

**Э.Г. ЧЕБОТКОВ
Ю.В. ЗУБКОВ**

**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ
АППАРАТЫ**

(Ч. II. Аппараты управления и распределительных устройств)

Учебное пособие

**Самара
Самарский государственный технический университет
2011**



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Электромеханика и автомобильное электрооборудование»

Э.Г. ЧЕБОТКОВ

Ю.В. ЗУБКОВ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

(Ч. II. Аппараты управления и распределительных устройств)

Учебное пособие

Самара
Самарский государственный технический университет
2011

Печатается по решению редакционно-издательского совета СамГТУ

УДК 621. 313

Ч 34

Чеботков Э.Г.

Ч 34 Электрические и электронные аппараты (ч. II. Аппараты управления и распределительных устройств): учеб. пособ. / Э.Г. Чеботков, Ю.В. Зубков. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2011. – 231 с.: ил.

ISBN 978-5-7964-1486-6

Содержит основы теории и общие сведения об электрических и электронных аппаратах, описание принципа их действия, принципиальные схемы, характеристики и основные соотношения.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника». Дисциплина «Электрические и электронные аппараты».

УДК 621. 313

Ч 34

Рецензент д-р техн. наук, проф. *С.Я. Галицкий*

ISBN 978-5-7964-1486-6

© Э.Г. Чеботков, Ю.В. Зубков, 2011

© Самарский государственный
технический университет, 2011

ВВЕДЕНИЕ

Электрическими аппаратами (ЭА) называются электротехнические устройства для управления потоками энергии и информации, режимами работы, контроля и защиты технических систем и их компонентов.

Электрические аппараты служат для коммутации, сигнализации и защиты электрических сетей и электроприемников, а также управления электротехническими и технологическими установками и находят исключительно широкое применение в различных областях народного хозяйства: в электроэнергетике, в промышленности и транспорте, в аэрокосмических системах и оборонных отраслях, в телекоммуникациях, в коммунальном хозяйстве, в бытовой технике и т.д. При этом в каждой из областей диапазон используемой номенклатуры аппаратов очень широк. Можно определенно сказать, что не существует области, связанной с использованием электрической энергии, где бы не применялись электрические аппараты.

Широкое и разнообразное применение электрических аппаратов в энергетике, автоматизации производственных процессов и во всех отраслях промышленности определяет необходимость освоения инженерно-техническим составом, работающим в этой области, теории аппаратов, вопросов их разработки и применения.

Учебные планы технических университетов содержат курс «Электрические и электронные аппараты» для студентов различных электротехнических специальностей. Учебный план для студентов специальностей 140.601, 140.604, 140.607 предусматривает, кроме теоретического курса, практические и лабораторные занятия и достаточно большой объем самостоятельной работы.

Изучение курса электрических аппаратов базируется на преемственности знаний, полученных при изучении таких предшествующих дисциплин, как курсы высшей математики, физики, теоретической механики, сопротивления материалов, теоретических основ электротехники, основ электроники и др.

Знания, полученные студентами при изучении электрических аппаратов, необходимы для освоения материала по курсам: электромеханика и электрические машины, основы автоматизированного электропривода, электрические аппараты, электрические микромашины и др.

Данный курс лекций предназначен для освоения отдельного раздела электрических и электронных аппаратов – изучения аппаратов управления и распредустройств – и практического применения полученных знаний для эксплуатации, расчетов и конструирования.

Конспект лекций разработан для высших учебных заведений на базе программы курса «Электрические и электронные аппараты» по специальности 140.601 «Электромеханика» и 140.604 «Электропривод и промышленная электроника», утвержденной 27.03.2000 г. в соответствии с ГОС.ОПД.Ф.08.

Лекция №11

ПРЕДОХРАНИТЕЛИ, ПАРАМЕТРЫ, ТРЕБОВАНИЯ, ХАРАКТЕРИСТИКИ. ВЫБОР ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ

ПРЕДОХРАНИТЕЛИ

Общие сведения

Предохранители – это электрические аппараты, предназначенные для защиты электрических цепей от токовых перегрузок и токов КЗ. Основными элементами предохранителя являются плавкая вставка, включаемая последовательно с защищаемой цепью, и дугогасительное устройство.

К предохранителям предъявляются следующие требования:

1. Времятоковая характеристика предохранителя должна проходить ниже времятоковой характеристики защищаемого объекта, но возможно ближе к ней.

2. Время срабатывания предохранителя при КЗ должно быть минимально возможным, особенно при защите полупроводниковых

приборов. Предохранители должны работать с токоограничением.

3. При КЗ в защищаемой цепи предохранители должны обеспечивать селективность защиты.

4. Характеристики предохранителя должны быть стабильными, а технологический разброс их параметров не должен нарушать надежность защиты.

5. В связи с возросшей мощностью установок предохранители должны иметь высокую отключающую способность.

6. Конструкция предохранителя должна обеспечивать возможность быстрой и удобной замены плавкой вставки при ее перегорании.

НАГРЕВ ПЛАВКОЙ ВСТАВКИ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКЕ

Основной характеристикой предохранителя является времятоковая характеристика, представляющая собой зависимость времени плавления вставки от протекающего тока. Для совершенной защиты желательно, чтобы времятоковая характеристика предохранителя (кривая 1 на рис. 11.1) во всех точках шла немного ниже характеристики защищаемой цепи или объекта (кривая 2 на рис. 11.1). Однако реальная характеристика предохранителя (кривая 3) пересекает кривую 2. Поясним это. Если характеристика предохранителя соответствует кривой 1, то он будет перегорать из-за старения или при пуске двигателя. Цепь будет отключаться при отсутствии недопустимых перегрузок. Поэтому ток плавления вставки выбирается больше номинального тока нагрузки. При этом кривые 2 и 3 пересекаются. В области больших перегрузок (область *Б*) предохранитель защищает объект. В области *А* предохранитель объект не защищает.

При небольших перегрузках ($1,5 \div 2$) $I_{\text{НОМ}}$ нагрев предохранителя протекает медленно. Большая часть тепла отдается окружающей среде. Сложные условия теплоотдачи затрудняют расчет плавкой вставки.

Ток, при котором плавкая вставка сгорает при достижении ею установившейся температуры, называется пограничным током $I_{\text{ПОГР}}$.

Для того чтобы предохранитель не срабатывал при номинальном токе $I_{ном.}$, необходимо, чтобы $I_{погр.} > I_{ном.н.}$. С другой стороны, для лучшей защиты значение $I_{погр.}$ должно быть возможно ближе к номинальному. При токах, близких к пограничному, температура плавкой вставки должна приближаться к температуре плавления.

В связи с тем, что время плавления вставки при пограничном токе велико (более 1 ч.) и температура плавления ее материала составляет много сотен градусов Цельсия, все детали предохранителя нагреваются до высоких температур. Происходит тепловое старение плавкой вставки.

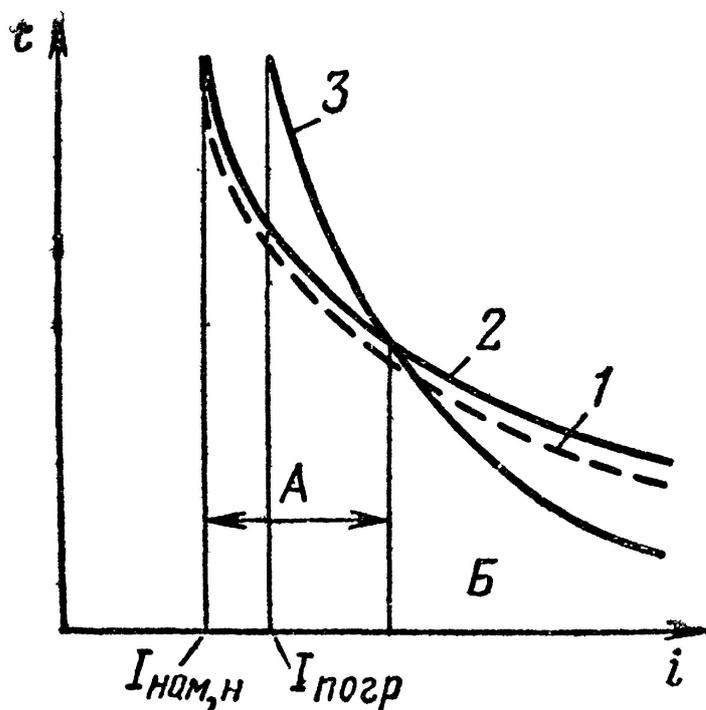


Рис. 11.1. Согласование характеристик предохранителя и защищаемого объекта

Для снижения температуры плавления вставки при ее изготовлении применяются легкоплавкие металлы и сплавы. Материалы плавких вставок и их свойства даны в табл. 11.1.

Наименьшую температуру плавления имеет свинец. Но удельное сопротивление свинца в 12 раз выше, чем у меди. Для того чтобы при прохождении данного тока вставка нагрелась до допустимой температуры ($150\text{ }^{\circ}\text{C}$), ее сечение должно быть значительно больше, чем

сечение вставки из меди.

Таблица 11.1

Материалы плавких вставок и их свойства

Металл вставки	Удельное сопротивление ρ , мкОм•м	Температура, °С	
		допустимая	плавления
Медь	0,0153	250	1083
Серебро	0,0147		961
Цинк	0,05	200	419
Свинец	0,21	150	327

При плавлении вставки пары металла ионизируются в возникающей дуге благодаря высокой температуре. Из-за большого объема вставки количество паров металла в дуге велико, что затрудняет ее гашение и уменьшает предельный ток, отключаемый предохранителем. Из-за этих особенностей вставок из легкоплавких металлов широкое распространение получили медные и серебряные плавкие вставки с металлургическим эффектом, который объясняется ниже. На тонкую медную проволоку (диаметром менее 0,001 м) наносится шарик из олова. При нагреве вставки сначала плавится олово, имеющее низкую температуру плавления (232 °С). В месте контакта олова с проволокой начинается растворение меди и уменьшение ее сечения. Это вызывает увеличение сопротивления и повышение потерь в этой точке. Процесс длится до тех пор, пока медная проволока не расплавится в точке расположения оловянного шарика. Возникшая при этом дуга расплавляет проволоку на всей длине. Применение оловянного шарика снижает среднюю температуру плавления вставки до 280 °С.

Отношение $I_{\text{догр.}} / I_{\text{ном.}}$, уменьшается до 1,2, что дает улучшение времятоковой характеристики.

Стабильность времятоковой характеристики в значительной степени зависит от окисления плавкой вставки. Свинец и цинк образуют на воздухе пленку оксида, которая предохраняет вставку от изменения сечения. Медная вставка при длительной работе и высокой температуре

интенсивно окисляется. Пленка оксида при изменении температурного режима отслаивается, и сечение вставки постепенно уменьшается. В результате плавкая вставка перегорает при номинальном токе, если ее температура при токе, близком к пограничному, выбрана высокой. В табл. 11.1 приведены рекомендуемые допустимые температуры вставок при номинальном токе. Температура медной вставки при токе, близком к номинальному, должна быть значительно ниже температуры плавления. Поэтому приходится завышать сечение вставки и тем самым увеличивать отношение $I_{\text{ПОГР.}} / I_{\text{НОМ.}}$ примерно до 1,8, что ухудшает защитные свойства предохранителя.

Серебряные плавкие вставки не подвержены тепловому старению, и для них отношение $I_{\text{ПОГР.}} / I_{\text{НОМ.}}$ определяется только нагревом.

У вставок из легкоплавких материалов эксплуатационная температура ближе к температуре плавления, что позволяет снизить отношение $I_{\text{ПОГР.}} / I_{\text{НОМ.}}$ до $1,2 \div 1,4$.

В настоящее время в качестве материала плавкой вставки начали применять алюминий. Пленка оксида на поверхности вставки защищает алюминий от коррозии и делает характеристику предохранителя стабильной. Большее удельное сопротивление материала компенсируется увеличением сечения вставки. Алюминий имеет температуру плавления ниже, чем у меди (658 против 1083 °С).

Времятоковые характеристики предохранителей со вставками постоянного сечения из легкоплавкого металла хорошо согласуются с характеристиками силовых трансформаторов и других подобных объектов. Это объясняется низкой температурой плавления, стойкостью против коррозии и малой теплопроводностью материала таких вставок.

Медная вставка из-за высокой теплопроводности, высокой температуры плавления и большого отношения $I_{\text{ПОГР.}} / I_{\text{НОМ.}}$ в области малых перегрузок не обеспечивает защиту объекта (область А, рис. 11.1).

КОНСТРУКЦИЯ ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

а) Предохранители с гашением дуги в закрытом объеме. Предохранители на токи от 15 до 60 А имеют упрощенную конструк-

цию. Плавкая вставка 1 прижимается к латунной обойме 4 колпачком 5, который является выходным контактом (рис. 11.2, а). Плавкая вставка 1 штампуется из цинка, являющегося легкоплавким и стойким к коррозии материалом. Указанная форма вставки позволяет получить благоприятную времятоковую (защитную) характеристику. В предохранителях на токи более 60 А плавкая вставка 1 присоединяется к контактными ножами 2 с помощью болтов (рис. 11.2, б).

Вставка располагается в герметичном трубчатом патроне, который состоит из фибрового цилиндра 3, латунной обоймы 4 и латунного колпачка 5.

При отключении сгорают суженные перешейки плавкой вставки, после чего возникает дуга. Под действием температуры дуги фибровые стенки патрона выделяют газ, в результате чего давление в патроне за доли полупериода поднимается до $4 \div 8$ МПа. За счет увеличения давления поднимается вольт-амперная характеристика дуги, что способствует ее быстрому гашению.

Плавкая вставка может иметь от одного до четырех сужений (рис. 11.2, в) в зависимости от номинального напряжения. Суженные участки вставки способствуют быстрому ее плавлению при КЗ и создают эффект токоограничения.

Поскольку гашение дуги происходит очень быстро (0,002 сек.), можно считать, что уширенные части вставки в процессе гашения остаются неподвижными. Рассмотрим вставку с четырьмя перешейками. После их перегорания образуются четыре разрыва. На каждом катоде разрыва восстанавливается электрическая прочность около 200 В, а суммарная прочность предохранителей достигает 800 В. Это явление наряду с высоким давлением позволяет надежно гасить дугу при напряжении источника до 500 В.

Давление внутри патрона пропорционально квадрату тока в момент плавления вставки и может достигать больших значений. Поэтому фибровый цилиндр должен обладать высокой механической прочностью, для чего на его концах установлены латунные обоймы 4. Диски 6, жестко связанные с контактными ножами 2, крепятся к обойме патрона 4 с помощью колпачков 5.

Предохранители работают бесшумно, практически без выброса пламени и газов, что позволяет устанавливать их на близком расстоянии друг от друга.

Предохранители выпускаются двух осевых размеров – короткие и длинные. Короткие предназначены для работы на переменном напряжении не выше 380 В. Они имеют меньшую отключающую способность, чем длинные, рассчитанные на работу в сети с напряжением до 500 В.

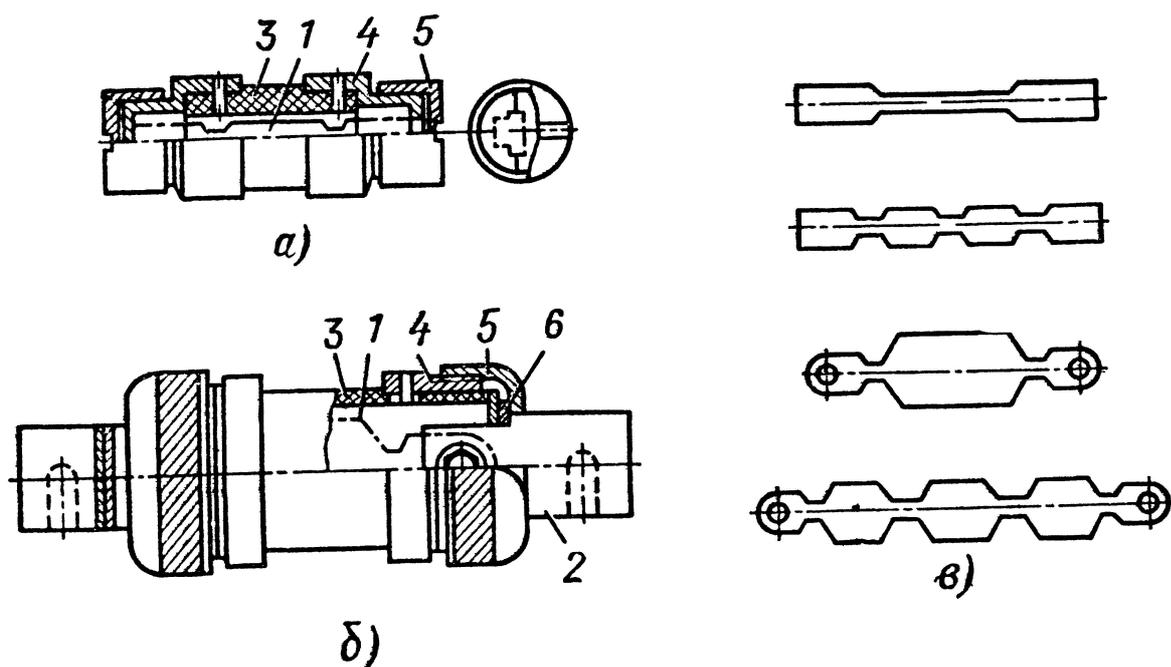


Рис. 11.2. Предохранитель типа ПР-2

В зависимости от номинального тока выпускается шесть габаритов патронов различных диаметров. В патроне каждого габарита могут устанавливаться вставки на различные номинальные токи. Так, в патроне на номинальный ток 15 А могут быть установлены вставки на ток 6, 10 и 15 А.

В табл. 11.2 приведены значения испытательных токов для предохранителя типа ПР-2. Различают нижнее и верхнее значения испытательного тока. Нижнее значение испытательного тока – это максимальный ток, который, протекая в течение 1 ч, не приводит к перегоранию предохранителя. Верхнее значение испытательного тока – это минимальный ток, который, проходя в течение 1 ч, плавит вставку предохранителя.

С достаточной точностью можно принять пограничный ток равным среднеарифметическому испытательных токов.

Предохранители типа ПР-2 обладают токоограничением. Так, в цепи с током КЗ 50 000 А плавкая вставка на номинальный ток 6 А перегорает при токе всего 400 А. Однако чем больше номинальный ток, тем меньше эффект токоограничения. При номинальном токе 600 А токоограничение отсутствует, так как дуга горит весь полупериод.

Таблица 11.2

Испытательные токи плавких вставок

Номинальный ток вставки, А	Длительность прохождения испытательного тока, ч	Кратность испытательного тока по отношению к номинальному	
		Нижнее значение	Верхнее значение
6, 10	1	1,5	2,1
15, 20, 25	1	1,4	1,75
35 ÷ 350	1	1,3	1,6
430 ÷ 1000	2	1,3	1,6

б) Предохранители с мелкозернистым наполнителем. Эти предохранители более совершенны, чем предохранители ПР-2. Корпус квадратного сечения 1 предохранителя типа ПН-2 (рис. 11.3) изготавливается из прочного фарфора или стеатита. Внутри корпуса расположены ленточные плавкие вставки 2 и наполнитель – кварцевый песок 3. Плавкие вставки привариваются к диску 4, который крепится к пластинам 5, связанным с ножевыми контактами 9. Пластины 5 крепятся к корпусу винтами.

В качестве наполнителя используется кварцевый песок с содержанием SiO_2 не менее 98%, с зернами размером $(0,2 \div ,4) \cdot 10^{-3}$ м и влажностью не выше 3%. Перед засыпкой песок тщательно просушивается при температуре $120 \div 180$ °С. Зерна кварцевого песка имеют высокую теплопроводность и хорошо развитую охлаждающую поверхность.

Плавкая вставка выполняется из медной ленты толщиной $0,1 \div 0,2$ мм. Для получения токоограничения вставка имеет сужен-

ные сечения 8. Плавкая вставка разделена на три параллельных ветви для более полного использования наполнителя. Применение тонкой ленты, эффективный теплоотвод от суженных участков позволяют выбрать небольшое минимальное сечение вставки для данного номинального тока, что обеспечивает высокую токоограничивающую способность. Соединение нескольких суженных участков последовательно способствует замедлению роста тока после плавления вставки, так как возрастает напряжение на дуге предохранителя. Для снижения температуры плавления на вставки наносятся оловянные полоски 7 (металлургический эффект).

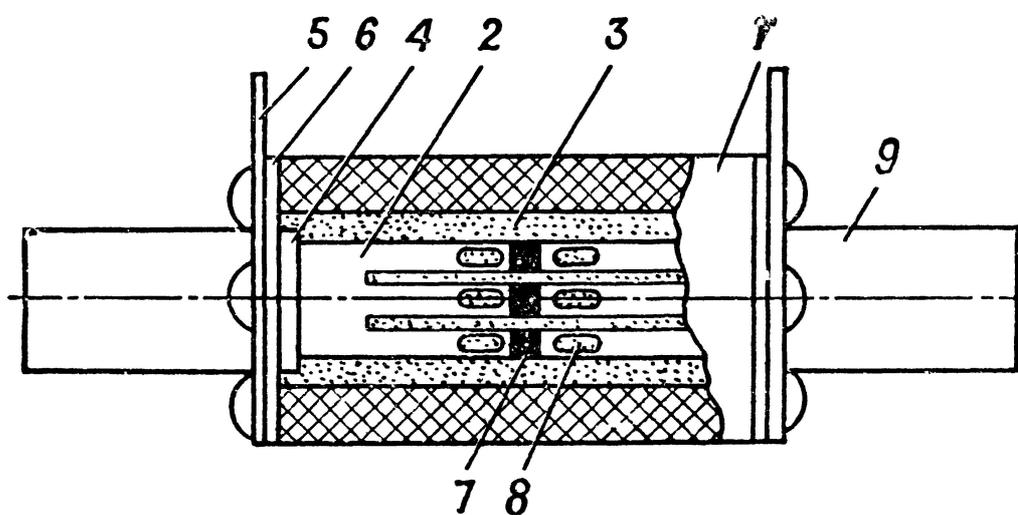


Рис. 11.3. Предохранитель типа ПН-2

При КЗ плавкая вставка сгорает и дуга горит в канале, образованном зернами наполнителя. Из-за горения в узкой щели при токах выше 100 А дуга имеет возрастающую вольт-амперную характеристику. Градиент напряжения на дуге очень высок и достигает $(2 \div 6) \cdot 10^4$ В/м. Этим обеспечивается гашение дуги за несколько миллисекунд.

После срабатывания предохранителя плавкие вставки вместе с диском 4 заменяются, после чего патрон засыпается песком. Для герметизации патрона под пластины 5 кладется асбестовая прокладка 6, что предохраняет песок от увлажнения. При номинальном токе 40 А и ниже предохранитель имеет более простую конструкцию.

Предохранители ПН-2 выпускаются на номинальный ток до 630 А. Предельный отключаемый ток КЗ, который может отключаться предохранителем, достигает 50 кА (действующее значение тока металлического КЗ сети, в которой устанавливается предохранитель).

Малые габариты, незначительная затрата дефицитных материалов, высокая токоограничивающая способность являются достоинствами этого предохранителя.

В малогабаритных распределительных устройствах применяются резьбовые предохранители типа ПРС (рис. 11.4). Один конец цепи подводится к контакту 1, который связан с контактной гильзой 2, соединенной резьбой с контактом съемной головки 3. Плавкая вставка 4 располагается в фарфоровом цилиндре 5, заполненном кварцевым песком. На торцах цилиндра 5 укреплены контактные колпачки, с которыми соединена плавкая вставка 4. Второй конец цепи через контакт 7 соединяется с контактным винтом 8. Предохранитель имеет указатель срабатывания. При сгорании плавкой вставки освобождается специальная пружина, которая выбрасывает глазок в застекленное отверстие 6. После срабатывания предохранителя заменяется цилиндр 5 со сгоревшей плавкой вставкой и сигнализирующим устройством.

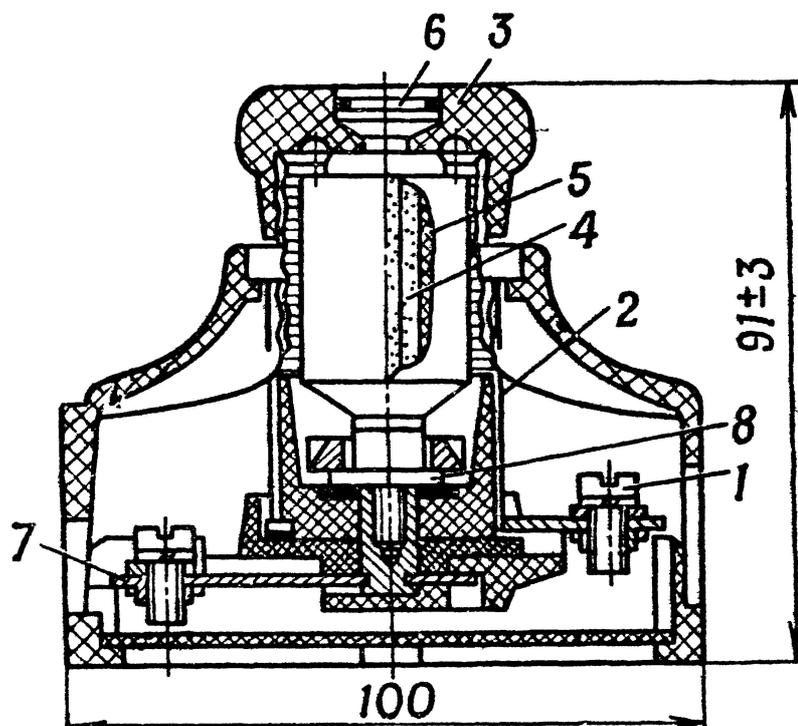


Рис. 11.4. Предохранитель типа ПРС

Предохранители этого типа выпускаются на токи до 100 А, напряжение до 440 В постоянного тока и до 500 В переменного тока частотой 50 Гц. Предельно отключаемый ток составляет 60 кА.

Эти предохранители более сложны в производстве и более дороги, чем предохранители ПН-2. Поэтому их применение целесообразно при малых габаритах распределительного устройства и ограниченном времени обслуживания (после сгорания плавкой вставки).

в) Предохранители с жидкометаллический контактом. В таком предохранителе (рис. 11.5) электроизоляционная трубка 1 имеет капилляр, заполненный жидким металлом 2. Капилляр с жидким металлом герметично закрыт электродами 3, 4 и корпусом 5 с уплотнением 6 и имеет специальное демпфирующее устройство 7, 8. При протекании большого тока жидкий металл в нем испаряется, образуется паровая пробка и электрическая цепь размыкается. После определенного времени пары металла конденсируются и контакт восстанавливается. Предельный отключаемый ток таких предохранителей достигает 250 кА при напряжении 450 В переменного тока. Предохранители работают многократно с большим токоограничением.

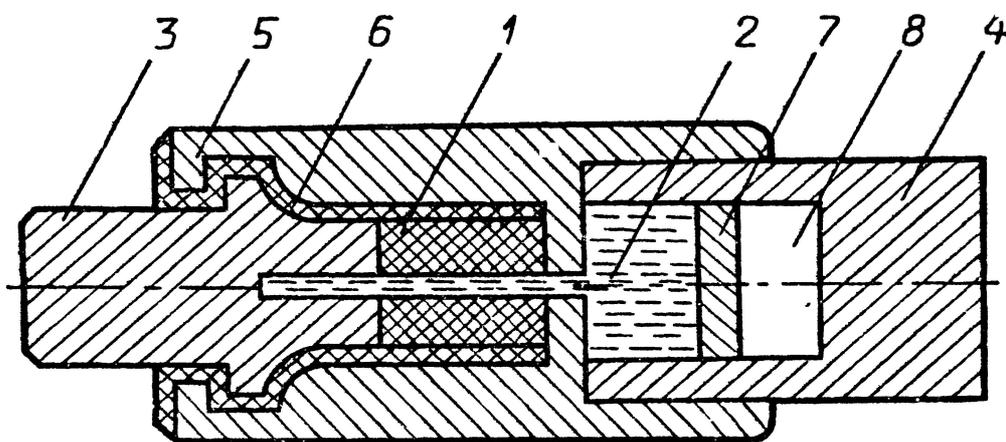


Рис. 11.5. Жидкометаллический предохранитель

г) Быстродействующие предохранители для защиты полупроводниковых приборов. Малая тепловая инерция, быстрый прогрев полупроводникового перехода крайне затрудняют защиту мощных диодов, тиристоров и транзисторов при токовых перегрузках. Обычные типы предохранителей и автоматических выключателей из-за относи-

тельно большого времени срабатывания не обеспечивают защиту полупроводниковых приборов при КЗ. Для выполнения этой задачи разработаны специальные быстродействующие предохранители.

При времени протекания тока $t < 0,02$ сек. можно считать, что процесс нагрева прибора протекает по адиабатическому закону. Для удобства согласования характеристик прибора и предохранителя вводится понятие интеграла Джоуля:

$$G = \int_t^0 t^2 dt,$$

где t – длительность протекания тока через прибор.

Для эффективной защиты необходимо, чтобы полный джоулев интеграл предохранителя был меньше джоулева интеграла защищаемого прибора. Джоулев интеграл предохранителя состоит из джоулева интеграла нагрева до температуры плавления вставки $S_{пл}$ и джоулева интеграла гашения образовавшейся дуги $S_{гаш.}$. С целью сокращения первой составляющей предохранитель должен работать с большим токоограничением. Для достижения этой цели плавкая вставка выполняется из серебра, имеет перешеек с минимальным сечением и охлаждается кварцевым наполнителем.

С целью улучшения охлаждения при больших номинальных токах плавкая вставка выполняется из ленты толщиной $0,05 \div 0,2$ мм. При больших токах вставка имеет несколько параллельных ветвей. Помогает также заполнение кварцевым песком под большим давлением. В некоторых случаях для дальнейшего уменьшения перешейка предохранитель имеет искусственное водяное охлаждение.

Для уменьшения времени горения дуги плавкая вставка имеет большое число перешейков. После плавления вставки образуется ряд последовательно включенных дуг, благодаря чему вольт-амперная характеристика предохранителя поднимается. Число перешейков ограничивается перенапряжением, которое возникает при отключении цепи.

При постоянном токе гашение дуги осложняется тем, что ток не проходит через нуль и вся электромагнитная энергия отключаемой

цепи рассеивается в предохранителе. Решающим фактором при постоянном токе является постоянная времени цепи $T = L/R$. С увеличением постоянной времени T условия работы предохранителя утяжеляются. Необходимо выбирать предохранитель на более высокое номинальное напряжение, чем при переменном токе.

Конструктивно быстродействующий предохранитель представляет собой корпус из прочного фарфора, внутри которого расположены плавкие вставки и кварцевый песок. Контакты крепятся к корпусу винтами и могут иметь различное исполнение.

В современных преобразовательных установках каждый полупроводниковый прибор имеет предохранитель. Токи, протекающие через предохранитель, могут достигать $100 \div 200$ кА. При разрушении предохранителя может произойти авария преобразовательной установки. В связи с этим быстродействующие предохранители должны иметь большую механическую прочность и обладать высокой надежностью.

Выпускается серия быстродействующих предохранителей ПП-57 на номинальные токи $40 \div 800$ А и готовится к выпуску серия ПП-59 на номинальные токи $250 \div 2000$ А. Номинальные напряжения составляют до 1250 В переменного и до 1050 В постоянного тока.

Быстродействующие предохранители предназначены только для защиты от КЗ. Защита от перегрузок должна выполняться другими аппаратами.

ВЫБОР ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ

а) Выбор по условиям длительной эксплуатации и пуска. В процессе длительной эксплуатации температура нагрева предохранителя не должна превосходить допустимых значений. В этом случае обеспечивается стабильность времятоковых характеристик предохранителя. Для выполнения этого требования необходимо, чтобы патрон и плавкая вставка выбирались на номинальный ток, равный или не-

сколько больший номинального тока защищаемой установки.

Предохранитель не должен отключать установку при перегрузках, которые являются эксплуатационными. Так, пусковой ток асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором может достигать $7I_{\text{НОМ}}$. По мере разгона пусковой ток падает до значения, равного номинальному току двигателя. Длительность пуска зависит от характера нагрузки. Например, для привода металлорежущих станков с относительно небольшой инерцией механизма время разгона двигателя составляет 1 сек. Процесс разгона центрифуги происходит значительно медленней из-за большой инерции механизма, и длительность пуска может достигать 10 сек. и более. Предохранитель должен не перегорать при воздействии пусковых токов, а в плавких вставках не должно происходить старения под действием этих токов. Экспериментально установлено, что старение плавкой вставки не происходит при токах, равных половине тока плавления. Согласно рис. 11.6 вставка предохранителя ПН-2 при времени 1 сек. плавится при токе, равном $5 I_{\text{НОМ}}$. Вследствие производственных допусков времятоковая характеристика имеет разброс (штриховые кривые). Если пуск длится 1 сек., то среднее значение пускового тока за этот период должно быть не более 0,5 тока плавления вставки за это же время. Таким образом, пусковой ток $I_{\text{П}}$ связан с током вставки соотношением $I_{\text{П}} = 0,5 I_{\text{ПТ}} = 0,5 \div 5 I_{\text{В.НОМ}}$, и, следовательно, $I_{\text{В.НОМ}} = 0,4 I_{\text{П}}$, т.е. номинальный ток вставки выбирается по пусковому току нагрузки.

Для тяжелых условий пуска, когда двигатель медленно разворачивается (привод центрифуги), или в повторно кратковременном режиме, когда пуски происходят с большой частотой, вставки выбирают с еще большим запасом:

$$I_{\text{В.НОМ}} = (0,5 \div 0,6) I_{\text{П}}$$

Если предохранитель стоит в линии, питающей несколько двигателей, плавкую вставку рекомендуется выбирать по формуле

$$I_{\text{В.НОМ}} = 0,4 \left[I_{\text{Р}} + (I_{\text{П}} - I_{\text{НОМ.ДВ}}) \right]$$

где $I_{\text{Р}}$ – расчетный номинальный ток линии, равный $\sum I_{\text{НОМ.ДВ}}$. Раз-

ность $I_{\Pi} - I_{\text{НОМ.ДВ}}$ берется для того двигателя, у которого она наибольшая.

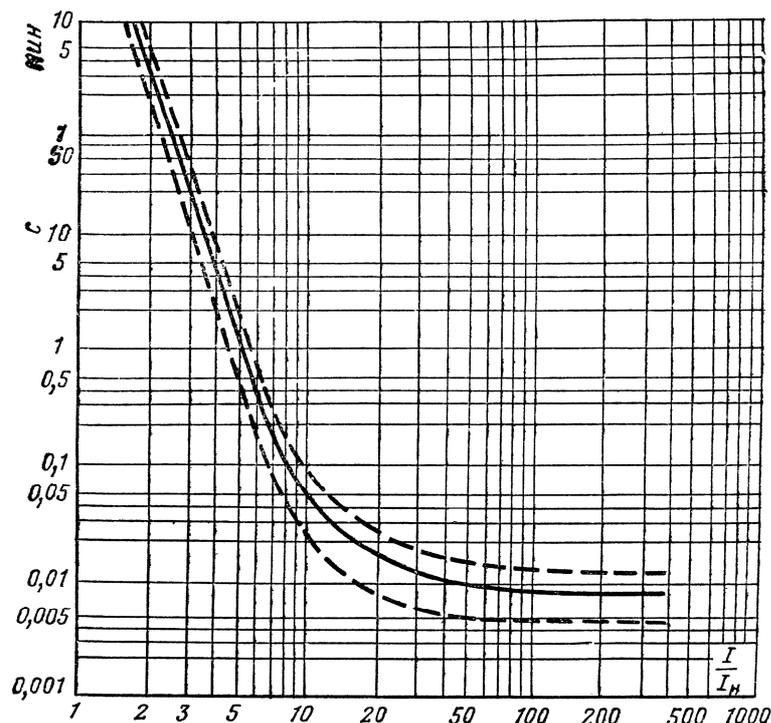


Рис. 11.6. Времятоковая характеристика предохранителя ПН-2

Для двигателя с фазным ротором, если $I_{\Pi} \leq 2I_{\text{НОМ.ДВ}}$, плавкую вставку можно выбирать по условию

$$I_{\text{В.НОМ}} \geq (1 \div 1,25)I_{\text{НОМ.ДВ}}.$$

Для двигателей, работающих в повторно-кратковременном режиме, за номинальный принимается ток в режиме ПВ = 25%.

Наряду с проверкой вставки по условиям пуска или кратковременной перегрузки необходимо проводить проверку по условиям КЗ.

При $\frac{I_{\text{К}}}{I_{\text{В.НОМ}}} \geq 10 \div 15$ время перегорания вставки не превышает 0,15 ÷ 0,2 сек., и на этом времени мало сказывается разброс характеристик вставок. При таком времени сваривание контактов контактора или магнитного пускателя маловероятно. Однако это требование часто не удается соблюсти, так как кратность $I_{\text{К}}/I_{\text{В.НОМ}}$ определяется мощностью питающего трансформатора и сопротивлением токопроводящих проводов и кабелей. Допускается применение предохранителей при кратностях $\frac{I_{\text{К}}}{I_{\text{В.НОМ}}} \geq 3 \div 4$. При такой кратности время от-

ключения может достигать 15 сек., что создает опасность для обслуживающего персонала, так как при этой кратности напряжение прикосновения может оказаться опасно большим. При такой низкой кратности $I_K/I_{B,НОМ}$ нагрев провода при небольших перегрузках ($1,6 \div 2$) может быть очень большим и может приводить к выгоранию изоляции. Поэтому установка плавких вставок с большим запасом может допускаться только в крайних случаях, когда выгорание изоляции проводников не грозит пожаром (провода уложены в стальных трубах и имеют огнестойкую изоляцию).

В заключение следует указать, что номинальное напряжение предохранителя $U_{НОМ.пр}$ должно быть равно номинальному напряжению сети $U_{НОМ.с}$.

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ ПРЕДОХРАНИТЕЛИ

а) Назначение, предъявляемые требования. При напряжении выше 3 кВ и частоте 50 Гц применяются высоковольтные предохранители. Процесс нагрева плавкой вставки в высоковольтных предохранителях протекает так же, как и в предохранителях низкого напряжения.

В отношении времени плавления к высоковольтным предохранителям предъявляется следующее общее требование: длительность плавления вставки должна быть менее 2 ч. при токе перегрузки, равном $2 I_{НОМ}$, и более 1 ч. при токе перегрузки, равном $1,3 I_{НОМ}$.

Высоковольтные предохранители часто применяются для защиты трансформаторов напряжения от КЗ. Ток, текущий через предохранитель в номинальном режиме, не превышает доли ампера. В таких предохранителях время плавления вставки равно 1 мин. при токе $1,25 \div 2,5 A$.

В связи с высоким значением восстанавливающегося напряжения процесс гашения дуги усложняется. В связи с этим изменяются габаритные размеры и конструкция высоковольтных предохранителей. Наибольшее распространение получили предохранители с мелкозер-

нистым наполнителем и стреляющего типа.

б) Предохранители с мелкозернистым наполнителем. Размер зерен и материал такие же, как и в низковольтных предохранителях. Длина плавкой вставки, м, таких предохранителей может быть определена по эмпирической формуле

$$l = 0,16 + 0,07U_{\text{НОМ}},$$

где $U_{\text{НОМ}}$ – номинальное напряжение предохранителя, кВ.

Для эффективного гашения дуги плавкая вставка берется малого диаметра.

Предохранители типа ПК на напряжение 6 ÷ 10 кВ (рис. 11.7, а) содержат фарфоровый цилиндр 1, армированный по торцам латунными колпаками 2. Наполнитель 7 в виде песка засыпается через отверстие в колпаке, которое после засыпки запаивается крышкой 3. В предохранителях на ток до 7,5 А медная плавкая вставка 5 наматывается на керамический рифленый каркас. Это позволяет увеличить длину плавкой вставки и эффект токоограничения, а следовательно, повысить отключаемый ток. Однако при перегрузках, меньших $3R_{\text{и}}$, Ом, возможно образование токопроводящего канала из материала каркаса и расплавившейся вставки. В результате наступает тепловое разрушение предохранителя. Поэтому предохранители с каркасом следует применять только для защиты от КЗ.

При номинальных токах, превышающих 7,5 А, плавкая вставка выполняется в виде параллельных спиралей (рис. 11.7, б). Применение параллельных вставок позволяет увеличить номинальный ток до 100 А при $U_{\text{НОМ}}=3$ кВ. При напряжении 10 кВ номинальный ток предохранителя равен 50 А. При токе 200 А приходится устанавливать четыре параллельных предохранителя. Применение параллельных вставок позволяет изготавливать их из медной или серебряной проволоки малого диаметра и сохранять эффект узкой щели в процессе дугогашения. Для снижения температуры предохранителя при небольших длительных перегрузках плавкие вставки имеют оловянные шарики 6.

Предохранитель имеет указатель срабатывания 9. На указатель 9

действует пружина, которая удерживается во втянутом состоянии специальной плавкой вставкой 8. Эта вставка перегорает после перегорания основных вставок 5. При этом указатель освобождается и выбрасывается в положение 9 с силой, определяемой пружиной. Этот указатель можно использовать для автоматического отключения выключателя нагрузки после отключения КЗ предохранителем. Указатель 9 может быть использован также в предохранителях с автоматическим повторным включением. В этом случае срабатывание указателя в первом предохранителе ведет к параллельному подключению к нему другого предохранителя с исправной плавкой вставкой.

