 МВА она составляет 300—600 мм, а в выключателе на 220 кВ, 3500 МВ·А она равна 2300-2500 мм.

Наиболее широко применяются торцовые и розеточные контакты.

При напряжениях 3—6 кВ и малых отключаемых мощностях применяется простой разрыв в масле, при напряжениях до 10 кВ и мощности отключения до 100 МВ·А — простейшие дугогасительные камеры.

Рисунок 9 – Полюс масляного выключателя

На напряжения 35 кВ и выше используются дугогасительные устройства с продольным, поперечным или продольно-поперечным дутьем с многократным разрывом дуги.

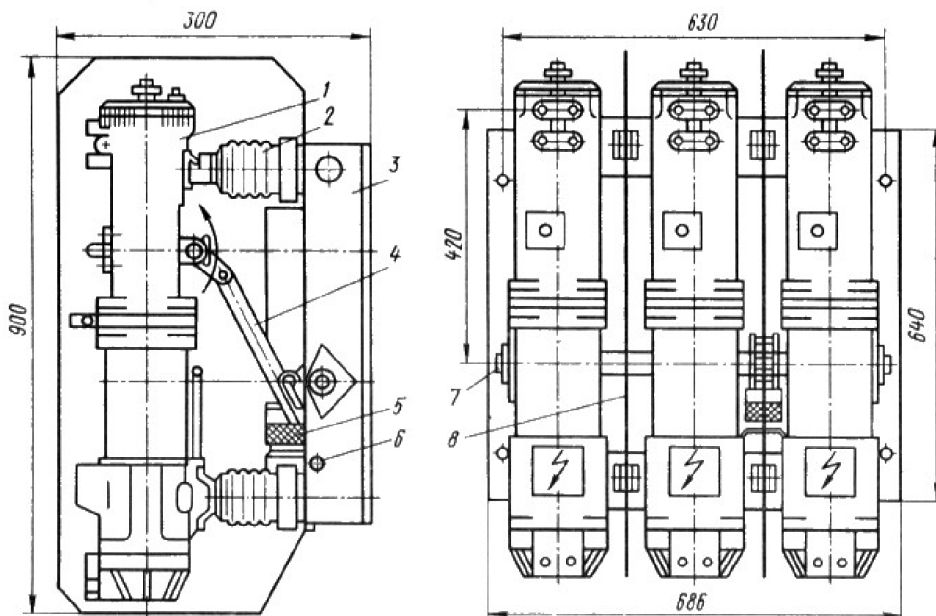


Рисунок 10 – Схема устройства малообъемного масляного выключателя ВМП – 10 (три полюса)

**5.2. Малообъемные масляные выключатели.** У них, в отличие от многообъемных, масло предназначено только для гашения дуги. Дуга гасится потоком масла, или газомасляной смеси, которая образуется в результате разложения масла от действия высокой температуры дуги. Движение потока масла происходит при отключении выключателя за счет поршневого эффекта подвижных элементов.

Достоинством этих выключателей является меньшая пожароопасность, взрывобезопасность, меньшее время срабатывания (меньше 0,1 с), меньшие габариты и масса. Конструктивно выключатель выполнен в виде трех отдельных полюсов, горшков или колонок, связанных общей рамой и общим приводом.

#### Типы выключателей:

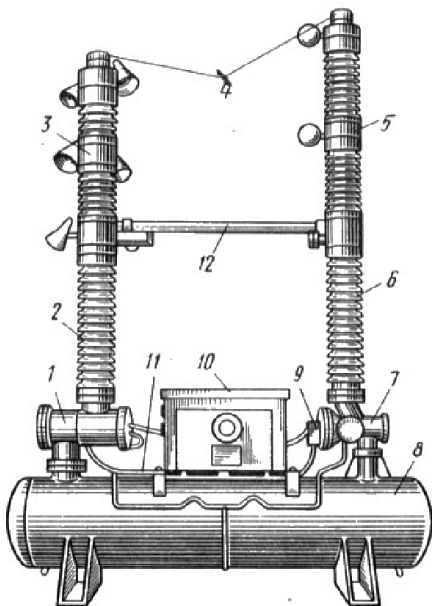
- ВМПЭ, ВМПП — выключатель масляный подвесной с электрическим (Э), пружинным (П) приводом. Уном до 10 кВ; Iном до 3200 А; Iоткл. до 31,3 кА;  $t$  откл.=0.07 – 0.1 с; масса 200 - 225 кг, применяется в КРУ внутри помещений. Пример: ВМПЭ-10-630-31,5 УЗ.
- ВМГ-133; ВПМ-10; ВМК-27; ВТ-35 - старые типы выключателей, сняты с производства;
- МГ-10 - горшковый, мощный генераторный выключатель, Уном. до 10 кВ; Iном до 5000 А, Iоткл. до 45 кА; то же МГГ.
- МГУ-10 - выключатель с усиленным гашением дуги за счет встречно-поперечного дутья.
- ВГМ-10 — маломасляный до 10 кВ, 630 А.
- ВК-10 — колонковый до 10 кВ, 1600 А; до 31,5 кА, применяется для КРУ наружной и внутренней установки  $t$  откл. = 0,05 с., масса 160 - 190 кг.

**5.3. Воздушные выключатели.** Действие этих выключателей основано на гашении электрической дуги за счет мощного потока воздуха, выдувающего дугу из зоны действия основных контактов. Масла эти выключатели не содержат.

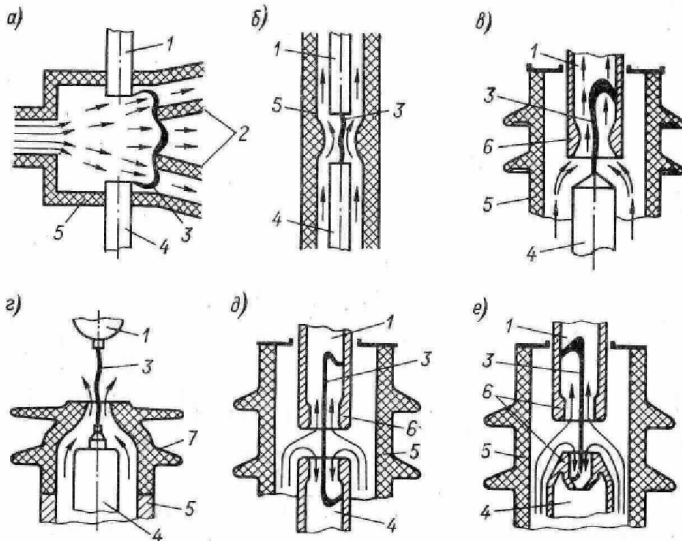
Выключатели применяются при напряжении 35 кВ и выше. Эти выключатели имеют большую массу и габариты, специальную компрессорную установку и ресивер, что приводит к большей стоимости, однако в связи с пожаробезопасностью и малым временем отключения (0,04- 0,08 с) они применяются на ответственных электростанциях и подстанциях. При отключении такого выключателя расходуется до 40 м<sup>3</sup> воздуха при давлении до 2 - 3 МПа.

#### Типы выключателей:

- ВВГ-20-2000-160 У1 — выключатель воздушный генераторный на 20 кВ, 2000 А и ток отключения 160 кА, масса 10 т.
- ВВУ-35-2000-40 ХЛП - усиленный по восстановлению электрических характеристик, для холодного климата, наружной установки, масса 7,5 т.
- ВВБМ-330-2000-31,5 ХЛП — воздушный, баковый, малогабаритный, масса 18 т.
- ВВД — с повышенным давлением воздуха. (ВВД-220-40-3200 ХЛП)



**Рисунок 11 – полюс воздушного выключателя ВВВ – 220-10.** 1-дутьевой клапан, 2-опорная колонка камеры, 3-гасительная камера, 4-аппаратные выводы, 5-отделитель, 6-опорная колонка отделителя, 7-дутьевой клапан отделителя, 8-ресивер, 9-обратный клапан, 10-шкаф управления, 11-трубопровод, 12-токоведущая шина



**Рисунок 12 - Схемы воздушного дутья:**

По отношению к стволу дуги поток воздуха может быть поперечным - *поперечное воздушное дутье*, продольным - *продольное воздушное дутье* и продольно - поперечное дутье. Продольное и продольно-поперечное дутье может быть односторонним и двусторонним.

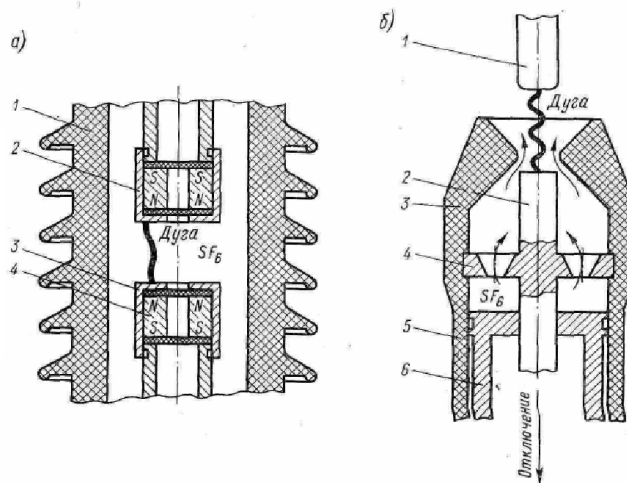
По эффективности воздействия на дугу лучшие характеристики дают камеры поперечного дутья, но их работа связана с большим расходом возду-

ха. Поэтому они находят преимущественное применение в выключателях на большие номинальные и отключаемые токи при напряжении до 20 кВ.

Достоинствами камер продольного и продольно-поперечного дутья являются возможность создания простых устройств с многократным разрывом дуги, простое регулирование дутья формой контактов и выхлопных отверстий и сравнительно небольшой расход воздуха.

В последние годы для гашения дуги начинает применяться элегаз (шестифтористая сера  $SF_6$ ), полученный впервые в Советском Союзе. Элегаз очень устойчивый инертный газ, имеющий высокие электроизоляционные свойства, что позволяет использовать его в качестве дугогасительной среды в коммутационных аппаратах.

**N и S** — полюса постоянных магнитов. В результате действия  $M$ . поля дуга перемещается, охлаждается и гаснет



Подвижный контакт 2 отходит от неподвижного 1 и вместе с цилиндром 5 надвигается на поршень 6, элегаз через изоляционное сопло 3, омывает дугу и гасит ее.

**Рисунок 13 -**

**схемы дугогасительных устройств с магнитным и газовым дутьем**

**Схемы**

**5.4. Элегазовые и вакуумные силовые выключатели.** В настоящее время в США, Европе, Японии широко применяются, а в нашей стране начинают применяться элегазовые и вакуумные силовые выключатели на напряжение 10, 35, 110 кВ и выше. На их основе изготавливаются КРУ с элегазовыми выключателями (КРУЭ или ЯЭ), или с вакуумными (КВ) выключателями.

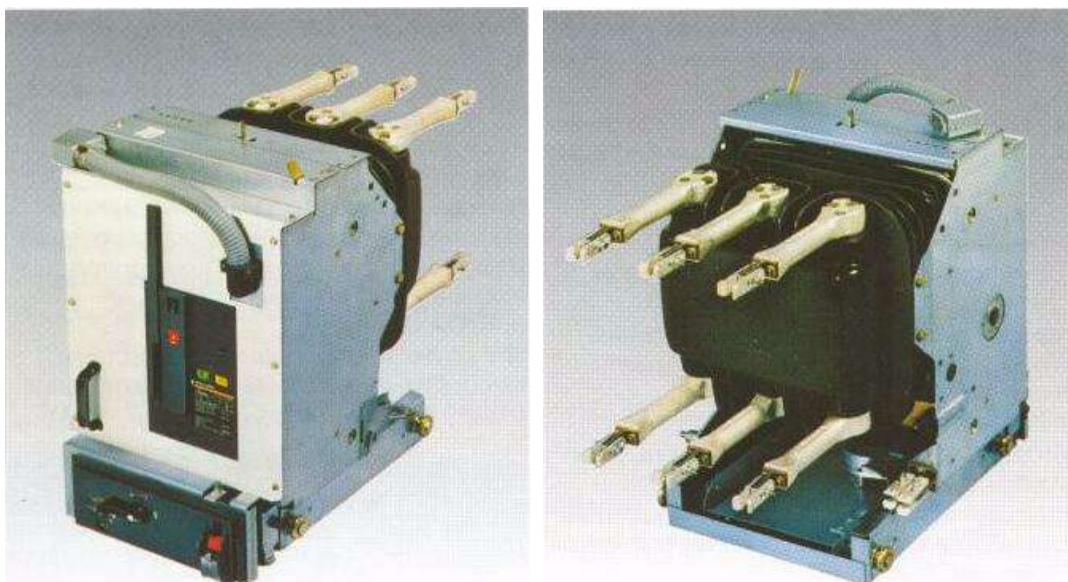
Зарубежные и отечественные производители выпускают элегазовые выключатели на напряжение 10, 55, 110, 220 кВ, встроенные в КРУЭ или ЯЭ, и вакуумные выключатели ВВ-10, ВВТ-10, ВВЛ-35 для внутренней установки и ВВК-35 и ВВК-110 - для наружной установки.

Элегазовые выключатели применяются при изготовлении КРУ на напряжение выше 10 кВ, что невозможно было при использовании масляных выключателей. Элегазовые КРУ применяются при напряжении 35, 110, 150, 220 кВ и выше. В связи с их уменьшенными габаритами имеется возможность применять на подстанциях закрытые (ЗРУ) вместо открытых (ОРУ) распределительных устройств.

Основными достоинствами элегазовых и вакуумных выключателей являются: повышенный уровень безопасности, большой срок службы без ремонтов, меньшие габариты и масса, пожаро- и взрывобезопасность, быстродействие. Недостатком можно считать высокую стоимость при единичном производстве и повышенный уровень коммутационных перенапряжений, что требует применение специальных ограничителей перенапряжений (например: ОПН - ограничитель перенапряжения нелинейный).

Выбор типа выключателя для КРУ (вакуумного или элегазового) производится исходя из следующего. При необходимости частой коммутации (например: электропечных трансформаторов) и активно-индуктивном характере нагрузки коммутируемой цепи следует применять **вакуумные выключатели**. Для коммутации цепей с емкостным характером (конденсаторные батареи, статические тиристорные компенсаторы, фильтро-компенсирующие устройства) следует использовать **элегазовые выключатели**. Элегазовые выключатели используются чаще при напряжении до 500 кВ, а вакуумные – до 35 кВ. Применение элегазовых и вакуумных выключателей и КРУ на их основе является одним из путей повышения надежности схем электроснабжения ответственных потребителей, уменьшение эксплуатационных расходов и улучшения условий труда и окружающей среды.

**5.4.1 Элегазовые выключатели.** В этих выключателях гашение дуги происходит за счет действия электротехнического газа (элегаза), дугогасящие свойства которого в 4-5 раз лучше, чем у воздуха. Химическая формула элегаза —  $\text{SF}_6$ . Среди типов выключателей при напряжении 6 – 10 кВ часто применяются выключатели серий FV и LF.



**Рисунок 14 - Общий вид выключателя серии LF для напряжения 6—10 кВ**

В элегазовых силовых выключателях и выключателях нагрузки и контакторах используется шестифтористая сера ( $\text{SF}_6$ , элегаз) для изоляции и дугогашения. Рабочие части имеют оболочку из изоляционного материала, которая служит для герметизации систем, находящихся под давлением, в соответствии со стандартом МЭК. В России применяются элегазовые КРУ различных фирм, например Schneider серии MC -set.

Аппараты, составляющие основу ячеек МС-set, имеют следующие отличительные характеристики:

- длительный срок службы, отсутствие необходимости технического обслуживания рабочих элементов, повышенная электрическая прочность, низкий уровень коммутационных пере напряжений, безопасность эксплуатации, нечувствительность к условиям окружающей среды, сохранение возможностей отключения и диэлектрической прочности независимо от атмосферного давления, низкое давление элегаза.

Элегазовые силовые выключатели серии LF могут устанавливаться в приемных и линейных ячейках AD и CL.

**Принцип действия силового выключателя LF.** Выключатели серии LF приводятся в действие приводом аккумуляторного типа RI. Гашение дуги основано на явлении автокомпрессии в элегазе. Три главных полюса находятся в изолирующей оболочке, заполненной элегазом под сравнительно низким давлением в 0,15 МПа (1,5 бар). Использование элегаза под низким давлением обеспечивает высокую надёжность герметизации. При размыкании цепи сначала размыкаются главные, затем вспомогательные контакты. Принцип гашения дуги основан на автокомпрессии с использованием техники вращения дуги и эффекте температурного расширения. Вспомогательные (дугогасительные) контакты помещаются в камеру, служащую объёмом расширения.

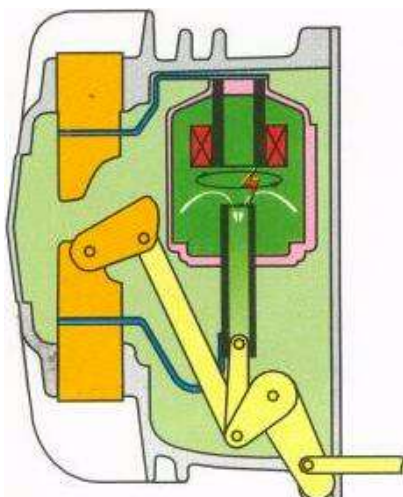
**Рисунок 15.1- Выключатель включен. Главные и вспомогательные контакты замкну-**



**ты.**

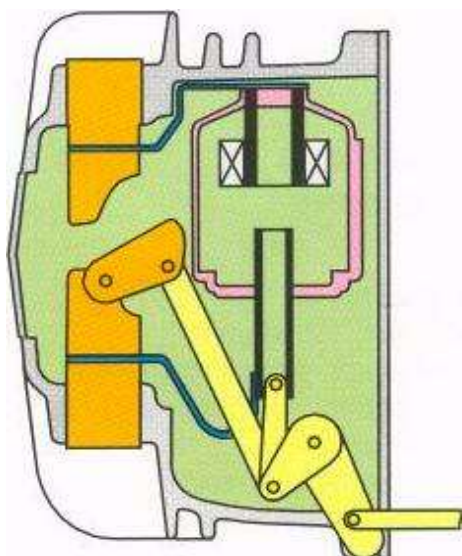
**Рисунок 15. 2 - Начало процесса отключения. Главные контакты размыкаются, вспомогательные еще замкнуты.**

При отключении сначала размыкаются главные контакты, затем – дугогасительные. При размыкании главных контактов ток проходит только через дугогасительные контакты и начинает работать дугогасительная катушка, вызывающая вращение дуги.



**Рисунок 15. 3 - Гашение дуги. Главные и вспомогательные контакты разомкнуты.**

*Разделение дугогасительных контактов.* Главные контакты разомкнуты. Дугогасительные контакты начинают размыкаться, начинает работать катушка. Дуга вращается под действием магнитного поля, порожденного катушкой и при этом охлаждается. Избыточное давление в камере расширения, обусловленное повышенной температурой из-за дуги, сдвигает дугу перпендикулярно оси дугогасительных контактов.

