

АВТОМАТИЧЕСКИЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ. ОБЩИЕ

Автоматический воздушный выключатель (автомат) –

электрический аппарат, предназначенный для автоматического отключения электрической цепи при:

- перегрузках,
- коротком замыкании,
- чрезмерном понижении напряжения питания,
- изменении направления мощности;
- для редких включений и отключений вручную номинальных токов нагрузки.

Основными параметрами автоматов являются:

- ✓ **собственное время** (время от момента достижения током величины тока срабатывания до начала расхождения контактов)
- ✓ **полное время отключения,**
- ✓ **номинальный длительный ток,**
- ✓ **номинальное напряжение,**
- ✓ **предельный ток отключения.**

Собственное время отключения обыкновенного автомата – 0,01 с. Kontakтами такого автомата отключается ток установившегося короткого замыкания.

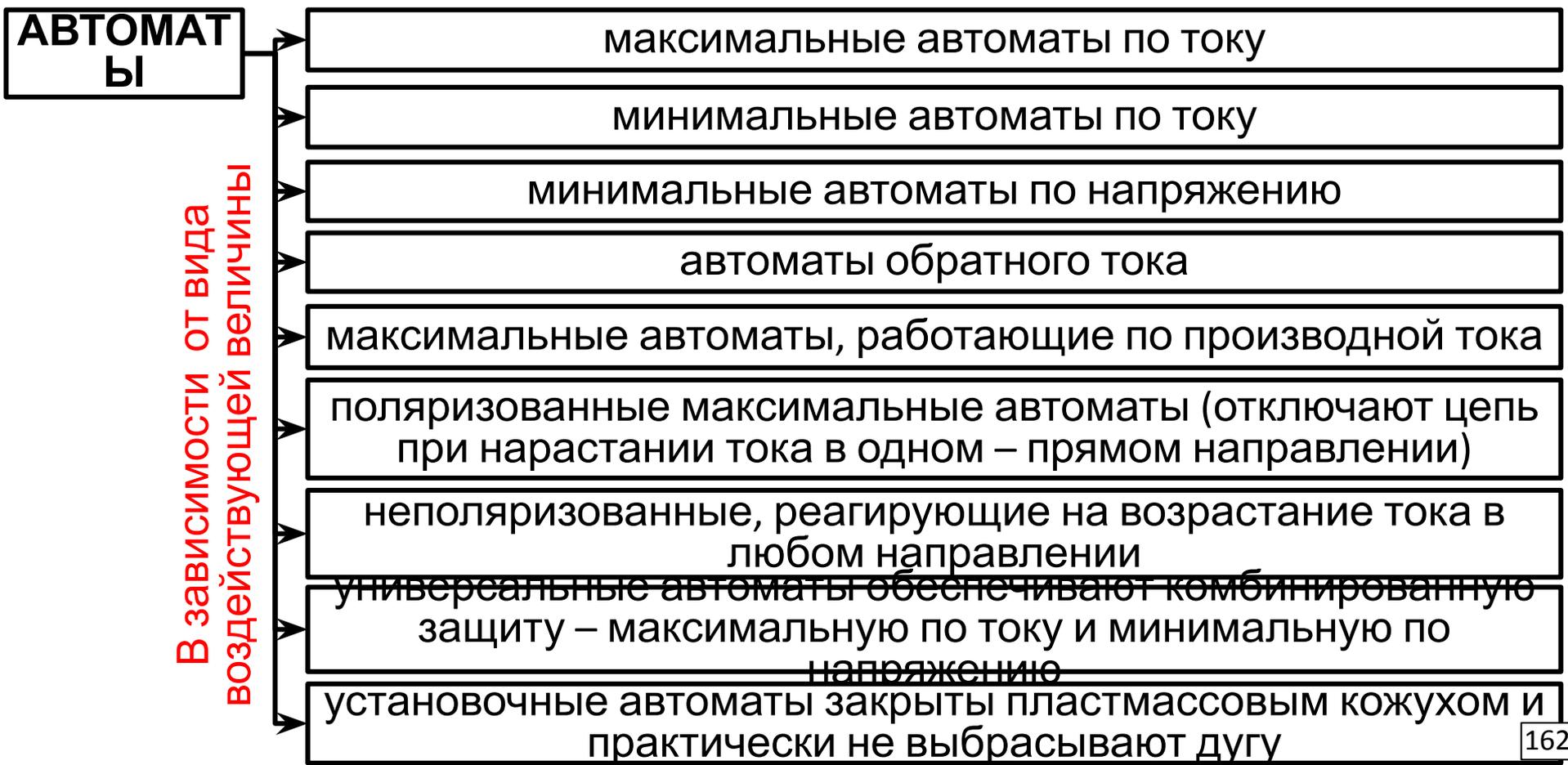
В быстродействующих автоматах собственное время отключения сокращается до 0,002–0,008 с. Такой автомат обеспечивает

АВТОМАТИЧЕСКИЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ. ОБЩИЕ

К автоматам предъявляются следующие требования:

СВЕДЕНИЯ

- ✓ токоведущая цепь автомата должна пропускать номинальный ток в течение сколь угодно длительного времени,
- ✓ автомат должен обеспечивать многократное отключение предельных токов короткого замыкания,
- ✓ автоматы должны иметь малое время отключения и обеспечивать селективность.



АВТОМАТИЧЕСКИЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ.

КОНСТРУКЦИИ И ТИПЫ

В автомате на ток более 200 А (рисунок) токоведущая цепь имеет главные 3 и дугогасительные 1 контакты.

Включение автомата может производиться вручную рукояткой 12 или электромагнитом 4. Ручные приводы применяются при номинальных токах до 200 А. При токах до 1 кА применяются электромагнитные приводы. Недостатком электромагнитного привода являются большие скорости движения и удары в механизме, которые могут приводить к вибрации контактов.

В автоматах на токи 1500 А и выше желательно применение электродвигательного привода. Звенья 6, 7 и упор 13 образуют механизм свободного расцепления.

Функции этого механизма следующие: передача движения от привода к контактам и удержание их во включенном положении, освобождение контактов при отключении, сообщение контактам скорости, необходимой для гашения дуги, фиксация контактов в отключенном положении и подготовка автомата для нового включения.

Отключение автомата может производиться рукояткой 12 или с помощью тепловых и электромагнитных расцепителей 5, 8, 10, 11. Наиболее распространены максимальные расцепители, в которых широко используются электромагнитные системы и тепловые системы с биметаллической пластиной. Электромагнитный расцепитель 8 прост по конструкции, обладает высокой электродинамической и термической стойкостью, а также стойкостью к механическим воздействиям. Расцепление происходит за счет удара, в котором основную роль играет

АВТОМАТИЧЕСКИЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ.

конструкции и типы

Для создания выдержек времени между электромагнитом и механизмом свободного расцепления ставятся устройства задержки. Наиболее просто зависящая от тока выдержка времени получается с помощью тепловых расцепителей, аналогичных по конструкции тепловым реле. Однако такие расцепители имеют ряд недостатков: слабая термическая стойкость требует высокого быстродействия при отключении больших токов, выдержка времени зависит от температуры окружающей среды, малая термическая стойкость тепловых расцепителей определяет малую допустимую длительность короткого замыкания, что затрудняет получение необходимой селективности.

Более совершенной является защита с помощью полупроводникового расцепителя.

Для дистанционного отключения автомата устанавливается независимый электромагнитный расцепитель 11. Минимальный расцепитель 10 выполняется также электромагнитного типа. Необходимая скорость расхождения контактов обеспечивается пружиной 9.

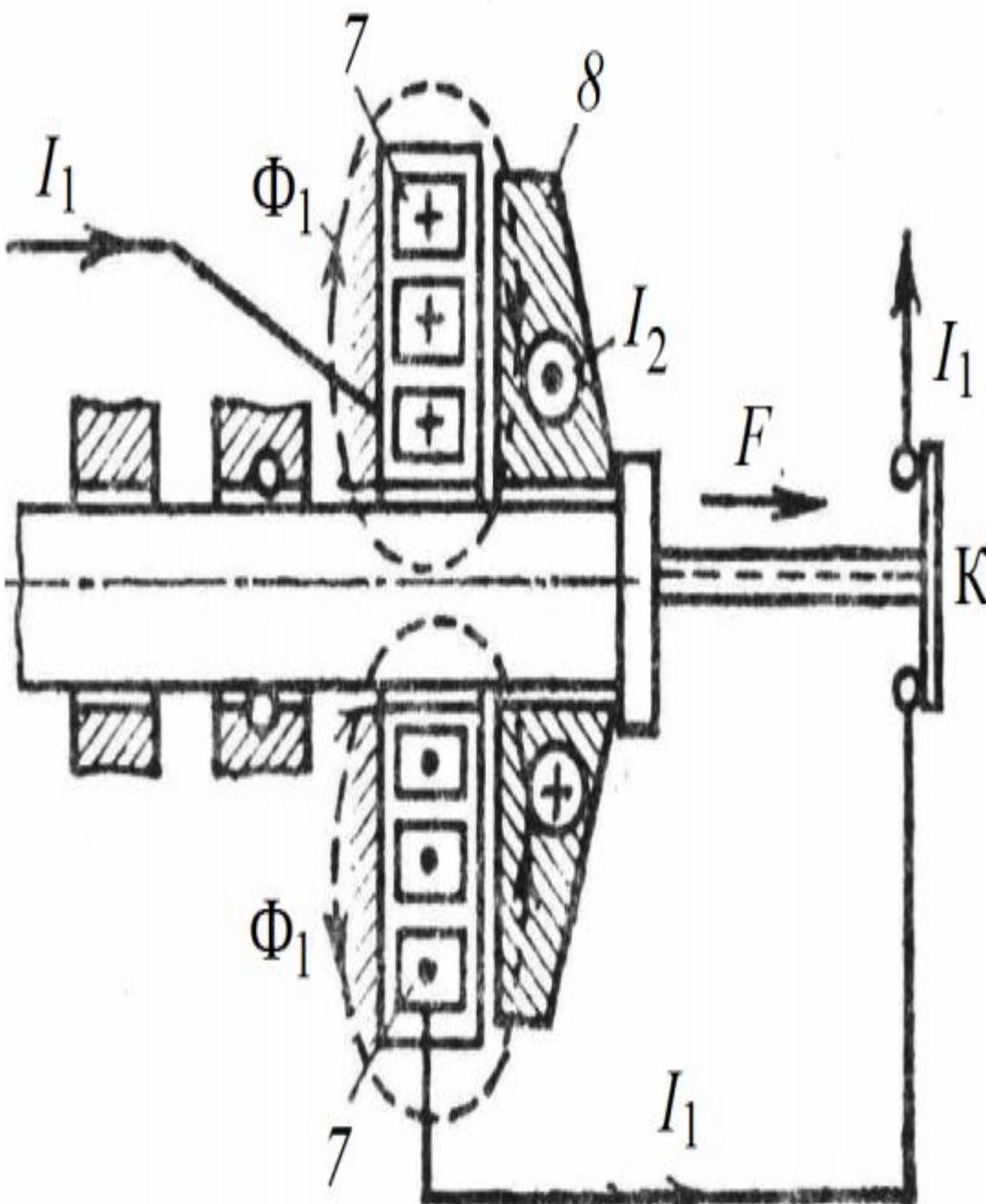
Гашение дуги происходит в камере 2. В установочных и универсальных автоматах применяется полузакрытое исполнение дугогасительного устройства, а в автоматах на большие предельные токи (100 кА и выше) или большие напряжения (выше 1000 В) – открытое исполнение с большой зоной выброса горячих и ионизированных газов. В полузакрытом исполнении автомат закрыт изоляционным кожухом, имеющим отверстия для выхода горячих газов.

В установочных и универсальных автоматах массового применения используется деионная дугогасительная решетка из стальных пластин. При больших токах применяются лабиринтные шеперные камеры и камеры с

АВТОМАТИЧЕСКИЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ.

1 ТИПЫ

На рисунке приведена схема быстродействующего автомата, основанного на индукционно-динамическом принципе. Аппарат должен автоматически отключать контактами К цепь тока при недопустимо высоких значениях. Ток I_1 , протекая по неподвижной обмотке 7, создает поток Φ_1 . При нарастании I_1 поток Φ_1 изменяется во времени и наводит ток I_2 противоположного направления в диске 8. Взаимодействие токов I_1 и I_2 приводит к возникновению электродинамической силы отталкивания F , которая перемещает подвижную



АВТОМАТИЧЕСКИЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ. ВЫБОР

Номинальные значения напряжения $U_{\text{АН}}$ и тока автомата $I_{\text{АН}}$, тока нагрузки $I_{\text{НН}}$ и напряжения сети $U_{\text{СН}}$ должны удовлетворять соотношениям $U_{\text{АН}} \geq U_{\text{СН}}$, $I_{\text{АН}} \geq I_{\text{НН}}$. Для автомата защиты двигателя, работающего в повторно-кратковременном режиме, номинальный ток электромагнитного расцепителя принимается равным току двигателя в этом режиме. Для автоматов защиты двигателей с короткозамкнутым ротором ток уставки электромагнитного расцепителя

$$I_{\text{уст,эм}} \geq (1,5 - 1,8)I_{\text{п}}.$$

Для двигателя с фазным ротором

$$I_{\text{уст,эм}} \geq (2,5 - 3)I_{\text{Дн}}.$$

Для группы короткозамкнутых двигателей

$$I_{\text{уст,эм}} \geq (1,5 - 1,8)[\sum I_{\text{Дн}} + (I_{\text{п}} - I_{\text{Дн}})'],$$

где разность $(I_{\text{п}} - I_{\text{Дн}})'$ берется для двигателей, у которых она наибольшая.

Для группы двигателей с фазным ротором

$$I_{\text{уст,эм}} \geq (1,5 - 2)I'_{\text{Дн}} + \sum I_{\text{Дн}},$$

где $I'_{\text{Дн}}$ – ток двигателя с наибольшим пусковым током.

АВТОМАТИЧЕСКИЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ. ВЫБОР

Для двигателей, работающих в тяжелом или повторно-кратковременном режиме, номинальный ток теплового или комбинированного расцепителя

$$I_{\text{расц,н}} \geq 1,5I_{\text{Дн}}.$$

Выбор по току короткого замыкания:

- для автоматов с электромагнитным расцепителем

$$I_{\text{КЗ}} / I_{\text{уст,эм}} \geq 1,25 - 1,4;$$

- для автоматов с комбинированным расцепителем

$$I_{\text{КЗ}} / I_{\text{расц,н}} \geq 3.$$

Предельный ток отключения автомата $I_{\text{Аоткл}}$ должен быть не менее тока короткого замыкания $I_{\text{КЗ}}$.

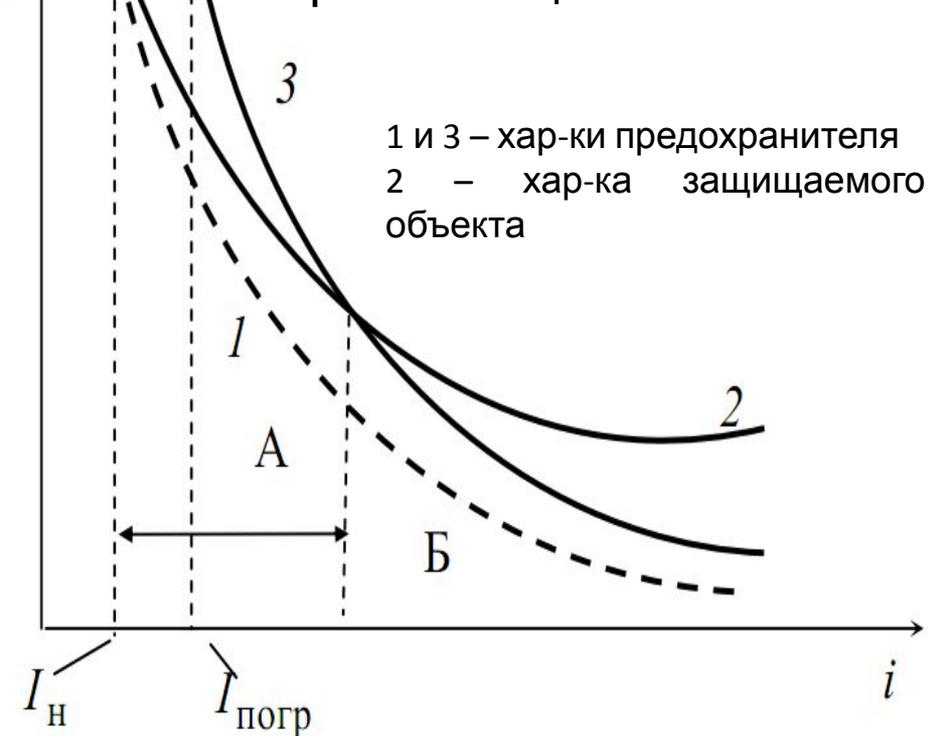
ПРЕДОХРАНИТЕЛИ. ПОНЯТИЕ, ХАРАКТЕРИСТИКА, ПАРАМЕТРЫ

Предохранитель – электрический аппарат, предназначенный для защиты электрических цепей от токовых перегрузок и токов короткого замыкания (КЗ).

Основными элементами предохранителя являются плавкая вставка, включаемая последовательно с защищаемой цепью, и дугогасительное устройство.

Процесс срабатывания предохранителя заключается в нагревании вставки до температуры плавления, ее плавлении, возникновении и гашении электрической дуги.

Основная характеристика предохранителя – **время-токовая характеристика**, представляющая собой зависимость времени плавления вставки от протекающего тока.



Предохранитель с характеристикой 1 будет перегорать из-за старения при пуске двигателя. Поэтому ток плавления вставки выбирается больше номинального тока нагрузки (кривая 3). В области больших перегрузок (область Б) предохранитель защищает объект, а в области малых (область А) – не защищает. Ток, при котором плавкая вставка сгорает при достижении установившейся температуры, называется **пограничным током $I_{погр}$** . Значение пограничного тока выбирается больше номинального, но как можно ближе к нему.

Основной параметр предохранителя при КЗ – **предельный ток отключения** (ток, который он может отключить при возвращающемся напряжении, равном

ПРЕДОХРАНИТЕЛИ. ТРЕБОВАНИЯ, МАТЕРИАЛЫ

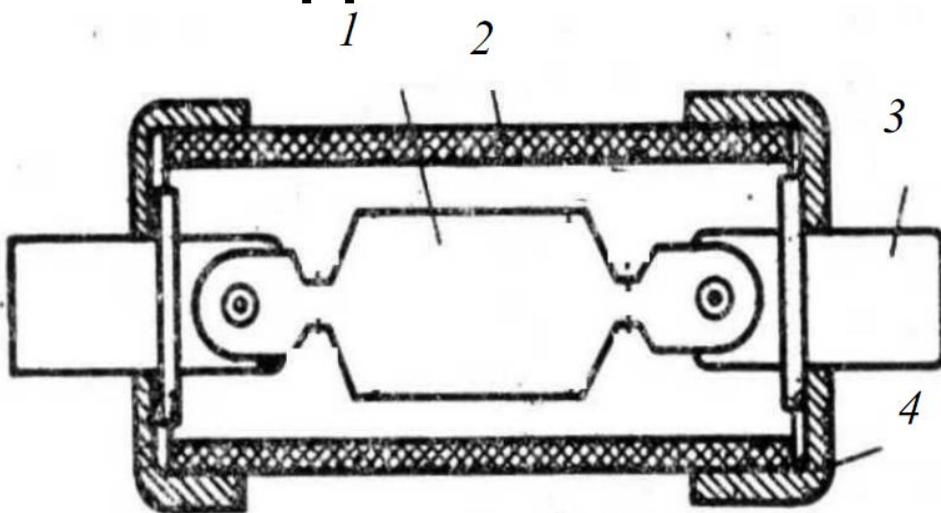
К предохранителям предъявляются следующие требования:

- ✓ время срабатывания предохранителя при коротком замыкании должно быть минимально возможным;
- ✓ предохранители должны работать с токоограничением,
- ✓ предохранители должны обеспечивать селективность защиты;
- ✓ характеристики предохранителя должны быть стабильными,
- ✓ технологический разброс параметров предохранителя не должен нарушать надежности его работы;
- ✓ предохранитель должен иметь высокую отключающую способность;
- ✓ конструкция плавкого предохранителя должна обеспечивать возможность быстрой и удобной замены плавкой вставки при ее перегорании.

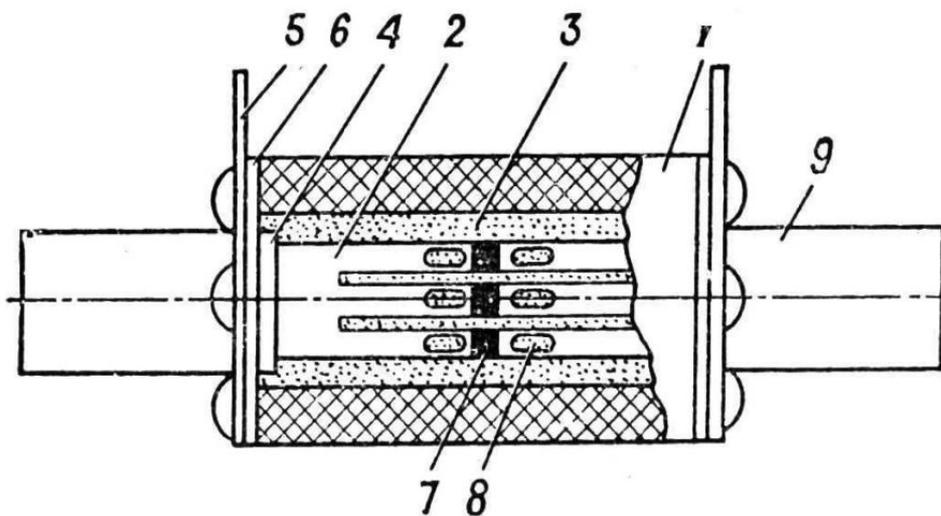
Время плавления вставки при пограничном токе велико (более 1 часа), а температура плавления ее материала достигает многих сотен градусов Цельсия. Все детали предохранителя нагреваются до высоких температур и происходит тепловое старение вставки. Для снижения температуры плавления плавкой вставки применяют **легкоплавкие материалы и сплавы**. Наиболее распространенные материалы плавких вставок – **медь** и **цинк**, реже применяется **свинец** и **серебро**. Так как цинк и свинец имеют сравнительно высокое удельное электрическое сопротивление, поперечное сечение вставок получается значительным. Вставки из цинка и свинца применяют, если необходимо получить большую выдержку времени при перегрузках. Медные вставки подвержены окислению, поэтому обычно применяются **луженые вставки**. Серебряные вставки имеют стабильные характеристики, но они дороги.

В качестве материала плавкой вставки используется также **алюминий**. Пленка оксида на поверхности вставки защищает алюминий от коррозии и делает характеристику предохранителя стабильной. Большое удельное сопротивление [170]

ПРЕДОХРАНИТЕЛИ. ТИПЫ И КОНСТРУКЦИИ

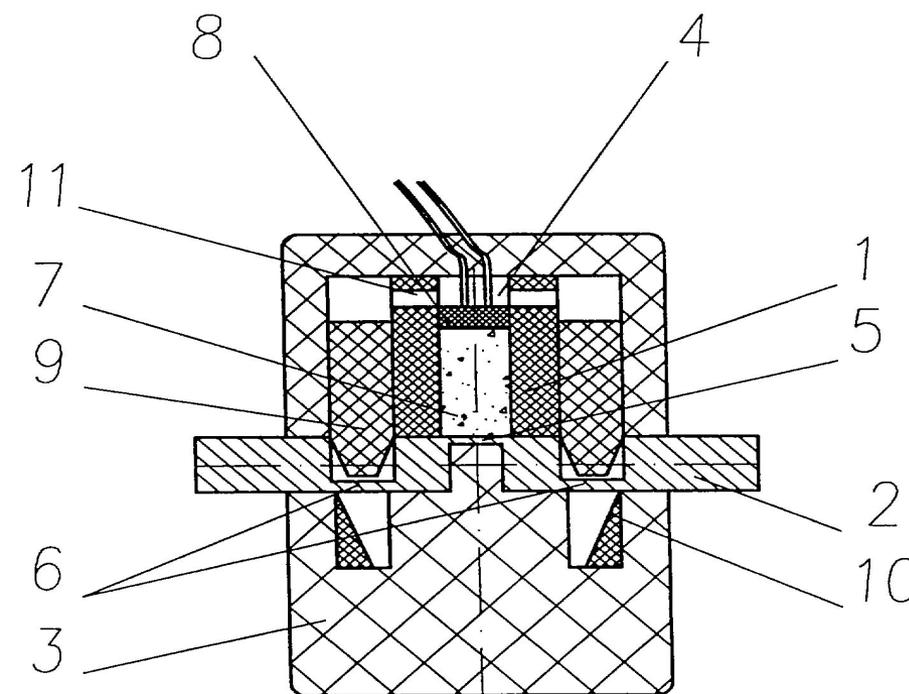
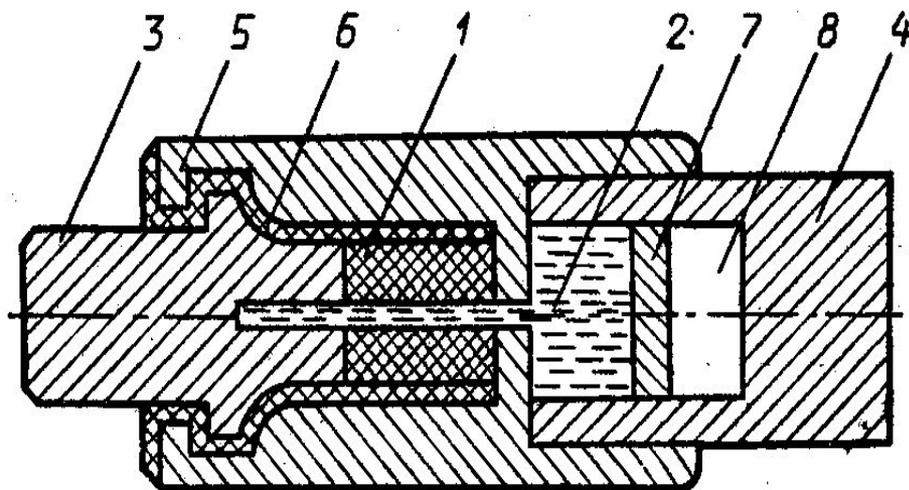


На токи от 15 до 60 А используются предохранители с гашением дуги в закрытом объеме. Плавкая цинковая вставка 1 фигурной формы помещена в фибровую трубку 2, плотно закрытую латунными колпаками 4. Детали 3 служат для подсоединения предохранителей к электрической цепи. Дуга горит в закрытом объеме и не выходит за пределы трубки.



Предохранители с мелкозернистым наполнителем более совершенны. Внутри фарфорового корпуса расположены плавкие ленточные вставки 2 и наполнитель – кварцевый песок. Плавкие вставки привариваются к диску 4, который крепится к пластинам 5, связанным с ножевыми контактами 9. Дуга в таком предохранителе горит в канале, образованном зернами наполнителя. Предельный отключаемый ток достигает 50 кА. Малые габариты, незначительные затраты дефицитных материалов, высокая токоограничивающая способность являются достоинствами этого

ПРЕДОХРАНИТЕЛИ. ТИПЫ И КОНСТРУКЦИИ



Предохранители с жидкометаллическим контактом имеют капилляр, заполненный металлом. При протекании большого тока жидкий металл испаряется, образуется паровая пробка и цепь размыкается. После определенного времени пары металла конденсируются и цепь восстанавливается. Предельный отключаемый ток таких предохранителей достигает 250 кА при напряжении 450 В переменного тока.

Специальные предохранители разработаны для защиты полупроводниковых приборов. Конструктивно **быстродействующий предохранитель** представляет собой корпус из прочного фарфора, внутри которого расположена плавкая вставка, имеющая перешеек с минимальным сечением, и кварцевый песок. Контакты укрепляются в корпусе и могут иметь различное конструктивное исполнение. Быстродействующие предохранители предназначены только для защиты от

Для уменьшения габаритных размеров устройств выпускаются блоки предохранитель-выключатель.

ПРЕДОХРАНИТЕЛИ. ВЫБОР

Номинальный ток вставки предохранителя $I_{ВН}$ выбирается равным или несколько большим номинального тока защищаемого объекта.

Если пуск двигателя длится 1 с, номинальный ток плавкой вставки $I_{ВН}$ выбирается по пусковому току $I_{П}$. При этом пусковой ток двигателя связан с током вставки соотношением

$$I_{ВН} = 0,4I_{П}.$$

Для тяжелых условий пуска или для двигателей, работающих в повторно-кратковременном режиме, ток вставки выбирается из условия

$$I_{ВН} = (0,5 - 0,6)I_{П}.$$

Если предохранитель стоит в линии, питающей несколько двигателей, ток выбирается из условия

$$I_{ВН} = 0,4[I_{р} - (I_{П} - I_{Дн})],$$

где $I_{р}$ – расчетный номинальный ток линии, равный $\sum I_{Дн}$. Разность $I_{П} - I_{Дн}$ берется для двигателя, у которого она наибольшая.

Для двигателя с фазным ротором при $I_{П} \leq 2I_{Дн}$ плавкая вставка выбирается из условия

$$I_{ВН} \geq (1 - 1,25)I_{Дн}.$$

ПРЕДОХРАНИТЕЛИ. ВЫБОР

Необходимо провести проверку предохранителя по условиям КЗ. При кратностях $I_{КЗ} / I_{ВН} \geq 10 - 15$ время горения вставки не превышает 0,15–0,2 с, и разброс характеристик мало сказывается на времени.

Допускается применение предохранителей при кратностях $I_{КЗ} / I_{ВН} \geq 3 - 4$.

Номинальное напряжение предохранителя должно быть равно номинальному напряжению сети.

Между источником энергии и потребителем обычно устанавливается несколько предохранителей. Для обеспечения селективности защиты наименьшее фактическое время срабатывания предохранителя на больший ток $t_{ср,б}$ должно быть больше наибольшего времени срабатывания предохранителя на меньший ток $t_{ср,м}$. С учетом производственных допусков на изготовление предохранителей необходимое условие для обеспечения селективности защиты выглядит как $t_{ср,б} > 3t_{ср,м}$.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ ВЫСОКОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Выключатель высокого напряжения – электрический аппарат, предназначенный для коммутации цепей переменного тока с напряжением 3 кВ и выше во всех режимах, возможных в эксплуатации – включение и отключение:

- номинальных токов,
- токов короткого замыкания,
- токов холостого хода силовых трансформаторов,
- емкостных токов конденсаторных батарей,
- длинных линий.

Наиболее тяжелым режимом работы выключателя является отключение и включение токов короткого замыкания.

Основными параметрами выключателей высокого напряжения являются:

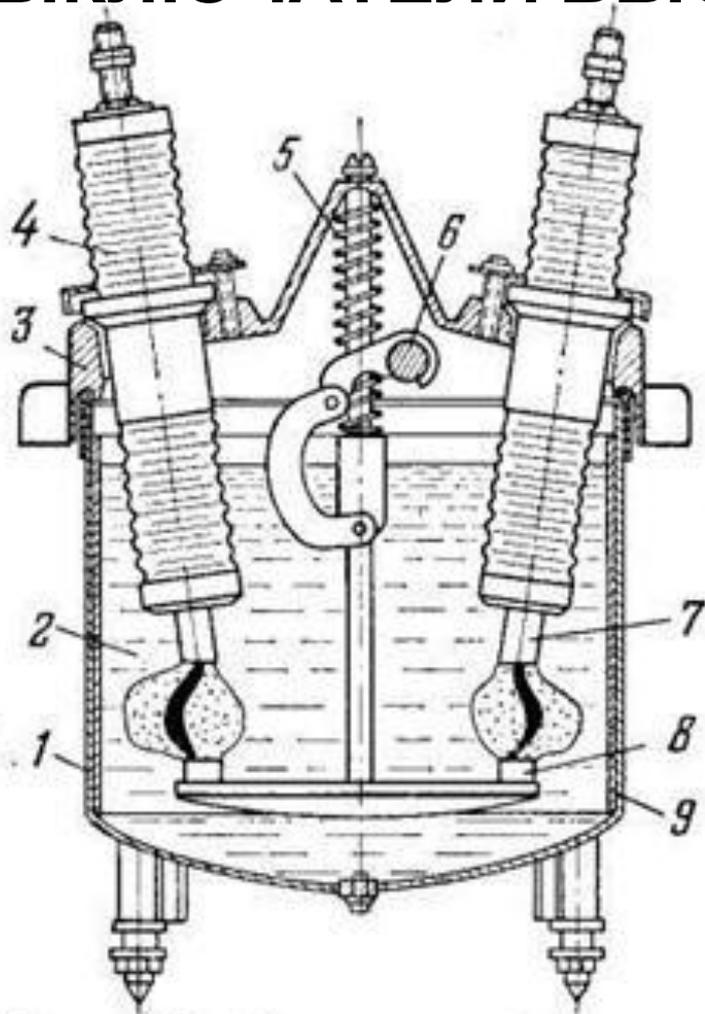
- ✓ собственное и полное время включения и отключения,
- ✓ номинальное напряжение,
- ✓ номинальный длительный ток,
- ✓ номинальный ток термической стойкости,
- ✓ номинальный ток электродинамической стойкости,
- ✓ номинальные ток отключения и включения,
- ✓ номинальная мощность отключения

ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ. ТИПЫ

В баковых масляных выключателях токоведущие части изолируются между собой и от земли с помощью масла, находящегося в стальном баке, соединенном с землей.

Основными достоинствами этих выключателей являются высокая надежность, простота конструкции дугогасительных камер и механизма, высокая механическая прочность элементов, возможность использования встроенных трансформаторов тока и емкостных делителей напряжения. Простота конструкции не требует высокой квалификации обслуживающего персонала.

К недостаткам относятся: большие габариты и масса, необходимость периодической очистки масла, сложность и трудоемкость ремонта и ревизии выключателей с напряжением 110 кВ



Схематический разрез масляного бакового выключателя.

1 — стальной бак; 2 — масло; 3 — крышка; 4 — проходной изолятор; 5 — отключающая пружина; 6 — вал выключателя; 7 — неподвижные контакты; 8 — подвижные контакты (трансверсы); 9 — изоляция стенок бака.

ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ. ТИПЫ

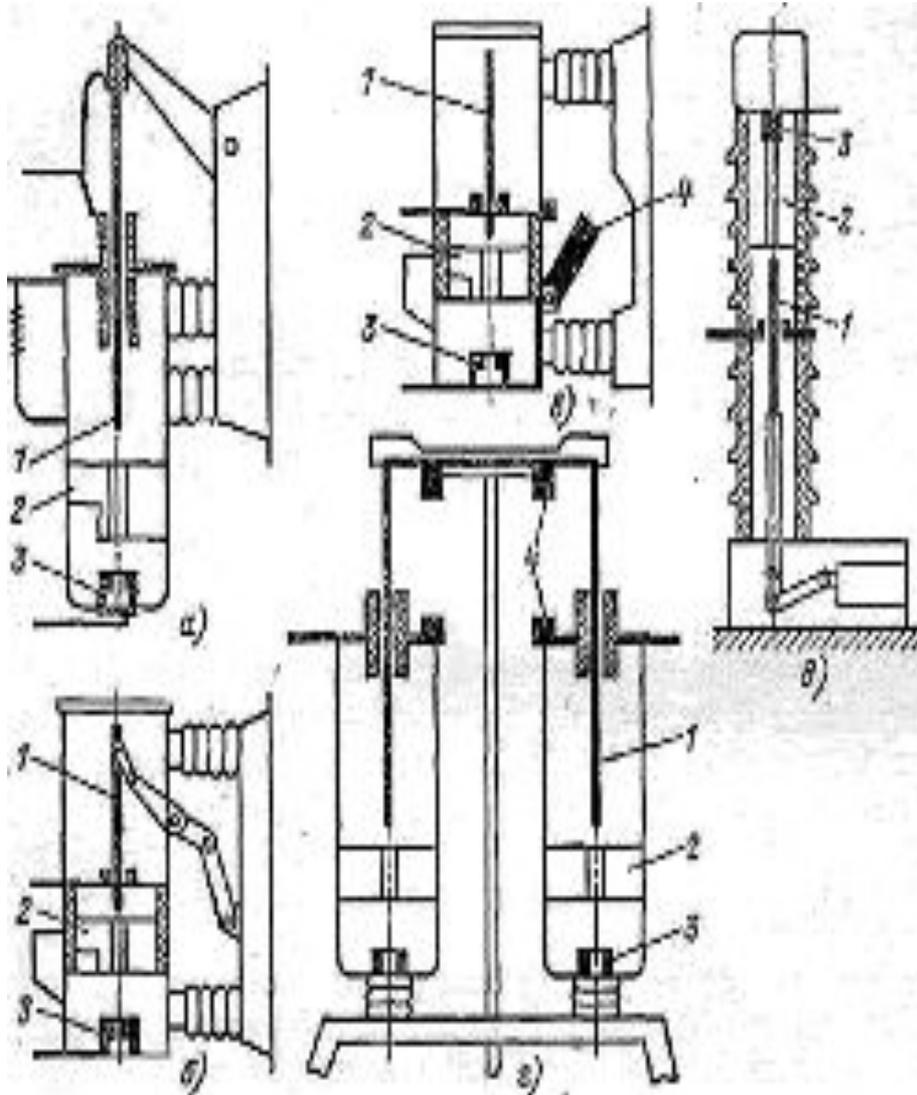
Маломасляные выключатели

(горшковые) получили широкое распространение в закрытых и открытых распределительных устройствах всех напряжений. Масло в этих выключателях в основном служит дугогасящей средой и только частично изоляцией между разомкнутыми контактами.

Изоляция токоведущих частей друг от друга и от заземленных конструкций осуществляется фарфором или другими твердыми изолирующими материалами. Контакты выключателей для внутренней установки находятся в стальном бачке (горшке), отсюда сохранилось название выключателей "горшковые".

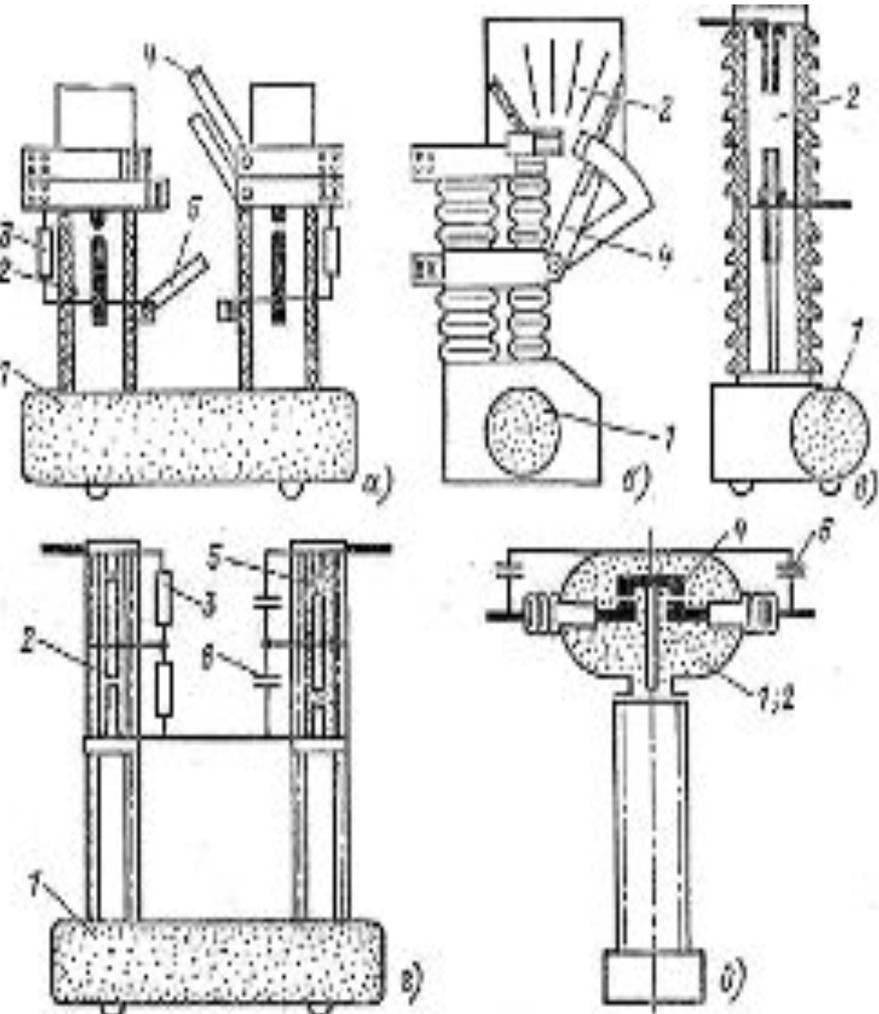
Маломасляные выключатели напряжением 35 кВ и выше имеют фарфоровый корпус. Самое широкое применение получили выключатели 6-10 кВ подвесного типа. В этих выключателях корпус крепится на фарфоровых изоляторах к общей раме для всех трех полюсов. В каждом полюсе предусмотрен один разрыв контактов и дугогасительная камера.

При больших номинальных токах предусматривают рабочие контакты снаружи выключателя, а дугогасительные – внутри металлического бачка. При



Конструктивные схемы маломасляных выключателей 1 – подвижный контакт; 2 – дугогасительная камера; 3 – неподвижный контакт; 4 – рабочие

ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ ТИПЫ



Конструктивные схемы воздушных выключателей 1 – резервуар со сжатым воздухом; 2 – дугогасительная камера; 3 – шунтирующий резистор; 4 – главные контакты; 5 – отделитель; 6 – емкостный делитель напряжения на 110 кВ – два разрыва на фазу (г)

Воздушные выключатели гашение дуги происходит сжатым воздухом при давлении 2-4 МПа, а изоляция токоведущих частей и дугогасительного устройства осуществляется фарфором или другими твердыми изолирующими материалами. Конструктивные схемы воздушных выключателей различны и зависят от их номинального напряжения, способа создания изоляционного промежутка между контактами в отключенном положении, способа подачи сжатого воздуха в дугогасительное устройство.

В выключателях на большие номинальные токи имеется главный и дугогасительный контур подобно маломасляным выключателям. Основная часть тока во включенном положении выключателя проходит по главным контактам 4, расположенным открыто. При отключении выключателя главные контакты размыкаются первыми, после чего весь ток проходит по дугогасительным контактам, заключенным в камере 2. К моменту размыкания этих контактов в камеру подается сжатый воздух из резервуара 1, создается мощное дутье, гасящее дугу. Дутье может быть продольным или поперечным.

Необходимый изоляционный промежуток между контактами в отключенном положении создается в дугогасительной камере путем разведения контактов на достаточное расстояние. После отключения отделителя 5 прекращается подача сжатого воздуха

ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ. ТИПЫ

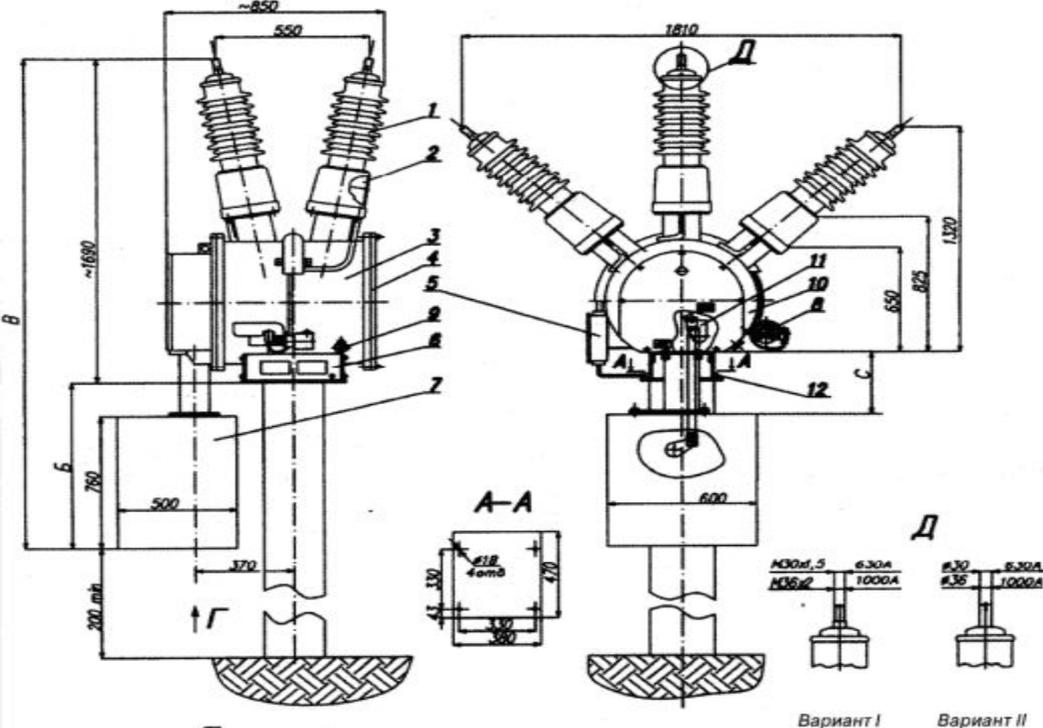
Элегазовые выключатели

Элегаз – инертный газ, плотность которого превышает плотность воздуха в 5 раз. Электрическая прочность элегаза в 2 – 3 раза выше прочности воздуха; при давлении 0,2 МПа электрическая прочность элегаза сравнима с прочностью масла.

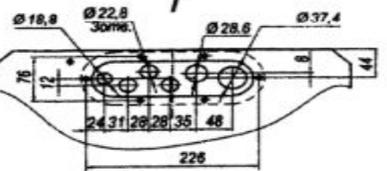
В элегазе при атмосферном давлении может быть погашена дуга с током, который в 100 раз превышает ток, отключаемый в воздухе при тех же условиях. Исключительная способность элегаза гасить дугу объясняется тем, что его молекулы улавливают электроны дугового столба и образуют относительно неподвижные отрицательные ионы. Потеря электронов делает дугу неустойчивой, и она легко гаснет. В струе элегаза, т. е. при газовом дутье, поглощение электронов из дугового столба происходит еще интенсивнее.

В элегазовых выключателях применяют автопневматические (автокомпрессионные) дугогасительные устройства, в которых газ в процессе отключения сжимается поршневым устройством и направляется в зону дуги.

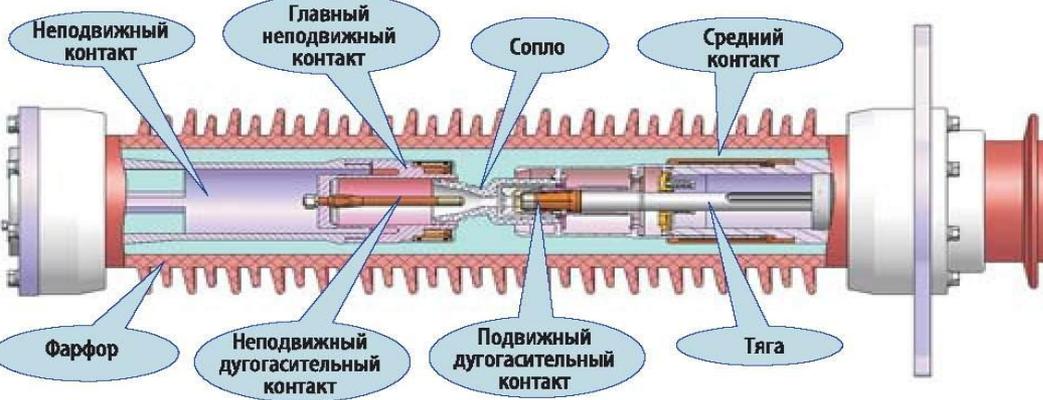
Элегазовый выключатель



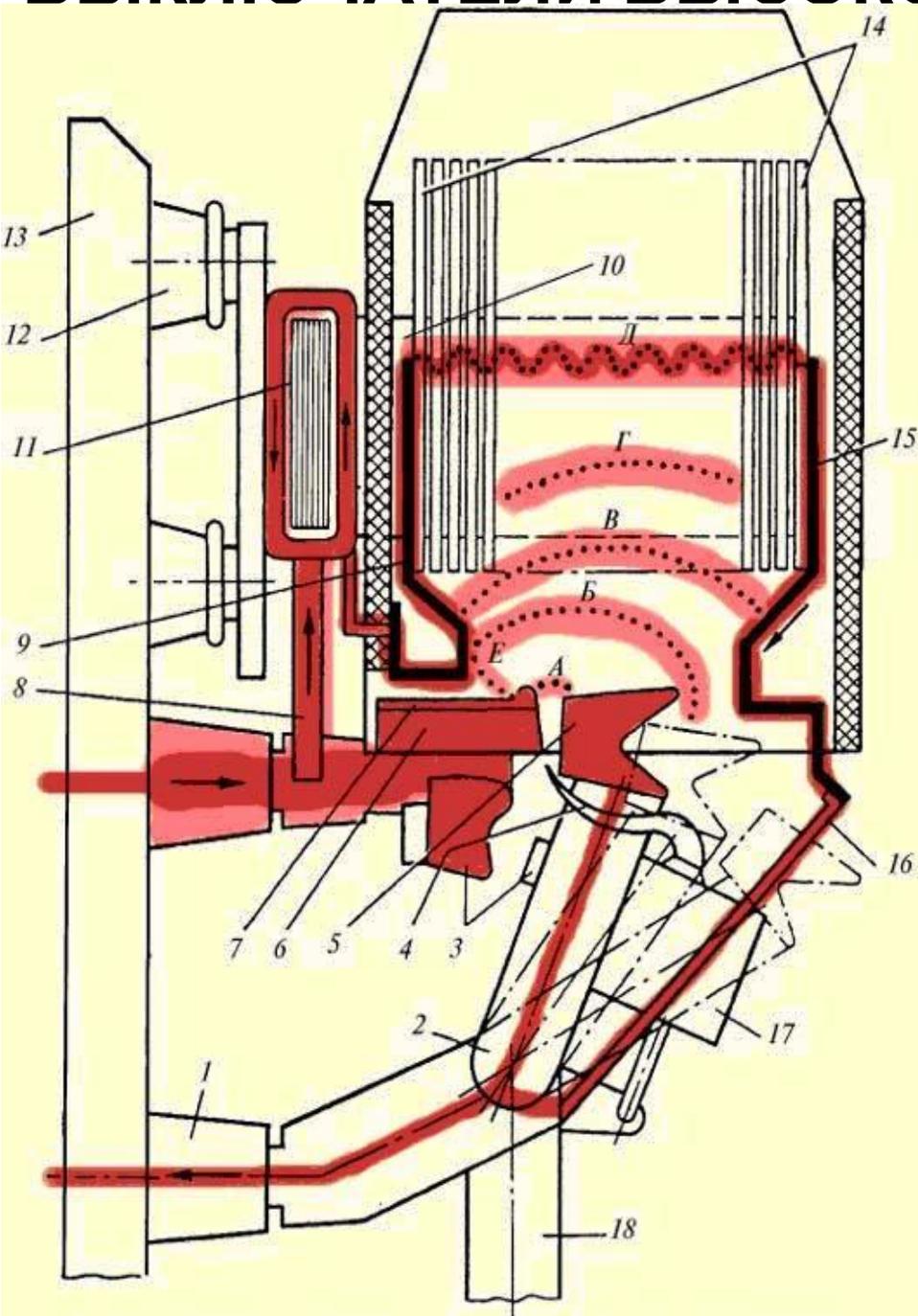
1 – ввод; 2 – трансформатор тока; 3 – бак; 4 – фланец; 5 – клеммная коробка (в днище имеются 6 отверстий диаметром 28,6 и 2 отверстия диаметром 22,8 для установки кабельных вводов); 6 – устройство подогревательное; 7 – шкаф с приводом; 8 – сигнализатор плотности; 9 – клапан автономной герметизации; 10 – крышка; 11 – механизм; 12 – болт заземления.



Привязка отверстий под кабельные вводы



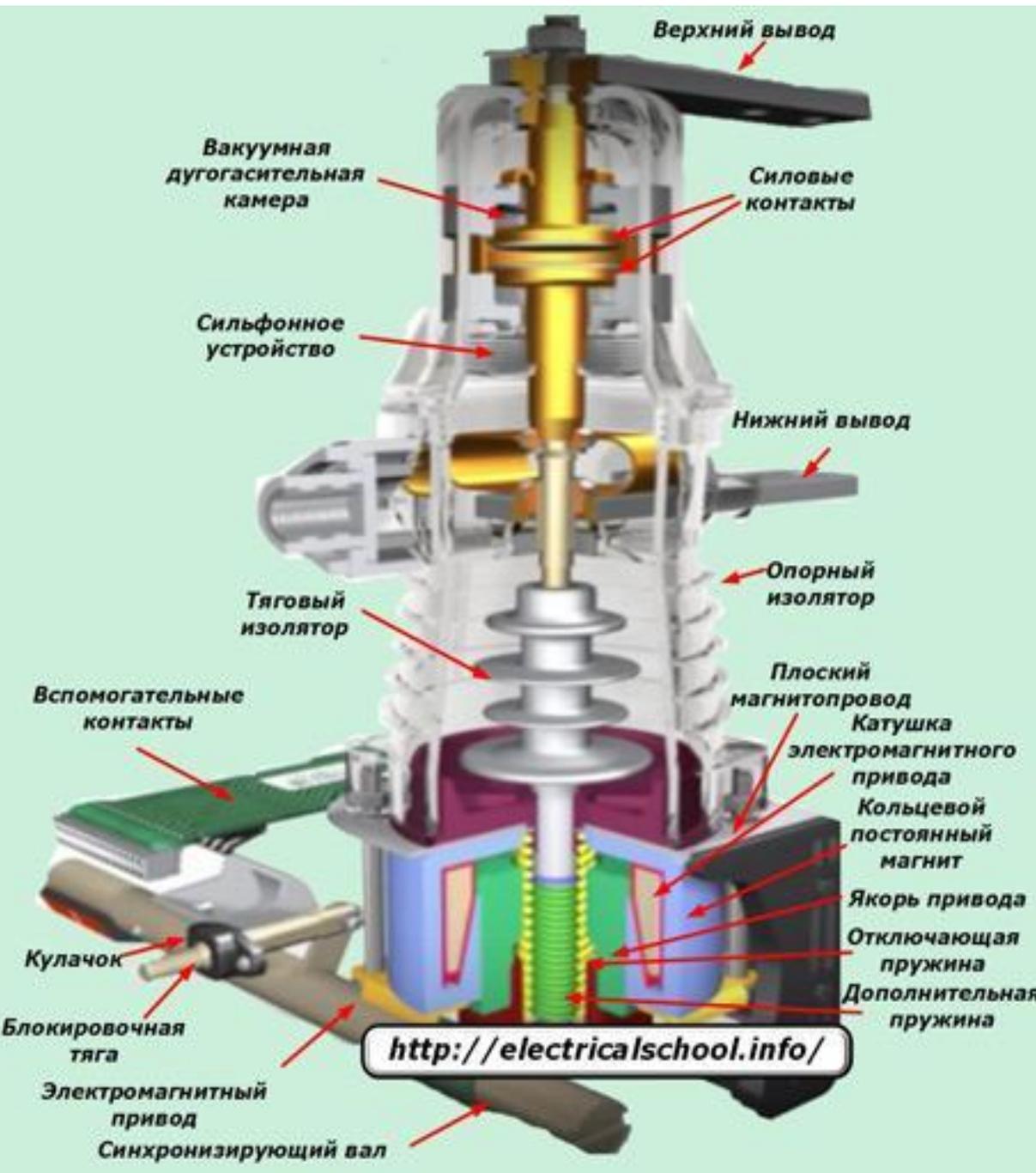
ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ. ТИПЫ



В отличие от масляных и воздушных выключателей **электромагнитные выключатели** для работы не требуют масла или сжатого воздуха, более просты и удобны в эксплуатации, обладают высокой надежностью и большим сроком службы.

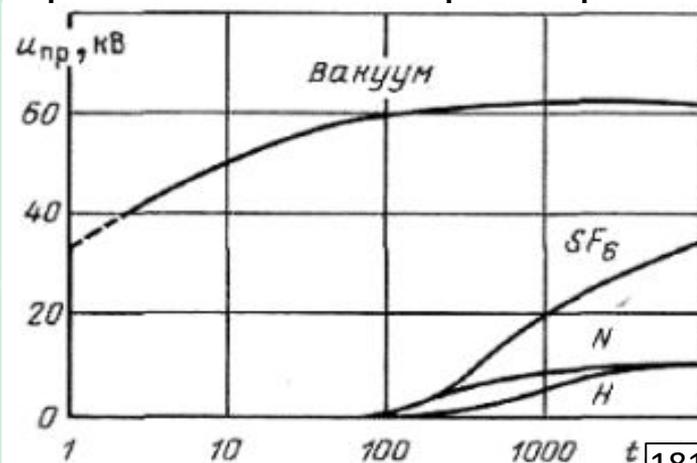
В раме 13 при помощи изоляторов 12 укреплены гасительная камера 14 и катушка магнитного дутья 11 с магнитными полюсами 10, охватывающими камеру с боков (показаны штриховыми линиями). Подвижный контакт 2 вращается на опорном изоляторе 1 при помощи изоляционной тяги 18. Выключатель имеет главный 3 и дугогасительные 5, 6 контакты. В зависимости от назначения функции их различны: главный служит для проведения тока во включенном состоянии и имеет серебряные накладки для снижения переходного сопротивления; дугогасительный обеспечивает режим коммутации и армирован дугостойкой металлокерамикой 7. При размыкании дугогасительных контактов 5, 6 возникающая между ними

ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ. ТИПЫ



В вакуумных выключателях контакты расходятся под вакуумом (давление равно 10^{-4} Па). Возникающая при расхождении контактов дуга быстро гаснет благодаря интенсивной диффузии зарядов в вакууме.

Электрическая прочность вакуума значительно выше прочности других сред, применяемых в выключателях. Объясняется это увеличением длины среднего свободного пробега электронов, атомов, ионов и молекул по мере уменьшения давления. В вакууме длина свободного пробега частиц превышает размеры



ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ. ТИПЫ

Режим отключения можно значительно облегчить, если ограничить выделяемую в дуге энергию. Это достигается в **синхронизированных выключателях** синхронизацией момента начала расхождения контактов с моментом прохождения тока через нуль при высокой скорости движения контактов. Схемы и методы синхронизации весьма разнообразны.

Электромагнитные выключатели по своему принципу аналогичны контакторам постоянного тока с лабиринтно-щелевой камерой. Гашение дуги происходит за счет увеличения сопротивления дуги вследствие ее интенсивного удлинения и охлаждения.



Номинальное напряжение электромагнитных выключателей не превышает 10 кВ, так как большой остаточный ток может приводить к пробое по раскаленной поверхности пластин.

Выключатели нагрузки используются для отключения номинальных токов. Для гашения дуги используются камеры с автогазовым, электромагнитным, элегазовым дутьем

ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ.

При выборе выключателя его **ВЫБОР** основные параметры сравниваются с параметрами сети в месте его установки. Выключатель выбирается по наиболее тяжелому возможному режиму работы. Номинальное напряжение выключателя должно быть равно или больше номинального напряжения сети. Номинальный длительный ток выключателя должен быть больше номинального тока установки. Номинальный ток отключения выключателя должен быть больше максимального расчетного тока короткого замыкания к моменту расхождения контактов.

Номинальный ток включения должен быть не менее ударного тока короткого замыкания, протекающего через выключатель.

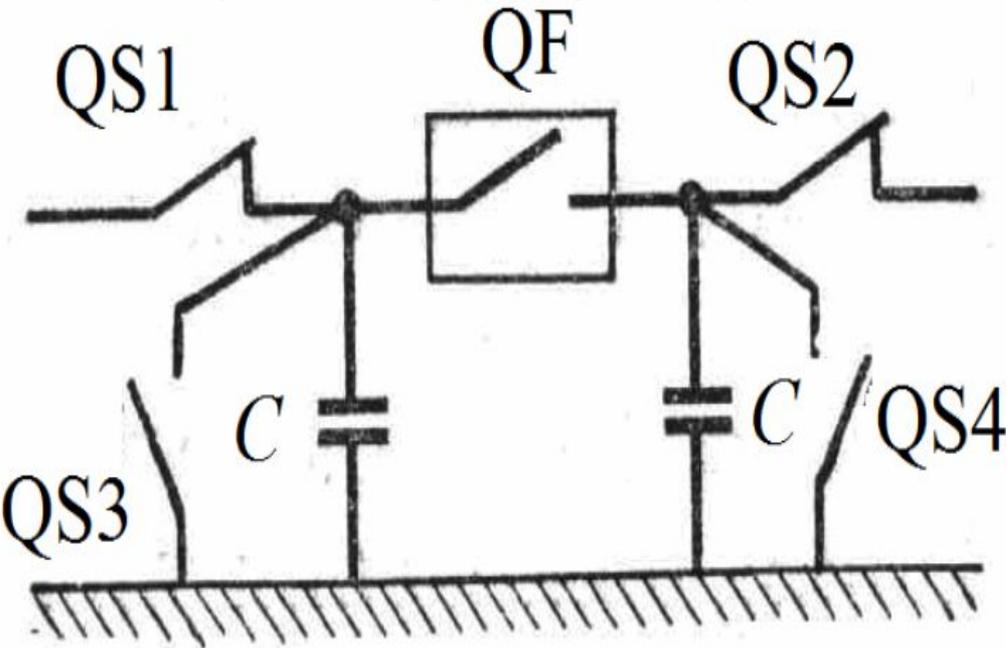
При частых коммутациях рекомендуется применять вакуумные и элегазовые выключатели, обладающие большим сроком службы.

РАЗЪЕДИНИТЕЛИ, ОТДЕЛИТЕЛИ И

КОРОТКОЗАМЫКАТЕЛИ

Разъединитель — электрический аппарат, предназначенный для включения и отключения цепи высокого напряжения либо при токах, значительно меньших номинальных, либо в случаях, когда отключается номинальный ток, но напряжение на контактах аппарата недостаточно для образования дуги.

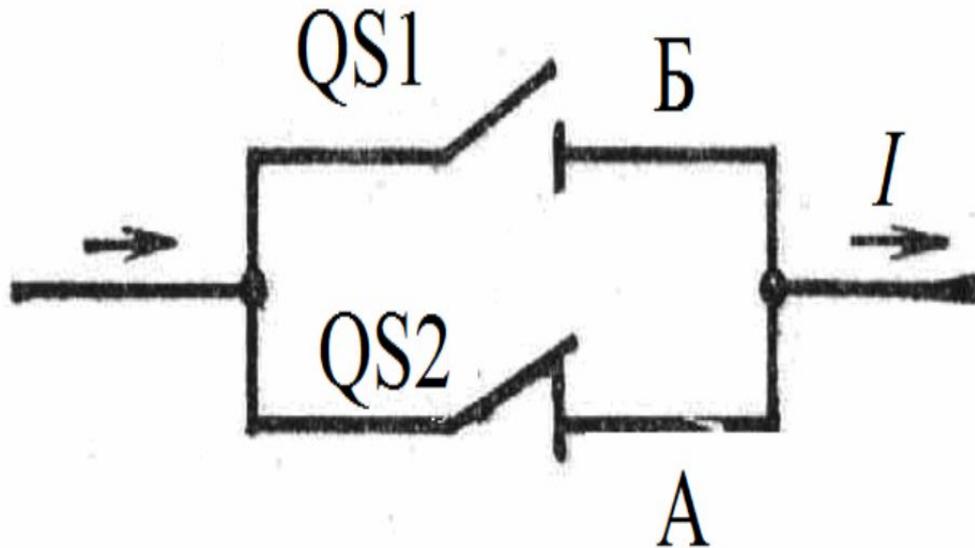
В первом случае разъединители применяются для отсоединения от



для перед безаварийной работы обслуживающего персонала ток в цепи сначала отключается выключателем QF, и только потом размыкаются контакты разъединителей QS1 и QS2. В этом случае разъединителями отключаются небольшие емкостные токи, создаваемые опорной изоляцией отключаемого аппарата и присоединенными к нему проводниками.

После размыкания QS1 и QS2 выключатель QF, подлежащий ремонту, должен быть заземлен с обеих сторон с помощью дополнительных разъединителей QS3 и QS4. Если ножи QS3 и QS4 не заземлены, то на выводах выключателя QF может возникнуть высокий потенциал за счет емкостной связи с линиями высокого напряжения. Для удешевления и упрощения схем коммутации разъединители используются для отключения небольших токов (токов холостого хода трансформаторов

РАЗЪЕДИНИТЕЛИ

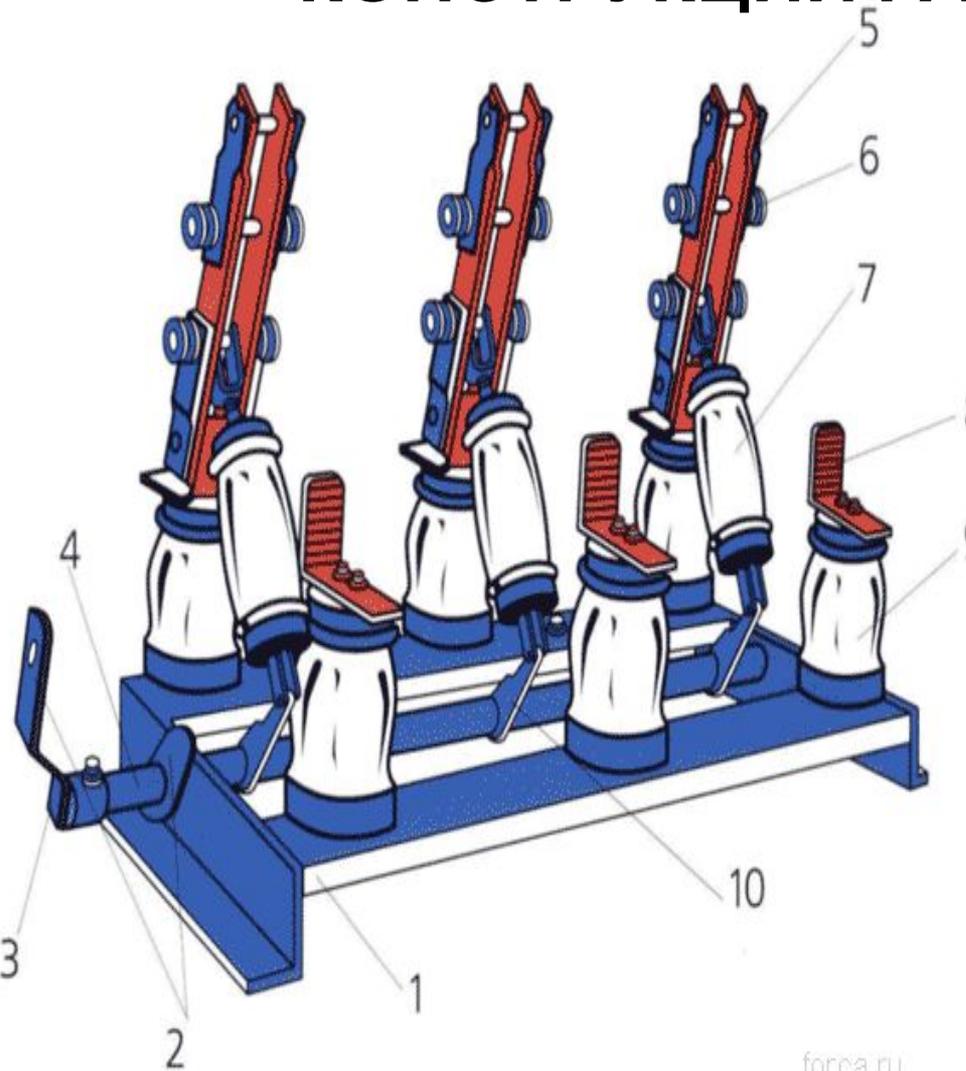


Разъединителями можно пользоваться для перевода нагрузки с одной ветви А на другую Б. Для этого при замкнутом разъединителе QS2 выключают разъединитель QS1, после чего разъединитель QS2 отключают. Дуга на его контактах не возникает, так как напряжение на них равно падению напряжения на ветви QS1,

К разъединителям предъявляются следующие требования:

- контактная система должна надежно пропускать номинальный ток сколько угодно длительное время и иметь необходимые динамическую и термическую стойкости;
- разъединитель и механизм его привода должны надежно удерживаться во включенном положении при протекании тока короткого замыкания,
- в отключенном положении подвижный контакт должен быть надежно фиксирован, т.к. самопроизвольное включение может привести к тяжелым авариям;
- промежуток между разомкнутыми контактами должен иметь повышенную электрическую прочность;
- привод разъединителя целесообразно блокировать с выключателем.

КОНСТРУКЦИИ РАЗЪЕДИНИТЕЛЕЙ



ТРЕХПОЛЮСНЫЙ РАЗЪЕДИНИТЕЛЬ РВ-10:

1 - рама; 2 - упор ограничения поворота вала; 3 - рычаг; 4 - вал; 5 - подвижный контакт; 6 - пружина; 7 - фарфоровая тяга; 8 - неподвижный контакт; 9 - общий вал; 10 - рукоятка.

Для внутренних установок, не подверженных воздействию атмосферы и при напряжении не выше 20 кВ, наиболее широко применяются рубящие разъединители с движением подвижного контакта (ножа) в вертикальной плоскости. Для получения электродинамической стойкости контактов необходимо соответствующее контактное нажатие.

С ростом тока контактное нажатие и усилие, необходимое для включения, возрастают. При ручных приводах контактное нажатие стремятся выбрать возможно малым. С этой целью применяют сдвоенные ножи и электромагнитные замки. Для повышения электродинамической стойкости контактов используются электродинамические силы, возникающие в токоведущих

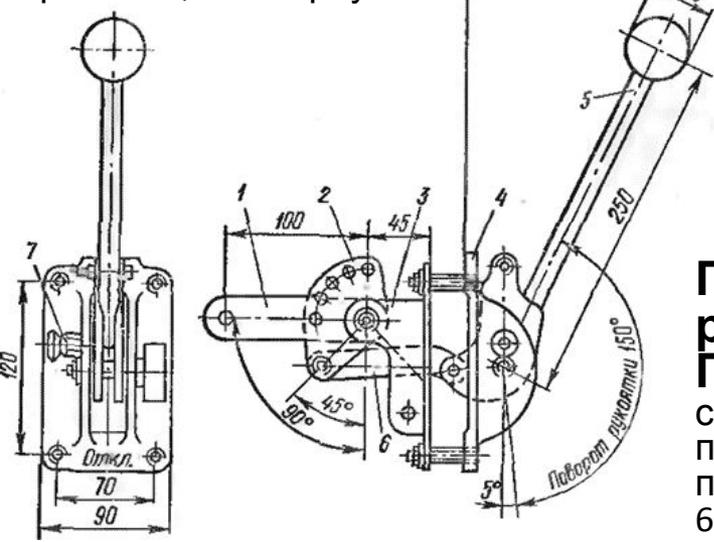
КОНСТРУКЦИИ РАЗЪЕДИНИТЕЛЕЙ

Для управления разъединителями применяются рычажные системы с ручным или моторным приводом.