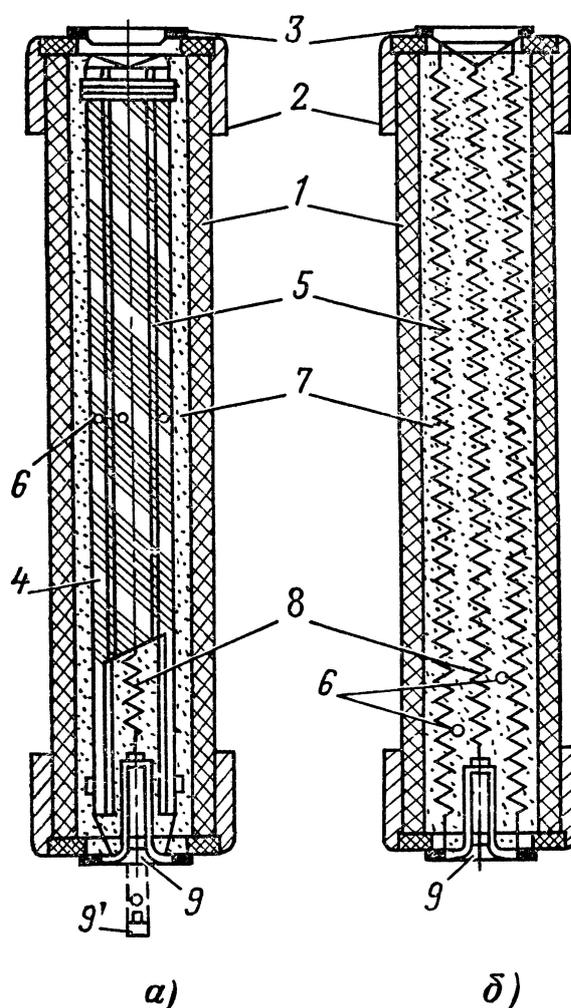


Рис. 11.7. Предохранитель типа ПК

При КЗ плавкая вставка испаряется по всей длине и в цепь вводится длинная дуга, горящая в узкой щели и имеющая высокое сопротивление, особенно в начальной стадии, когда пары металла недо-

статочны ионизированы. Все это приводит к возникновению больших перенапряжений – до $4,5 U_{\text{ном}}$ на контактах предохранителя. Для ограничения перенапряжений применяются вставки переменного сечения. Вначале сгорает участок меньшего сечения, а затем – большего. В результате длина дуги растет медленнее.

Предохранители с мелкозернистым наполнителем обладают токоограничением, особенно при больших токах КЗ. В длительном режиме интенсивное охлаждение тонких плавких вставок позволяет выполнять их с минимальным сечением и снизить ток плавления. С ростом номинального тока эффект токоограничения падает. Номинальный ток отключения предохранителей достигает 20 кА при напряжении до 10 кВ. Предохранители серии ПКТН на напряжение до 35 кВ имеют внутри керамический каркас с тонкой плавкой вставкой. Так как номинальный ток вставок менее 1 А, то их сечение мало и токоограничивающий эффект особенно велик. Плавкая вставка выполняется из константановой проволоки с четырехступенчатым сечением для ограничения перенапряжений. Плавление вставки происходит последовательно по ступеням. Предохранитель обеспечивает защиту высоковольтных шин от повреждения трансформатора напряжения при любой мощности источника питания (ток ограничивается предохранителем).

Предохранители серий ПК и ПКТН работают бесшумно, без выброса пламени и раскаленных газов.

Для нормальной работы предохранителей большое значение имеет герметизация. При проникновении влаги в предохранитель он теряет свойство дугогашения. Поэтому места пайки и цементирующая замазка, крепящая колпачки, окрашиваются специальной влагозащитной эмалью. Перезарядка предохранителя в эксплуатации не допускается.

Как правило, установки напряжением 35 кВ и выше работают на открытом воздухе и подвержены воздействию атмосферы. В этих условиях трудно обеспечить надежную работу предохранителя ПК из-за увлажнения наполнителя.

Перспективы дальнейшего развития предохранителей на напряжение выше 35 кВ осложняются технологическими трудностями из-

готовления и ростом их габаритов.

в) Стреляющие предохранители. Для работы на открытом воздухе при напряжении 10 и 35 кВ и отключаемом токе до 15 кА применяются так называемые стреляющие предохранители типов ПСН-10 и ПСН-35. На рис. 11.8 показан патрон предохранителя ПСН-35. В корпусе 1 установлены две винипластовые трубки 2 и 3, соединенные стальным патрубком 4. Плавкая вставка 5 присоединяется к токоведущему стержню 6 и гибкому проводнику 7, соединенному с наконечником 8. Патрон, установленный на изоляторах, показан на рис. 11.9. Изоляторы 1 крепятся к стальному цоколю 2. Цепь присоединяется к выводам 3 и 4. Вращающийся контакт 5 действует на наконечник 8 (см. рис. 11.8) и с помощью своей пружины стремится вытащить гибкий проводник 7 из трубки 3. При перегорании плавкой вставки образуется дуга, которая, соприкасаясь со стенками трубки, разлагает их, и образующийся газ поднимает давление в трубке. При вытягивании наконечника из трубки длина дуги увеличивается, давление возрастает. При больших токах мембрана 9 в патрубке 4 разрывается и дуга гасится поперечным дутьем. Если ток невелик, то дуга гасится продольным потоком газа, который вырывается из трубки после выброса гибкого контакта 7 из трубки. Длительность горения падает при увеличении тока. При больших токах дуга гаснет за 0,04 сек. При малых токах (800 ÷ 1000 А) время горения возрастает до 0,3 сек.

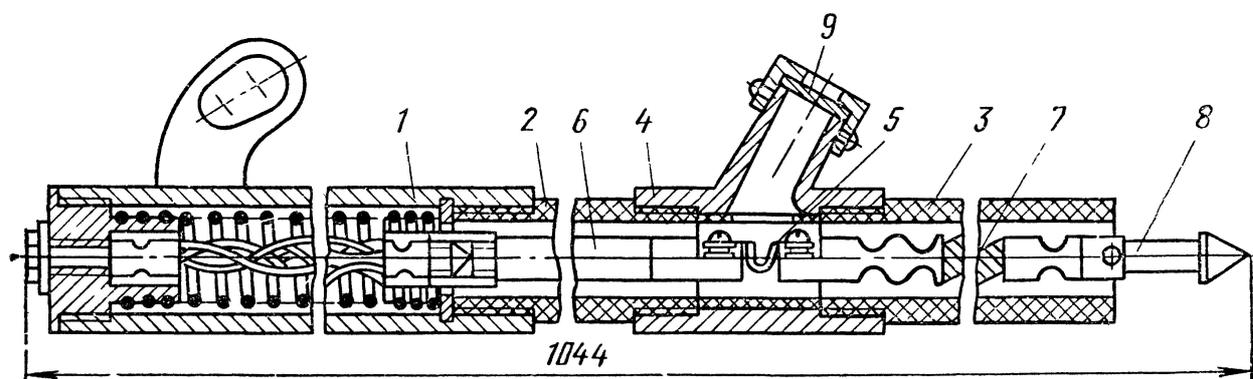


Рис. 11.8. Патрон стреляющего предохранителя типа ПСН-35

Процесс отключения сопровождается сильным выбросом пламе-

ни, газов и стреляющим звуковым эффектом. Поэтому стреляющие предохранители соседних фаз должны быть на значительном удалении друг от друга.

В процессе гашения дуга сначала имеет небольшую длину, а затем длина ее увеличивается по мере выброса гибкого проводника. Это ограничивает скорость роста сопротивления дугового промежутка и устраняет перенапряжения.

г) Выбор предохранителей. При определении номинального тока вставки необходимо исходить из условия максимальной длительной перегрузки.

Очень часто обмотка высшего напряжения трансформатора присоединяется через предохранитель. При подаче напряжения на трансформатор возникают пики намагничивающего тока, среднее значение амплитуды которых достигает $10 I_{НОМ.}$, а длительность прохождения примерно равна 0,1 сек. Выбранный по номинальному току предохранитель должен быть проверен на прохождение в течение 0,1 сек. начального намагничивающего тока.

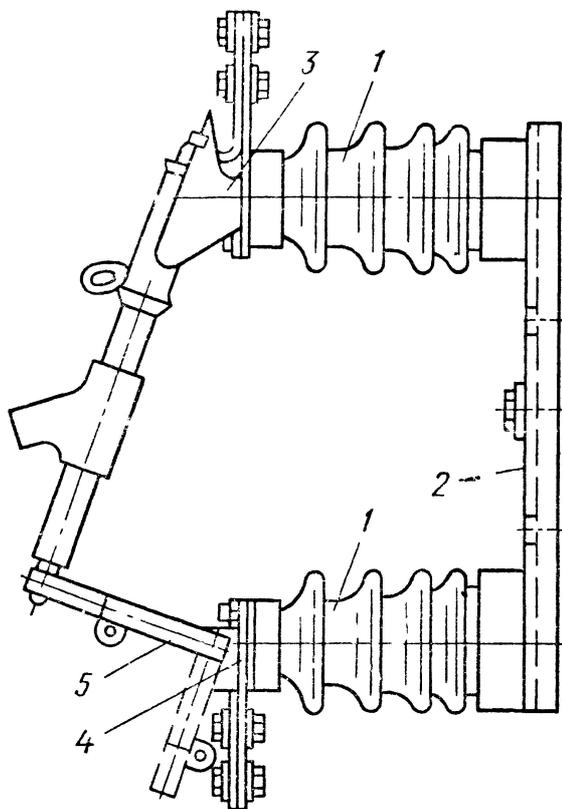


Рис. 11.9. Предохранитель типа ПСН-35

В заключение необходимо проверить селективность работы предохранителя с выключателями, установленными на стороне высокого и низкого напряжения.

При КЗ в самом трансформаторе время отключения предохранителя должно быть меньше, чем выдержка времени выключателя, установленного на стороне высокого напряжения и ближайшего к предохранителю. При КЗ на стороне низкого напряжения предохранитель должен иметь время плавления больше, чем уставка защиты выключателей на стороне низкого напряжения. При выборе предохранителя необходимо соблюсти также соотношение

$$U_{\text{НОМ.ПРЕД}} = U_{\text{НОМ.УСТ}}; I_{\text{ОТК.ПРЕД}} \geq I_{\text{К.УСТ}}.$$

Лекция №12

КОНТАКТОРЫ ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА, ПАРАМЕТРЫ, ТРЕБОВАНИЯ. МАГНИТНЫЕ ПУСКАТЕЛИ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Контактор – это одноступенчатый аппарат, предназначенный для частых дистанционных включений и отключений электрических силовых цепей. Замыкание контактов контактора может осуществляться электромагнитным или гидравлическим приводом. Наибольшее распространение получили электромагнитные контакторы.

В настоящее время частота коммутаций в схемах электропривода достигает 3600 в час. Этот режим работы является наиболее тяжелым. При каждом включении и отключении происходит износ контактов. Поэтому принимаются меры к сокращению длительности горения дуги при отключении и к устранению вибраций контактов.

Общие технические требования к контакторам и условия их работы регламентированы ГОСТ 11206–77.

Основными техническими данными контакторов являются номинальный ток главных контактов, предельный отключаемый ток, но-

минальное напряжение коммутируемой цепи, механическая и коммутационная износостойкость, допустимое число включений в час, собственное время включения и отключения. Способность контактора, как и любого коммутационного аппарата, обеспечить работу при большом числе операций характеризуется износостойкостью. Различают механическую и коммутационную износостойкость. Механическая износостойкость определяется числом циклов включения-отключения контактора без ремонта и замены его узлов и деталей. Ток в цепи при этом равен нулю. Механическая износостойкость современных контакторов составляет $(10 \div 20) \cdot 10^6$ операций.

Коммутационная износостойкость определяется таким числом включений и отключений цепи с током, после которого требуется замена контактов. Современные контакторы должны иметь коммутационную износостойкость порядка $(2 \div 3) \cdot 10^6$ операций (некоторые выпускаемые в настоящее время контакторы имеют коммутационную износостойкость 10^6 операций и менее).

Собственное время включения состоит из времени нарастания потока в электромагните контактора до значения потока трогания и времени движения якоря. Большая часть этого времени тратится на нарастание магнитного потока. Для контакторов постоянного тока с номинальным током 100 А собственное время включения составляет 0,14 сек., для контакторов с током 630 А оно увеличивается до 0,37 сек.

Собственное время отключения – время с момента обесточивания электромагнита контактора до момента размыкания его контактов. Оно определяется временем спада потока от установившегося значения до потока отпускания. Временем с начала движения якоря до момента размыкания контактов можно пренебречь. В контакторах постоянного тока с номинальным током 100 А собственное время отключения составляет 0,07, в контакторах с номинальным током 630 А – 0,23 сек.

Номинальный ток контактора $I_{\text{НОМ}}$ представляет собой ток, который можно пропускать по замкнутым главным контактам в течение 8 ч. без коммутаций, причем превышение температуры различных частей контактора не должно быть больше допустимого (прерывисто-продолжительный режим работы). Номинальный рабочий ток кон-

тактора $I_{\text{НОМ.Р}}$ – это допустимый ток через его замкнутые главные контакты в конкретных условиях применения. Так, например, номинальный рабочий ток $I_{\text{НОМ.Р}}$ контактора для коммутации асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором выбирается из условий включения шестикратного пускового тока двигателя.

Номинальным напряжением называется наибольшее напряжение коммутируемой цепи, для работы при котором предназначен контактор. Вспомогательные контакты должны коммутировать цепи электромагнитов переменного тока, у которых пусковой ток может во много раз превышать установившийся.

Контактор имеет следующие основные узлы: контактную систему, дугогасительное устройство, электромагнит и систему вспомогательных контактов. При подаче напряжения на обмотку электромагнита контактора его якорь притягивается. Подвижный контакт, связанный с якорем электромагнита, замыкает или размыкает главную цепь. Дугогасительное устройство обеспечивает быстрое гашение дуги, благодаря чему достигается малый износ контактов. Система вспомогательных слаботочных контактов служит для согласования работы контактора с другими устройствами.

Контакторы постоянного тока коммутируют цепь постоянного тока и имеют, как правило, электромагнит также постоянного тока.

Контакторы переменного тока коммутируют цепь переменного тока. Электромагнит этих контакторов может быть выполнен либо для работы на переменном токе, либо для работы на постоянном токе. Способность аппарата обеспечивать работу при большом числе операций характеризуется износоустойчивостью. Различают механическую и электрическую износоустойчивость.

Механическая износоустойчивость определяется числом включений-отключений контактора без ремонта и замены его узлов и деталей. Ток в цепи при этом равен нулю. К современным контакторам предъявляется очень высокое требование по механической износоустойчивости: $(10 \div 20) \cdot 10^6$ операций.

Электрическая износоустойчивость определяется числом включений и отключений, после которого требуется замена износившихся

контактов. Современные контакторы должны иметь электрическую износоустойчивость порядка 2-3 млн операций. Эти требования очень высоки (часть выпускаемых в настоящее время контакторов имеет электрическую износоустойчивость 10^6 операций и менее). Наряду с высокой механической и электрической износоустойчивостью контакторы должны иметь малый вес и размеры. Зона выхлопа раскаленных газов дуги должна быть возможно малой, что позволяет сократить размеры всей установки в целом.

Контактор имеет следующие основные узлы: контактную систему, дугогасительную систему, электромагнитный механизм, систему блок-контактов.

При подаче напряжения на катушку электромагнита притягивается якорь. Подвижный контакт, связанный с якорем, производит замыкание или размыкание главной цепи. Дугогасительная система обеспечивает быстрое гашение дуги, благодаря чему достигается малый износ контактов. Кроме главных контактов, контактор имеет несколько дополнительных слаботочных контактов (блок-контактов) для согласования работы контактора с другими аппаратами.

УСТРОЙСТВО КОНТАКТОРА С УПРАВЛЕНИЕМ ОТ СЕТИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

а) Контактная система. Контакты аппарата подвержены наиболее сильному электрическому и механическому износу ввиду большого числа операций в час и тяжелых условий работы. С целью уменьшения износа преимущественное распространение получили линейные перекачиваемые контакты. В процессе работы контакты большого числа аппаратов разрывают цепь с током, большим, чем минимальный ток дугообразования. Возникающая электрическая дуга способствует быстрому износу контактов.

Для надежного гашения дуги, образующейся при отключении, между неподвижным и подвижным контактами необходимо создавать определенное расстояние. В реальных аппаратах это расстояние выбирается с запасом.

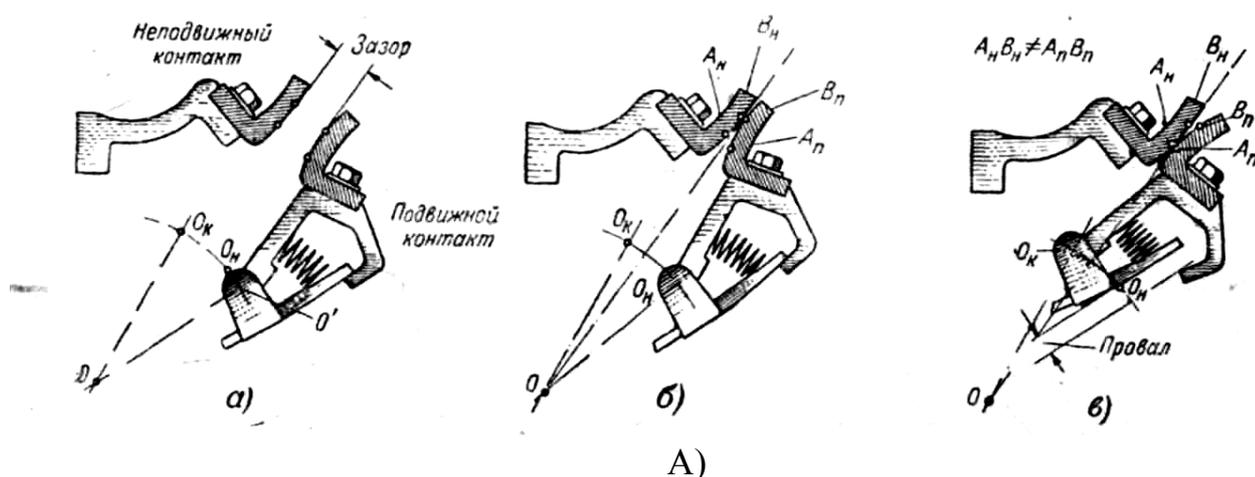
Расстояние между неподвижным и подвижным контактами в полностью отключенном положении аппарата называется *раствором контактов*. В зависимости от конструкции крепления контактов меняется число контактных точек соприкосновения и стабильность контакта.

Контакт, имеющий возможность свободно устанавливаться на поверхности, имеет максимальное число точек касания. Такой контакт называется самоустанавливающимся. Пример такого контакта дан на рис. 12.1, *Б*. Неподвижные контакты 1 и подвижный мостиковый контакт 2 в месте касания имеют сферические (или цилиндрические) напайки 3, выполненные из серебра или металлокерамики. Нажатие контактов создается пружиной 4. После касания контактов скоба 5, связанная с якорем электромагнита, продолжает свое движение вверх на величину, равную вжиму (провалу) контакта 2.

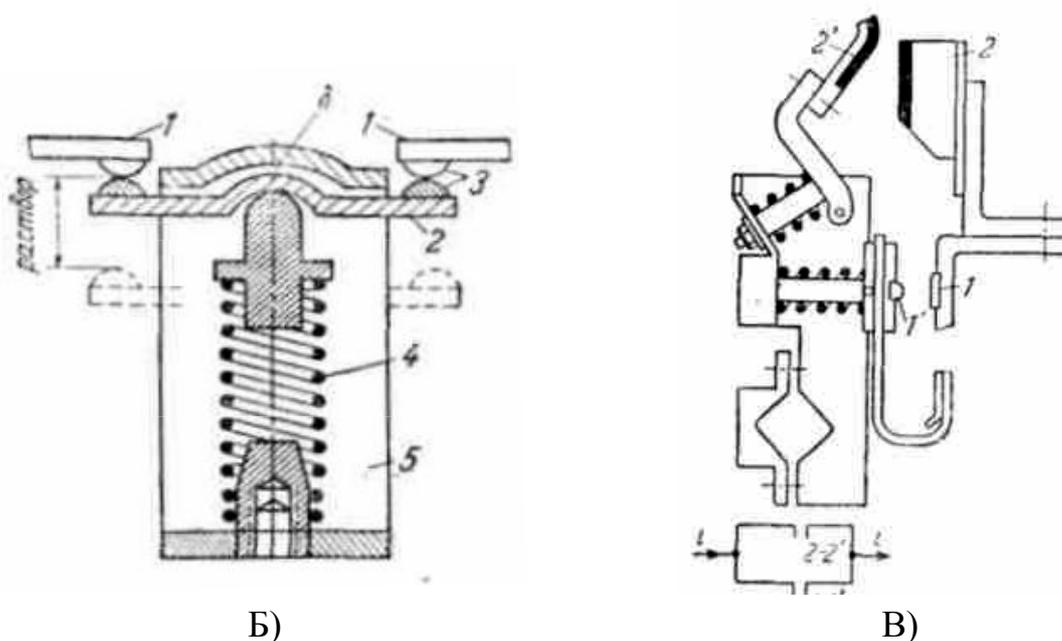
Применительно к рис. 12.1, *Б* провалом (вжимом) контакта называется расстояние, на которое переместится подвижный контакт, если убрать неподвижный контакт. В контактах рис. 12.1, *Б* пленка окисла не стирается, поэтому медь нельзя использовать в этой конструкции.

На рис. 12.1, *В* показана пальцевая система с перекатыванием, широко применяемая в контакторах с медными контактами. Контактный рычаг 4 связывается с якорем электромагнита. При включении центр O перемещается по дуге с радиусом O_2O_x . Касание пальцев 1 и 2 происходит в точке B . При дальнейшем перемещении точка касания переходит в A . Перекатывание контакта 2 по контакту 1 происходит с небольшим проскальзыванием. При этом пленка окисла на контактах стирается. При включении контактов из-за шероховатости на поверхности касания появляется дополнительная вибрация контактов, поэтому величина проскальзывания должна быть небольшой. При отключении дуга загорается между точками $B-B$, что спасает от оплавления точки $A-A$, в которых контакты касаются во включенном положении. Таким образом, удастся разделить контакт на две части: в одной происходит гашение дуги, в другой ток проводится длительно. Поскольку для контактов непосредственный контроль провала кон-

тактов A затруднен, о величине провала судят по зазору, образуящемуся между рычагом и контактной скобой. Во всех без исключения аппаратах имеется вжим (провал) контактов, который обеспечивает необходимое нажатие контактов. Вследствие обгорания и износа контактов в процессе эксплуатации вжим уменьшается, что приводит к уменьшению силы нажатия и росту переходного сопротивления контактов. Поэтому в эксплуатации вжим контактов должен обязательно контролироваться и находиться в пределах, требуемых заводом-изготовителем. Особенно это относится к аппаратам, работающим в режиме частых включений и отключений (контакторы), где износ контактов особенно интенсивен. В торцевом мостиковом контакте вжим обычно составляет $3 \div 5$ мм. В мощных выключателях высокого напряжения он увеличивается до $8 \div 10$ мм.



А)



Б)

В)

Рис. 12.1. Конструкции коммутирующих контактов:

A – перекатывающиеся; *B* – мостиковые; *B* – сдвоенные

При больших номинальных токах (более 2 000 А) применяется сдвоенная контактная система (рис. 12.1, *a*). Аппарат имеет главные контакты $I - I'$ и дугогасительные $2 - 2'$.

Тело главных контактов выполняется из меди, а поверхности их соприкосновения – из серебра, нанесенного электролитически (слой 20 мк) или в виде припаянных серебряных пластинок.

Тело дугогасительного контакта выполняется из меди. Наконечники дугогасительных контактов выполняются из дугостойкого материала вольфрама или металлокерамики.

Ввиду того, что сопротивление цепи главных контактов значительно меньше, чем дугогасительных, 75 ÷ 80% длительного тока проходит через главные контакты, имеющие малое переходное сопротивление.

При отключении вначале расходятся главные контакты и весь ток цепи перебрасывается в дугогасительные. Контакты $2 - 2'$ расходятся в тот момент, когда расстояния между главными контактами достаточно, чтобы выдержать наибольшее напряжение, возникающее в процессе гашения дуги на дугогасительных контактах.

При включении таких контактов вначале замыкаются дугогасительные контакты, а затем главные, что обеспечивает отсутствие дуги и оплавление на серебряных поверхностях главных контактов. Ввиду громоздкости это решение применяется только при очень больших токах в автоматах и выключателях высокого напряжения.

Во всех остальных случаях стремятся подобрать соответствующий контактный материал и обойтись одноконтakтной системой.

Для предотвращения вибраций контактов контактная пружина создает предварительное нажатие, равное примерно половине конечной силы нажатия. Большое влияние на вибрацию оказывают жесткость крепления неподвижного контакта и стойкость к вибрациям всего контактора в целом.

Основным параметром контактора является номинальный ток, который определяет *величину (размеры) контактора*. Так, контактор

II величины имеет ток 100 А, *III* – 150 А и т.д.

Номинальным током контактора называется ток прерывисто-продолжительного режима работы. При этом режиме работы контактор находится во включенном состоянии не более 8 ч. По истечении этого промежутка времени аппарат должен быть несколько раз включен и отключен (для зачистки контактов от окиси меди). После этого аппарат снова включается.

Если контактор располагается в шкафу, то номинальный ток понижается примерно на 10% из-за ухудшающихся условий охлаждения.

В продолжительном режиме работы, когда длительность времени непрерывного включения превышает 8 ч., допустимый ток контактора снижается примерно на 20%. В таком режиме из-за окисления медных контактов растет переходное сопротивление, что может привести к увеличению температуры выше допустимого значения.

Согласно рекомендациям завода допустимый ток повторно-кратковременного режима для контактора КПВ-600 определяется по формуле

$$I_{\text{ПК}} = \frac{I_{\text{H}}}{\sqrt{\text{ПВ} + \frac{n}{600} \text{ПВ}}},$$

где $\text{ПВ} = \frac{t_{\text{P}}}{t_{\text{P}} + t_{\text{II}}}$, а n – число включений в час.

Необходимо отметить, что если при отключении в повторно-кратковременном режиме длительно горит дуга (отключается большая индуктивная нагрузка), то температура контактов может резко увеличиться за счет подогрева контактов дугой. В этом случае нагрев контактов в продолжительном режиме работы может быть меньше, чем в повторно-кратковременном режиме.

Как правило, контактная система имеет один полюс.

б) Дугогасительная система. В контакторах постоянного тока наибольшее распространение получили устройства с электромагнитным дутьем. Как указывалось, при взаимодействии магнитного поля с дугой возникает электродинамическая сила, перемещающая дугу с большой скоростью.

Электрическая дуга является газообразным проводником тока. На

этот проводник, так же как на металлический, действует магнитное поле, создавая силу, пропорциональную индукции поля и току в дуге. Магнитное поле, действуя на дугу, увеличивает ее длину и перемещает элементы дуги в пространстве с большой скоростью.

Поперечное перемещение элементов дуги создает интенсивное охлаждение, что приводит к повышению градиента напряжения на столбе дуги.

При движении дуги в среде газа с большой скоростью возникает расслоение дуги на отдельные параллельные волокна. Чем длиннее дуга, тем сильнее происходит расслоение дуги.

С целью создания эффективного охлаждения дуга с помощью магнитного поля втягивается в узкую щель между стенками из дугостойкого материала с высокой теплопроводностью (диаметр дуги больше ширины щели). Из-за увеличения теплоотдачи стенкам щели градиент в столбе дуги при наличии узкой щели значительно выше, чем у дуги, свободно перемещающейся между электродами. Это дает возможность сократить необходимую для гашения длину дуги и время гашения.

Для улучшения охлаждения дуги ее загоняют в щель из дугостойкого материала с высокой теплопроводностью.

На рис. 12.2 изображена зависимость раствора контактов, при котором происходит гашение дуги, от величины тока и напряженности магнитного поля для контактора одного типа. При всех значениях напряженности поля H кривые имеют один и тот же характер: при токе $5 \div 7$ А кривая достигает максимума, после чего с ростом тока необходимый раствор падает и при токе 200 А все кривые сливаются. Такой ход кривых объясняется следующими явлениями. Электродинамическая сила, действующая на единицу длины дуги:

$$F_0 = BI = \mu_0 HI ,$$

где I – ток; B – индукция магнитного поля.

Рассмотрим случай, когда $H = 0$ (кривая I). При малом значении тока в дуге величина электродинамической силы получается столь незна-

чительной, что она не оказывает никакого влияния на процесс гашения. Условия, необходимые для гашения, создаются за счет механического растяжения дуги подвижным контактом. Чем больше величина отключаемого тока, тем большая энергия должна быть рассеяна в дуге. При этом условия гашения дуги наступают при большей ее длине.

При токе более 7 А на дугу действует электродинамическая сила, возникающая как за счет магнитного поля подводящих проводников, так и за счет конфигурации самой дуги (грубо можно представить, что дуга имеет форму части окружности). Эти силы являются решающими для гашения дуги. Чем больше ток в цепи, тем больше электродинамическая сила, растягивающая дугу. В результате при токе 200 А для гашения дуги достаточно иметь раствор контактов около 1,5 мм. Фактически при таком токе, как только контакты разойдутся, возникающие электродинамические силы выталкивают дугу из межконтактного зазора и перемещают со скоростью несколько десятков метров в секунду. При этом длина дуги, при которой она гаснет, достигает 10 мм и более. Наличие внешнего магнитного поля способствует резкому сокращению раствора контактов в области малых токов и незначительно сказывается на процессе гашения при токах 100 А и выше. Оптимальной напряженностью является $H = 55$ А/см. Дальнейшее увеличение напряженности мало влияет на процесс гашения, но требует большей мощности для создания магнитного поля, что связано с увеличением затрат меди на катушку.

Хотя при токах выше 100 А применение магнитного дутья кажется излишним (см. рис. 12.2), во всех контакторах на токи 100 А и выше такая система обязательно применяется. Дело в том, что наличие внешнего магнитного поля способствует быстрому перемещению опорных точек дуги на контактах, перегоняя ее на дугогасительные электроды – рога и тем самым уменьшая оплавление контактов. Для каждого значения тока имеется свое оптимальное значение поля. При напряженности, большей оптимальной, наступает усиленный износ контактов за счет того, что жидкометаллический контактный мостик, образующийся в стадии размыкания контактов, уносится и рас-

пыляется сильным магнитным полем.

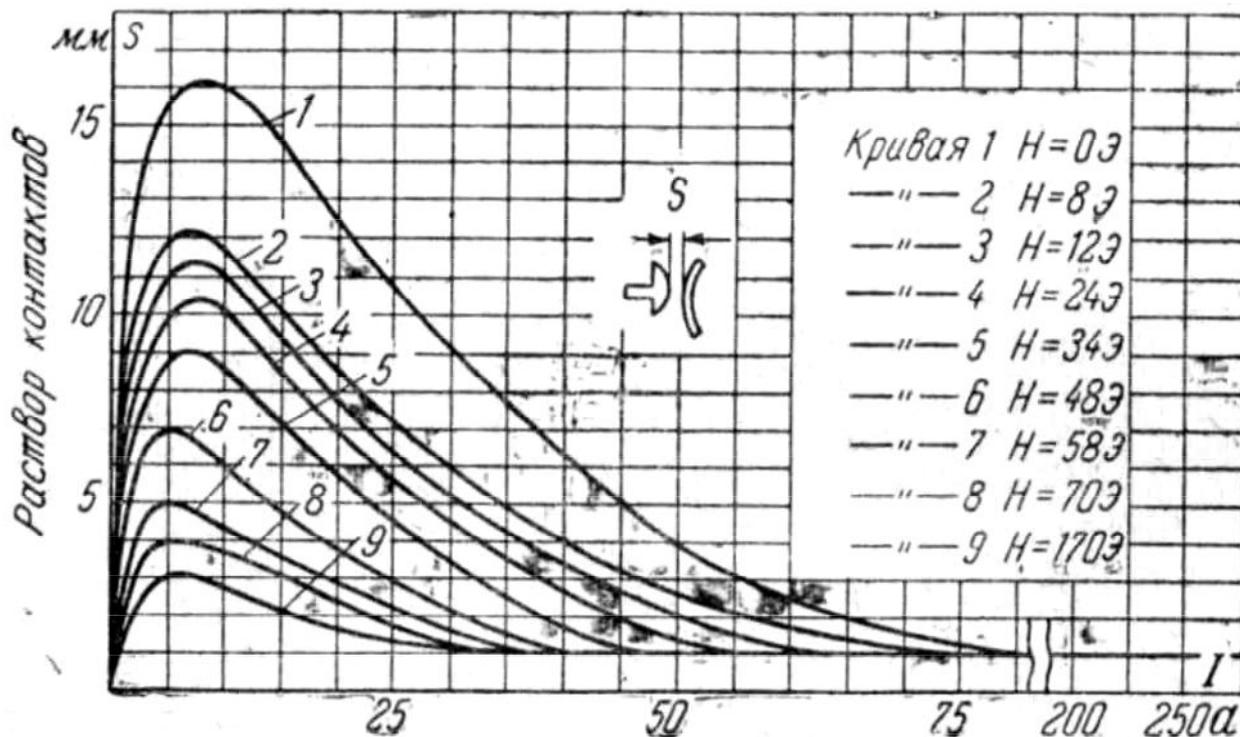


Рис. 12.2. Зависимость раствора контактов от тока дуги

Величина напряжения отключаемой цепи утяжеляет процесс гашения дуги только в области малых токов до 30 А. В области с токами выше 100 А, когда решающую роль играют электродинамические силы, величина питающего напряжения практически не влияет на раствор контактов. Раствор контактов обычно берется $10 \div 17$ мм и определяется условиями гашения малого тока.

Характер нагрузки отключаемой цепи также оказывает влияние только при малых токах в области, где гашение дуги происходит за счет механического растяжения дуги. В области больших токов следует опасаться больших перенапряжений и повторных пробоев из-за резкого снижения тока к нулю при сильном магнитном поле.

В зависимости от способа создания магнитного поля различают системы с последовательным (серийным) включением дугогасительной катушки и с параллельным (шунтовым) включением катушки и системы с постоянным магнитом.

В случае применения серийной катушки она обтекается током,

проходящим в отключаемой цепи. Если пренебречь магнитным сопротивлением стали, то можно считать, что индукция пропорциональна отключаемому току. Тогда выражение для силы, действующей на дугу, можно преобразовать к виду

$$F_1 = k_1 I^2 .$$

Таким образом, сила, действующая на единицу длины дуги, пропорциональна квадрату тока.

Как было показано ранее, наиболее важно иметь необходимую величину магнитного поля для дутья в области малых токов. Серийная система обладает как раз тем недостатком, что в этой области токов не создает необходимой напряженности магнитного поля. В результате гашение дуги получается малоэффективным.

Согласно опытным данным ток, надежно отключаемый контакторами с серийным дутьем, составляет $20 \div 25\%$ номинального тока аппарата.

Для надежного и быстрого гашения дуги в области малых токов применяются контакторы на небольшой ток (блок-контакторы) со сменными дугогасительными катушками. Эти катушки имеют номинальный ток $1,5 \div 40$ А. При малом отключаемом токе катушка имеет большое число витков, благодаря чему создается необходимое магнитное поле для гашения дуги за малое время.

Достоинства системы с серийной катушкой таковы.

1. Система хорошо работает в области токов свыше 100 А. При этих токах магнитное поле быстро сдувает дугу с рабочих поверхностей контактов и обеспечивает малый их износ.

2. Работа системы не зависит от направления тока. При изменении направления тока меняет знак и магнитное поле. Сила, действующая на дугу, не изменяет своего направления.

3. Поскольку через катушку проходит номинальный ток контактора, она выполняется из провода большого сечения. Такая катушка механически прочна и не боится ударов, возникающих при работе контактора. Падение напряжения на катушке составляет доли вольта.

Поэтому к изоляции катушки не предъявляются высокие требования.

Наряду с достоинствами эта система имеет и ряд недостатков:

1. Плохое гашение дуги при малых токах ($5 \div 7$ А).
2. Большая затрата меди на катушку.
3. Подогрев контактов за счет тепла, выделяемого дугогасительной катушкой.

Несмотря на эти недостатки, система с серийной катушкой благодаря высокой надежности при гашении номинальных и больших токов получила преимущественное распространение.

В параллельной (шунтовой) системе катушка, создающая магнитное поле, подключается к независимому источнику питания. Напряженность магнитного поля, создаваемая системой, постоянна и не зависит от отключаемого тока.

Сила, действующая на дугу, пропорциональна отключаемому току.

На рис. 12.3 изображена эта зависимость для случая, когда н.с. серийной обмотки при номинальном токе равна н.с. шунтовой. При токах от 0 до I_H сила, действующая на дугу, при шунтовой катушке получается большей, чем при серийной, – прямая F_2 . Это позволяет резко снизить длительность горения дуги в области малых токов. При токах, больших I_H , сила, действующая на дугу, при серийной катушке больше, чем при шунтовой. Однако для гашения это не имеет существенного значения, так как решающими являются силы, возникающие в самом контуре дуги.

Зависимость времени гашения дуги от тока для шунтовой обмотки приведена на рис. 12.3 (кривая 3).

Поскольку в области малых токов шунтовая катушка действует более эффективно, чем серийная, при одной и той же длительности горения дуги требуется меньшая н.с., что дает экономию. Однако шунтовые катушки имеют и ряд крупных недостатков:

1. Направление электродинамической силы, действующей на дугу, зависит от полярности тока. При изменении направления тока дуга меняет направление своего движения. Контакт не может рабо-

тать при перемене полярности тока.

2. Поскольку к катушке прикладывается напряжение источника питания, изоляция должна быть рассчитана на это напряжение. Катушка выполняется из тонкого провода. При ударах и вибрациях возможны повреждение изоляции провода и выход из строя катушки. Близость дуги к такой катушке делает ее работу ненадежной.

3. При коротких замыканиях возможна посадка напряжения на источнике, питающем катушки. В результате процесс гашения дуги идет неэффективно.

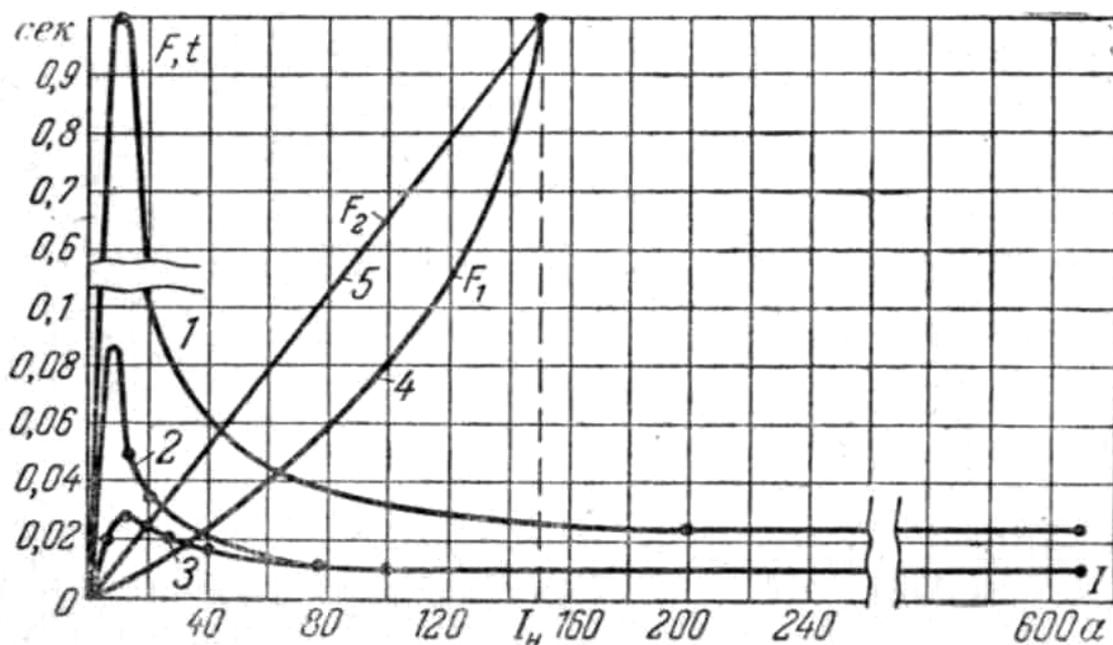


Рис. 12.3. Зависимость длительности горения дуги от тока

В связи с указанными недостатками системы с шунтовой обмоткой в настоящее время применяются только в случаях, когда необходимо отключать небольшие токи от 5 до 10 А. В аппаратах на большие силы тока эта система не применяется.

Система с постоянным магнитом по существу мало отличается по своей характеристике от системы с шунтовой обмоткой. Магнитное поле создается за счет постоянного магнита.

По сравнению с системами, где поле создается обмотками, постоянный магнит имеет ряд преимуществ:

1. Нет затрат энергии на создание магнитного поля.

2. Резко сокращается расход меди на контактор.