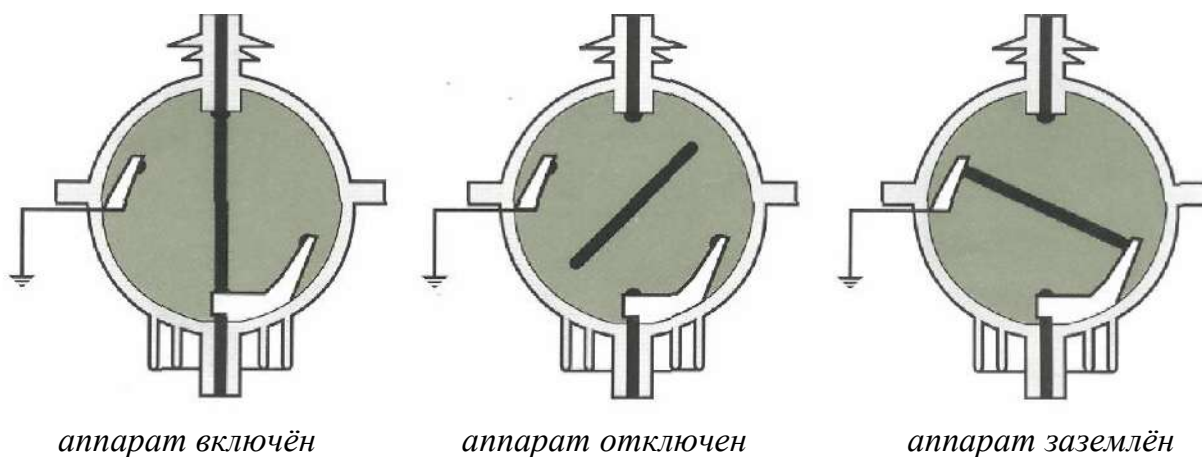


**Рисунок 15.4 - Выключатель отключен. Главные и вспомогательные контакты разомкнуты.**

На этом процесс отключения выключателя завершен.

Кроме силовых выключателей элегаз используется в других аппаратах, например, в **выключателях нагрузки**, отличающихся от первых меньшими величинами номинальных и максимальных токов. Принципиальная схема конструкции такого аппарата представлена на рисунке . Следует иметь ввиду, что выключатели

нагрузки отечественного производства должны иметь видимый разрыв цепи в отключенном состоянии, что невозможно при наличии элегазовой камеры, поэтому эти выключатели должны устанавливаться совместно с разъединителями.



*аппарат включён*

*аппарат отключен*

*аппарат заземлён*

**Рисунок 16 - Принципиальная схема элегазового выключателя нагрузки**

**5.5. Электромагнитные выключатели.** По конструкции и принципу действия похожи на контакторы трехфазного тока. Применяются при напряжении 6-20 кВ. Гашение дуги происходит за счет магнитного дутья, т.е. взаимодействия магнитных полей электрической дуги и катушки магнитного дутья. Выключатели не требуют масла и сжатого воздуха, имеют большой срок службы и малое время срабатывания (0,06 с). Контактная система состоит из основных (1 и 2) и дугогасительных (3 и 10) контактов. Дугогасительная система состоит из изоляционной камеры 4 и П-образного магнитопровода 5 с дугогасительной катушкой 6. Гашение дуги происходит в дугогасительной камере. При размыкании электрической цепи первыми размыкаются главные контакты, затем дугогасительные контакты (зоны А и Б). При этом между дугогасительными контактами возникает дуга, которая под действием теплового потока и электродинамических сил поднимается вверх. Участок дуги шунтируется катушкой магнитного дутья и дуга на этом участке гаснет. Магнитное поле катушки из зоны дугогасительных контактов втягивает остаток дуги в керамическую камеру и далее в зоны , где дуга гаснет. В некоторых выключателях дополнительно применяется автовоздушное дутье.

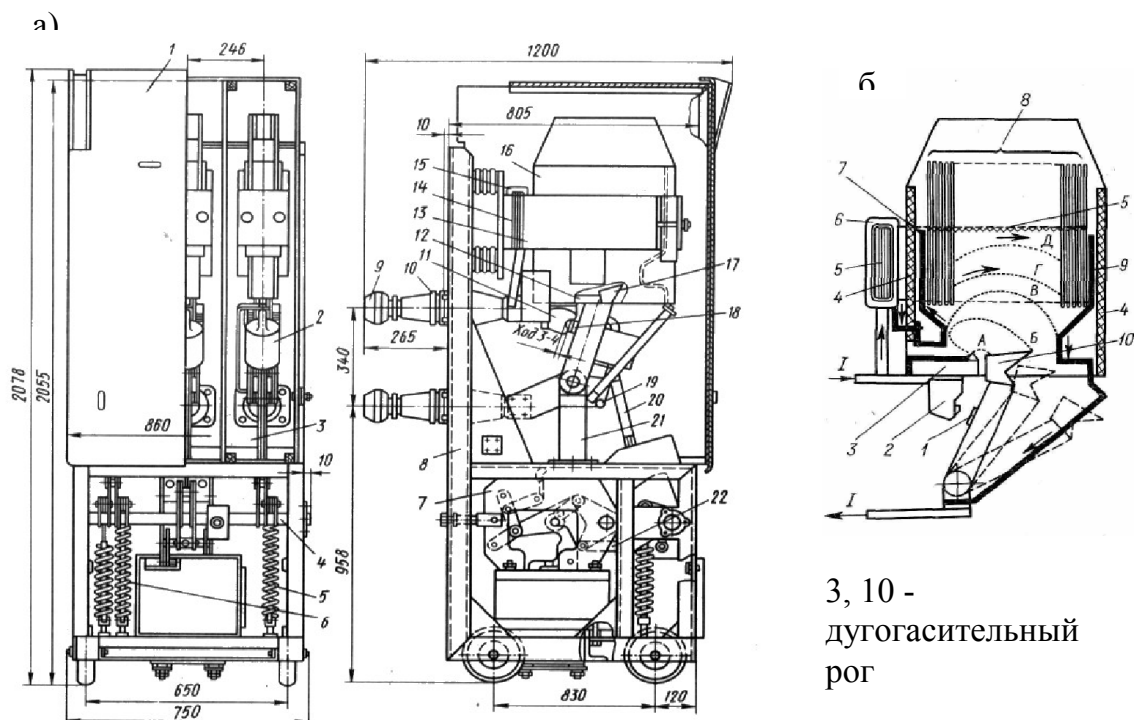


Рисунок 17 - Электромагнитный силовой выключатель ВЭ-6 –2000 –40.

Дуга гасится в дугогасительной камере. При размыкании электрической цепи первыми размыкаются главные контакты, затем дугогасительные контакты. При этом между дугогасительными контактами возникает дуга, которая под действием теплового потока и электродинамических сил поднимается вверх. Участок дуги шунтируется катушкой магнитного дутья и дуга на этом участке гаснет. Магнитное поле катушки из зоны дугогасительных контактов втягивает остаток дуги в керамическую камеру и далее в зоны В, Г А, где дуга гаснет за счет охлаждения и воздушного дутья..

Применяются электромагнитные выключатели в КРУ 6-10 кВ. По сравнению с выключателями ВМП-10 и ВК-10 они имеют большую массу и габариты.

Типы выключателей:

- ВЭ-6(10) — выключатель электромагнитный на 6(10) кВ; Ином — до 3150 А; Iоткл. до 40 кА; масса 500-700 кг; t откл.=0,06с., трехполюсный, для КРУ типа КЭ.

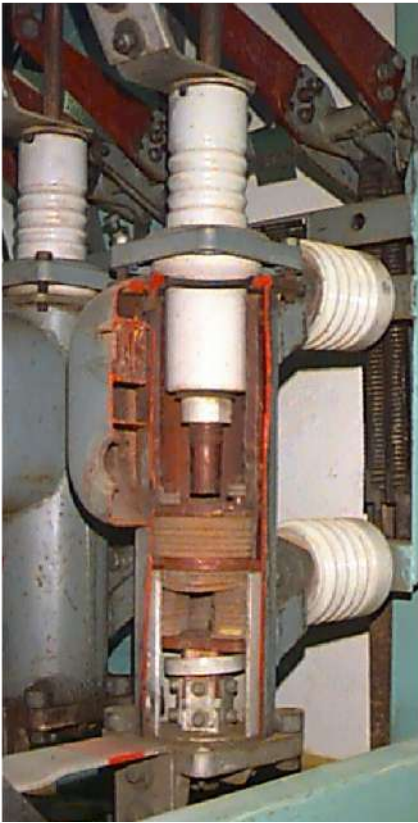
- ЗЭС-6 сейсмостойкий, остальные параметры те же.

-ВЭВ-6-630-16 У5 - электромагнитный воздушный для КРУ на подземных работах, имеет уменьшенные габариты и массу ( 240 кг ).

-ВЭМ-6-3200-40 - выключатель электромагнитный для КРУ общепромышленного применения.

Все выключатели имеют выкатное исполнение и втычные пальцевые или розеточные контакты, выполняющие функции линейного и шинного разъединителей.

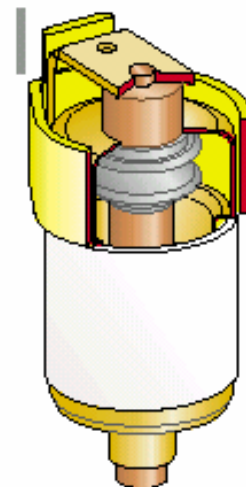
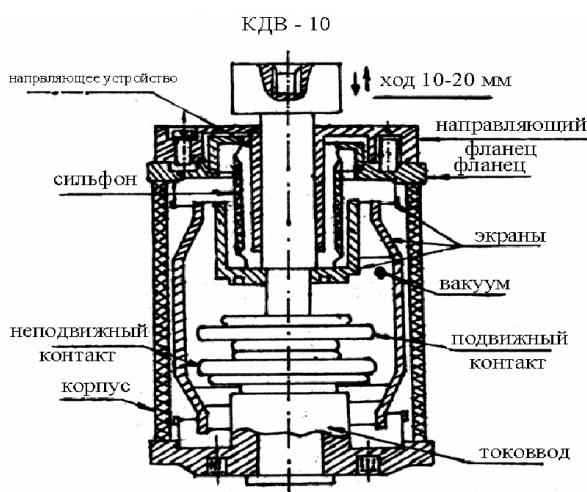
**5.6 Вакуумные выключатели.** Современные выключатели, использующие для гашения дуги вакуумную камеру. Разработаны конструкции для напряжения 6-35 кВ, позволяющие постепенно вытеснить масляные и электромагнитные выключатели. Вакуумные выключатели имеют небольшие габариты и массу, пожаро- и взрывобезопасны, надежны и не требуют ремонта. Недостатки - высокая стоимость и коммутационные перенапряжения.. Основным элементом - вакуумная камера. Давление в камере -  $1,33 \cdot 10^{-6}$  Па, при этом давлении электрическая дуга практически не возникает. Ход контактов 10-20 мм (для сравнения - у ВМП -10 - около 200 мм), время отключения — 0,02 с. Камера может занимать любое положение в пространстве. Данные камеры КДВ-10-3200-31,5 — камера дугогасительная вакуумная, на 10 кВ, Ином — 3200 А; Iоткл.- 31,5 кА; Iтах = 80 кА, ход подвижного контакта — 14 мм, масса 14,5 кг. Число отключений зависит от тока отключения: При токе 1, 6кА - 20000 циклов, при токе - 2,0 кА - 10000 циклов, 3, 2 кА - 3000 ц., при токе 31,5 кА - 25 циклов.



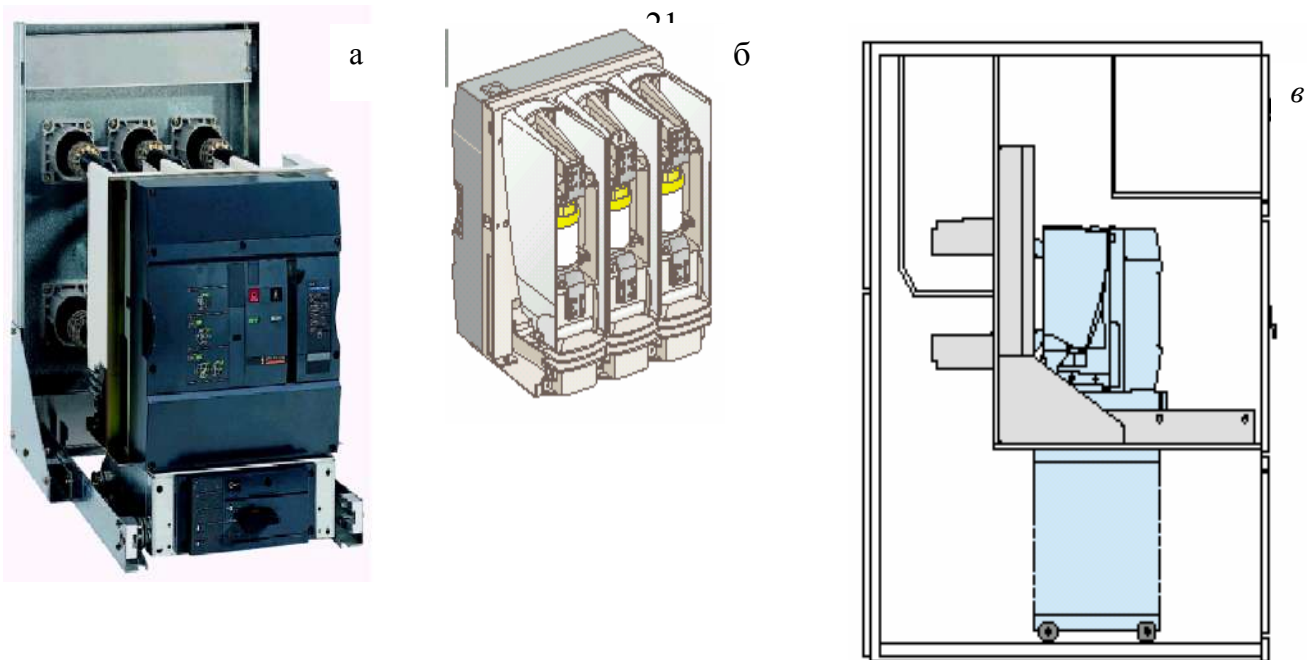
**Рисунок 18 - Выключатели ВПМ-10, ВМП-10 и ВВТЭ-10.**

**Типы вакуумных выключателей:**

- **ВВТ (Э, П) - 10** - 630-20 У2 - выключатель вакуумный, трехполюсный, для экскаваторов или передвижных объектов. Уном = 10 кВ, Iном=630 А; Iоткл.=20 кА, для наружной установки, применяется в КРУ экскаваторов, ПРП, могут быть стационарные и выдвигные.
- **ВВЭ-10** - выключатель для КРУ общепромышленных установок при частой коммутации. Iном до 3,15 кА, Iоткл. до 31,5 кА исполнение У или Т, выдвигные. Рабочее напряжение - до 11 кВ. ВВВ-10 - выключатель для встраивания в КРУ потребителей небольшой мощности, стационарные, на 10 кВ, Iном=320 А; Iоткл.=2 кА.
- **Эволис 6(10) кВ** (фирмы Шнейдер-Электрик)- выключатель вакуумный, рабочее напряжение 6 или 10 кВ, номинальный ток 630, 1250, 1600 и 2500 А.
- **ВВ -тел-** выключатель на напряжение 6-10 кВ фирмы Таврида-Электрик.



**Рисунок 19 - Устройство и внешний вид вакуумных дугогасительных камер КДВ-10 и Эволис**



**Рисунок 20 - Общий вид (а), вид на вакуумные камеры (б), и расположение выключателя выключателя Эволис на выкатном элементе КРУ- 10 кВ (в)**

Ток отключения большинства выключателей - 25 кА, 31,5 кА или 40 кА, масса - около 100 кг.

**5.6 Приводы силовых выключателей.** Выключатели высокого напряжения нельзя включать и отключать вручную по условиям безопасности и недопустимости медленного замыкания и размыкания контактов. Поэтому все выключатели имеют специальные приводы, позволяющие производить коммутацию дистанционно и быстро. Приводы бывают: ПЭ- электромагнитный, ПП - пружинный, ПД - моторный (двигательный), ПГ – грузовой .

Большинство приводов устроены таким образом, что при включении выключателя приводом взводятся пружины и выключатель "встает на защелку", а привод отключается. Для отключения выключателя необходимо выбить защелку с помощью отключающего электромагнита и за счет действия пружин произойдет отключение.

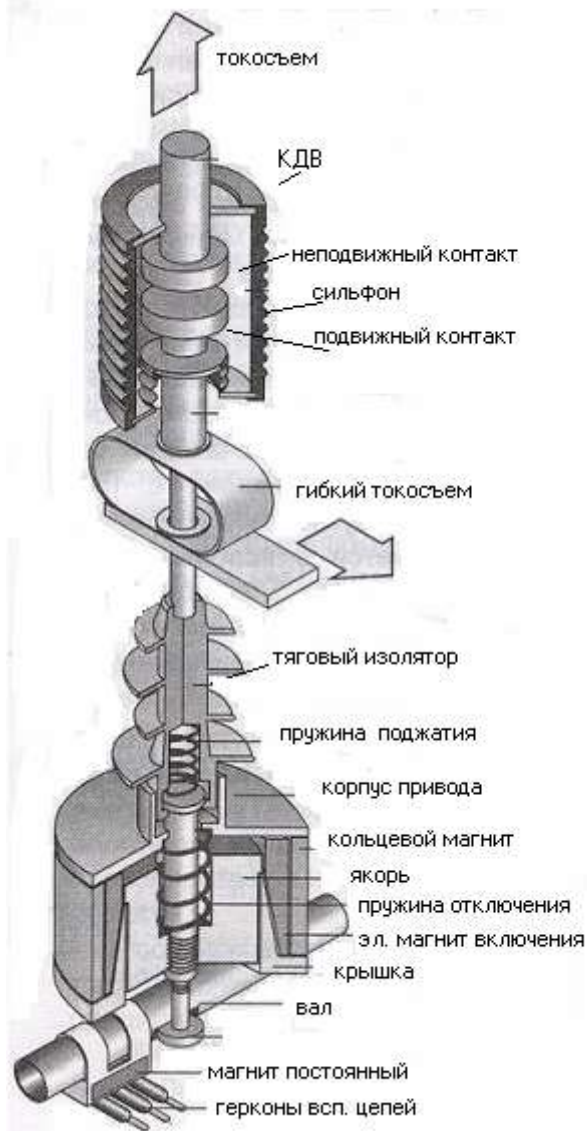
Привод ПЭ-11 часто применяется для управления выключателями при напряжении 6-10 кВ. Он имеет электромагнит включения УАС напряжением 110 или 220 В, механизм свободного расцепления, отключающую катушку (электромагнит отключения) УАТ переменного или постоянного тока и вспомогательные контакты сигнализации положения выключателя (КСА).

Некоторые приводы используют вместо механизма свободного расцепления систему с электромагнитным удержанием якоря (например у выключателей ВНВЛ, ВВТЭ), однако при этом расходуется энергия на работу электромагнита для удержания якоря в притянутом состоянии.

Привод выключателя Эволис (МСН) работает по принципу **мотор-редуктор**, который предназначен для взвода и повторного автоматического взвода пружин привода включения. Это позволяет включить аппарат после его отключения, так как пружины остаются во взведенном состоянии после срабатывания мотора привода, который отключается с помощью концевого выключателя. Привод имеет катушки включения (XF) и отключения (MX). Катушки позволяют производить операции ВКЛ. и ОТКЛ., если взведены пружины привода. Имеется также ручной привод на случай выхода из строя механического. Выключатель может блокироваться в положении ОТКЛЮЧЕНО путем фиксации кнопки навесным замком или специальными невыпадающими ключами.

Выключатели серии LF также имеют моторный пружинный привод RI энергосберегающего действия, аналогичный приводу Эволис.