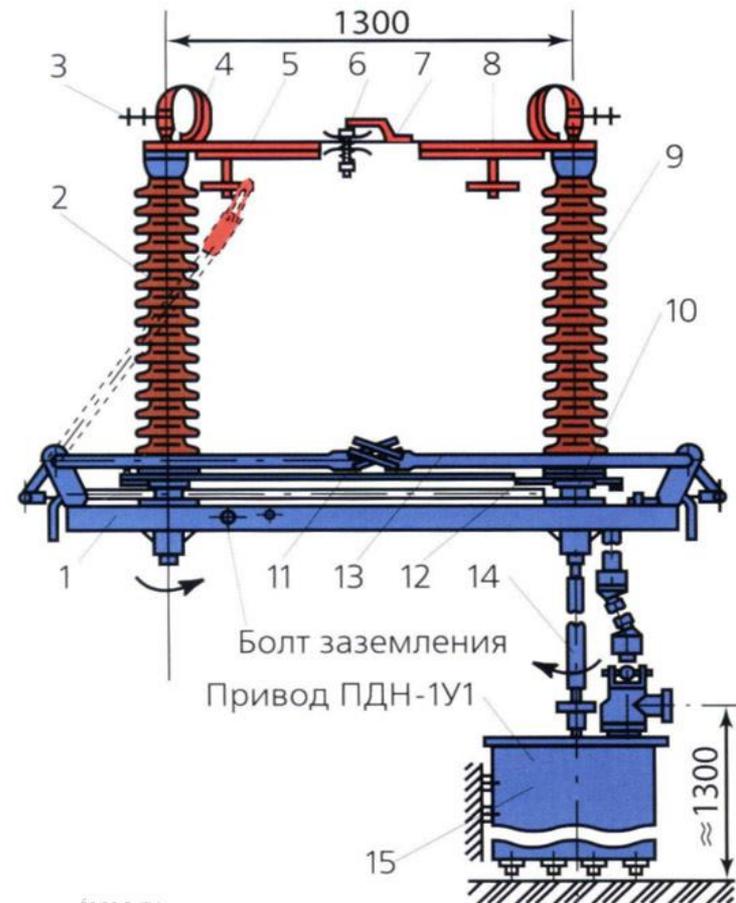


Привод ручной червячный типа ПЧ-50УЗ

1 — рукоятка; 2 — медальон; 3 — червяк; 4 — блок-замок; 5 — указатель положения разъединителя; 6 — выходной вал; 7 — колесо червячное; 8 — корпус



Привод ручной рычажный типа ПР-2: 1 — рычаг; 2 — сектор; 8 — задний подшипник; 4 — передний подшипник; 5 — рукоятка; 6 — тяга; 7 — фиксатор

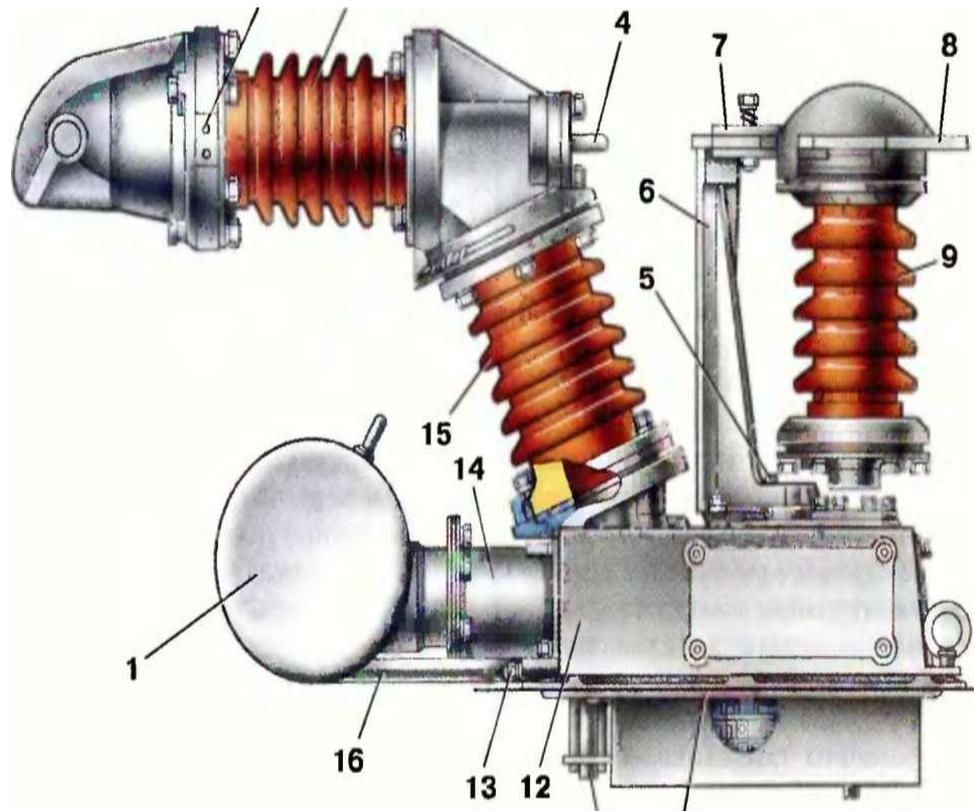


Разъединитель РНДЗ-2-110:

1 - основание; 2 и 9 - колонки изоляторов; 3 - зажимы; 4 - гибкие связи; 5 - нож; 6 - пальцевые ламели; 7 - лопатка; 8 - контакт для заземляющего ножа; 10 - подшипник колонки; 11 - заземляющие ножи разъединителя; 12 - рычаг; 13 - тяга; 14 - вал; 15 - привод

КОНСТРУКЦИИ РАЗЪЕДИНИТЕЛЕЙ

Для дистанционного управления применяются электрические и пневматические приводы.



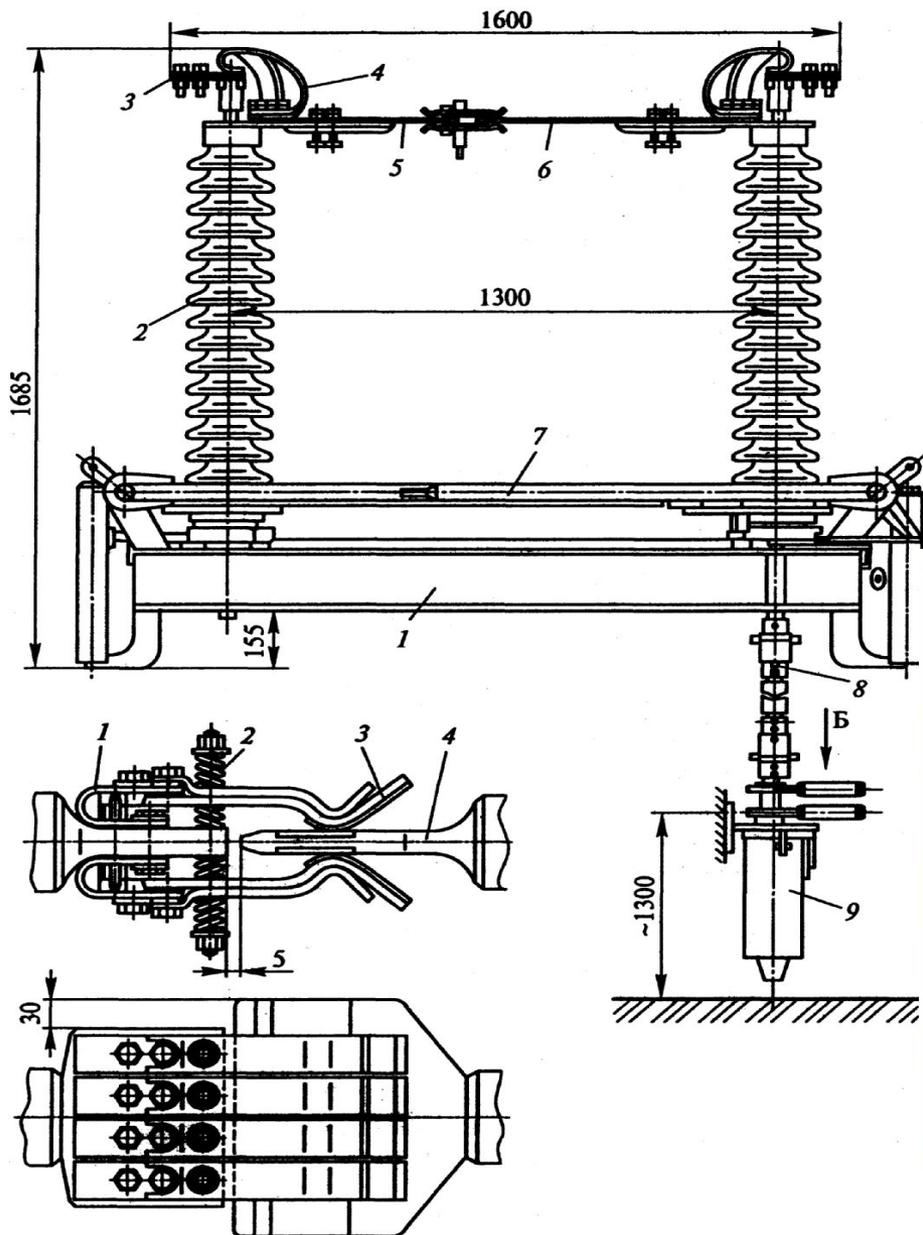
Выключатель ВОВ 25-4:

1 — резервуар; 2 — фланец; 3 — камера; 4 — неподвижный контакт; 5 — болт для присоединения заземляющей шины; 6 — заземляющий кронштейн; 7 — разъединитель; 8 — вывод для подключения к высоковольтной сети; 9 — поворотный изолятор разъединителя; 10 — резиновая прокладка; 11 — штуцер питающего воздуховода; 12 — корпус; 13 — штуцер отводящий трубы; 14 — патрубок; 15 — воздухопроводный изолятор



КОНСТРУКЦИИ РАЗЪЕДИНИТЕЛЕЙ

Для наружной установки широко используются разъединители поворотного типа.



Разъединитель горизонтально-поворотного типа

© Игорь Долгов / Фотобанк Лори

КОНСТРУКЦИИ РАЗЪЕДИНИТЕЛЕЙ

При напряжении более 300 кВ значительную экономию площади дают подвесные разъединители.

Разъединитель подвесного типа РПД-500:

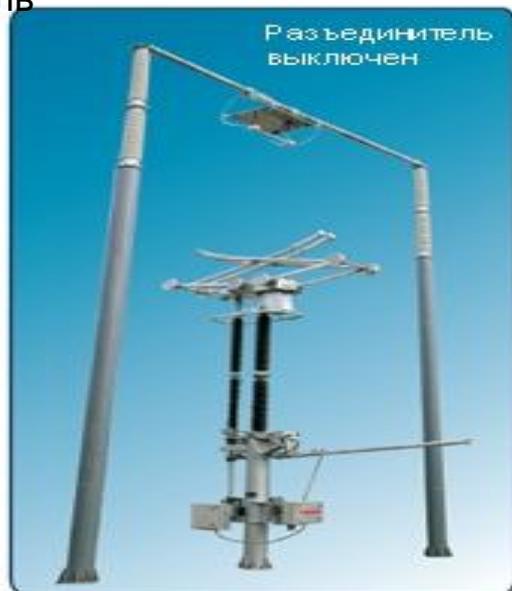
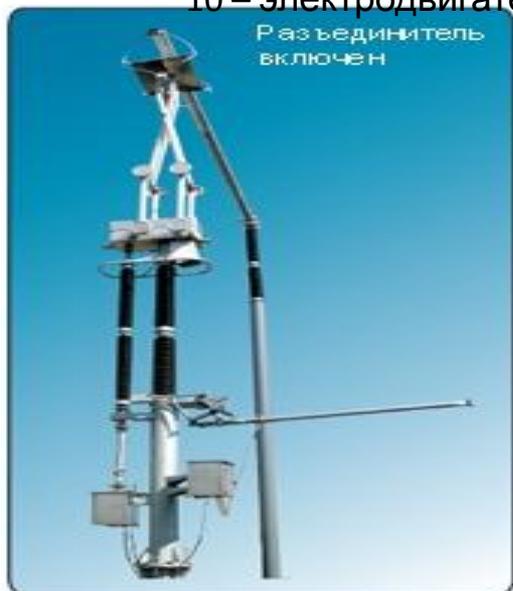
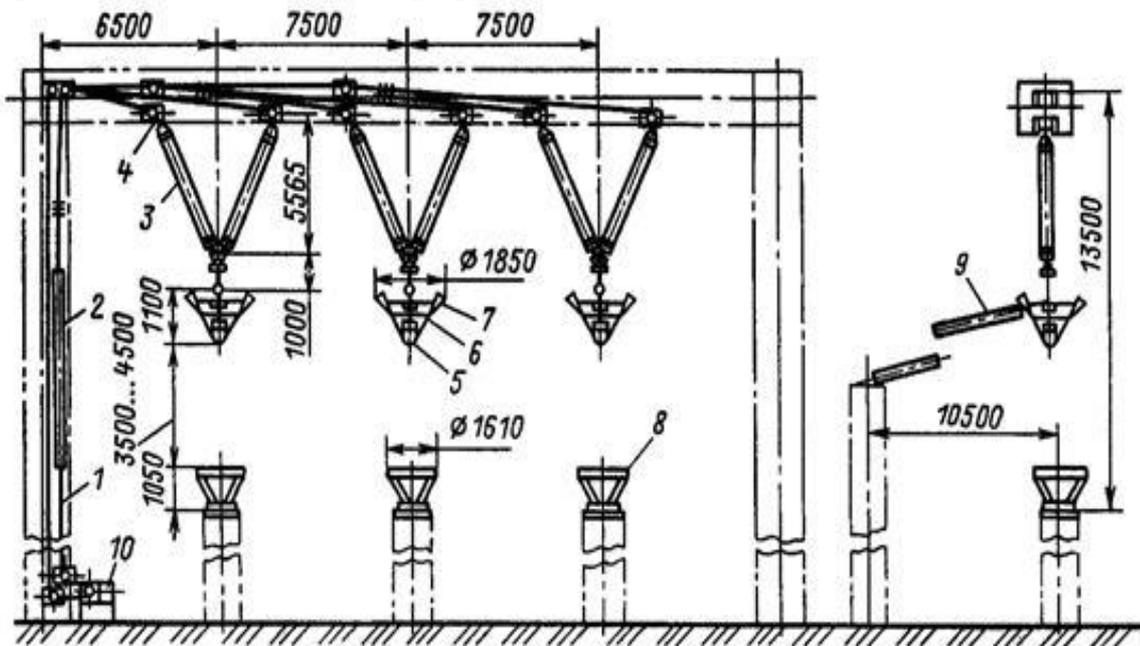
1-трос; 2 –

противовес; 3 – гирлянда изоляторов; 4 – блок; 5 – груз; 6 – пружинящие «лапы»;

7 – контактные наконечники;

8 – неподвижный контакт; 9 – токопроводы;

10 – электродвигатель



Разъединители наружной установки пантографного типа

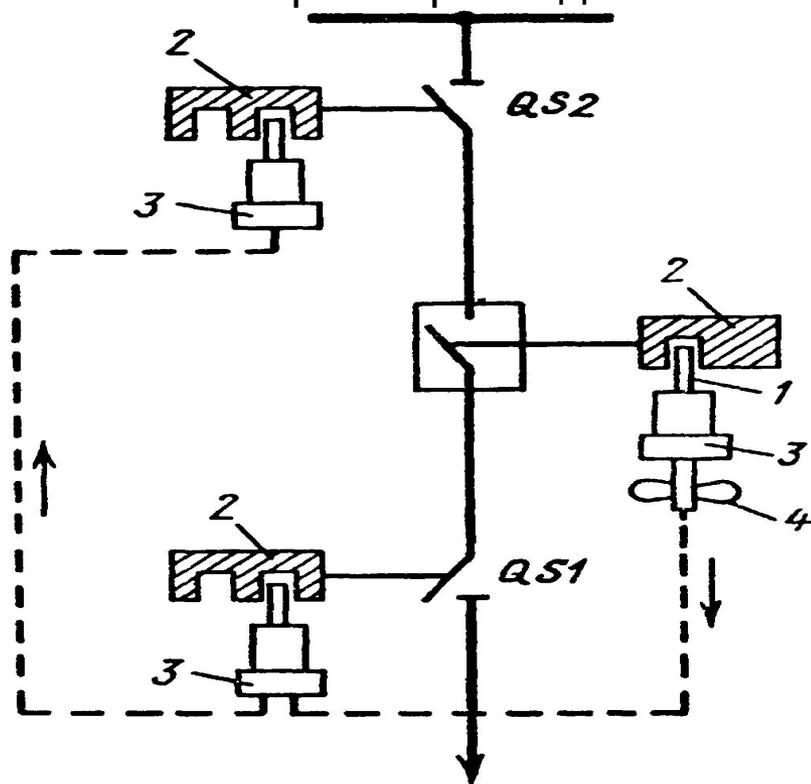


Разъединители наружной установки полупантографного

КОНСТРУКЦИИ РАЗЪЕДИНИТЕЛЕЙ

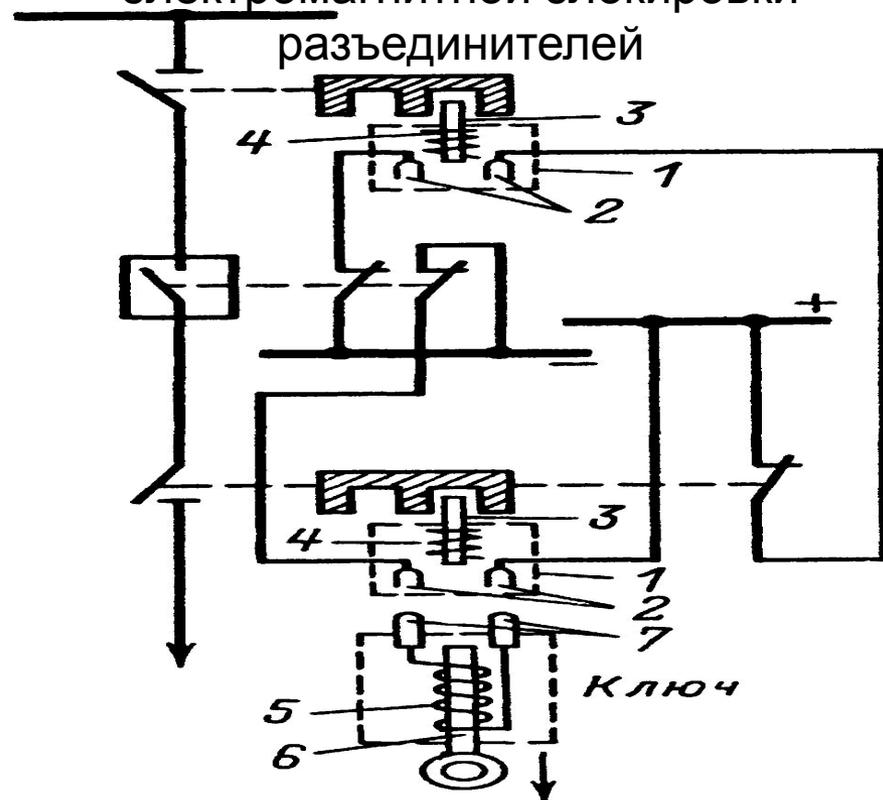
Во избежание возникновения короткого замыкания при отключении разъединителя, при прохождении через него номинального тока, разъединители блокируются с выключателями с помощью механических, механических замковых и электромагнитных замковых блокировок.

Принципиальная схема механической замковой блокировки разъединителей.



Каждый разъединитель и выключатель имеют свой запорный замок, который состоит из корпуса 3 и подвижного стержня с выступающей частью 1. Стержень входит в стопорное отверстие привода 2 блокируемого аппарата. На втором конце подвижного стержня, который находится внутри корпуса, имеются специальные выступы, соответствующие прорезям переносного ключа 4. Ключ может быть вставлен в замок или вынут из него только в конечных положениях привода, когда фиксирующий стержень входит в предназначенное для него отверстие. Во избежание ошибок ключ и замок выполняются с определенным секретом.

Принципиальная схема электромагнитной блокировки разъединителей



Замок состоит из пластмассового корпуса 1, в котором размещаются контактные гнезда 2 и запорный стержень 3 с пружиной 4. Замок монтируется так, чтобы стержень 3 фиксировал положение привода, входя в специальные отверстия на нем.

Переносный ключ состоит из катушки 5, внутри которой располагается подвижный сердечник 6. Выводы катушки присоединяются к штырям 7.

ВЫБОР РАЗЪЕДИНИТЕЛЕЙ

Номинальное напряжение разъединителя должно соответствовать номинальному напряжению высоковольтной сети.

Наибольший длительный ток нагрузки потребителя не должен превышать номинальное значение длительного тока разъединителя.

Ударный ток короткого замыкания в месте установки разъединителя не должен превышать допустимую амплитуду ударного тока короткого замыкания разъединителя.

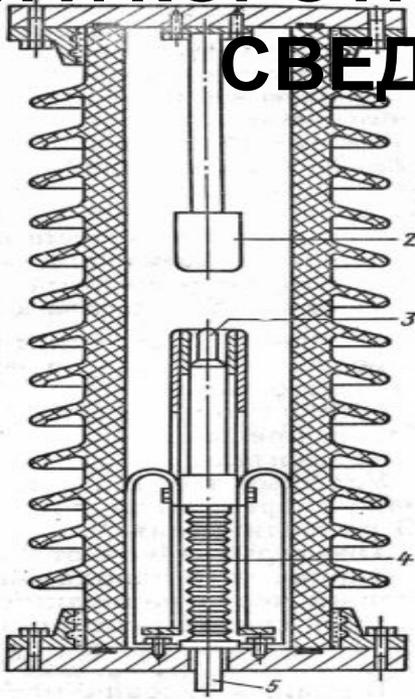
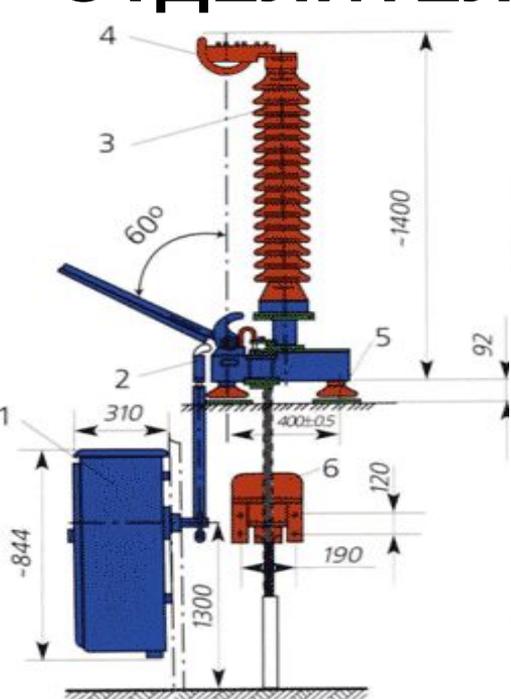
Ток термической стойкости I_T в течение времени t_T , гарантированный заводом-изготовителем, и ток короткого замыкания, протекающий через разъединитель в течение времени, должны быть связаны соотношением

$$I_T^2 t_T \geq I_{КЗ}^2 t_{КЗ}$$

Внешние условия работы разъединителя должны соответствовать реальным условиям эксплуатации аппарата (скорость ветра, температура, гололед).

ОТДЕЛИТЕЛИ И КОРОТКОЗАМЫКАТЕЛИ. ОБЩИЕ

СВЕДЕНИЯ



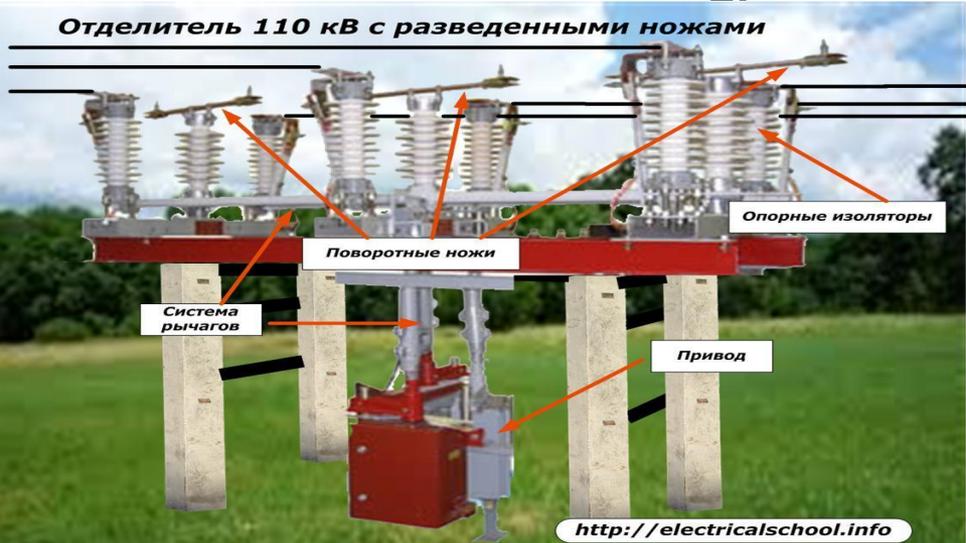
Короткозамыкатель – быстродействующий контактный электрический аппарат, предназначенный для создания искусственного короткого замыкания сети по сигналу релейной защиты.

Отделитель – это разъединитель, который быстро отключает обесточенную цепь после подачи команды на его привод. Процесс отключения в отделителе длится 0,5–1 с.

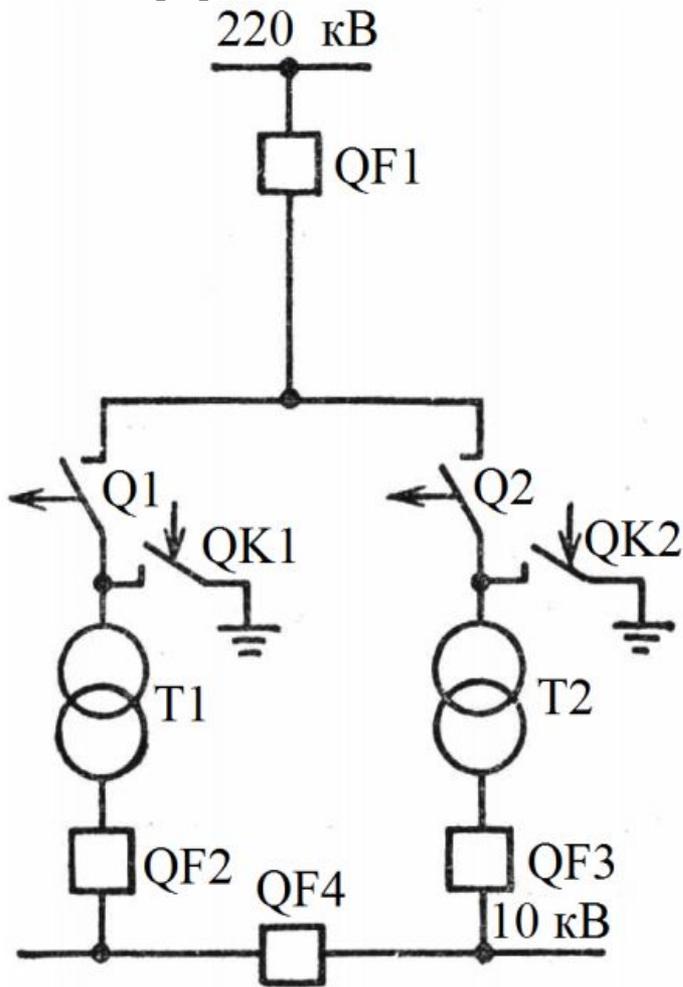
Наиболее перспективно применение элегазовых аппаратов. На рисунке представлен элегазовый короткозамыкатель на напряжение 110 кВ. В фарфоровом цилиндре 1 установлены контакты 2 и 3. Давление элегаза в цилиндре составляет 0,3 МПа. Привод подвижного контакта 3 осуществляется тягой 5. Стальной сильфон 4 обеспечивает герметизацию полости цилиндра 1

Короткозамыкатель КЗ-110

Элегазовый короткозамыкатель



ОТДЕЛИТЕЛИ И КОРОТКОЗАМЫКАТЕЛИ. ОБЩИЕ



СВЕДЕНИЯ

На рисунке приведена схема питания от одной линии двух трансформаторных групп Т1 и Т2. В схему введены короткозамыкатели QK1, QK2 и отделители Q1, Q2, которые при нормальном режиме работы замкнуты. При ухудшении изоляции трансформатора Т1 срабатывает газовое реле, и по его сигналу включается короткозамыкатель. В цепи возникает искусственное короткое замыкание. Под действием тока короткого замыкания срабатывает выключатель защиты QF1 и обе группы трансформаторов (Т1 и Т2) обесточиваются. С помощью релейной защиты трансформатора Т1 отключается также выключатель QF2, после чего с некоторой выдержкой отключается отделитель Q1. Так как режим искусственного короткого замыкания оказался отключенным, снова включается выключатель QF1. Если до аварии выключатель QF4 был отключен, то после включения выключателя QF1 он может быть включен. При этом будет

восстановлено питание потребителей на шинах 10 кВ трансформаторов Т1 и Т2. Для надежной работы необходима четкая последовательность в работе короткозамыкателей, выключателей и отделителей.

Эффективность схемы тем выше, чем больше номинальное напряжение сети. Устраняются выключатели, аккумуляторные батареи, компрессорные установки на стороне 35–220 кВ, уменьшается площадь подстанции и ее стоимость, сокращаются сроки строительства.

ВЫБОР ОТДЕЛИТЕЛЕЙ И КОРОТКОЗАМЫКАТЕЛЕЙ

Номинальное напряжение короткозамыкателя должно соответствовать номинальному значению напряжения сети.

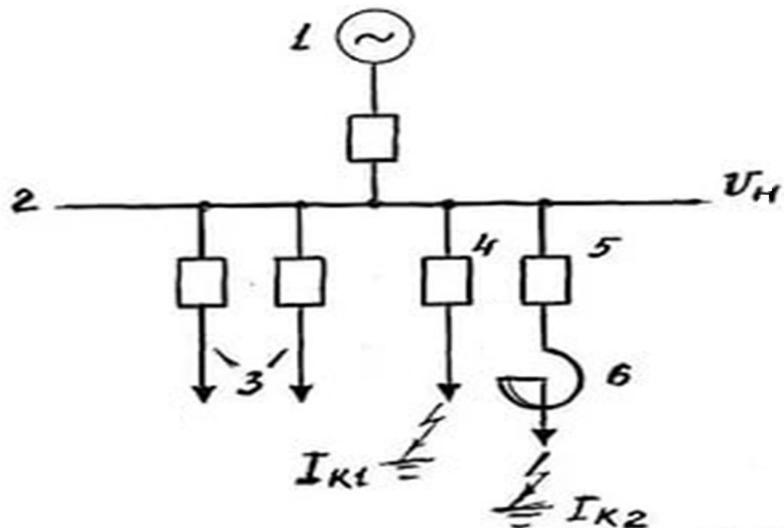
Динамическая и термическая стойкости короткозамыкателя должны соответствовать току короткого замыкания в месте его установки.

Время отключения короткозамыкателя должно соответствовать требованиям схемы автоматики.

Номинальные данные по току и напряжению отделителя выбираются так же, как и для разъединителя. Кроме того, время отключения должно соответствовать требованиям схемы автоматики.

Ток отделителя должен быть не меньше ударного тока короткого замыкания, протекающего через выключатель.

РЕАКТОРЫ. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ



Реактор – это электрический аппарат, предназначенный для ограничения токов короткого замыкания и поддержания напряжения на шинах при аварийном режиме.

Реактор выполняется в виде обмотки с неизменной индуктивностью.

1 – G; 4 – QF1; 5 – QF2; 6 – L.

Принцип действия реактора

Генератор G питает сборные шины, от которых отходят линии к потребителю. За выключателем QF1 реактор отсутствует, а за выключателем QF2 реактор L установлен.

При коротком трехфазном замыкании ток I_{K31} определяется в основном индуктивным сопротивлением генератора:

$$I_{K31} = \frac{U_H}{\sqrt{3}X_G} = I_{ГН} \frac{100}{x_G},$$

где $I_{ГН}$ – номинальный ток генератора; U_H – номинальное напряжение генератора; $x_G = \frac{I_{ГН}X_G\sqrt{3}}{U_H} 100, \%$ – относительное индуктивное сопротивление генератора.

Напряжение при коротком замыкании на сборных шинах будет равно нулю и на всех отходящих линиях пропадет напряжение.

РЕАКТОРЫ. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Ток короткого замыкания в линии с реактором определяется суммарным сопротивлением генератора и реактора:

$$I_{\text{КЗ2}} = \frac{U_{\text{н}}}{\sqrt{3}(X_{\text{Г}} + X_{\text{Р}})}.$$

Как правило, один генератор обслуживает несколько десятков потребителей, поэтому номинальный ток линии во много раз меньше номинального тока генератора. Длительный ток реактора выбирается равным току линии, при этом $I_{\text{РН}} \ll I_{\text{ГН}}$. Если $x_{\text{Г}} = x_{\text{Р}}$, то $X_{\text{Р}} \gg X_{\text{Г}}$ и

$$I_{\text{КЗ2}} \approx I_{\text{РН}} \frac{100}{x_{\text{Р}}} \ll I_{\text{КЗ1}}.$$

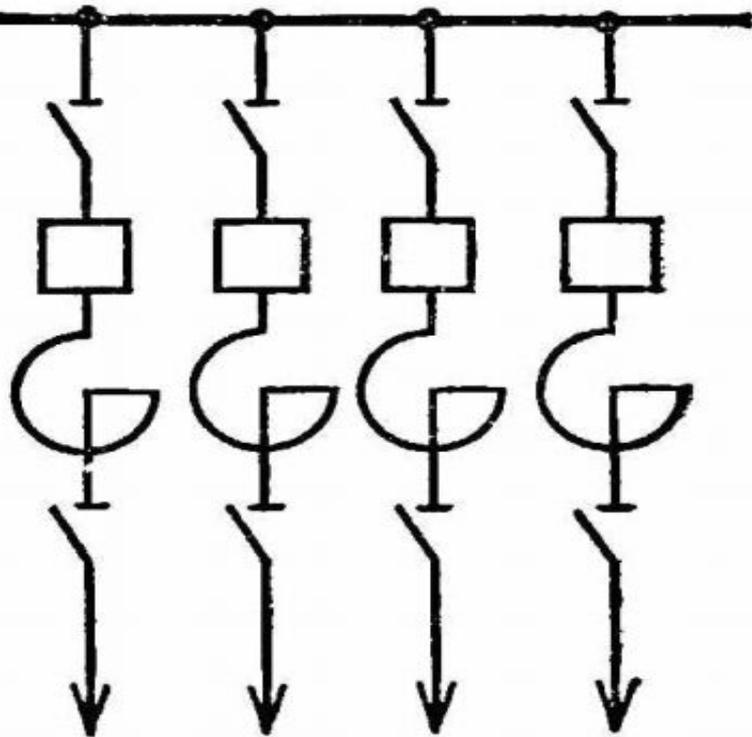
Так как реактор обладает высокой надежностью, выбор аппаратуры линии производится по току $I_{\text{КЗ2}} \ll I_{\text{КЗ1}}$, что облегчает и удешевляет распределительное устройство.