3. Отсутствует подогрев контактов от катушки, как это имеет место в системе с серийной обмоткой.

4. По сравнению с шунтовой системой, система с постоянным магнитом обладает высокой надежностью и хорошо работает при любых токах. Применение постоянного магнита позволяет сократить длительность горения дуги при малых токах. В силу своих преимуществ эта система, очевидно, в дальнейшем будет широко использоваться.

Магнитное поле, действующее на дугу, создает силу, которая перемещает дугу в дугогасительную камеру. Назначение камеры – локализовать область, занятую раскаленными газами дуги, препятствовать перекрытию между соседними полюсами. При соприкосновении дуги со стенками камеры происходит интенсивное охлаждение дуги, что приводит к подъему вольт-амперной характеристики и успешному гашению.

Асбоцементные камеры, применявшиеся в течение длительного времени, обладают тем недостатком, что под действием высокой температуры дуги на поверхности стенок образуются проводящие мостики. В результате возможно возникновение стабильной дуги, которая горит в местах, где образовались эти проводящие мостики.

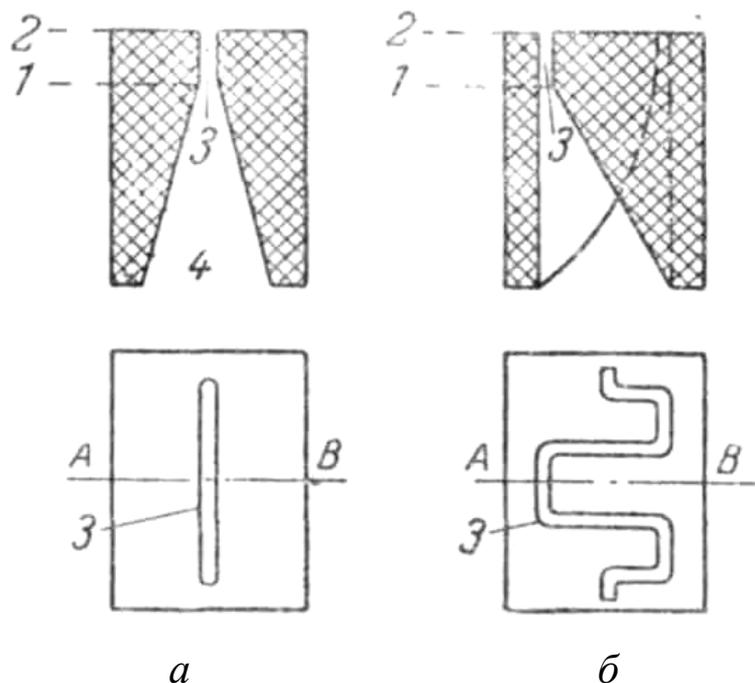


Рис. 12.4. Дугогасительная камера с прямой и зигзагообразной щелью

Наиболее совершенной является лабиринтно-щелевая камера. Под действием магнитного поля дуга загоняется в суживающуюся зигзагообразную щель (рис. 12.4, б). Благодаря увеличению длины дуги и хорошему тепловому контакту дуги со стенками камеры происходит ее эффективное гашение. По сравнению с обычной продольной щелью (рис. 12.4, а) зигзагообразная щель уменьшает количество выброшенных из камеры раскаленных газов и, следовательно, зону выхлопа.

в) Электромагнитная система. В контакторах с приводом на постоянном токе преимущественное распространение получили электромагниты клапанного типа.

С целью повышения механической износоустойчивости в современных контакторах применяется вращение якоря на призме. Выбранная компоновка электромагнита и контактной системы, применение специальной пружины, прижимающей якорь к призме, позволили повысить износоустойчивость узла вращения до $20 \cdot 10^6$. В случае применения подшипникового соединения якоря и магнитопровода при износе подшипника возникают люфты, нарушающие нормальную работу аппарата. При включении электромагнит преодолевает действие силы возвратной и контактной пружин. Тяговая характеристика электромагнита должна во всех точках идти выше характеристики противодействующих пружин при минимальном допустимом напряжении на катушке ($0,85U_{\text{НОМ}}$) и нагретой катушке. Включение должно происходить при постоянно нарастающей скорости. Не должно быть замедления в момент замыкания главных контактов.

В противодействующей характеристике наиболее тяжелым моментом является преодоление силы в момент касания главных контактов. Наибольшее напряжение на катушке не должно превышать $110\% U_{\text{НОМ}}$, так как при большем напряжении увеличивается износ из-за усиления ударов якоря, а температура катушки может превысить допустимую величину.

Следует отметить, что с целью уменьшения намагничивающей

силы катушки, а следовательно, и потребляемой ею мощности рабочий ход якоря выбирается небольшим, порядка $8 \div 10$ мм. В связи с тем, что для надежного гашения дуги при малых токах требуется раствор контактов $17 \div 20$ мм, расстояние точки касания подвижного контакта от оси вращения подвижной системы берется в 1,5-2 раза больше, чем расстояние от оси полюса до оси вращения.

Для сокращения габаритов контактора и уменьшения потребляемой мощности применяется форсировка. Контакттор снабжается размыкающим контактом и экономическим (форсировочным) сопротивлением. Поскольку процесс включения длится кратковременно, то в обмотке можно допустить высокую плотность тока. В результате при малом габарите катушки удастся получить большое значение намагничивающей силы. С точки зрения работы схем автоматики весьма важной характеристикой является собственное время включения контактора. Собственное время при включении состоит из времени нарастания потока до значения потока трогания и времени движения якоря. Большая часть времени тратится на нарастание потока. Для контакторов на ток 100 А собственное время составляет 0,14 сек., а для контакторов на ток 600 А оно увеличивается до 0,37 сек.

Собственное время отпадания – время с момента обесточивания электромагнита до момента размыкания контактов. Оно определяется временем спада потока от установившегося значения до потока отпущения (временем движения с момента начала движения якоря до момента размыкания контактов можно пренебречь). Переходный процесс в обмотке мало сказывается на спаде потока, так как цепь обмотки быстро разрывается отключающим аппаратом. Этот процесс в основном определяется токами, циркулирующими в массивных элементах магнитной цепи (в основном за счет токов в цилиндрическом сердечнике, на котором расположена катушка). Ввиду большого удельного электрического сопротивления стали эти токи создают небольшое замедление в спада-

нии потока. В контакторах на 100 А время отпадания составляет 0,07 сек., а в контакторах на 600 А – 0,23 сек.

КОНТАКТОРЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Контактная система

Контакторы переменного тока выпускаются на токи от 100 до 630 А. Число главных контактов колеблется от одного до пяти. Это отражается на конструкции всего аппарата в целом. Наиболее широко распространены контакторы трехполюсного исполнения. Наличие большого числа контактов приводит к увеличению усилия и, соответственно, момента, необходимых для включения аппарата.

Широкое распространение получила мостиковая контактная система с двумя разрывами на каждый полюс. Такая конструкция распространена в пускателях. Быстрое гашение дуги, отсутствие гибкой связи являются большими преимуществами такой конструкции. Применяется как прямоходовая система, так и система с вращением якоря. В первом случае якорь движется поступательно. Подвижные контакты связаны с якорем и совершают тот же путь, что и якорь. При передаче усилия контактных пружин к якорю из-за отсутствия рычажной системы нет выигрыша в силе. Электромагнит должен развивать усилие большее, чем сумма сил контактных пружин и веса якоря (в контактах с вертикальной установкой). В большинстве выполненных по этой схеме контакторов наблюдается медленное нарастание силы контактного нажатия, из-за чего имеет место длительная вибрация контактов (до 10 мсек.). В результате происходит сильный износ контактов при включении. Поэтому такая конструкция применяется только при небольших номинальных токах.

Более совершенным является контактор, который имеет мостиковую систему и рычажную передачу усилий от контактов к якорю электромагнита.

Расстояние от оси вращения до места расположения контактов в

2,5 раза меньше, чем расстояние от оси вращения до точки крепления якоря. Такая кинематика позволяет увеличить силу нажатия при данном габарите электромагнита. Близкое расположение контактов к оси вращения снижает скорость движения контактов. Малый вес контактного моста, низкая скорость в момент касания, большая величина силы нажатия способствуют резкому снижению вибрации (она длится всего 0,3 мсек.). При этом электрическая износостойчивость возрастает до $2 \cdot 10^6$ операций включения и отключения.

В настоящее время для работы в схемах с высокой частотой (500 ÷ 10 000 Гц) часто применяются контакторы, рассчитанные для работы при частоте 50 Гц. При частотах выше 500 Гц существенное значение имеют потери в токоведущих частях из-за эффекта близости и скин-эффекта. Для того чтобы удержать температуру токоведущих частей контактора в допустимых пределах, используется многополюсный контактор, у которого токоведущие цепи полюсов включены параллельно. При этом ток, протекающий через каждый полюс, уменьшается. Значительное уменьшение габарита высокочастотного контактора достигается за счет применения водяного охлаждения.

Гашение дуги в контакторах переменного тока

Гашение дуги переменного тока имеет значительные особенности. Вопрос гашения дуги переменного тока в низковольтных аппаратах подробно изучен О.Б. Броном. Ниже изложены результаты этой работы, наиболее интересные для специалистов, работающих в области эксплуатации аппаратов.

На рис. 12.5 изображены экспериментальные зависимости растворения контактов, необходимого для гашения дуги, от величины тока цепи. Коэффициент мощности цепи $\cos\varphi$ менялся в пределах от 0,2 до 1. Контактор имеет один разрыв на полюс и не снабжен никаким дугогасительным устройством.

В случае активной нагрузки ($\cos\varphi = 1$) гашение дуги происходит при разрыве контактов примерно 0,5 мм при любом токе и любом

напряжении (до 500 В) – кривая 3, рис. 12.4.

При индуктивной нагрузке ($\cos\varphi = 0,2 \div 0,5$) такое же гашение имеет место при напряжении до 220 В. Это объясняется тем, что гашение дуги происходит за счет практически мгновенного восстановления электрической прочности $200 \div 220$ В около катода.

При напряжении источника питания, не превышающем 220 В, для гашения дуги необходим всего один разрыв на полюс. Никаких дугогасительных устройств не нужно.

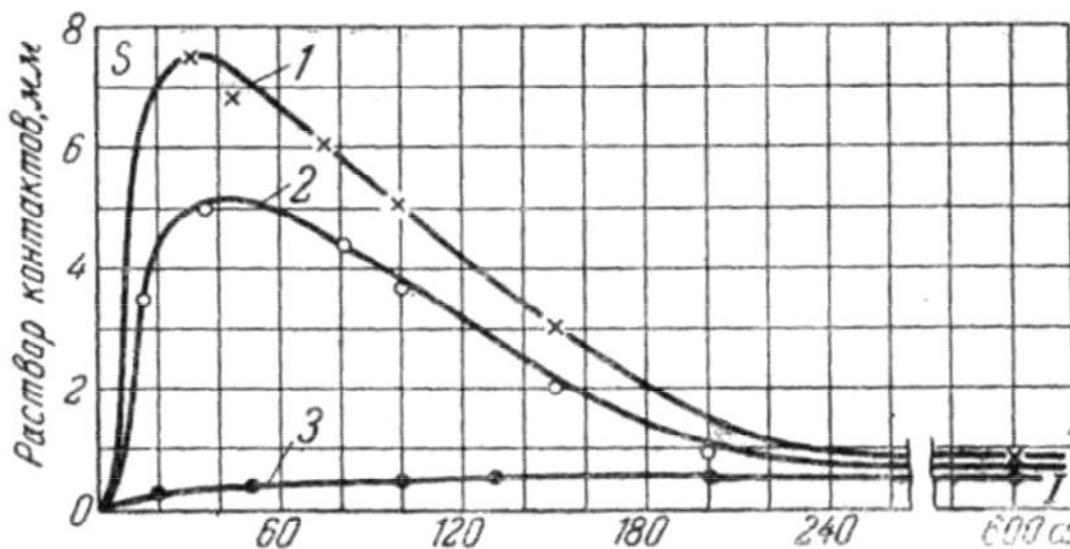


Рис. 12.5. Зависимость необходимого для гашения дуги раствора контактов от тока дуги

Если в цепи полюса аппарата создать два разрыва, например, за счет применения мостикового контакта, то дуга надежно гасится за счет околоэлектродной прочности при напряжении сети 380 В. На основании этих данных в настоящее время широко применяются контакторы с двукратным разрывом цепи в одном полюсе. При индуктивной нагрузке ($\cos\varphi = 0,2 \div 0,5$) и напряжении источника свыше 380 В величина восстанавливающегося напряжения становится больше околокатодной прочности. Кривые 1 и 2 сняты при $\cos\varphi = 0,2 \div 0,5$ и напряжениях источника 500 и 380 В. Гашение дуги в этом случае зависит от процессов в столбе дуги и нагрева электродов током.

Кривые 1 и 2 рис. 12.5 аналогичны кривым рис. 12.2, полученным для постоянного тока. В области до $40 \div 50$ А гашение происходит за счет механического растяжения дуги. Максимальный раствор, требуемый для гашения, составляет 7 мм (против 18 мм для постоянного тока).

При токах более 50 А необходимый раствор уменьшается. Гашение происходит за счет действия на дугу электродинамических сил и влияет на процесс гашения дуги. При токе более 200 А гашение происходит при растворе менее 1 мм. Таким образом, наиболее тяжелой для гашения является величина тока $40 \div 50$ А. Исследования показали, что увеличение раствора сверх 8 мм недопустимо. Для эффективного гашения дуги, уменьшения износа контактов могут быть использованы следующие системы:

1. Магнитное гашение дуги с помощью серийной катушки и дугогасительной камеры с продольной или лабиринтной щелью.

2. Камера с дугогасительной решеткой из стальных пластин.

В системе с серийной дугогасительной катушкой сила, действующая на дугу, пропорциональна квадрату тока. Поэтому и при переменном токе на дугу действует сила, неизменная по направлению. Величина силы пульсирует с двойной частотой во времени (так же как электродинамическая сила, действующая на проводник). Средняя сила получается в 2 раза меньше, чем при постоянном токе, при условии, что величина постоянного тока равна действующему значению переменного тока. Указанные соотношения справедливы, когда потери в магнитной системе дутьевой катушки отсутствуют и поток по фазе совпадает с током. Несмотря на эффективную работу этого устройства в настоящее время оно применяется только в контакторах, работающих в тяжелом режиме (более 600 включений в час). Недостатки этого метода гашения таковы:

1. Увеличиваются потери в контакторе из-за потерь в стали магнитной системы дугогашения.

2. Эти потери ведут к повышению температуры контактов, расположенных вблизи дугогасительного устройства.

3. Из-за принудительного обрыва тока (до естественного нуля) возможно возникновение больших перенапряжений.

Применение для гашения шунтовой катушки на переменном токе исключается из-за того, что сила, действующая на дугу, меняет свой знак, так как поток, создаваемый магнитной системой дугогашения, сдвинут по фазе относительно отключаемого тока. Если ток и поток имеют один знак, то сила положительна; если же ток и поток имеют разные знаки, то сила отрицательна.

Довольно широкое распространение получила система с дугогасительной решеткой из стальных пластин; принцип действия такого устройства заключается во втягивании дуги в стальную решетку под действием электродинамического усилия.

Для того чтобы пластины решетки не подвергались коррозии, они покрываются тонким слоем меди или цинка. Несмотря на быстрое гашение дуги при частых включениях и отключениях происходит нагрев пластин до очень высокой температуры. Возможно даже прогорание пластин. В связи с этим число включений и отключений в час у контакторов с деионной решеткой не превышает 600.

Дугогасительные системы высокочастотных контакторов

В высокочастотных установках для обеспечения нормальных условий работы генераторов $\cos\varphi$ цепи стремятся приблизить к единице. Как было показано, гашение дуги в этом случае получается более тяжелым, чем при $\cos\varphi = 0$.

Исследования показали, что для гашения дуги с током высокой частоты ($f > 500$ Гц) дугогасительная решетка со стальными пластинами применяться не может. Высокочастотный поток, проходя по стальным пластинам, наводит в них э.д.с., пропорциональную частоте. Возникающий под действием этой э.д.с. ток в пластинах создает поток, который, взаимодействуя с током дуги, выталкивает дугу из решетки. Чем больше частота, тем больше выталкивающая си-

ла. Если стальные пластины заменить на латунные, то выталкивающая сила уменьшается, так как магнитная проницаемость латуни значительно меньше, чем магнитная проницаемость стали. Следовательно, поток в пластинах латуни будет значительно меньше, чем в стальных пластинах. Однако при этом силы, втягивающей дугу в решетку, не возникает, и необходимо применение серийной катушки магнитного дутья.

Электромагнитный механизм контактора переменного тока

Для привода контактов широкое распространение получили электромагниты с Ш-образным и П-образным сердечниками.

Магнитопровод состоит из двух одинаковых частей, одна из которых укреплена неподвижно, другая связана через рычаги с контактной системой. В электромагнитах старой конструкции для устранения залипания якоря между средними полюсами Ш-образной системы делался зазор. При включении удар приходился на крайние полюсы, что приводило к их заметному расклепыванию. В случае перекоса якоря на рычаге возможно «клевание» поверхности сердечника острыми кромками якоря.

С целью устранения вибрации якоря во включенном положении на полюсах магнитной системы устанавливаются короткозамкнутые витки. Действие короткозамкнутого витка наиболее эффективно при малом воздушном зазоре, поэтому для плотного прилегания полюсов их поверхность должна шлифоваться.

Известно, что из-за изменения индуктивного сопротивления катушки ток в притянутом состоянии якоря значительно меньше, чем в отпущенном состоянии. В среднем можно считать, что пусковой ток равен десятикратному току притянутого состояния, но для больших контакторов может достигать значения, равного 15-кратному от тока в замкнутом состоянии. В связи с большим пусковым током ни в коем случае не допускается подача напряжения на катушку, если якорь

по каким-либо причинам удерживается в положении «отключено». Катушки большинства контакторов рассчитаны таким образом, что допускают до 600 включений в час при ПВ = 40%.

Электромагниты контакторов переменного тока могут также питаться от сети постоянного тока. В этом случае на контакторах устанавливается специальная катушка, которая работает с форсировочным сопротивлением. Форсировочное сопротивление шунтировано нормально закрытым блок-контактом контактора или более мощными контактами другого аппарата. Параметры катушек и величины форсировочных сопротивлений приведены в каталогах.

При уменьшении зазора тяговая характеристика электромагнита переменного тока поднимается менее круто, чем в электромагните постоянного тока. Благодаря этому тяговая характеристика электромагнита более близко подходит к противодействующей. В результате напряжение отпускания близко к напряжению срабатывания. Отношение этих напряжений называется коэффициентом возврата. Относительно высокий коэффициент возврата ($0,6 \div 0,7$) дает возможность осуществить защиту двигателя от падения напряжения. При понижении напряжения до $0,6 \div 0,7$ от $U_{\text{ном}}$ происходит отпадание якоря и отключение двигателя.

Электромагниты контакторов обеспечивают надежную работу в диапазоне колебания питающего напряжения $85 \div 110\% U_{\text{ном}}$. При коэффициенте возврата $0,7$ якорь электромагнита отпадет при падении напряжения до $70\% U_{\text{ном}}$. Поскольку катушка контактора питается через замыкающий блок-контакт, то включение контактора не происходит самостоятельно после подъема напряжения до номинального значения. Как указывалось, срабатывание электромагнита переменного тока происходит значительно быстрее, чем срабатывание электромагнита постоянного тока. Собственное время срабатывания контакторов составляет $0,03 \div 0,05$ сек, а время отпускания $0,02$ сек.

В случаях применения контакторов для реверса предусматривается как механическая, так и электрическая блокировка.

Так же как и контакторы постоянного тока, контакторы переменного тока имеют блок-контакты, которые приводятся в действие тем же электромагнитом, что и главные контакты.

МАГНИТНЫЕ ПУСКАТЕЛИ

Требования к пускателям и условия их работы

Магнитным пускателем называется контактор, предназначенный для пуска в ход короткозамкнутых асинхронных двигателей.

Как правило, в пускатель, помимо контактора, встроены тепловые реле для защиты двигателя от перегрузок и «потери фазы». Бесперебойная работа асинхронных двигателей в значительной степени зависит от надежности пускателей. Поэтому к ним предъявляются высокие требования в отношении износоустойчивости, коммутационной способности, четкости срабатывания, надежности защиты двигателя от перегрузок, минимального потребления мощности.

Особенности условий работы пускателя состоят в следующем. При включении асинхронного двигателя пусковой ток достигает 6-7-кратного значения номинального тока. Даже незначительная вибрация контактов при таком токе быстро выводит их из строя. Это накладывает высокие требования в отношении вибрации контактов и их износа. С целью уменьшения времени вибрации контакты и подвижные части делаются возможно более легкими, уменьшается их скорость, увеличивается сила нажатия. Эти мероприятия позволили создать износоустойчивый пускатель типа ПА с электрической износоустойчивостью до 10^6 операций.

Исследования показали, что при токах до 100 А целесообразно применять серебряные накладки на контактах. При токе выше 100 А хорошие результаты дает композиция серебра и окиси кадмия типа СОК-15.

После разгона двигателя величина тока падает до номинального значения.

При отключении восстанавливающееся напряжение на контактах равно разности напряжения сети и э.д.с. двигателя. В результате на контактах появляется напряжение, составляющее всего $15 \div 20\% U_{ном}$,

т.е. имеют место облегченные условия отключения. При работе двигателя нередки случаи, когда двигатель отключается от сети тотчас же после пуска. Пускателю приходится тогда отключать ток, равный семикратному номинальному току при очень низком коэффициенте мощности ($\cos\varphi=0,3$) и восстанавливаемом напряжении, равном номинальному напряжению источника питания. После 50-кратного включения и отключения заторможенного двигателя пускатель должен быть пригоден для дальнейшей работы. В технических данных пускателя указывается не только его номинальный ток, но и мощность двигателя, с которым пускатель может работать при различных напряжениях. Поскольку ток, отключаемый пускателем, относительно мало падает с ростом напряжения, мощность двигателя, с которым может работать данный пускатель, возрастает с увеличением номинального напряжения. Наибольшее рабочее напряжение равно 500 В.

Многочисленные исследования показали, что электрическая износоустойчивость примерно обратно пропорциональна мощности управляемого электродвигателя в степени $1,5 \div 2$. Если необходимо повысить срок службы пускателя, то целесообразно выбрать его с запасом по мощности.

При уменьшении мощности двигателя возрастает допустимое число включений в час. Дело в том, что двигатель меньшей мощности быстрее достигает номинальной скорости вращения. Поэтому при отключении пускатель разрывает установившийся номинальный ток двигателя, что облегчает работу пускателя.

С учетом исключительно широкого распространения пускателей большое значение приобретает снижение мощности, потребляемой ими. В пускателе мощность расходуется в электромагните и тепловом реле. Потери в электромагните составляют примерно 60%, в тепловых реле – 40%. С целью снижения потерь в электромагните применяется холоднокатаная сталь.

Конструкция и схема включения пускателя

Наибольшее распространение получили пускатели серии ПМЕ и ПА. С учетом условий работы пускателя оказалось возможным, ис-

пользуя двукратный разрыв цепи, отказаться от применения громоздких дугогасительных устройств в виде решетки или камеры магнитного дутья. Широко применяются торцевые контакты с металлокерамикой. Подвижный контакт выполняется мостикового типа с самоустанавливанием. Прямоходовой электромагнит имеет Ш-образный сердечник и якорь. Короткозамкнутый виток расположен на двух крайних стержнях сердечника.

При токах, больших 25 А, хорошо себя зарекомендовала система пускателей серии ПА, в которой ход контакта примерно в 2,5 раза меньше, чем ход якоря электромагнита. Для защиты двигателя от перегрузки в двух фазах устанавливаются тепловые реле. В некоторых типах пускателей, например, в серии П, тепловые реле расположены на одной панели с контактором. В этих случаях обычно используются реле типа РТ тепловых реле.

Более совершенную тепловую защиту дают реле типа ТРП и ТРИ, которые монтируются вне контактора пускателя. Схема включения нереверсивного пускателя показана на рис. 12.6. Главные (линейные) контакты КМ1, КМ2, КМ3 включаются в рассечку проводов, питающих двигатель. В проводах двух фаз включаются также нагревательные элементы тепловых реле ТРП-1 и ТРП-2. Катушка электромагнита *K* подключается к сети через размыкающие контакты тепловых реле и кнопки управления. При нажатии кнопки «Пуск» напряжение на катушку подается через замкнутые контакты кнопки «Стоп» и замкнутые контакты кнопки «Пуск». После притяжения якоря электромагнита замыкается блок-контакт КМ, шунтирующий кнопку «Пуск». Это дает возможность отпустить пусковую кнопку.

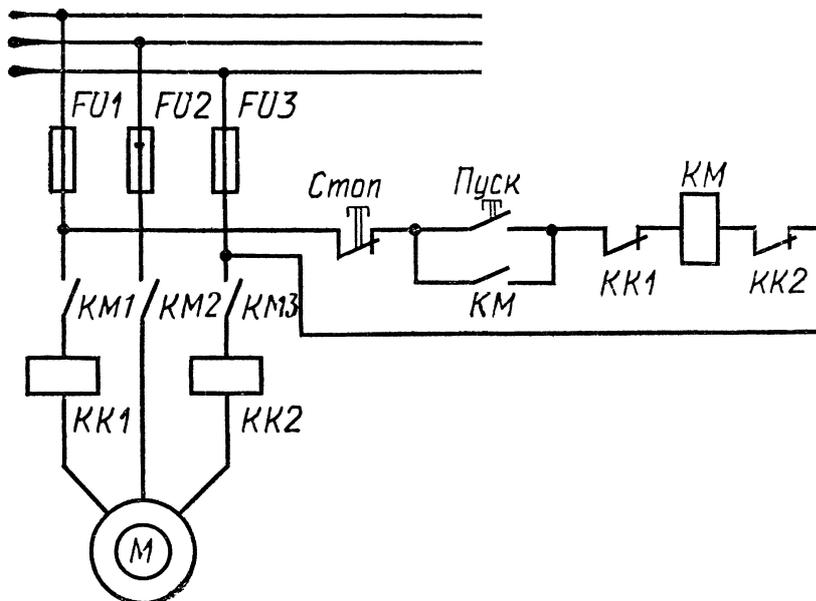


Рис. 12.6. Схема включения магнитного пускателя

Для отключения пускателя нажимается кнопка «Стоп». При перегрузке двигателя срабатывают тепловые реле, которые разрывают цепь катушки K . Якорь электромагнита отпадает. Происходит отключение пускателя. Высокий коэффициент возврата электромагнитного механизма переменного тока позволяет осуществить защиту двигателя от понижения напряжения питания (электромагнит отпускает якорь при напряжении $60 \div 70\% U_{\text{ном}}$).

Если напряжение сети возрастет до своего номинального значения, то самопроизвольного включения пускателя не произойдет, так как при отключении блок-контакт KM размыкается и цепь катушки K разрывается.

Схема включения реверсивного пускателя приведена на рис. 12.7. Кнопка управления «Вперед» имеет замыкающие контакты 1-2 и размыкающие контакты 4-6. Аналогичные контакты имеет кнопка пуска двигателя в обратном направлении («Назад»).

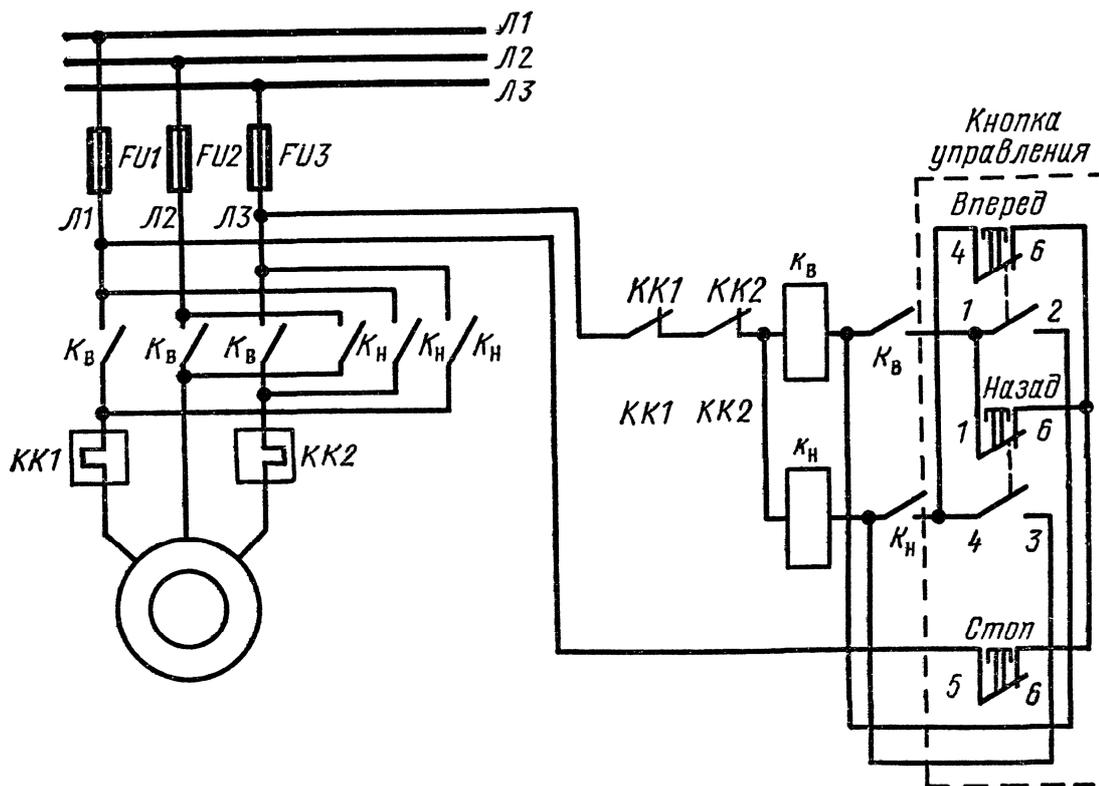


Рис. 12.7. Схема включения реверсивного пускателя

Соответственно, индекс В отнесен к элементам, участвующим при работе «Вперед», а индекс Н – при работе «Назад». При пуске «Вперед» замыкаются контакты 1-2 этой кнопки и процесс протекает так же, как и у нереверсивного пускателя, с той лишь разницей, что цепь катушки K_B замыкается через размыкающие контакты 1-6 кнопки «Назад».

Одновременно размыкаются размыкающие контакты 4-6 кнопки «Вперед», при этом разрывается цепь катушки K_B . При нажатии кнопки «Назад» вначале размыкаются контакты 1-6, обесточивается катушка K_B и отключается пускатель «Вперед». Затем контактами 4-3 запускается электромагнит пускателя «Назад». При одновременном нажатии кнопок «Вперед» и «Назад» ни один из пускателей не будет включен. Блок-контакты в настоящее время выпускаются в виде унифицированных блоков, которые могут устанавливаться в различных пускателях.

СОВРЕМЕННЫЕ КОНТАКТОРЫ, ВЫПУСКАЕМЫЕ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТЬЮ

Контакторы относятся к аппаратам управления низкого напряжения (до 1000 В). *Контактором* называется электрический аппарат с самовозвратом для многократного дистанционного включения и отключения силовой электрической нагрузки переменного и постоянного токов, а также редких отключений токов перегрузки. Ток перегрузки составляет 7-10-кратное значение по отношению к номинальному току.

Контакторы переменного и постоянного тока, как правило, имеют конструктивные отличия, поэтому обычно не взаимозаменяемы.

В контакторах не предусмотрены защиты, присущие автоматам и магнитным пускателям. Контакторы обеспечивают большое число включений и отключений (циклов) при дистанционном управлении ими. Число этих циклов для контакторов разной категории изменяется от 30 до 3600 в час. Контакторы выпускаются переменного (типа К и КТ) и постоянного (типа КП, КМ, КПД) тока.

СОВРЕМЕННЫЕ МАГНИТНЫЕ ПУСКАТЕЛИ, ПРОИЗВОДИМЫЕ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТЬЮ

Устройство и назначение

Магнитные пускатели предназначены для пуска, остановки, реверсирования и тепловой защиты главным образом асинхронных двигателей. Наибольшее применение находят магнитные пускатели с контактными системами и электромагнитным приводом типов ПМЕ, ПМА, ПА (ПАЕ). Пускатели изготавливаются в открытом, защищенном, пылебрызгонепроницаемом исполнении, реверсивные и нереверсивные, с тепловой защитой и без нее. Магнитный пускатель заключается, как правило, в стальной кожух. Управление им осуществляется посредством кнопок управления «Пуск», «Стоп», «Вперед», «Назад».

Технические параметры

Пускатели серий ПМЕ, ПАЕ обладают коммутационной спо-

способностью до $2 \cdot 10^6$ операций и частотой включений до 1200 в час. Выбор контакторов и пускателей осуществляется по номинальному напряжению сети, номинальному напряжению питания катушек контакторов и пускателей, по номинальному коммутируемому току электроприемника.

Наиболее распространенные серии пускателей с контактной системой и электромагнитным приводом: ПМЕ, ПМА, ПА, ПВН, ПМЛ, ПВ, ПАЕ.

Пускатели серии ПМА предназначены для управления асинхронными двигателями в диапазоне мощностей от 1,1 до 75 кВт на напряжение $380 \div 660$ В.

Пускатели серии ПМЕ выполняются с прямоходовой магнитной системой и управлением на переменном токе. Напряжение – от 36 до 500 В. Используются для управления электродвигателями с короткозамкнутым ротором.

Пускатели серии ПАЕ с управлением на переменном токе: отдельные пускатели исполнения ПАЕ-313, -314, -411, -412 применяются преимущественно в станкостроении.

Пускатели серии ПМА предназначаются для управления асинхронными двигателями мощностью $1,1 \div 75$ кВт; имеют реверсивные и нереверсивные исполнения, бывают с тепловым реле и без него, открытого и защищенного исполнения; износостойкость механическая в аппаратах на ток до 63 А составляет $16 \div 10^6$, выше 63 А – 10 циклов; коммутационная – соответственно $3 \div 10$ и $2,5 \div 10$ циклов.

Номинальный ток контактов вспомогательной цепи лежит в пределах от 4 до 10 А.

Пускатели электромагнитные серии ПМЛ предназначены для дистанционного пуска непосредственным подключением к сети, остановки и реверсирования трехфазных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором при напряжении до 660 В переменного тока частотой 50 Гц, а в исполнении с трехполюсными тепловыми реле серии РТЛ – для защиты управляемых электродвигате-

лей от перегрузок недопустимой продолжительности и от токов, возникающих при обрыве одной из фаз.

Пускатели могут комплектоваться ограничителями перенапряжений типа ОПН. Пускатели, комплектуемые ограничителями перенапряжения, пригодны для работы в системах управления с применением микропроцессорной техники при шунтировании включающей катушки помехоподавляющим устройством или при тиристорном управлении.

Номинальное переменное напряжение включающих катушек: 24, 36, 40, 48, 110, 127, 220, 230, 240, 380, 400, 415, 500, 660 В частоты 50 Гц и 110, 220, 380, 400, 415, 440 В частоты 60 Гц.

Пускатели ПМЛ на токи $10 \div 63$ А имеют прямоходовую магнитную систему Ш-образного типа. Контактная система расположена перед магнитной. Подвижная часть электромагнита составляет одно целое с траверсой, в которой предусмотрены подвижные контакты и их пружины.

Тепловые реле серии РТЛ подсоединяются непосредственно к корпусам пускателей.

Обозначение магнитных пускателей ПМЛ-XXXXXXXXXX:

ПМЛ – серия;

X – величина пускателя по номинальному току (1 – 10 А, 2 – 25 А, 3 – 40 А, 4 – 63 А);

X – исполнение пускателей по назначению и наличию теплового реле (1 – нереверсивный, без теплового реле; 2 – нереверсивный, с тепловым реле; 5 – реверсивный пускатель без теплового реле с механической блокировкой для степени защиты IP00 и IP20 и с электрической и механической блокировками для степени защиты IP40 и IP54; 6 – реверсивный пускатель с тепловым реле с электрической и механической блокировками; 7 – пускатель «звезда – треугольник» степени защиты 54);

X – исполнение пускателей по степени защиты и наличию кнопок управления и сигнальной лампы (0 – IP00; 1 – IP54 без кнопок; 2 –

IP54 с кнопками «Пуск» и «Стоп»; 3 – IP54 с кнопками «Пуск», «Стоп» и сигнальной лампой (изготавливается только на напряжения 127, 220 и 380 В, 50 Гц); 4 – IP40 без кнопок; 5 – IP40 с кнопками «Пуск» и «Стоп»; 6 – IP20);

X – число и вид контактов вспомогательной цепи (0 – 1з (на ток 10 и 25 А), 1з + 1р (на ток 40 и 63 А), переменный ток; 1 – 1р (на ток 10 и 25 А), переменный ток; 2 – 1з (на ток 10, 25, 40 и 63 А), переменный ток; 5 – 1з (на 10 и 25 А), постоянный ток; 6 – 1р (на ток 10 и 25 А), постоянный ток);

X – сейсмостойкое исполнение пускателей (С);

X – исполнение пускателей с креплением на стандартные рейки P2-1 и P2-3;

XX – климатическое исполнение (О) и категория размещения (2, 4);

X – исполнение по коммутационной износостойкости (А, Б, В).

Пускатели на токи 10, 25, 40 и 63 А допускают установку одной дополнительной контактной приставки ПКЛ или пневмоприставки ПВЛ.

Номинальный ток контактов приставок ПВЛ и сигнальных контактов пускателей – 10 А.

Номинальный ток контактов приставок ПКЛ – 16 А. Приставки ПВЛ имеют 1 замыкающий и 1 размыкающий контакты.

Лекция №13

АВТОМАТИЧЕСКИЕ ВОЗДУШНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ (АВТОМАТЫ), ВИДЫ, ПАРАМЕТРЫ.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ РЕЛЕ (ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ, ДЛЯ ЭНЕРГОСИСТЕМ И ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ)

АВТОМАТИЧЕСКИЕ ВОЗДУШНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ

Автоматические выключатели (автоматы) низкого напряжения (до 1000 В) предназначены для автоматической защиты электрических сетей и оборудования от аварийных режимов (коротких замыканий, перегрузок, снижения и исчезновения напряжения, изменения направления

тока, гашения магнитного поля мощных генераторов в аварийных условиях и др.), а также для оперативной коммутации номинальных токов. Для обеспечения селективной (избирательной) защиты в автоматах предусматривается возможность регулирования уставок по току и по времени. Быстродействующие автоматы снижают время срабатывания и ограничивают отключаемый ток сопротивлением возникающей электрической дуги в автомате. Нередко эти факторы определяют принцип устройства и особенности конструкции автоматов.

Автоматические выключатели подразделяются на следующие виды:

– *установочные и универсальные*. Установочные автоматические выключатели имеют защитный изоляционный (пластмассовый) корпус и могут устанавливаться в общедоступных местах, универсальные не имеют такого корпуса и предназначены для установки в распределительных устройствах;

– *быстродействующие и небыстродействующие*. Быстродействие обеспечивается самим принципом действия (поляризованный электромагнитный или индукционно-динамический принцип и др.), а также условиями для быстрого гашения электрической дуги, подобно процессам в токоограничивающих автоматах;

– *автоматы обратного тока*, срабатывающие только при изменении направления тока в защищаемой цепи (поляризованные автоматы отключают цепь только при нарастании тока в прямом направлении, неполяризованные – при любом направлении тока).

Автоматические выключатели (автоматы) обеспечивают одновременно функции коммутации силовых цепей (токи от единиц ампер до десятков килоампер) и защиты электроприемника, а также сетей от перегрузок и коротких замыканий. По выполняемым функциям защиты автоматы можно подразделять на следующие типы:

- 1) автоматы максимального тока;
- 2) автоматы минимального тока;
- 3) автоматы понижения напряжения;
- 4) автоматы обратной мощности.

Принципиальные схемы действия автоматов без выдержки времени представлены на рис. 13.1 (с электромагнитными расцепителями).

Основными элементами всякого автомата являются:

- чувствительный орган в виде элемента защиты;
- исполнительный орган в виде контактного устройства;
- промежуточное кинематическое устройство – механизм выключателя;
- дугогасительное устройство;
- механизм управления – привод включения.

Элемент защиты воспринимает изменение параметров электрической цепи и срабатывает при наступлении ненормального режима в ней (недопустимое увеличение тока, понижение напряжения и др.) При срабатывании элементов защиты происходит воздействие на механизм свободного расцепления. Элементы защиты с промежуточными конструктивными частями (пружинами и др.), воздействующие на механизм свободного расцепления, называют расцеплениями.

Составной частью кинематики многих конструкций автоматов является механизм свободного расцепления. В различных конструкциях автоматов свободное расцепление обеспечивается по-разному: механизмом с ломающимся рычагом, механизмами с защелкой и др.

На рис. 13.2 показана схема механизма свободного расцепления, выполненного в виде системы шарнирно связанных ломающихся рычагов. Эти рычаги устроены так, что при включенном состоянии автомата (положение I) шарнир «б» лежит несколько ниже мертвого положения рычагов (ниже прямой, соединяющей шарниры «а» и «в»), причем рычаги не могут опуститься ниже. Следовательно, при включении и выключении автомата система рычагов б является жесткой. Если под воздействием толкателя сердечника 5 включающей катушки 4 звенья рычага б будут повернуты так, что шарнир «б» окажется выше прямой, соединяющей шарниры «а» и «в», то контакты 2 и 3 автоматически разойдутся вне зависимости от положения рукоятки 1, даже если ее удерживать (положение II). Чтобы вновь включить автомат, необходи-

мо поставить рукоятку в положение, соответствующее отключенному автомату (положение III), при котором центр шарнира «б» окажется ниже прямой «а» и «в» (говорят – «зарядить» автомат).