Рисунок 21 - Принципиальная схема устройства вакуумного выключателя ВВ-тел «Таврида-электрик»



## 6 СОВРЕМЕННЫЕ СИЛОВЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ И КРУ НА НАПРЯЖЕНИЕ СВЫШЕ 10 кВ.

**6.1 Элегазовые КРУ.** Элегаз ( $SF_6$  -шестифтористая сера) - обладает высокими изоляционными и дугогасящими свойствами, что определяет возможности его широкого применения в комплектных распределительных устройствах (КРУ) и коммутационных аппаратах. Практическое применение элегаз получил в конце пятидесятих годов сначала в США, а затем в Европе и Японии, а с 1980-х годов - в СССР.

Основные достоинства элегаза: высокое напряжение пробоя (в 2,5 - 3 раза выше, чем в воздухе); пожаро- и взрывобезопасность (не горит и не поддерживает горение); высокая химическая стабильность; быстрое гашение дуги в коммутационных аппаратах, низкое давление.

КРУ с элегазовой изоляцией (КРУЭ) имеют существенные преимущества перед КРУ традиционных исполнений, важнейшим из которых являются

малые габариты. Это определило основные области применения КРУЭ - промышленные предприятия, особенно при необходимости расширения в условиях ограниченной территории, крупные города, горные области и т. д. Другим важным достоинством КРУЭ является возможность их работы в загрязненных средах (металлургические, химические предприятия и т. д.), что резко сокращает расходы на эксплуатацию. Повышается и безопасность обслуживания, так как токоведущие элементы находятся в заземленной металлической оболочке, заполненной элегазом, что исключает возможность прикосновения к токоведущим частям, а также возникновения открытой электрической дуги. В зарубежной практике КРУЭ напряжением 110-500 кВ получили широкое распространение, причем с ростом номинального напряжения увеличивается доля КРУЭ в общем объеме сооружаемых распределительных устройств. Используются КРУЭ и на напряжения выше 500 кВ.

Серийно выпускаются и отдельные коммутационные аппараты, прежде всего выключатели напряжением 10 кВ и выше, процесс дугогашения в которых происходит в элегазе. Такие выключатели могут встраиваться в КРУ традиционных исполнения с воздушной или комбинированной изоляцией токоведущих элементов, а также устанавливаться в распределительных устройствах **внутренней и наружной установки.**

В России освоено производство элегазовых КРУ напряжением 110 и 220 кВ, а также отдельно стоящих выключателей на эти напряжения. Кроме отечественных, на практике используются аналогичные аппараты зарубежного производства.

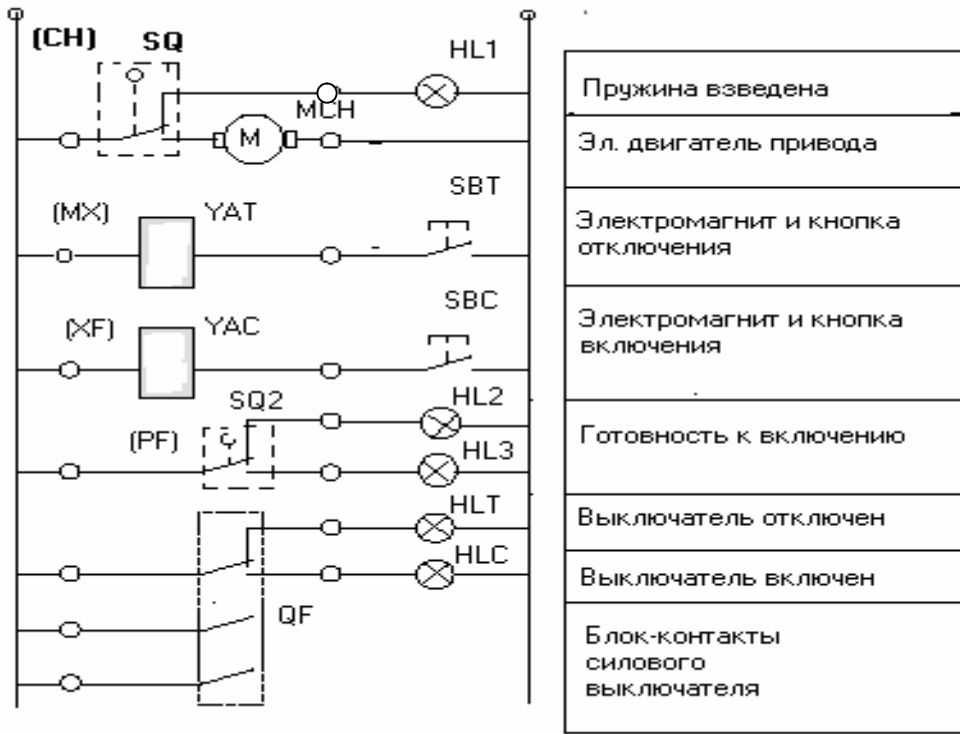


Рисунок 22 - Электрическая схема привода МСН выключателя Эволис

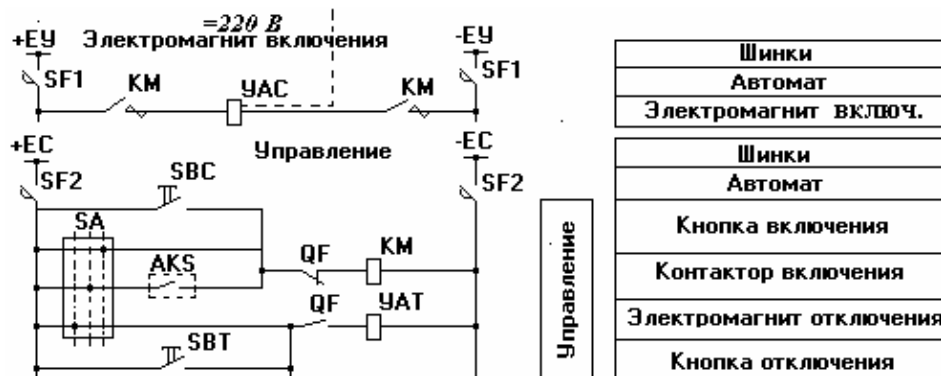
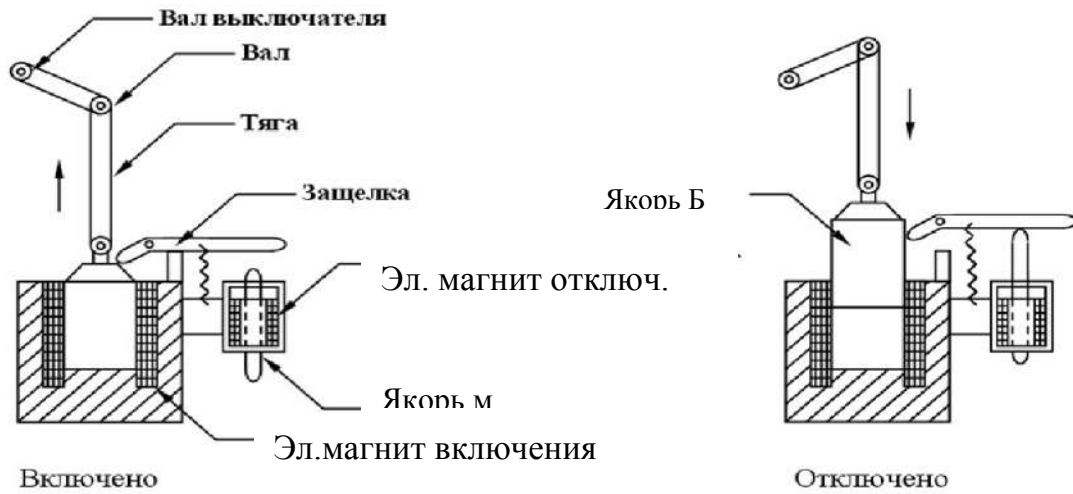


Рисунок 23 - Схема устройства и электрическая схема привода ПЭ - 11



Рисунок 24 - Устройство и общий вид КРУ MS-set на напряжение 6 - 10 кВ

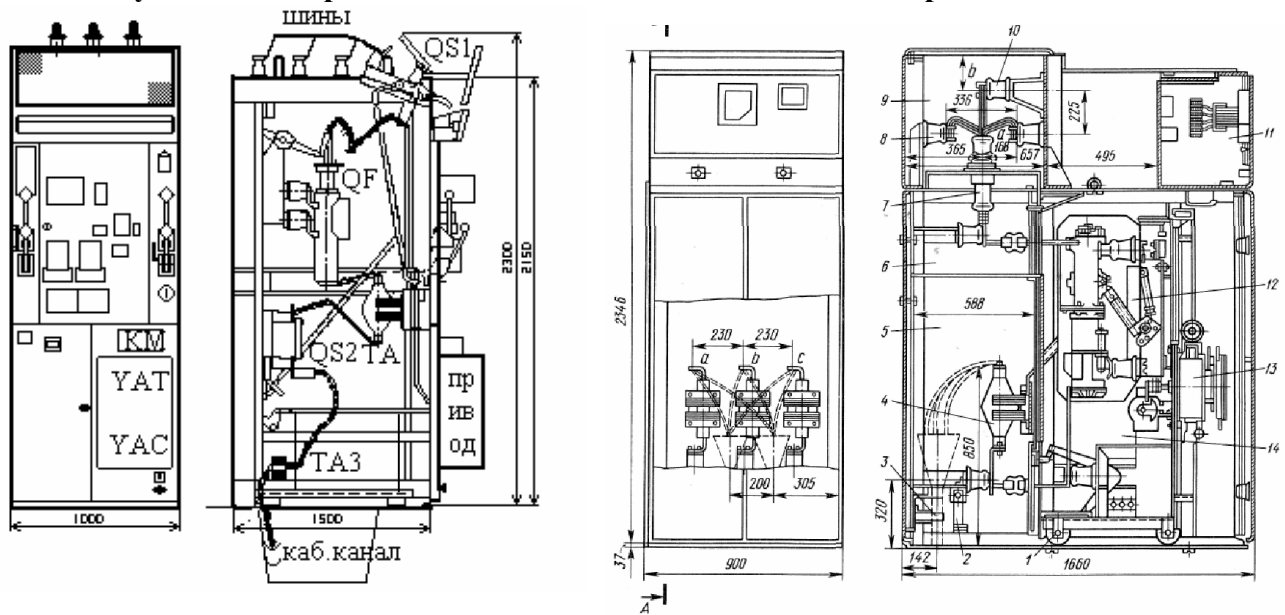
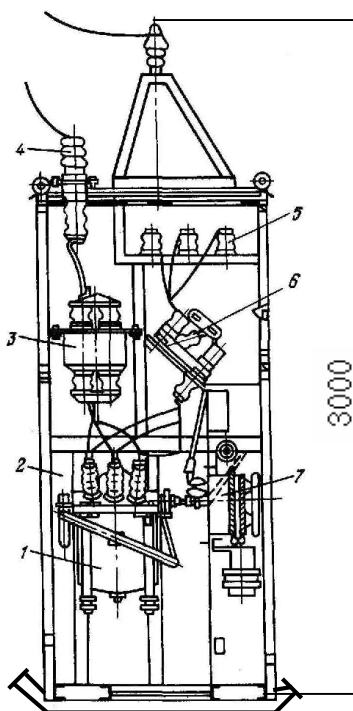
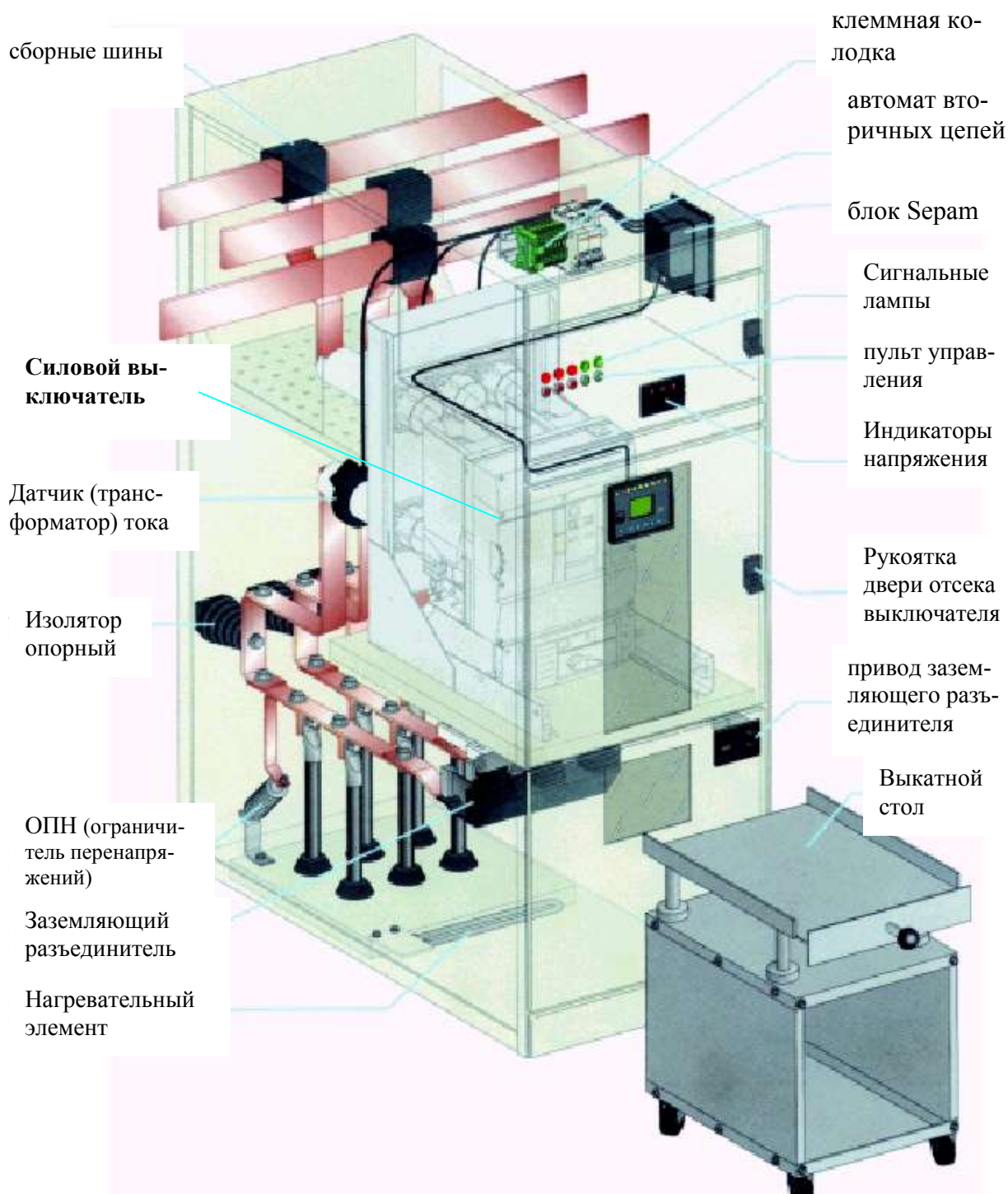


Рисунок 25 - Общий вид и разрезы КРУ стационарного типа (КСО), выкатного КРУ-2-10 и наружной установки КРУН-6



В настоящее время в промышленных и городских сетях применяются КРУ различного типа производства отечественных и зарубежных производителей. На рисунках показано устройство некоторых широко применяемых моделей. Из рисунков видно, стационарные КРУ конструктивно отличаются от выкатных, КРУ наружной установки имеют защиту от влияния климатических условий и салазки для передвижения. Отличие современных КРУ заключается в использовании вакуумных или элегазовых силовых выключателей или выключателей нагрузки, что позволяет уменьшить габариты и массу оборудования. В целях повышения надежности и безопасности применяются элементы микропроцессорной техники в системах защиты и автоматики электроснабжения.



**Рисунок 24 - Устройство КРУ-10 кВ с выкатным вакуумным выключателем**

**6.2 Ячейки элегазовые трехполюсные ЯЭ-110, ЯЭ-220** Предназначены для работы в КРУ на номинальное напряжение 110 кВ с номинальной частотой 50 Гц в нормальном и аварийном режимах в сетях переменного тока с заземленной нейтралью. Климатическое исполнение У, категория размещения - 4. Выпускаются линейные ячейки (с трехполюсными сборными шинами с одной или двумя системами сборных шин), секционные, шиносоединительные и ячейки трансформатора напряжения, а также элементы элегазового токопровода.

*Ячейки состоят из трех полюсов и шкафа (шкафов). Полюс ячейки состоит из унифицированных для данного класса напряжения элементов: сборных шин, полюсов*

выключателей, разъединителей и заземлителей, а также промежуточных и соединительных элементов, трансформаторов тока и напряжения. Виды и количество элементов и шкафов, входящих в ячейку, определяются ее типом.

Принципиальные электрические схемы ячеек приведены на рисунке 12. Каждый полюс выключателя снабжен пневматическим приводом, каждый полюс разъединителя - электродвигательным или пневматическим приводом, а каждый полюс заземлителя - ручным приводом. В конструкции полюса разъединителя предусмотрена возможность ручного управления: при электродвигательном приводе с помощью специальной рукоятки, при пневматическом приводе с помощью специального устройства. Линейные ячейки допускают присоединение к ним кабельных вводов для одного или двух кабелей низкого давления сечением 150 - 625 мм<sup>2</sup> в свинцовой алюминиевой оболочке или токопроводов.

Ячейки ЯЭ-220 предназначены для работы в КРУ в сетях с номинальным напряжением 220 кВ. Климатическое исполнение У, категория 4 по ГОСТ 15150-69\*. Условия применения, состав ячеек и схемы электрических соединений КРУЭ-220 аналогичны КРУЭ-110. Отличие заключается в том, что сборные шины у КРУЭ-220 - однополюсные, что определяет компоновку ячеек КРУЭ-220, отличающуюся от компоновки КРУЭ-110.

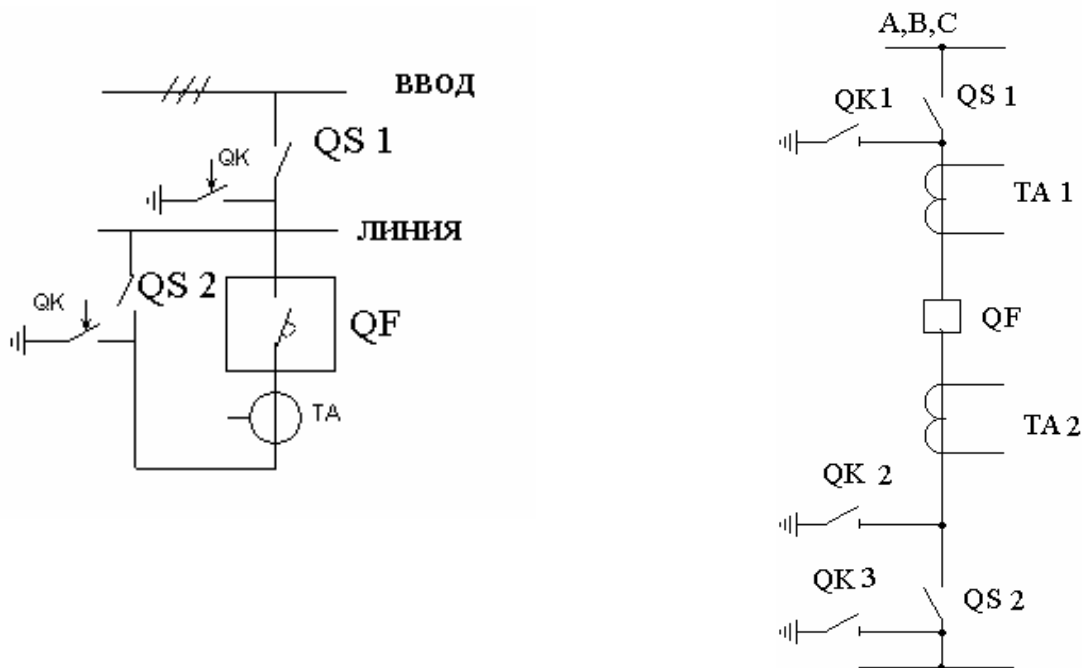


Рисунок 25 - Принципиальные электрические схемы линейной элегазовой ячейки КРУЭ (ЯЭ)-110.