В режиме короткого замыкания падение напряжения на реакторе $I_{\text{КЗ}}X_{\text{Р}} \gg I_{\text{КЗ}}X_{\text{Г}}$, так как $X_{\text{Р}} \gg X_{\text{Г}}$ и напряжение на шинах относительно земли мало отличается от номинального фазного напряжения. При номинальном режиме $X_{\text{Р}} \ll Z_{\text{Н}}$, поэтому падение напряжения на реакторе незначительно.

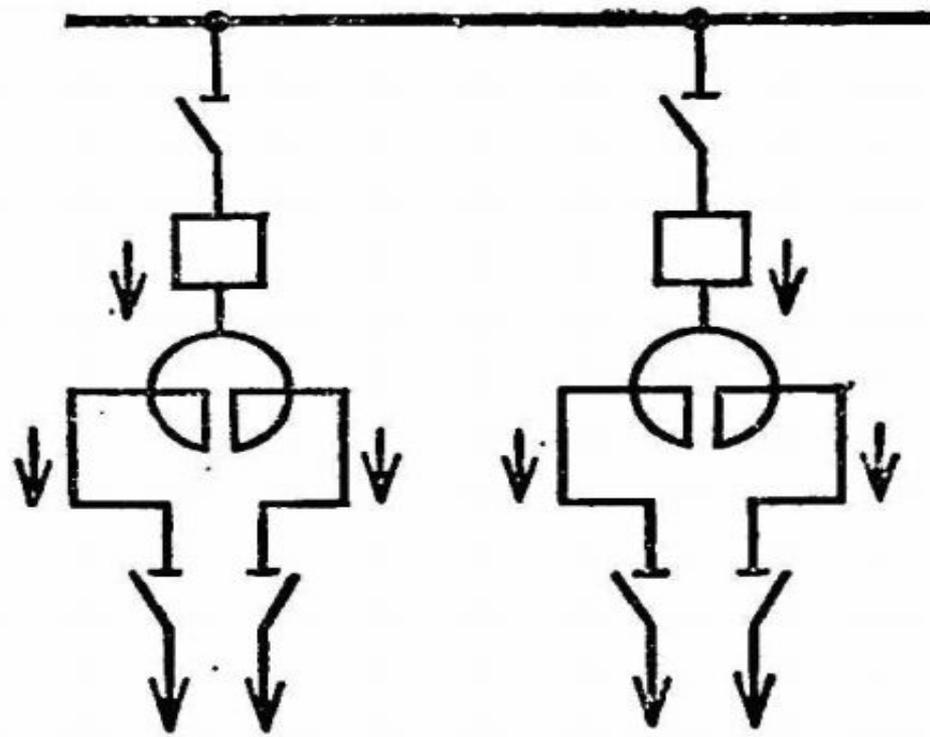
РЕАКТОРЫ. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Для уменьшения потерь напряжения на реакторе в номинальном режиме, упрощения и удешевления распределительных устройств применяют **сдвоенные реакторы**. При обычных реакторах (рис. а) каждая отходящая линия имеет свой реактор. Каждая трехфазная группа реакторов размещается в специальной ячейке распределительного устройства. В сдвоенных реакторах (рис. б) реакторы соседних ветвей сближены так, что между ними существует сильная магнитная связь.

В номинальном режиме магнитные поля реакторов направлены встречно и оказывают размагничивающее действие друг на друга. В результате индуктивное сопротивление ветви падает, следовательно, уменьшается падение напряжения на реакторе.



а



б

РЕАКТОРЫ. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Падение напряжения на ветви реактора ΔU_B при номинальном токе

$$\Delta U_B = I_{нВ}(X_{PB} - X_M) = I_{нР}X_{PB}(1 - X_M / X_{PB}) = I_{нР}X_{PB}(1 - k),$$

где X_{PB} – индуктивное сопротивление ветви реактора; $X_M = \omega M$ – сопротивление взаимной индукции ветвей реактора (M – коэффициент взаимной индуктивности); $k = M / L_{PB}$ – коэффициент связи ветвей реактора; L_{PB} – индуктивность одной ветви.

Чем больше коэффициент связи, тем меньше падение напряжения в ветви. С точки зрения уменьшения падения напряжения в номинальном режиме желательно увеличение коэффициента связи k .

Для увеличения коэффициента связи реакторы должны быть возможно ближе друг к другу.

Сдвоенные реакторы позволяют уменьшить габариты аппарата, удешевляют и упрощают распределительное устройство.

РЕАКТОРЫ. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ

Основными параметрами реактора являются: **номинальное напряжение**; **номинальный ток**; **реактивное сопротивление**; **ток термической стойкости, отнесенный к определенному времени**; **ток динамической стойкости**.

Номинальное напряжение – это напряжение сети, в которой реактор предназначен работать. Изоляция обмотки от земли осуществляется опорными фарфоровыми изоляторами.

Номинальный ток – длительный ток, который, протекая по обмотке, нагревает ее до температуры, близкой к допустимой.

Номинальный ток реактора может быть равен 3000–4000 А, при этом активные потери могут достигать нескольких десятков киловатт. Кроме того, имеют место дополнительные потери из-за того, что проводники реактора находятся в мощном магнитном поле. Коэффициент добавочных потерь достигает 1,3–1,5.

Одним из основных параметров реактора является его **индуктивность L_p** .

Для бетонных реакторов, имеющих обмотку из w витков в виде катушки высотой h (м), толщиной b (м) и средним диаметром D (м), индуктивность (мГн) может быть определена по формуле Корндорфера

$$L_p = 10,5 w^2 D^2 \frac{p}{2(b+h)} \cdot 10^{-4}$$

где $p = \frac{3}{4}$ при $0 < \frac{D}{2(b+h)} \leq 1$ и $p = \frac{1}{2}$ при $1 \leq \frac{D}{2(b+h)} \leq 3$.

РЕАКТОРЫ. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ

Ток термической стойкости $I_m = I_{\text{кзР}}$ должен выдерживаться в течение времени t_m .

Если $x_p < 3\%$, то при расчете тока короткого замыкания желательно учитывать сопротивление источника питания.

При прохождении тока короткого замыкания между реакторами и внутри реактора создаются электродинамические силы, которые стремятся его разрушить. Механическая прочность реактора характеризуется *током электродинамической стойкости*. При расчете электродинамической стойкости за основу берется ударный ток $i_{\text{уд}} = 1,8\sqrt{2}I_{\text{кзР}}$.

Расстояние между реакторами определяется высотой опорных изоляторов. Так как при напряжении 6–10 кВ высота этих изоляторов мала, то при больших токах в реакторах возникают электродинамические силы, которые могут разрушить изоляторы, работающие и на сжатие, и на разрыв.

В реакторах на большие токи электродинамические силы при вертикальной установке в аварийном режиме столь велики, что изоляторы не могут обеспечить необходимую электродинамическую стойкость. В этих случаях приходится прибегать к горизонтальной установке реакторов. Расстояние между осями может быть выбрано достаточно большим.

РЕАКТОРЫ. БЕТОННЫЙ РЕАКТОР

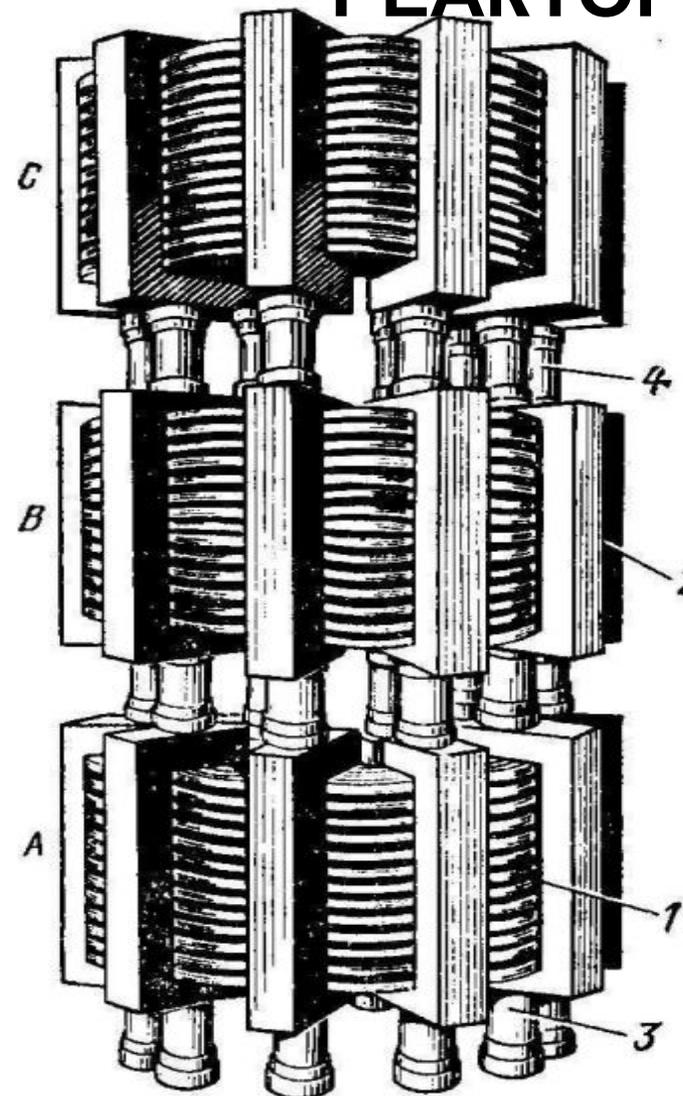
Для получения необходимой прочности электрической изоляции реактор подвергают интенсивной сушке под вакуумом и пропитке влагостойким изоляционным лаком.

Охлаждение реакторов, как правило, естественное.

Между отдельными витками в ряду обмотки реактора и между рядами выдерживается значительный зазор – $(3,5-4,5) \cdot 10^{-2}$ м, что улучшает охлаждение отдельных витков и повышает электрическую прочность изоляции.

При больших номинальных токах (более 400 А) применяется несколько параллельных ветвей. Для равномерного распределения тока по ветвям применяется транспозиция витков. Все витки ветвей должны быть одинаково расположены относительно оси реактора.

В качестве обмоточного провода используется многожильный медный или алюминиевый кабель большого сечения. Кабель покрывается несколькими слоями кабельной бумаги толщиной $0,12 \cdot 10^{-3}$ м и хлопчатобумажной оплеткой. Общая толщина изоляции примерно – $1,5 \cdot 10^{-3}$ м. Максимальная допустимая температура при длительном режиме – не выше 105°C , при КЗ – **120**



Трехфазный комплект бетонных реакторов:

Из многожильного провода 1 намотаны обмотки реактора А, В, С. Заливкой в специальные формы получают бетонные вертикальные стойки – колонны 2, которые скрепляют между собой отдельные витки обмоток. Торцы колонн имеют шпильки с изоляторами 3,

РЕАКТОРЫ. БЕТОННЫЙ РЕАКТОР

В трехфазном комплекте наибольшему нагреву подвергается верхний реактор, поскольку подходящий снизу воздух уже подогрет реакторами, расположенными ниже.

Вокруг обмотки реактора замыкается мощное магнитное поле. Для уменьшения дополнительных потерь все ферромагнитные детали (балки, арматура железобетонных стен) удаляются от обмотки на расстояние, не меньшее ее внешнего радиуса.

Бетонные реакторы применяются в закрытых распределительных устройствах при напряжении не выше 35 кВ. Недостатками таких реакторов являются большие масса и габаритные размеры.

Применение ферромагнитных магнитопроводов позволяет резко снизить размеры реактора, однако при больших токах происходит насыщение магнитопроводов и уменьшение индуктивности, что уменьшает токоограничивающий эффект реактора. В связи с этим применение магнитопроводов в токоограничивающих реакторах не получило распространения.

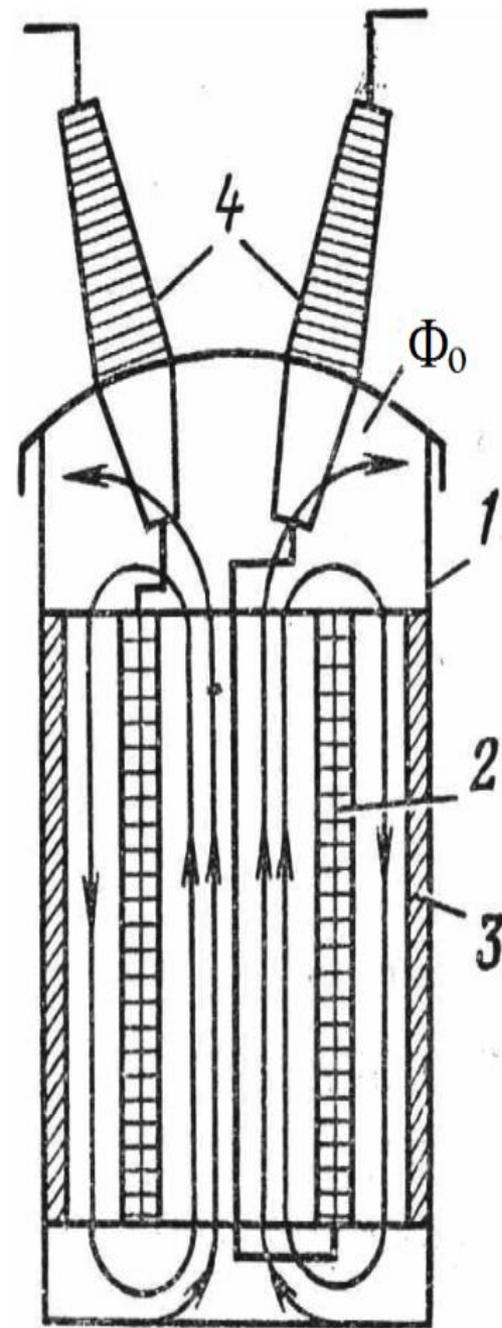
РЕАКТОРЫ. РЕАКТОРЫ В МАСЛЯНОМ

ИСПОЛНЕНИИ

При напряжении выше 35 кВ и для установки на открытой части подстанций применяются реакторы в масляном исполнении.

В стальной бак 1 с трансформаторным маслом погружена обмотка 2.

Применение масла позволяет уменьшить изоляционные расстояния между обмоткой и заземленными частями реактора и улучшить охлаждение обмотки за счет конвекции масла. В результате уменьшаются масса и габаритные размеры. Выводы обмотки присоединяются к контактам проходных изоляторов 4. Потери на вихревые токи в стенках бака

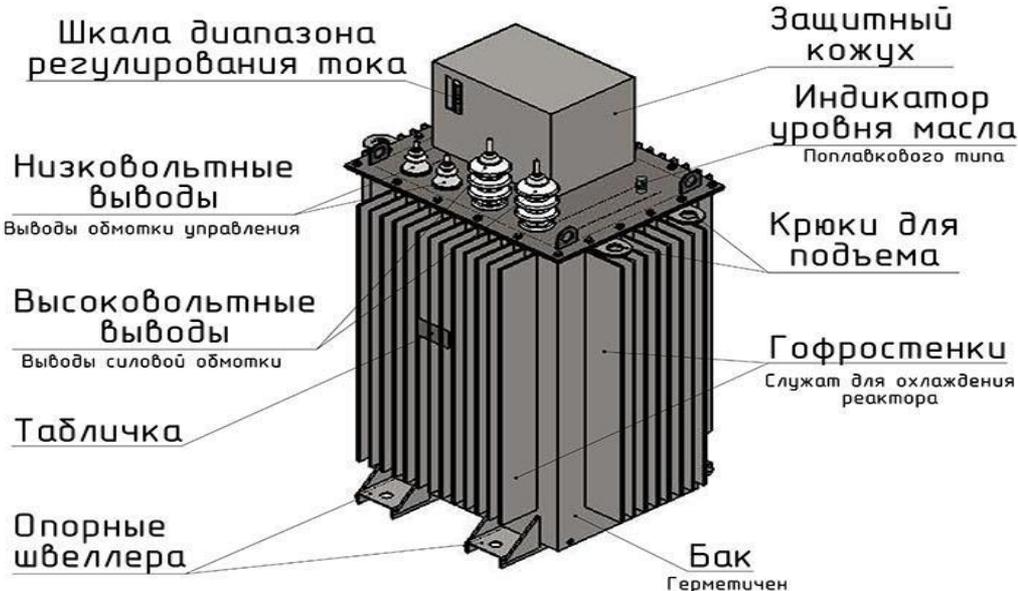


Масляный дугогасящий реактор 6-35 кВ.

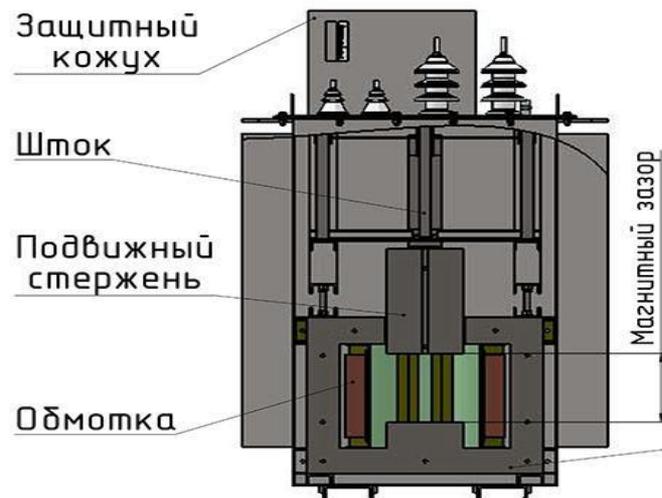
Основные технические характеристики дугогасящих реакторов

Тип реактора	Номинальное напряжение, кВ	Наибольшее рабочее напряжение, кВ	Предельные токи при номинальном напряжении, А
РЗДПОМ-120 /6	6,6/√3	7,2/√3	5-30
РЗДПОМ-190 /6	6,6/√3	7,2/√3	5-50
РЗДПОМ-190 /10	11/√3	12/√3	5-30
РЗДПОМ-300 /6	6,6/√3	7,2/√3	13-80
РЗДПОМ-300 /10	11/√3	12/√3	10-50
РЗДПОМ-360 /6	6,6/√3	7,2/√3	25-130
РЗДПОМ-460 /6	6,6/√3	7,2/√3	25-130
РЗДПОМ-480 /10	11/√3	12/√3	12,6-80
РЗДПОМ-500 /6	6,6/√3	7,2/√3	25-130
РЗДПОМ-500 /10	11/√3	12/√3	12,6-80
РЗДПОМ-730 /10	11/√3	12/√3	16-135
РЗДПОМ-760 /10	11/√3	12/√3	18-135
РЗДПОМ-860 /10	11/√3	12/√3	18-135
РЗДПОМ-950 /6	6,6/√3	7,2/√3	30-250
РЗДПОМ-1000 /6	6,6/√3	7,2/√3	30-250
РЗДПОМ-1520 /10	11/√3	12/√3	30-230
РЗДПОМ-1600 /10	11/√3	12/√3	30-230
РЗДПОМ-2000 /10	11/√3	12/√3	4,0-280
РЗДПОМ-700 /35	38,5/√3	40,5/√3	5,7-28,4
РЗДПОМ-800 /35	38,5/√3	40,5/√3	7,2-36,0

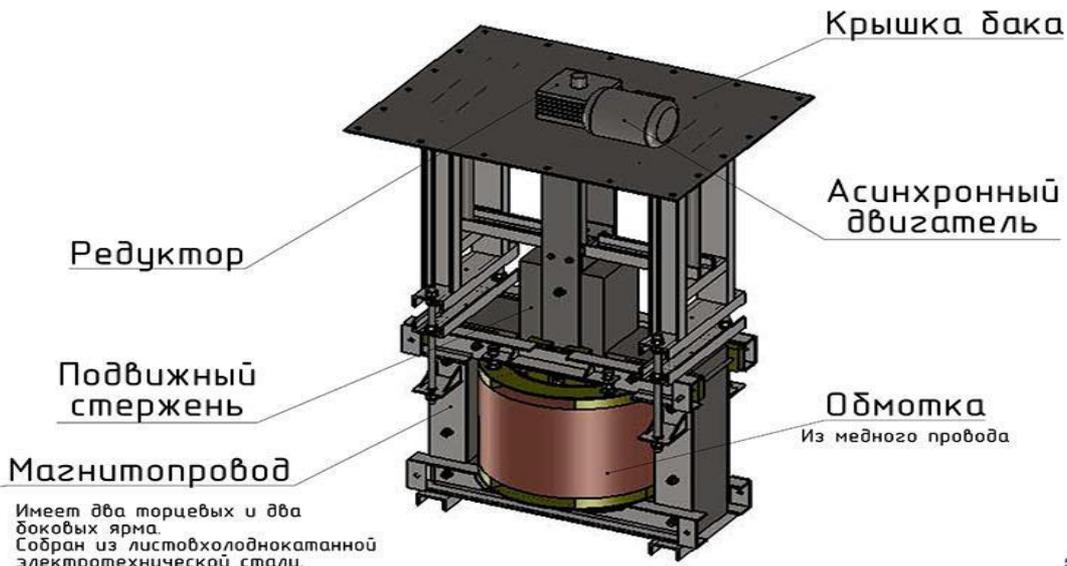
Дугогасящий реактор в баке



Активная часть реактора



Остов реактора

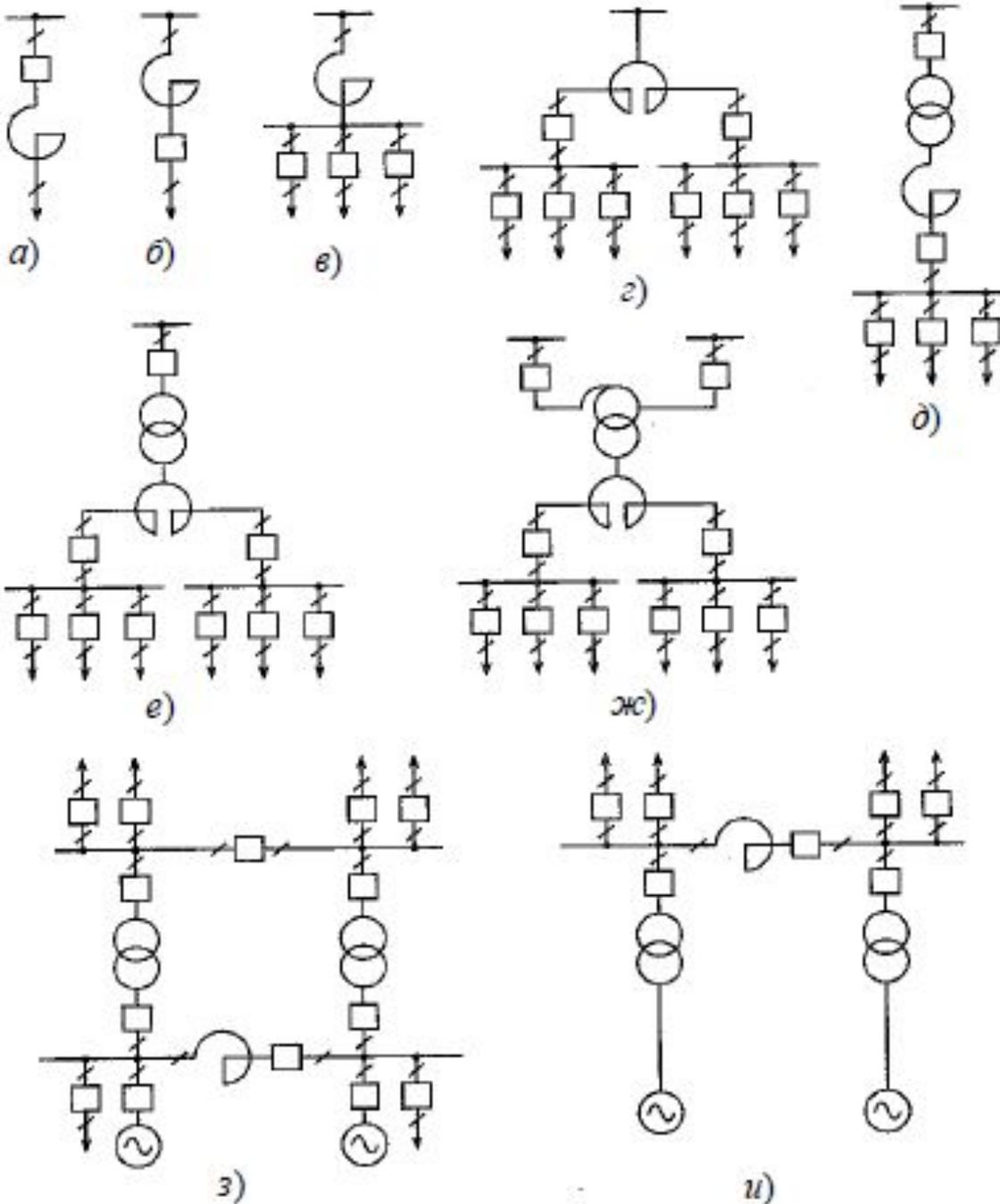


РЕАКТОРЫ. ТОРОИДАЛЬНЫЕ РЕАКТОРЫ

Разработаны также тороидальные реакторы. В таких реакторах внешнее поле рассеяния практически отсутствует и нагрев бака не возникает. Тороидальные реакторы на напряжение 110 кВ и выше имеют более высокие технические и экономические показатели по



РЕАКТОРЫ. ВОЗМОЖНЫЕ СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ



Токоограничивающие реакторы представляют собой дополнительные реактивные сопротивления, включаемые в различных точках электрической сети напряжением 6–220 кВ. Их назначением является снижение тока КЗ за реактором и сохранение требуемого уровня остаточного напряжения в узловых точках сети перед реактором. В зависимости от места включения различают реактирование присоединений (а), вводов (б), секции (в) и их сочетания (г). По схеме включения различают одноцепные и сдвоенные (расщепленные) реакторы. Отличие сдвоенного реактора от одинарного заключается в наличии среднего вывода обмотки, поэтому возможны

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ. ОБЩИЕ

СВЕДЕНИЯ

Измерительный трансформатор — электрический трансформатор для контроля напряжения, тока или фазы сигнала первичной цепи.

Измерительные трансформаторы тока и напряжения предназначены для уменьшения первичных токов и напряжений до значений, наиболее удобных для подключения измерительных приборов, реле защиты, устройств автоматики.

Применение измерительных трансформаторов обеспечивает безопасность работающих, так как цепи высшего и низшего напряжения разделены, а также позволяет унифицировать конструкцию приборов и реле.

Измерительные трансформаторы классифицируются следующим образом:

- по количеству трансформации:
 - однодиапазонные;
 - многодиапазонные;
- по материалу диэлектрика:
 - масляные;
 - газонаполненные;
 - сухие.
- по виду измеряемого значения:
 - трансформаторы напряжения;
 - трансформаторы тока (переменного);
 - трансформаторы постоянного тока;
- по способу установки:
 - внутренней установки;
 - наружной установки;
 - встроенные;

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ.

Техническими характеристиками трансформаторов тока являются:

ХАРАКТЕРИСТИКИ

- **номинальный первичный и вторичный ток** трансформаторов тока (стандартная шкала номинальных первичных токов содержит значения от 1 до 40 000 А, номинальный вторичный ток принимается обычно равным 5 или 1А).

Отношение номинального первичного к номинальному вторичному току представляет собой **коэффициент трансформации** $K = I_{H2} / I_{H1}$.

Трансформаторы тока характеризуются **токовой погрешностью** $\Delta I\% = (I_2 \cdot K_I - I_1) \cdot 100 / I_1$ (в процентах) и **угловой погрешностью** (в минутах).

В зависимости от токовой погрешности измерительные трансформаторы тока разделены на **пять классов точности**: 0,2; 0,5; 1; 3; 10. Наименование класса точности соответствует предельной токовой погрешности трансформатора тока при первичном токе, равном 1–1,2 номинального.

Для лабораторных измерений предназначены трансформаторы тока класса точности 0,2, для присоединений счетчиков электроэнергии – трансформаторы тока класса 0,5, для присоединения щитовых измерительных приборов – классов 1 и 3.

Нагрузкой трансформатора тока является полное сопротивление внешней цепи. Активные и индуктивные сопротивления представляют собой сопротивление приборов, проводов и контактов. Нагрузку трансформатора можно также характеризовать кажущейся мощностью.

Под **номинальной нагрузкой трансформатора тока** понимаются

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ.

ХАРАКТЕРИСТИКИ

Электродинамическая стойкость трансформаторов тока характеризуют номинальным током динамической стойкости или кратностью этого тока по отношению к номинальному.

Термическая стойкость определяется номинальным током термической стойкости или отношением тока термической стойкости к номинальному и допустимым временем действия тока термической стойкости.

Техническими характеристиками трансформаторов напряжения являются:

номинальные первичное и вторичное напряжения (обычно 100 В), коэффициент трансформации $K = U_{н1} / U_{н2}$.

В зависимости от погрешности различают следующие **классы точности** трансформаторов напряжения: 0,2; 0,5; 1;3.

Нагрузкой трансформаторов напряжения является мощность внешней вторичной цепи.

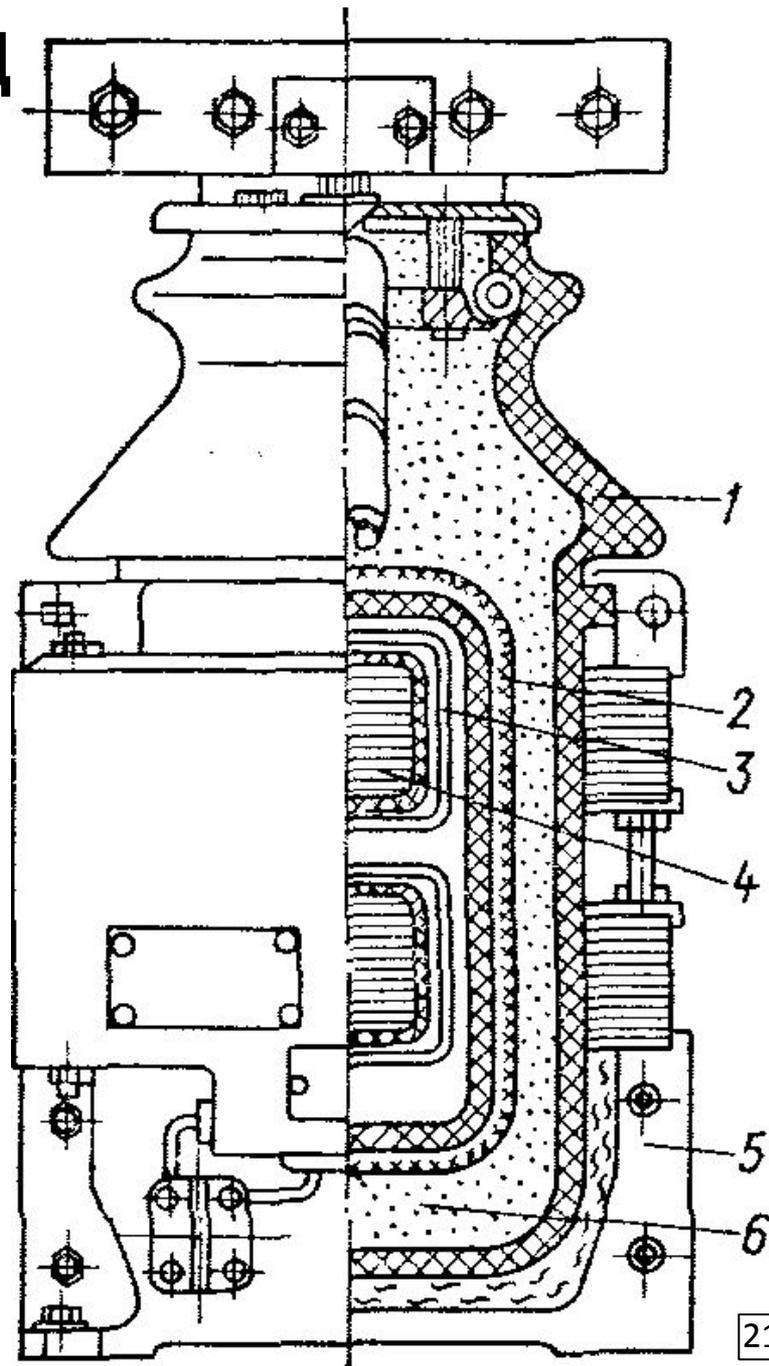
Под **номинальной вторичной нагрузкой** понимают наибольшую нагрузку, при которой погрешность не выходит за допустимые пределы, установленные для трансформаторов данного класса точности.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ.

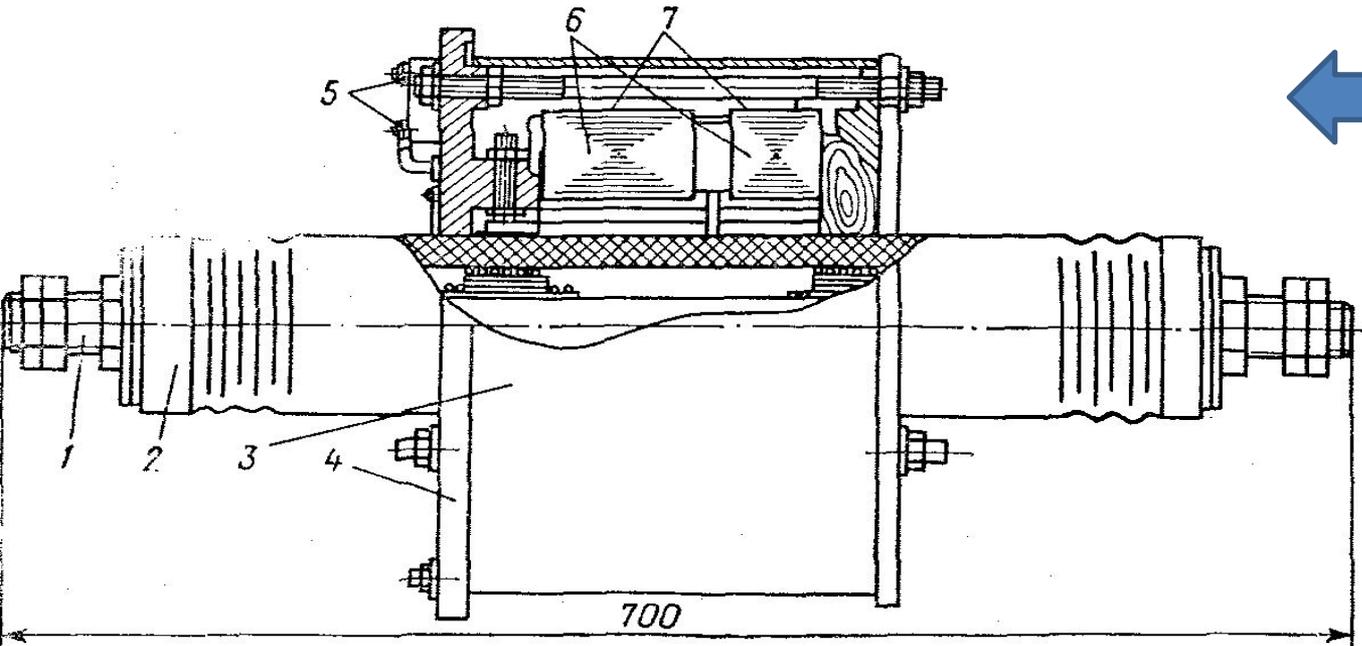
КОНСТРУКЦИЯ

Трансформатор тока имеет замкнутый магнитопровод с двумя обмотками. Через первичную обмотку пропускается измеряемый ток, вторичная обмотка подключается к измерительным приборам или реле. Первичная обмотка изолирована от вторичной в соответствии с классом изоляции. Один вывод вторичной обмотки обязательно заземляется. В случае повреждения изоляции приборы и реле остаются под потенциалом земли.