Механизм свободного расцепления чаще всего выполняется так, что при ручном отключении происходит излом системы рычагов, а контакты быстро расходятся под действием отключающих пружин.

Существует большое разнообразие конструкций автоматов на различные номинальные токи, предназначенные для работы в цепях переменного и постоянного тока.

Автоматы защиты от перегрузок и коротких замыканий обеспечивают удобную установку и монтаж как на панелях и щитах распределительных устройств, так и в отдельных устройствах. Такие автоматы на токи до $100 \div 600$ А называют установочными.

Автоматы на номинальные токи $200 \div 1500 \div 6000$ А обладают способностью отключать токи короткого замыкания на десятки килоампер, имеют обычно несколько защит (от перегрузок, коротких замыканий, снижения напряжения и др.), дистанционное управление, сигнализацию. Поэтому конструкции их значительно сложнее. Такие автоматы называют универсальными.

Наибольшее распространение получили автоматы серий А-3000; АЕ-1000, АЕ-2000, «Электрон». Серия АЕ для защиты цепей электроприемников от перегрузок и коротких замыканий на напряжения переменного тока – 380, 660 В; постоянного тока – $110 \div 220$ В; на номинальные токи – от 16 до 100 А.

Серия А-3000 выполняется на напряжения: переменные 380, 660 В; постоянные до 440 В и токи от 50 до 630 А. Серия имеет модификации по повышению частоты на 400 и 1500 Гц.

Серия «Электрон» используется в распределительных устройствах на напряжения до 440 В постоянного и 660 В переменного тока и токи от 630 А до 4000 А.

Автоматы выбирают по их номинальному току. Уставки токов расцепителей определяют по следующим соотношениям:

– для силовых одиночных электроприемников: ток уставки теплового расцепителя $I_T > 1,25 I_N$; ток уставки электродинамического расцепителя $I_\Delta > 1,2 I_{ПУСК}$, где I_N – номинальный ток электроприемника, I_T – пусковой ток электродвигателя.

– для группы силовых (двигательных) электроприемников: $I_T > 1,1 I_{МАХ}$, $I_\Delta > 1,2(I_{ПУСК} + I_{МАХ})$, где $I_{МАХ}$ – наибольший суммарный ток группы электроприемников в номинальном режиме.

Принципиальные схемы автоматических воздушных выключателей и механизма свободного расцепления автомата приведены на рис. 13.1 и 13.2.

Автоматическое отключение автоматов происходит под действием встроенных в них элементов тепловой и максимальной токовой защиты. Первые выполняются при помощи биметаллических элементов, срабатывающих обратнoзависимой от тока выдержкой времени при появлении в цепи перегрузок; вторые – при помощи электромагнитов, срабатывающих мгновенно при коротком замыкании.

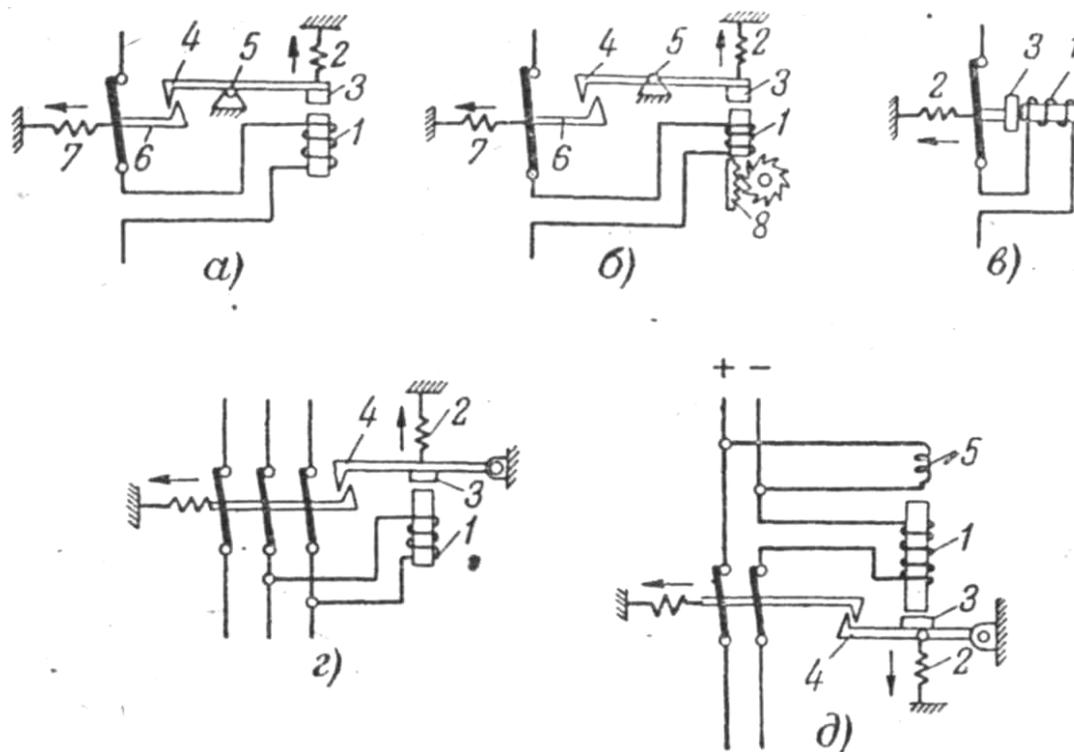


Рис. 13.1. Принципиальные схемы автоматических воздушных выключателей:

- а* – автомат максимального тока; *б* – автомат максимального тока с выдержкой времени;
в – автомат минимального тока; *г* – автомат понижения напряжения;

δ – автомат обратной мощности

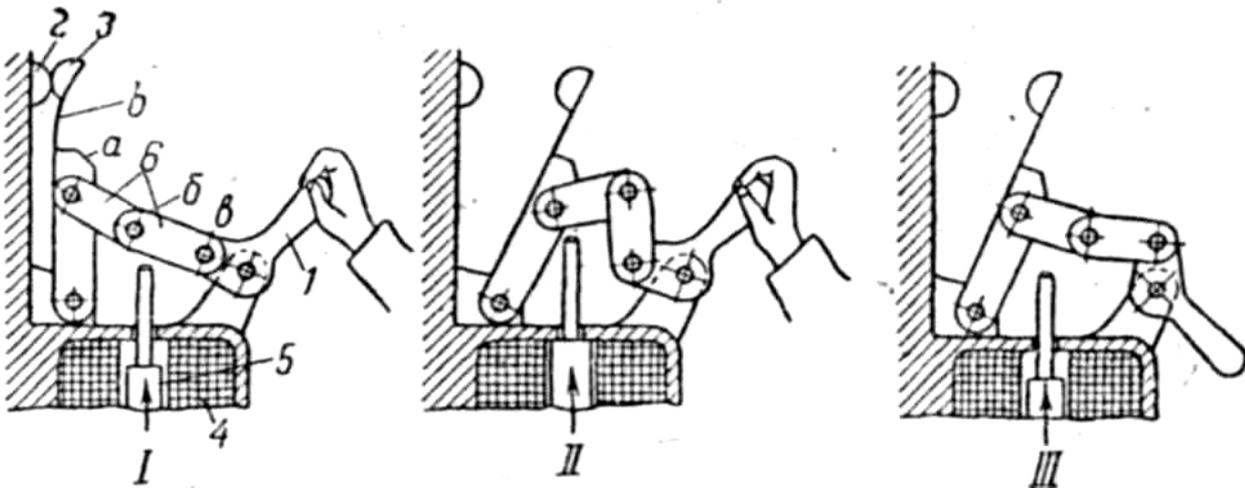


Рис. 13.2. Принципиальная схема механизма свободного расцепления автомата:

I – автомат включен; *II* – после автоматического отключения автомата;

III – автомат подготовлен к включению

Примечание: дополнительный материал для самостоятельного изучения по автоматическим воздушным выключателям представлен в приложении 2.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ РЕЛЕ (ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ, ДЛЯ ЭНЕРГОСИСТЕМ И ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ)

Общие сведения

Реле – это электрический аппарат, в котором при плавном изменении входной (управляющей) величины происходит скачкообразное изменение выходной (управляемой) величины, причём хотя бы одна из этих величин должна быть электрической.

По принципу действия реле подразделяются на электромагнитные, поляризованные, магнитоэлектрические, индукционные, тепловые, реле времени и др.

В настоящем учебном пособии рассматриваются электромагнитные реле, принцип действия которых основан на использовании электромагнитов.

По области применения реле подразделяют на реле:

а) для защиты энергосистем;

б) для управления и защиты электроприводов;

в) для схем автоматики.

В зависимости от входного параметра реле делятся на реле тока, напряжения, мощности, частоты и др.

По способу включения реле подразделяются на первичные и вторичные. Первичные реле включаются непосредственно в цепь, вторичные – через измерительные трансформаторы.

Основной характеристикой реле является характеристика управления – зависимость выходного сигнала от входного.

Для реле с замыкающим контактом характеристика «вход-выход» (рис. 13.3) определяется следующим: при отсутствии входного сигнала ($x = 0$) контакты разомкнуты и ток в управляемой цепи равен нулю ($y = 0$). С увеличением входного сигнала, при некотором его значении, происходит срабатывание реле. Это значение входного сигнала называется параметром обрабатывания – $x_{\text{СР}}$ (напряжение, ток и т.д.). До тех пор, пока $x < x_{\text{СР}}$, выходной параметр y равен нулю либо своему минимальному значению $y_{\text{МИН}}$ (для бесконтактных аппаратов). При $x = x_{\text{СР}}$ выходной параметр скачком меняется от $y = 0$ до $y = y_{\text{МАКС}}$. Происходит срабатывание реле. При дальнейшем увеличении $x > x_{\text{СР}}$ контакты реле остаются замкнутыми и выходной параметр остаётся постоянным $y = y_{\text{МАКС}}$.

Если теперь начать уменьшать входной параметр, то при некотором его значении якорь реле возвращается в исходное положение, контакты размыкаются и происходит скачкообразное изменение входного параметра от значения $y_{\text{МАКС}}$ до 0.

Значение входного параметра, при котором происходит возврат реле в исходное состояние, называется параметром возврата – $x_{\text{ВОЗ}}$.

Значения параметров срабатывания или отпускания, на которые отрегулировано реле, называются уставкой по входному параметру – $x_{\text{УСТ}}$.

Значение рабочего входного параметра $x_{\text{РАБ}}$ больше, чем значе-

ние x_{CP} . Отношение $x_{РАБ} / x_{CP}$ называется коэффициентом запаса.

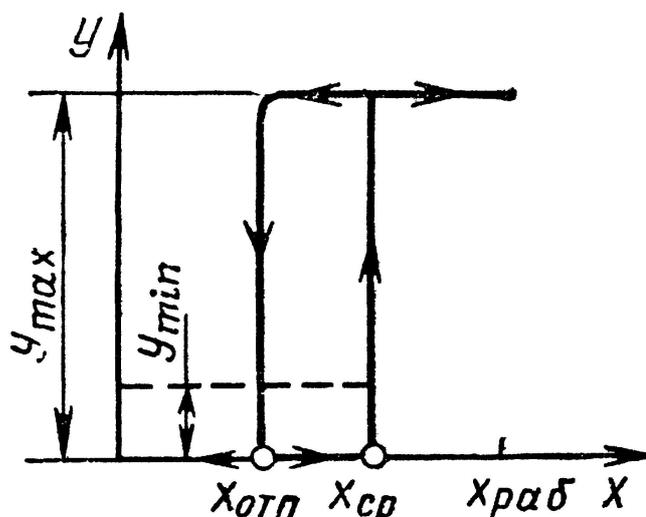


Рис. 13.3. Характеристика «вход-выход» реле

Для реле очень важно отношение $x_{ВОЗ} / x_{CP}$, которое называется коэффициентом возврата K_B .

Важным параметром, характеризующим усилительные свойства реле, является отношение максимальной мощности нагрузки в управляемой цепи P_y к минимальной мощности входного сигнала P_{CP} , при котором происходит срабатывание реле.

В зависимости от назначения к реле предъявляется ряд требований. Так, к реле защиты энергосистем предъявляются требования селективности, быстродействия, чувствительности, надёжности, высокого значения коэффициента возврата.

Под селективностью понимается избирательность. Для реле это означает способность отключать только повреждённый участок.

Реле защиты энергосистем эксплуатируются в облегчённых условиях. Они не подвержены воздействию ударов, вибрации, пыли и газов, вызывающих коррозию. К этим реле не предъявляются требования высокой износостойкости, так как аварийные режимы в энергосистемах редки. В этой связи электрическая и механическая износостойкость может быть значительно меньше, чем у реле для защиты электроприводов и систем автоматики, где износостойкость

достигает десятков миллионов циклов, а число включений в час – 1000 и более.

В связи с такими условиями эксплуатации реле защиты энергосистем могут иметь сложную конструкцию, выполняемой с высокой точностью; малое нажатие контактов, что позволяет выполнять лёгкий якорь, обеспечивающий малую инерционность. Высокое значение коэффициента возврата K_B достигается из следующих соображений.

В общем случае коэффициент возврата реле

$$K_B = \frac{I_B}{I_{\text{срАБ}}},$$

где I_B – ток возврата, $I_{\text{срАБ}}$ – ток срабатывания.

Значения тока возврата и срабатывания связаны со значениями электромагнитной силы срабатывания $F_{\text{срАБ}}$ и возврата F_B . Электромагнитная сила, действующая на якорь определяется выражением

$$F_{\text{Э}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\mu_0 \cdot S}{\delta^2} (IW)^2, \quad (13.1)$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$,

δ – величина воздушного зазора,

S – поперечное сечение зазора.

При срабатывании $F_{\text{ЭМ.ср}} \geq F_{\text{пр}}$ – силы противодействующих пружин. При возврате электромагнитная сила $F_{\text{ЭМ.в}} \leq F_{\text{пр}}$. Срабатывание электромагнита соответствует уменьшению зазора между якорем и полюсным наконечником, от начального ($\delta_{\text{н}}$) до конечного ($\delta_{\text{к}}$). В соответствии с $1/\delta^2$ с уменьшением зазора электромагнитная сила возрастает пропорционально квадрату зазора, а сила противодействующей пружины с уменьшением зазора возрастает линейно. Поэтому при уменьшении зазора от $\delta_{\text{н}}$ до $\delta_{\text{к}}$ при срабатывании электромагнита разница между электромагнитной силой и силой противодействующей пружины возрастает от 0 до ΔF . В этой связи ток возврата меньше тока срабатывания и имеют место соотношения:

– при токе срабатывания для конечного значения зазора электромагнитная сила

$$F_{\text{ЭМ.СР}} = \frac{1}{2} \mu_0 \frac{S}{\delta_{\text{К}}^2} W^2 \cdot I_{\text{СР}}^2 ; \quad (13.2)$$

– при возврате электромагнитная сила

$$F_{\text{ЭМ.В}} = \frac{1}{2} \mu_0 \frac{S}{\delta_{\text{К}}^2} \cdot W^2 I_{\text{В}}^2 . \quad (13.3)$$

Из отношения (13.3) к (13.2) следует:

$$K_{\text{В}} = \frac{I_{\text{В}}}{I_{\text{СР}}} = \sqrt{\frac{F_{\text{ЭМ.В}}}{F_{\text{ЭМ.СР}}}} = \sqrt{\frac{F_{\text{ЭМ.СР}} - \Delta F}{F_{\text{ЭМ.СР}}}} = \sqrt{1 - \frac{\Delta F}{F_{\text{ЭМ.СР}}}} . \quad (13.4)$$

Так как $\Delta F > 0$, коэффициент возврата максимальных реле $K_{\text{В}} < 1$. Для увеличения $K_{\text{В}}$ необходимо уменьшение ΔF , то есть сближение тяговой характеристики $F = f(\delta)$ и противодействующей $F_{\text{ПР}} = f(\delta)$. Для максимального сближения характеристик нужно придать противодействующей нелинейный характер. Однако это сложно выполнить и такие решения применяются редко. При одной противодействующей пружине рекомендуется выбирать её с максимально возможной жёсткостью, чтобы противодействующая характеристика совпадала с касательной, проведённой к тяговой характеристике при $\delta = \delta_{\text{Н}}$. Если выбрать достаточно большое значение $\delta_{\text{К}}$ и малый ход якоря, равный $\delta_{\text{Н}} - \delta_{\text{К}}$, то характеристика противодействующей пружины достаточно близко подойдёт к тяговой и коэффициент возврата может быть получен порядка 0,7-0,8.

Хорошими возможностями согласования характеристик обладает электромагнитная система с поворотным якорем, кинематическая схема которого представлена на рис. 13.4. Якорь Г-образной формы выполнен из тонкой электротехнической стали. С уменьшением зазора он насыщается, ΔF уменьшается и $K_{\text{В}}$ возрастает.

Помимо указанных факторов на коэффициент возврата реле оказывают влияние трение перемещающихся частей электромагнита и гистерезис материала магнитопровода. За счёт их действия коэффициент возврата уменьшается. Для уменьшения влияния трения на ко-

эффицент возврата усилие противодействующей пружины должно значительно превышать силу трения.

Конструкцию и принцип действия реле рассмотрим на примере реле максимального тока, кинематическая схема которого приведена на рис. 13.4, а, б.

На шихтованном магнитопроводе 6 П-образной формы расположены две намагничивающие обмотки 7, при протекании тока по которым создаётся магнитный поток Φ , который замыкается по цепи: магнитопровод – воздушный зазор – якорь – второй воздушный зазор – магнитопровод. Якорь 3 изготовлен из электротехнической стали и выполнен очень лёгким для увеличения быстродействия. Под действием электромагнитных сил якорь стремится повернуться в сторону, соответствующую уменьшению зазора (рис. 13.4, б). Под действием механических сил, создаваемых спиральной пружиной 14 (рис. 13.4, а), якорь стремится повернуться против часовой стрелки до левого упора 2. При токе срабатывания электромагнитная сила (при всех углах поворота якоря – от начального до конечного) больше механической.

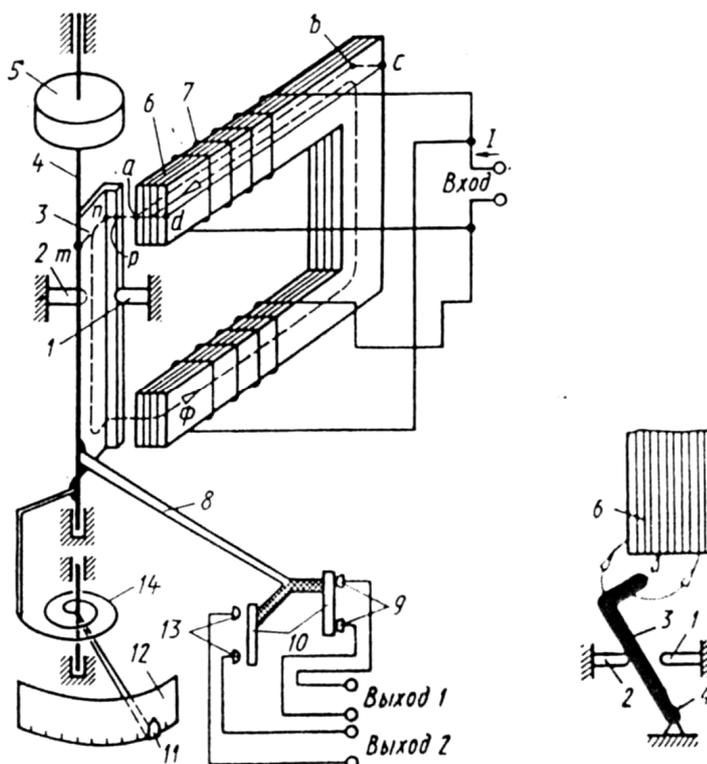


Рис. 13.4. Кинематическая схема реле тока РТ

Таким образом, если ток достигает тока срабатывания, якорь повернется до упора *1*. С якорем жестко связаны посредством контактного рычага *8* два подвижных контактных мостика *10*. При срабатывании в начале поворота якоря разомкнутся контакты *9* (выход 1), а в конце поворота якоря замкнутся контакты *13* (выход 2).

При токе возврата происходит поворот якоря в обратном направлении и коммутация контактов в обратной последовательности – замыкания контактов *13* и последующее замыкание контактов *9*.

Для согласования механической и тяговой характеристик используются упоры *1* и *2*. Оптимальное согласование характеристик осуществляется изменением положения упоров.

Изменение уставки тока срабатывания:

– грубое (изменение в два раза) – осуществляется путем различного (последовательного и параллельного) соединения обмоток *7* (на рис. 13.4 они соединены параллельно);

– плавное – осуществляется путем перемещения указателя уставки *11* по шкале уставок *12*.

Указатель уставки *11* соединен с пружиной *14* и при движении указателя пружина закручивается или ослабляется, поднимая или опуская тем самым механическую характеристику.

Данное реле может работать как на постоянном, так и на переменном токе. Для устранения вибраций якоря, возникающих на переменном токе, применяется гаситель колебаний *5*, в котором энергия колебаний затрачивается на работу трения песчинок.

Гаситель колебаний (демпфер) *5* устраняет и вибрации контактов при включении (дребезг контактов).

Общий вид реле серии РТ-40 представлен на рис. 13.5.

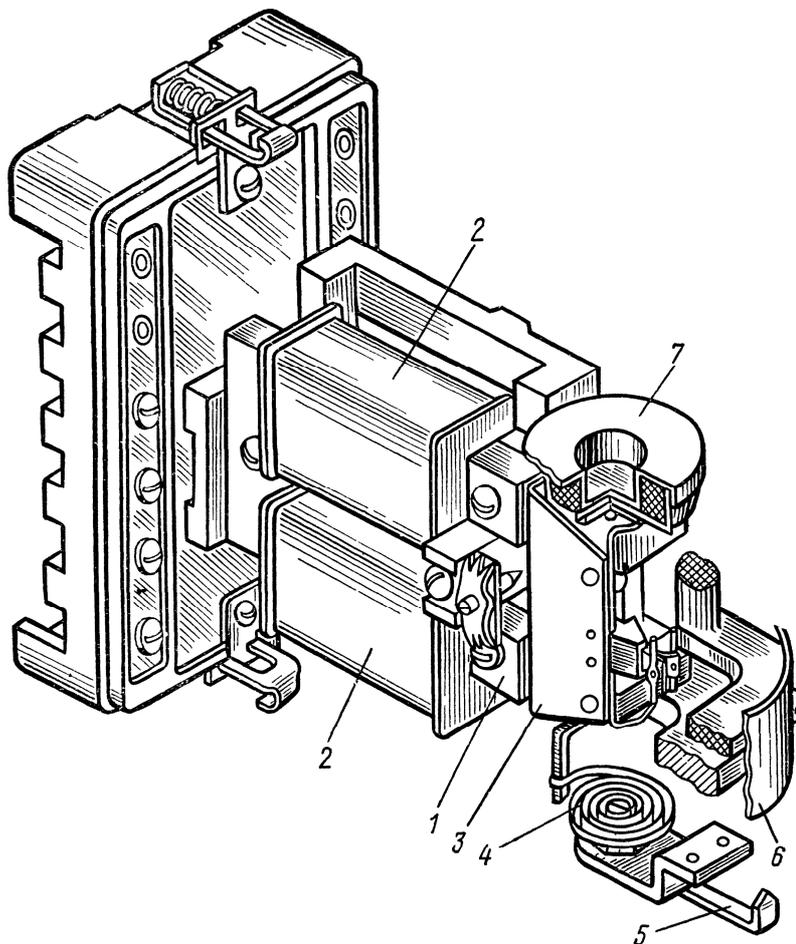


Рис. 13.5. Электромагнитное реле серии РТ-40

На базе реле РТ-40 разработаны реле напряжения серии РН-50. Они отличаются от реле тока следующим:

- 1) обмоточными данными – большим числом витков обмоток с меньшим поперечным сечением провода обмоток;
- 2) отсутствием гасителя колебаний 5. Так как ток в обмотках относительно невелик, то для уменьшения вибраций якоря применяется выпрямительная схема.

В настоящее время промышленностью выпускаются реле напряжения серии РН и реле тока серии РТ, основные данные которых приведены ниже.

Реле напряжения

Реле напряжения РН-50. Реле максимального и минимального напряжения электромагнитное (П-образный шихтованный сердечник

с поворотным якорем).

Обмотки реле через выпрямительный мост подсоединяются к сети переменного тока. Изменение уставки осуществляется поворотом рычага и закручиванием спиральной пружины.

Номинальное напряжение реле – от 30 до 400 В.

Пределы изменения уставки на срабатывание: 15 ÷ 60 В при номинальных напряжениях реле 30 и 60 В; 50 ÷ 200 В при 100 и 200 В; 100 ÷ 400 В при 200 и 400 В.

Коэффициент возврата 0,8.

Собственное время срабатывания реле – не более 0,15 сек. при снижении напряжения до 0,8 номинального.

Реле напряжения РН-51 предназначено для применения в схемах контроля изоляции цепей постоянного тока напряжением до 220 В. Реле имеет один замыкающий контакт.

Реле максимального напряжения РН-53 предназначено для применения в качестве измерительного органа, реагирующего на повышение напряжения. Реле имеет один замыкающий и один размыкающий контакты.

Реле минимального напряжения РН-54 предназначено для применения в качестве измерительного органа, реагирующего на понижение напряжения. Реле имеет один замыкающий и один размыкающий контакты.

Реле сдвига фаз РН-55 или контроля синхронизма. Реле электромагнитное. Его магнитная система состоит из П-образного магнитопровода и поворотного якоря. Реле реагирует на геометрическую разность векторов напряжения, подводимых к выводам.

Применяют в схемах автоматического повторного включения линий электропередачи с двусторонним питанием для контроля наличия напряжения на линии и угла сдвига фаз между векторами напряжения на линии и шинах подстанции.

Исполняются на напряжения от 30 до 100 В.

Реле срабатывает при углах сдвига фаз между векторами напря-

жения в пределах от 20 до 40° при номинальном напряжении. Коэффициент возврата по углу до 0,8 при номинальном напряжении. Время срабатывания 0,15 сек. при угле сдвига фаз равно полуторакратному значению уставки.

Потребляемая мощность каждой обмотки при номинальном режиме (номинальное напряжение и нулевой сдвиг фаз) – 6,5 ВА.

Коммутируемые мощности: постоянный ток – 60 Вт при напряжении до 220 В и ток до 2 А (постоянная времени до 0,05 сек.); переменный ток – 300 ВА при напряжении до 220 В и токе до 3 А.

Реле имеют две обмотки напряжения, один замыкающий и один размыкающий контакты.

Реле максимального напряжения РН-153 и РН-154 предназначены для применения в качестве измерительного органа, реагирующего на повышение напряжения. Реле имеет один замыкающий и один размыкающий контакты.

Реле напряжения обратной последовательности РНФ-1М предназначены для защиты различных электрических установок при несимметричных коротких замыканиях.

Реле имеет один замыкающий и один размыкающий контакты.

Реле напряжения нулевой последовательности РНН-57. Используется в схемах поперечных дифференциальных защит, дистанционных защит с высокочастотной блокировкой в качестве реле максимального напряжения. Уставки напряжения реле – 4, 5, 6, 7 и 8 В, время срабатывания – 0,04 сек. при двукратном токе уставки.

Реле напряжения обратной последовательности РНФ-3. Предназначено для использования в схемах защиты в качестве органа, реагирующего на напряжение обратной последовательности при возникновении несимметричных коротких замыканий

Уставки линейного напряжения обратной последовательности – $13,6 \div 24$ В. Коэффициент возврата – 0,95.

Реле тока

Реле тока максимальное типа РТ-40. Реле электромагнитного

принципа действия (П-образный шихтованный сердечник и Г-образный якорь, имеет две обмотки управления, которые могут соединяться последовательно или параллельно в зависимости от требуемого тока срабатывания). Диапазон уставок тока срабатывания – от 0,05 до 200 А. Коэффициент возврата – от 0,7 до 0,85. Время срабатывания – не более 0,1 сек. при токе, равном 1,2 тока срабатывания, и не более 0,03 сек. при токе, равном 3-кратному току срабатывания.

Параметры реле тока

Реле максимального тока РТ-40, РТ-140 применяются в качестве измерительных реле в схемах релейной защиты реле тока серий РТ-40 и РТ-140, выпускаются в унифицированном корпусе «СУРА» и приспособлены для переднего или заднего (под винт) присоединения внешних проводников.

Коэффициент возврата реле – не менее 0,85 на первой уставке и не менее 0,8 на остальных уставках шкалы. Реле имеет один замыкающий и один размыкающий контакты. Номинальная частота тока – 50 и 60 Гц. Габаритные размеры реле типа РТ-40 – 67×128×158 мм; реле типа РТ-140 – 95×140×181 мм. Масса реле – не более 0,85 кг.

Примечание: дополнительный материал для самостоятельного изучения по поляризованным и герконовым реле представлен в приложении 3.

Лекция №14

АППАРАТЫ ТЕПЛОВОЙ, ТЕМПЕРАТУРНОЙ И ТОКОВОЙ ЗАЩИТЫ. ТЕПЛОВОЕ РЕЛЕ. УСТРОЙСТВО, ХАРАКТЕРИСТИКИ. РЕЛЕ ВРЕМЕНИ

ТЕПЛОВЫЕ РЕЛЕ

Тепловые реле основаны на принципе изменения физических свойств тел при их нагревании электрическим током или другими ис-

точниками тепла. Они срабатывают при определённой температуре нагрева основного чувствительного элемента.

В качестве основного чувствительного к температуре элемента применяют материалы с изменяющимся электрическим сопротивлением, материалы с различными коэффициентами линейного расширения, «термобиметаллы» и др.

Нагрев элемента осуществляется электрическим током, протекающим непосредственно в элементе, в специальном нагревательном элементе, специальным устройством или окружающей средой.

Тепловые реле являются основными представителями термических реле, к которым относятся реле, работающие в функции температуры окружающей среды – термореле, термостаты и др.

В качестве нагреваемых тел – рабочих органов тепловых реле – наибольшее применение получили биметаллические механизмы с непосредственным, косвенным или комбинированным нагревом. В конструкциях этих реле биметаллический механизм, нагреваясь под действием тепла, выделяемого в нем или в специальном нагревательном элементе, воздействует на контакты реле, замыкая или размыкая их.

Тепловые реле имеют исполнения: токовые реле для защиты при перегрузках и токах короткого замыкания, пусковые реле в функции тока, реле времени.

К тепловым реле относятся терморасцепители, входящие в конструкции автоматических воздушных выключателей, где они удерживают рычажную систему в рабочем положении во включенном положении выключателя, а при соответствующей деформации биметалла освобождают ее от зацепления и выключатель отключается.

Тепловые реле с биметаллическими механизмами в большинстве случаев предназначаются для защиты электрических установок, главным образом электрических машин, от недопустимого перегрева при длительных перегрузках. Защитное действие реле обеспечивается тем, что ток защищаемого объекта, проходя по реле, нагревает биметаллический механизм; в тот момент, когда температура защищаемо-

го объекта (обмотки машины и др.) достигнет предельно допустимой величины, биметаллический механизм должен нагреться до температуры срабатывания, то есть до температуры, при которой реле замыкает или размыкает свои контакты. Время срабатывания реле начиная с момента появления нагрузки зависит от начальной температуры, величины тока и от конструкции реле.

Основным рабочим элементом тепловых реле являются биметаллические или, точнее, термобиметаллические пластины или спирали.

Биметаллический элемент представляет собой жёсткое соединение двух металлов с разными коэффициентами линейного расширения α_1 и α_2 . Если $\alpha_2 > \alpha_1$, то при нагреве такой элемент изгибается в сторону металла с меньшим значением α .

Такая конструкция имеет значительно большую деформацию и, следовательно, большую чувствительность по сравнению с отдельной пластиной при том же изменении температуры.

Так, латунная пластина длиной 100 мм при нагреве до 100 °С удлинится на 0,18 мм. Прогиб такой же пластины, выполненной в виде биметалла со стальной пластиной равной толщины, составляет при том же нагреве 17 мм, т.е. почти в 100 раз больше, причём этот выигрыш в чувствительности достигается без дополнительных передаточных звеньев, усложняющих конструкцию. Благодаря исключительной простоте конструкции, высокой устанавливающей силе и чувствительности, биметалл (термобиметалл) находит весьма широкое применение в электроаппаратостроении.

Появление биметалла относится к началу XIX века, когда впервые был изготовлен биметаллический термометр в виде спирали со стрелочным указателем, приспособленным также и для записи температуры.

Для увеличения работоспособности биметалла, его компоненты должны иметь высокое значение модуля упругости E на растяжение и сжатие. Работоспособность биметалла определяется зависимостью:

$$A = \int_0^Q Q \cdot dl,$$

где Q – сила, развиваемая биметаллом при его тепловой деформации,

dl – элементарная деформация биметалла.

Напряжение сжатия и растяжения в биметалле определяется выражением

$$\sigma = \frac{Q}{q} = E \cdot \varepsilon,$$

и величина ε определяется следующим соотношением:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l},$$

где σ – напряжение растяжения или сжатия в биметаллах,

ε – относительная деформация биметалла,

Δl – удлинение биметалла,

то есть

$$dl = l \cdot d\varepsilon.$$

Из представленных выражений и интегрирования работоспособность биметалла

$$A = \frac{E \cdot \varepsilon^2}{2} \cdot q \cdot l.$$

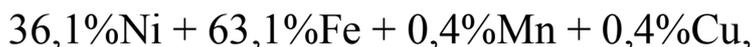
Из этой зависимости следует, что значение A тем больше, чем выше модуль упругости компонентов биметалла при прочих равных условиях.

Термобиметалл состоит из двух компонентов: пассивного с относительно малым значением α_1 и активного с большим значением α_2 . Для получения максимальной деформации необходимо, очевидно, иметь наибольшее значение разности $\alpha_1 - \alpha_2$.

До начала XIX века термобиметалл изготавливался путем спайки или склепки различных металлов, чаще всего стали с цинком или стали с медью. Такой биметалл мог работать в малом диапазоне температур и имел низкую работоспособность.

Широкое распространение термобиметалла связано с появлением никелевых сталей, имеющих высокие механические качества, и усовершенствованием технологии изготовления биметалла. Коэффициент линейного расширения стали зависит от содержания в ней никеля. В качестве пассивного слоя обычно применяется сталь с содержанием никеля от 36 до 46%. Наибольшее распространение имеет сплав

с содержанием



имеющий $\alpha = 1 \cdot 10^{-6}$; $1/^\circ C$. При уменьшении содержания никеля до 25% коэффициент линейного расширения возрастает до $\alpha = 18 \cdot 10^{-6}$.

В качестве активного слоя могут применяться как черные, так и цветные металлы и их сплавы.

Чистое железо применяется редко из-за малого значения коэффициента линейного расширения и низкого модуля упругости. Наиболее часто применяются никель-молибденовые стали



с рабочей температурой $400 \div 500 \text{ }^\circ C$ и



с рабочей температурой $150 \div 350 \text{ }^\circ C$, для этих сталей $L=(18 \div 19) \cdot 10$, $1/^\circ C$; модуль упругости $E=(20 \div 24) \cdot 10 \text{ кг/мм}$.

В качестве цветных металлов для изготовления активного слоя применяются никель и сплавы на медной основе: латунь, бронзы, томпак, монель-металл.

В нашей стране в основном применяются следующие марки термобиметалла:

1) инвар-маломагнитная сталь (ИС) применяется при рабочей температуре до $170 \text{ }^\circ C$. Компоненты имеют высокие механические свойства. Этот термобиметалл имеет высокое удельное сопротивление $\rho=0,8 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}}{\text{м}}$, что позволяет осуществлять прямой подогрев;

2) инвар-томпак (ИТ) – максимальная допустимая температура до $100 \text{ }^\circ C$. Имеет низкое ρ , что требует косвенного подогрева;

3) существуют марки термобиметаллов по номерам: N 1,2,3,4,5,6; применяемые в диапазоне температур от -60 до $+375 \text{ }^\circ C$.

Термобиметалл изготавливается следующим образом. Компоненты биметалла выплавляются в высокочастотной электрической печи и полученные слитки разрезаются на бруски размером

15×115×330 мм. С целью улучшения качества сварки производится электролитическое железнение брусков (толщина слоя 0,015 мм) и затем их сварка по периметру. Полученные таким образом биметаллические бруски нагреваются до температуры 1150 ÷ 1200 °С и прокатываются до толщины 3,5 мм. Полученный таким образом биметалл служит основной заготовкой и в дальнейшем прокатывается до требуемой толщины.

Основная способность биметалла – изменять свою форму под воздействием температуры – используется для производства многочисленных электрических аппаратов: реле тепловой защиты, реле указателей, автоматических ограничителей, терморегуляторов, автоматов и др.

Все многообразные биметаллические механизмы классифицируются по способу теплового воздействия, по выполняемым функциям и по конструктивной форме исполнения.

По способу теплового воздействия различают механизмы с непосредственным нагревом биметалла (рис. 14.1, *а*), косвенным (рис. 14.1, *б*) и комбинированным (рис. 14.1, *в*) нагревами. Часто ток на нагрев подается через промежуточный трансформатор.

По конструктивным исполнениям и функциям выполнения устройства с термобиметаллом весьма многообразны:

1. Механизм с биметаллической защелкой (рис. 14.2).

Находит применение в автоматах, пускателях и др. Принцип действия основан на освобождении нагретым биметаллическим элементом оттягиваемого пружиной контакта. В этом случае биметалл совершает только минимальную работу, необходимую для освобождения контакта, всю остальную работу выполняет вспомогательный привод. Возврат механизма в исходное положение чаще совершается вручную.

2. Механизм теплового реле времени (рис. 14.3).

Биметаллический механизм используется для получения определенной выдержки времени. Принцип действия заключается в следующем.

Биметаллическая пластина, неподвижно закрепленная с одного конца, несет на другом конце небольшой стальной якорек с подвиж-

ным контактом (см. рис. 14.3). В холодном состоянии якорек притягивается и удерживается небольшим постоянным магнитом. При нагревании током биметаллическая пластина развивает усилие, которое стремится оторвать якорек от полюсов магнита. При температуре срабатывания, наступающей через некоторое время после включения тока, усилие пластины преодолевает притяжение магнита и пластина скачком переходит в нижнее положение, замыкая контакты. Выдержка времени может в некоторых пределах регулироваться током биметаллического элемента или нагревателя. Возврат реле в исходное положение происходит автоматически, через промежуток времени, необходимый для охлаждения машины.

3. Измерительный орган регулятора температуры (рис. 14.4).

Биметаллическая пластина касается концом изоляционного штифта, укрепленного на плоской пружине, несущей подвижный контакт. При повышении температуры окружающей среды биметаллическая пластина изгибается вверх и размыкает контакты регулятора. Этот механизм регулятора имеет медленное размыкание контактов, незначительную скорость их движения и непостоянство контактного давления при включенном положении регулятора, что приводит к искрению в контактах, привариванию и быстрому выходу их из строя.

4. Биметаллический термометр (рис. 14.5).

Биметаллический термометр представляет собой одно из первых применений биметалла. Этот термометр по сравнению с ртутным имеет следующие преимущества:

- а) наличие круговой шкалы со стрелкой, что позволяет делать дистанционные измерения;
- б) отсутствие хрупких частей, что позволяет использовать его в тяжелых производственных условиях.

Биметаллический термометр представляет собой биметаллическую ленту, свернутую в виде плоской или винтовой спирали (рис. 14.5, а, б). Недостатком плоской спирали является смещение её центра при закручивании, что усложняет форму шкалы. Недостаток винтовой спирали – большой габарит прибора.

5. Механизм с «прыгающим» контактом (рис. 14.6).

Этот механизм используется для ускорения размыкания и замыкания контактов. Принцип действия заключается в использовании усилия дополнительной плоской пружины, шарнирно закрепленной с одного конца в неподвижной опоре, а с другого – на биметаллической пластине. Благодаря этому не нагретая биметаллическая пластина всегда прижимается к неподвижному контакту с некоторым постоянным усилием. По мере нагревания пластина развивает усилие, направленное к противоположному упору, а при температуре срабатывания преодолевает усилие пружины и скачком переходит в крайнее правое положение и размыкает контакты.

6. Механизм с «прыгающей» биметаллической пластиной (рис. 14.7).

Используется для создания постоянного контактного давления. Биметаллическая пластина упирается и призматические опоры В и С, одна из которых (В) неподвижна, а другая (С) может поворачиваться в шарнире О. В холодном состоянии биметаллическая пластина слегка выгнута вверх и используется для создания постоянного контактного давления. Биметаллическая пластина упирается в призматические опоры В и С, одна из которых (В) неподвижна, а другая (С) может удерживаться пружиной П, которая прижимает подвижную опору С к упору А. При нагревании биметаллическая пластина изгибается вниз. При температуре срабатывания она скачком переходит в нижнее, также выгнутое положение, встречает штифт размыкающего контакта и размыкает контакты. После остывания пластина также скачком возвращается в исходное положение и контакты замыкаются. В этой конструкции контактное давление остается неизменным до момента размыкания контактов.