**6.3 Элегазовые выключатели напряжением 35 кВ для КРУ.** Элегазовые выключатели на напряжение 35 кВ применяют в КРУ, используемых для электроснабжения предприятий с мощными дуговыми сталеплавильными печами, прокатными станами. Основное назначение выключателей - коммутация и защита фильтрокомпенсирующих цепей (ФКЦ), в том числе статических тиристорных компенсаторов. Они могут использоваться и в цепях других потребителей.

Климатическое исполнение выключателя У, категория размещения 3 по ГОСТ 15150-69\*. Тип привода - электромагнитный.

Отличительная особенность выключателя - отсутствие повторных пробоев между контактами в процессе отключения ФКЦ при напряжении больше 0,2 U<sub>ф</sub> (номинального фазного напряжения). Это обеспечивает возможность коммутации **емкостного тока** в цепях конден-

саторных батарей и фильтрокомпенсирующих устройств без возникновения опасных для оборудования коммутационных перенапряжений.

По габаритам и установочным размерам, а так же конструктивным решениям установки механизма перемещения, блокировочных устройств, скользящих контактов, соединении вспомогательных цепей выключатель унифицирован с вакуумным выключателем ВВЛ-35, а также взаимозаменяем с ним.

**6.4 Элегазовые выключатели типа ВЭК-110Б.** Элегазовые выключатели типа ВЭК-110Б предназначены для коммутации в нормальных и аварийных режимах в сетях трехфазного переменного тока при номинальном напряжении 110 кВ и номинальной частоте 50 Гц. Климатическое исполнение У, категория размещения 1 или 3. Привод выключателя -- пневматический. Габариты (ширина, глубина, высота) -- 4,02 x 1,1 x 5,04 м. Условное обозначение выключателя - **ВЭК-110Б-40/2000У1(У3).**

Разработан элегазовый выключатель ВЭК-220Б-40/2000У1 на номинальное напряжение 220 кВ.

**6.5 Вакуумные выключатели на напряжение выше 10 кВ.** В последние годы широкое распространение в мировой практике получили вакуумные коммутационные аппараты. В них гашение дуги при коммутации электрической цепи осуществляется в вакуумной дугогасительной камере (ВДК), которая состоит из изоляционной цилиндрической оболочки, снабженной по концам металлическими фланцами, внутри которой помещаются подвижный и неподвижный контакты и электростатические экраны. Неподвижный контакт жестко крепится к одному фланцу, а подвижный соединяется с другим фланцем сильфоном из нержавеющей стали, обеспечивающим возможность перемещения контакта без нарушения герметичности ВДК. Экраны предназначены для защиты оболочки от брызг и паров металла, образующихся при горении дуги, и также для выравнивания распределения напряжения по камере. Оболочка ВДК изготавливается из специальной газоплотной керамики (в некоторых конструкциях - из стекла). Внутри оболочки создается вакуум. В ВДК применяют контакты торцового типа достаточно сложной конфигурации, выполненные из специальных сплавов. В выключателях напряжением до 35 кВ, предназначенных для работы в сетях трехфазного переменного тока промышленной частоты, используются три ВДК (по одной на полюс выключателя), снабженные общим приводом - пружинным или электромагнитным. При напряжении **выше 35 кВ в каждом полюсе выключателя используются несколько ВДК, соединенных последовательно.**

Основные достоинства вакуумных выключателей, определяющие их широкое применение:

1. Высокая износостойкость при коммутации номинальных токов и номинальных токов отключения. Число отключений номинальных токов вакуумным выключателем (ВВ) без замены ВДК составляет 10-20 тыс., число отключений номинального тока отключения 20--200, что в 10-20 раз превышает соответствующие параметры масляных выключателей.

2. Резкое снижение эксплуатационных затрат по сравнению с другими выключателями. Обслуживание ВВ сводится к смазке механизма и привода, проверке износа контактов по меткам 1 раз в 5 лет или через 5-10 тыс. циклов «включение-отключение».

3. Полная взрыво- и пожаробезопасность и возможность работы в агрессивных средах.

4. Широкий диапазон температур окружающей среды, в котором возможна работа ВДК.

5. Повышенная устойчивость к ударным и вибрационным нагрузкам вследствие малой массы и компактной конструкции аппарата.

6. Произвольное рабочее положение и малые габариты, что позволяет создавать различные компоновки распределительных устройств, в том числе и шкафы с несколькими выключателями при двух-трехъярусном их расположении.

7. Бесшумность, чистота, удобство обслуживания, обусловленные малым выделением энергии в дуге и отсутствием выброса масла, газов при отключении токов КЗ.

8. Отсутствие загрязнения окружающей среды.

9. Высокая надежность и безопасность эксплуатации, сокращение времени на монтаж.

К недостаткам ВВ следует отнести повышенный уровень коммутационных перенапряжений, что в ряде случаев вызывает необходимость принятия специальных мер по защите оборудования, **в том числе применение специальных ограничителей перенапряжения.**

В России разработаны и выпускаются различные ВВ и ВДК, в электроустановках используются также аппараты зарубежного производства.

**6.6 Вакуумные аппараты и КРУ для установок с частыми коммутациями.** Вакуумные выключатели типа ВВЭ - 10 используются в серийных КРУ общепромышленного назначения (типа КМ-1, КМ-1Ф, К-104 и др.).

Разработаны вакуумные выключатели с пружинным и электромагнитным приводом для КРУ общепромышленного исполнения типа ВВ-10-20 / 1600 и ВВ-10-31.5 / 3150 на токи отключения 20 и 31,5 кА соответственно. Отличие этих выключателей от ВВЭ-10 в типе привода.

ВВТЭ-10-10/630У2 - для экскаваторов (номинальный ток 630 А, ток отключения 10 кА); ВВТЭ(11)-10-20/630-1000 УХЛ2 - для экскаваторов (номинальный ток 630 и 1000 А, ток отключения 20 кА); ВВТШ-10-20/630 ХЛ5 - для электроснабжения шахт (номинальный ток- 630 А, ток отключения 20 кА).

Кроме перечисленных выключателей выпускаются также вакуумные выключатели для номинального напряжения выше 10 кВ

Вакуумные выключатели **ВВЛ-35** выкатного типа разработаны для КРУ напряжением 35 кВ. Климатическое исполнение **У**, категория размещения - 3. Выключатели предназначены для коммутации электрических цепей дуговых сталеплавильных печей и других установок с частыми коммутациями в трехфазных сетях переменного тока. Управление выключателем осуществляется электромагнитным приводом (общий на три полюса).

Условное обозначение выключателя - ВВЛ-35-31,5/1600 У3 и ВВЛ-35-31,5/2500 У3.

Разработаны вакуумные выключатели **наружной установки типа ВВК-35Б-20/1000У1.** Они представляют собой коммутационные аппараты, состоящие из трех полюсов, установленных на общей раме и управляемых электромагнитным приводом. Отличие этих выключателей от ВВЛ-35 по параметрам: номинальный ток- 1000 А; номинальный ток отключения - 20 кА; механический ресурс - 40 000 циклов «В-О» с заменой камер через 20000 циклов. Для повышения уровня изоляции наружной поверхности ВДК она помещена в фарфоровую крышку, залитую трансформаторным маслом. Габариты выключателя с приводом (ширина, глубина, высота) - 2,23 x 0,575 x 2,09 м. Масса выключателя с маслом - 880 кг.

Вакуумные выключатели типа **ВВК- 110Б-20/1000У 1** предназначены для выполнения коммутационных операций в нормальных и аварийных режимах электроустановок с частыми коммутациями.

Вакуумный выключатель типа ВВК-110Б-20/1000У 1, климатическое исполнение У, категория размещения 1 по ГОСТ 15160-69\*, состоит из трех полюсов, установленных на общей раме и управляемых пружинным приводом типа ППК-1000.

В состав каждого полюса входят **четыре камеры типа КВД-35-20/1250УХЛ2**, соединенные последовательно, опорная изоляция и механизм.

**В конструкции выключателя предусмотрено устройство для выравнивания напряжения по камерам полюса.**

Габариты выключателя с приводом (ширина x глубина x высота) - 4,38 x 0,75 x 4,58 м. Масса выключателя 2270 кг.

**6.7 Вакуумные и элегазовые КРУ напряжением 35 кВ.** Для приема и распределения электроэнергии трехфазного тока номинальным напряжением 35 кВ в установках металлургических предприятий (дуговые сталеплавильные печи, прокатные станы и др.) разработаны КРУ, оборудованные вакуумными или элегазовыми выключателями **выкатного типа.** Применение этих КРУ **резко сокращает габариты распределительных устройств** (по сравнению с РУ, оборудованными воздушными выключателями), повышает их монтажную готовность, надежность работы и удобство эксплуатации.

**6.8 Особенности эксплуатации вакуумных и элегазовых выключателей.** Особенностью дуги в вакууме является ее нестабильность при малых токах. Прекращение разряда в вакууме приводит к срезу тока до его естественного перехода через нуль. Ток среза зависит от свойств применяемых контактных материалов, а также от параметров контура тока.

Камеры современных вакуумных выключателей, благодаря специальному подбору контактных материалов, имеют относительно малые токи среза, вполне сопоставимые с токами среза выключателей, имеющих другую дугогасительную среду. С другой стороны, для ВДК характерны большие скорости восстановления электрической прочности межконтактного промежутка, что позволяет им отключать высокочастотные токи с большими скоростями изменения тока вблизи нулевого значения. Последнее обстоятельство приводит к многократным повторным зажиганиям и отключениям высокочастотного тока в процессе одной коммутации включения - отключения индуктивной нагрузки, которые могут существенно влиять на уровень коммутационных перенапряжений.

*При коммутациях индуктивных токов вакуумных выключателей могут возникать перенапряжения, обусловленные: срезом тока, многократными повторными зажиганиями и трехфазным одновременным отключением. Перенапряжения эти, вследствие вероятностного характера процессов в выключателе, определяются статистическими соотношениями, зависящими от схемы и параметров коммутируемой сети.*

Силовые трансформаторы с облегченным уровнем изоляции по ГОСТ 1516.1-76\* (сухие, с литой изоляцией) рассчитаны на импульсные перенапряжения с максимальным значением **23 и 34 кВ**, соответственно для классов напряжения **6 и 10 кВ**, что без применения защиты может оказаться недостаточным для выдерживания максимальных перенапряжений при коммутации.

Наибольшую опасность представляют собой коммутационные перенапряжения для электродвигателей, имеющих пониженные, по сравнению с трансформаторами, уровни изоляции и в особенности пониженную импульсную прочность обмотки при воздействии волн с крутым фронтом.

*Волновые сопротивления двигателей примерно на 2 порядка ниже, чем у трансформаторов, поэтому уровни перенапряжений при обычном срезе тока также значительно ниже. Однако включение двигателя или отключение его пускового тока, как правило, сопровождается многократными повторными зажиганиями и воздействиями волн перенапряжений с крутым фронтом. При определенном сочетании параметров схемы и начальных условий наблюдается постепенное нарастание максимумов волн (эскалация напряжений), при котором они могут достигать **пятикратных значений** по отношению к фазному напряжению двигателя.*

**Могут быть предложены следующие технические решения по схемам защиты от перенапряжений электрооборудования напряжением 6-10 кВ, коммутируемого вакуумными выключателями, в установках промышленных предприятий:**

1. Для защиты трансформаторов общего назначения с облегченной изоляцией по ГОСТ 1516.1-76\* (сухие, литые) у вводов трансформатора между каждой фазой и землей должен быть подсоединен **разрядник I группы по ГОСТ 16357-83\*** для соответствующего класса напряжения.

2. Для защиты электродвигателей между зажимами каждой фазы двигателя и землей должны устанавливаться последовательные **RC-цепочки с параметрами  $R = 50 \text{ Ом}$  и  $C = 0,25 \text{ мкФ}$** . Ниже приведены требования к основным электрическим характеристикам RC-цепочек:

Класс напряжения, кВ .....	6	10
Номинальное напряжение конденсатора, кВ .....	6,6	11
Мощность, рассеиваемая резистором, Вт .....	15	40
Импульсная прочность между зажимами резистора на волне 1,2/ 50 мкс, кВ.....	40	60

Между зажимами и землей у электродвигателей мощностью выше 1000 кВт дополнительно к RC-цепочке должны устанавливаться разрядники I группы по ГОСТ 16357-83\* для соответствующего класса напряжения.

3. Для электрооборудования напряжением 6-10 кВ с нормальной изоляцией по ГОСТ 1516.1-76\* (маслонаполненные трансформаторы) никаких дополнительных средств защиты не требуется.

При локализации дуговых повреждений в шкафу **КРУ** предусмотрена дуговая защита, выполненная с помощью клапанов разгрузки давления, соединенных с блок-контактами, обеспечивающими подачу команды на отключение защитного выключателя.

Выбор типа выключателя в КРУ (вакуумный или элегазовый) производится исходя из следующего. При необходимости частых коммутационных операций (например, для коммутации электропечных трансформаторов) и **активно-индуктивном характере** нагрузки коммутируемой цепи следует использовать **вакуумные** выключатели. Для коммутации цепей с **емкостным** характером нагрузки

(конденсаторные батареи, фильтрокомпенсирующие устройства, статические тиристорные преобразователи) следует использовать **элегазовые** выключатели,

## 7. РАЗРЯДНИКИ И ОГРАНИЧИТЕЛИ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ.

В отличие от выключателей разрядники и ограничители перенапряжений не являются коммутационной аппаратурой, а предназначены для защиты линии, оборудования от атмосферных и коммутационных перенапряжений.

Разрядники предназначены для защиты от перенапряжений при атмосферных явлениях (гроза) и неправильных оперативных переключениях персонала. При грозовых разрядах напряжение достигает 10 млн. Вольт, что может вывести из строя любую электроустановку. От прямых ударов молнии защищают стержневые и тросовые молниеотводы. Разрядник представляет собой элемент, изменяющий свое сопротивление в зависимости от уровня напряжения. При нормальном рабочем напряжении его сопротивление - большое и разрядник является изолятором. При увеличении напряжения выше допустимого в разряднике происходит пробой и он становится проводником, по которому электрический разряд от проводов воздушной линии уходит в землю, т.к. разрядник одним концом присоединен к проводу а другим к заземлителю. При уменьшении напряжения до нормального, разрядник опять становится изолятором.

В разрядниках применяются в качестве рабочего элемента воздушные промежутки и специальные диски из материалов, изменяющих свое сопротивление в зависимости от напряжения:(вилит, гирит, тервит, карбид кремния с миканитовыми, фарфоровыми или слюдяными прокладками).

Величина воздушных промежутков зависит от напряжения:

6 кВ — 10 мм ; 10 кВ — 15 мм ; 35 кВ — 100 мм .

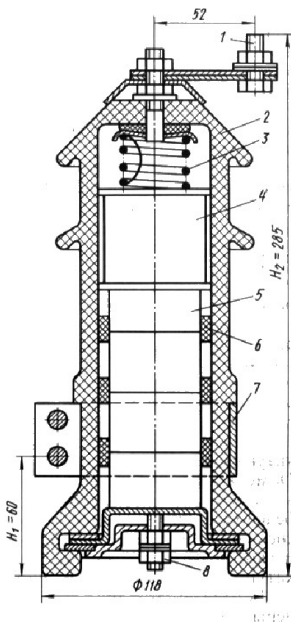
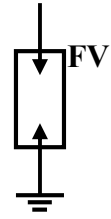


Рисунок 26 – Разрядник РВО - 10

**6.1 Ограничители перенапряжения нелинейные (ОПН).** Ограничители перенапряжения являются аппаратами для глубокого (до  $1,6 - 1,85 U_{\phi}$ ) ограничения коммутационных перенапряжения с несколько лучшими грозозащитными характеристиками, чем у традиционных разрядников. Ограничители представляют собой высоконелинейное сопротивление на основе оксида цинка. Ограничители ОПН и ОПНИ отличаются схемой соединения. Ограничители с искровыми промежутками (ОПНИ) ограничивают также междуфазные перенапряжения (ОПНИ – 500 – до 1260 кВ при токе 1200 кВ). длина пути утечки изоляции ограничителей – не менее 1,8 см / кВ.



Разрядники бывают вентильные (РВ) и трубчатые (РТ). Вентильные применяют на станциях (С) и подстанциях (П), трубчатые – на линиях. На ВЛ разрядники устанавливают в конце и в начале линий и через 150 м от начала и от конца ВЛ.

### Типы разрядников:

- РВО-6 - разрядник вентильный облегченный, на 6 кВ
  - РВП-10 - подстанционный на 16 кВ, масса 2,5 кг
  - РВС-220 – станционный, на 220 кВ (масса 400 кг)
  - РВМ-35-вентильный с магнитным дутьем на 35 кВ; масса 220 кг, до 110 кВ
  - РВРД-10 – вентильный с растягиванием дуги, до 10 кВ
  - РТВ-6 – трубчатый винилпластовый, на 6 кВ
  - РТФ-110 – трубчатый фибробакелитовый на 110 кВ масса 11 кг
  - ОПНК-6(10) – ограничитель перенапряжения карьерный на 6 (10) кВ
- Содержит варисторы, т.е. нелинейные сопротивления (вилит, карборунд, графит).

Пробивные напряжения искрового элемента ограничителя ОПНИ – 500 составляет не менее 800 – 1200 мкс /100 кВ.

Ограничители типа ОПНО (облегчённые) устанавливаются только в тех точках распределительного устройства, которые при любых коммутациях не могут оказаться на разомкнутом конце односторонней питаемой линии.

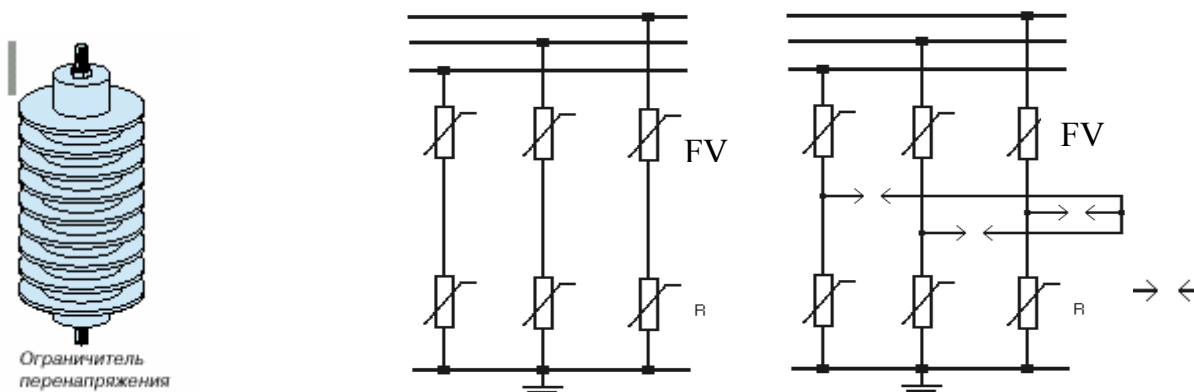
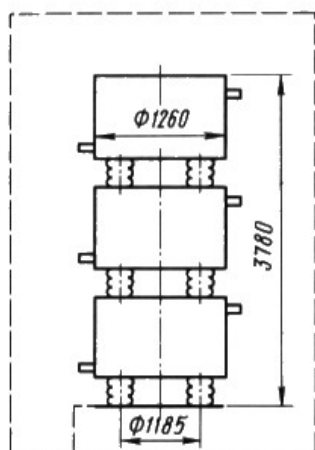


Рисунок 27 - Электрические схемы ограничителей перенапряжения ОПН и ОПНИ.