По конструкции различают трансформаторы тока катушечные, одновитковые (типа ТПОЛ), многovitковые с литой изоляцией (типа ТПЛ и ТЛМ). Трансформатор типа ТЛМ предназначен для комплектного распределительного устройства (КРУ) и конструктивно совмещен с одним из штепсельных разъемов первичной цепи ячейки. **Катушечный трансформатор тока типа ТФ-10** ячейки. 1 — изолятор — фарфор; 2 — первичная обмотка; 3 — вторичная обмотка; 4 — сердечник; 5 — основание; 6 — засыпка из леска с графитом



ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ.

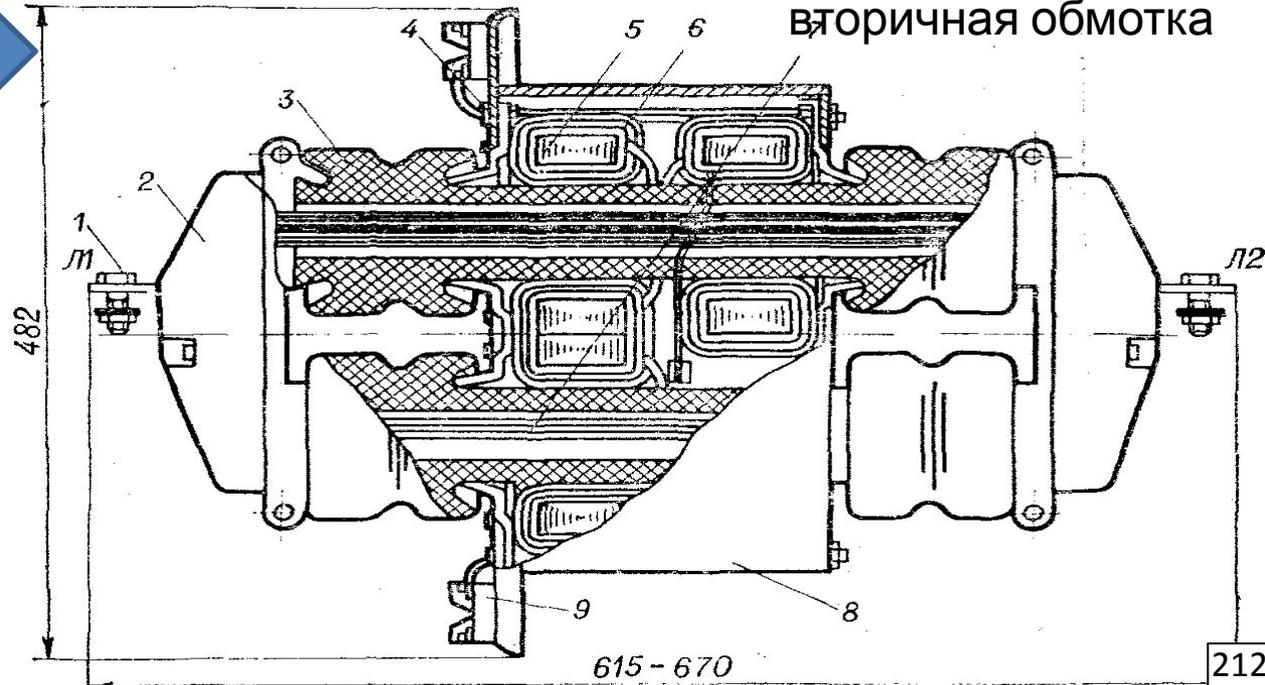


Проходной трансформатор тока типа ТПОФ-10
 1 — токоведущий стержень; 2 — изолятор фарфор; 3 — кожух; 4 — фланец для крепления; 5 — выводы вторичных обмоток; 6 ленточные сердечники; 7 — вторичная обмотка

Проходной модернизированный трансформатор тока типа ТПФМ-10



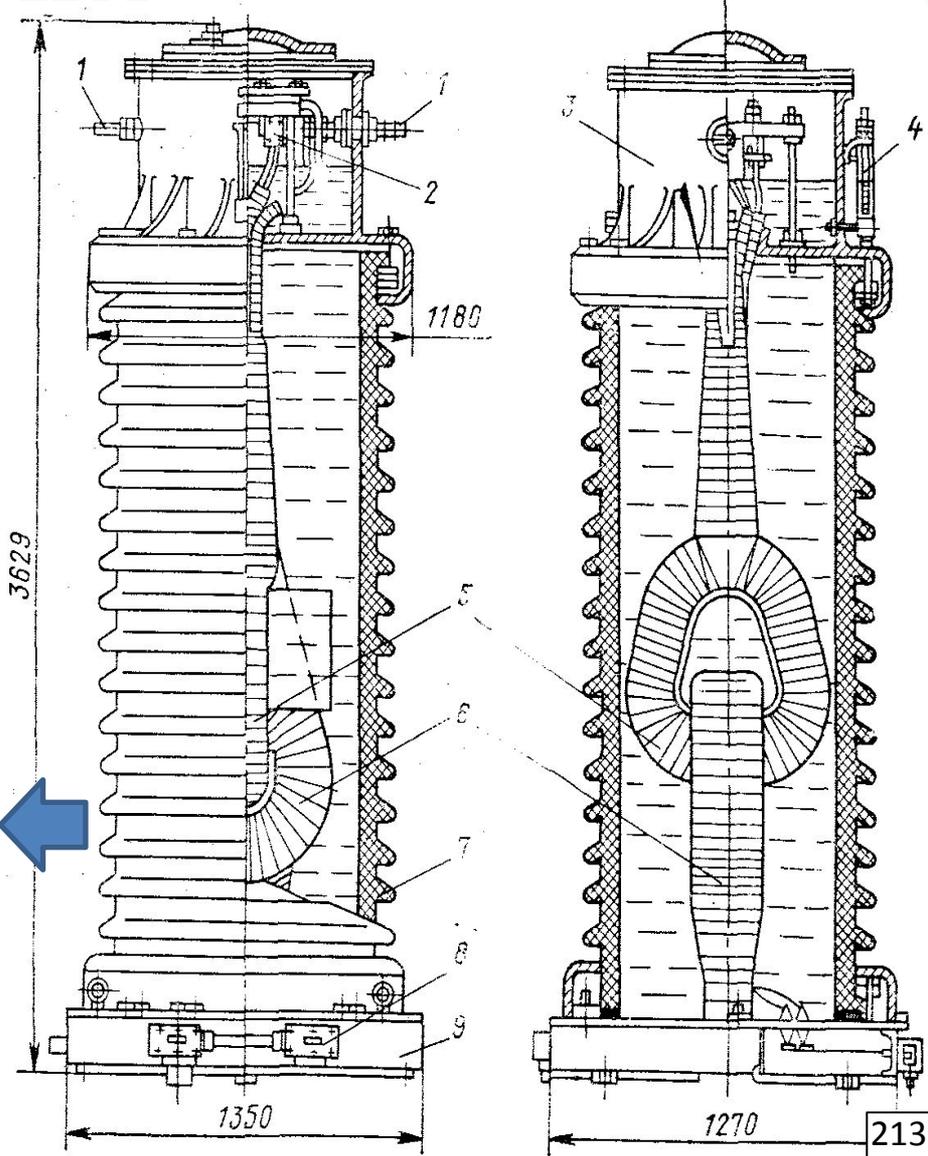
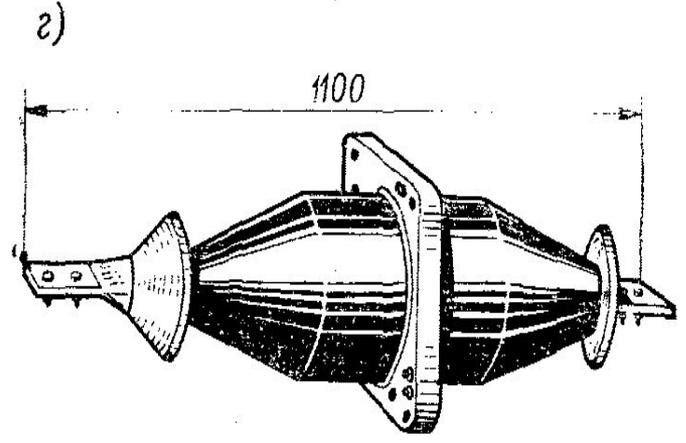
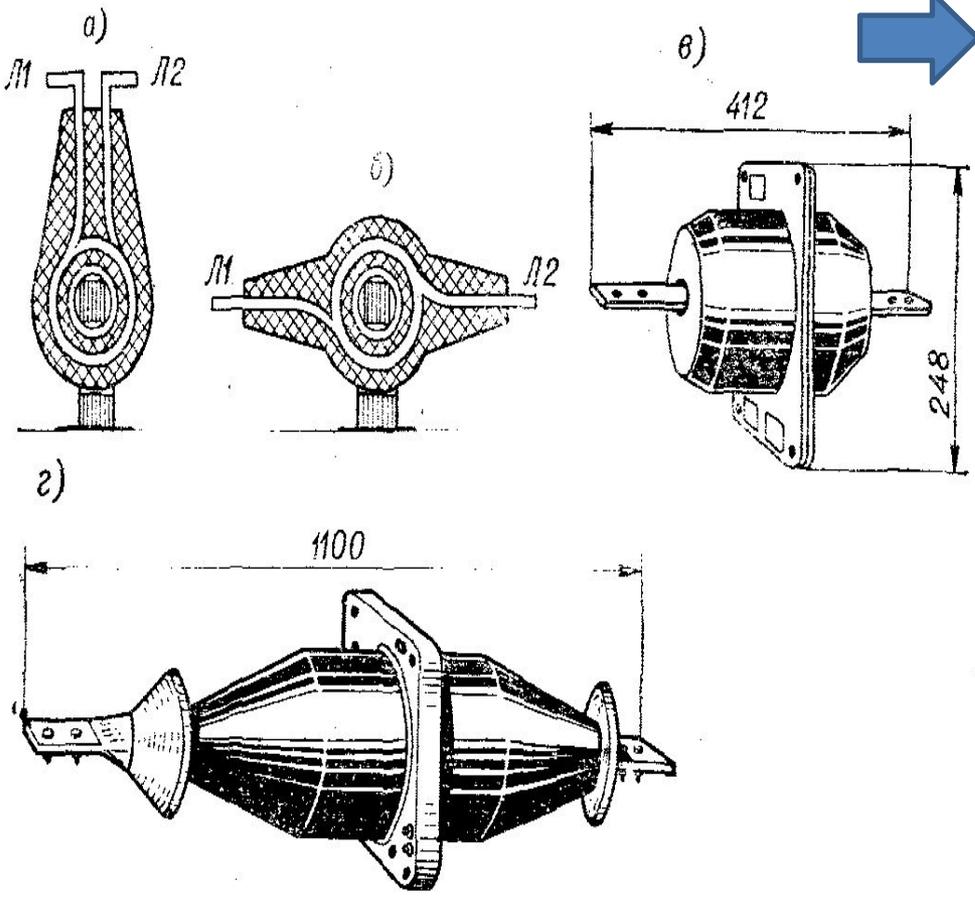
1 — вывод первичной обмотки; 2 — концевая коробка; 3 — изоляторы — фарфор; 4 — фланец; 5 — сердечник; 6 — вторичная обмотка; 7 — первичная обмотка; 8 — кожух; 9 — выводы вторичных обмоток



ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ.



Трансформатор тока с литой изоляцией: а, б — катушечного типа; в — проходной ТПОЛ-10; е — проходной



Трансформатор тока типа ТФН-220

- 1 — выводы первичной обмотки;
- 2 — переключатель; 3 - маслорасширитель;
- 4 — маслоуказатель; 5 — первичная обмотка;
- 6 — сердечник со вторичной обмоткой;
- 7 — крышка — фарфор; 8 коробка

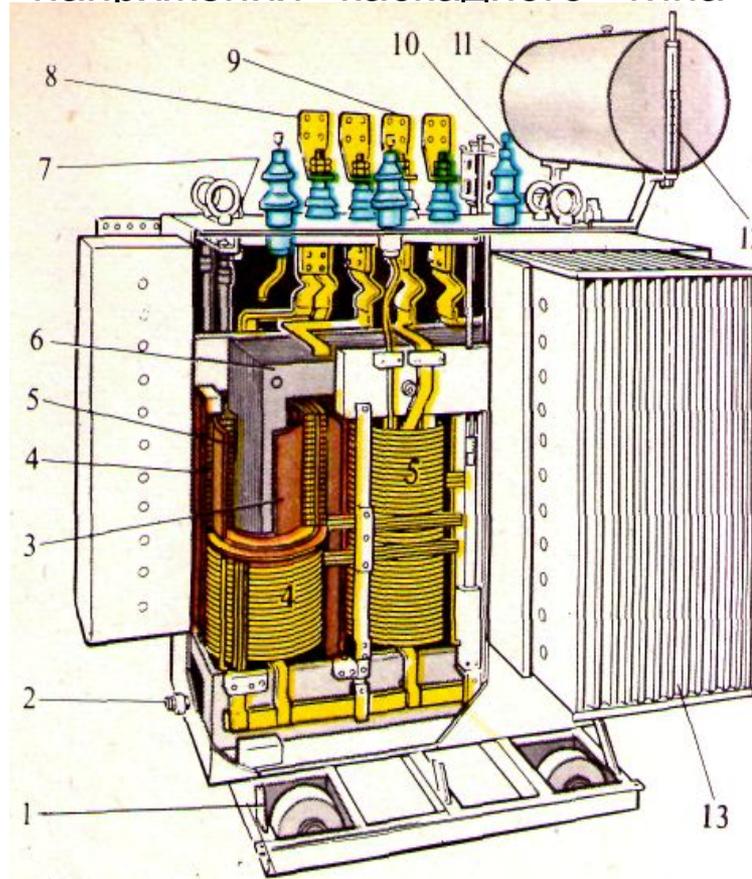


ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ.

КОНСТРУКЦИИ

В установках напряжением до 18 кВ применяются трехфазные и однофазные трансформаторы напряжения, при более высоких напряжениях – только однофазные. При напряжениях до 20 кВ имеется большое число типов трансформаторов напряжения: сухие (НОС), масляные (НОМ, ЗНОМ, НТМИ, НТМК), с литой изоляцией (ЗНОЛ). Следует отличать однофазные двухобмоточные трансформаторы НОМ от однофазных трехобмоточных трансформаторов ЗНОМ. Трансформаторы типов ЗНОМ-15, -20 -24 и ЗНОЛ-06 устанавливаются в комплектных токопроводах мощных генераторов. В установках напряжением 110 кВ и выше применяют трансформаторы напряжения каскадного типа НКФ и емкостные

Трехфазный масляный трансформатор с трубчатым баком в частичном разрезе:



1 — катки, 2 — спускной кран для масла, 3 — изолирующий цилиндр, 4 — обмотка высшего напряжения, 5 — обмотка низшего напряжения, 6 — сердечник, 7 — термометр, 8 — выводы низшего [напряжения](#), 9 — выводы высшего напряжения, 10 — расширитель для масла, 11 — газовые

Тр-р напр. однофазный

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ.

Трансформатор ЗНОМ-3

5-65



Конструкция трансформатора напряжения до 35 кВ аналогична конструкции силовых трансформаторов. При этом индукция в магнитопроводе значительно меньше, чем у силовых трансформаторов. Это снижает погрешность, позволяет в некоторых случаях проводить испытания индуцированным напряжением.

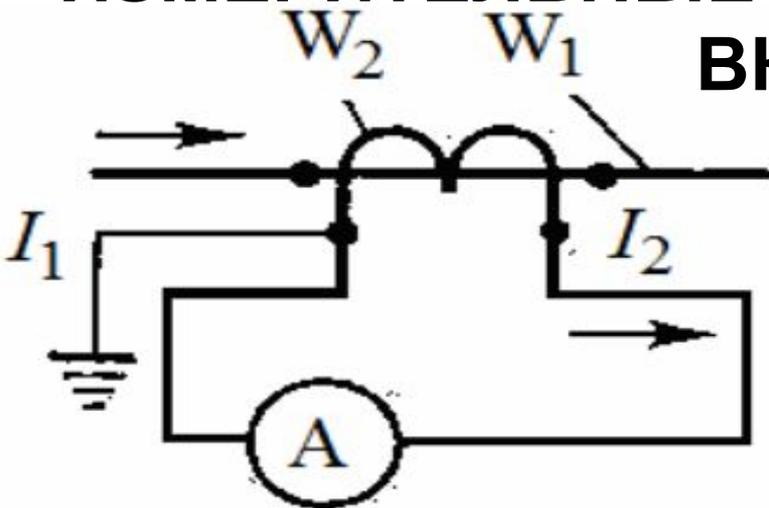
Трансформаторы напряжения трехфазные НКФ 110 (НКФ-110-57 и НКФ-110-58)

Трансформаторы напряжения НТМИ

ЗНОЛ-10 трансформатор напряжения

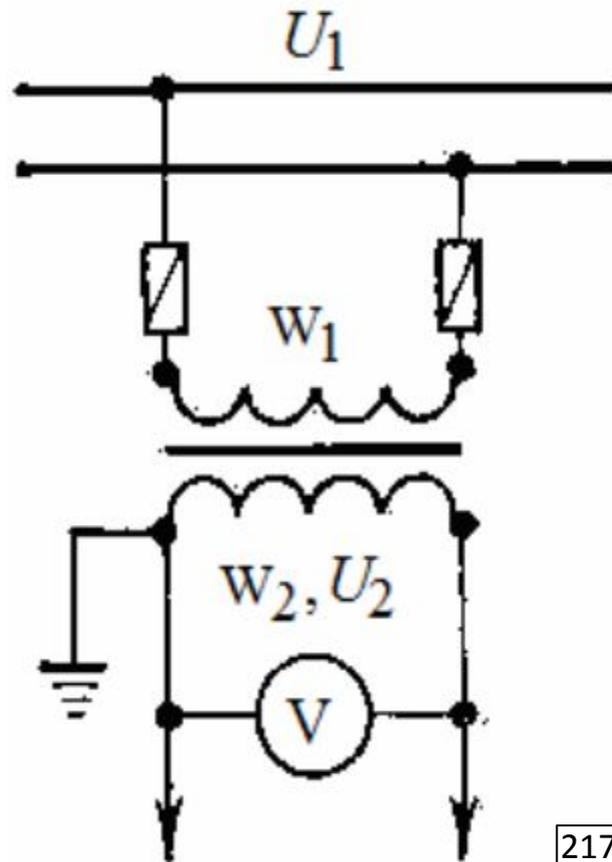


ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ. СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ



Первичная обмотка трансформатора тока W_1 (рисунок) включается последовательно в контролируемую электрическую цепь переменного тока, а вторичная обмотка W_2 – в последовательную цепь амперметра или других измерительных приборов.

В зависимости от назначения могут применяться разные схемы включения трансформаторов напряжения. Два однофазных трансформатора напряжения, соединенные в неполный треугольник, позволяют измерять два линейных напряжения. Целесообразна такая схема для подключения счетчиков и ваттметров. Для измерения линейных и фазных напряжений могут быть использованы три однофазных трансформатора (ЗНОМ, ЗНОЛ), соединенные по схеме «звезда – звезда», или трехфазный типа НТМИ. Так же соединяются в трехфазную группу однофазные трехобмоточные трансформаторы



ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ. СХЕМЫ

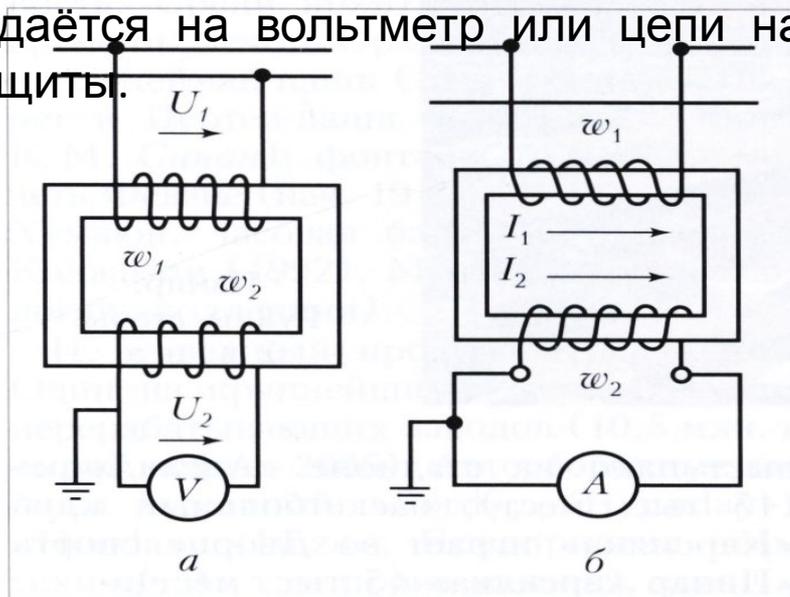
ВКЛЮЧЕНИЯ

Присоединение расчетных **включения** к трехфазным трансформаторам напряжения не рекомендуется, так как они имеют обычно несимметричную магнитную систему и увеличенную погрешность. Для этой цели желательно устанавливать группу из двух однофазных трансформаторов, соединенных в неполный треугольник.

Схема включения трансформатора напряжения показана на рисунке.

К зажимам первичной обмотки подводится измеряемое напряжение U_1 ; обмотка w_1 включается параллельно нагрузке. Вторичное напряжение U_2 с обмотки w_2 подаётся на вольтметр или цепи напряже

защиты.



Схемы включения измерительного трансформатора напряжения (а) и тока (б): w_1 и w_2 – первичная и вторичная обмотки; U_1 и U_2 – измеряемое (первичное) и вторичное напряжение; I_1 и I_2 – ток в первичной и вторичной обмотках соответственно; V – вольтметр; A – амперметр.

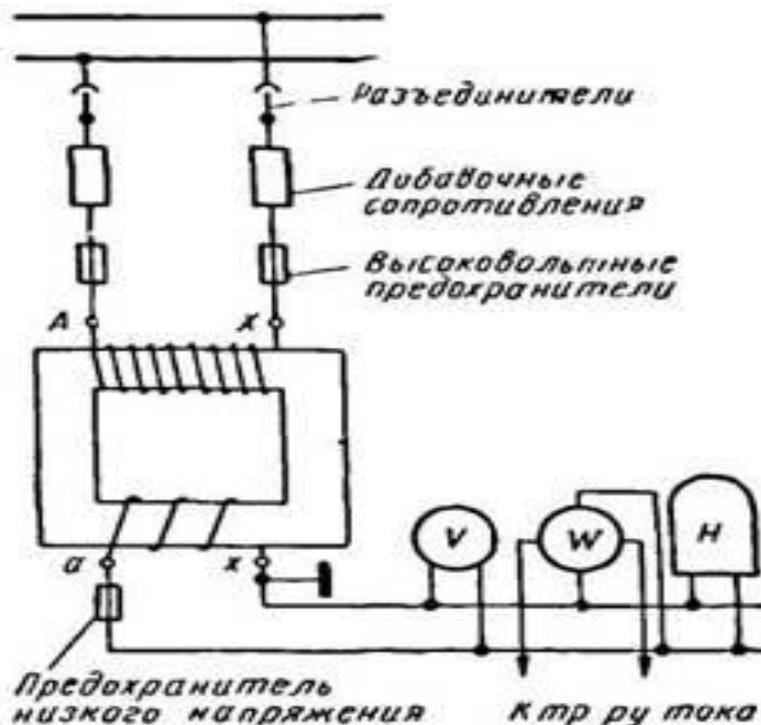
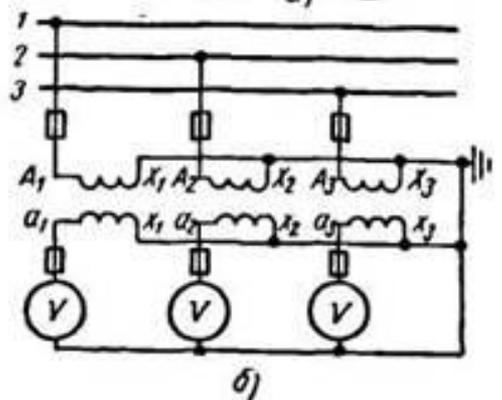
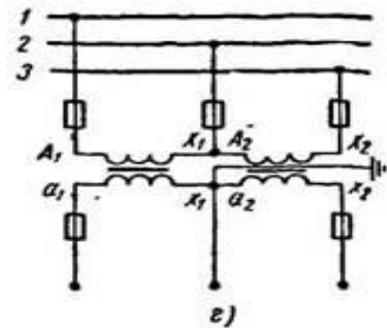
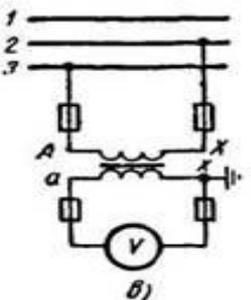
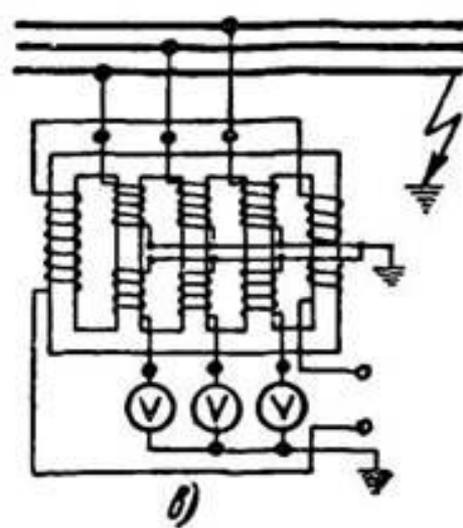
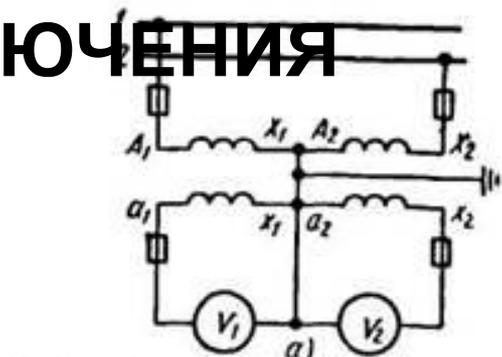
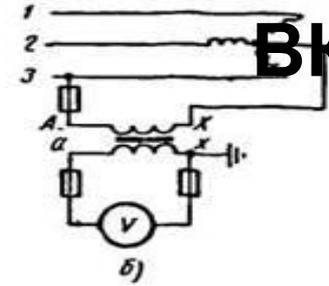
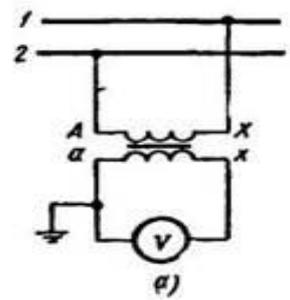


Схема включения однофазного измерительного трансформатора напряжения

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ. СХЕМЫ

ВКЛЮЧЕНИЯ



Применение однофазных измерительных трансформаторов напряжения:

а — измерение напряжения в сети однофазного тока, б — измерение фазного напряжения в сети трехфазного тока, в — измерение линейного напряжения в сети трехфазного тока, г — включение двух однофазных трансформаторов напряжения по схеме «открытый треугольник»

Применение трансформаторов напряжения для контроля состояния изоляции сети:

а — контроль изоляции линии однофазного тока, б — контроль изоляции линии трехфазного тока, в — трехфазный пятистержневой трансформатор

~ 380 В

При опыте короткого замыкания напряжения питания 13 В

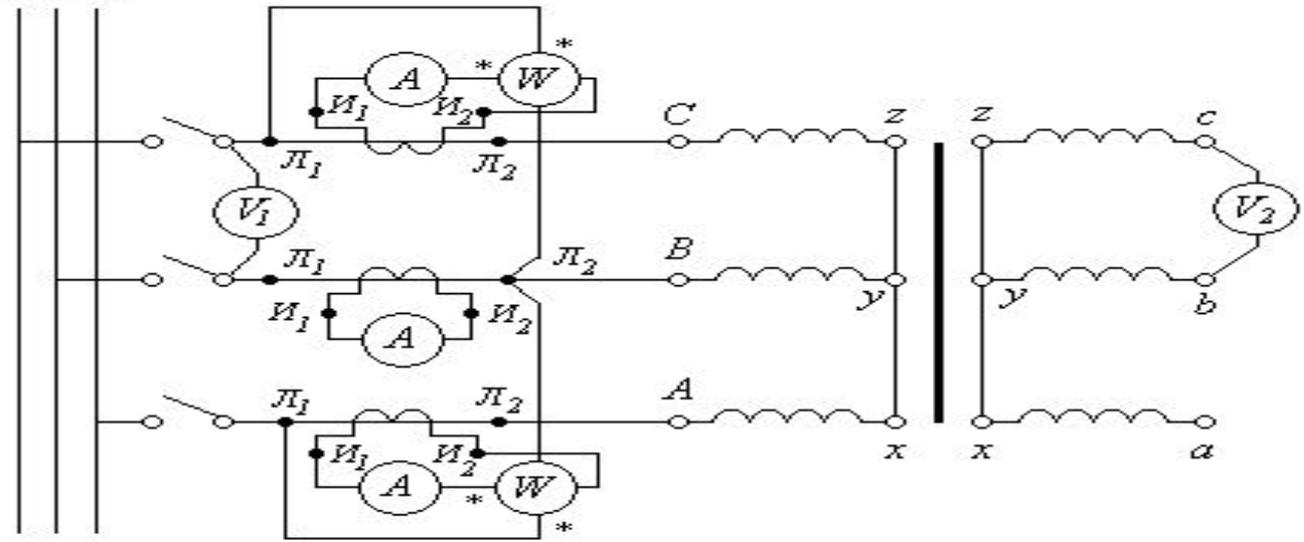
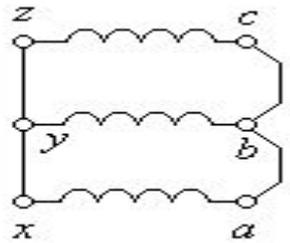


Схема вторичной обмотки для опыта короткого замыкания



ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Электронные аппараты являются бесконтактными статическими аппаратами, выполненными на базе полупроводниковых приборов.

В электронных аппаратах основным элементом, управляющим потоком электрической энергии, являются **коммутирующие статические (бесконтактные) ключи**.

Функции бесконтактных ключей в настоящее время преимущественно выполняют **силовые полупроводниковые приборы (СПП)**. К силовым полупроводниковым приборам относятся приборы с максимально допустимым средним током свыше 10 А или импульсным током свыше 100 А.

Принцип действия таких аппаратов основан на изменении проводимости входящих в них управляемых нелинейных элементов. При этом диапазон изменения проводимости может быть очень широким. Проводимость может изменяться **непрерывно** или **дискретно**.

Дискретное (или импульсивное) управление является более предпочтительным, так как позволяет реализовывать более высокие технико-экономические характеристики, в частности получить существенно лучшее значение КПД. Поэтому в современных электронных аппаратах исполнительные органы работают в ключевом

ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Силовые полупроводниковые приборы работают в качестве

электронных ключей в двух состояниях:

□ **включенном**, соответствующем высокой проводимости,

□ **выключенном**, соответствующем низкой проводимости.

В этих режимах их вольтамперные характеристики (ВАХ) подобны характеристикам нелинейных элементов релейного типа. Физической основой большинства таких приборов являются полупроводниковые структуры с различными типами электронной проводимости. Управление электронной проводимостью позволяет осуществлять бездуговую коммутацию электрических цепей.

По принципу действия силовые полупроводниковые приборы разделяются на три основных вида:

□ **диоды (вентили),**

□ **транзисторы,**

□ **тиристоры.**

По степени управляемости силовые полупроводниковые приборы разделяются на две группы:

□ **не полностью управляемые приборы**, которые можно переводить в проводящее состояние, но не наоборот, например, тиристоры (условно к этой группе можно отнести также и диоды, состояние которых определяется полярностью приложенного к ним напряжения);

□ **полностью управляемые приборы**, которые можно переводить в проводящее состояние и обратно сигналом управления (например, транзисторы или запираемые тиристоры).

ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Сигнал управления формируется электронным устройством (**формирователем**), входящим в состав **системы управления (СУ)** аппарата, преобразователя или другого устройства, содержащего электронный ключ. Такое устройство именуют окончательным каскадом СУ (или формирователем импульсов), а в технической литературе его часто называют **драйвером (driver)**. Основная функция драйвера – формирование сигнала управления, необходимого для включения или выключения ключа при воздействии информационного сигнала малой мощности. Функционально драйвер аналогичен приводу электромеханического коммутационного аппарата.

В 80 гг. XX в. начался новый этап в развитии силовой электроники, который был обусловлен освоением мощных быстродействующих, полностью управляемых силовых полупроводниковых приборов: мощных полевых транзисторов; транзисторов с изолированным затвором; запираемых тиристоров.

Одновременно начался выпуск силовых интегральных модулей – компактных конструкций, в которых размещены силовые электронные ключи и элементы микроэлектроники с различной степенью интеграции. Такие модули позволяют реализовывать различные законы регулирования, включая формирование сигналов защиты, диагностики и др.

При необходимости такие модули могут также включать в себя микропроцессоры или соответствующий интерфейс для сопряжения с устройствами управления более высоких уровней.

Элементная база современной силовой электроники расширила диапазон коммутируемых мощностей до единиц мегаватт, позволила поднять верхний уровень частоты коммутации электронных ключей, что сделало возможным создавать аппараты управления, регулирования

ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ. ПРЕИМУЩЕСТВА И

Преимуществами электронных аппаратов являются:

НЕДОСТАТКИ

- + отсутствие подвижной механической системы;
- + бездуговая коммутация цепей,
- + отсутствие электрического износа;
- + высокая стойкость к ударным механическим нагрузкам и вибрациям;
- + практически неограниченное число коммутаций силовых ключей;
- + большой ресурс работы;
- + высокое быстродействие;
- + надёжная работа во взрывоопасных и агрессивных средах;
- + отсутствие акустического шума во время работы;
- + широкие возможности по управлению выходными параметрами;
- + широкие функциональные возможности;
- + низкое значение мощности, затрачиваемой на управление.

Силовым электронным аппаратам присущи следующие недостатки:

- зависимость электрических параметров от температуры, приложенного напряжения, наличия источников проникающей радиации и др.;
- существенные различия в электрических параметрах ключей одного типа и класса;
- невысокая глубина коммутации (отношение электрического сопротивления ключа в отключенном и включенном состояниях);
- отсутствие видимого разрыва цепи в выключенном состоянии,
- наличие остаточного тока,

ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ. ПРЕИМУЩЕСТВА И

НЕДОСТАТКИ

Ключи обладают односторонней проводимостью тока и способны работать при напряжении одной полярности, за исключением отдельных интегральных или гибридных приборов, сочетающих качества различных полупроводниковых элементов. В состоянии высокой проводимости прямое падение напряжения на ключе составляет не менее 0,5–0,7 В (до 3 В), что обусловлено контактной разностью потенциалов на границе полупроводниковых слоёв. Это приводит к существенным потерям мощности, преобразующейся в теплоту, и необходимости применения охладителей.