7. Механизм В.В. Алексеевского (рис. 14.8).

Механизм представляет собой оригинальную конструкцию с «прыгающей» контактной группой.

Биметаллический элемент выполнен в виде плоской пластины *1*, конец которой закреплен неподвижно, а другой может перемещаться

между упорами 4 и 5 (рис. 14.8). В холодном состоянии пластина удерживается у верхнего упора плоской изогнутой пружинной рессоркой 2, которая одновременно прижимает к нижнему контактному колодку 3, несущую контакты. На концах рессорки имеются специальные просечки, которыми она надевается на соответствующие выступы пластины и колодки. Благодаря этому рессорка может свободно поворачиваться вокруг опорных ребер биметаллической пластины и колодки.

Нагревание биметаллической пластины может быть косвенным, непосредственным или комбинированным. Усилие, развиваемое при этом пластиной, направлено противоположно удерживающему усилию рессорки.

При некоторой температуре пластины её усилие F_B становится больше удерживающего усилия F_H , создаваемой рессоркой, и пластина отходит от верхнего упора. При этом и усилие рессорки и усилие биметаллической пластины F_B будут уменьшаться, но выключающее усилие механизма $F_B - F_H$ может быть получено возрастающим, вследствие чего биметаллическая пластина, отойдя от верхнего упора, обязательно дойдет до нижнего упора.

В зависимости от конкретного назначения механизма можно выбрать усилие рессорки и положение упоров такими, что его возвращение будет автоматическим или ручным.

Этот механизм успешно используется в ряде электрических аппаратов: автоматических предохранителях, тепловых реле и многих других.

Одной из основных характеристик тепловых реле является токовременная характеристика, представляющая зависимость времени срабатывания реле от тока, протекающего через него. Обычно для удобства сравнения этих характеристик между собой, ток реле выражают в относительных единицах – в виде отношения тока реле I к допускаемому току I_H , то есть

$$t = f\left(\frac{I}{I_H}\right).$$

Под допустимым током I_H понимается такой ток, длительное протекание которого через реле не приводит к срабатыванию его при заданной неизменной температуре окружающей среды и выбранной уставке.

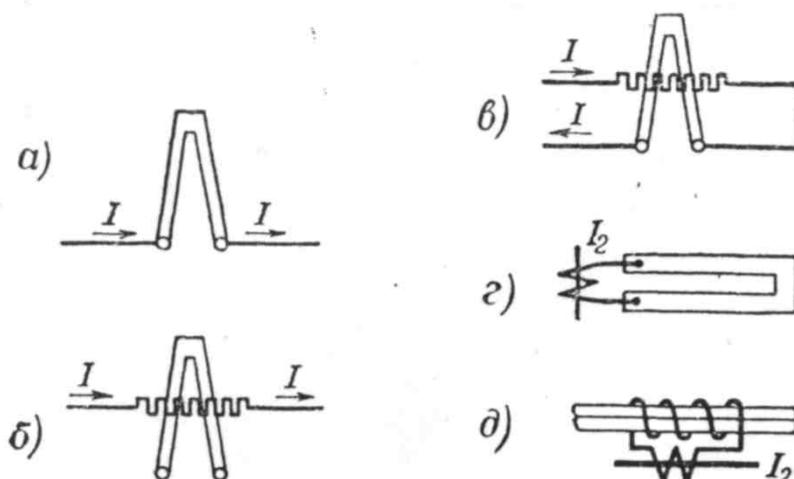


Рис. 14.1. Способы нагрева биметалла

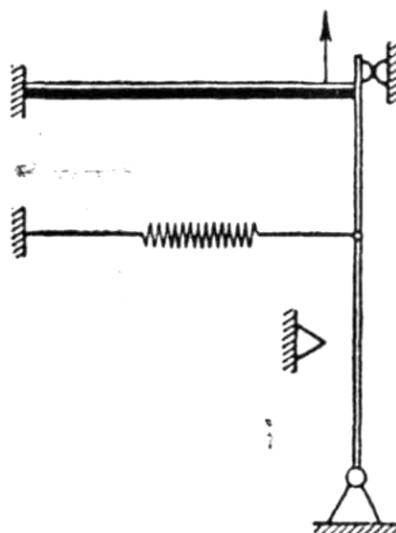


Рис. 14.2. Механизм с биметаллической защелкой

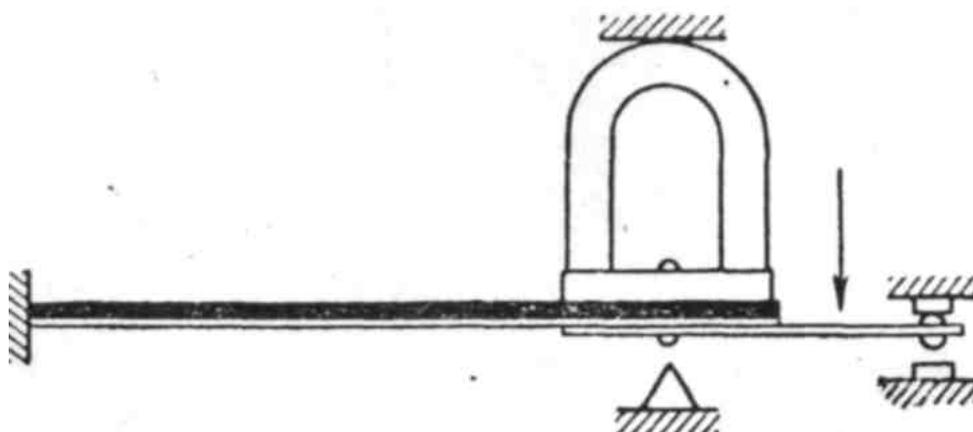


Рис. 14.3. Механизм теплового реле времени

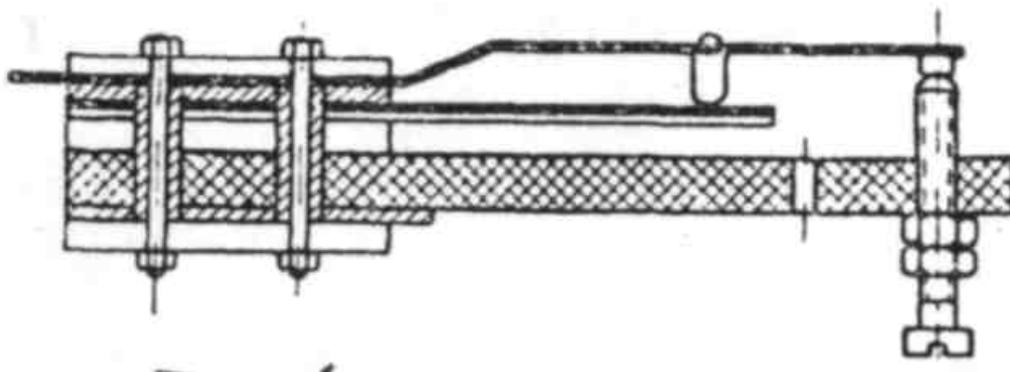


Рис. 14.4. Измерительный орган регулятора температуры

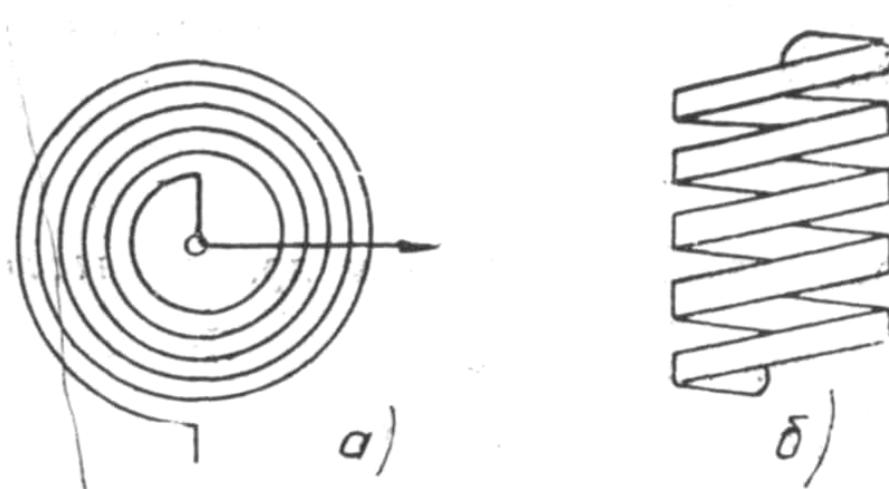


Рис. 14.5. Биметаллический термометр



Рис. 14.6. Механизм с «прыгающим» контактом

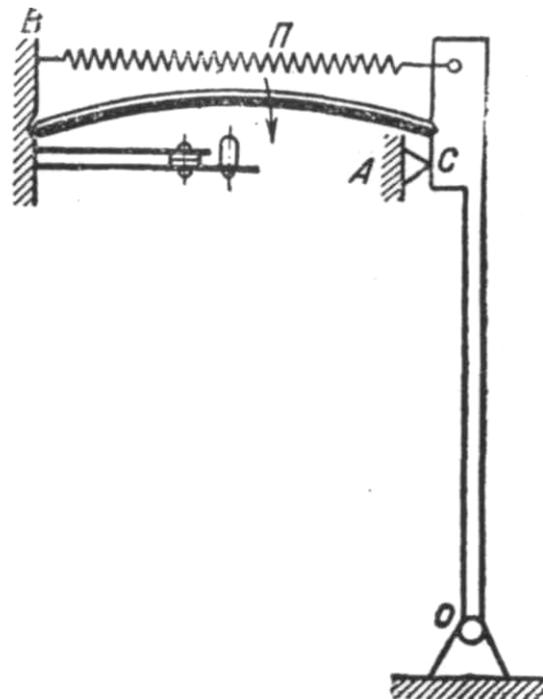


Рис. 14.7. Механизм с «прыгающей» биметаллической пластиной

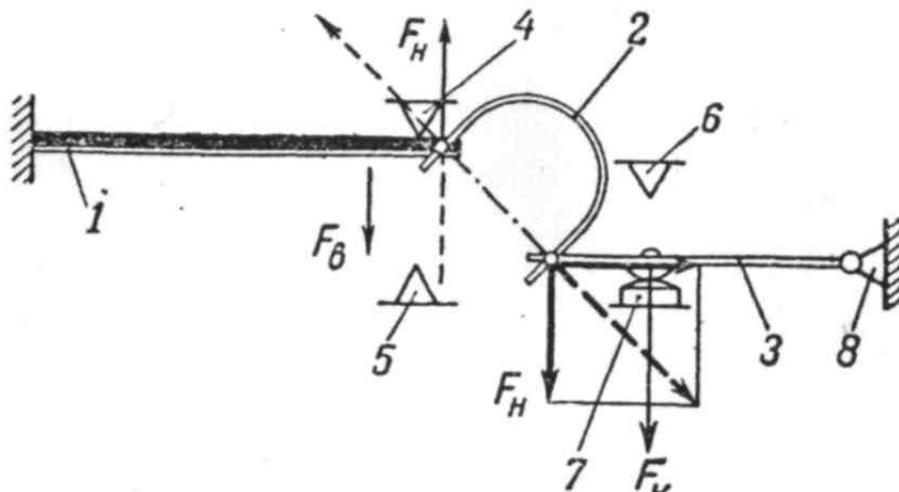


Рис. 14.8. Механизм В.В. Алексеевского

На рис. 14.9 представлены типовые токовременные характеристики тепловых реле, предназначенных для защиты электрических машин от перегрузок.

Тепловые реле, защищающие электрические машины от перегрузок, должны иметь определенные токовременные характеристики, отвечающие следующим основным требованиям:

а) промежуток времени отключения при перегрузках должен быть таким, в течение которого перегрев защищаемой машины не превышает допустимой величины;

б) время срабатывания реле не должно быть слишком мало, с тем чтобы полнее использовать перегрузочную способность защищаемой машины;

в) должна быть предусмотрена возможность прямого пуска от сети асинхронных двигателей.

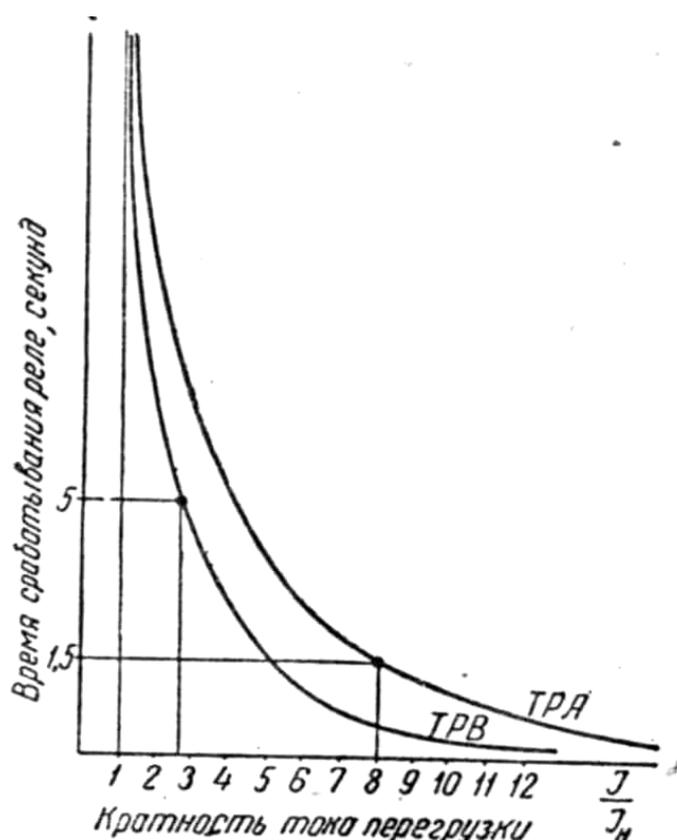


Рис. 14.9. Типовые токовременные характеристики тепловых реле ТРА и ТРВ, снятые от «холодного» состояния реле

Для надежной защиты электрической машины от перегрузок необходимо, чтобы токовременная характеристика реле как можно ближе располагалась к тепловой (перегрузочной) характеристике машины, проходя ниже и не пересекаясь с ней.

Существенным недостатком тепловых реле является зависимость их характеристик от температуры окружающей среды. Такая зависимость может привести к тому, что, например, при температуре

80 ÷ 90 °С реле может сработать даже при отсутствии тока. Поэтому для получения благоприятной защитной характеристики необходимо, чтобы температура окружающей среды для защищаемого объекта (электрической машины) и для реле совпадала, или чтобы биметаллический механизм реле работал при более высоких температурах – порядка 110 ÷ 120 °С.

Среди конструкций тепловых реле с биметаллом наибольшее распространение получили реле с биметаллическими пластинами. Так, на рис. 14.10 схематично представлено устройство теплового реле с биметаллической пластинкой. При нагреве от обтекаемого током элемента 2 биметаллическая пластинка 1 изгибается. При определенной температуре (температуре срабатывания) пластинка изгибается настолько, что освобождает защелку 3 подвижного контакта, который под действием пружины 4 поворачивается и размыкает контакты 5 реле. Реле же не имеет самовозврата, возврат контактов ручной, осуществляется кнопкой 6 и может быть произведен только после достаточного остывания биметаллической пластинки (через 15 ÷ 90 сек.). Нагревательный элемент является сменным, и настройка реле осуществляется подбором соответствующего элемента. Так, для реле ТТ-10, 11, 12 имеется 54 стандартных нагревательных элемента на токи от 0,6 до 150 А.

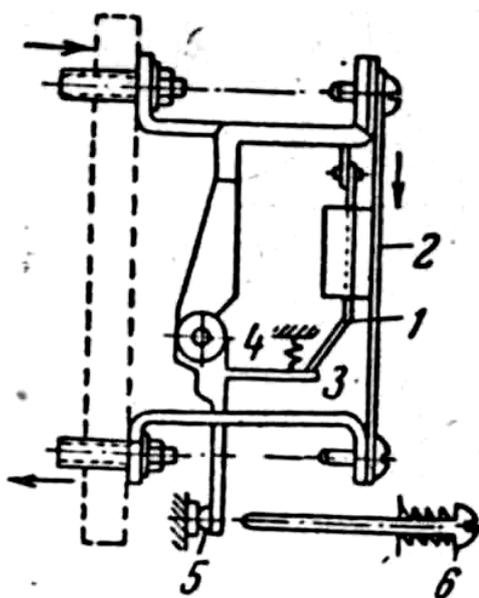


Рис. 14.10. Схема устройства реле ТТ-10

В большинстве случаев такие тепловые реле не обеспечивают защиты от токов короткого замыкания, и их нагревательные элементы могут перегореть от токов короткого замыкания до того, как реле сработает. Имеются конструкции тепловых реле со встроенными электромагнитными элементами, срабатывающими без выдержки времени от токов короткого замыкания.

Некоторые конструкции реле, встраиваемые в магнитные пускатели, снабжаются регулировочными устройствами, предназначенными для компенсации производственных отклонений. Такими являются реле типа РТ.

Современные электротепловые токовые реле РТЛ-1000 и РТЛ-2000 предназначены для защиты трехфазных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором от перегрузок недопустимой продолжительности и от токов, возникающих при выпадении одной из фаз. Применяются в схемах управления электроприводами переменного тока с $f = 50; 60$ Гц, напряжением до 660 В и постоянного тока – до 440 В. Реле пригодны в системах управления с применением микропроцессорной техники.

Различные типы РТЛ-1000 с номинальным током 25 А позволяют иметь регулируемый ток несрабатывания от $(0,1 \div 0,17) I_N$ в реле типа РТЛ-1001 до $(18 \div 25) I_N$ в реле РТ2053 до $(86 \div 663) I_N$ в реле РТЛ-2063 I_N .

Примечание: дополнительный материал для самостоятельного изучения по аппаратам тепловой, температурной и токовой защиты представлен в приложении 4.

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ РЕЛЕ ВРЕМЕНИ

Общие сведения

В схемах защиты и автоматики часто требуется выдержка времени между срабатыванием двух или нескольких аппаратов. При автоматизации технологических процессов также может возникнуть необходимость в определенной временной последовательности операций. Для создания выдержки времени служат электрические аппараты, называемые реле времени.

Общими требованиями для реле времени являются:

а) стабильность выдержки времени при колебаниях напряжения, частоты питания, температуры окружающей среды и воздействии других факторов;

б) малые потребляемая мощность, масса и габариты. Возврат реле в исходное положение происходит, как правило, при его обесточивании. Поэтому коэффициент возврата может быть очень низким.

В зависимости от назначения к реле времени предъявляются различные специфические требования. Для схем автоматического управления электроприводом при большой частоте включений требуются реле с высокой механической износостойкостью – до $(5 \div 10) \cdot 10^6$ срабатываний. Требуемые выдержки времени находятся в пределах $0,25 \div 10$ сек. К этим реле не предъявляются требования относительно высокой стабильности выдержки времени. Разброс времени срабатывания может достигать 10%. Реле должны работать в производственных условиях при наличии интенсивных механических воздействий.

Реле для защиты энергосистем должны иметь большую точность выдержки времени. Эти реле работают относительно редко, поэтому к ним не предъявляются особые требования по износостойкости. Износостойкость реле времени защиты – порядка $(5 \div 10) \cdot 10^3$ срабатываний. Выдержки времени таких реле составляют $0,1 \div 20$ сек.

Для автоматизации технологических процессов необходимы реле с большой выдержкой времени – от нескольких минут до нескольких часов. В этом случае, как правило, используются моторные реле времени. В настоящее время созданы также полупроводниковые реле с таким же большим диапазоном выдержки времени.

РЕЛЕ ВРЕМЕНИ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ЗАМЕДЛЕНИЕМ

а) **Устройство реле и влияние различных факторов на его работу.** Принцип электромагнитного замедления рассмотрен выше. Конструкция реле с таким замедлением типа РЭВ-800 (рис. 14.11) содержит П-образный магнитопровод 1 и якорь 2 с немагнитной прокладкой 3.

Магнитопровод укрепляется на плите 4 с помощью литого алюминиевого цоколя 5, на котором устанавливается контактная система 6.

На магнитопроводе установлена намагничивающая обмотка 7 и короткозамкнутая обмотка в виде овальной гильзы 8. Усилие возвратной пружины 9 изменяется с помощью регулировочной гайки 10, которая фиксируется шплинтом.

Для получения большой выдержки времени при отпускании необходима высокая магнитная проводимость рабочего и паразитного зазоров в замкнутом состоянии магнитной системы. С этой целью все соприкасающиеся детали магнитопровода и якоря тщательно шлифуются. Литой алюминиевый цоколь создает дополнительный короткозамкнутый виток, увеличивающий выдержку времени.

У реальных магнитных материалов после отключения намагничивающей обмотки поток спадает до $\Phi_{ост}$, который определяется свойствами материала магнитопровода, геометрическими размерами магнитной цепи и магнитной проводимостью рабочего зазора.

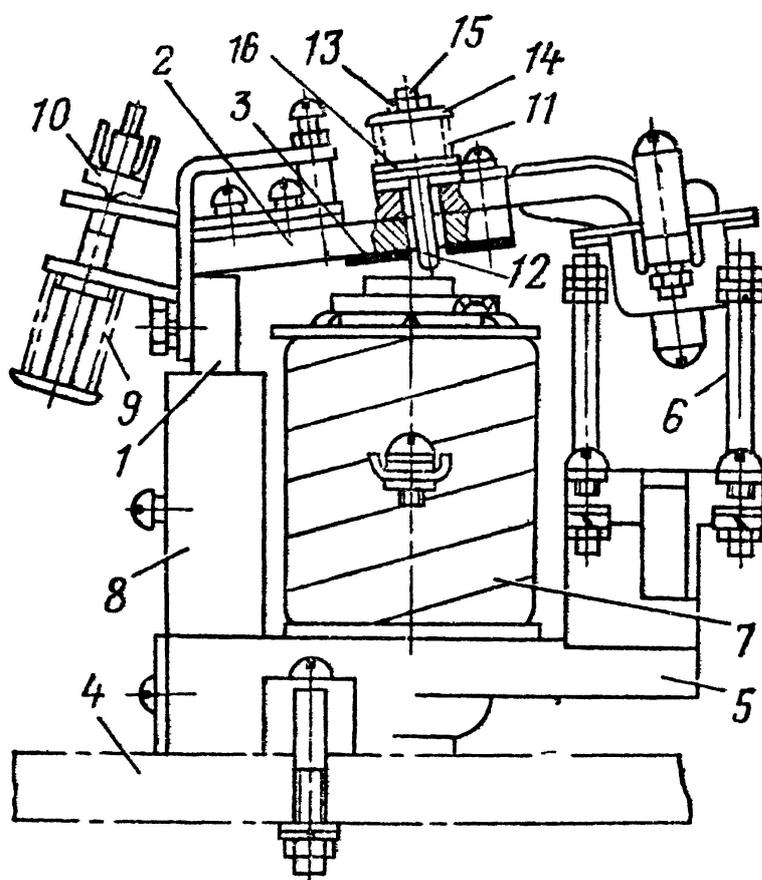


Рис. 14.11. Реле времени с электромагнитным замедлением

Чем меньше коэрцитивная сила магнитного материала при заданных размерах магнитной цепи и магнитной проводимости рабочего зазора, тем ниже остаточная индукция, а следовательно, и остаточный поток. При этом возрастает наибольшая выдержка времени, которая может быть получена от реле. Применение стали с низким значением H_c позволяет увеличить выдержку времени.

Выдержка времени при отпускании для насыщенной магнитной системы с короткозамкнутым витком или обмоткой может быть найдена с помощью формулы

$$t = -\frac{w^2}{R} \int_{\Phi_0}^{\Phi_{\text{отп}}} \frac{d\Phi}{iw},$$

где w – число витков короткозамкнутой обмотки; R – ее сопротивление; i – ток в короткозамкнутой обмотке; $\Phi_{\text{отп}}$ – значение магнитного потока, при котором происходит отпускание якоря; Φ_0 – установившееся значение магнитного потока в магнитопроводе при включенной намагничивающей обмотке; $i_1 w_1$ – МДС первичной обмотки. Можно показать, что для получения большой выдержки времени материал магнитопровода должен иметь высокую магнитную проницаемость на ненасыщенном участке кривой намагничивания.

б) Схемы включения реле. Время срабатывания реле с электромагнитным замедлением очень мало, так как постоянная времени мала из-за большого начального рабочего зазора, и трогание реле происходит при малом значении МДС обмотки. МДС трогания значительно меньше установившегося значения. Это время составляет $0,05 \div 0,2$ сек. при наличии короткозамкнутого витка и $0,02 \div 0,05$ сек. при его отсутствии. Таким образом, возможности электромагнитного замедления при срабатывании весьма ограничены. Поэтому используются специальные схемы включения электромагнитных реле (рис. 14.12).

Если необходима большая выдержка времени при замыкании контактов, то целесообразна схема с промежуточным реле K (рис. 14.12, *a*). Обмотка реле времени KT все время подключена к

напряжению через размыкающий контакт реле K . При подаче напряжения на обмотку K последнее размыкает свой контакт и обесточивает реле KT . Якорь KT отпадает, и его размыкающие контакты срываются с необходимой выдержкой времени, обусловленной временем срабатывания реле K и временем отпускания реле KT .

В схеме рис. 14.12, б роль короткозамкнутого витка играет сама намагничивающая обмотка, которая питается через резистор $R_{доб}$. Напряжение, приложенное к обмотке, должно быть достаточным для насыщения магнитной цепи при притяннутом якоре. При замыкании управляющего контакта S обмотка реле закорачивается и обеспечивается медленный спад потока в магнитной цепи. Отсутствие специальной короткозамкнутой обмотки позволяет все окно магнитопровода занять намагничивающей обмоткой и создать большой запас по МДС. При этом выдержка времени неизменна при снижении питающего напряжения на обмотке до $0,5U_{ном}$. Такая схема широко применяется в электроприводе. Обмотка реле включается параллельно ступени пускового реостата в цепи якоря. При закорачивании этой ступени обмотка реле замыкается, а его контакты с выдержкой времени включают контактор, шунтирующий следующую ступень пускового реостата.

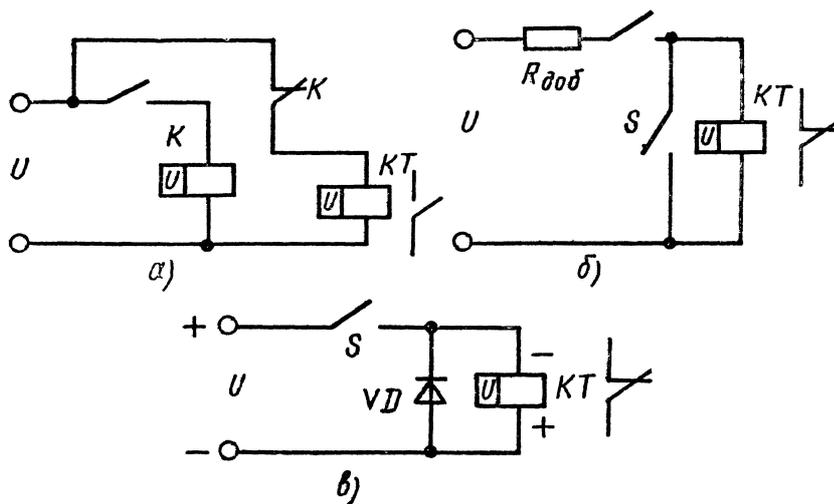


Рис. 14.12. Схемы включения реле с выдержкой времени

Применение полупроводникового вентиля также позволяет использовать реле без короткозамкнутого витка (рис. 14.12, в). При

включении обмотки ток через клапан практически равен нулю. При отключении управляющего контакта S ток в магнитной цепи падает и в обмотке наводится э.д.с. с полярностью, указанной на рис. 14.12, в. При этом через клапан протекает ток, определяемый этой э.д.с., активным сопротивлением обмотки и клапана и индуктивностью обмотки.

Для того чтобы прямое сопротивление клапана не приводило к уменьшению выдержки времени (растет активное сопротивление короткозамкнутой цепи), оно должно быть на один-два порядка ниже сопротивления обмотки.

При любых схемах обмотки реле питаются от источника либо постоянного, либо переменного тока с мостовой схемой выпрямления.

в) Регулирование выдержки времени. Время срабатывания реле можно плавно регулировать с помощью возвратной пружины 9 (см. рис. 14.12). С увеличением сжатия этой пружины увеличивается электромагнитное усилие, необходимое для трогания якоря и определяемое потоком в магнитной цепи. При большей сжатии пружины ток трогания возрастает. Следовательно, возрастает время трогания.

При разомкнутой магнитной цепи постоянная времени обмотки мала и максимальная выдержка времени также незначительна (около 0,2 сек.). Выдержка времени значительно увеличивается, если ток трогания близок к установившемуся значению. Однако в этом случае реле работает на пологой части кривой $\Phi(t)$, что вызывает большие разбросы времени срабатывания.

Для получения выдержки времени 1 сек. и более, необходимо использовать отпускание якоря. Регулировка выдержки реле при отпускании может производиться плавно и ступенчато (грубо).

Плавное регулирование выдержки времени производится изменением усилия пружины 11 (см. рис. 14.12). Эта пружина верхним концом упирается в шайбу 14, которая удерживается шпилькой 15, ввернутой в якорь реле. Нижний конец пружины посредством специальной пластины 16 передает силу через два латунных штифта 12,

которые могут свободно перемещаться в отверстиях якоря. Оси латунных штифтов 12 смещены относительно оси пружины. В притянутом положении якоря 2 штифты 12 перемещаются вверх и пружина 11 дополнительно сжимается. Пружина 11 создает основную силу, отрывающую якорь от сердечника. Начальное сжатие пружины изменяется с помощью гайки 13. С увеличением силы пружины 11 электромагнитное усилие, при котором происходит отрыв якоря, увеличивается и возрастает поток отпускания $\Phi_{\text{отп}}$. При этом время отпускания уменьшается (рис. 14.13). Чем меньше сила пружины, тем больше выдержка времени. Следует отметить, что при $\Phi_{\text{отп}}$, близком к $\Phi_{\text{ост}}$, якорь реле вообще может не отпадать от сердечника.

Возвратная пружина 9 регулируется так, чтобы обеспечить необходимое нажатие размыкающих контактов реле и четкий возврат якоря.

Грубое регулирование выдержки времени осуществляется изменением толщины немагнитной прокладки δ . Поскольку при притянутом якоре магнитная цепь насыщена, толщина немагнитной прокладки мало сказывается на установившемся потоке. С уменьшением толщины немагнитной прокладки $\delta_2 < \delta_1$ растет индуктивность катушки при ненасыщенном магнитопроводе и уменьшается скорость спада магнитного потока. В результате при неизменном усилии пружины 11 (см. рис. 14.12) выдержка времени увеличивается. Толщину немагнитной прокладки не рекомендуется брать менее 0,1 мм. В противном случае при повторно-кратковременном режиме работы якорь расклепывает немагнитную прокладку и толщина ее уменьшается, что ведет к изменению выдержки времени. При толщине прокладки $\delta \geq 0,1$ мм этим явлением можно пренебречь.

Следует отметить, что электромеханические реле времени достаточно просты по конструкции и обладают большой ударо-, вибро- и износостойкостью. Допустимое число включений достигает 600 в час. Они могут использоваться в схемах автоматики и электропривода как реле тока, напряжения и промежуточные. Коэффициент возврата их низок и составляет $0,1 \div 0,3$. Короткозамкнутые витки создают электро-

магнитное замедление как при притяжении, так и при отпускании якоря. Поэтому токовые реле с короткозамкнутым витком не реагируют на кратковременные перегрузки. При кратковременных перегрузках МДС обмотки пропорциональна этим перегрузкам.

Поток в магнитопроводе нарастает с постоянной времени T_K , определяемой параметрами короткозамкнутого витка L_K/R_K . Если перегрузка кратковременна и ее длительность $t_{\text{ПЕРЕГР}} < t_{\text{СРАБ}}$, то поток к моменту $t_{\text{ПЕРЕГР}}$ не достигнет значения потока срабатывания и якорь останется неподвижным. Если $t_{\text{ПЕРЕГР}} > t_{\text{СРАБ}}$, то реле сработает. Таким образом, предотвращается отключение нагрузки (двигателя) при больших, но кратковременных токовых перегрузках, не опасных для двигателя.

Промышленностью выпускаются многочисленные модификации реле с электромагнитным замедлением и выдержкой времени при отпускании $0,3 \div 5$ сек.

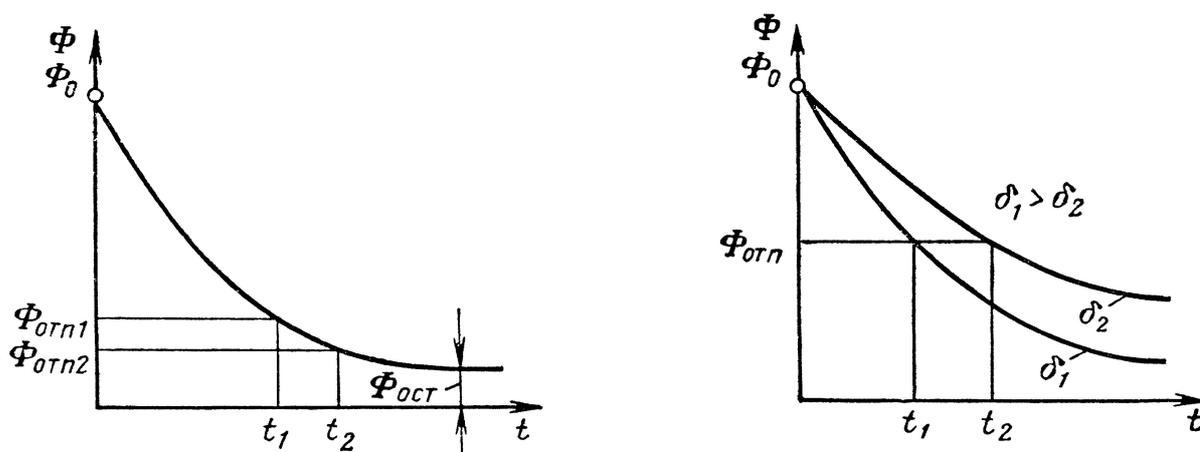


Рис. 14.13. Регулирование времени отпускания с помощью пружины и регулирование времени отпускания изменением немагнитного зазора

Современные реле имеют один или два унифицированных контактных узла. Каждый узел имеет один замыкающий и один размыкающий контакты с общей точкой. Постоянный ток включения контактов составляет 10 А при напряжении 110 В и 5 А при 220 В. Ток отключения для индуктивной нагрузки (катушки реле, контакторов) составляет 0,2 А, для активной – 0,5 А.

Реле с электромагнитным замедлением выполняют только на постоянном токе путем замедления времени нарастания магнитного потока при срабатывании реле и времени спада тока при отпуске.

Реле с электромагнитным замедлением РЭ-100 – РЭ-570

Принцип электромагнитного замедления используется в ряде конструкций реле (реле типа РЭ-100, РЭ-180, РЭ-500, РЭ-570 и др.). Реле типа РЭ имеют магнитную систему клапанного типа с короткозамкнутым витком (втулкой), и только реле РЭ-100 может выполняться и без короткозамкнутого витка. Эти реле выпускаются на напряжения 48, 110 и 220 В. Мощность, потребляемая обмотками, – $20 \div 25$ Вт.

При работе реле используется выдержка времени, даваемая ими при отпуске якоря. Для реле РЭ-100 и РЭ-500 может быть получена выдержка порядка $0,25 \div 0,9$ сек. Для реле РЭ-180 и РЭ-560 выдержка времени составляет $1 \div 3$ и $3 \div 5$ сек.

Собственное время притяжения якоря реле при наличии короткозамкнутого витка – примерно в 3 раза больше, чем без него.

Лекция №15

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ РЕЛЕ. УСТРОЙСТВО, ПАРАМЕТРЫ

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ РЕЛЕ

а) Общие сведения. Полупроводниковые реле в отношении быстродействия, чувствительности, селективности и надежности превосходят электромагнитные. В ряде случаев полупроводниковые реле обладают характеристиками, которые невозможно получить с помощью электромагнитных реле.

Полупроводниковые реле защиты содержат измерительный орган и логическую часть. В измерительном органе непрерывные входные величины преобразуются в дискретный выходной сигнал. Дискретный выходной сигнал поступает на вход логической части, выдающей управляющий сигнал чаще всего на электромагнитное реле.

Измерительный орган полупроводникового реле тока обычно имеет на входе трансформатор тока, нагруженный на малое активное сопротивление. Напряжение на этом сопротивлении пропорционально первичному току в контролируемой сети.

В измерительных органах используются следующие три принципа:

1) сравнение однородных физических величин, например напряжений. В момент равенства измеряемого и опорного напряжений на выходе появляется нулевой сигнал, который приводит к срабатыванию нуля-органа. На выходе появляется дискретный сигнал. Регулируя опорное напряжение, можно менять уставку срабатывания. Реализация такого принципа показана на рис. 15.1. Выпрямленный сигнал, пропорциональный напряжению или току, подается на мост $R1, R2, R3, VD1$. В момент равенства напряжений на $R2$ и $VD1$ на выходе моста появляется нулевой сигнал, который приводит в действие нуль-орган. Главным источником погрешности полупроводниковых реле является зависимость параметров полупроводниковых приборов от температуры. Поэтому в схемы вводится температурная компенсация. В данной схеме для температурной компенсации последовательно со стабилитроном $VD1$ включается в прямом направлении диод. С ростом температуры у стабилитрона падение напряжения растет, а у диода в проводящем направлении – падает;

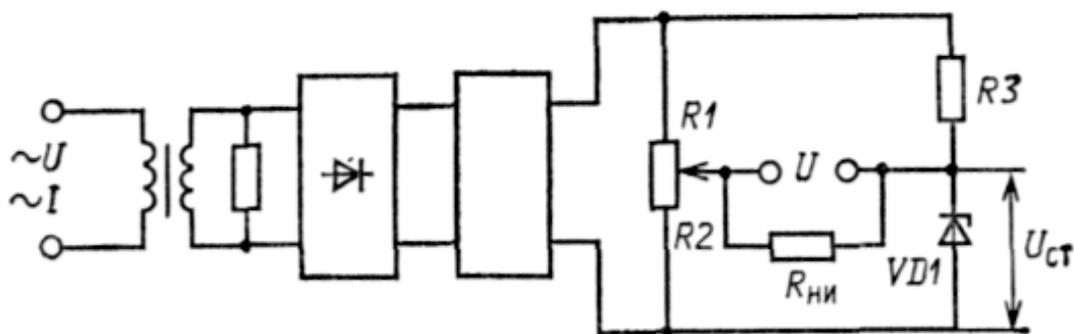


Рис. 15.1. Измерительный орган со стабилитроном

2) проявление физического эффекта, возникающего при определенном значении измеряемого напряжения, – скачок в нелинейной характеристике туннельного диода, релейная характеристика триггера Шмидта и др.;

3) преобразование непрерывного входного сигнала и опорного напряжения в цифровую форму. После этого производится сравнение входного сигнала с опорным напряжением. Обработка входного сигнала в цифровой форме может производиться по требуемому алгоритму вычислительного устройства. Последний принцип наиболее перспективен ввиду высокой универсальности и развития вычислительной техники.

Функциональная схема трехфазного полупроводникового реле тока представлена на рис. 15.2. Пропорциональные токам напряжения трех фаз подводятся к промежуточным трансформаторам $T1-T3$. Между первичной и вторичной обмотками установлен экран. На выходе трансформаторов включены нелинейные резисторы. Эти мероприятия защищают усилители ОУ от перенапряжений. Сигнал со вторичных обмоток трансформаторов, пропорциональный контролируемому току, подается на входы ОУ $A1-A3$. На эти же усилители подается опорное напряжение с резистора R . Входные и опорные напряжения сравниваются между собой. При их равенстве на выходе усилителей $A1-A3$ появляется выходной сигнал, который через элемент ИЛИ блок расширения импульса $A5$ и окончательный усилитель $A4$ подается на исполнительный орган. В блоке $A5$ кратковременный импульс преобразуется в импульс большей длительности. Светоизлучающие диоды $VD1-VD3$ сигнализируют о фазе, в которой произошла перегрузка.