## 8. РЕАКТОРЫ



Реакторы предназначены для ограничения величины тока КЗ в мощных сетях, когда ток отключения выключателя меньше расчетной величины то КЗ сети, а также для ограничения величины пусковых токов мощных электродвигателей.

Реактор уменьшает скорость нарастания тока КЗ, как бы растягивая его во времени. Реактор представляет катушку с малым активным сопротивлением и большой индуктивностью, за счет чего и происходит "торможение" нарастания тока КЗ или пускового тока в каждой фазе.



Рисунок 28 - Схема устройства реактора РБАН - 10

Типы реакторов:

РБ - реактор бетонный с медным проводом, вертикальный;

РБА - алюминиевый вертикальный

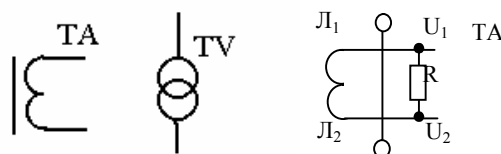
РБУ (Г) - ступенчатый, Г-горизонтальное расположение;

РБД — с принудительным охлаждением:

Реакторы выбирают по напряжению, току, индуктивному сопротивлению, термической стойкости и динамической стойкости в режиме КЗ.

## 9. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ.

Измерительные трансформаторы, (ТА и TV) применяются в высоковольтных и сильноточных сетях, где невозможно включать приборы измерения, защиты и автоматики непосредственно в сеть из-за большого значения напряжения или тока.



**9. 1 Трансформаторы тока**, имеют 2 (или одну) обмотки. Первичная включается последовательно в силовую (главную) цепь, к вторичной – подключается средства измерения, защиты и автоматики. Поэтому первичная обмотка имеет мало витков (0; 1; 2;) и выполнена из толстого проводника (шины), а вторичная имеет много витков и выполнена из более тонкого проводника. Ток во вторичной обмотке меньше, чем в первичной в  $W_2/W_1$  раз. Если вторичная обмотка трансформатора тока останется без нагрузки, то трансформатор может выйти из строя, поэтому его вторичная обмотка закорачивается резистором. Трансформаторы тока выпускаются на любое напряжение.

Первичный ток до 4000 А и более. Вторичный ток — 5 А. Мощность -до 100 ВА.

По конструкции ТА бывает:

- опорные и проходные,
- одно и многovitковые,
- шинные и катушечные,
- внутренней и наружной установки,
- трансформаторы нулевой последовательности, т.е. не имеющие первичной обмотки.

**Маркировка ТА:** В — втулочный, К — катушечный, Л — литой, М — масляный, У — усиленная изоляция, Н — наружной установки, О — одновитковый, П — проходной, З — нулевой последовательности, М — многovitковой, малогабаритный, модернизированный, Д — для дифференциальной защиты, Ш — шинный, Ф — фарфоровый, Р — с рывовидными обмотками.

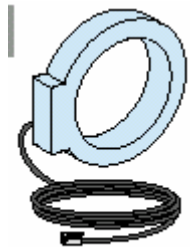
**Примеры типов трансформаторов тока:** ТЛМ — 10-630/5 ТПЛУ, ТВЛМ, ТФНД, ТШЛП, ТПОЛ и др.

Среди трансформаторов тока конструктивно выделяются трансформаторы тока нулевой последовательности (ТНП) типа ТЗЛ, ТЗР и др. Они применяются в системах защиты от замыканий на землю в сетях с изолированной нейтралью. Для питания схем релейной защиты от замыкания на землю отдельных жил кабеля применяют трансформаторы тока внутренней установки нулевой последовательности типов ТЗ, ТЗЛ с литой изоляцией, ТЗР-1, ТЗРЛ - разъемный, с литой изоляцией. В настоящее время трансформаторы этих типов сняты с производства, взамен их выпускают трансформаторы типа ТЗЛМ-1У(Т)З.

Трансформаторы тока ТЗЛМ-1У (Т) З для защиты от замыканий на землю с литой изоляцией, модернизированный; предназначен для схем релейной защиты от замыканий на землю путем трансформации возникших при этом токов нулевой последовательности; встраивают в КРУ. Трансформатор выполнен в виде опорной конструкции без первичной обмотки - ее роль выполняет трехфазный кабель на напряжение до 10 кВ, пропущенный в окно трансформатора. Вторичная обмотка намотана на тороидальный магнитопровод и залита изоляционным компаундом. Трансформаторы выпускают на номинальное напряжение до 10 кВ, односекундный ток термической стойкости - 140 А, масса - 3,2 кг

Наиболее новыми трансформаторами тока нулевой последовательности являются трансформаторы типа ТНП. Обозначение типа: Т - трансформатор тока, Н - нулевой последовательности, П - с подмагничиванием переменным током, Ш - шинный, З - защита от замыкания отдельных жил кабелей, Л - с литой изоляцией, М - модернизированный, УЗ - климатическое исполнение и категория размещения, первое число - число охватываемых кабелей; второе число - класс напряжения, кВ.

**Трансформаторы (торы) остаточного тока типа CSH.** Трансформаторы (датчики) тока типа CSH и датчики CW 200 компании "Шнейдер" осуществляют более чувствительную защиту, непосредственно измеряя ток замыкания на землю.



Датчики CVV 120

Они отличаются только диаметром и могут быть установлены на одном вводе устройства Seram (2А) или на другом (30А):

CSH 120 - внутренний диаметр 120 мм

CSH 200 - внутренний диаметр 200 мм

Серия Seram представляет собой комплект блоков защиты, контроля и управления. Каждый блок Seram располагает полным набором функций релейной защиты, измерений, управления, контроля и сигнализации, необходимых для того типа применения, для которого

он предназначен. Функции имеют широкий диапазон настройки, все виды характеристик срабатывания и могут быть адаптированы к любой схеме защит.

Выбор трансформаторов тока производится по номинальному напряжению, току, термической и динамической стойкости в режиме КЗ.

**9.2 Трансформаторы напряжения.** Трансформаторы напряжения устроены аналогично обычным трансформаторам, только имеют малые габариты и мощность — от 10 до 1200 ВА. Трансформаторы выпускаются на любое первичное напряжение, номинальное вторичное напряжение  $U_2=100$  В. Обе обмотки имеют много витков.

Коэффициент трансформации:  $K_{TV} = W_1/W_2 = U_1/(U_2=100 \text{ В})$

Типы трансформаторов напряжения:

НОМ – напряжения, однофазный, масляный;

НОСК – напряжения, однофазный, сухой для КРУ;

НТМИ – напряжения, трехфазный, масляный, измерительный;

НОЭМ – напряжения, однофазный, масляный, экскаваторный;

ЗНОЛ – с заземленным выводом, литой;

НКФ-110 – каскадный, фарфоровый.

Выбор трансформаторов напряжения производится по номинальному напряжению, классу точности, допускаемой мощности.

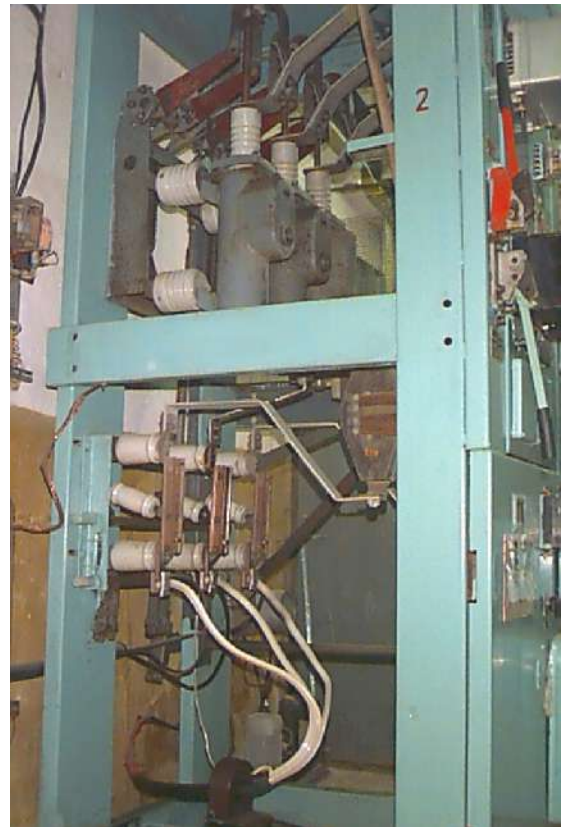
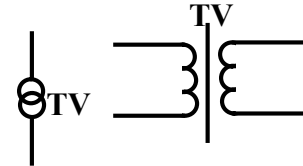
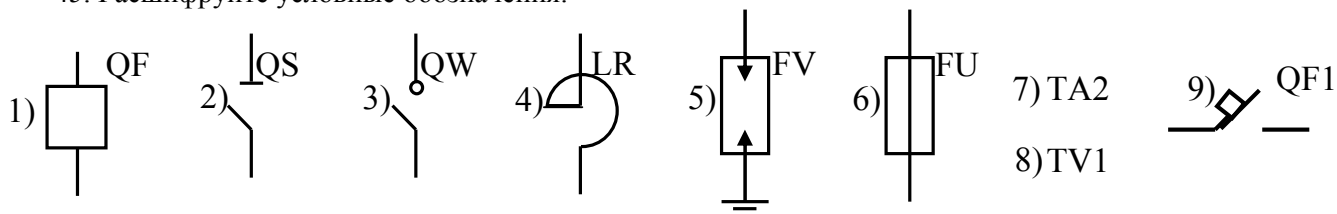


Рисунок 29 - Вид на ячейку КСО-285 спереди и сбоку (боковая панель снята).

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ по разделу Аппараты высокого напряжения:

1. В чем разница устройства и назначения изоляторов?
2. Чем отличаются изоляторы ПС-6 и ПФ-6? ШС-10 и ШС-10Г?
3. Расшифровать марки изоляторов: ОНКУ-10-500; ОШНФ-110-1200; ИПРУ-6-600.
4. В чем ошибка маркировки изолятора ПФРГ-35?
5. Укажите материал и формы сечения шин.
6. В какие цвета окрашиваются шины в РУ-10 кВ?
7. Укажите условные графические и буквенные обозначения шин и изоляторов в электрических принципиальных схемах.

8. Укажите, какой ток смогут проводить шины при температуре воздуха +5 С, если при  $t=30^{\circ}$  С допустимый ток  $I_{доп} = 90$  А? Варианты ответов: 80 А, 90 А, 100 А, 150 А.
9. Какие шины выдерживают большие токовые нагрузки и почему? Варианты ответов: круглые, плоские, коробчатые.
10. Сколько банок краски следует взять для окраски токоведущих шин в распреустройстве РУ-10 кВ?
11. Какие бывают предохранители по принципу действия?
12. Для чего в предохранителях типа ПК применяются кварцевый песок?
13. Расшифровать марки предохранителей:
  - ПКТН-10-100/80-16 У1
  - ПКЭ-3-6-160/120-10 У3
  - ПВН-36-200/100-12 У1
  - ПСН-35-100/20-15 У1
15. В чем разница устройства предохранителей ПК и ПС?
16. При каких условиях можно производить отключение сети разъединителем?
17. Какой ток (А) можно отключить разъединителем с данными:  $U_{ном}=35$  кВ,  $I_{ном}=600$  А?
18. Укажите основные типы разъединителей.
19. Расшифруйте марки разъединителей:
  - РВЗ-6-400-14,5 У3
  - РВП-10-1000-20 У3
  - РНД-35-1000-16 у1
  - РЛНДБЗ-110-630-12 У1
20. Где применяются разъединители вертикального и горизонтального типов?
21. Назовите типы приводов разъединителей.
22. В чем отличия выключателя нагрузки и разъединителя?
23. За счет чего гасится дуга в выключателях нагрузки?
24. Что произойдет с выключателем нагрузки ВНП-16 при КЗ? Отключится он или нет?
25. Как узнать включен или отключен выключатель нагрузки?
26. Как долго могут служить вкладыши в камерах выключателя нагрузки?
27. Что общего и в чем отличие разъединителя, короткозамыкателя и отделителя?
28. Имеется ли блокировка между короткозамыкателем и отделителем?
29. В каких режимах могут отключать сеть силовые выключатели?
30. Назовите основные типы выключателей напряжением выше 1000 В.
31. В чем достоинства и недостатки масляных выключателей?
32. При каком напряжении применяются масляные, воздушные и электромагн. выключатели?
33. Какой из выключателей имеет большие габариты – масляный или воздушный при тех же параметрах сети?
34. какое масло применяют для масляных выключателей в условиях крайнего Севера?
35. какие выключатели имеют самое малое время отключения?
36. какие выключатели имеют самые малые габариты и массу?
37. Расшифровать:
  - 1. ВМПЭ-10-100-20-У3
  - 2. ВЭ 10 - 1600-20-У1
  - 3. ВЭМ-10-2000-31,5 У3
  - 4. ВК-10-630-31,5 У1
  - 5. ВЭВ-6-1000-12,5 У5
  - 6. ВВТЭ-10-1000-31,5 У2
38. Как поступить при выборе силового выключателя, если ток отключения выключателя меньше расчетного тока короткого замыкания, например:  $I_{макс\ откл}=20$  кА, а ток КЗ  $I=30$  кА?
39. Какие разрядники применяются на станциях и подстанциях?
40. В чем отличие разрядников и ограничителей перенапряжения?
41. Какие разрядники применяются на воздушных линиях на поверхности, в карьере?
42. Назовите назначение разрядника и реактора?
43. Какие типы разрядников Вы знаете?
44. По каким параметрам необходимо выбирать реактор?
45. Расшифруйте условные обозначения:



46. Укажите номинальный вторичный ток ТА и вторичное напряжение TV.

## Раздел 2. РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ

1. Основные понятия РЗ (РЗ и А)
2. Оперативный ток
3. Основные и вспомогательные реле.
4. Виды защиты.
5. Современные устройства и аппараты защиты.
6. Защита отдельных установок.
7. Автоматика в системах электроснабжения.

**Основные понятия релейной защиты (РЗ).** РЗ – называют специальные средства и устройства для защиты, выполняемые с помощью реле, процессоров, блоков и других аппаратов, и предназначенные для отключения **силовых** выключателей при напряжении свыше 1000 В или **автоматических** выключателей при напряжении до 1000 В. Более часто термин РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА используется в установках и сетях высокого напряжения. К системам автоматики в настоящей работе отнесены устройства АПВ, АВР, АЧР, АРТ.

Р.З. – основное средство защиты линий, трансформаторов, генераторов, двигателей от аварийных и ненормальных режимов.

**Требования к РЗ.** К релейной защите предъявляются следующие требования:

- селективность (избирательность), т.е. способность защиты самостоятельно определять поврежденный участок сети и отключать только этот участок,
- быстродействие,
- надежность действия,
- чувствительность (т.е. способность отключать поврежденные участки на начальной стадии повреждения)
- простота схемы.

**Контролируемые параметры Р.З.** Устройства РЗ могут контролировать следующие параметры: ток, напряжение, мощность, температуру, время, направление и скорость изменения контролируемой величины.

**Функции релейной защиты.** Устройства РЗ могут выполнять следующие функции:

- защита от К.З междуфазных,
- защита от замыканий на землю, в т. ч.  $2^x-3^x$  и однофазных
- защита от минимального напряжения;
- защита от внутренних повреждений в обмотках двигателей, генераторов и трансформаторов.
- защита от асинхронного режима работы синхронных двигателей.
- защита от обрывов в роторной цепи мощных двигателей.
- защита от затянувшегося пуска
- дифференциальная защита (продольная и поперечная) крупных машин и линий.

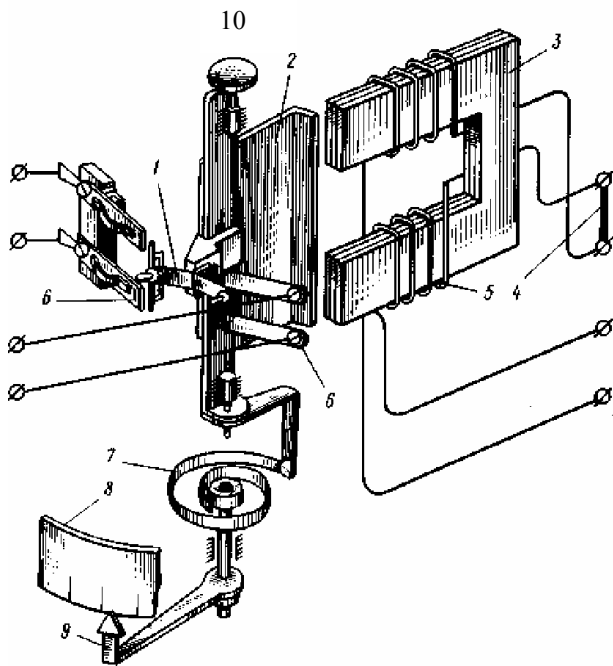
**Оперативный ток.** Оперативный ток предназначен для питания цепей управления, защиты, сигнализации и т.п. Оперативным током питаются приводы всех коммутационных аппаратов подстанций. Оперативный ток может быть переменным и постоянным, величина напряжения обычно составляет 110-220 В. Оперативный ток на ответственных подстанциях и установках должен быть всегда, даже при потере питания главных цепей, поэтому оперативный ток должен иметь независимые источники питания, в качестве которых могут использоваться: аккумуляторные установки, выпрямители, генераторы, специальные блоки питания.

**Элементная база РЗ.** В качестве основных элементов релейной защиты применяются реле, в том числе электромагнитного или других принципов действия, а также полупроводниковые и микроэлектронные приборы и блоки.

**Основные реле.** В схемах РЗА применяется много типов различных реле, а в последние годы - специальных блоков и процессоров, объединяемых в локальную компьютерную сеть. В качестве основных применяются реле тока, напряжения, мощности, частоты, дифференциальные реле и блоки дифференциальной защиты.

**Реле тока.** Наиболее часто используются электромагнитные реле РТ -40 и индукционные типа РТ-80.

Это высокочувствительные устройства, реагирующие на изменение тока, и могут защищать от перегрузок и от КЗ.