Для электронных аппаратов характерны невысокая устойчивость к электрическим перегрузкам; требуются специальные схемотехнические решения по защите ключей от перегрузок по напряжению и току, а также по скорости нарастания тока di/dt и напряжения du/dt . В схемах возможны ложные переключения от случайных импульсов с малой продолжительностью, которые могут проникнуть в цепь управления ключом при близких ударах молний, дуговых разрядах в контактных аппаратах, электросварке и т.д.

В связи с этим необходимо заметить, что силовые электронные аппараты не могут заменить большинства видов электромеханических, так как уступают последним в качестве коммутационных ключей. Силовые электронные ключи по принципу действия не обеспечивают такого низкого уровня потерь мощности во включенном состоянии, как

ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ. ПРЕИМУЩЕСТВА И

НЕДОСТАТКИ

Более эффективными оказываются гибридные электрические аппараты, представляющие собой компромиссное техническое решение, соединяющее положительные качества электромеханических и силовых электронных аппаратов в одном комбинированном устройстве. Существенным преимуществом гибридных аппаратов является практическое исключение дуговых явлений при включении и выключении электрических контактов. Это позволяет продлить срок их службы и в ряде случаев улучшить массогабаритные показатели аппаратов в целом. Другим существенным достоинством гибридных электрических аппаратов является возможность сочетания в одном аппарате функций регулятора на интервалах включения и выключения с высокими характеристиками коммутационного аппарата.

Использование достижений микропроцессорной техники в электронных аппаратах позволяет существенно расширить их функциональные возможности, обеспечить эффективный контроль и диагностику, а также возможность управления с различных иерархических уровней системы, в которой используется аппарат.

На основе СПП могут быть выполнены коммутационные и защитные аппараты постоянного и переменного тока низкого и высокого напряжения в широком диапазоне изменения номинальных токов и напряжений. Поэтому в самом общем виде их можно классифицировать по тем же признакам, что и электромеханические аппараты (по назначению, роду 225

ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ. КЛАССИФИКАЦИЯ ПО ПРИНЦИПУ ДЕЙСТВИЯ

Аппараты с естественной коммутацией предназначены для работы в сетях переменного тока. Отключение их осуществляется за счет изменения полярности напряжения источника питания, в результате чего к тиристорам прикладывается обратное напряжение и они включаются. При этом не требуется каких-либо дополнительных схемных или других решений, кроме необходимости блокировать поступление управляющих сигналов на входы тиристоров. Принцип естественной коммутации используется во всех полупроводниковых и комбинированных аппаратах переменного тока: контакторах, пускателях, переключателях, выключателях нагрузки и выключателях при оперативном отключении номинальных токов.

Процесс отключения **аппаратов с искусственной коммутацией** тоже связан с изменением знака напряжения на СПП и поддержанием сигнала обратного смещения на время, достаточное для их выключения. Но в данном случае это достигается вспомогательными схемными средствами, с помощью которых обеспечивается снижение вводного тока в СПП до нуля. В силовых аппаратах применяется в основном емкостная искусственная коммутация в различных вариантах.

Все реализующие этот способ схемы содержат конденсатор, ток разрядки которого протекает в процессе отключения аппарата встречно анодному коммутируемому току в тиристорах. В группу аппаратов, где используется искусственная коммутация, входят все аппараты постоянного тока и защитные полупроводниковые аппараты переменного тока (выключатели низкого и высокого напряжения,

ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ. КЛАССИФИКАЦИЯ ПО ПРИНЦИПУ ДЕЙСТВИЯ

Особенность **комбинированных аппаратов** состоит в том, что процесс отключения их протекает в два этапа. В течение первого этапа за счет схемных средств или воздействия на электрическую дугу осуществляется принудительный переход тока из контактной цепи в параллельно соединенную с ней полупроводниковую цепь. На втором этапе происходит прерывание тока полупроводниковой частью аппарата с использованием, как правило, принципа естественной коммутации.

По аналогии с электромеханическими аппаратами комбинированные аппараты разделяются на синхронные и несинхронные, в зависимости от режима размыкания контактной цепи: в определенном интервале времени перед нулем тока или в любой момент времени.

К группе **аппаратов с фазовым регулированием** относятся аппараты переменного тока с естественной и искусственной коммутацией, выполняющие дополнительно функцию регулирования выходной мощности. Силовые части аппаратов с фазовым регулированием и без регулирования не имеют различий. Режим регулирования обеспечивается системой управления, с помощью которой осуществляется задержка включения тиристоров на заданный угол по отношению к нулю тока.

В приведенной классификации не выделены в отдельную группу полупроводниковые **аппараты на запираемых тиристорах**. По характеру протекающих процессов, при отключении, они аналогичны электронным **аппаратам с искусственной коммутацией**, поэтому их следует рассматривать в составе этой группы, хотя внешний коммутирующий контур значительно меньшей мощности воздействует на анодную цепь тиристоров не непосредственно, а через управляющую цепь.

Представленная классификационная схема раскрывает возможность создания одинаковых по назначению аппаратов с использованием различных принципов действия. Например, контакторы или пускатели, в зависимости от конкретных условий работы и требований к характеристикам, могут быть выполнены

ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ. ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

Несмотря на ряд принципиальных особенностей, полупроводниковые и комбинированные аппараты являются одним из видов электрических аппаратов и поэтому должны удовлетворять **всем требованиям**, которые к ним предъявляются. Конкретные требования определяются функциональным назначением аппаратов и условиями их эксплуатации.

Все без исключения аппараты должны иметь по возможности **малые габариты, массу и стоимость**. Они должны также обладать **высокой надежностью** и **не требовать больших затрат на обслуживание** в процессе эксплуатации.

Вместе с тем чувствительность полупроводниковых аппаратов даже к кратковременным перегрузкам по току и напряжению, особенности управления силовыми блоками и их охлаждение обязывают учитывать при проектировании ряд специфических требований.

К наиболее важным из них относятся следующие: **обеспечение быстродействующей защиты СПП от перенапряжений, токов перегрузки и короткого замыкания; ограничение до допустимых значений скорости нарастания прямого напряжения; ограничение скорости нарастания тока при включении СПП; обеспечение оптимальных параметров управляющих импульсов; обеспечение оптимальных условий охлаждения полупроводниковых приборов.**

Выполнение перечисленных требований позволяет реализовать те преимущества полупроводниковых и комбинированных аппаратов, которые были рассмотрены, и обеспечить высокий уровень надежности их при общем сроке службы более 10 лет. При этом коммутационный ресурс может быть доведен до 10 млн циклов и более.

ГИБРИДНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ.

ПОНЯТИЕ

Стремление совместить в аппаратах положительные свойства контактных аппаратов (малые потери мощности и габариты) и полупроводниковых (повышенная коммутационная износостойкость, меньшие эксплуатационные затраты и бездуговая коммутация) привело к созданию **гибридных (комбинированных) аппаратов**, в которых ток во включенном состоянии аппарата проходит через контакты, а коммутация его выполняется силовыми полупроводниковыми приборами, включенными параллельно контактам. Таким образом, гибридные электрические аппараты представляют собой комбинацию электромеханических и статических аппаратов.

Сочетание электромеханических контактов с электронными приборами позволяет **повысить скорость коммутации, исключив** при этом частично или полностью **появление дуги**, и одновременно **уменьшить тепловыделение** во включенном состоянии за счет шунтирования полупроводниковых р-п-переходов металлическим контактом с малым контактным сопротивлением.

В гибридных аппаратах ток во включенном состоянии аппарата проходит через контакты, а коммутация его выполняется мощными полупроводниковыми приборами, включенными параллельно контактам.

Гибридные аппараты имеют **повышенные значения надежности и долговечности** при **меньших габаритных размерах и повышенном быстродействии** отличаются **коммутационной износостойкостью**

ГИБРИДНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ.

Кроме того, они обладают **понятием** широкими функциональными возможностями, так как полупроводниковые элементы могут использоваться для регулирования напряжения (тока) в переходных режимах по заданной системой управления программе.

Бесконтактный коммутатор **повышает коммутационную способность главных контактов**, так как падение напряжения на включенном тиристоре ниже напряжения поддержания горения дуги, и **существенно уменьшается эрозия контактов**.

Например, гибридные модификации известных электромагнитных контакторов **позволяют повысить номинальный рабочий ток** в тяжелых режимах на **30–50 %**, **коммутационная износостойкость повышается в 25 раз**.

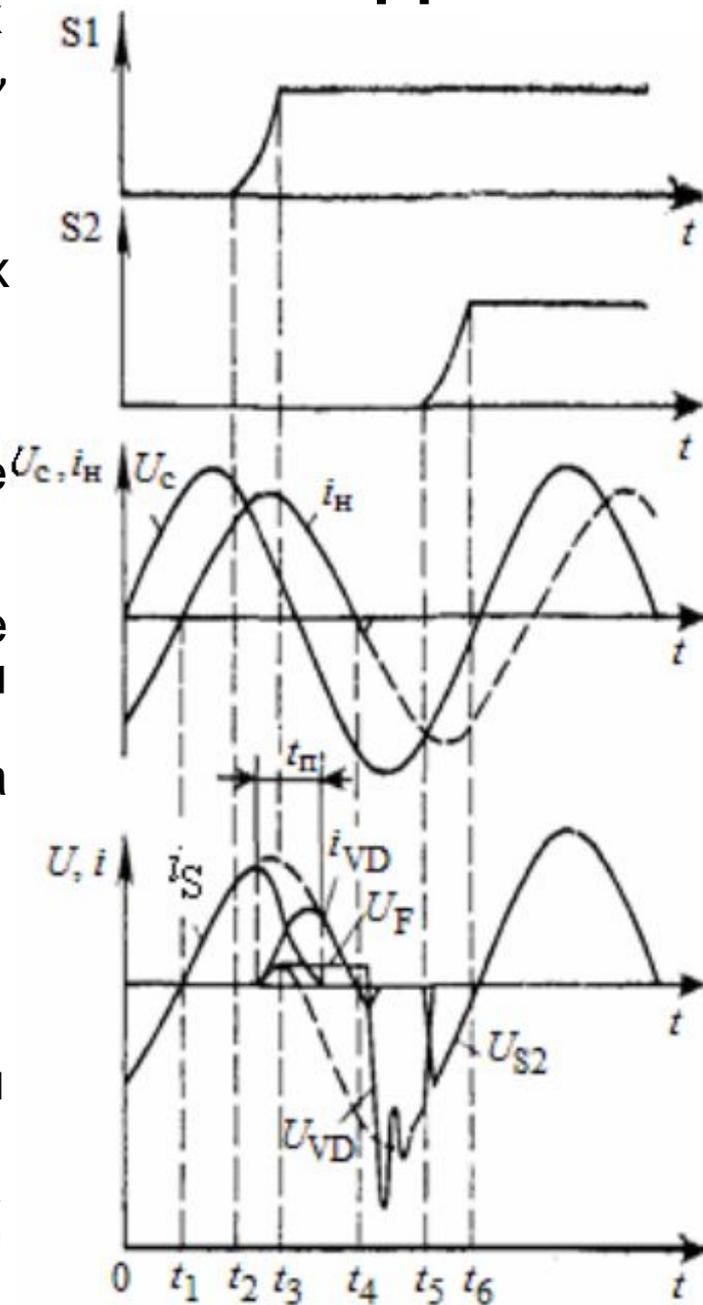
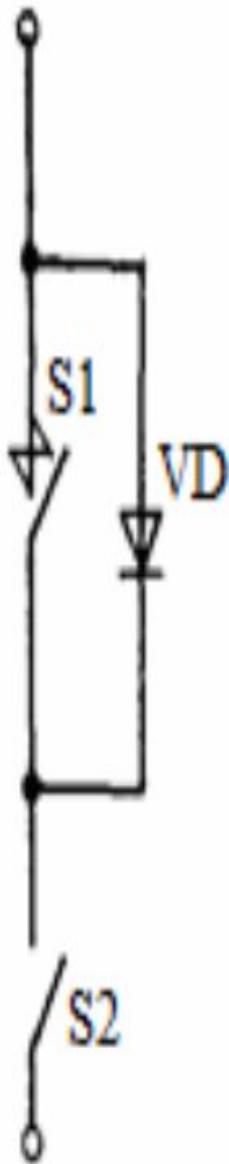
В качестве электронных ключевых компонентов в современных гибридных аппаратах используются преимущественно тиристоры. При этом, как правило, применяется их естественная коммутация. При включении контактора последовательно включаются: вспомогательный контакт ВК, один из тиристоров (в зависимости от полярности мгновенного значения напряжения) и главный контакт ГК.

Управление тиристорами гибридного аппарата в общем случае осуществляется системой управления СУ, схемотехника которой определяется функциями аппарата. Для выполнения простейших функций (включения и отключения) СУ может быть реализована на основе нескольких элементов без использования отдельных источников питания 230

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И СХЕМЫ ГИБРИДНЫХ АППАРАТОВ

Принцип действия гибридных аппаратов рассмотрим на устройствах, в которых используются диоды и тиристоры. Во всех приведенных силовых блоках СПП соединяются параллельно с одним из размыкаемых контактов. Так как в электромеханических аппаратах падение напряжения на замкнутых контактах при номинальных токах не превышает десятых долей вольта, СПП, соединенные параллельно с контактами, не переходят в состояние высокой проводимости и ток нагрузки через них практически не протекает.

В процессе отключения аппарата соотношение сопротивлений контактной и полупроводниковой цепей изменяется, что приводит к перераспределению тока между ними. Сущность этого явления рассмотрим на примере отключения аппарата, выполненного по данной схеме. Размыкание дугогасительных контактов S1 в схеме необходимо обеспечить в начале полупериода тока, полярность которого совпадает с



ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И СХЕМЫ ГИБРИДНЫХ АППАРАТОВ

В этом случае напряжение на образующейся электрической дуге является прямым для диода. По мере увеличения расстояния между контактами и интенсивности воздействия на электрическую дугу, например за счет перемещения ее в воздухе с большой скоростью под воздействием электромагнитного поля, сопротивление межконтактного промежутка растет и, следовательно, повышается напряжение на диоде.

В результате создаются условия для переключения его в проводящее состояние. Практически переход диода в проводящее состояние в аппаратах низкого напряжения происходит уже на стадии образования электрической дуги, так как приэлектродное падение напряжения на ней намного превышает пороговое напряжение СПП. С этого момента времени ток в контактной цепи i_S начинает быстро уменьшаться, а ток в полупроводниковой цепи i_{VD} нарастает. Длительность переходного процесса, в течение которого коммутируемый ток полностью переходит в цепь диода и электрическая дуга гаснет, определяется в основном индуктивностью контуров, динамическими характеристиками используемого диода, способом воздействия на электрическую дугу.

В оставшееся до конца полупериода время $t=t_4-t_3$ завершаются деионизационные процессы в межконтактном промежутке, восстанавливается его электрическая прочность.

Окончательное прерывание тока в цепи осуществляется диодом непосредственно за моментом времени t_4 , соответствующим изменению направления тока. В течение времени, пока напряжение является

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И СХЕМЫ ГИБРИДНЫХ АППАРАТОВ

Необходимо отметить, что для рассматриваемого случая отключения цепи с активно-индуктивной нагрузкой это время меньше полупериода. В пределе оно может быть равным 5 мс, что приводит к необходимости использования быстродействующих приводов.

При включении аппарата последовательность замыкания контактов должна быть обратной: в непроводящий для диода полупериод напряжения необходимо замкнуть контакты отделителя S2, а в течение следующего полупериода – дугогасительные контакты S1.

Характерным для режима включения является замыкание контактов S1 при малых напряжениях, определяемых падением напряжения на проводящем диоде. Вследствие этого исключаются предварительный пробой промежутка при сближении контактов и связанные с ним явления эрозии и сваривания контактов.

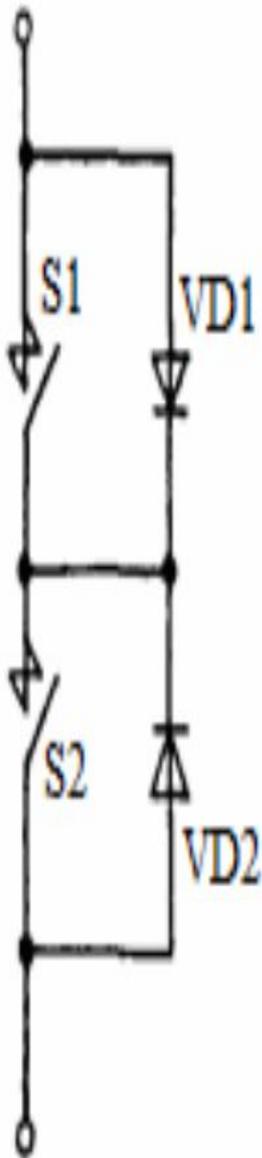
Но надо иметь в виду, что в комбинированных аппаратах существует опасность проявления этих же эффектов из-за высокой скорости нарастания тока в контактах после их соприкосновения. Поэтому конструкции контактного устройства и привода должны обеспечивать форсированное увеличение контактного нажатия до конечного значения.

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И СХЕМЫ ГИБРИДНЫХ АППАРАТОВ

Аппараты, выполненные по данной схеме, по принципу действия, характеру протекающих процессов не отличаются от рассмотренных выше. Однако наличие двух диодных цепей с встречноориентированной проводимостью позволяет осуществлять отключение в любой полупериод тока. В результате сокращается время отключения аппарата.

К недостаткам этого варианта относятся увеличение вдвое числа СПП и усложнение конструкции механической части аппарата. Так как синхронизированное размыкание контактов осуществляется в последовательности, определяемой направлением тока в момент подачи команды на отключение, аппарат должен содержать два независимых и быстродействующих привода. Высокие требования предъявляются также к стабильности срабатывания приводов (они должны обладать малым разбросом времени). Очевидно, что достижение высокого уровня функциональной надежности при таком исполнении силовой части аппарата представляет сложную задачу.

Значительное упрощение приводного механизма и аппарата в целом можно получить при отказе от синхронизации размыкания контактов с соответствующим полупериодом тока. В этом случае оба контакта управляются общим приводом, размыкаются



ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И СХЕМЫ ГИБРИДНЫХ АППАРАТОВ

В результате на обеих контактных парах возникает электрическая дуга, но на одной из пар она гаснет из-за проявления шунтирующего действия диодной цепи. На других контактах, направление тока в которых не совпадает с проводящим направлением диодов в шунтирующей цепи, электрическая дуга поддерживается до конца полупериода (до изменения направления тока).

Максимальная длительность воздействия дуги на контакты, равная примерно 11 мс, соответствует наиболее неблагоприятному режиму, когда размыкание контактов происходит в относительно узком интервале времени перед прохождением тока через нуль.

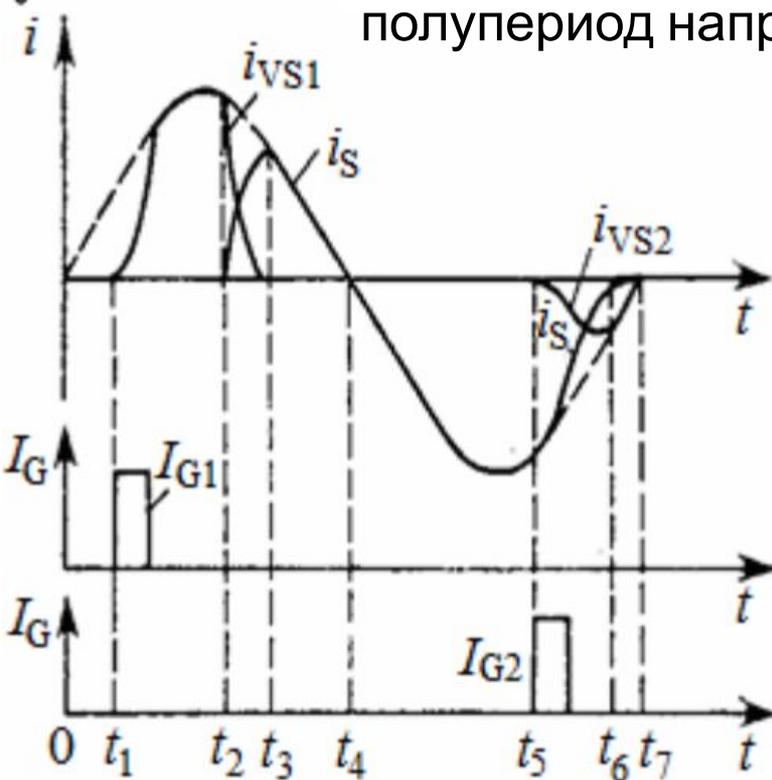
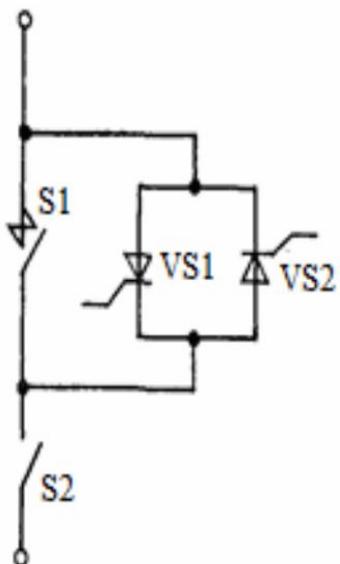
В этом случае процесс перехода тока из контактной цепи в диодную не завершается или не успевает восстановиться электрическая прочность межконтактного промежутка, он вновь пробивается в начале следующего полупериода.

При большом числе отключений размыкание контактов S_1 и S_2 происходит с равной вероятностью как в интервале положительного, так и в интервале отрицательного полупериодов; тот же закон определяет распределение момента размыкания контактов в пределах каждого полупериода. В результате длительность воздействия электрической дуги на контакты уменьшается и, как следствие, увеличивается коммутационный ресурс аппарата. Причем, по сравнению с аналогичными аппаратами без шунтирующих диодных цепей, в которых гашение электрической дуги обеспечивается за один полупериод, увеличение ресурса составляет н

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И СХЕМЫ ГИБРИДНЫХ АППАРАТОВ

Возможности коммутационных аппаратов могут быть существенно расширены при замене неуправляемых СПП тиристорами.

Полупроводниковая цепь в этом аппарате, выполненная по схеме со встречно-параллельным соединением тиристоров, подключена параллельно только одним дугогасительным контактам. Но способность тиристоров находиться в закрытом состоянии при напряжении положительной полярности позволяет производить коммутационные операции в любой полупериод напряжения (тока).



Рассмотрим взаимодействие контактного узла и тиристорного блока в режиме включения аппарата. Учитывая большое различие в быстродействии контактной цепи и СПП, команды на их включение надо выдавать не одновременно. Сначала должна поступить команда на включение привода контактов. По истечении определенного времени, равного собственному времени включения контактного аппарата, его контакты S1 замыкаются. На графике моменты

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И СХЕМЫ ГИБРИДНЫХ

АППАРАТОВ

С необходимым упреждением времени системой управления выдается управляющий импульс I_{G1} на тиристор VS1, для которого напряжение в рассматриваемом полупериоде является прямым. В результате включения тиристора напряжение на сходящихся контактах снижается до значения падения напряжения на тиристоре в проводящем состоянии, т.е. до 1,5–2,5 В.

После соприкосновения контактов тиристорная цепь быстро обесточивается, так как сопротивление контактной цепи намного меньше дифференциального сопротивления тиристора.

При отключении аппарата последовательность работы контактной и тиристорной цепи та же, что и в контактно-диодных аппаратах. Отличие состоит только в том, что в момент времени размыкания контактов (i_S на рисунке) на тиристор VS2 должен поступить управляющий импульс тока I_{G2} . Практически реализовать жесткую синхронизацию работы системы управления тиристорным блоком с приводным механизмом контактов очень сложно. Поэтому в большинстве коммутационных устройств такого типа управляющие импульсы на входы тиристоров подаются с упреждением размыкания контактов, учитывающим нестабильность работы во времени механической части аппарата.

Как и при использовании диодов, в контактно-тиристорных аппаратах размыкание контактов и восстановление электрической прочности межконтактного промежутка должны завершаться до окончания полупериода. Если конструкция аппарата не обеспечивает синхронизированное отключение, контакты могут разомкнуться в любой момент времени, в том числе и в критической зоне полупериода перед прохождением тока через нуль, в котором ток не успевает перейти из

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМБИНИРОВАННЫХ АППАРАТОВ

Наиболее важные характеристики комбинированных аппаратов:

1. Во всех вариантах исполнения комбинированных аппаратов СПП (диоды или тиристоры) при длительном номинальном режиме не проводят ток, поэтому исключаются относительно большие потери мощности, характерные для полупроводниковых аппаратов. Следовательно, по этому показателю комбинированные аппараты не отличаются от обычных контактных.

2. В режимах изменения аппаратом коммутационных положений с помощью СПП осуществляется шунтирование межконтактных промежутков малым сопротивлением, свойственным для диодов и тиристоров в проводящем состоянии. Этим обеспечивается быстрое гашение электрической дуги, возникающей в процессе включения из-за дребезга контактов и при отключении аппарата. Опыт эксплуатации комбинированных аппаратов показывает, что при коммутации токов до 500 А длительность горения дуги не превышает 100 мкс. В результате комбинированные аппараты обладают коммутационной износостойкостью, в 20–50 раз большей, чем контактные.

3. Так как СПП в комбинированных аппаратах подвергаются кратковременному воздействию тока, имеется возможность максимально использовать их импульсную перегрузочную способность. При начальной температуре структуры $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ большинство приборов допускает нагрузку

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМБИНИРОВАННЫХ

АППАРАТОВ

Например, диоды типа ДДВ-1100 способны выдерживать ток без ухудшения характеристик с амплитудой 12 кА. С уменьшением длительности импульса до 2 мс допустимая амплитуда тока возрастает примерно в три раза. В аварийных режимах, число которых за время работы СПП должно ограничиваться единицами, амплитуда тока увеличивается соответственно до 28 кА при длительности импульса 10 мс и до 44 кА – при 2 мс.

Во многих случаях указанная перегрузочная способность достаточна для создания комбинированных аппаратов без параллельного соединения приборов в силовых блоках. При обеспечении размыкания контактов непосредственно перед критической зоной полупериода тока достигается наилучшее использование импульсной нагрузочной способности СПП.

4. Важным обстоятельством является и то, что при кратковременных токовых воздействиях выделяющаяся теплота в структуре СПП не распространяется за пределы элементов конструкции, непосредственно к ней прилегающих. Поэтому отпадает необходимость не только в применении принудительного охлаждения, но и в самих охладителях.

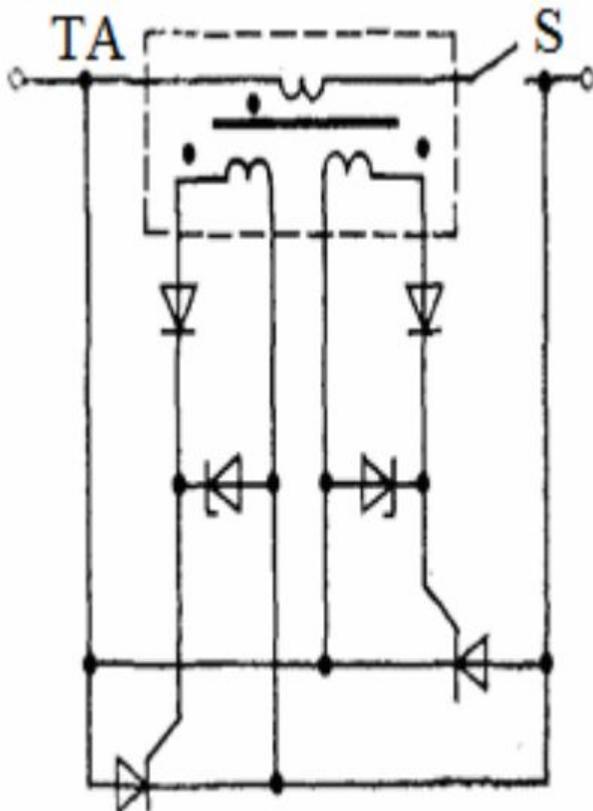
В результате существенно упрощается конструкция полупроводникового блока, уменьшаются его масса и габариты.

Отмеченные положительные особенности комбинированных аппаратов определили интенсивное их развитие.

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И СХЕМЫ ГИБРИДНЫХ АППАРАТОВ

К настоящему времени разрабатываются промышленностью несколько вариантов таких аппаратов, отличающихся как по конструктивному исполнению контактных и полупроводниковых частей, так и по способу управления тиристорами.

Схема одного из вариантов гибридного контактора с системой управления, питающейся от трансформатора тока, приведена на рисунке.



Полупроводниковый блок в ней подсоединен параллельно цепи, состоящей из контактов S и последовательно включенной с ними первичной обмотки трансформатора тока ТА. Две вторичные обмотки трансформатора через диоды, согласующие полярность управляющего и анодного напряжения, замкнуты на управляющие цепи тиристоров.

При включенных контактах S через них и первичную обмотку трансформатора тока протекает синусоидальный ток.

Во вторичных обмотках трансформатора ток в общем случае будет несинусоидальным из-за нелинейности сопротивления управляющей цепи тиристоров и влияния стабилитронов, которые

При номинальном токе в цепи обмотки трансформатора допустимо включаться. Это обеспечивается выбором параметров так, чтобы суммарное падение напряжения на первичной обмотке трансформатора и замкнутых контактах не превышало пороговое напряжение используемых

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И СХЕМЫ ГИБРИДНЫХ АППАРАТОВ

При протекании сквозных токов короткого замыкания напряжение между точками присоединения тиристорного блока к главной цепи значительно увеличивается и создаются условия для включения тиристоры. Поэтому тиристоры необходимо выбирать с учетом этого режима работы.

При размыкании контактов между ними возникает электрическая дуга с напряжением $U_d > 10 \text{ В}$, что обеспечивает быстрый переход коммутируемого тока в цепь тиристора и последующее прерывание его в конце полупериода.

Из-за существующего небольшого угла сдвига фаз между током в контактной цепи и в цепи тиристоры может наблюдаться задержка включения тиристоры, если контакты расходятся в самом начале или в конце полупериода тока. Этот же эффект проявляется и из-за относительно медленного нарастания управляющего тока в начале полупериода, что было рассмотрено выше.

К преимуществам рассмотренной схемы следует отнести:

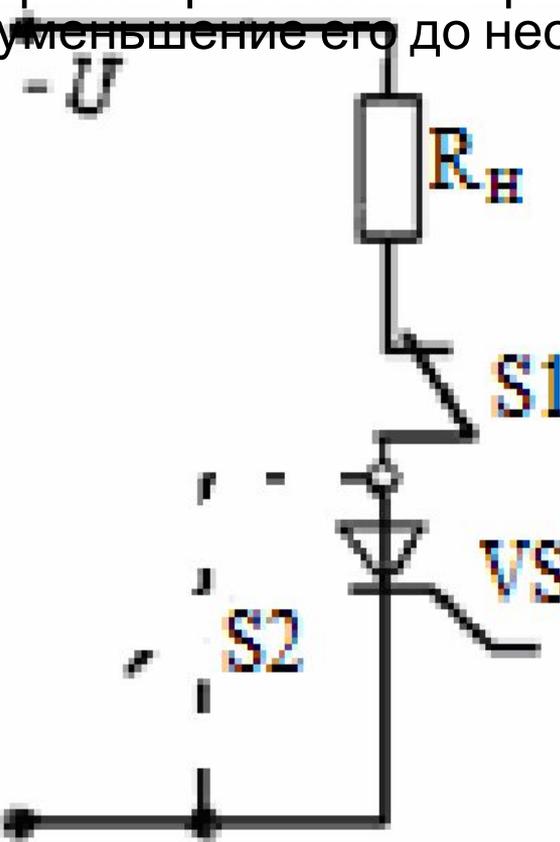
- **повышенную надежность**, которая обусловлена минимальным числом элементов;
- **простоту**,
- **защищенность от воздействия внешних магнитных полей**,
- **автономность питания управляющих цепей**,
- **исключение повреждения тиристоры при резком увеличении сопротивления контактов**, так как при этом блокируется поступление управляющих сигналов на тиристоры.

Все эти факторы определили широкое применение схемы. В частности

ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Электронные аппараты постоянного тока на тиристорах

Переход тиристора в проводящее состояние осуществляется подачей на его вход управляющего сигнала с определенной длительностью и амплитудой. После снятия управляющего импульса тиристор остается включенным неограниченно долго, если ток в анодной цепи его не снижается до величины, меньшей тока удержания, поэтому при использовании тиристорov в качестве коммутирующих элементов не только для замыкания, но и для размыкания цепей постоянного тока необходимо прибегать к искусственным мерам, обеспечивающим кратковременное прерывание тока в анодной цепи тиристорov или уменьшение его до необходимых значений.

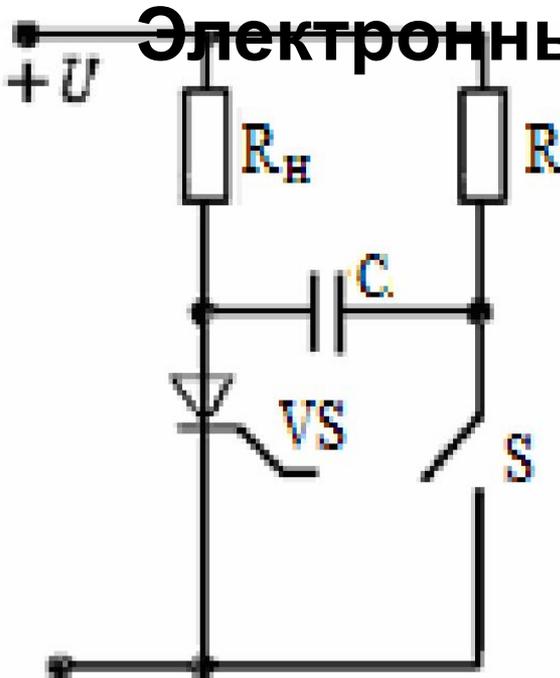


осуществляется размыканием механического контакта $S1$, включенного последовательно с тиристором VS . По истечении времени, достаточного для восстановления управляемости тиристором, контакт $S1$ может быть вновь замкнут. Цепь при этом остается разомкнутой, так как тиристор находится в выключенном состоянии. Аналогично схема работает при кратковременном шунтировании тиристора замыкаемым контактом $S2$, подсоединение которого показано штриховыми линиями.

В обоих случаях через механические контакты протекает полный ток нагрузки, и они должны быть на него рассчитаны. Недостатком подобных схем является также то, что тиристоры в них при возврате контактов в исходное состояние подвергаются

ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Электронные аппараты постоянного тока на тиристорах



коммутационного устройства является данная схема.