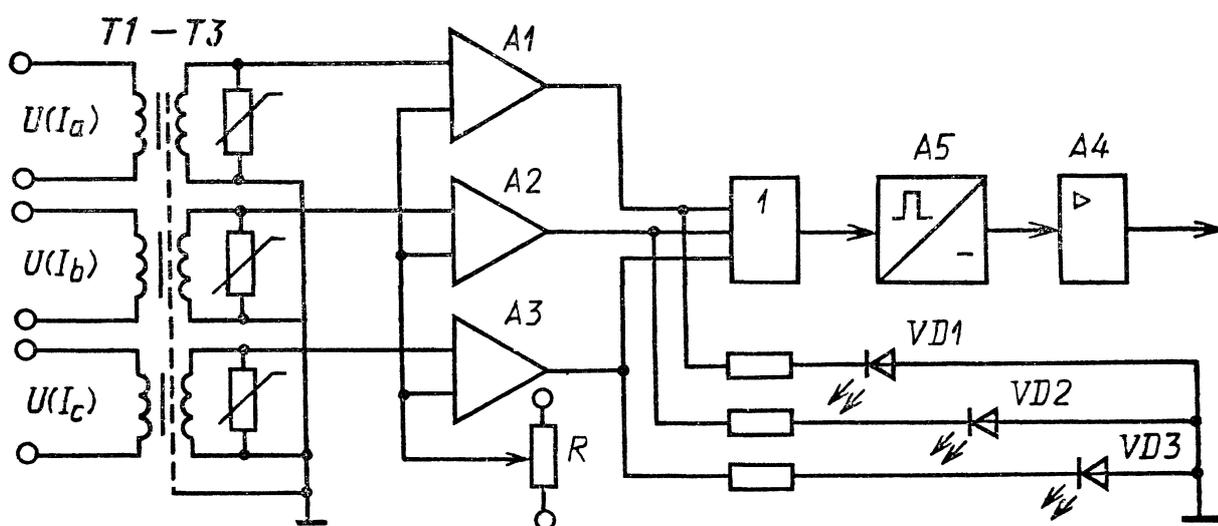


Рис. 15.2. Трехфазное полупроводниковое реле тока

Для того чтобы схема не реагировала на кратковременные и без-опасные для защищаемой цепи перегрузки, вводится выдержка вре-мени (рис. 15.3). Для этого один сигнал с элемента ИЛИ подается на элемент И непосредственно, второй – с выдержкой времени, опреде-ляемой цепочкой $R1, C1$. Сигнал на выходе реле появляется только тогда, когда на элемент И придут оба сигнала.

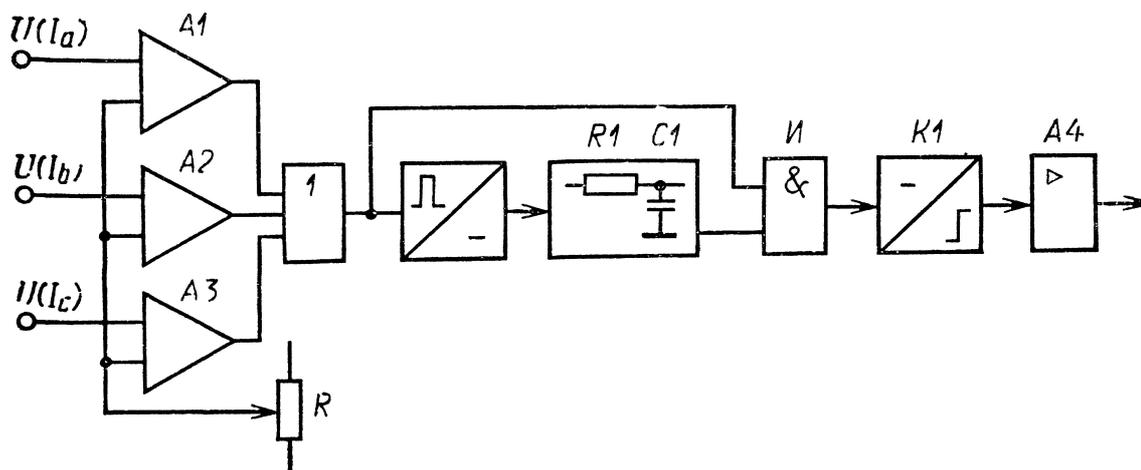


Рис. 15.3. Реле тока с выдержкой времени

б) Реле тока с выдержкой времени, зависящей от тока. В та-ких реле используются и аналоговые, и дискретные схемы. На рис. 15.4 в качестве примера показана функциональная схема полу-проводникового токового расцепителя автоматического выключателя серии «Электрон». Напряжения, пропорциональные токам в фазах, через промежуточные трансформаторы подаются на выпрямитель, после чего поступают на резисторы $R1, R2, R4$. Пропорциональный току сигнал И (I) с $R1$ подается на суммирующий блок U_{Σ} , на кото-рый приходит сигнал $U(t)$, снимаемый с цепочки временной задер-жки $R3, C1$. Канал сигнала $U(t)$ начинает работать, когда под действи-ем тока перегрузки срабатывает полупроводниковое реле $K1$. Когда суммарный сигнал U_{Σ} достигает порога срабатывания полупровод-никового реле $K3$, оно выдает сигнал на тиристорный усилитель A , воздействующий на обмотку электромагнита расцепителя $K5$.

в) Реле защиты от замыканий на землю. Реле применяется в схемах защиты при замыканиях на землю генераторов, двигателей и

линий с малыми токами замыкания на землю. Основные параметры реле: ток срабатывания I регулируется в пределах $0,02 \div 0,12$ А; коэффициент возврата не менее 0,93; коммутируемое напряжение не более 250 В; механическая износостойкость 10^4 циклов; электрическая износостойкость не менее 10^3 циклов.

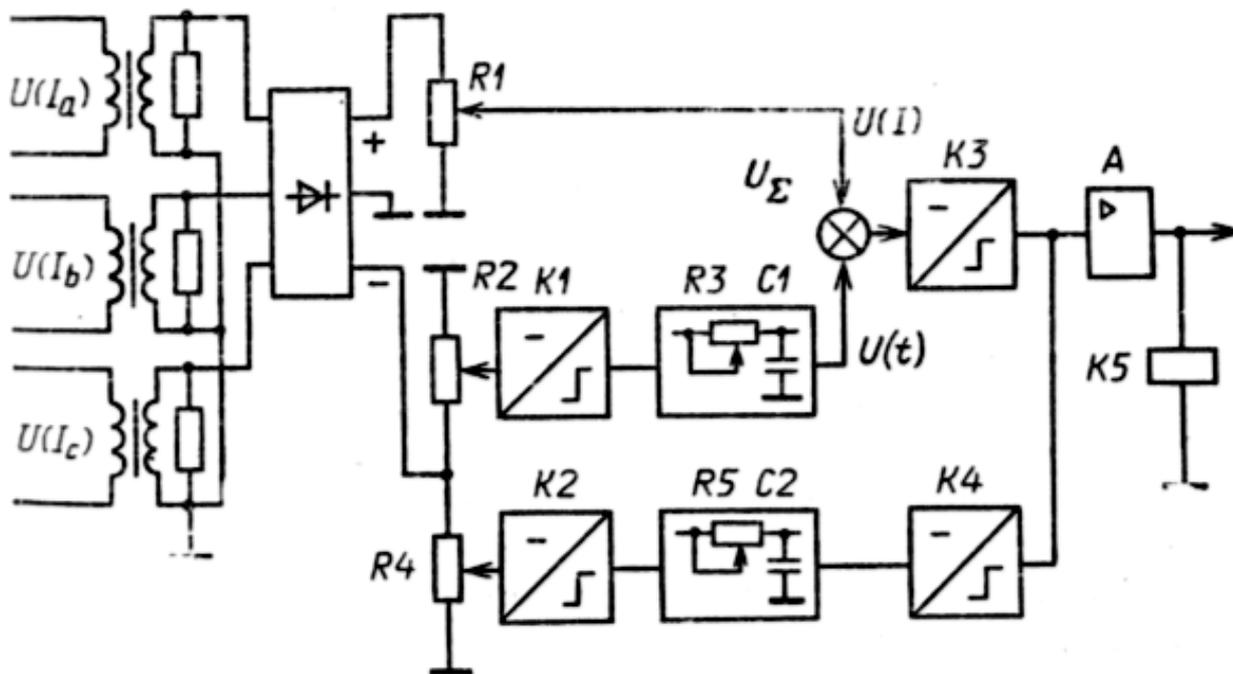


Рис. 15.4. Полупроводниковый расцепитель для управления автоматическим выключателем серии «Электрон»

Схема реле представлена на рис. 15.5. Измерительный орган реле содержит промежуточный трансформатор TA и резисторы $R2-R7$, которые вместе с выключателями $SB1-SB5$ служат для дискретной регулировки тока срабатывания. При отключенных выключателях ток срабатывания реле минимален. По мере включения $R3-R7$ уменьшается напряжение на выходе операционного усилителя $A1$ и ток срабатывания увеличивается. Диоды $VD1-VD4$ служат для ограничения сигнала на входе $A1$. При большом входном сигнале трансформатор TA насыщается и его входное сопротивление падает. Резистор $R1$ ограничивает ток в цепи трансформатора, TA .

Операционный усилитель $A1$ работает как активный фильтр. Многоконтурная отрицательная обратная связь с помощью резисто-

ров R_8 , R_9 , R_{10} и конденсаторов C_1 , C_2 позволяет отфильтровать высшие гармоники в сигнале и оставить основную частоту 50 Гц.

Сравнивающая часть реле состоит из порогового элемента на операционном усилителе A_2 , времяизмерительной цепи. VD_5 , R_{15} , R_{16} , C_8 и триггера Шмидта на операционном усилителе A_3 . Конденсаторы C_3 – C_{10} служат для стабилизации работы усилителя, исключая его самовозбуждение. Резистор R_{17} создает положительную обратную связь. Выходной каскад реле выполнен на транзисторе VT_1 , в цепь коллектора которого включено быстродействующее электромагнитное реле K .

Питание схемы осуществляется от сети постоянного тока (контакты 4, 1 при напряжении 220 В и 4, 2 при напряжении 110 В) или от сети переменного тока 100 В (контакты 4, 3). С помощью стабилитронов VD_6 и VD_7 получаются два симметричных напряжения -15 В и +15 В для питания операционных усилителей.

Порог срабатывания порогового элемента определяется резисторами R_{11} – R_{14} . Настройка реле на минимальную уставку производится резистором R_{11} .

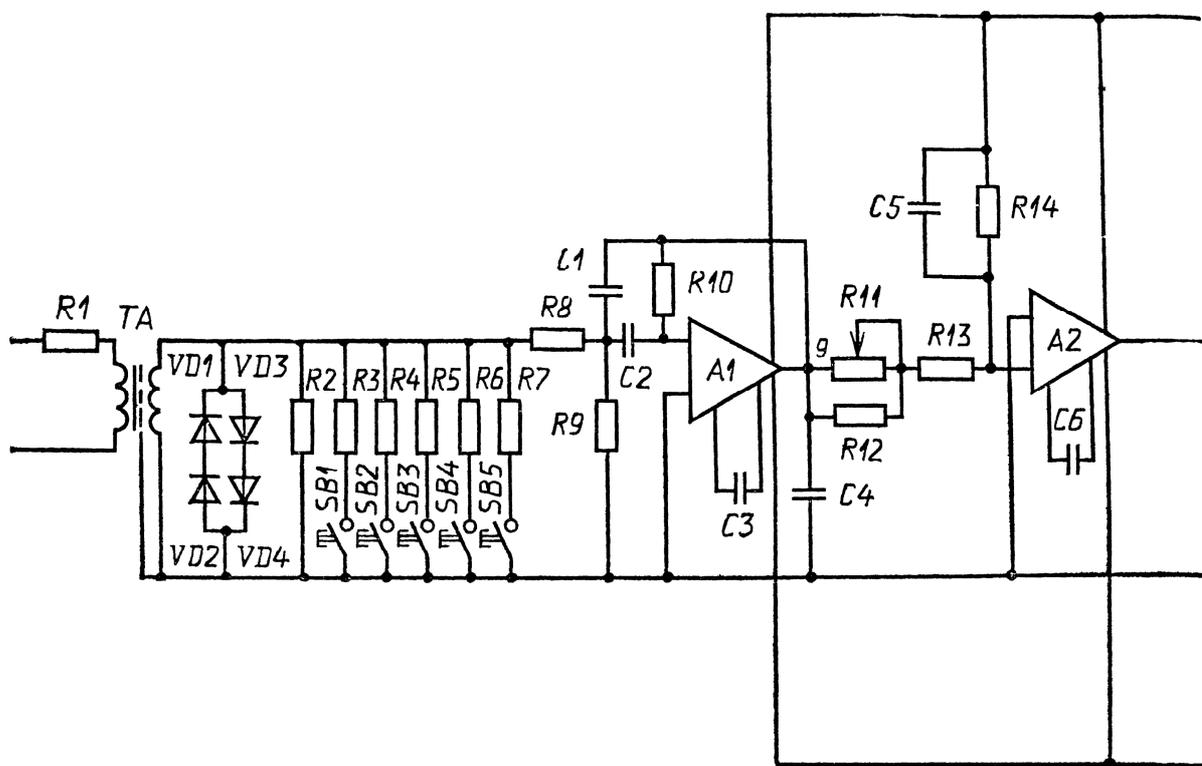


Рис. 15.5. Реле защиты от замыканий на землю

г) Реле защиты асинхронных двигателей (РЗД). Реле (рис. 15.6) обеспечивает защиту асинхронных двигателей от больших перегрузок и неполнофазных режимов. В цепи вторичных обмоток трансформаторов тока через мосты $V1-V3$ включены нагрузочные резисторы, напряжения на которых пропорциональны токам двигателя. Конденсаторы $C1-C3$ сглаживают пульсации напряжения. Эти напряжения через диоды $VD1-VD3$ приложены к потенциометру $R1$, напряжение с которого поступает на пороговый элемент $K1$. Если токи в фазах двигателя не превышают номинального значения, то напряжение на входе $K1$ недостаточно для его срабатывания. Если токовая перегрузка превышает допустимую, то $K1$ срабатывает и запускает промежуточное реле $K4$, которое подает сигнал на цепь задержки $R4, C4$. Напряжение с конденсатора $C4$ подается на пороговый элемент $K3$, усилитель A и выходное электромагнитное реле K , контакты которого включены в цепь катушки пускателя или электромагнитного расцепителя автомата.

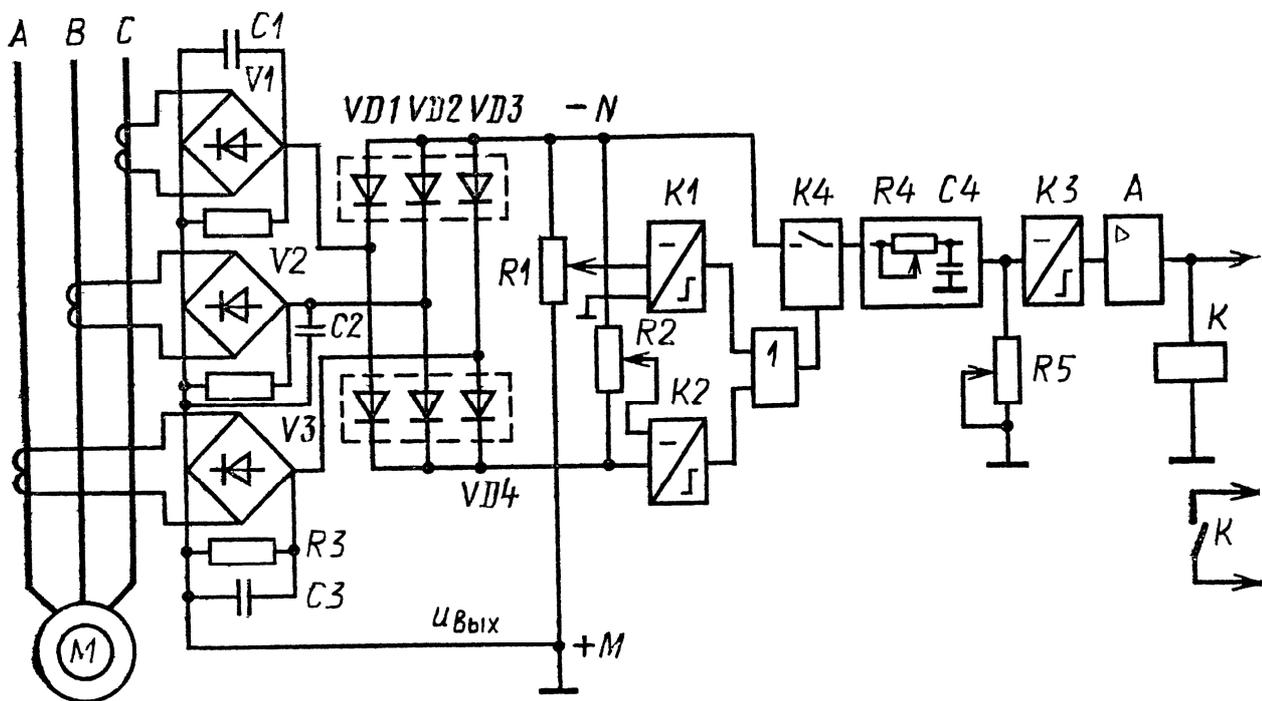


Рис. 15.6. Реле защиты асинхронных двигателей

Если длительность перегрузки меньше, чем время задержки в цепи $R4, C4$, то двигатель не отключается. При нормальном пуске

или допустимой технологической перегрузке благодаря наличию цепи задержки двигатель не отключается. Если длительность перегрузки больше, чем время задержки, то двигатель обесточивается. При обрыве одной фазы, например фазы A , пропадает напряжение на нагрузочном резисторе $R3$ этой фазы. Поскольку фазы B и C остались под током, то на выходе MN имеется напряжение $U_{\text{ВЫХ}}$ указанной полярности. Под действием этого напряжения протекает ток через резистор $R3$, диод $VD4$, который открывается, и потенциометр $R2$. Напряжение с потенциометра $R2$ прикладывается к пороговому элементу $K2$, который срабатывает. После этого действует цепочка $K4$, $R4$, $C4$, $K3$, A , K и происходит отключение двигателя.

д) Трехфазные реле напряжения. В схеме трехфазного реле напряжения (рис. 15.7) напряжение срабатывания регулируется резистором $R1$. Реле может работать как максимальное (переключатель S в положении 1) и как минимальное (переключатель S в положении 2). Коэффициент возврата реле регулируется в широком диапазоне с помощью резистора $R2$, которым изменяется коэффициент положительной обратной связи в усилителях $A1$, $A2$, $A3$. Логический элемент И обеспечивает срабатывание реле в случае, когда напряжение хотя бы в одной фазе падает ниже допустимого (при S в положении 2).

Для защиты электродвигателей, тиристорных преобразователей, других трехфазных потребителей при недопустимом снижении симметричного напряжения, асимметрии междуфазных напряжений, обратном чередовании фаз служат реле ЕЛ-10-1 (с выдержкой времени) и ЕЛ-10-2 (без выдержки времени). Структурная схема этого реле приведена на рис. 15.8. На входе реле включены пороговые элементы $ПЭ1$, $ПЭ2$, $ПЭ3$, образующие пороговый блок $ПБ$. С выхода $ПБ$ система полученных в нем прямоугольных импульсов (см. рис. 15.8) поступает в логический блок $ЛС$, на триггеры $T1$, $T2$ и логический элемент И. Полученная в $ЛС$ система прямоугольных импульсов через дифференцирующую цепочку RC подается на схему временной уставки $СВУ$, которая с выдержкой времени открывает транзистор VT

выходного усилителя *ВУ*. Если контролируемое напряжение симметрично и близко к номинальному значению, то выходные импульсы *ЛБ* не приводят к срабатыванию *СВУ* и *ВУ*.

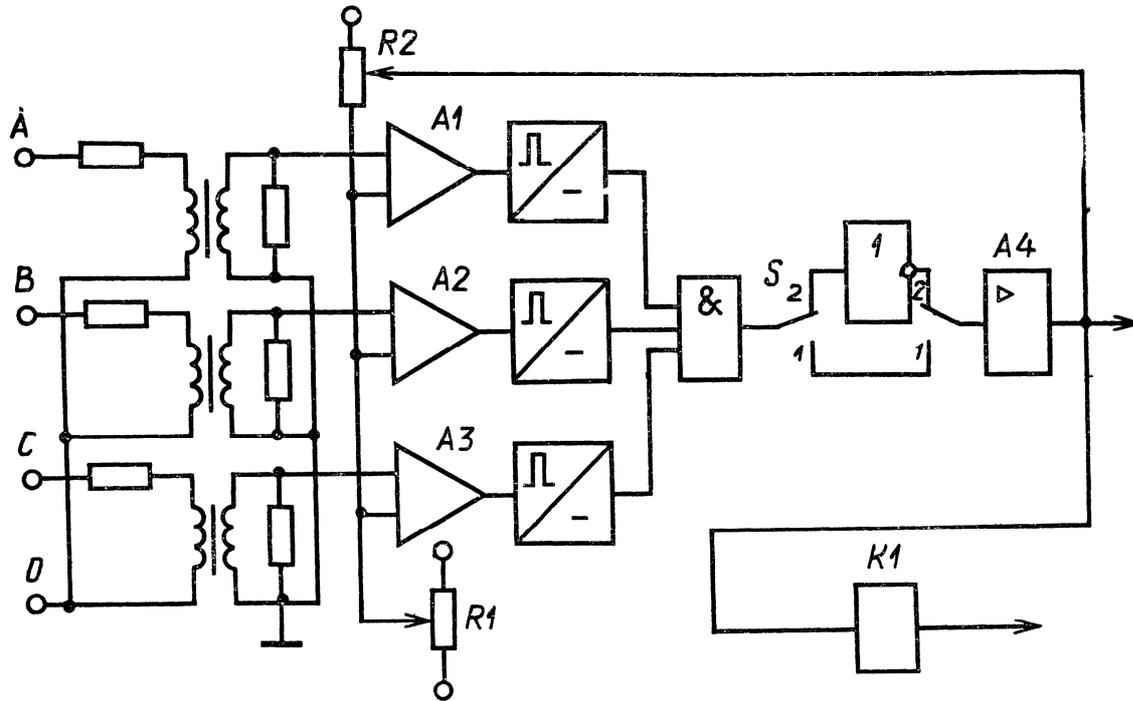


Рис. 15.7. Трехфазное реле напряжения

Когда изменения трехфазного напряжения или порядка чередования фаз выходят за пределы допустимых, на выходе *ЛС* исчезает указанная последовательность импульсов. При этом по истечении выдержки времени в *СВУ* выдается сигнал на *ВУ* и выходное реле срабатывает. Допустим, исчезло напряжение в фазе *A*. При этом перестает работать триггер *T1* и на выходе логического элемента *И* появится логический 0. Триггер *T2* тоже перестает переключаться. На выходе *RC*-цепочки сигнал пропадает, на вход *СВУ* и *ВУ* не подается сигнал *ЛС*, и реле *K* отключает цепь. Реле срабатывает при снижении напряжения в одной из фаз до $55 \div 65\% U_{\text{НОМ}}$ при номинальном напряжении в остальных. При обрыве двух или трех фаз одновременно или при обратном следовании фаз реле срабатывает при напряжении $70 \div 75\% U_{\text{НОМ}}$. Коэффициент возврата реле составляет не менее 0,9. Время срабатывания реле ЕЛ-10-1 не превышает 5 сек. Реле не срабатывает при колебании симметричного напряжения в пределах $85 \div 110\% I_{\text{НОМ}}$.

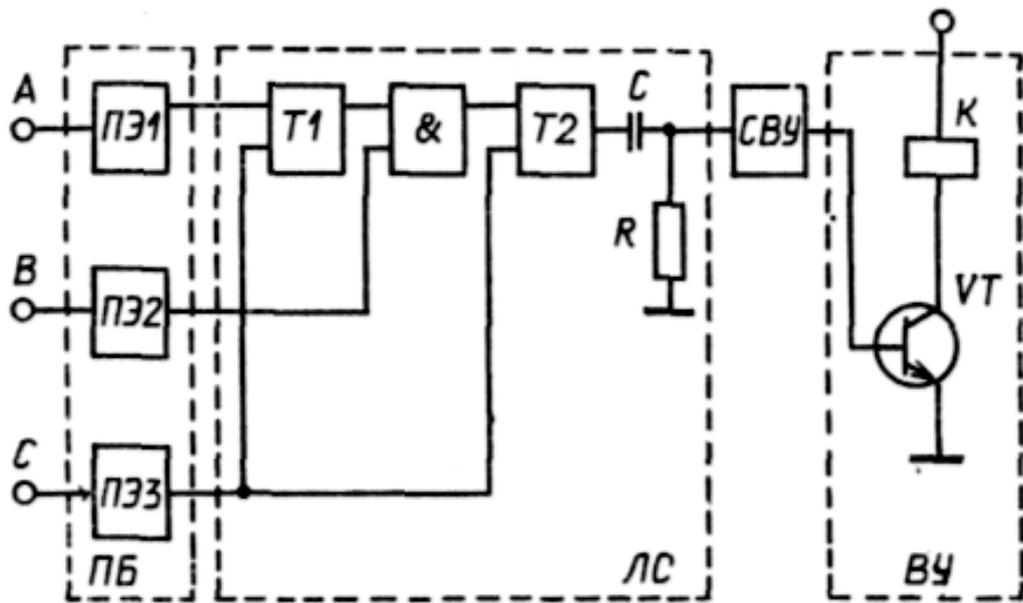


Рис. 15.8. Структурная схема реле напряжения

е) **Полупроводниковые реле времени.** Благодаря большому диапазону выдержек времени (от 0,1 сек. до 100 ч.), высокой надежности и точности, а также малым габаритам в настоящее время эти реле широко распространены. В схеме простейшего полупроводникового реле времени (рис. 15.9) при замыкании контакта 1 напряжение на конденсаторе C растет по экспоненте с постоянной времени $T=RC$. Напряжение U_c подается на пороговый элемент. При равенстве U_c пороговому напряжению U_n пороговый элемент срабатывает и с выдержкой времени t_{cp} выдает сигнал на усилитель мощности, который управляет выходным электромагнитным реле. Возможно использование разряда конденсатора (замыкается контакт 2). Процесс разряда идет по кривой 2 (рис. 15.9, б). Такие реле работают на начальных участках кривых 1 и 2. Выдержку времени регулируют за счет изменения сопротивления R (плавно) и емкости конденсатора C (скачкообразно). Предельная выдержка времени – до 10 сек. При больших выдержках времени погрешность реле возрастает, так как экспонента становится пологой. Этим ограничивается выдержка времени таких реле. Для повышения точности заряд конденсатора производят через токостабилизирующее устройство. Схема реле и про-

цесс заряда конденсатора показаны на рис. 15.9. Поскольку напряжение на базе транзистора стабилизировано, то коллекторный ток не зависит от напряжения на коллекторе (генератор тока). Ток заряда устанавливается резистором $R1$. Чем больше ток заряда, тем меньше выдержка времени. Стабилитрон VD делает неизменным напряжение на резисторе $R1$, что позволяет получить постоянное время срабатывания при данном положении движка потенциометра.

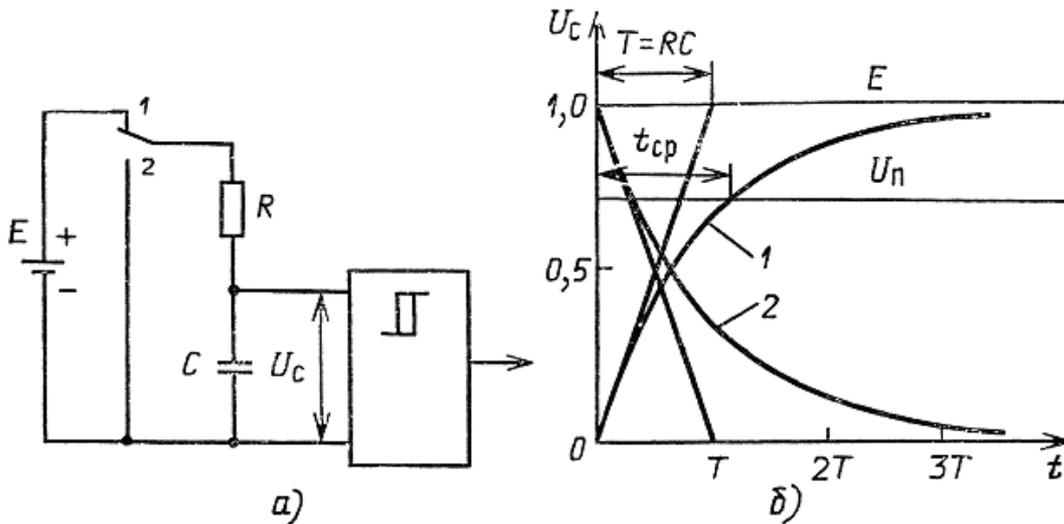


Рис. 15.9. Полупроводниковое реле времени:

а – принципиальная схема; б – процессы заряда 1 и разряда 2 конденсатора

С целью увеличения выдержки времени можно использовать заряд конденсатора от источника импульсного напряжения. При каждом импульсе напряжение на конденсаторе поднимается на небольшую величину, после чего во время паузы остается неизменным. Такое реле позволяет увеличить выдержку времени. Дело в том, что во время паузы напряжение на емкости не меняется и это время паузы входит в выдержку времени реле. Тем самым уменьшается погрешность за счет нелинейности кривой заряда.

ж) Цифровые реле времени. В цифровом реле времени управляющее устройство запускает генератор. Импульсы от генератора подаются на вход несинхронизируемого двоичного счетчика. В момент совпадения кода времени с заданной уставкой сигнал дешифратора скачкообразно меняется и выходной импульс подается на усилители.

После каждого цикла счетчик переводится в нуль. Приведенная погрешность описанных реле времени не превышает 5%. Коммутационная износостойкость составляет не менее $4 \cdot 10^6$ циклов.

Лекция №16

БЕСКОНТАКТНЫЕ КОНТАКТОРЫ И ПУСКАТЕЛИ НА БАЗЕ ТИРИСТОРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

БЕСКОНТАКТНЫЕ КОММУТИРУЮЩИЕ И РЕГУЛИРУЮЩИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ УСТРОЙСТВА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА (БКРПУ)

а) Общие сведения. На основе тиристоров возможно осуществление следующих операций:

1) включение и отключение электрической цепи с активной и смешанной (индуктивной и емкостной) нагрузкой;

2) изменение тока нагрузки за счет регулирования момента подачи сигнала управления.

Наиболее широкое применение в бесконтактных электрических аппаратах получили фазовое и широтно-импульсное управление (рис. 16.1).

В первом случае среднее и действующее значения тока меняются за счет изменения момента подачи на тиристор открывающего сигнала – за счет угла α . Угол α называется углом управления. Действующее напряжение на нагрузке при двухполупериодной схеме и встречно-параллельном включении двух тиристоров (рис. 16.2):

$$U_n = \frac{U_m}{\sqrt{2\pi}} \sqrt{\pi - \alpha + \sin 2\alpha/2} = \frac{U_c}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\pi - \alpha + \sin 2\alpha/2} = U_c \sqrt{\gamma};$$

$$\gamma = \frac{\pi - \alpha + \sin 2\alpha/2}{\pi};$$

$$U_n = U_{но} (1 + \cos \alpha) / 2,$$

где U_m – амплитуда напряжения питания; U_c , $U_{но}$ – действующее и среднее значения напряжения питания; γ – угол регулирования.

Кривая тока в сети и в нагрузке не синусоидальна, что вызывает искажение формы напряжения сети и нарушения в работе потребителей, чувствительных к высокочастотным помехам. Для уменьшения этих искажений необходимы специальные меры.

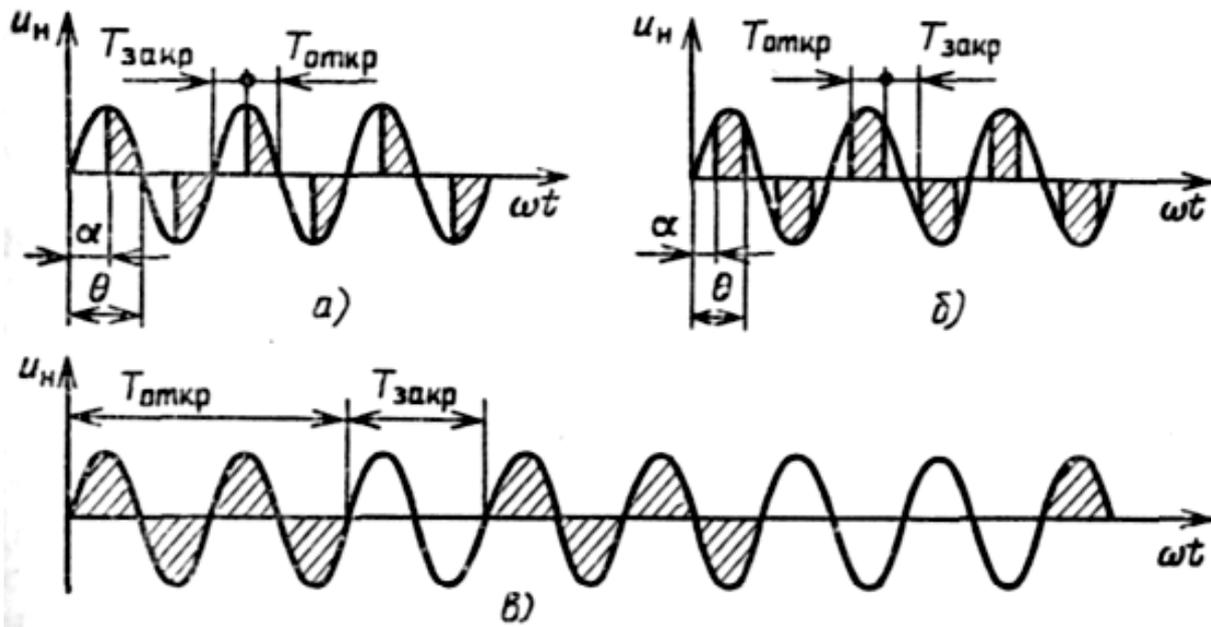


Рис. 16.1. Напряжение на нагрузке при фазовом (а), фазовом с принудительной коммутацией (б) и широтно-импульсном (в) управлении

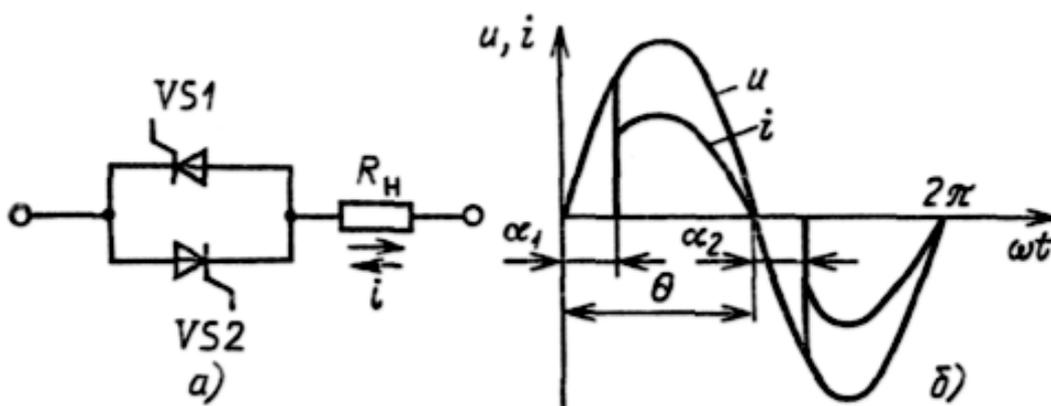


Рис. 16.2. Встречно-параллельное включение тиристоров (а) и форма тока при активной нагрузке (б)

При широтно-импульсном управлении в течение времени $T_{откр}$ на тиристоры подан открывающий сигнал, они открыты и к нагрузке при-

ложено напряжение U_H . В течение времени $T_{закр}$ управляющий сигнал снят и тиристоры закрыты. Действующее значение тока в нагрузке

$$I = I_{им} \frac{T_{откр}}{T_{откр} + T_{закр}},$$

где $I_{н.м}$ – ток нагрузки при $T_{закр}=0$.

Регулирование тока нагрузки возможно за счет изменения как угла α , так и угла θ . Принудительная коммутация ($\theta < 180^\circ$) осуществляется с помощью специальных узлов или специальных тиристоров, которые могут запираются подачей сигнала управления. При больших токах из-за сложности такие схемы не применяются. Создание транзисторов на большие токи (сотни ампер) и большие напряжения (сотни вольт) позволяет упростить принудительную коммутацию цепей постоянного и переменного тока, что особенно важно в аппаратах повышенного быстродействия.

На основе тиристоров работают следующие бесконтактные электрические аппараты:

- 1) тиристорные пускатели для прямого пуска асинхронных двигателей;
- 2) тиристорные пускатели для плавного пуска, реверса и останова асинхронных двигателей большой мощности (до 5000 кВт);
- 3) регуляторы мощности и напряжения;
- 4) автоматические выключатели переменного тока высокого и низкого напряжения повышенного быстродействия;
- 5) регулирующие аппараты для управления двигателями электрического транспорта переменного тока с рекуперацией энергии при торможении.

Для тиристорных аппаратов, как правило, необходима защита от токов перегрузки и КЗ, а также от недопустимого повышения температуры корпусов тиристоров. Защита от КЗ в данном случае осуществляется с помощью быстродействующих токоограничивающих предохранителей или автоматических выключателей.

Ниже приводятся основные технические данные тиристорных пускателей и регуляторов, выпускаемых отечественной промышленностью.

Пускатели тиристорные серии ПТ. В фазах *A* и *B* пускателя (рис. 16.3) установлены трансформаторы тока *TA1* и *TA2*, обеспечивающие работу устройства токовой защиты. Защита тиристорov от перегрузки осуществляется терморезистором *R_t*. Поскольку пускатель предназначен для реверса двигателя, то в фазах *A* и *B* установлены дополнительные комплекты встречно включенных тиристорov. При нажатии кнопки «Пуск вперед» включается реле *K1*, которое подает напряжение на управляющие электроды тиристорov, участвующих в пуске «Вперед». При нажатии кнопки «Пуск назад» включается реле *K3* и подается напряжение на управляющие электроды тиристорov, участвующих в пуске «Назад». Питание блока защиты и реле *K1* и *K3* осуществляется выпрямителем, питающимся от фаз *B* и *C*.

Основные параметры пускателя: $U_{\text{ном}} = 380 \text{ В}$; $I_{\text{ном}} = 40 \text{ А}$; $I_{\text{пуск}} = 360 \text{ А}$ при $t_{\text{пуск}} = 0,4 \text{ сек.}$; электрическая износостойкость 10^7 циклов; ресурс работы не менее 10 000 ч.

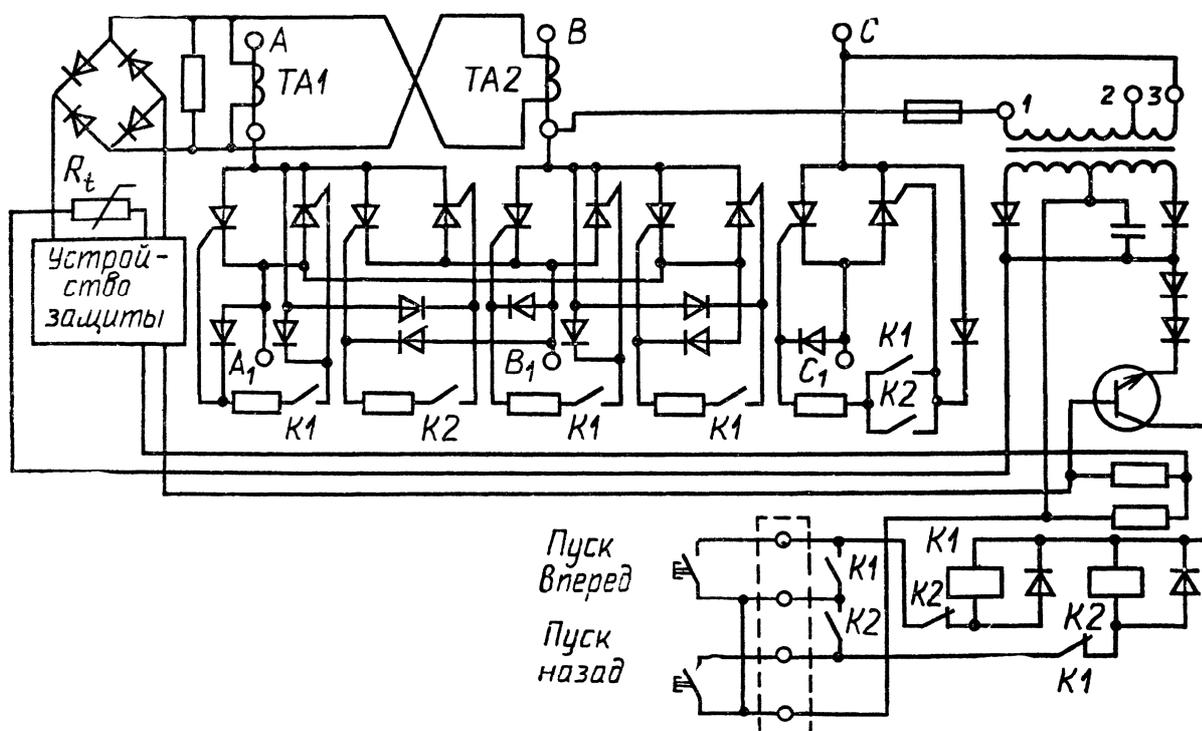


Рис. 16.3. Тиристорный пускатель типа ПТ

ТИРИСТОРНЫЙ ПУСКАТЕЛЬ

На рис. 16.4 показан один из вариантов схемы бесконтактного – тиристорного пускателя. Силовой блок $B1$ содержит силовые тиристоры $VS1–VS3$ и диоды $VD1–VD3$, рассчитанные на номинальный и пусковой токи двигателя M . При подаче сигнала управления на электроды 1–2, 3–4, 5–6 тиристоры открываются и двигатель подключается к сети. В отрицательный полупериод, когда тиристоры закрываются отрицательным анодным напряжением, ток двигателя проходит по диодам $VD1–VD3$. Диоды могут быть заменены тиристорами.