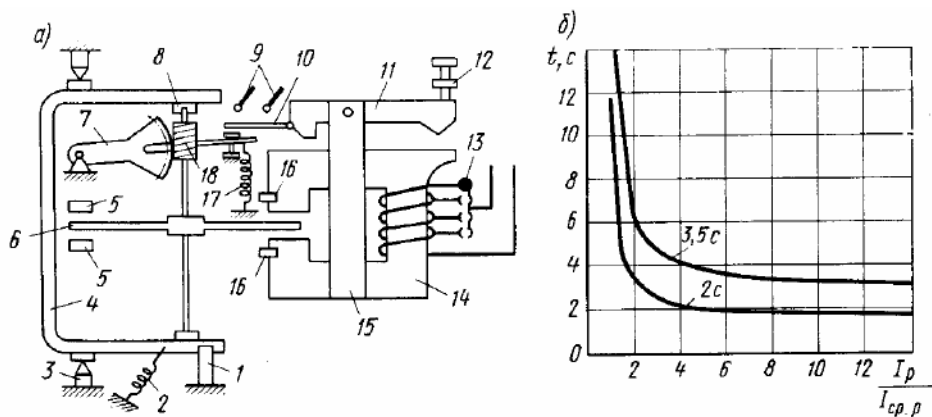


- 1- Подвижный контакт
- 2- якорь
- 2- сердечник
- 4- перемычка
- 5- обмотка
- 6- контактная часть
- 7- пружина
- 8- шкала уставок
- 9- регулятор уставки срабатывания
- 10-гаситель вибрации

**Рисунок 1 - Конструкция реле тока РТ-40.**

**Реле РТ-40** - электромагнитное, имеет два сердечника и две обмотки, которые можно включать параллельно или последовательно для удвоения показателей шкалы. Уставка срабатывания регулируется поворотом указателя 9 (изменением натяжения пружины). Пределы уставок у различных модификаций реле этой серии - от 0,5 до 200 А, что позволяет их использовать с различными трансформаторами тока. Выпускаются также реле тока серии ЭТ-520 и другие.

Пример характеристики реле тока: РТ-40/0,2;  $I_{ср.р}$  0,05±0,1А (последовательное соединение), и 0,1±0,2А (параллельное соединение),  $I_{ном}$  от 0,4 А до 10 А



**Рисунок 2 – Схема устройства реле РТ-80 и характеристика срабатывания реле**

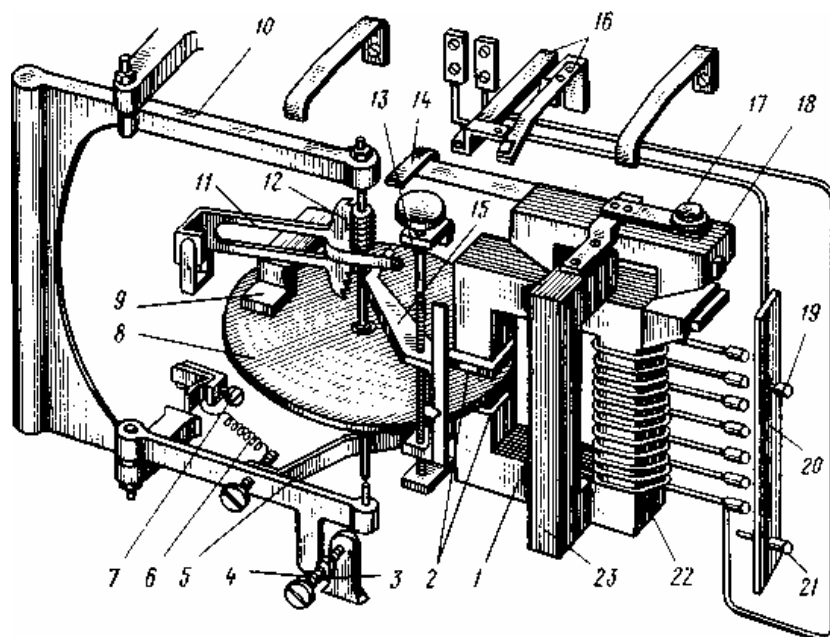


Рисунок 3 – Общий вид реле тока РТ-80 (90).

**Реле РТ-80 (РТ-90)** – реле тока индукционного типа, имеет два независимых элемента-электромагнитный (мгновенного действия) и индукционный (работающий с выдержкой времени). Такая конструкция позволяет применять их в схемах с зависимой и независимой от тока характеристикой срабатывания. Ток срабатывания индукционного элемента-2-10 А, время срабатывания - 0,5-16 с. При токах от 2 до 3-5 номинальных реле работает с выдержкой времени, с зависимым от тока временем срабатывания, при токах более 5- -7 номинальных у реле срабатывает электромагнитный элемент, без выдержки времени, т.е. мгновенно.

**Реле напряжения.** Электромагнитные высокочувствительные реле без выдержки времени, применяются для контроля величины напряжения. Выпускается единая серия РН-50. Они бывают минимального (РН-54) и максимального напряжения (РН-51, -53, -58), для постоянного и для переменного тока. По принципу действия они аналогичны РТ-40, однако имеют значительно больше витков в обмотках. Диапазон уставок напряжения этих реле от 0,7 до 200 В или 400 В у разных серий.

**Дифференциальные реле.** Высокочувствительные быстродействующие реле. Выпускаются серии РБМ - реле мощности быстродействующее, и РНТ – реле направленного тока. Применяют для дифференциальной защиты трансформаторов, генераторов и других мощных машин. Эти реле – быстродействующие и используют быстронасыщающийся трансформатор БНТ.

Дифференциальные реле применяют для защиты трансформаторов, генераторов, линий. Типы реле: РНТ-565, РБМ-170 (270) и др.

Реле РНТ-565-реле направленного тока (рис. 5) (реле электромагнитное токовое дифференциальное). Состоит из корпуса в котором находятся: реле РТ-40, быстронасыщающийся трансформатор БНТ и резисторы  $R_k$  и  $R_v$ . Реле имеет обмотки:  $P$ - рабочая обмотка,  $B$  – вторичная обмотка,  $K1$ ,  $K2$  –

короткозамкнутые обмотки,  $U1$ ,  $U2$  – уравнивательные обмотки

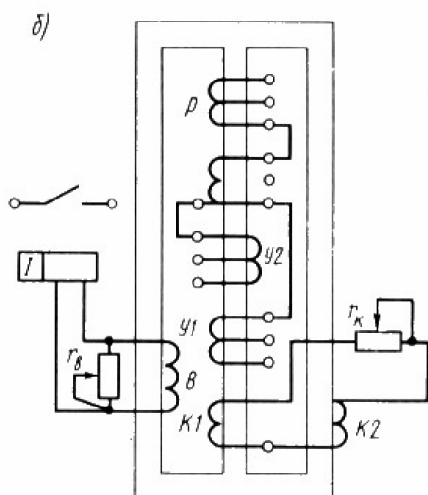
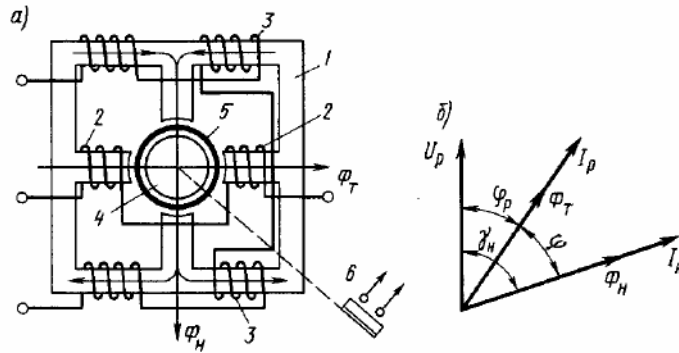


Рисунок 4 – Схема дифференциального реле РНТ

Настройка реле производится с помощью резисторов  $R_v$  и  $R_k$ . При этом добиваются, чтобы при включении реле оно становилось нечувствительным к токам намагничивания (к помехам) и к токам небаланса, возникающим в начальный момент КЗ. Это позволяет повысить чувствительность защиты. Все обмотки имеют отдельные выводы (гнезда) для регулирования и настройки.

Дифференциальное реле мощности **РБМ** используется для контроля изменения направления тока в устройствах направленной токовой защиты. Принцип его действия следующий.



1- магнитопровод, 2- обмотка, включенная последовательно нагрузке, 3- обмотка, включенная параллельно (в цепи напряжения), 4- неподвижный стальной сердечник, 5- алюминиевый ротор, 6- подвижные контакты

**Рисунок 5 - Устройство и принцип действия реле мощности РБМ**

При отклонении от нормального (расчетного) режима магнитные потоки  $\Phi_T$  и  $\Phi_H$ , создаваемые обмотками тока и напряжения, проходят по магнитопроводу и через сердечник 4 индуцируют в роторе 5 вихревые токи, в результате чего ротор поворачивается на определенный угол. При повороте ротора замыкаются контакты 6. Реле срабатывает только тогда, когда в обмотках 2 или 3 изменяется направление тока.

**Вспомогательные реле.** Используются для выполнения вспомогательных функций: задержки, размножения сигнала, усиления, сигнализации, контроля положения коммутационных аппаратов. Это – реле времени, промежуточные, сигнальные и другие. Примеры вспомогательных реле: времени РВ-, ЭВ- и др., промежуточные РП-231,232,241, -указательные РУ-21, РЭУ, РС.

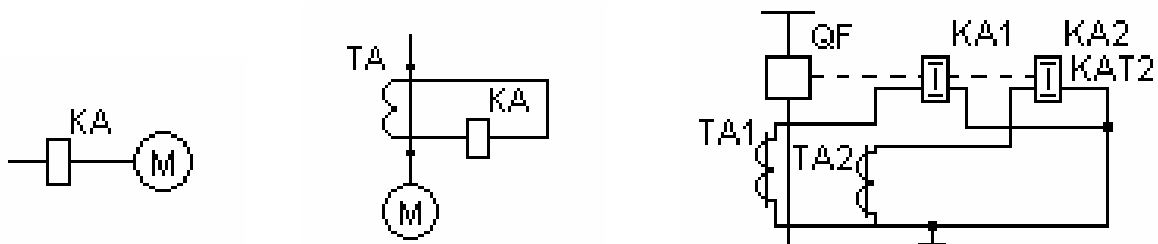
## Виды защиты электрических сетей и установок

Все основные реле, применяемые в схемах РЗ, включаются через трансформаторы тока или напряжения, поэтому для их питания используются схемы включения вторичных реле. Реле могут действовать на привод силового выключателя непосредственно (прямое воздействие), или через электромагнит отключения (косвенное воздействие). Реле и блоки могут включаться в одну, в две или в три фазы. Защита может срабатывать без выдержки и выдержкой времени. Питание основных реле в основном производится на переменном токе.

В электроустановках и сетях высокого напряжения применяются следующие виды защиты: МТЗ, отсечка, дифференциальная токовая защита, защита минимального и максимального напряжения, нулевая защита, земляная защита и другие.

**МТЗ - максимальная токовая защита** - защита от перегрузок и коротких замыканий. Она может действовать мгновенно или с выдержкой времени. Применяется для защиты электродвигателей; трансформаторов, воздушных и кабельных ЛЭП. Использует реле РТ-40

или Т-80. Защита может выполняться на одном, на двух или на трех реле, которые соответственно включаются в одну, в две, или в три фазы.

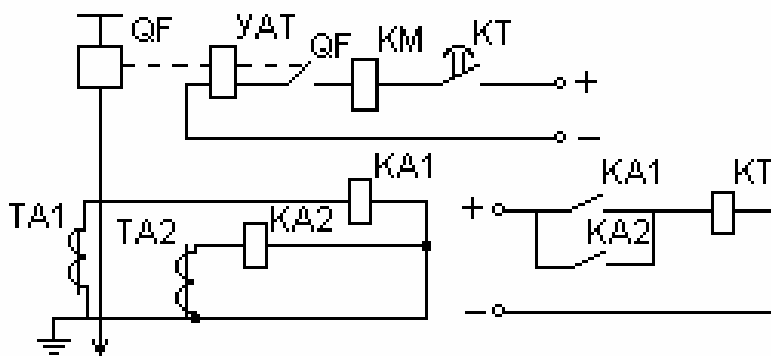


Первичное реле включено  
в главную цепь непосредственно.

Вторичное реле включено  
через тр-р тока

Вторичное реле и прямое действие на  
привод выключателя,

**Рисунок 6 – Первичное и вторичное реле, прямое воздействие на привод выключателя**



Вторичные реле и косвенное воздействие на привод выключателя. Оперативный ток – постоянный. Сначала срабатывает реле тока, затем реле времени, затем с выдержкой времени – электромагнит отключения выключателя YAT, контроль в двух фазах.

**Рисунок 7 - Схема включения с косвенным воздействием на привод выключателя и общий вид реле РТ-40**

На следующем рисунке показаны некоторые схемы включения реле тока: *схема а* – первичное реле и прямое воздействие на механизм свободного расцепления (МСР) силового выключателя; *схема б* – вторичное реле и прямое воздействие реле тока на МСР выключателя; *схема в* – вторичное реле и косвенное воздействие на привод силового выключателя, постоянный оперативный ток.

Применяются также схемы с независимой от тока характеристикой срабатывания, тогда при срабатывании любого реле оперативный ток подается на обмотку реле времени, которое в свою очередь с выдержкой времени (см. рис. ) замыкает свой контакт в цепи электромагнита отключения привода выключателя и указательного реле. Выключатель отключается, сигнальное реле КН также срабатывает и выбрасывает флажок (блинкер).

Существуют и другие схемы - с промежуточными реле на переменном о постоянном оперативном токе и с зависимой характеристикой времени срабатывания.

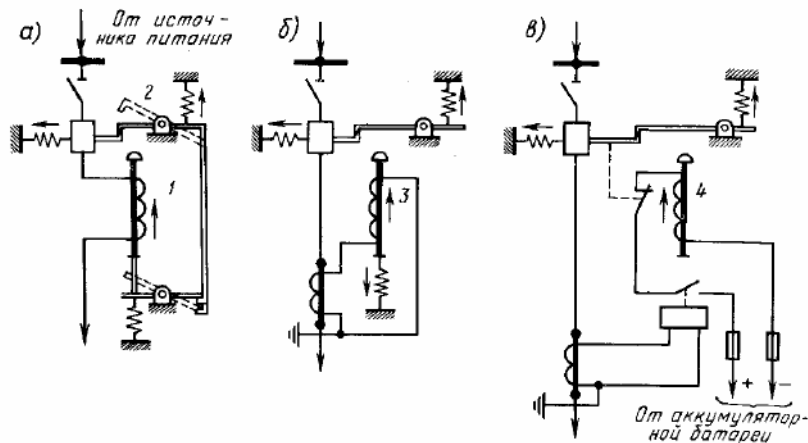


Рисунок 8 – Схемы действия реле тока  
Выбор уставок токов срабатывания МТЗ.

#### Условия выбора:

- Защита не должна срабатывать при прохождении максимального рабочего тока нагрузки (при пиковых нагрузках), в том числе защита не должна срабатывать при пуске мощных двигателей,
- Защита должна гарантированно срабатывать на защищаемом участке при КЗ и иметь коэффициент чувствительности КЧ в конце участка не менее 1,5.

У ячеек КРУВ (КРУРН) имеется шкала уставок МТЗ в приводе ячейки. На шкале есть шесть делений, которые соответствуют 100%; 140%; 160%; 200%; 250%; 300% номинального тока ячейки. Так, для ячейки с  $I_{НОМ}=50\text{А}$  эти деления соответствуют токам: 50А; 70А; 80А; 100А; 125А; 150А. Если необходим ток уставки  $I_{НОМ} \geq 130\text{А}$ , то следует выбрать шестую ступень с  $I_{у}=150\text{А}$ .

#### Для всех типов КРУ.

Ток срабатывания защиты в первичной цепи можно определить с учетом  $I_{НОМ.МАХ}$  тока нагрузки в номинальном режиме (например – режим пуска):  $K_3 = 1,1 - 1,25$  - коэффициент запаса;  $K_{С.З.} = 2 - 3$  - коэффициент самозапуска электродвигателей (после кратковременного отключения);  $K_{ВЗВ}=0,8-0,85$  -коэффициент возврата реле

$$I_{у1} \geq \frac{K_3 \cdot K_{С.З.}}{K_{ВЗВ}} \cdot I_{НОМ.маx}, \text{ А}$$

Ток уставки реле ( во вторичной цепи) можно определить, если разделить  $I_{у1}$  на коэффициент трансформации трансформатора тока  $K_{ТТ}$ .

$$I_{у2} \geq \frac{K_3 \cdot K_{С.З.}}{K_{ВЗВ} \cdot K_{ТТ}} \cdot I_{НОМ.маx}, \text{ А}$$

Если нет никаких данных для расчета токов уставки (срабатывания защиты), то можно ориентировочно принимать для первичной цепи  $I_{у} \approx 4I_{НОМ}$ .

#### Токсовая отсечка.

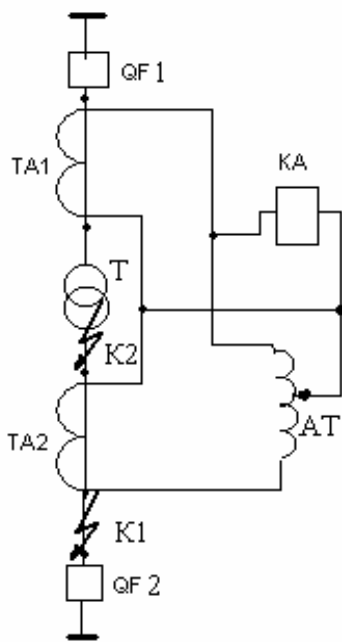
Это МТЗ, выполненная с мгновенным действием или с выдержкой времени. Токсовая отсечка (ТО) обычно защищает часть линии, поэтому применяется как дополнительная защита, что дает возможность ускорить отключение повреждений при небольших КЗ. При сочетании ТО с МТЗ получается ступенчатая по времени защита. При этом первая

ступень(отсечка) действует мгновенно, а последующие – с выдержкой времени. Выполняется на базе реле тока.

### Дифференциальная защита.

Основана на принципе сравнения токов в начале и в конце защищаемого участка, например трансформатора или мощного двигателя. Применяется в сочетании с другими видами защиты электроустановок:

- от внутренних повреждений
- от сверх токов – при внешних К.З.
- от перегрузки
- газовой (при мощности трансформаторов  $S \geq 6300$  кВА – на открытом воздухе, и более 400 кВА – внутри помещений).

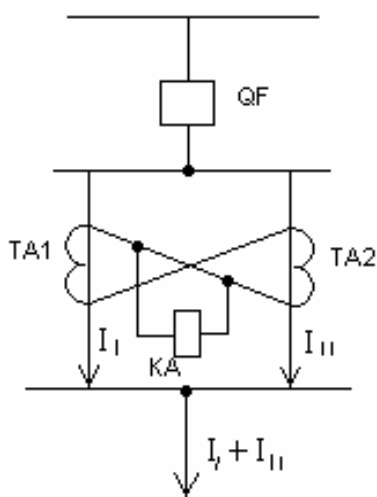


Дифференциальная защита может быть продольной и поперечной.

#### Продольная дифференциальная защита.

Участок между трансформаторами тока TA1 и TA2 является защищаемой зоной. Если TA1 и TA2 имеют одинаковые характеристики, то токи во вторичных цепях TA1 и TA2 будут одинаковы как при нормальном режиме, так и при коротком замыкании в точке K1 (за пределами защищаемой зоны). Обмотки их включены встречно, поэтому разность токов  $I_1 - I_2 = 0$ , поэтому тока в обмотке реле КА не будет и оно не сработает. При КЗ внутри защищаемой зоны в точке K2 по обмотке реле КА пройдет ток  $I_1 - I_2 \neq 0$  и реле сработает, и выдает импульс на отключение силового выключателя. Дифференциальная защита надежна, высокочувствительна, быстро действует, т.к. отключается только поврежденный участок. К недостаткам относятся следующее: не обеспечивает отключение при внешних КЗ; требуется устанавливать автотрансформатор АТ для уравнивания тока небаланса (т.к. у трансформаторов тока разные коэффициенты трансформации). Работает на базе реле РНТ – 565 с быстронасыщающимися трансформаторами.