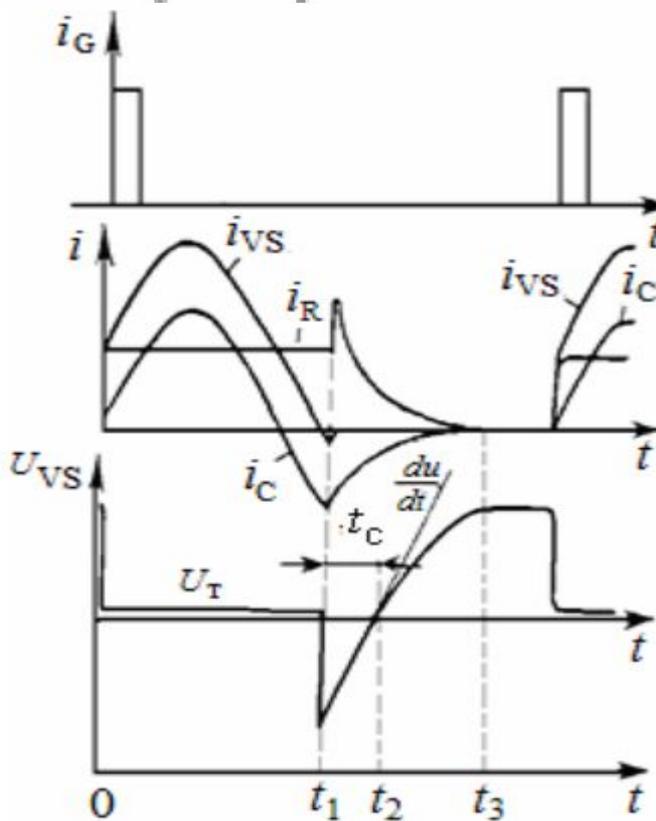
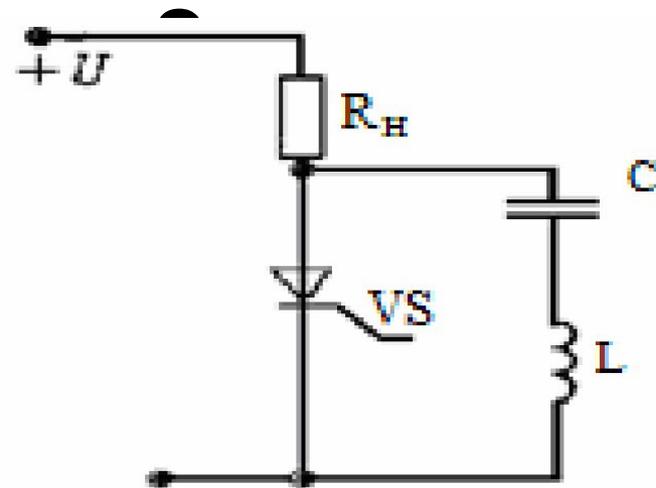
Последовательность ее работы такова. В исходном состоянии тиристор закрыт, напряжение на нагрузке R_H и конденсаторе C отсутствует. Включение схемы осуществляется управляющим сигналом, который необходимо подать на вход тиристора. При этом одновременно с током нагрузки через тиристор протекает ток зарядки конденсатора. Конденсатор заряжается с указанной

на рисунке полярностью, за время, определяемое постоянной времени конденсатора C подключается параллельно тиристор. Он начинает разряжаться. Причем ток разрядки протекает через тиристор в направлении, противоположном анодному току.

При превышении током конденсатора анодного тока создаются условия для выключения тиристора и, следовательно, обесточивания нагрузки. Такой способ выключения тиристора, называемый **принудительным (искусственным), емкостным**, является предпочтительным, так как позволяет **уменьшить время восстановления управляемости тиристора и скорость приложения напряжения в прямом направлении, непосредственно после коммутации тока.**

ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ НИЗКОГО НАПЯЖЕНИЯ

Аппараты постоянного тока на тиристорах



Данная схема тиристорного аппарата иллюстрирует применение емкостной искусственной коммутации. Конденсатор C в ней в исходном состоянии заряжен до напряжения источника питания. Поэтому при включении тиристора VS управляющим импульсом через него начинают протекать ток нагрузки и ток разряда конденсатора (график). На втором полупериоде колебательной перезарядки конденсатора, когда ток i_C , направленный встречно анодному току в тиристоре (току нагрузки), становится больше по значению, тиристор выключается. Начиная с этого момента времени, остаточное напряжение на конденсаторе C действует согласно с напряжением источника питания, поэтому ток нагрузки резко увеличивается, а затем снижается по мере перезарядки конденсатора. Окончательное выравнивание тока в цепи происходит в момент времени t_3 , который соответствует окончанию перезарядки конденсатора.

Обратное напряжение на тиристоре поддерживается в течение времени $t_c = t_2 - t_1$. Это время называют схемным, так как оно обуславливается параметрами элементов

ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Электронные аппараты постоянного тока на тиристорах

Наличие тиристоры в рассмотренных схемах не дает никаких преимуществ. Что касается режима включения, то он осуществляется тиристорами, и в этом случае реализуются их возможности по быстродействию, готовности к работе и др.

Основное назначение таких аппаратов – **подключение нагрузок с высокой точностью по времени**, а также **осуществление изменений параметров цепей (R , L , C)** при различных экспериментальных исследованиях переходных процессов, **автоматическое подключение источников питания**. Коммутационное устройство, наряду с прерыванием тока в цепи, формирует импульсы тока (мощности). Это может быть использовано для **регулирования выходной мощности по заданной программе**, которая задается системой управления тиристором.

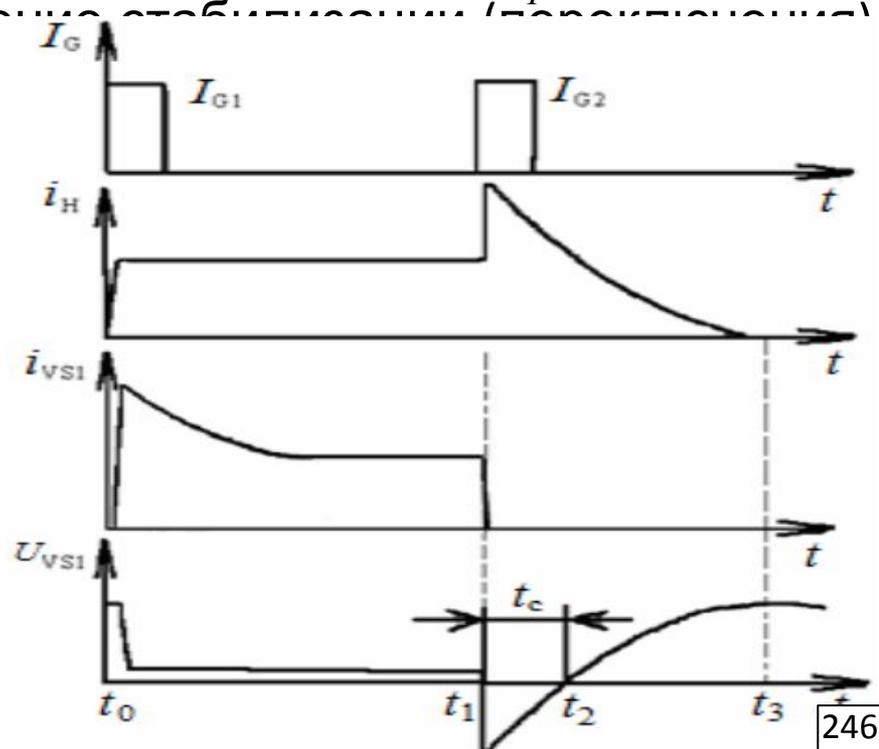
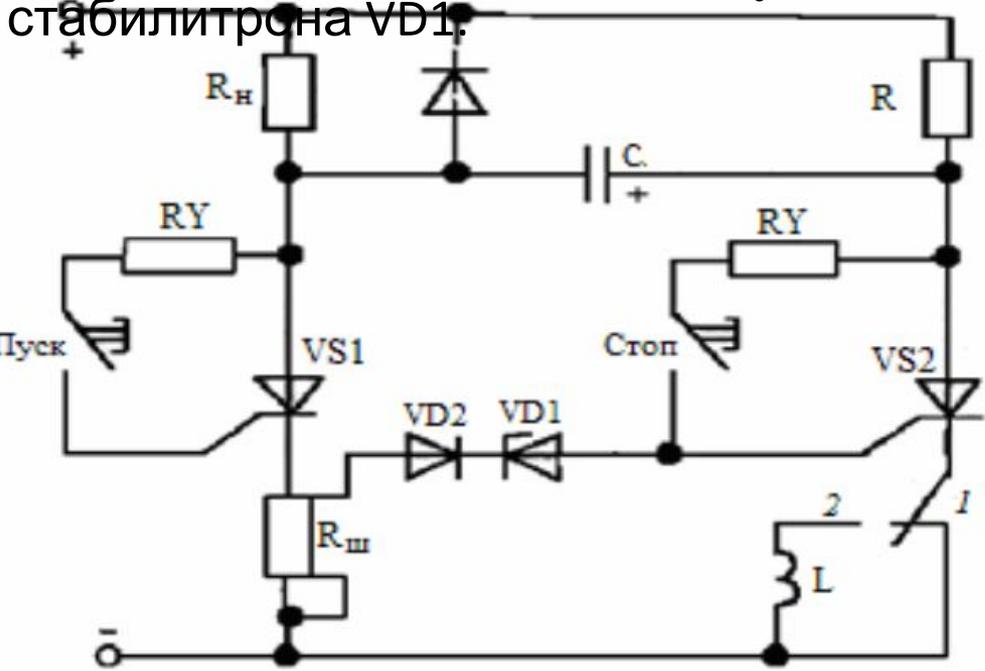
Принудительная коммутация (выключение) тиристоры является основой работы электронных аппаратов постоянного тока и средством повышения быстродействия при отключении аппаратов переменного тока.

Существуют различные схемные решения, которые обеспечивают кратковременное снижение тока в цепи с тиристорами до нуля и их выключение. Но практическое применение в электрических аппаратах нашли только конденсаторные схемы принудительной коммутации.

ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Электронные аппараты постоянного тока на тиристорах

Некоторые электронные аппараты постоянного тока для переключения элементов коммутирующего контура используют тиристоры. Включение его к выключаемым тиристорам, узлы принудительной коммутации в аппаратах переменного тока и в аппаратах постоянного тока имеют существенные отличия. Из рисунка видно, что вспомогательный (коммутирующий) тиристор VS2 может быть включен либо от анодного напряжения (замыканием кнопки «Стоп»), либо напряжением, снимаемым с измерительного резистора – шунта $R_{ш}$. В последнем случае напряжение на шунте должно превысить значение, равное $U = U_{GT} + U_F + U_c$, где U_{GT} – напряжение управления, достаточное для надежного включения тиристора VS2; U_F – падение напряжения на диоде VD2 и U_c – напряжение стабилизации (барьерного)



ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Электронные аппараты постоянного тока на тиристорах

В аварийных режимах работы, сопровождающихся многократным увеличением тока по отношению к номинальному, отключение цепи осуществляется автоматически при включении тиристора VS2. Регулированием сопротивления $R_{ш}$ и подбором стабилитрона по параметру U_c можно заранее задать значение тока перегрузки или тока короткого замыкания (КЗ), при которых произойдет отключение выключателя, причем высокое быстродействие выключателя позволяет прервать ток КЗ задолго до того момента, когда он достигнет максимального значения.

В оперативном режиме включение и отключение номинальных токов производятся замыканием управляющих цепей тиристоров VS1 и VS2 соответственно кнопками управления «Пуск» и «Стоп». Ограничение тока в управляющих цепях тиристоров осуществляется резисторами RY.

Работа схемы в этом режиме при активной нагрузке поясняется временными диаграммами.

ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Особенности характеристик выключателей с емкостной коммутацией тиристоров, заключаются в следующем:

1. При включении коммутирующего тиристора источник питания и заряженный до напряжения источника конденсатор оказываются соединенными последовательно. Это вызывает скачкообразное увеличение тока в цепи, что неблагоприятно сказывается на нагрузке, особенно при отключении аварийных токов.

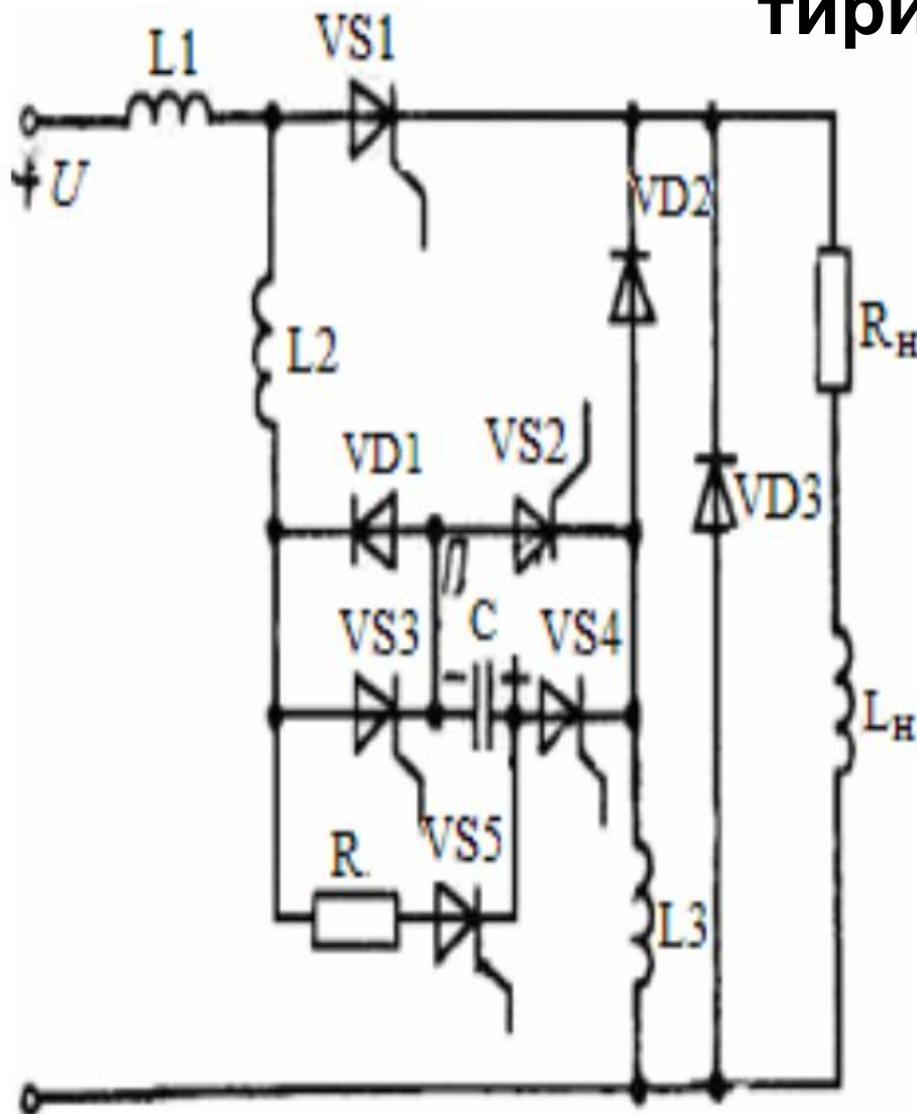
2. Интервал времени $t=t_3-t_1$, в течение которого конденсатор С перезаряжается, определяет быстродействие выключателя при отключении и частоту коммутаций. При повторном включении тиристора VS1 конденсатор вновь должен перезарядиться и тем самым обеспечить готовность к последующему отключению аппарата. Для сокращения времени перезарядки конденсатора необходимо уменьшать постоянную цепи зарядки. Это можно достичь уменьшением сопротивления резистора R.

3. Процесс отключения тока в цепи нагрузки заканчивается выключением тиристора VS2. Для этого необходимо обеспечить ограничение тока резистором R (после перезарядки конденсатора) до значений, меньших тока удержания тиристора. Ввиду того, что ток удержания мощных тиристоров составляет десятки или сотни миллиампер, сопротивление резистора R должно быть достаточно большим. Чтобы не снизить частоту коммутаций выключателя, зарядка конденсатора осуществляется обычно с помощью дополнительной зарядной цепи с малой постоянной времени от автономного источника питания.

4. Важной задачей при создании выключателей с емкостной коммутацией тиристоров является ограничение перенапряжений, возникающих на конденсаторе. В зависимости от параметров коммутируемой цепи и режима короткого замыкания они могут превышать значение $(1,5...2)U$. Для ограничения уровня перенапряжений до приемлемых значений необходимо использовать различные демпфирующие цепи, полупроводниковые или оксидно-цинковые (варисторы) нелинейные ограничители. В некоторых разработках целесообразным становится применение двухконтурных или двухступенчатых коммутирующих узлов с помощью которых

ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Электронные аппараты постоянного тока на тиристорах



Действие выключателей с двухступенчатой коммутацией тока показан на рисунке. Готовность к отключению в схеме этого аппарата обеспечивается предварительной зарядкой конденсатора C от сети с указанной полярностью. Для этого необходимо включить тиристоры $VS2$ и $VS5$, подав на их входные цепи управляющие сигналы. Ток зарядки конденсатора C протекает через элементы схемы $L1$, $L2$, R , $VS5$, C , перемычку Π , $VS2$, $L3$. По мере зарядки конденсатора ток в цепи тиристоров $VS2$, $VS5$ уменьшается и, когда он становится меньше тока удержания, тиристоры самостоятельно выключаются. При длительном номинальном режиме напряжение на конденсаторе постепенно уменьшается из-за несовершенства собственной изоляции и вследствие утечки заряда через подключенные

ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Электронные аппараты постоянного тока на тиристорах
Для преобразования энергии в схеме управления должна обеспечить включение тиристоров VS2 и VS5. В результате на конденсаторе С будет поддерживаться постоянное напряжение, равное практически напряжению сети. Реакторы L1, L2, L3 в схеме необходимы для ограничения скорости нарастания тока при включении тиристоров и реализации колебательного режима переходных процессов.

При возникновении короткого замыкания и достижении током значения уставки системой управления включаются тиристоры VS3 и VS4. В результате, как и во всех рассмотренных ранее схемах, выключается тиристор VS1. После изменения полярности напряжения на конденсаторе и повышения его до заданного значения системой управления выдается сигнал на включение тиристора VS5. При этом параллельно конденсатору подключается резистор R, способствующий ограничению дальнейшего повышения напряжения на конденсаторе С. Начиная с этого момента, напряжение на конденсаторе уменьшается вместе с уменьшением коммутируемого тока.

Разрядка конденсатора осуществляется через тиристор VS3, а после его выключения – через диод VD1. Второй этап коммутационных процессов начинается непосредственно после выключения тиристора VS3 и снижения тока до значения, определяемого общим сопротивлением внешней цепи и резистора R.

В этот момент времени системой управления включается тиристор VS2 и ток начинает протекать по цепи R, VS5, С, П, VS2 и VD2. В результате 250

ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Электронные аппараты постоянного тока на тиристорах

Так как полярность напряжения на конденсаторе после отключения соответствует исходному состоянию, тиристор готов к повторному срабатыванию. Причем в рассматриваемом случае, который соответствует индуктивному характеру нагрузки, напряжение на конденсаторе значительно превышает напряжение сети. При активной нагрузке остаточное напряжение на конденсаторе и после отключения тока меньше напряжения источника. Для обеспечения готовности к работе конденсатор необходимо дозарядить.

Резистор R в процессе зарядки конденсатора зашунтирован диодом, который в данном случае смещен в прямом направлении. Поэтому постоянная времени зарядки конденсатора определяется только сопротивлением соединительных проводов, собственным сопротивлением, индуктивностью конденсатора и дифференциальным сопротивлением диода.

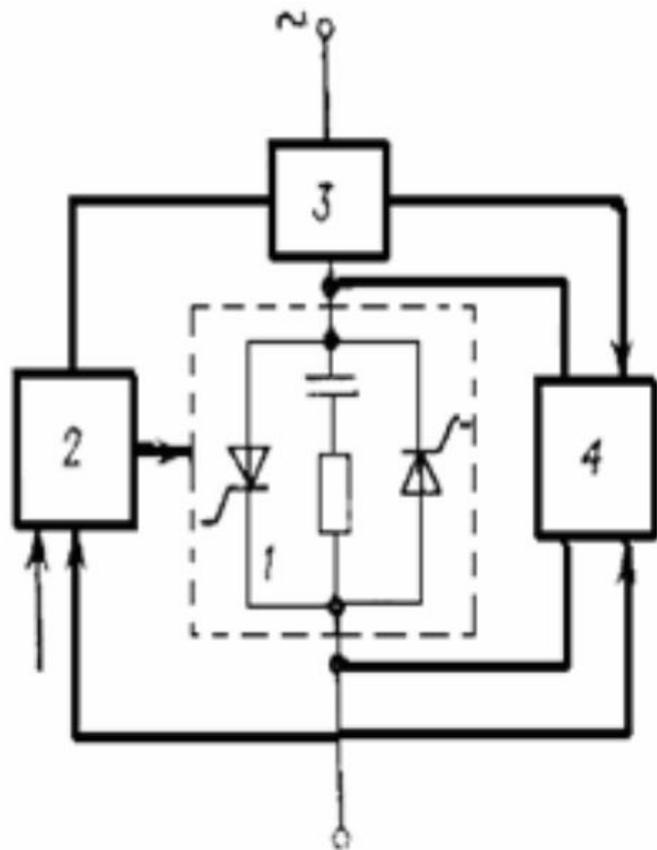
При включении запираемого тиристора конденсатор C , который заряжен до напряжения источника питания, разряжается через резистор R , так как диод $VD1$ при этом оказывается смещенным в обратном направлении. Таким образом, обеспечивается защита тиристора от превышения допустимой для него скорости нарастания тока при включении. Отметим, что емкость конденсатора защитной цепи, обеспечивающая нормальный режим работы запираемого тиристора в цепи с активной нагрузкой, составляет единицы микрофард.

Резкое прерывание тока запираемым тиристором при отключении индуктивной нагрузки сопровождается не только высокой скоростью восстановления напряжения, но и многократными перенапряжениями. Для ограничения перенапряжений можно использовать защитные цепи с той же

ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Электронные аппараты переменного тока на тиристорах имеют более сложную структуру. Принципиальная схема и конструктивное исполнение их определяются назначением, предъявляемыми требованиями и условиями работы. Все электронные аппараты переменного тока представляются обобщенной структурной схемой, в которой можно выделить четыре функционально законченных узла.

Силовой блок 1 с элементами защиты от перенапряжений является основой коммутирующего устройства, его исполнительным органом. Он может быть выполнен на базе только управляемых вентилей – тиристоров или с использованием диодов. При проектировании аппарата на ток, превышающий предельное значение тока одного прибора, требуется их параллельное соединение. При этом должны приниматься специальные меры, устраняющие неравномерность распределения тока по отдельным приборам, которая обусловлена неидентичностью их вольтамперных характеристик в проводящем состоянии и разбросом времени включения.



ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Электронные аппараты переменного тока на тиристорах

Блок управления 2 содержит устройства, которые осуществляют селекцию и запоминание команд, поступающих от органов управления или защиты; формируют управляющие импульсы с заданными параметрами; синхронизируют поступление этих импульсов на входы тиристоров с моментами перехода тока в нагрузке через нуль. Схема блока управления значительно усложняется, если аппарат, кроме функции коммутирования цепей, должен осуществлять регулирование напряжения и тока. В этом случае она дополняется устройством фазового управления, обеспечивающим сдвиг импульсов управления на заданный угол по отношению к нулю тока.

Блок датчиков режима работы аппарата 3 содержит измерительные устройства тока и напряжения, реле защиты различного назначения, схему выработки логических команд и сигнализации коммутационного положения аппарата.

Блок принудительной коммутации 4 объединяет в себе конденсаторную батарею, схему ее зарядки и коммутирующие тиристоры. В аппаратах переменного тока этот блок содержится только при условии использования их в качестве защиты (автоматических выключателей).

ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Электронные аппараты переменного тока на тиристорах

Силовая часть аппарата может быть выполнена по схеме со встречно-параллельным включением тиристоров на основе симметричного тиристора (симистора, рис. а) и в различных сочетаниях тиристоров и диодов (рис. б, в). В каждом конкретном случае при выборе варианта схемы должны учитываться следующие факторы: параметры по напряжению и току разрабатываемого аппарата, число используемых приборов, нагрузочная способность в длительном режиме и устойчивость к перегрузкам по току, степень сложности управления тиристорами, требования к массе и габаритам, преимуществами обладает

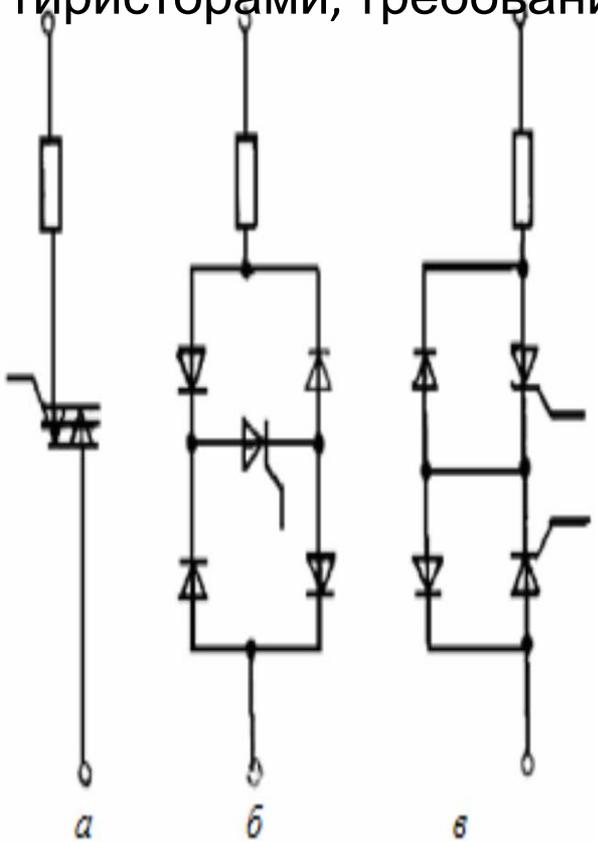


схема со встречно-параллельно включенными тиристорами. Такая схема содержит меньше приборов, отличается меньшими габаритами, массой, потерями энергии и стоимостью. По сравнению с симисторами тиристоры с односторонней проводимостью имеют более высокие параметры по току и напряжению, способны выдерживать большие перегрузки по току. Тиристоры таблеточной конструкции обладают более высокой термоциклическостью. Поэтому схему с симисторами можно рекомендовать для коммутации токов, не превышающих классификационное значение тока единичного прибора, т.е. когда не требуется групповое их соединение. Применение симисторов способствует упрощению системы управления силовым блоком

ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Электронные аппараты переменного тока на тиристорах

Схемы, изображенные на рис. 6, в, иллюстрируют возможность проектирования коммутирующих устройств переменного тока с применением диодов. Обе эти схемы отличаются простотой управления, но имеют недостатки, обусловленные применением большого числа приборов. В схеме на рис. б переменное напряжение источника питания с помощью выпрямительного диодного моста преобразуется в двухполупериодное пульсирующее напряжение одной полярности. В результате только один тиристор, включенный на выходе выпрямительного моста (в диагональ моста), становится способным управлять током в нагрузке в течение обоих полупериодов, если в начале каждого полупериода на его вход будут поступать управляющие импульсы. Выключение схемы происходит при ближайшем переходе тока нагрузки через нуль после прекращения генерирования управляющих импульсов.

Следует иметь в виду, однако, что надежное выключение схемы обеспечивается лишь при минимальной индуктивности цепи на стороне выпрямленного тока. В противном случае даже при снижении напряжения в конце полупериода до нуля ток будет продолжать протекать через тиристор, препятствуя его выключению. Опасность аварийного режима работы схемы (невывключение) появляется также при увеличении частоты питающего напряжения. В этом случае может оказаться, что схемное время недостаточно для восстановления тиристором управляемости.

ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

В **Электронные аппараты переменного тока на тиристорах** осуществляется двумя встречными тиристорами, каждый из которых шунтирован в обратном направлении неуправляемым вентилем. Так как при таком соединении катоды тиристорov находятся под одним потенциалом, это позволяет использовать генераторы управляющих импульсов с одним выходом или с двумя выходами с общим заземлением. Принципиальные схемы таких генераторов значительно упрощаются. Кроме того, тиристоры в этой схеме защищены от обратного напряжения и, следовательно, должны выбираться только по прямому напряжению.

По габаритам, техническим характеристикам и экономическим показателям устройства, выполненные по схемам на *рис. б, в*, уступают коммутирующим устройствам со схемами на структурной схеме и *рис. а*. Тем не менее они широко применяются в устройствах автоматики и релейной защиты, где коммутируемая мощность измеряется сотнями ватт. В частности, они могут быть использованы в качестве выходных устройств формирователей импульсов для управления тиристорными блоками более мощных устройств.

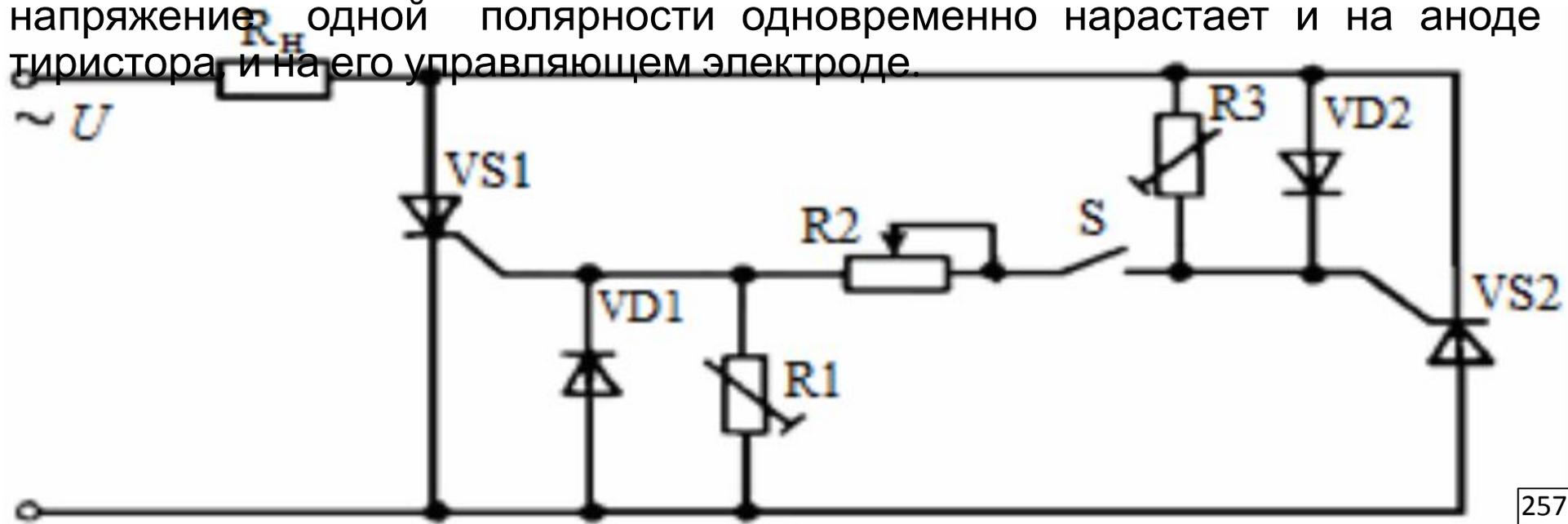
Особенность электронных коммутационных устройств состоит в том, что они без принципиальных изменений в силовой части могут выполнять различные функции. Так, тиристорный блок, выполненный по схеме на структурной схе, одинаково успешно может работать и в качестве контактора, и в качестве выключателя. Только заменой тиристорov (изменяется тип, класс по напряжению или группа прибора по

ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Электронные аппараты переменного тока на тиристорах

Существенно можно повлиять на работу схемы и с помощью системы управления, что будет показано на примере работы тиристорного контактора.

Силовой блок контактора выполнен по схеме с встречно-параллельным соединением тиристоров VS1 и VS2. Управление им осуществляется с помощью цепи, состоящей из резисторов R1, R2, R3 и механического контакта S. Эта цепь подключена параллельно тиристорам, поэтому при замкнутом ключе S напряжение на ее элементах, и в частности на резисторах R1 и R3, изменяется синхронно с анодным напряжением на тиристорах. А так как эти резисторы подключены параллельно управляющим цепям тиристоров, то напряжение одной полярности одновременно нарастает и на аноде тиристора и на его управляющем электроде.



ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Электронные аппараты переменного тока на тиристорах

Если это напряжение является положительным, то по отношению к тиристорам VS_1 и VS_2 снимаемое с резистора R_1 напряжение превышает значение отпирающего напряжения, тиристор VS_1 включается. При изменении полярности напряжения таким же образом происходит включение тиристора VS_2 , диоды VD_1 и VD_2 в схеме необходимы для защиты управляющих цепей тиристоров от обратного напряжения при отрицательном напряжении на их анодах.

Регулируемый резистор R_2 в управляющей цепи выбирается из условия ограничения амплитуды импульса тока управления до допустимого для используемых тиристоров значения. Изменением сопротивления R_2 можно управлять током во входных цепях тиристоров и моментом включения их по отношению к началу полупериода напряжения. Контакт R_1 становится способным выполнять еще одну функцию – регулирование тока в нагрузке.

Такой способ управления тиристорами является одним из самых простых и надежных, т.к. реализуется минимальным числом элементов в управляющих цепях. Вместе с тем непосредственная связь управляющего электрода и анода тиристора дает возможность обеспечить выполнение и других требований, которые предъявляются к системам управления: автоматически осуществляется жесткая синхронизация поступления управляющих сигналов с моментом возможного включения тиристоров; потери мощности на управление незначительны, так как длительность воздействия тока управления регулируется самим тиристором. Как только он переключается в проводящее состояние, управляющая цепь оказывается зашунтированной малым сопротивлением (сопротивлением тиристора в проводящем состоянии) и ток в ней уменьшается практически до нуля. Благодаря отмеченным факторам схема

ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

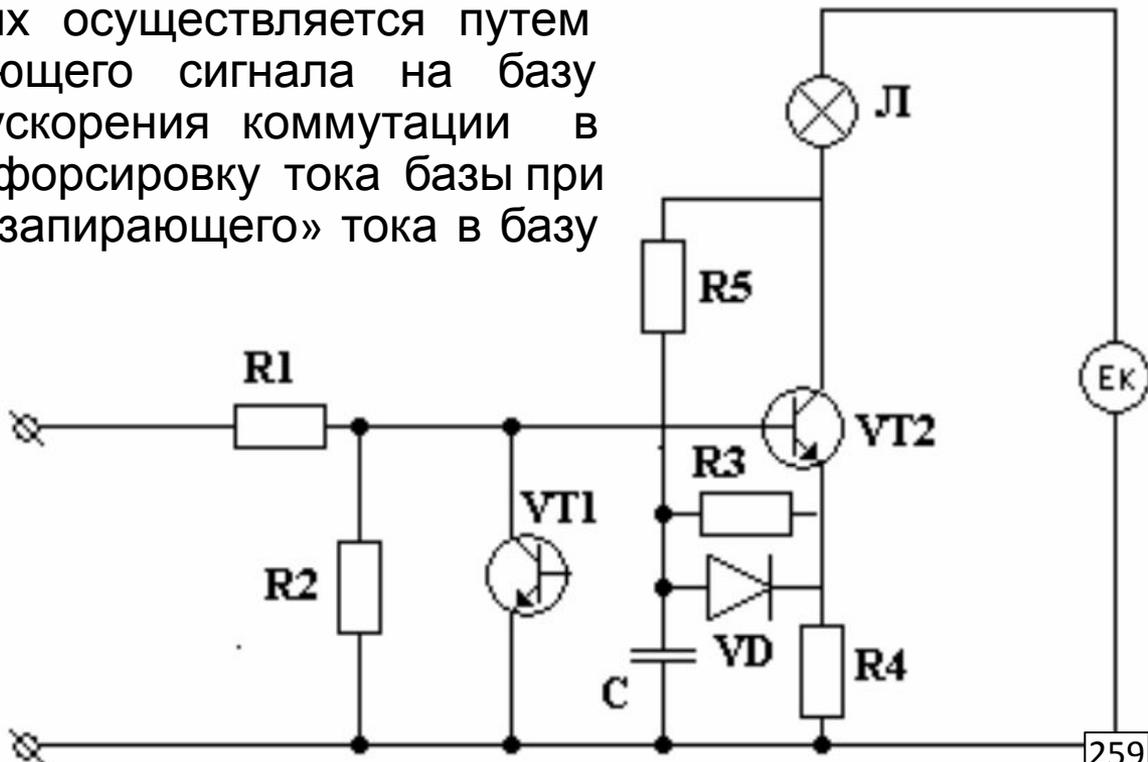
Электронные аппараты на транзисторах

Особенностью транзисторных аппаратов является то, что по сравнению с тиристорными состоит в лучшей управляемости, **большем быстродействии, меньших потерях и упрощении схемы.** Транзисторные ключи по сравнению с тиристорными обладают безусловными преимуществами при напряжении до 30–300 В и токах до сотен ампер.