При снятии сигнала управления (при перегрузке, потере фазы, нажатии кнопки «Стоп») тиристоры закрываются. Следующий полупериод тока пропускается диодами. После этого диоды $VD1$, $VD2$, $VD3$ закрываются и двигатель отключается от сети. По тиристорам и диодам протекает лишь небольшой ток утечки.

Сигналы управления тиристорами формируются в блокинг-генераторе $B2$, который получает напряжение от блока питания $B3$. При нажатии кнопки «Пуск» включается тиристор $VS5$ и все напряжение прикладывается к резистору $R3$. При этом транзистор $VT3$ закрыт, так как напряжение на резисторе $R3$ больше, чем на резисторе $R4$. По мере заряда конденсатора $C2$ наступают условия для открытия транзистора $VT3$ и конденсатор $C2$ начинает разряжаться на обмотку w_1 , трансформатора $T2$. Электродвижущая сила, наводящаяся при этом на обмотке w_{oc} , способствует быстрому и полному открытию транзистора $VT3$. При разряде конденсатора напряжение на резисторе $R3$ возрастает, транзистор $VT3$ закрывается и снова начинается заряд конденсатора $C2$. Таким образом, генерируются импульсы тока в обмотке w_1 и в трех выходных обмотках w_2 появляются управляющие импульсы. Диоды $VD5–VD7$ пропускают импульсы только положительной полярности.

Длительность импульса составляет 30 мкс. при паузе между импульсами 300 мкс. (частота около 3 кГц).

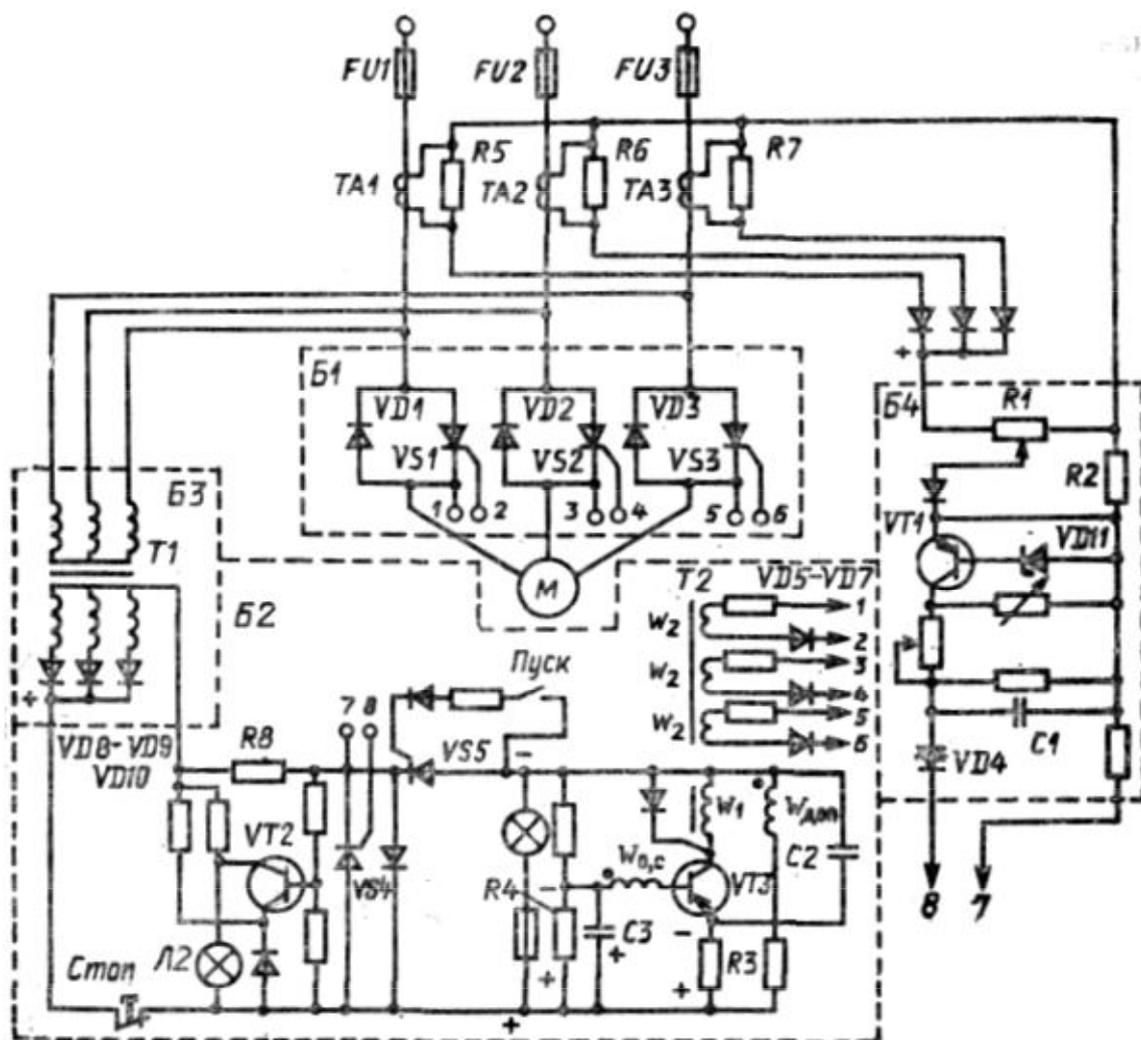


Рис. 16.4. Тиристорный пускатель

Аналогичные схемы могут управляться сигналами постоянного тока или переменным током низкой частоты. Использование блокинг-генератора дает возможность быстро включать тиристор и уменьшить нагрузку по его управляющему электроду.

При нормальном режиме транзистор $VT2$ блока $B2$ насыщен и лампа $L2$ не горит. Если на контакты 7, 8 блока $B2$ подано напряжение с одноименных контактов блока защиты $B4$, тиристор $VS4$ открывается и блокинг-генератор лишается питания. Блок питания $B3$ включается только на резистор $R8$. При потере питания генерация в блоке $B2$ прекращается и тиристор $VS5$ отключается. Одновременно транзистор $VT2$ закрывается и загорается лампа $L2$, сигнализируя об отключении пускателя от защиты. В случае потери фазы в выходном напряжении (после диодов $VD8-VD9$) появляется пауза. В эту паузу

блок *B2* останавливается и тиристор *VS5* отключается, что ведет к закрытию силовых тиристориков.

Блок *B4* защиты двигателя и силовых тиристориков от перегрузки питается от трансформаторов тока *TA1–TA3*. Напряжение с нагрузочных резисторов выпрямляется и подается на потенциометр *R1*. Параметры трансформаторов *TA1–TA3* и резисторов *R1, R5–R7* выбираются так, что при номинальном токе во всех трех фазах напряжение, снимаемое с потенциометра *R1*, меньше напряжения пробоя стабилитрона *VD11*. До тех пор пока напряжение на стабилитроне меньше напряжения пробоя, сопротивление стабилитрона очень высоко. При этом ток базы транзистора *VT1* недостаточен для его открытия. Если ток хотя бы в одной фазе превысит номинальное значение, то возникает неравенство $U > U'_{\text{проб}}$, сопротивление стабилитрона резко падает, ток в базе *VT1* возрастает и он насыщается. Ток в стабилитроне ограничивается резистором *R2* до допустимого значения. Если восстановится неравенство $U < U'_{\text{проб}}$, то сопротивление стабилитрона снова возрастет, транзистор *VT1* закроется. После открытия транзистора *VT1* начинается заряд конденсатора *C1*. Напряжение с конденсатора *C1* на выход 7, 8 не подается до тех пор, пока не превысит напряжение переключения динистора *VD4*. Динистор имеет такую же вольт-амперную характеристику, как и тиристор при $I_y=0$. Если перегрузка была настолько кратковременной, что конденсатор *C2* не успел зарядиться, то напряжение на выходе 7, 5 не появится и пускатель останется в работе. Если U_{C1} станет больше напряжения переключения динистора *VD4*, произойдет разряд конденсатора *C1* на цепь управления тиристора *VS4* блока *B2* и последний откроется. При этом прекратится генерация импульсов, открывающих *VS1–VS3*, и двигатель остановится. Параметр срабатывания блока защиты регулируется потенциометром *R1*. За счет усложнения блока защиты можно создать выдержку времени в зависимости от условия перегрузки. Защита двигателя и силовых тиристориков от токов КЗ в данном пускателе осуществляется быстродействующими предохранителями *FU1–FU3* типа ПНБ-5.

По сравнению с контактными тиристорный пускатель обладает следующими преимуществами:

1. Отсутствие электрической дуги при коммутациях. Делает аппарат незаменимым при работе во взрывоопасных и пожароопасных средах.

2. Высокая электрическая износостойкость ($15 \cdot 10^3$ циклов).

3. Совершенная защита от токов перегрузки и КЗ, а также при потере фазы, что обеспечивает увеличение срока службы двигателей.

4. Допустимое число включений, достигающее 2000 в час.

5. Длительность отключения, не превышающая 0,02 сек.

6. Высокая надежность и долговечность, а также отсутствие необходимости в уходе при эксплуатации.

Недостатками тиристорного пускателя являются сложность схемы, большие габариты и высокая стоимость. Несмотря на эти недостатки бесконтактные пускатели находят широкое применение во взрыво- и пожароопасных производствах и других областях техники, требующих высокой надежности.

Примечание: дополнительный материал для самостоятельного изучения по статическим и гибридным аппаратам переменного тока представлен в приложении 4.

Лекция №17

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ МУФТЫ: ФРИКЦИОННЫЕ, ИНДУКЦИОННЫЕ. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ, КОНСТРУКЦИЯ

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ МУФТЫ УПРАВЛЕНИЯ

Общие сведения

Для регулирования частоты вращения, вращающего момента на валу, для соединения и разъединения ведущего и ведомого валов применяются электрические аппараты в виде муфт с электрическим управлением. Эти муфты можно подразделить на индукционные и электромагнитные.

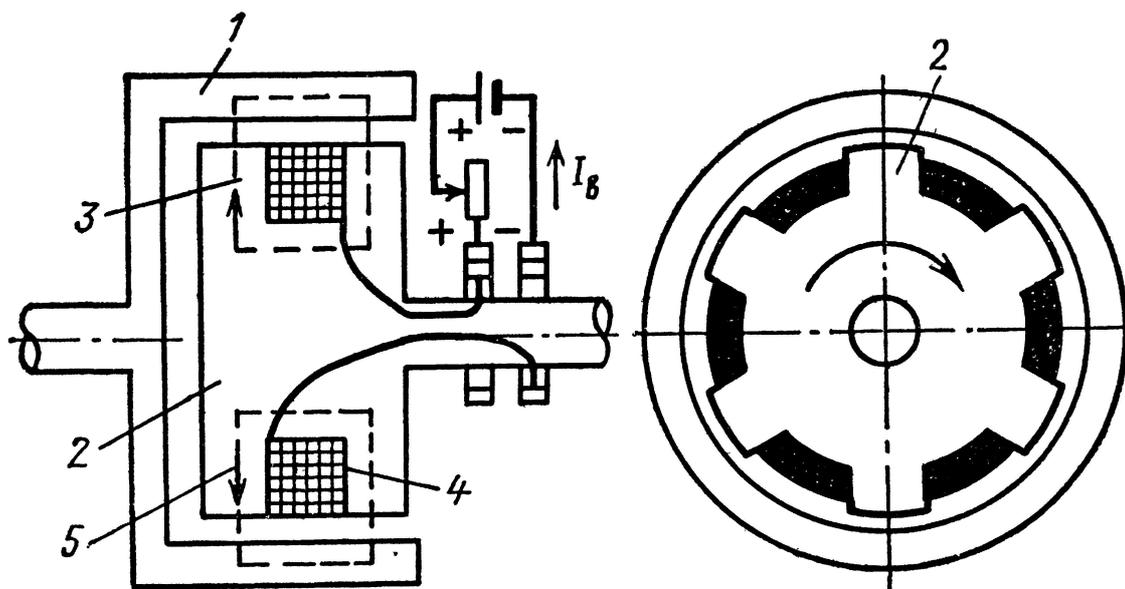


Рис. 17.1. Индукционная муфта:

1 – якорь; 2 – индуктор; 3 – магнитная система;
4 – катушка возбуждения; 5 – магнитный поток

Индукционные муфты (рис. 17.1) по принципу действия аналогичны асинхронному двигателю с короткозамкнутым ротором. Приводной двигатель соединяется со сплошным якорем 1, ведомый вал связан с индуктором 2. Катушка возбуждения 4 создает постоянный магнитный поток 5, замыкающийся по якорю 1. При вращении якоря магнитное поле катушки индуктора пересекает цилиндрическое тело якоря, и в нем наводятся вихревые токи. Взаимодействие этих токов с магнитным полем создает силу, которая увлекает индуктор в направлении вращения якоря. Материал якоря должен обладать малым удельным электрическим сопротивлением, что обеспечивает возникновение достаточно больших вихревых токов, и высокой магнитной проницаемостью для получения возможно больших значений магнитного потока.

Регулируя ток возбуждения I_B и тем самым меняя магнитное поле, можно плавно регулировать в широких пределах частоту вращения и передаваемый вращающий момент ведомого вала.

На рис. 17.2 показаны механические характеристики индукционной муфты. На этом рисунке $I_{B*} = I_B / I_{B,ном}$ – ток возбуждения в относительных единицах; $M* = M / M_{ном}$ – передаваемый момент в от-

носительных единицах, где $M_{\text{ном}}$ – номинальный момент муфты; $I_{\text{в.ном}}$ – соответствующий ему номинальный ток возбуждения; n – частота вращения в процентах частоты вращения при отсутствии на ведомом валу нагрузки.

При увеличении момента нагрузки угловая скорость ведомого вала уменьшается. При этом возрастают скольжение и токи, наводимые в якоре муфты. Увеличение токов в якоре увеличивает момент, развиваемый муфтой и передаваемый на ведомый вал.

Механические характеристики индукционной муфты существенно зависят от нагрузки. Поэтому для стабилизации скорости применяются специальные регулирующие устройства.

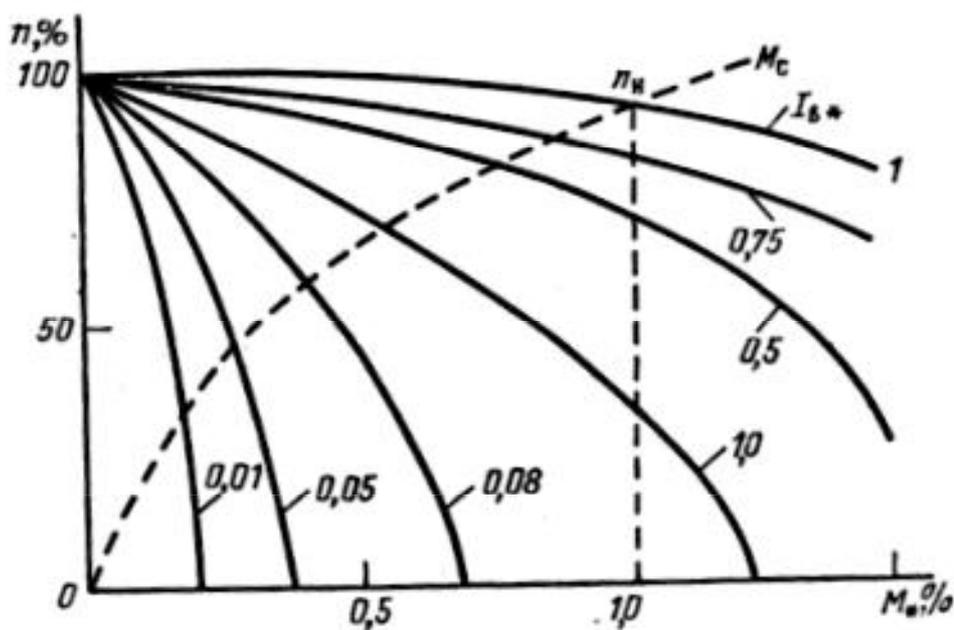


Рис. 17.2. Механические характеристики индукционной муфты при различном токе возбуждения

Более широко применяются электромагнитные муфты, в которых используется электромагнитное усилие притяжения между ферромагнитными телами. Эти муфты удобны в эксплуатации, имеют малые габаритные размеры и небольшое время срабатывания, передают большие мощности на валу при сравнительно малой мощности управления. Ниже рассматриваются фрикционные, ферропорошковые и гистерезисные электромагнитные муфты.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ФРИКЦИОННЫЕ МУФТЫ

а) Принцип действия. Простейшая конструкция электромагнитной фрикционной муфты представлена на рис. 17.3, *а*. Постоянное напряжение подводится к щеткам, скользящим по контактному кольцу 1, соединенным с выводами обмотки 2. Обмотка имеет цилиндрическую форму и окружена магнитопроводом ведущей части 3 муфты. Направляющая втулка 7 имеет выступ 6, который входит в паз 8 полумуфты 5, которая может перемещаться вдоль оси, оставаясь соединенной с валом 10.

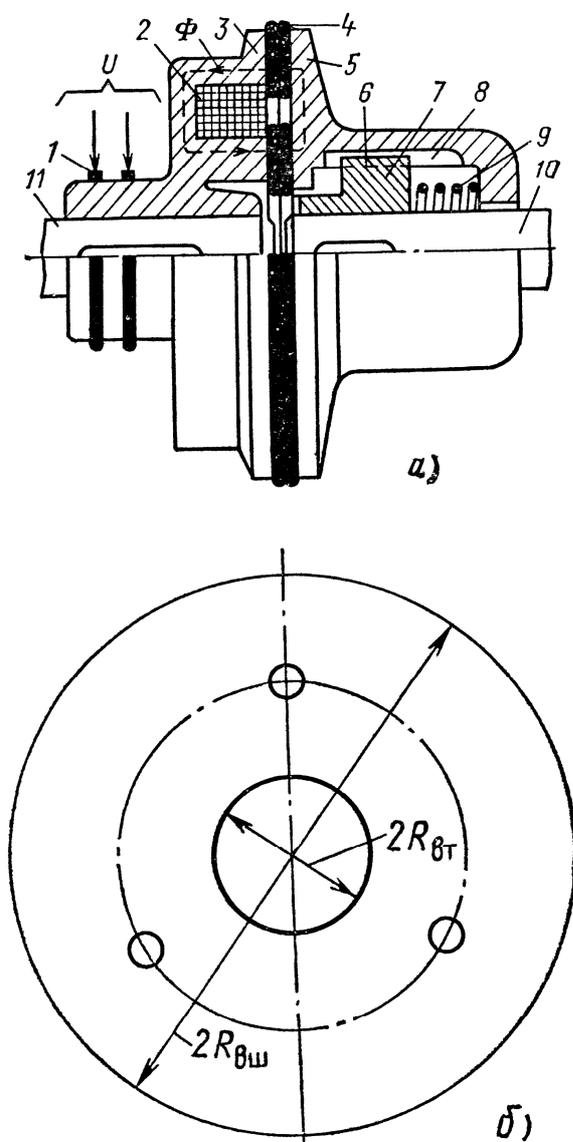


Рис. 17.3. Электромагнитная фрикционная муфта:
а – разрез муфты; *б* – поверхность трения

В обесточенном состоянии пружина 9 упирается в направляющую втулку 7, жестко закрепленную на валу 10, и отодвигает подвижную часть полумуфты 5 вправо. При этом поверхности трения (диски 4) не соприкасаются и ведомый вал 10 разобщен с ведущим валом П.

При подаче на обмотку управляющего напряжения возникает магнитный поток Φ . На полумуфты 3, 5, выполненные из магнитомягкого материала, начинает действовать электромагнитная сила, притягивающая их друг к другу. Таким образом, полумуфты и обмотка представляют собой электромагнит. Между дисками 4, жестко связанными с деталями 3 и 5, возникает сила нажатия, обеспечивающая необходимую силу трения и их надежное сцепление.

На рис. 17.3, б изображена поверхность трения. Элементарный момент трения

$$dM_{\text{тр}} = k_{\text{тр}} p_{\text{уд}} 2nR^2 dR, \quad (17.1)$$

где $p_{\text{уд}}$ – давление на поверхности трения, Па; $k_{\text{тр}}$ – коэффициент трения; R – текущий радиус поверхности трения, м.

Коэффициенты трения для дисков из различных материалов приведены в табл. 17.1.

Таблица 17.1

Коэффициенты трения

Материал	Режим покоя	Режим движения
Сталь – сталь	0,15	0,15
Сталь – чугун	0,3	0,18
Сталь – бронза	0,15	0,15
Чугун – чугун	0,15	0,15
Металлокерамический материал на медной основе – сталь	0,3–0,4	–
Металлокерамический материал на железной основе – сталь	0,4–0,8	–

Наиболее совершенны диски из металлокерамики. Металлокерамика на медной основе состоит из 68% меди, 8% олова, 7% свинца,

6% графита, 4% кремния и 7% железа. Составляющие в порошкообразном состоянии прессуются при высоком давлении (сотни мегапаскалей) и затем спекаются при температуре $700 \div 800$ °С. Аналогично изготавливается металлокерамика на железной основе. Металлокерамические материалы имеют высокое значение $k_{тр}$ и допускают высокую рабочую температуру (до 200 °С).

Давление $p_{уд}$ определяется износом поверхностей трения дисков. Для металлокерамических материалов оно составляет $0,8 \div 1$, для сталей – $0,4 \div 0,6$ МПа.

В процессе пуска момент, который должен быть передан муфтой, возрастает, так как кроме статического момента нагрузки M_H необходимо передать динамический момент $M_{дин}$. При этом проскальзывание (пробуксовка) поверхностей трения должно быть небольшим, иначе они могут выйти из строя из-за нагрева до высокой температуры. В режиме пуска

$$M_{тр} = M_H + M_{дин} = M_a + J \frac{d\omega}{dt} = M_H k_3, \quad (17.2)$$

где J – момент инерции подвижных частей, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$; ω – угловая частота вращения, $1/\text{с}$; k_3 – коэффициент запаса, учитывающий возрастание момента муфты при пуске. Значения k_3 для различных видов нагрузок приведены ниже:

Вид нагрузки	k_3
Металлорежущие станки	1,25–2,5
Краны, подъемники	3–5
Центробежные насосы	2–3
Воздуходувки	1,25–2
Мельницы, дробилки	4,0

При большом передаваемом моменте для уменьшения габаритных размеров муфты применяется многодисковая система (рис. 17.4). Диски 6 связаны с ведущей частью муфты 5 и могут свободно перемещаться вдоль направляющих 7. Диски 8, связанные с электромагнитом ведомой части, также могут перемещаться по направляющей

4. В данной конструкции магнитный поток, создаваемый обмоткой 1, не проходит через диски, а замыкается через магнитопровод 2 и якорь 3, что позволяет уменьшить зазор электромагнита. Момент, развиваемый такой муфтой,

$$M_{тр} = M_{д}(n-1), \quad (17.3)$$

где $M_{д}$ – момент трения одной пары дисков; n – общее число дисков.

Зная поверхность трения S и допустимое давление на поверхности одного диска $p_{уд}$, можно найти основные параметры электромагнита. Поскольку рабочий зазор мал и магнитное поле в рабочем зазоре равномерно, определить электромагнитное усилие можно по формуле Максвелла.

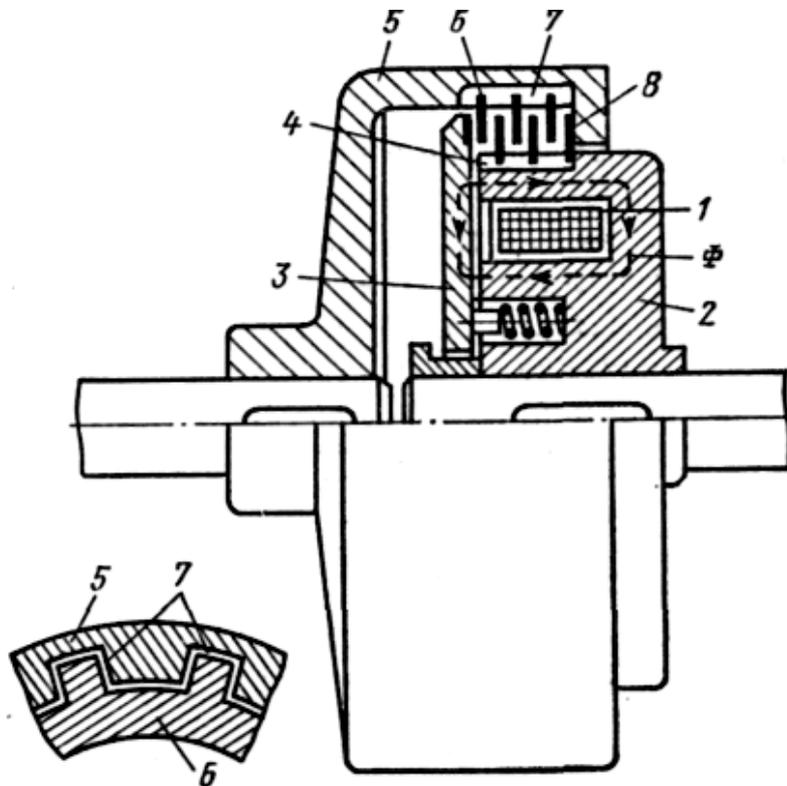


Рис. 17.4. Многодисковая фрикционная муфта

Электромагниты муфты изготавливаются из сплошного материала и поэтому имеют большую постоянную времени. При отключении муфты на контактах коммутирующего аппарата возникает дуга, которая замедляет процесс отключения и вызывает сильную эрозию контактов. При быстром обрыве дуги возможны возникновение пе-

ренапряжения и пробой обмотки. Для облегчения процесса отключения обмотка шунтируется разрядным резистором. Для устранения залипания якоря в притяннутом состоянии магнитная система должна иметь конечный зазор.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ФЕРРОПОРОШКОВЫЕ МУФТЫ

В ферропорошковой муфте барабанного типа (рис. 17.5) ведущий вал 1 через немагнитные фланцы 2 соединен с ферромагнитным цилиндром (барабаном) 3. Внутри цилиндра располагается электромагнит 4, связанный с ведомым валом 6. Обмотка 5 электромагнита питается через контактные кольца (на рисунке не показаны). Внутренняя полость 7 заполнена ферромагнитным порошком (чистое или карбонильное железо) с зернами размером от $4 \div 6$ до $20 \div 50$ мкм, смешанными с сухим (тальк, графит) или жидким (трансформаторное, кремнийорганические масла) наполнителем. При обесточенной обмотке и вращении ведущей части (барабана) электромагнит и ведомый вал остаются неподвижными, поскольку ферромагнитные зерна наполнителя свободно перемещаются относительно друг друга. Определенное трение между барабаном и электромагнитом существует, но оно относительно невелико.

При подаче напряжения на электромагнит зерна ферромагнитного порошка теряют свободу перемещения под воздействием магнитного поля обмотки. Вязкость среды, находящейся в барабане, резко возрастает. Увеличивается сила трения между барабаном и электромагнитом. На ведомом валу появляется вращающий момент.

При определенном значении тока возбуждения ферромагнитный порошок и наполнитель полностью затвердевают. Барабан и электромагнит становятся жестко связанными. Можно рассматривать передаваемый момент как момент от силы трения, действующей между порошком и внутренней цилиндрической поверхностью барабана.

Благодаря тому, что зазор между барабаном и электромагнитом заполнен ферромагнитной смесью, его магнитная проводимость очень ве-

лика, что позволяет уменьшить необходимую МДС обмотки и увеличить коэффициент управления муфты, равный отношению передаваемой мощности к мощности управления (мощности электромагнита).

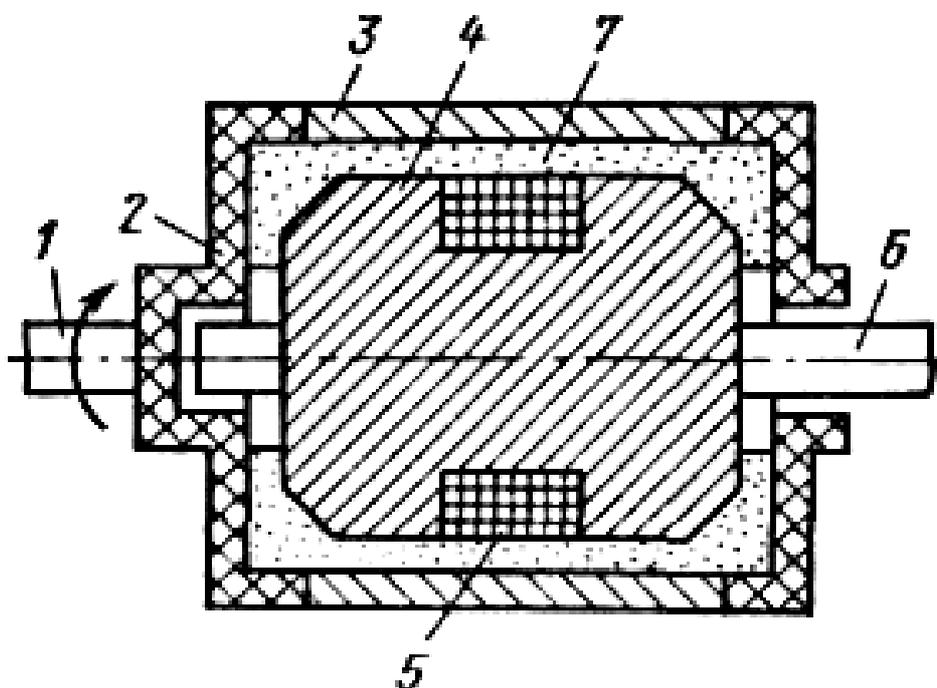


Рис. 17.5. Электромагнитная ферропорошковая муфта барабанного типа

На зерна ферромагнитного порошка кроме электромагнитных сил $P_{эм}$ действуют центробежные силы $P_{ц}$, пропорциональные квадрату угловой скорости. Для оценки влияния центробежных сил вводится отношение $\xi_{ц} = P_{ц}/P_{эм}$. Это отношение увеличивается с ростом диаметра муфты, угловой скорости и уменьшается с ростом индукции в зазоре. Даже при $B=1,8$ Тл отношение $P_{ц}/P_{эм}$ достигает 40%, если частота вращения равна 3000 об/мин. При определенном значении частоты вращения отношение $P_{ц}/P_{эм}$ приближается к 100% и муфта теряет управление. Поэтому ферропорошковые муфты не применяют при скоростях более 3000 об/мин.

По сравнению с электромагнитными муфтами трения ферропорошковые муфты имеют значительно большее быстродействие (примерно в 10 раз) благодаря отсутствию якоря. Изменение момента во времени для линейной части характеристики $M(I)$ определяется законом роста тока.

Поэтому в схемах автоматики порошковая муфта является инерционным звеном первого порядка. Большим преимуществом ферропорошковой муфты является отсутствие быстроизнашивающихся дисков трения.

Ферропорошковые муфты целесообразно применять там, где требуются высокое быстродействие, большая частота включения и плавное регулирование скорости ведомого вала. Недостатком ферропорошковых муфт является меньшая передаваемая мощность при одинаковых габаритных размерах с муфтой трения.

ГИСТЕРЕЗИСНЫЕ МУФТЫ

Возможны два варианта исполнения гистерезисных муфт: в первом – магнитное поле индуктора создается обмоткой, во втором – постоянными магнитами. Недостатком первого варианта является наличие контактной системы для передачи тока в индуктор, достоинством – возможность электрического управления муфтой. Муфты с постоянными магнитами (магнитогистерезисные) обладают высокой надежностью. Однако регулирование передаваемого момента в них затруднено.

В магнитогистерезисной муфте (рис. 17.6) постоянные магниты *1* с полюсными наконечниками *2* укреплены в магнитопроводе *3* индуктора, связанного с ведущим валом. На ось ведомого вала насажен ротор, состоящий из втулки *5* из немагнитного или магнитомягкого материала и колец *4* активного слоя. Кольца активного слоя изготовлены из материала с довольно широкой петлей гистерезиса, имеющей высокие значения остаточной индукции и коэрцитивной силы. Шихтованная структура активного слоя позволяет уменьшить вихревые токи и асинхронный вращающий момент.

Пусть ротор заторможен, а индуктор вращается приводным двигателем с угловой скоростью ω_1 . Под действием вращающегося магнитного поля индуктора в активном слое появляются потери на гистерезис от перемагничивания. Потери за один цикл перемагничивания определяются максимальным значением индукции в активном слое ротора.

Преимущество гистерезисной муфты заключается в постоянстве передаваемого момента. Если нагрузочный момент M_n резко возрастает (неполадки, поломки механизма), то максимальный момент, передаваемый на приводной двигатель, ограничен M_T и гистерезисная муфта защищает двигатель от перегрузки. Постоянство момента муфты обеспечивает быстрый разгон нагрузки.

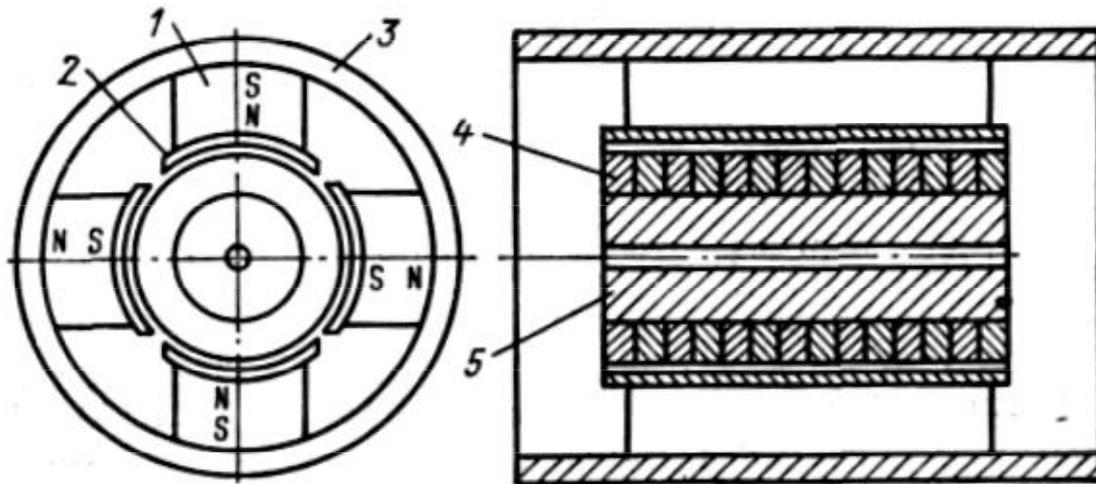


Рис. 17.6. Магнитогистерезисная муфта с радиальным рабочим зазором

В ряде схем автоматики необходима быстрая остановка привода. В этих случаях применяются тормоза на базе гистерезисной муфты. Ведомая часть муфты делается неподвижной, а ведущая соединяется с приводным двигателем. При торможении двигатель отключается и включается муфта. Постоянный тормозной момент муфты обеспечивает быструю остановку привода.

Гистерезисные муфты широко применяются для передачи момента в агрессивную среду, отделенную от окружающей среды металлической немагнитной оболочкой и находящуюся под высоким давлением. В этом случае применяются муфты с аксиальным рабочим зазором. Ведущая часть с индуктором отделена немагнитной стенкой от ведомой части с активным слоем в виде колец.

Лекция №18

КОМПЛЕКТНЫЕ РАСПРЕДУСТРОЙСТВА. ВИДЫ, СОСТАВ, КОНСТРУКЦИЯ. ОГРАНИЧИТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ. РЕАКТОРЫ, РАЗРЯДНИКИ. ОГРАНИЧИТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЯ

НАЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Электрические аппараты высокого напряжения (АВН) используются в электроэнергетических системах (объединенных и автономных) для осуществления всех необходимых изменений схем выдачи мощности и электроснабжения потребителей в нормальном эксплуатационном режиме и в аварийных условиях, обеспечения непрерывного контроля за состоянием высоковольтных систем, ограничения возникающих в процессе эксплуатации перенапряжений и токов короткого замыкания, а также для компенсации избыточной зарядной мощности линий. Иными словами, с помощью высоковольтных электрических аппаратов осуществляется управление энергетическими системами в самом широком смысле этого понятия.

По функциональному признаку аппараты высокого напряжения подразделяются на следующие виды:

- коммутационные аппараты (выключатели, выключатели нагрузки, разъединители, короткозамыкатели, отделители);
- измерительные аппараты (трансформаторы тока и напряжения, делители напряжения);
- ограничивающие аппараты (предохранители, реакторы, разрядники, нелинейные ограничители перенапряжений);
- компенсирующие аппараты (управляемые и неуправляемые шунтирующие реакторы).

Коммутационные аппараты используются для формирования необходимых схем выдачи мощности от электростанций, ее передачи на расстояние и схем электроснабжения потребителей.

Выключатели предназначены для включения и отключения токоведущих элементов электроэнергетических систем в нормальных (отключение рабочего тока) и аварийных (отключение тока короткого замыкания) режимах и тем самым для предотвращения развития аварий в электроэнергетических системах. В связи с такой ответственной ролью выключателей к ним предъявляются очень жесткие требования. Они должны многократно (тысячи раз) обеспечивать коммутацию (включение и отключение) токоведущих цепей при номинальном токе (либо при меньших токах). Во включенном положении выключатели должны выдерживать воздействие рабочих напряжений и тока в течение срока службы (25 лет). При возникновении короткого замыкания (КЗ) выключатель должен выдержать воздействие тока КЗ и обеспечить отключение поврежденного участка сети в течение нескольких полупериодов напряжения промышленной частоты.

Из сказанного следует, что выключатель должен иметь очень высокий коэффициент готовности: при малой продолжительности процессов коммутации (несколько минут в году) должна быть постоянно обеспечена готовность к осуществлению коммутаций.

В эксплуатации используются различные типы выключателей. Наиболее распространены масляные выключатели, в которых дугогасительной средой является минеральное масло. Они изготавливаются для распределительных устройств (РУ) напряжением до 220 кВ включительно.

Для РУ напряжением 110 кВ и выше (вплоть до 1150 кВ) наиболее широко используются воздушные выключатели, где гашение дуги осуществляется потоком сжатого воздуха.

В последнее время интенсивно развиваются конструкции вакуумных выключателей, у которых контактная система помещена в вакуумную камеру. Такие выключатели изготавливаются на напряжение до 35 кВ включительно. Их отличительная особенность – погасание дуги при первом же переходе тока через нуль (после расхождения контактов).

Развиваются работы и по созданию элегазовых выключателей, в которых в качестве дугогасящей среды используется электроотрицательный газ – шестифтористая сера (элегаз). Такие выключатели создаются для герметичных распределительных устройств (ГРУ), а также для наружной установки, где в качестве изоляции относительно земли используются воздух и фарфоровые или стеклопластиковые изоляторы.

На напряжение 6 и 10 кВ наиболее распространены электромагнитные выключатели, в которых дуга горит в воздухе при атмосферном давлении и в результате воздействия сильного магнитного поля удлиняется настолько, что отдача теплоты стволем дуги (усиленная специальными мерами) превосходит ее поступление и дуга распадается.

Выключатели нагрузки применяются, как правило, в цепи генераторного напряжения на очень большие номинальные токи (20 ÷ 30 кА), когда токи короткого замыкания отключаются высоковольтными выключателями за повышающими трансформаторами. В этом случае ток электродинамической стойкости достигает сотен тысяч ампер. Кроме того, выключатели нагрузки применяются на тупиковых подстанциях небольшой мощности, в кольцевых линиях, когда применение выключателей оказывается неэкономичным. Существенно меньшие токи, отключаемые выключателями нагрузки, определяют значительное упрощение их конструкций и снижение массогабаритных показателей по сравнению с выключателями.

Разъединители применяются для коммутации обесточенных с помощью выключателей участков токоведущих систем, для переключения присоединений распределительных устройств с одной ветви на другую без перерыва тока и для коммутации очень малых токов ненагруженных силовых трансформаторов и коротких линий.

Например, при подготовке выключателя к ремонту он должен быть отделен от смежных элементов токоведущих систем, находящихся под напряжением, с помощью разъединителей P_1 и P_2

(рис. 18.1) после отключения выключателя *B*. При этом разъединители отключают небольшой ток, определяемый напряжением сети и емкостью токоведущих элементов выключателя и подводящей ошиновки. Разъединители открытой установки создают видимые разрывы токоведущей системы, обеспечивающие безопасность выполнения работ на выключателе.

После отключения разъединителей выключатель *B* должен заземляться с обеих сторон с помощью переносных заземлителей либо специальных заземляющих ножей $PЗ_1$ и $PЗ_2$, встраиваемых в конструкцию разъединителя.

Отделитель служит для отключения обесточенной цепи высокого напряжения за малое время (не более 0,1 сек.). Он похож на разъединитель, но снабжен быстродействующим приводом.

Короткозамыкатель служит для создания КЗ в цепи высокого напряжения. По конструкции он сходен с заземляющим устройством разъединителя, но снабжен быстродействующим приводом.