#### Поперечная дифференцированная защита.



Применяется для защиты параллельных линий, подключенных к линиям подстанции через общий выключатель. Здесь вторичные обмотки трансформаторов тока подключают встречно, т.е. на разность токов. Используют реле и включают токовое реле РТ-40 или ЭТ=521 мгновенного действия). Ток, протекающий по реле равен разности токов, т.к. реле включены встречно:  $I_p = I_1 - I_2$  т.е. разности токов вторичных обмоток трансформаторов

тока. При нормальной работе  $I_p = 0$  или очень мал (т.н. ток небаланса) и реле отстраивается так, чтобы ток был недостаточен для срабатывания. Если на одной из линий будет короткое замыкание, то в обмотке одного из трансформаторов тока ток будет больше, чем у другого и в результате разность токов будет большая и реле сработает и даст импульс на отключение силового выключателя.

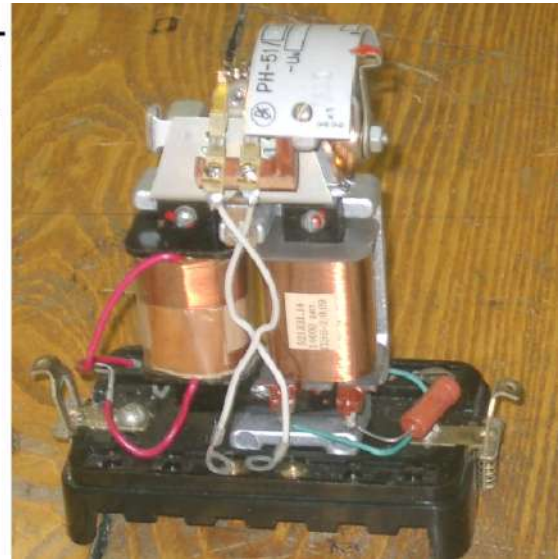
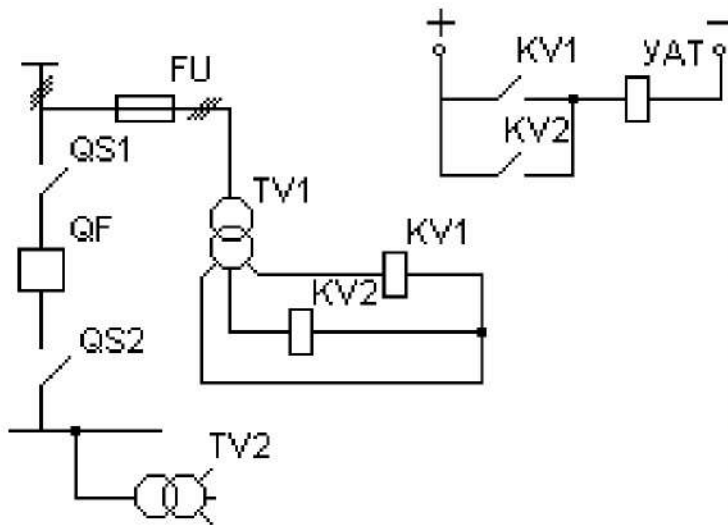
### Защита минимального и максимального напряжения

Предназначена для защиты электроустановок от увеличения или от уменьшения напряжения. Для этой цели используются специальные высокочувствительные реле напряжения серии РН –50. Они выпускаются для переменного и постоянного тока. Реле напряжения серии РН-50 выпускаются для контроля максимального напряжения (РН-51; РН-53; РН-58) и для контроля минимального напряжения (РН-54). Они срабатывают при повышении или снижении напряжения по отношению к заданной величине.

**Таблица 4 - Характеристика реле РН-51(для постоянного тока)**

	РН-51/1,4	РН-51/6,4	РН-51/32
$U_{ном,В}$ <i>последовательное</i> <i>параллельное</i>	$\frac{8}{4}$	$\frac{60}{30}$	$\frac{100}{50}$
$U_{ном,В}$ <i>последовательное</i> <i>параллельное</i>	$\frac{1,4}{0,7}$	$\frac{6,4}{3,2}$	$\frac{32}{16}$

Реле напряжения включаются через трансформатор напряжения с контролем одной, двух или трех фаз. При уменьшении напряжения в сети до величины уставки реле последнее срабатывает с воздействием на электромагнит отключения силового выключателя.



**Рисунок 9 - Схема работы защиты минимального напряжения и общий вид реле РН-51**

**Таблица 5 - Характеристика реле РН-53 и РН-58**

Соединение обмоток	Параллельное		Последовательное		Коэффициент возврата $K_{взр}$
	$U_{срАБ,В}$	$U_{ном,В}$	$U_{срАБ,В}$	$U_{ном,В}$	
реле					
РН-53/60	15-30	30	30-60	60	0,8

-53/200	50-100	100	100-200	200	0,8
РН-53/400	100-200	200	200-400	400	0,8
РН-58	50-100	100	100-200	200	0,85

**Таблица 6 - Характеристика реле РН-54**

	РН-54/48	РН-54/160	РН-54/320
Уставка срабатывания, В			
<i>последовательное</i>	$\frac{12 - 24}{24 - 48}$	$\frac{40 - 80}{80 - 160}$	$\frac{80 - 160}{160 - 320}$
<i>параллельное</i>			
Номинальное напряжение, В	30	200	400
Коэффициент возврата $K_{взр}$ не выше	1,25	1,25	1,25

### Защита от замыканий на землю.

Применяется в сетях напряжением 6÷35 кВ, а они в основном с изолированной нейтралью, с малыми токами замыкания на землю. В таких сетях однофазные замыкания на землю непосредственной опасности не представляют, пока 1-фазное замыкание не перейдет в 2-х фазное и станет опасным для оборудования и персонала.

Существует много схем и способов защиты от замыканий на землю в т.ч. и в карьерных сетях. Принцип их действия основан на применении токовых и направленных устройств, реагирующих на ток, напряжение или мощность нулевой последовательности. Далее этот сигнал передается на устройства, реагирующее на величину нулевой последовательности и действующее на отключение источника. Измерительными органами таких схем являются высокочувствительные реле и блоки: РТЗ-50; -51; РТ-40/02; ЭТД-551, РЗН-3 – реле направленной защиты, ЗЗП-1М - реле мощности.

В качестве датчиков сигналов нулевой последовательности промышленность выпускает трансформаторы тока нулевой последовательности ТЗ, ТЗР, ТЗЛ, ТФ, ТТНП-2 и



**Рисунок 10 - Трансформатор тока нулевой последовательности (ТТНП).**

др. Эти трансформаторы тока предназначены для установки их на кабельных линиях или кабельных вставках. В качестве реагирующих органов токовой защиты применяют реле РТ-40/0,2, РТЗ-50, РТЗ-51, ЭТД-551 и другие, в том числе электронные блоки и процессоры. Так, находят применение датчики тока CSH-120 и CSH-200, компании SCHNEIDER, работающие совместно с цифровыми системами защиты.



Трансформатор остаточного тока CSH



Датчик (трансформатор) напряжения VRO

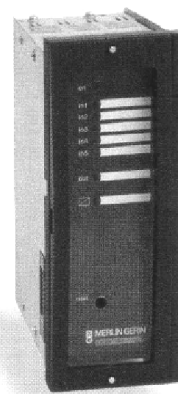
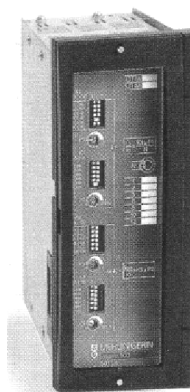


Датчик (трансформатор) тока

**Рисунок 11 – Общий вид современных датчиков тока и напряжения фирмы Шнейдер-Электрик**



**Блок Seram-2000**



**Блок Seram-1000**

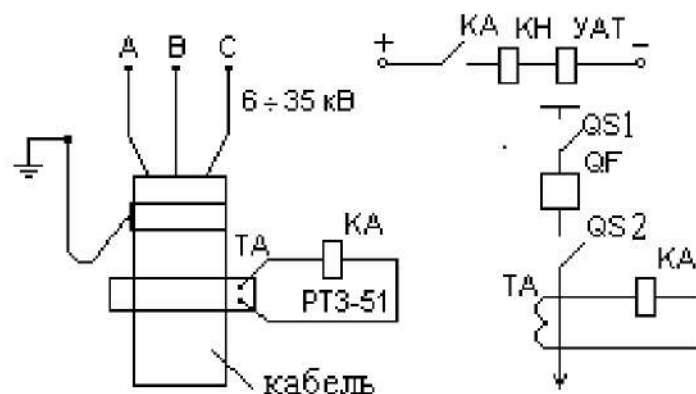


**Рисунок 12 – Снятие характеристик с помощью выносного пультa**



**Рисунок 13 - Общий вид ячеек MC-set с встроенными системами защиты Seram и разрез ячейки с выключателем .**

**Современные системы защиты зарубежных производителей.** В настоящее время находят применение современные средства и системы защиты на базе микропроцессорной техники. Достоинством таких систем является надежность, быстроедействие, возможность автоматического регулирования уставок срабатывания в связи с изменяющимися параметрами сети. Использование цифровых технологий обеспечивает постоянную готовность к работе, простоту управления и исключение ошибок персонала, безопасность, а также, несмотря на большие капитальные затраты, приводит к снижению эксплуатационных затрат. Так, оборудование фирмы Шнейдер Электрик позволяет устанавливать все необходимые виды защит с помощью блоков серии Seram, в том числе модели 100, 1000, и 2000.



**Рисунок 14 – Схема работы реле земляной защиты**

Опыт эксплуатации направленных устройств защиты от замыканий на землю в распределительных сетях карьеров показывает, что имеющиеся средства пока не отвечают требованиям эксплуатации электрических сетей. Имеются 10 – 20 процентов ложных случаев срабатывания, так как расположение, длина карьерных сетей постоянно изменяются и возникают переходные процессы при работе большого количества электрических машин. В

настоящее время в сетях карьеров применяются реле типа УАКИ, а также проходят испытания различные устройства, использующие новые системы и элементную базу, например: УСЗС- устройство защиты от токов утечки, УСЗ-2;3;3М – работают на принципе сравнения токов высших гармоник, ИЗС – импульсная защита направленная - использует принцип контроля направления электромагнитных волн фаза-земля (волна распространяется от места повреждения). Большинство из них используют ток небаланса, учитываемый трансформаторами нулевой последовательности. Реле РТЗ-51 разработано и выпускается промышленностью взамен реле РТЗ-50 и обладает более стабильными эксплуатационными характеристиками.

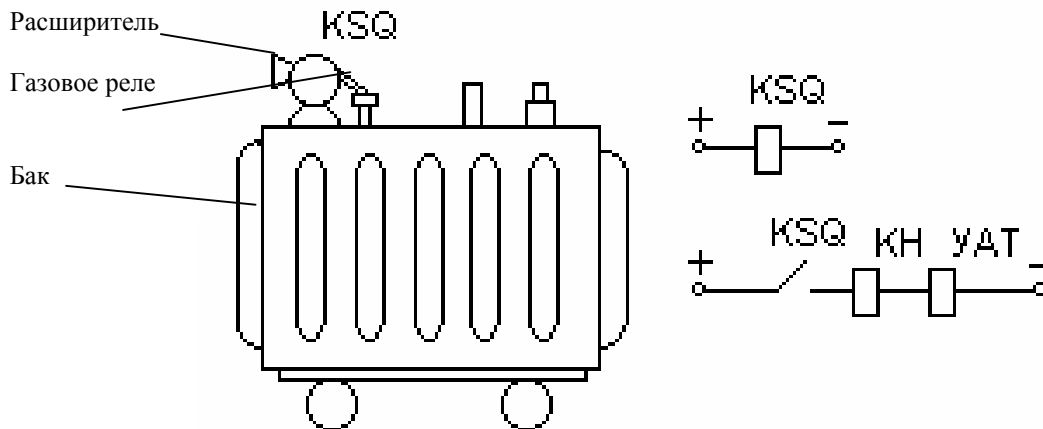
Реле предназначено для использования совместно с трансформаторами тока нулевой последовательности в качестве органа, реагирующего на ток нулевой последовательности в схемах защит от замыканий на землю генераторов, двигателей и линий с малыми токами замыкания на землю и в других схемах устройств релейной защиты.



**Реле РТЗ-51**

### Газовая защита.

Выполняется для защиты маслонаполненных трансформаторов от внутренних повреждений (межвитковых КЗ). При КЗ. внутри трансформатора начинается усиленное газовыделение и резкое повышение давления, что может привести к выходу из строя трансформатора, в том числе к его разрушению. Газы при этом направляются через реле, установленные в



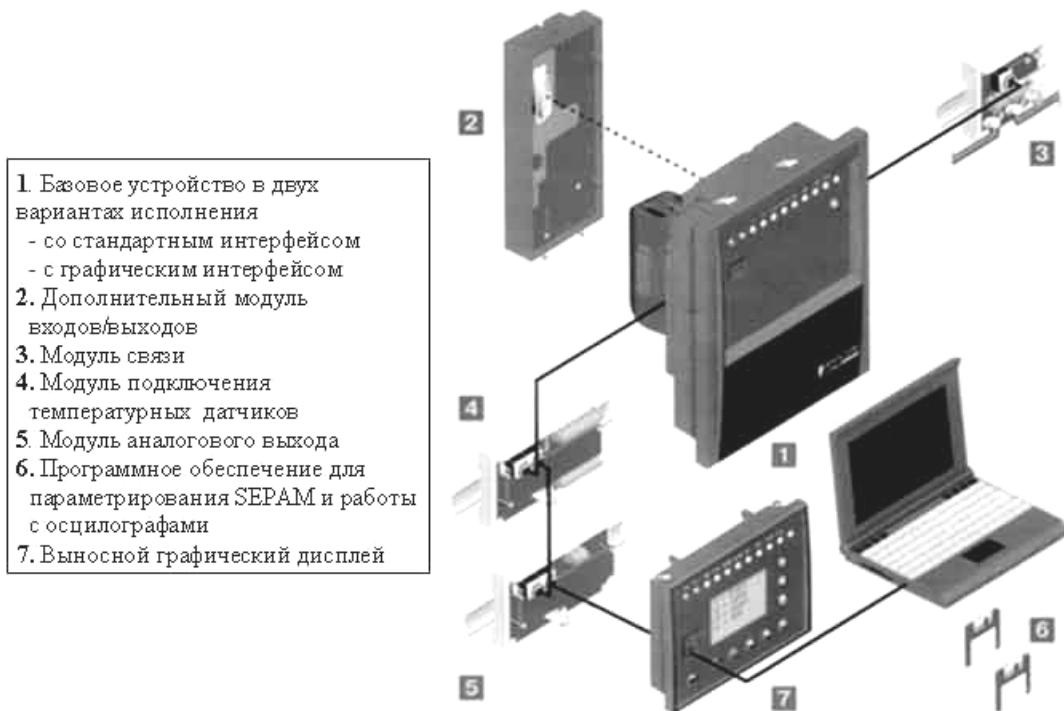
**Рисунок 15 – Схема работы газовой защиты**

трубопроводе, соединяющем бак трансформатора с расширителем. Под давлением газа или потока масла поворачивается чувствительный элемент газового реле и происходит замыкание контактов, далее работает штатная схема с действием на отключение трансформатора. В реле ПГ-22 чувствительным элементом является поплавок. В реле типа РГЗ-61 имеется колба с контактами и ртутью. При повороте колбы контакты замыкаются. В реле типа РГЧЗ имеется чашечка с лопастью, которая поворачивается от движения потока газа или масла.

Газовая защита обязательна:

- для трансформаторов мощностью  $S$  более 6300 кВА,

- для трансформаторов мощностью 400 и более кВА внутри цехов;
- Для трансформаторов мощностью от 1000÷4000 кВА обязательна при отсутствии дифференциальной защиты или МТЗ.



**Рисунок 16 – Комплект аппаратуры защиты Seram**

### **Защита отдельных линий, установок и машин.**

Все установки, сети, машины высокого напряжения должны быть обеспечены соответствующими видами защиты, которые выбираются и устанавливаются в соответствии с требованиями ПУЭ.



**Рисунок 17 - Вид сборки из реле времени, тока, напряжения, земляной защиты и сигнальных реле.**

### **Защита мощных электродвигателей.**

Виды защиты выбираются в зависимости от мощности двигателя.

При мощности до 2000 кВт должны быть:

- Максимальная защита от КЗ на шпильках
- Защита от замыканий на землю (корпус)
- МТЗ от перегрузок, в т.ч. затянувшегося пуска
- Защита от потери питания (минимальная, нулевая)
- Защита от асинхронного режима при Р до 2000 кВт;

Дополнительно при мощности Рот 2000 до 5000 кВт:

- Отсечка с контролем 1 фазы

Дополнительно при мощности более 5000 кВт

- Отсечка в 2х фазах и продольная дифференциальная защита.

#### **Защита КЛ и ВЛ**

При напряжении от 6 до 35 кВ:

- от КЗ - максимальная токовая защита, отсечка без выдержки времени
- от замыканий на землю – земляная с действием на сигнал или на отключение с выдержкой времени
- от перегрузок МТЗ с зависимой характеристикой срабатывания
- Дифференциальная поперечная с действием на отключение

**Защита трансформаторов ГПП и КТП напряжением выше 6 кВ.** Выбирается в зависимости от мощности трансформатора и его типа.

- от КЗ в обмотках и выводах
- от замыканий на землю в обмотках и выводах
- от витковых замыканий в обмотках
- от внешних КЗ
- от перегрева магнитопровода и масла
- от повышения давления
- от перегрузок
- от снижения уровня масла

Наиболее часто применяются следующие виды защиты:

- Продольная дифференциальная мгновенного действия на базе реле РНТ или блоков ДЗТ )
- Отсечка (если нет ДЗ)
- МТЗ трехфазная, двух- или трехрелейная на базе реле РТ-40 или РТ-80
- Газовая на сигнал или отключение.
- Земляная на базе реле РТЗ-51 или аналогичного.

#### **Защита конденсаторных установок при напряжении 6 – 10 кВ.**

Конденсаторные установки напряжением 6 – 10 кВ должны иметь защиту от перегрузок, коротких замыканий, перенапряжения, от замыканий на землю. При этом используются реле тока, реле напряжения и специальные блоки.

- От 2-х и 3-х фазных КЗ - отсечка мгновенного действия на двух реле РТ-40
- От перегрузок более 130 % номинальных – МТЗ на трех реле РТ-80
- От повышения напряжения более 110 % номинального защита от максимального напряжения на реле РН – 50 с выдержкой времени 3 ÷ 5 мин.
- От замыканий на землю – земляная защита на базе реле РТЗ – 51 или аналогичных.