Для транзисторных коммутаторов характерно **совмещение функций коммутации и защиты.** Транзисторы весьма чувствительны к нарушению нормальных режимов эксплуатации. Таким образом, осуществляя защиту коммутируемых цепей, они тем самым осуществляют и самозащиту.

Защита от токов перегрузки или короткого замыкания в транзисторных выключателях осуществляется путем прекращения передачи открывающего сигнала на базу силового транзистора (для ускорения коммутации в некоторых случаях используют форсировку тока базы при включении и подачу обратного «запирающего» тока в базу при отключении транзистора).

Сигнал на отключение поступает при достижении током нагрузки установившегося значения. Датчиком служит обычно шунт, стоящий в цепи эмиттера или коллектора. Одна из возможных схем такого выключателя на биполярных транзисторах приведена на



ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Электронные аппараты на транзисторах

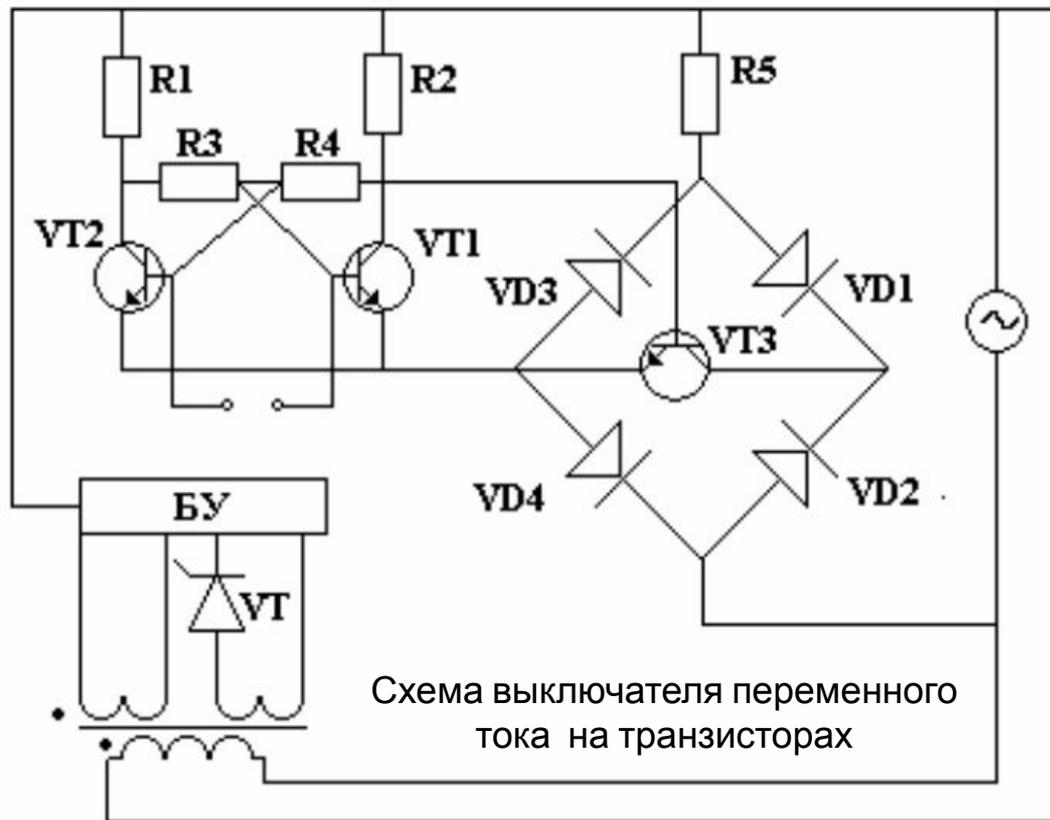
Возможность электронных аппаратов на транзисторах возвращает развитие больших токов в переходных и аварийных режимах, их надежность и ресурс повышает качество питающего напряжения, облегчает режимы, уменьшает массу и объем обслуживаемых ими устройств.

Транзисторные коммутационные аппараты в настоящее время успешно используются для управления двигателями постоянного тока мощностью до 45 кВт.

Транзисторные коммутаторы могут использоваться и для управления

Транзистор управляется от симметричного триггера. Отличительная особенность такого выключателя от аналогичного мостового тиристорного состоит в том, что работа его не зависит от характера нагрузки.

Бесконтактные коммутационные аппараты и регуляторы, помимо биполярных транзисторов, выполняются и на полевых МДП или МОП-транзисторах. Аппараты на полевых транзисторах отличаются простотой схемы и конструкции.



ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Твердотельные реле

Твердотельное реле (ТР) – это класс современных модульных полупроводниковых приборов, выполненных по гибридной технологии, содержащих в своем составе мощные силовые ключи на симисторных, тиристорных или транзисторных структурах.

Твердотельные реле обеспечивают наиболее надежный метод коммутации цепей и обладают следующими преимуществами перед электромагнитными аналогами:

- включение цепи без электромагнитных помех;
- высокое быстродействие;
- отсутствие шума и дребезга контактов;
- продолжительный период работы (свыше миллиарда срабатываний);
- возможность работы во взрывоопасной среде, так как нет дугового разряда;
- низкое электропотребление (на 95 % меньше, чем у обычных реле);
- надёжная изоляция между входными и коммутируемыми цепями:

ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Твердотельные реле

Твердотельные реле классифицируют по типу нагрузки на одно- и трёхфазные с диапазоном регулируемого напряжения от 40 до 440 В.

По типу управляющего сигнала ТТР делятся на следующие группы:

- 1) управление напряжением постоянного тока 3...32 В;
- 2) управление напряжением переменного тока 90...250 В;
- 3) ручное управление выходным напряжением с помощью переменного резистора;
- 4) аналоговое управление выходным напряжением с помощью унифицированного сигнала напряжения 0...10 В.

Различные варианты управляющих сигналов позволяют применять ТТР в качестве коммутационных элементов в системах автоматического управления.

По способу коммутации различают твердотельные реле с контролем перехода через 0; твердотельные реле мгновенного (случайного) включения; твердотельные реле с фазовым

ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Твердотельные реле **Твердотельные реле** применяются для коммутации резистивных нагрузок – электрических нагревательных элементов, ламп накаливания и т.п.; емкостных нагрузок (например, помехоподавляющих сглаживающих фильтров, имеющих в своем составе конденсаторы); слабоиндуктивных нагрузок – катушек соленоидов, клапанов и т.п.

При подаче управляющего сигнала на твердотельное реле с контролем перехода через ноль напряжение на его выходе появляется в момент первого пересечения линейным напряжением нулевого уровня (рисунок). Это позволяет уменьшить начальный бросок тока, снизить уровень электромагнитных помех и, как следствие, увеличить срок службы коммутируемых нагрузок. Однако ТТР с контролем перехода

через (напри нагрузку



Диаграмма срабатывания ТТР с контролем перехода через ноль

ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Твердотельные реле (фотолучевого) включения применяются для коммутации резистивных (нагревательные элементы, лампы накаливания) и индуктивных (маломощные двигатели, трансформаторы) нагрузок при необходимости мгновенного срабатывания.

Напряжение на выходе твердотельного реле данного типа появляется одновременно с подачей управляющего сигнала (время задержки включения не более 1 миллисекунды), а значит, включение ТТР возможно на любом участке синусоидального напряжения (рисунок). Однако у ТТР данного типа могут возникать импульсные помехи и начальные броски тока при коммутации. После включения такое твердотельное реле функционирует как обычное ТТР с контролем перехода через



Диаграмма срабатывания ТТР мгновенного включения

ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Твердотельные реле

Твердотельные реле с фазовым управлением позволяют изменять величину выходного напряжения на нагрузке (рисунок) и применяются для регулирования мощности нагревательных элементов, уровня освещенности у лампы накаливания и т.д.

Увеличение температуры ТТР накладывает ограничение на величину коммутируемого тока – нагрев твердотельного реле до 60 °С существенно снижает допустимую величину коммутируемого тока (нагрузка может отключаться не полностью, а само ТТР перейти в неуправляемый режим работы и даже выйти из строя). В связи с этим при длительной работе твердотельного реле в номинальных, и особенно «тяжелых», режимах (при длительной коммутации и токах нагрузки свыше 5 А) требуется применение радиаторов или воздушного охлаждения для рассеивания тепла. При повышенных нагрузках, например в случае нагрузки индуктивного характера (соленоиды, электромагниты и т.п.), рекомендуется выбирать твердотельное реле с большим запасом по току (в 2–4 раза), а в случае применения твердотельных реле для управления асинхронным электродвигателем необходим 6–10-кратный запас по току. При работе с большинством типов нагрузок включение твердотельного реле сопровождается скачком тока (пусковой перегрузкой) различной длительности.

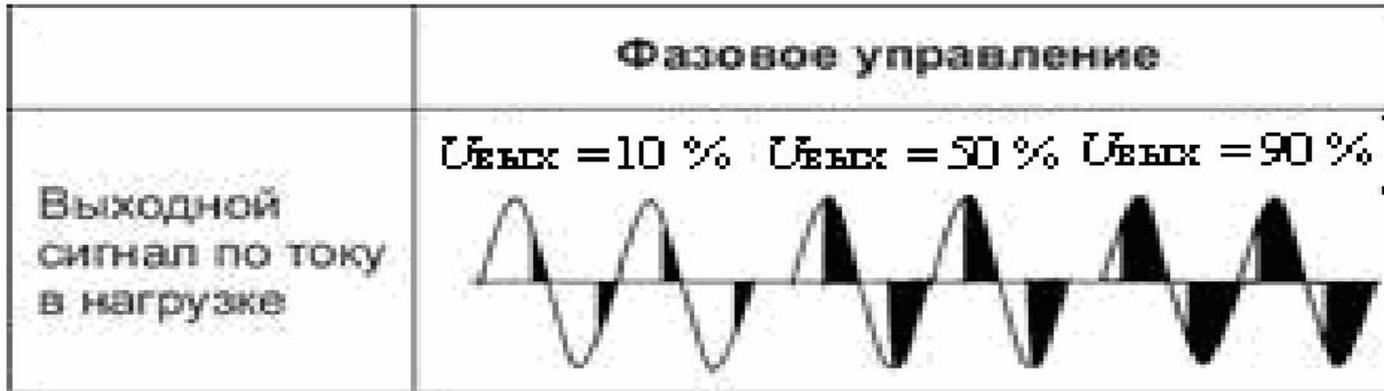


Диаграмма срабатывания ТТР с фазовым управлением

ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Твердотельные реле

Коммутирующими элементами ТТР являются: симисторы, встречно-

включенные тиристоры, полевые транзисторы, IGBT-транзистора. Эти типы приборов имеют идентичную входную схему, выполненную на основе инфракрасного светодиода, излучение которого обеспечивает включение соответствующего силового элемента через специальную фоточувствительную схему, причем для тиристорно-симисторных и MOSFET-IGBT реле применяются разные схемы.

Цепи управления светодиодом выполнены или на резисторе, или с применением токового стабилизатора. Типичный ток управления твердотельным реле составляет 10–15 мА, что на порядок меньше тока управления электромагнитного реле. Различные типы приборов могут управляться как постоянным, так и переменным напряжением.

ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Твердотельные реле

Входные схемы реле представлены далее на рисунках («Ст» означает стабилизатор тока).

При управлении постоянным напряжением входная цепь реле имеет **резистивный ограничитель тока** (для реле постоянного тока по коммутируемой цепи) или **токовый стабилизатор** (для реле переменного тока).

Входная цепь реле, управляемых переменным напряжением, имеет на входе **АС/DC-преобразователь и токовый стабилизатор**.

Твердотельное реле обеспечивает **надлежащую электрическую изоляцию входных и выходных электрических цепей друг от друга, а также токоведущих цепей от элементов конструкции прибора**.

Входное напряжение, в зависимости от модификации прибора, составляет:

группа А – 3–30 В постоянного тока (для реле переменного тока по коммутируемой цепи); **4–10 В** (для реле постоянного тока);

группа Б – 6–30 В переменного тока (среднеквадратичное значение);

группа В – 90–280 В переменного тока (среднеквадратичное значение).

Максимальное напряжение невключения реле составляет:

группа А – 1 В; группа Б – 4 В (среднеквадратичное значение);

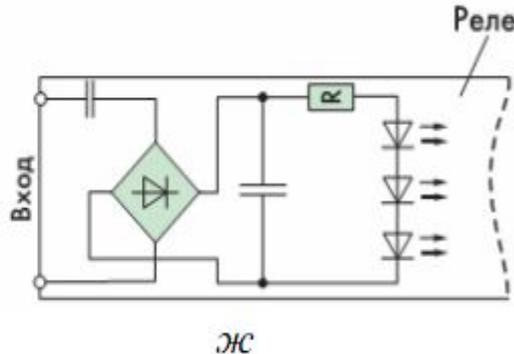
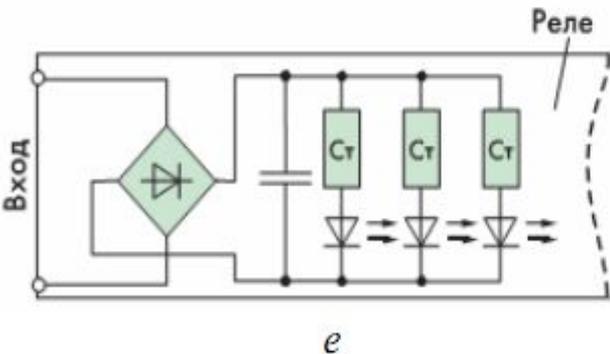
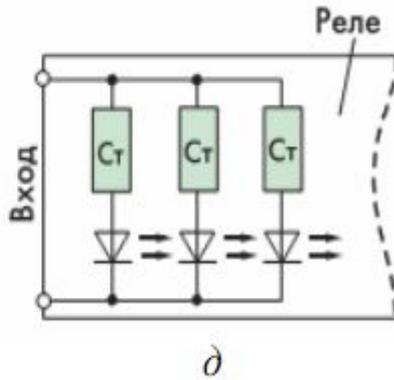
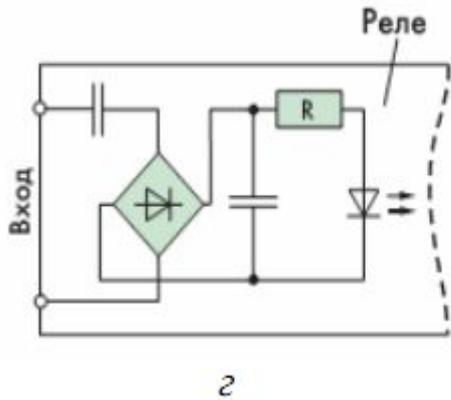
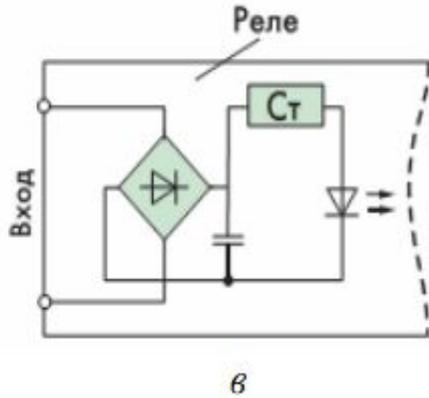
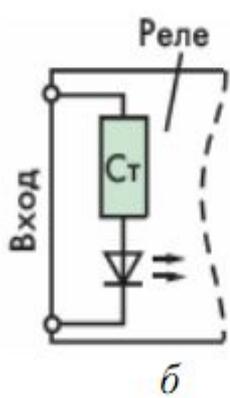
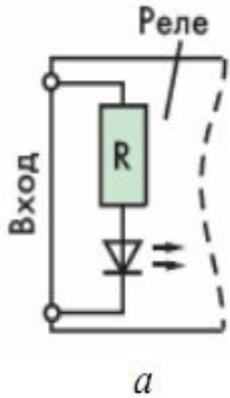
группа В – 10 В (среднеквадратичное значение).

Еще одним параметром реле, управляемых постоянными

ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Входные схемы

Левых твердотельных реле:



а – реле постоянного тока;

б – реле переменного тока однофазные с управлением

постоянным напряжением;

в – реле переменного тока однофазные с управлением

переменным напряжением;

г – реле переменного тока однофазные с управлением

переменным напряжением;

д – реле переменного тока трехфазные с управлением

ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

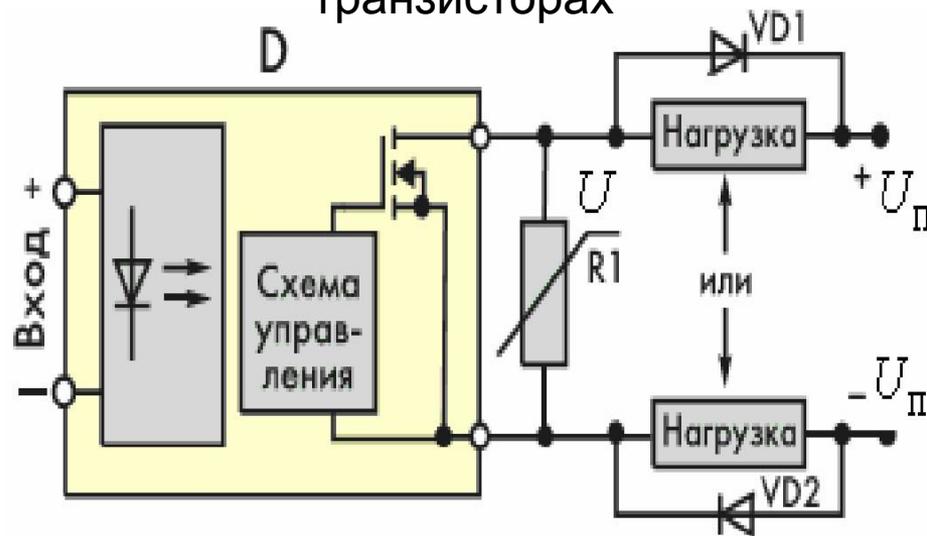
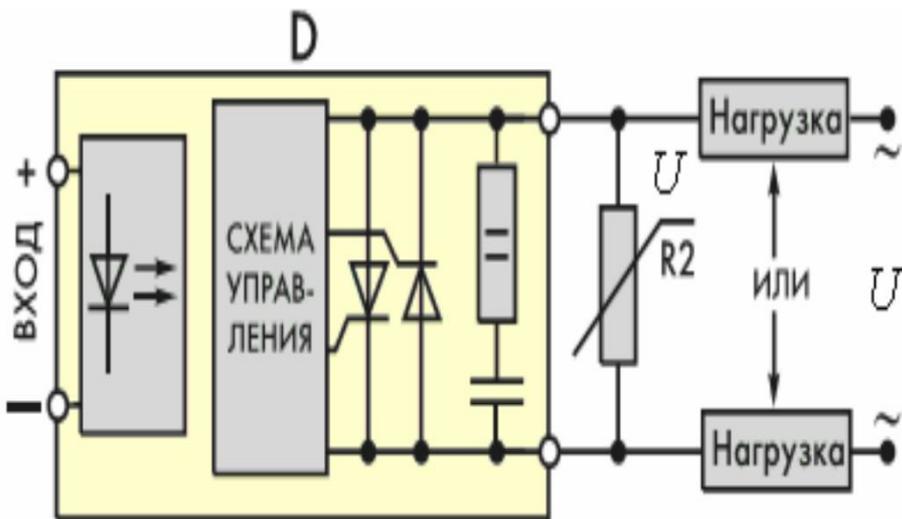
Твердотельные реле

Оптронная развязка твердотельных реле представляет собой сложный электронный прибор. Выходным элементом входной части этой оптронной развязки является светодиод, излучающий в инфракрасном диапазоне. Входным элементом выходной части оптрона являются фоточувствительная электронная схема на основе симистора (для реле переменного тока) или на основе так называемого фотовольтаического элемента, создающего на своих выводах разность потенциалов при облучении инфракрасным излучением.

Структурные схемы реле представлены на рисунках:

Реле переменного тока однофазные

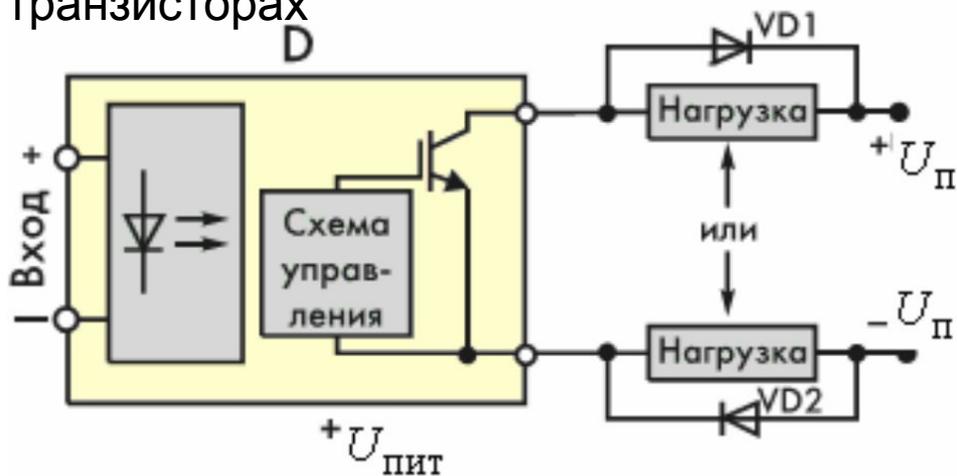
Реле постоянного тока на полевых транзисторах



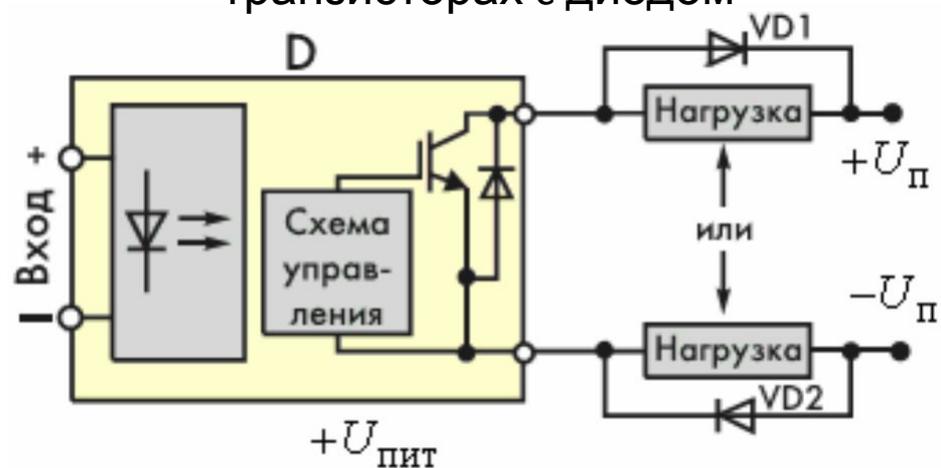
ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Твердотельные реле

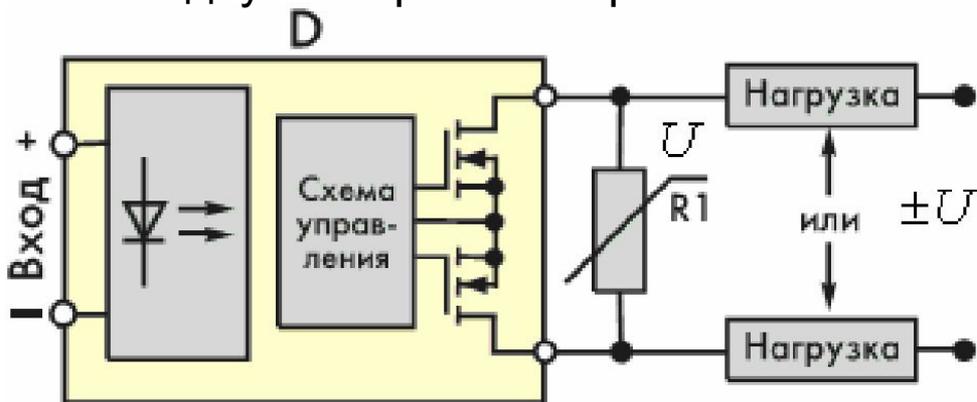
Реле постоянного тока на IGBT-транзисторах



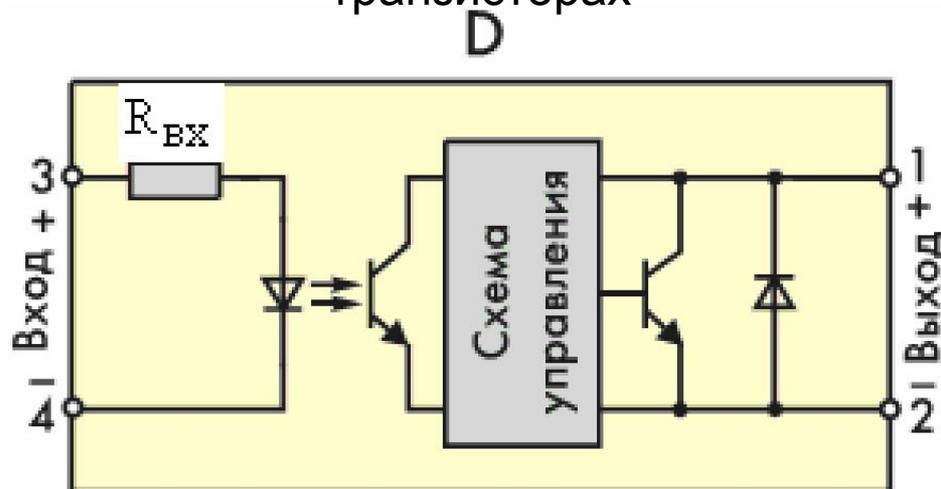
Реле постоянного тока на IGBT-транзисторах с диодом



Реле постоянного тока на полевых транзисторах для коммутации двухполярного напряжения



Реле постоянного тока на биполярных транзисторах



ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Твердотельные реле

Функциональный элемент однофазного реле переменного тока, подключенный к управляющим электродам выходных тиристоров реле, является по своей сути симистором на полное рабочее напряжение силовой цепи реле с максимальным током (импульсным) до 500 мА. Под воздействием излучения инфракрасного диапазона светодиода входной части реле этот симистор открывается и подает отпирающий ток в управляющие электроды выходных тиристоров реле при поступлении положительной или отрицательной полуволны сетевого напряжения соответственно. Этот элемент включается на короткое время (около 20 мкс), необходимое для отпираания выходного тиристора, в дальнейшем весь ток идет через силовой тиристор реле. Кроме того, этот элемент следит за фазным напряжением в сети.

Существуют две модификации реле переменного тока, отличающиеся характером поведения реле:

- **В реле без контроля «нуля» фазы сетевого напряжения или реле с произвольным включением**, которые наиболее аналогичны по своим коммутационным свойствам электромагнитным реле, **при поступлении управляющего сигнала силовая цепь отпирается сразу за очень короткое время.**

- **В реле с контролем «нуля» фазы сетевого напряжения** (под «нулем» фазы понимается некоторый диапазон напряжений малой величины положительной и отрицательной полуволны сетевого напряжения, при которых может произойти коммутация силовой цепи) **специальная схема обеспечивает включение реле при наличии управляющего сигнала в момент времени, близкий к «нулю» фазы.** При больших значениях напряжения реле не включится даже при наличии управляющего сигнала. Эта величина напряжения называется **напряжением**

ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Твердотельные реле

Реле первого типа могут быть использованы в регуляторах мощности, обеспечивая отсечку фазы силового напряжения регулируемой длительности, системах автоматики и т.д., а у реле второго типа главным преимуществом является «мягкое» включение нагрузки, не порождающее помех в сети и не искажающее форму напряжения на нагрузке.

Реле с произвольным включением, как и электромагнитные реле, могут быть как нормально замкнутыми, так и нормально разомкнутыми, что обеспечивается специальными схемными решениями. Эти реле могут пропустить ток по силовой части без подачи управляющего напряжения и запираются при подаче управляющего сигнала на вход реле.

Таким образом, все реле переменного тока имеют двухкаскадную выходную схему, что накладывает ряд ограничений на допустимые параметры коммутируемой нагрузки.

Выходная часть реле (силовой коммутирующий элемент) построена на паре встречно-параллельно включенных тиристоров.

Твердотельные реле представляют собой сложный прибор, состоящий из большого количества различных элементов, к свойствам и качеству которых предъявляются высокие требования.

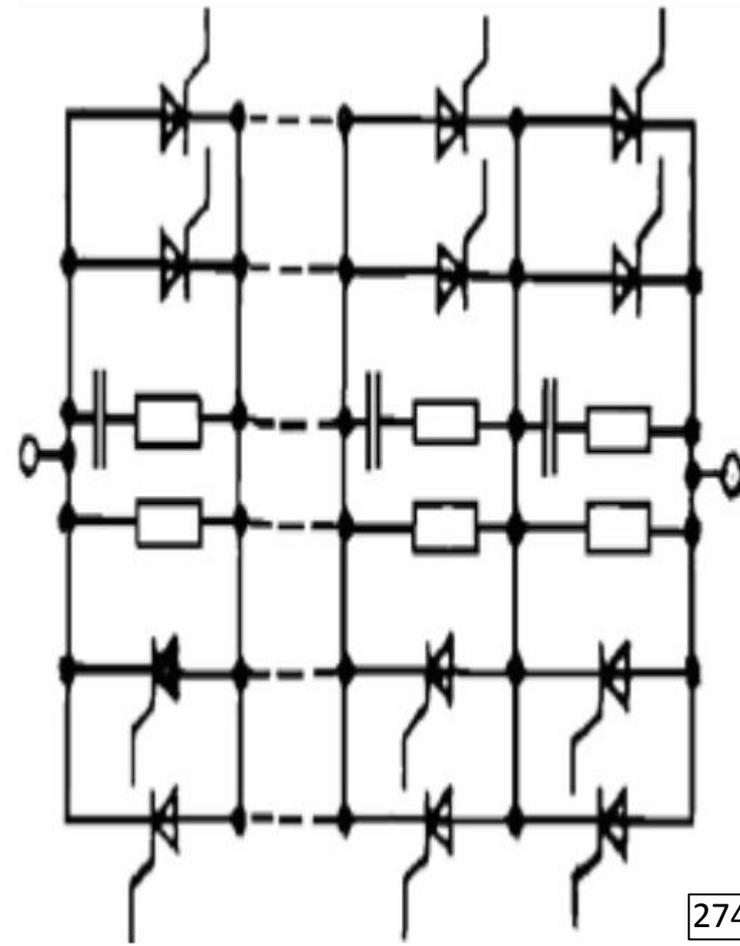
ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Общие сведения

Электронные аппараты по принципу действия и основным характеристикам не отличаются от электронных аппаратов низкого напряжения. Это обусловлено тем, что в тех и других аппаратах основными элементами, определяющими свойства аппарата, являются СПП. Однако практическая реализация аппаратов высокого напряжения связана с решением комплекса сложных задач, обусловленных прежде всего групповым (последовательным и параллельным) полупроводниковых приборов.

На рисунке показан силовой блок аппарата переменного тока в однополюсном исполнении. В каждом направлении тока тиристоры соединены последовательно и параллельно в количестве, обеспечивающем расчетные параметры по напряжению и току проектируемого аппарата. С учетом ограниченной мощности единичных приборов общее их число в блоке может достигать нескольких десятков.

Очевидно, что главная цепь аппарата в этом случае будет содержать множество жестких контактных соединений, в связи с чем необходимо принимать специальные меры, позволяющие обеспечить низкие переходные сопротивления контактов и высокий уровень



ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Общие сведения

Другие задачи связаны с характеристиками СПП, в частности с характеристиками тиристоров. Являясь быстродействующими ключевыми элементами, тиристоры не обладают идеальными для применения в аппаратах свойствами: и в состоянии высокой проводимости, и в закрытом состоянии в них происходит выделение относительно большого количества теплоты. В среднем на каждые 100 А тока в прямом направлении потери мощности в тиристорах при полном угле проводимости (180°) составляют около 200 Вт. Существенными являются также потери, обусловленные протеканием токов утечки, если приборы работают при напряжениях, близких к предельно допустимым.

При большом числе тиристоров в силовом блоке рассеивание выделяемой мощности потерь может быть осуществлено только при использовании специальной системы охлаждения, создание которой требует сложных технических решений, увеличивает массу и габариты силового блока.

По сравнению с аппаратами низкого напряжения тиристорные аппараты высокого напряжения имеют более сложную систему управления. Это объясняется как увеличением числа СПП в силовых блоках, так и более жесткими требованиями к параметрам формируемых системой управления управляющих импульсов. При создании системы управления должны быть решены вопросы, связанные с распределением управляющих импульсов по тиристорам, синхронизацией их с кривой тока или напряжения, обеспечением

ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Общие сведения

Проблемы возникают также из-за неидентичности характеристик диодов или тиристоров, соединяемых в группы. При последовательном соединении разброс характеристик СПП по быстрдействию при включении и выключении, а также различия по токам утечек в непроводящем состоянии могут вызвать неравномерное распределение напряжения по приборам. Чтобы при таких условиях аппарат был способен выполнять надежно свои функции, необходимо либо увеличивать число последовательно соединенных приборов, либо устранить неравномерность распределения по ним напряжения.

Первый вариант, как правило, не практикуется из-за существенного увеличения затрат и затруднений технического характера.

Более целесообразным является второй вариант, хотя он также требует и усложнения конструкции блока, и определенных дополнительных затрат. В частности, широкое применение для уменьшения разброса напряжений по приборам находят RC-цепи, подсоединяемые параллельно к каждому тиристоры. В статических режимах работы аппарата (при частоте 50 Гц) напряжение достаточно равномерно распределяется при шунтировании приборов высокоомными резисторами.

ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Общие сведения

Влияние неидентичности характеристик СПП сказывается также на распределении напряжения при последовательном их соединении – большая часть напряжения приходится на приборы с меньшими токами утечек. Причем не обязательно, что у одного и того же тиристора будет меньший ток утечки и в прямом, и в обратном направлении.

При изменении полярности прикладываемого напряжения, следовательно, может измениться и распределение напряжения по тиристорам. **Непредсказуемым также является изменение соотношения токов утечек с повышением температуры тиристоров.** Кроме этого, можно констатировать, что во всем диапазоне изменения температуры и воздействующего напряжения обратные токи у тиристоров достигают значительно меньших значений, чем токи в прямом направлении, когда тиристоры находятся в закрытом состоянии. Максимальный разброс токов утечек, определяющий неравномерность распределения напряжения по тиристорам при последовательном их соединении, может составлять 500–800 % и более.

Для выравнивания напряжений применяются резисторы, включаемые параллельно каждому тиристоры. Ориентировочно значение сопротивления этих резисторов должно быть на порядок меньше, чем сопротивление СПП при повторяющемся напряжении..