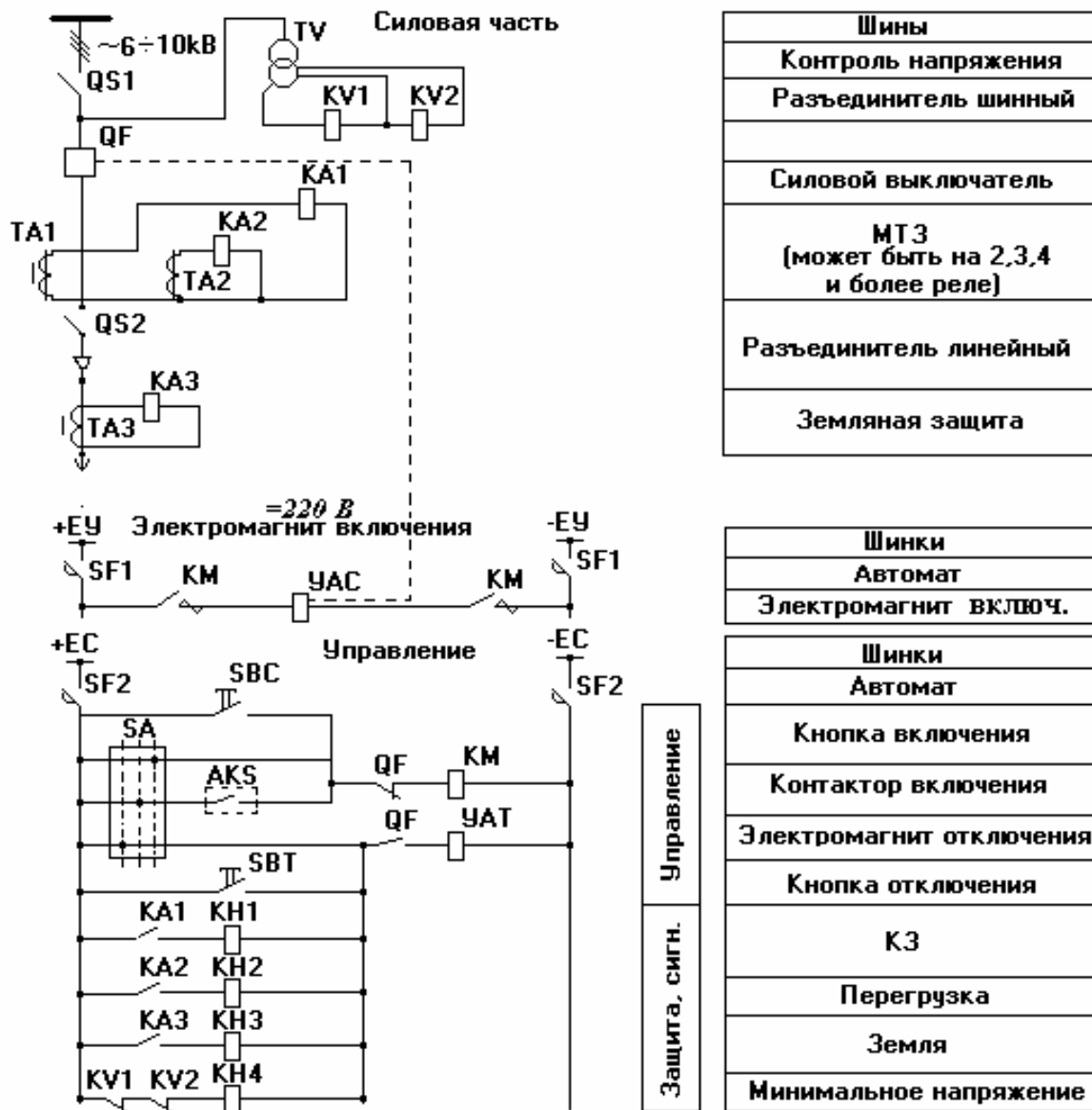


Рисунок 18 – Типовая схема релейной защиты КРУ с силовым выключателем

9. Ограничение повышения напряжения.
10. Предотвращение перегрузки оборудования.
11. Диспетчерского контроля и управления (АУ, ТС, ТУ, ТК, ТИ, ТР).

ПУЭ регламентируют: действие всех систем автоматики и автоматических устройств должно быть согласовано между собой. Все они должны быть включены в состав проекта предприятия.

В настоящей работе рассматриваются устройства по п.п. 1, 2, 5, 8, 9, 10.

## АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПОВТОРНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ (АПВ).

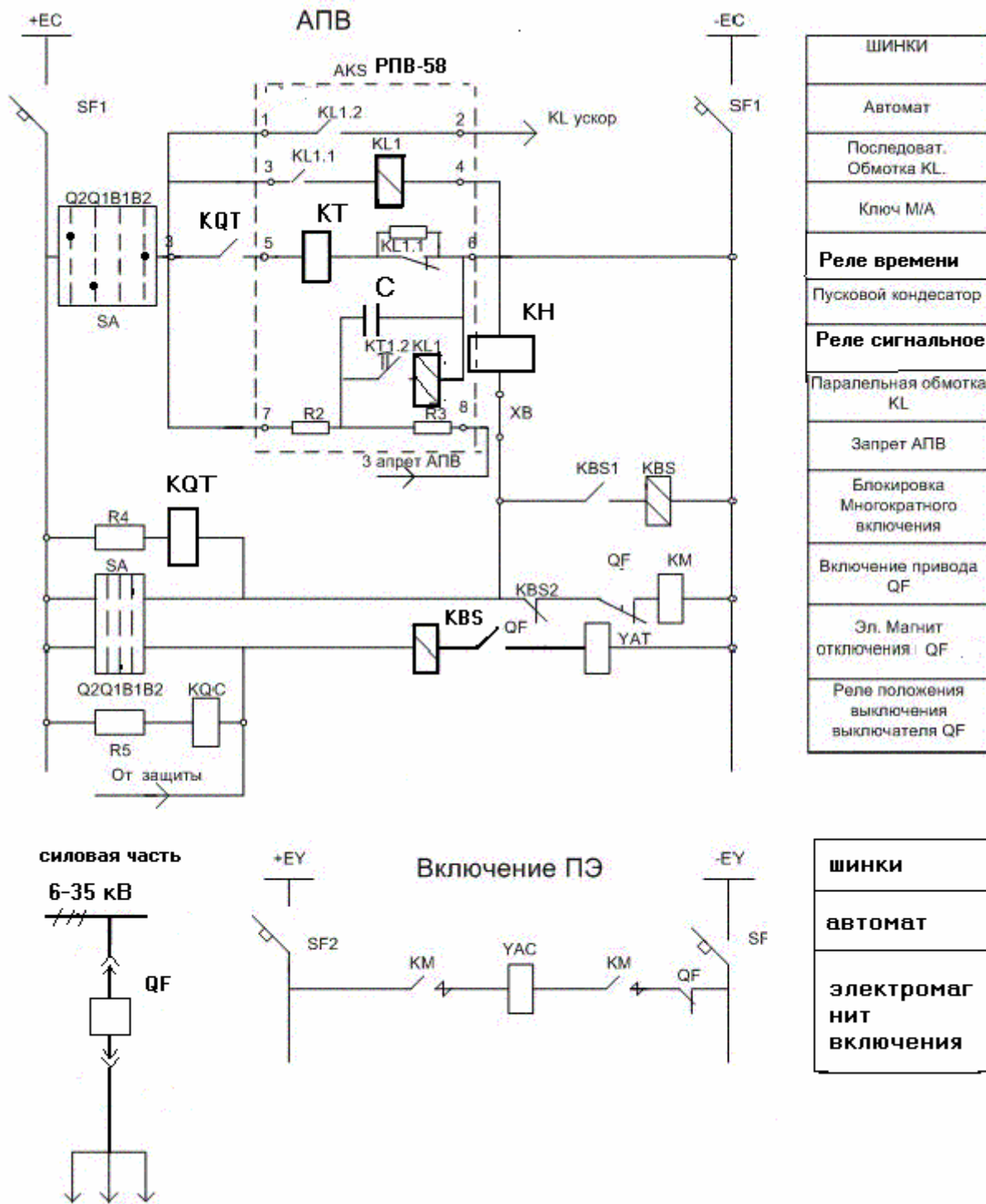


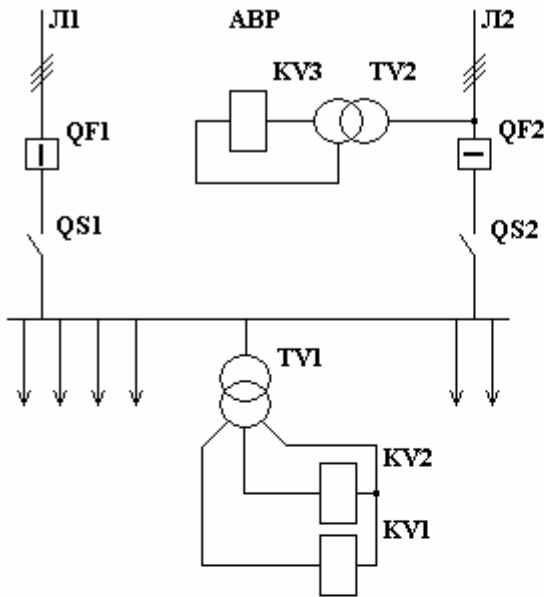
Рисунок 19 - Схема автоматического повторного включения (АПВ)

АПВ предназначено для включения линии или отдельных фаз линий после их отключений в результате действия защиты или по другим причинам (кроме отключения персоналом).

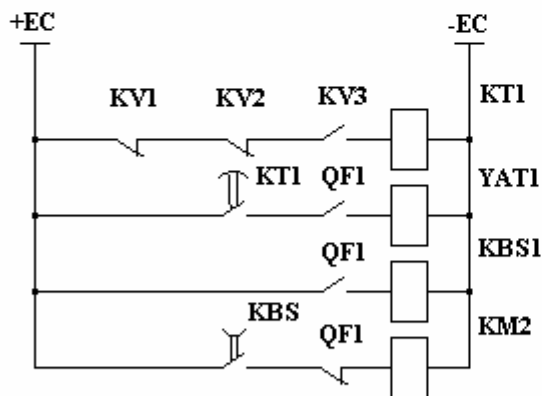
АПВ - предусматривается для быстрого восстановления питания путем быстрого автоматического включения выключателей QF, отключаемых устройствами РЗ и А.

АПВ - обязательно для всех ВЛ и КЛ при напряжении от 1 до 35 кВ, выше 35 кВ - по проекту.

**АПВ должно работать таким образом, чтобы оно не действовало при намеренном отключении QF персоналом местно, дистанционно или с помощью ТУ. АПВ не должно**



Л1 - в работе
Л2 - в резерве
Контроль напряжения на Л2
Выключатели QF1 вкл., QF2 откл.
Разъединители нормально включены
Шины 6,10,35кВ
Контроль напряжения на шинах подстанции



Шинки управления
Реле времени
Электромагнит отключения 1-го выключателя
Блокировка многократного АБР
Контактор включения второго выключателя



Шинки включения ПЭ
Автомат
Электромагнит включения 2-го выключателя

**Рисунок 20 - Схема автоматического включения резерва (АВР)**

работать при внутренних повреждениях. Не допускается многократное включение на КЗ при любых неисправностях в системе АПВ. Наиболее часто применяется однократное АПВ. Многократное АПВ применяется при напряжении выше 6 ÷ 10 кВ.

Время срабатывания АПВ:

- первый раз - 0,5 ÷ 1,5с
- вторая попытка – через 10 ÷ 15с
- третья попытка – через 60 ÷ 120с

-На горных предприятиях применяется однократное АПВ.

АПВ бывает двух видов:

- механическое (на пружинных и грузовых приводах QF) - однократное;

- электрическое (на любых приводах) с помощью специального реле типа РПВ - может быть многократным.

АПВ обычно встраивается в конструкцию КРУ или легко совмещается с его электрической схемой. АПВ часто выполняется на базе реле РПВ-58; -258; -358 и их модификаций.

## АВТОМАТИЧЕСКОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ РЕЗЕРВА (АВР)

### Требования к системам АВР.

1. АВР действует при исчезновении напряжения на шинах подстанции по любой причине.
2. Включение АВР производится как можно быстрее, сразу после отключения рабочего источника питания.
3. АВР действует однократно. Включение резервной линии не должно произойти ранее, чем отключится выключатель основной линии.
5. АВР действует только при отключении (аварии) на питающей линии (не на отходящих линиях, так как в этом случае включение на КЗ не имеет смысла, так как срабатывает защита и на резервной линии).

Оперативный ток для АВР - постоянный или переменный.

Время срабатывания АВР зависит от количества и мощности электродвигателей, при пуске которых может произойти посадка напряжения, коэффициента срабатывания реле напряжения и допустимой величины минимального напряжения.

### АРТ и АЧР.

**АРТ** – автоматическая разгрузка по току. Применяется в том случае, когда питание потребителей переключается, (например в результате срабатывания АВР) с основного на резервный источник питания меньшей мощности; и этой мощности не хватает даже с учетом допустимой перегрузки. Система автоматики настраивается таким образом, чтобы в этом случае отключить (автоматически) наименее важные объекты, а при восстановлении питания линии – вновь подключить.

Элементная база системы: реле РТ-80 или РТ-40, и реле времени.

**АЧР** – автоматическая частотная разгрузка. Эта система действует при снижении частоты в сети ниже допустимой и применяются для поддержания ее на заданном уровне.

Номинальное значение частоты сети:  $50 \pm 0,1$  ГЦ. Допустимое  $50 \pm 0,2$  ГЦ. Для аварийных режимов – допустимая частота **не менее 48 ГЦ**. Элементная база – реле частоты РЧ-1 и др.

В системах электроснабжения предприятий применяется метод АЧР по абсолютному значению частоты. Принцип ее действия заключается в срабатывании реле РЧ при снижении значения частоты сети (задаваемой энергосистемой), после чего включается программа автоматического (или по команде диспетчера) поочередного отключения части менее ответственных потребителей. После восстановления частоты до нормального значения – потребители поочередно включаются.

## Контрольные вопросы по разделу РЗ и А.

- Что означает термин "релейная защита". ( РЗ ) ?
- На что воздействуют средства РЗ?
- Укажите основные требования к РЗ.
- Что такое селективность действия защиты?
- Что такое чувствительность защиты?
- Какого рода оперативный ток применяется в схемах РЗ?
- Что является источниками оперативного тока?
- Перечислите наиболее распространенные виды защиты.
- Укажите основные реле, применяемые в схемах РЗ.
- Укажите вспомогательные реле, применяемые в схемах РЗ.
- Укажите основные контролируемые параметры систем РЗ.
- Какой параметр электрической сети контролируется обязательно?
- В чем отличие первичных и вторичных реле?
- В чем отличие реле прямого действия и косвенного действия?
- Какое реле имеет зависимую характеристику срабатывания (время срабатывания зависит от тока)?
- От чего защищает реле РТ-40 ? От чего защищает реле РТ-80?
- От чего защищают реле серии РН-50?
- В какой защите может применяться реле РНТ?
- От чего защищает реле РТЗ-51?
- В каких трансформаторах может применяться газовая защита?
- При какой мощности трансформатора газовая защита обязательна?
- Какие реле предназначены для максимальной защиты и отсечки?
- Какие максимальные реле позволяют регулировать выдержку времени при срабатывании?
- На какую величину тока рассчитаны реле РТ-40?
- Какую величину уставки времени срабатывания имеют реле РТ-80 и РТ-90?
- В чем отличие конструкции реле РТ-40 и РН-50?
- Как действуют защиты в схемах РЗ линий 6-35 кВ?
- Какие защиты применяются в схемах защиты линий 6-35 кВ?
- какие реле и блоки могут использоваться в схемах земляной защиты кабельных линий?
- Какие виды защиты применяются для защиты конденсаторных установок?
- Для чего применяется дифференциальная защита?
- Какие защиты применяются для защиты трансформаторов ГПП и КТП?
- В каких случаях применяются в системах РЗ и А дифференциальные реле?
- На что реагируют дифференциальные реле РНТ и РБМ?
- Укажите принципы действия вращающегося элемента (диска) реле РТ-80 и РТ-90?
- Для чего предназначена система АПВ ?
- В каком случае система АПВ не будет срабатывать ?
- В каких случаях применение АПВ обязательно ?
- При каком напряжении применяется однократное АПВ ?
- Укажите стандартные величины напряжения питающих линий выше 1000 В.
- В каких случаях применяется многократное АПВ ?
- Для чего в схеме АПВ у реле КЛ1 имеется две обмотки ?
- Из каких основных частей состоит реле РПВ-58 ?
- За счет чего обеспечивается однократность в схеме АПВ ?
- Покажите на схеме АПВ алгоритм включения силового выключателя QF.
- В схеме АПВ покажите цепь срабатывания контактора включения КМ.
- В схеме АПВ покажите цепь срабатывания электромагнита УАТ .
- Какая выдержка времени устанавливается для срабатывания АПВ на горных предприятиях?

Какие выдержки времени применяются в схемах АПВ для многократных включений?

Какой элемент схемы АПВ дает команду на пуск АПВ?

Укажите, как отреагирует схема АПВ при выходе из строя обмотки сигнального реле КН?

Допускается ли многократное АВР?

На каких линиях применяется АВР?

Какова величина бестоковой паузы при использовании АВР ?

В схеме АВР какие элементы контролируют наличие напряжения на шинах ?

Почему в схемах КРУ шинки ЕУ питаются отдельно от шинок ЕС ?

Покажите в схеме АВР, какие элементы не позволяют одновременно включиться двум выключателям QF1 и QF2 ?

Расшифруйте условные буквенные обозначения элементов схем АПВ и АВР; KV, KL, KT, KBS, КН.

Какая система должна автоматически включиться при переходе питания ГПП предприятия на резервный источник, имеющий меньшую мощность?

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Абзалов Р.Ф. и др. "Электрооборудование и электроснабжение горных предприятий", М. Недра; 1977.
2. Авсеев Г.М., Алексеенко А.Ф., Гармаш И.Л. Сборник задач по горной электротехнике – М.: Недра, 1988.
3. Беккер Р.Г., Дектярев Б.В. и др. Электрооборудование и электроснабжение участка шахты. Справочник – М.: Недра, 1983.
4. Бородино Л.С. Горная электротехника – М.: Недра, 1981.
5. Груба В.И., Калинин В.В., Макаров М.И. Монтаж и эксплуатация электроустановок – М.: Недра, 1991.
6. Гурин Н.А., Янукович Г.И. "Электрооборудование промышленных предприятий и установок. Пособие по дипломному проектированию", Минск, Высшая школа; 1990.
7. Дзюбан В.С., Риман Я.С., Маслий А.К. Справочник энергетика угольной шахты – М.: Недра, 1983.
8. Дзюбан В.С. Пархоменко А.И. и др. Справочник по взрывозащитному оборудованию. – К.: Техника, 1990.
9. Колосюк В.П. Техника безопасности при эксплуатации рудничных электроустановок – М.: Недра, 1987.
10. Конюхова Е.С. Электроснабжение объектов. М, Энергоатомиздат, 2001
11. Липкин Б.Ю. " Электроснабжение промышленных предприятий и установок", М. Высшая школа; 1990.
12. Медведев Г.Д. "Электрооборудование и электроснабжение горных предприятий", М. Недра; 1988.
13. Назаров А.И., "Методическое пособие по расчету и выбору аппаратов управления и защиты до 1000 В.", Кострома; 1999.
14. Назаров А.И. Основы проектирования электроснабжения предприятий и установок. Кострома, 2000.
15. Назаров А.И. Электрическое оборудование напряжением выше 1000 В., Кострома, 2000.
16. Назаров А.И. Выбор электрического оборудования. Справочное пособие, Кировск, 2004.
17. Правила безопасности в угольных и сланцевых шахтах – М.: Недра, 1978.
18. Правила устройства электроустановок, М., Энергоатомиздат, 2002.
19. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей, М., Энергоатомиздат, 2003.
20. Сибикин Ю.Д. "Справочник молодого рабочего по эксплуатации электроустановок промышленных предприятий", М. Высшая школа; 1992.
21. Цапенко Е.Ф., Мирский М.И., Сухарев О.В. Горная электротехника – М.: Недра, 1986.