Короткозамыкатели и отделители устанавливаются на стороне высшего напряжения распределительных устройств (РУ) малоответственных потребителей, когда с целью экономии площади и стоимости выключатели предусмотрены только на стороне низшего напряжения. При повреждении в РУ и токе КЗ, недостаточном для работы защиты на отправном конце питающей линии, короткозамыкатель заземляет линию. При этом увеличивается ток КЗ, что обеспечивает надежное срабатывание защиты и отключение линии с отправного конца выключателем. После этого отключаются выключатель поврежденной трансформаторной группы на стороне низшего напряжения и затем отделитель этой же группы на стороне высшего напряжения. Таким образом, поврежденная трансформаторная группа оказывается изолированной от сети, что обеспечивает возможность повторного включения выключателя на отправном конце питающей линии и восстановления питания потребителей поврежденной трансформатор-

ной группы в результате их подключения между шинным выключателем к неповрежденной трансформаторной группе (рис. 18.2).

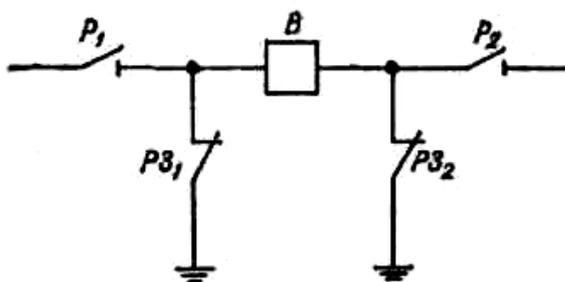


Рис. 18.1. Схема соединения выключателя и разъединителей

Короткозамыкатели и отделители обладают большим быстродействием для ограничения длительности аварийного режима в системе.

Измерительные трансформаторы тока (ТА) и напряжения (ТВ) применяются для непрерывного контроля за этими параметрами электрической цепи в качестве датчиков сигнала ее состояния, воспринимаемого устройствами защиты и автоматики. Применяются ТА и ТВ при высоких напряжениях и больших токах, когда непосредственное включение в первичные цепи контрольно-измерительных приборов, реле и приборов автоматики технически невозможно или недопустимо по условиям безопасности обслуживающего персонала.

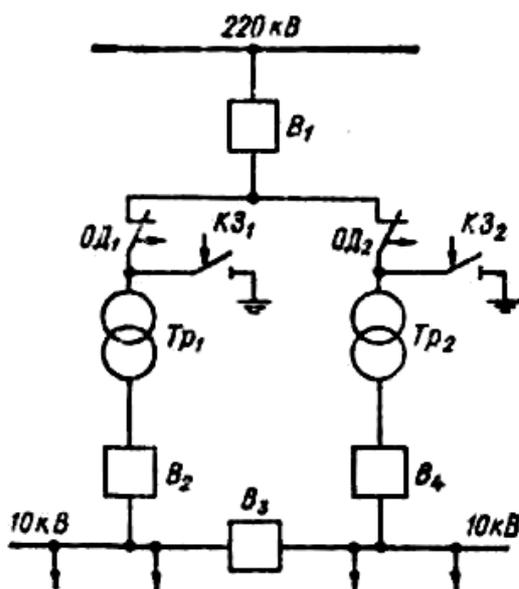


Рис. 18.2. Схема РУ с короткозамыкателями и отделителями

Измерительные трансформаторы устанавливаются в открытых (ОРУ), закрытых (ЗРУ) и герметичных (ГРУ) распределительных устройствах и связываются контрольными кабелями с приборами устройств вторичной коммутации, которые размещаются на панелях щитов и пультов и на стенах в помещениях щитов управления, машинного зала и распределительных устройств. Основное требование к трансформаторам тока – обеспечение передачи информации со стороны высокого потенциала на потенциал земли с минимально возможными искажениями. Наиболее распространенными в настоящее время являются электромагнитные трансформаторы тока и напряжения, содержащие магнитопровод, первичную обмотку, включаемую непосредственно в цепь высокого напряжения последовательно (ТА) либо параллельно (ТВ), и одну или несколько вторичных обмоток. Номинальный ток вторичных обмоток ТА составляет обычно 5 А, иногда 1 А, номинальное напряжение вторичных обмоток ТВ – обычно 100 В.

Эти трансформаторы имеют очень небольшие погрешности в установившемся режиме – от долей процента до нескольких процентов в зависимости от класса точности. Однако в переходных режимах, связанных, например, с возникновением КЗ, погрешности измерения тока и напряжения могут достигать 10% и более, прежде всего из-за насыщения стали сердечника.

В связи с этим в последнее время вместо электромагнитных ТВ применяются емкостные делители напряжения, а вместо электромагнитных ТА – оптико-электронные (ОЭТТ), в которых сигнал со стороны высокого потенциала передается на землю по оптическому каналу с помощью волоконистых световодов. Такие трансформаторы тока передают сигнал на устройства защиты и управления с малыми искажениями. Однако мощность передаваемого по оптическому каналу сигнала недостаточна для использования в обычных устройствах релейной защиты и автоматики, поэтому использование ОЭТТ необходимо сочетать с применением микроэлектронных устройств и ЭВМ.

Ограничивающие аппараты подразделяются на аппараты ограничения тока и напряжения.

К токоограничивающим аппаратам относятся высоковольтные предохранители и реакторы. Плавкие предохранители высокого напряжения предназначены для защиты силовых трансформаторов, воздушных и кабельных линий, конденсаторов, электродвигателей и трансформаторов напряжения.

Токоограничивающие предохранители с мелкозернистым наполнителем применяются на напряжение $3 \div 35$ кВ с номинальным током $2 \div 1000$ А и током отключения от 2,5 до 63 кА.

Выхлопные предохранители переменного тока, где гашение дуги происходит при переходе тока через нуль, применяются на напряжение $6 \div 220$ кВ с номинальным током $2 \div 200$ А и током отключения от 1,6 до 20 кА.

Токоограничивающие реакторы представляют собой катушку индуктивности без сердечника, включаемую последовательно в токоведущую цепь. Реактор выбирается из условия ограничения тока КЗ в цепях $6 \div 10$ кВ до уровня, при котором обеспечивается динамическая и термическая стойкость коммутационных аппаратов (когда их параметры недостаточны для работы без реакторов), а также термическая стойкость защищаемых кабелей. Менее распространены токоограничивающие реакторы в сетях $110 \div 220$ кВ. При малых токах (вплоть до номинального) падение напряжения на реакторе обычно не превышает $3 \div 10$ % номинального напряжения. При коротком замыкании на линии, защищаемой реактором, напряжение на соседней линии не должно уменьшаться более чем на 25% по сравнению с доаварийным режимом.

Наиболее распространенным средством ограничения грозовых и внутренних перенапряжений являются разрядники. Эти аппараты состоят из нелинейных резисторов (варисторов) и искровых промежутков, автоматически подключающих блок варисторов к токоведущей цепи при превышении заданного уровня напряжения.

В настоящее время созданы варисторы с такой высокой степенью нелинейности вольт-амперной характеристики, что они могут быть подключены к токоведущим элементам без искровых промежутков. Проте-

кающий по варисторам ток при номинальном напряжении составляет миллиамперы, а при повышениях напряжения возрастает до тысяч ампер. Отсутствие искровых промежутков существенно упрощает конструкцию ограничителей перенапряжений, но порождает новые проблемы, связанные с необходимостью обеспечения надежной работы аппарата при рабочем напряжении.

Компенсующие аппараты. В сетях сверхвысокого напряжения широко применяются реакторы, включаемые между токоведущими элементами и землей (шунтирующие реакторы). Они предназначены для компенсации избыточной зарядной мощности в режиме малых нагрузок (когда по линии передается мощность меньше натуральной). При номинальной нагрузке линии реакторы отключены, а по мере уменьшения нагрузки они подключаются с помощью высоковольтных выключателей.

Регулируемые (управляемые) реакторы обеспечивают возможность быстрого и плавного изменения потребляемой ими реактивной мощности без отключения от линии. Такие реакторы в настоящее время находятся в стадии разработки. Наличие обмотки подмагничивания позволяет форсировать параметры реактора – кратковременно увеличивать его мощность до величины значительно выше номинальной, а следовательно, использовать регулируемые реакторы в качестве средств глубокого ограничения внутренних перенапряжений.

Комплектные распределительные устройства состояются из полностью или частично закрытых шкафов или блоков с встроенными в них аппаратами, устройствами защиты и автоматики, поставляемых в собранном или полностью подготовленном для сборки виде. Комплектные распределительные устройства выпускаются для внутренней (КРУ) и для наружной (КРУН) установки. Комплектные РУ 6 ÷ 20 кВ в наибольшей степени отвечают требованиям индустриализации энергетического строительства, поэтому они становятся самой распространенной формой исполнения РУ.

В последние годы начали применять комплектные РУ нового типа – герметичные (ГРУ), в которых все токоведущие элементы и аппараты (сборные шины, выключатели, разъединители, трансформаторы тока и

напряжения) расположены внутри герметичной оболочки, заполненной сжатым высокопрочным газом (элегазом). Такие РУ полностью изготавливаются на заводе в виде отдельных ячеек, набор которых может изменяться в зависимости от схемы подстанции.

В настоящее время освоен серийный выпуск ячеек ГРУ на напряжение 110 и 220 кВ и осваивается серийный выпуск ГРУ на напряжение 330, 500, 750 и 1150 кВ.

Герметичные распределительные устройства предполагается использовать прежде всего в крупных городах с целью экономии площади и объема. Так, ГРУ 110 и 220 кВ могут быть размещены в подвальных помещениях жилых зданий. Целесообразно использовать ГРУ на гидростанциях, где, как правило, недостаточно места для размещения ОРУ, а также в районах со сложными климатическими, метеорологическими и сейсмическими условиями и в районах с сильным загрязнением атмосферы.

Прогрессивное направление аппаратостроения – создание комплексов аппаратов – получило развитие и при создании аппаратов на генераторное напряжение. В комплекс объединяются все три аппарата, включаемые в рассечку токопровода – от генератора до трансформатора: выключатель, разъединитель и трансформатор тока. Такое объединение приводит к существенному уменьшению объема, занимаемого аппаратами, повышает их технико-экономические характеристики, в том числе надежность.

КЛАССИФИКАЦИЯ АВН

Коммутационные аппараты. В эту группу входят высоковольтные выключатели, предохранители, выключатели сгрузки, разъединители, отделители и короткозамыкатели.

Высоковольтный выключатель – важнейший из АВН. Он служит для включения и отключения токов любых режимов: номинальных, токов КЗ, токов холостого хода (ХХ) силовых трансформаторов, токов холостых линий и кабелей. Характерной особенностью этого аппарата является наличие дугогасительного устройства (ДУ), которое

обеспечивает гашение дуги, возникающей в цепи высокого напряжения при ее размыкании.

Разъединитель служит для включения и отключения цепей высокого напряжения при отсутствии тока. Эти аппараты необходимы для изменения электрических схем энергоустановки и создания безопасных условий при ремонте и ревизии АВН и силового оборудования (трансформаторов, генераторов и др.). Отличительной особенностью разъединителя является видимый разрыв между контактами в положении «отключено». Разъединитель не имеет ДУ. После снятия напряжения с оборудования необходимо заземлить токоведущие части. Для этого разъединители часто снабжаются заземляющими устройствами.

Высоковольтный предохранитель – аппарат, производящий отключение защищаемой цепи при КЗ и недопустимой перегрузке путем плавления металлического проводника малого сечения и последующего гашения дуги высокого напряжения в ДУ.

Выключатель нагрузки. Этот аппарат служит только для включения и отключения номинальных токов установки. Отключение токов КЗ и перегрузок производит высоковольтный предохранитель, включенный с выключателем нагрузки последовательно. В отличие от разъединителя выключатель нагрузки имеет ДУ, рассчитанное на коммутацию номинальных токов и токов х.х. трансформаторов и линий электропередачи.

Отделители и короткозамыкатели. В связи с возрастанием мощности приемников напряжение $35 \div 220$ кВ подается непосредственно на территории заводов, фабрик, городов. Выключатели на это напряжение имеют значительные габаритные размеры и высокую стоимость. В связи с этим разработаны упрощенные схемы энергоснабжения, в которых выключатели на повышенное напряжение заменяются простыми и дешевыми аппаратами – отделителями и короткозамыкателями, не требующими большого помещения.

Отделитель – это коммутационный аппарат, который служит для отключения обесточенной цепи высокого напряжения за малое время. По своей конструкции отделитель похож на разъединитель, но

имеет быстродействующий привод, который отключает его за относительно малое время (не более 0,1 сек.).

Короткозамыкатель – это коммутационный аппарат, который служит для создания КЗ в цепи высокого напряжения. По своей конструкции он напоминает заземляющее устройство разъединителя. Включение и отключение короткозамыкатели производят также с помощью быстродействующего привода. Время включения с момента подачи управляющего сигнала до момента замыкания контактов не превышает 0,1 сек. Согласованная работа отделителя и замыкателя производится от специальной схемы автоматики.

Ограничивающие аппараты:

1) токоограничивающий реактор – катушка индуктивности, которая служит для ограничения тока КЗ и поддержания необходимого напряжения на сборных шинах распреустройства. Реакторы позволяют применить высоковольтные выключатели и другие АВН облегченного типа, а также повысить надежность работы электроустановки. Наряду с токоограничивающими реакторами в установках высокого напряжения нашли применение реакторы иного назначения: шунтирующие, нагрузочные, дугогасящие и др.;

2) разрядники – аппараты, ограничивающие напряжение в электроустановке при коммутационных и атмосферных перенапряжениях. Они позволяют снизить требования к прочности электрической изоляции аппаратов и оборудования, уменьшить габаритные размеры электроустановки и значительно удешевить ее.

Измерительные аппараты. В эту группу входят высоковольтные трансформаторы тока (ТА) и напряжения (ТВ). Они изолируют силовые цепи высокого напряжения от токовых цепей и цепей напряжения измерительных приборов и релейной защиты. Кроме того, они позволяют привести различные номинальные токи и номинальные напряжения силовых цепей высокого напряжения к стандартным значениям тока (1 и 5 А) и напряжения (100 В).

Примечание: дополнительный материал для самостоятельного изучения по

измерительным аппаратам представлен в приложении 6.

Комплектные распределительные устройства (КРУ) представляют собой совокупность АВН (выключатель, разъединители, ТА, ТУ, реактор и др.), которая позволяет осуществлять управление потоком энергии и защиту от аварийных режимов. КРУ изготавливаются на аппаратном заводе и поставляются на подстанцию в готовом виде. Определенный набор ячеек КРУ позволяет на месте монтажа создать распределительное устройство высокого напряжения по одной из типовых схем. КРУ позволяет резко сократить время монтажа распределительного устройства, повысить надежность работы электроустановки, уменьшить затраты активных материалов и трудоемкость.

Примечание: дополнительный материал для самостоятельного изучения по низковольтным комплектным устройствам представлен в приложении 5.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие науки и техники, научно-технические исследования предполагают развитие и совершенствование методов проектирования и расчета существующих, а также разработку новых электрических аппаратов. Поэтому соотношения и методы, приведенные в данном пособии, не являются неизменными и установившимися.

Учебное пособие охватывает курс электрических аппаратов и предназначено для изучения основ теории, конструкции, принципа действия, принципиальных схем и основных характеристик электрических аппаратов, проведения практических занятий по дисциплине и подготовке студентов к выполнению лабораторных работ.

Кроме того, данное учебное пособие может быть использовано для самостоятельной работы студентов дневной и заочной форм обучения. С этой целью в приложениях приводится дополнительный материал, который или не рассмотрен в курсе лекций, или представляет собой дополнительную, расширенную информацию, необходимую

для самостоятельной работы студентов.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1: ДАТЧИКИ

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ И ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К НИМ

Датчик – это первый элемент измерительного канала, как правило, аналоговое устройство, выдающее информацию о параметрах системы и протекающих в ней процессах. Он является основным источником электрического сигнала (изменение состояния электрической цепи за счет ее замыкания и размыкания, изменения одного из электрических параметров – R , L , C – или генерации э.д.с.), который в последующей части цепи подвергается обработке, преобразованию к виду, удобному для передачи по линиям связи и дальнейшего преобразования и использования.

Электрический датчик – устройство, которое, подвергаясь воздействию некоторой, как правило, неэлектрической, физической величины (скорость, ускорение, давление, температура, влажность, освещенность, состав и процентное содержание примесей, частота колебаний, цвет и т.п.), выдает эквивалентный электрический сигнал (заряд, ток, напряжение и т.д.), являющийся функцией этой контролируемой величины:

$$y = f(x),$$

где x – входная, контролируемая (регулируемая) величина, y – выходной сигнал датчика.

В общем случае под сигналом понимают материальный носитель информации: изменяющиеся заряд, ток или напряжение, несущие информацию об измеряемой величине.

Для современного производства характерно применение датчиков в интерактивном режиме, т.е. когда результаты измерений сразу же используются для регулирования процесса. Это позволяет быстро корректировать технологический процесс, повышать качество выпускаемой продукции и увеличивать ее количество.

В состав датчика могут входить функциональные узлы:

- чувствительный элемент, по существу сам датчик, непосредственно воспринимающий воздействие контролируемой величины;
- преобразователь (например, преобразователь переменного напряжения в постоянное пропорциональное среднему или действующему значению входного или выходного напряжения);
- усилитель, предназначенный для согласования выходных сигналов датчика с входом системы управления; фильтры, согласующие каскады (выпрямители, резисторы, дроссели, трансформаторы), элементы гальванической развязки и т.п.

Датчики как составная часть систем автоматического регулирования характеризуются как статическими, так и динамическими показателями. Датчики должны иметь:

- высокую надежность, большой срок безотказной работы;
- высокую точность, стабильность и однозначность характеристик (отсутствие остаточного сигнала, зоны нечувствительности и гистерезиса) и их независимость от внешних воздействий (старение элементов схемы, нестабильность питающего напряжения и сопротивления на выходе измерительного органа, влияние окружающей среды и т.п.);
- высокую восприимчивость – способность реагировать на незначительные отклонения измеряемой величины;
- высокую чувствительность, которая не должна зависеть от значения и закона изменения контролируемой величины;
- высокое быстродействие – скорость преобразования измеряемой величины должна обеспечивать надежное слежение за ее изменениями;
- высокую эффективность – максимальный выходной сигнал при минимальной входной потребляемой энергии;
- минимальные статические и динамические погрешности;
- минимальную реакцию, сам датчик не должен искажать процессы, за которыми он призван следить и контролировать;
- минимальную пульсацию выходного сигнала (датчик постоян-

ного тока) и минимальные колебания фазы выходного напряжения (датчик переменного тока);

- минимальные габаритные размеры, массу и стоимость;
- простую конструкцию, предусматривающую свободную компоновку с другими аппаратами и элементами.

Датчики не должны оказывать влияния на обслуживающий персонал и работу близлежащих аппаратов и устройств.

КЛАССИФИКАЦИЯ ДАТЧИКОВ

В основу классификации датчиков могут быть положены различные критерии и признаки. Например, датчики можно классифицировать:

- по физическим явлениям, лежащим в основе их работы (закон электромагнитной индукции, эффект Холла, закон Нернста, магнетострикция, изменение электрической емкости от влажности и т.п.);

- по наличию подвижных элементов (электромеханические) или их отсутствию (статические);

- по принципу действия;

- по устройству;

- по назначению;

- по контролируемой величине: давление, влажность, ускорение, угол поворота и т.п.;

- по объекту регулирования: температура печи, частота вращения двигателя, скорость перемещения дуги;

- по виду передаточной функции: безынерционные, инерционные, с запаздыванием и т.п.

Независимо от перечисленного выше все датчики подразделяются на следующие типы:

- пассивные, или параметрические;

- активные, или генераторные.

Из названий следует, что к первой группе относятся датчики, которые не в состоянии самостоятельно создавать на выходе электрический сигнал, для их работы необходим источник питания, а датчик под воз-

действием контролируемой величины лишь меняет свои внутренние параметры, что в конечном итоге и вызывает изменение выходного сигнала (например, резистивные, индуктивные и емкостные датчики).

Активные датчики не нуждаются в постороннем источнике питания, они сами генерируют электрический сигнал, как правило, в виде э.д.с., под воздействием измеряемой величины. Например, индукционные; термоэлектрические; пирозэлектрические; фотоэлектрические (на внешнем или внутреннем фотоэффекте); фотоэлектромагнитные; пьезоэлектрические; Виганда; Холла; магнитострикционные; на твердых электролитах.

ПАССИВНЫЕ ДАТЧИКИ

Пассивные датчики являются наиболее простыми, доступными, легко реализуемыми и широко распространенными датчиками.

Резистивные датчики – используются для контроля линейных и угловых перемещений, давления, температуры и т.д. Их принцип действия основан на вариации активного электрического сопротивления под влиянием измеряемой величины. Для их питания могут использоваться источники постоянного или переменного тока. В зависимости от включения (как потенциометр или реостат) выходными параметрами будут напряжение или ток.

Многие резистивные датчики относятся к безынерционным звеньям; их чувствительность обычно лежит в пределах от 3 до 5 В/мм. Резистивные датчики сопротивления могут быть каркасными и бескаркасными (жидкостными, электролитическими).

В каркасных (неэлектролитических) датчиках в качестве сопротивления используются высокоомная проволока, слой полупроводника или пленка металла. В зависимости от вида характеристики резистивные датчики могут быть линейными и нелинейными. Иногда преднамеренно характеристике датчика придают специальный нелинейный вид. С этой целью используют фигурные каркасы, шунтируют отдельные участки или выполняют их из материалов с различным

удельным электрическим сопротивлением.

Электролитические датчики могут использоваться только в цепях переменного тока из-за разложения электролита и поляризации электродов при постоянном токе; их сопротивление сильно зависит от температуры.

В резистивных датчиках положения подвижный элемент датчика механически связан с рабочим механизмом (РМ). Изменение положения рабочего механизма приводит к ответной вариации сопротивления датчика. Это сказывается на выходном сигнале в виде напряжения или тока.

Рассматриваемые датчики весьма чувствительны, способны выдавать значительные выходные сигналы, значение которых, однако, существенно зависит от сопротивления нагрузки датчика, то есть от входного сопротивления элемента схемы, подключаемого к выходным зажимам датчика.

Датчик на герконах, принципиальная схема которого приведена на рис. П1.1, служит для измерения частоты вращения и работает следующим образом. Между герконом 1 и постоянным магнитом 2 вращается профилированный ферромагнитный диск 4, укрепленный на валу 3, частоту которого необходимо контролировать. При вращении вала диск своими лепестками периодически экранирует геркон от воздействия магнитного поля постоянного магнита 2. Это приводит к циклическому замыканию и размыканию контактных сердечников геркона 1. Выводные концы геркона подключены к счетчику импульсов. Анализируя количество импульсов, прошедших в единицу времени, можно судить о частоте вращения вала 3.

Существуют другие конструкции и принципы построения датчиков на герконах, но все они основаны на изменении магнитного поля в зоне перекрытия контактных сердечников геркона при вариации контролируемой величины.

Индуктивные датчики основаны на использовании изменения индуктивности под влиянием контролируемой величины; выходной

сигнал и его фаза зависят от положения подвижного элемента. Индуктивные датчики используются для измерения перемещений и усилий. Эти датчики могут работать лишь с источниками переменного тока. По этой причине их ферромагнитные потокопроводящие части изготавливаются из кремнистых сталей и, как правило, шихтованными. По сравнению с резистивными датчиками они менее чувствительны к колебаниям температуры, но весьма чувствительны к перепадам напряжения и частоты питающего напряжения, обладают повышенной реакцией. В качестве примера рассмотрим датчик линейных перемещений (рис. П1.2). Конструктивно он подобен П-образному электромагнитному реле с прямоходовым движением якоря. Обмотка датчика включается последовательно с измерительным прибором. В отличие от реле она не должна создавать вполне определенную МДС, обеспечивающую срабатывание, а служит лишь для перевода датчика в разряд реактивных элементов. Для повышения чувствительности датчика обмотка выполняется с большим числом витков.

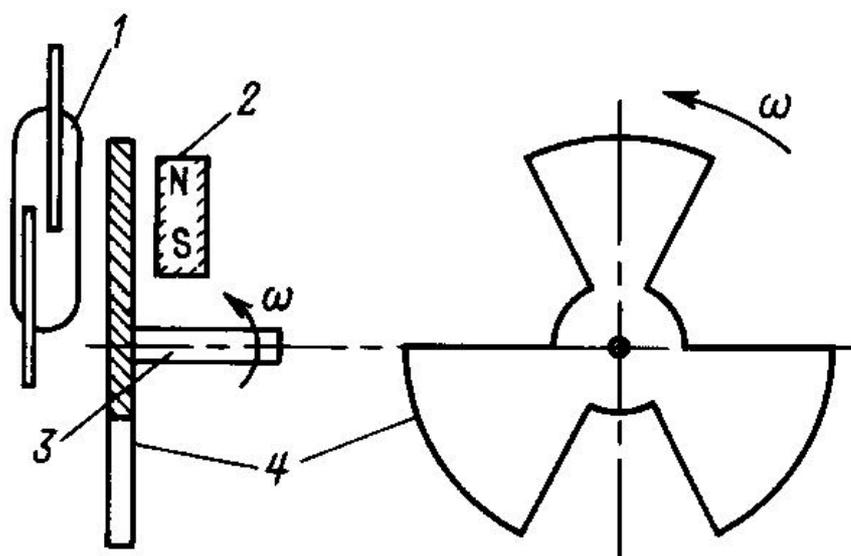


Рис. П1.1. Резистивный датчик оборотов на герконах

При перемещении контролируемого узла происходит изменение зазора между механически связанным с этим узлом якорем и магнитопроводом (см. рис. П1.2). Это приводит к изменению тока в цепи. Если не учитывать внутреннее сопротивление обмотки и потери в

стали, то можно считать, что связь между током в обмотке и зазором δ носит линейный характер.

Выходной сигнал в виде напряжения может сниматься с линейного балластного сопротивления Z (это может быть резистор, катушка индуктивности или конденсатор; напряжение на нем изменяется прямо пропорционально току в обмотке) или с зажимов самой обмотки. Иногда на одном магнитопроводе располагаются две обмотки с одинаковыми или разными числами витков N_1 и N_2 . Это позволяет обеспечить на выходе датчика напряжение, необходимое для работы подключаемого к датчику последующего элемента схемы. Кроме того, наличие двух обмоток позволяет электрически развязать цепь питания датчика с цепью его нагрузки. Обмотки пронизываются одним и тем же магнитным потоком Φ , их магнитная связь не меняется при любых вариациях рабочего зазора δ , т.е. остаются неизменными взаимная индуктивность и коэффициент приведения.

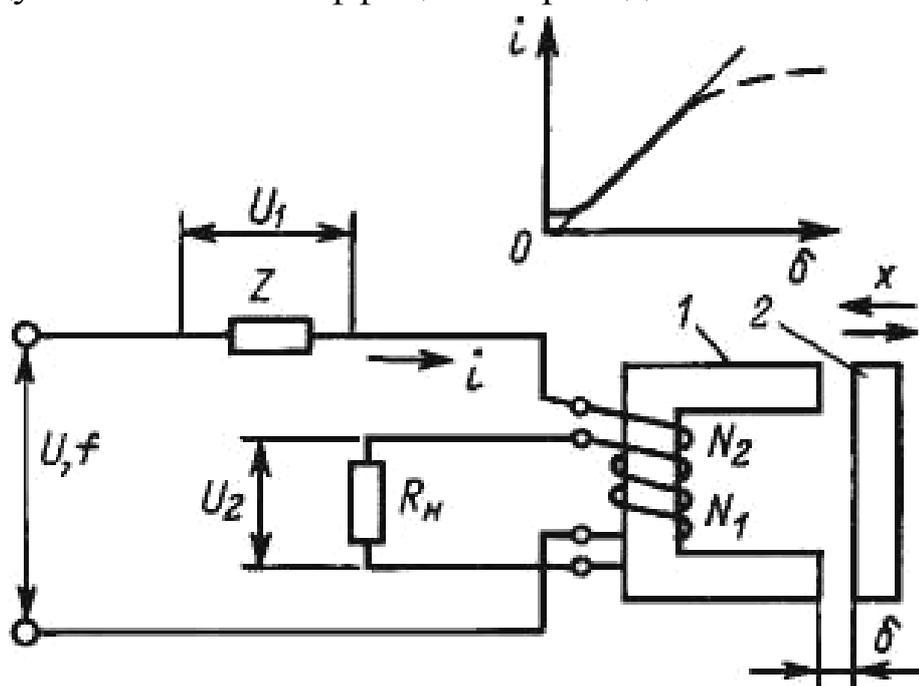


Рис. П1.2. Индуктивный датчик линейных перемещений:

1 – магнитопровод; 2 – якорь

Поскольку рассмотренный датчик не является идеальным, то его характеристика не всюду линейна (сплошная линия на графике, рис. П1.2). Из характеристики видно, что датчик обладает оста-

точным сигналом при $\delta = 0$, характеристика нелинейна при больших и малых зазорах.

Для борьбы с указанными недостатками обычно используется симметричная конструктивная схема датчика.

Магнитострикционные датчики основаны на использовании эффекта магнитострикции. Магнитное поле, воздействуя на ферромагнитные материалы, вызывает в них определенные изменения (**прямой магнитострикционный эффект**):

– *геометрические* (изменение линейных размеров с изменением объема: сжатие, растяжение; изменение размеров без изменения объема: кручение, изгиб);

– *механические* (изменение модуля Юнга). Наоборот, любые механические напряжения и изменения размеров под воздействием внешних сил приводят к изменениям кривой намагничивания: значений коэрцитивной силы H_c , остаточной индукции B_r , индукции насыщения B_s и формы петли гистерезиса (**обратный магнитострикционный эффект**). Проявление обратного магнитострикционного эффекта существенно зависит от значения и знака механического напряжения.

На подобном принципе построен датчик усилия (механического напряжения), использующий прямой магнитострикционный эффект, проявляющийся в изменении индуктивности системы в результате механического воздействия.

Трансформаторные датчики можно рассматривать как частный случай индуктивных датчиков, обладающих рядом специфических особенностей. Именно это позволяет выделить их в особую группу. Трансформаторные датчики содержат две или более подвижных или неподвижных обмоток, часть из которых может быть короткозамкнутой. Работа этих датчиков основана на изменении магнитной связи между первичной (входной) и вторичными (выходными, сигнальными) обмотками, вызванном воздействием контролируемой величины. Трансформаторные датчики используются для измерения механических сил и перемещения, они надежны в эксплуатации, имеют значи-

тельный выходной сигнал, который без усиления может использоваться в последующих элементах схемы. К недостаткам можно отнести увеличенные габаритные размеры, массу, инерционность и реакцию, чувствительность к колебаниям напряжения и частоты питающей сети.

На рис. П1.3, а, б представлены схемы трансформаторных датчиков линейных перемещений. В первом случае при изменении положения якоря происходит перераспределение магнитных потоков в системе, что вызывает различие в наведенных э.д.с. сигнальных обмоток, появляется выходной сигнал, эквивалентный ходу x якоря. Во втором датчике, применяемом для контроля больших линейных перемещений, смещение якоря вызывает изменение пути, по которому замыкается основной магнитный поток, созданный обмоткой возбуждения N_B (см. рис. П1.3, б). Это приводит к изменению эффективного числа витков сигнальной обмотки N_C , магнитно-связанных с обмоткой возбуждения, а следовательно, и к эквивалентному изменению выходной э.д.с. Датчик обладает высокой чувствительностью и хорошей линейностью выходной характеристики.

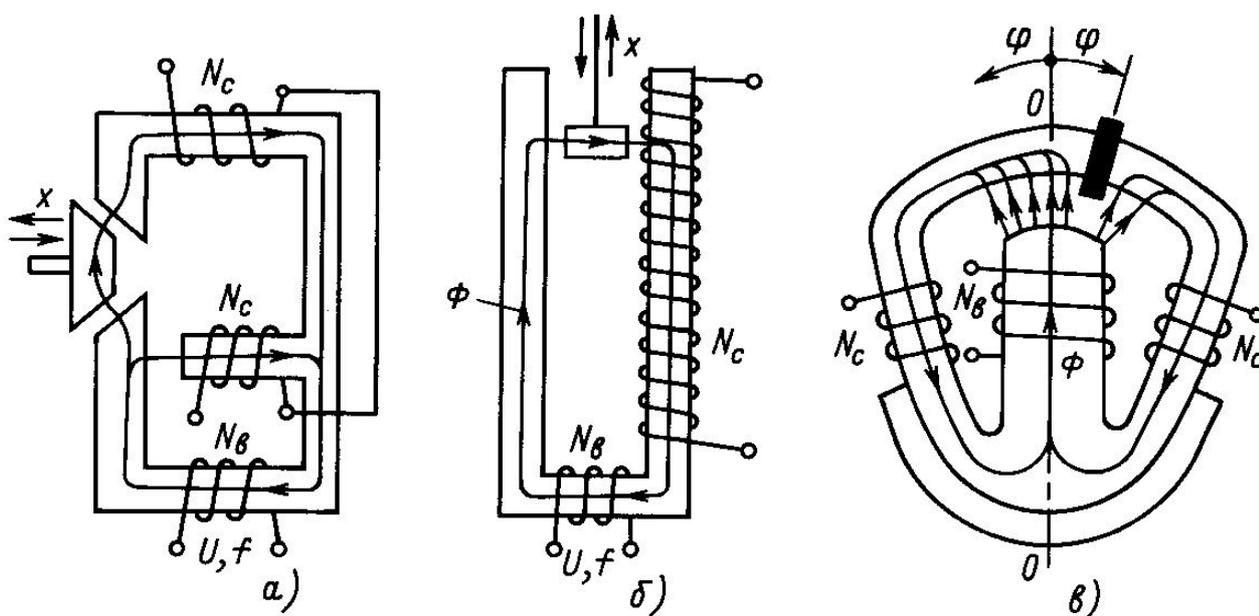


Рис. П1.3. Трансформаторные датчики перемещения

Отличительной особенностью рассматриваемого трансформаторного датчика от индуктивного датчика (см. рис. П1.2) является то, что

при работе трансформаторного датчика постоянно изменяется магнитная связь между обмотками, изменяется коэффициент трансформации между ними.

Работа датчика не изменится, если переменное напряжение питания подвести не к обмотке возбуждения, а к зажимам дифференциально включенных сигнальных обмоток, и напряжение выходного сигнала снимать со стороны обмотки возбуждения. Это относится ко всем схемам трансформаторных датчиков.

Недостатком рассмотренных датчиков можно считать их большую реакцию: для перемещения якоря необходимо прикладывать значительные усилия.

Для уменьшения реакции датчика необходимо снижать массу его подвижных частей. В этих целях нередко используются медные (или алюминиевые) короткозамкнутые витки или экраны (рис. П1.3, в), при помощи которых удастся легко изменять потокораспределение в системе. Если экран занимает нейтральное положение, располагаясь на нейтральной линии $\theta-\theta$, то магнитные потоки, пронизывающие левую и правую сигнальные обмотки, будут одинаковыми. Равны между собой и наведенные ими э.д.с., результирующий сигнал примет нулевое значение.

Смещение короткозамкнутого витка в любую сторону приводит к изменению потоков в левой и правой частях датчика (см. рис. П1.3, в), к появлению выходного сигнала. На рисунке показан датчик угловых перемещений, но по изложенному принципу легко реализуются и датчики линейных перемещений.

Емкостные датчики конструктивно просты, надежны, обладают малой массой и габаритными размерами, малой инерционностью и высокой чувствительностью. Эти датчики работают с источниками переменного тока; используются для измерения небольших перемещений, влажности, давления. Емкость датчика при внешнем воздействии может меняться из-за изменения зазора между электродами, их площади, механической деформации диэлектрика и его свойств. Емкость датчи-

ков обычно мала ($10 \div 100$ пФ), поэтому желательно работать на повышенных частотах. Чувствительность датчика зависит от конструкции, схемы включения и параметров, определяющих значение емкости.

АКТИВНЫЕ ДАТЧИКИ

Общий принцип их действия заключается в создании выходного сигнала в виде тока, заряда или э.д.с., эквивалентного механическому, тепловому, магнитному, световому и другим воздействиям.

Индукционные датчики – это наиболее распространенный класс активных датчиков. Они могут быть постоянного и переменного тока (однофазные и многофазные), обычно используются для контроля частоты вращения, углового ускорения, угла поворота, скорости и ускорения линейного перемещения. Эти датчики могут выдавать значительные выходные сигналы напряжения и мощности, в широком диапазоне изменения контролируемой величины имеют практически линейную характеристику, хорошо противостоят кратковременным механическим и электрическим перегрузкам, просты в обращении.

Индукционные датчики могут быть получены на базе трансформаторных датчиков: если одну из обмоток, например обмотку возбуждения, и магнитопровод, на котором она размещается, заменить постоянным магнитом. Вместо постоянного магнита можно использовать обмотку (например, ту же обмотку возбуждения), подключенную к источнику неизменного постоянного тока или напряжения.

Датчик частоты вращения (тахогенератор) выдает на выходе напряжение, пропорциональное частоте вращения ротора. На рис. П1.4 показаны принципиальные конструктивные схемы тахогенераторов постоянного (рис. П1.4, а) и переменного (рис. П1.4, б) токов. В них магнитный поток возбуждения создается постоянным магнитом I . При вращении ротора 3 (в датчике на рис. П1.4, б) роль ротора выполняет вращающийся постоянный магнит I с угловой скоростью ω . В сигнальных обмотках N_c индуцируется переменная э.д.с., пропорциональная угловой частоте ω .

Для выпрямления генерируемого напряжения в схеме рис. П1.4, *a* используются коллектор и щетки. В целях уменьшения напряжения между соседними ламелями из середины каждой сигнальной обмотки сделана отпайка, соединенная с соответствующей коллекторной пластиной. Сигнальные обмотки могут быть не только сосредоточенными, как на рис. П1.4, но и распределенными.

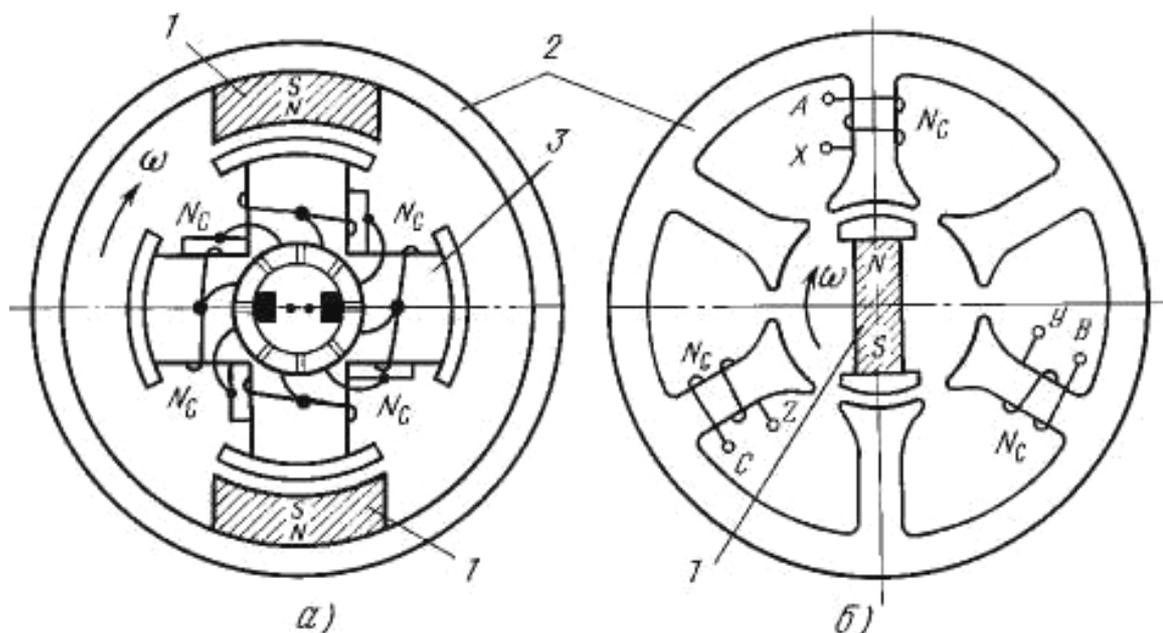


Рис. П1.4. Тахогенераторы:

a – постоянного тока; *б* – переменного тока;

1 – постоянный магнит; 2 – магнитопровод; 3 – ротор

Тахогенераторы могут контролировать не только частоту вращения, но и угол поворота рабочего механизма. Для этого датчик нужно вращать с постоянной частотой, а на выход необходимо подключить интегрирующее устройство. В датчике постоянного тока можно обойтись без него: одну из щеток необходимо механически соединить с рабочим механизмом, а ротор вращать с постоянной частотой. Тогда по мере вращения рабочего механизма будет изменяться взаимное положение щеток и напряжение между ними, причем напряжение будет изменяться пропорционально углу поворота рабочего механизма.

Приложение 2: АВТОМАТИЧЕСКИЕ ВОЗДУШНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ

УСТРОЙСТВО УНИВЕРСАЛЬНОГО АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ

Принципиальная схема универсального автоматического выключателя приведена на рис. П2.1. В автоматическом выключателе имеются три основных узла: контактно-дугогасительная система (элементы 10–16), узел привода и передаточного механизма (элементы 5–9), блок управления и защиты (элементы 1–4).

Аппарат коммутирует электрическую цепь с током I , в результате цепь отключается и дуга в аппарате гасится. Для ручного включения автоматического выключателя поворачивают рукоятку 5 в указанном направлении до момента, когда привод не встанет на защелку (на рисунке не изображена). Главные контакты 15 и дугогасительные контакты 11 будут замкнуты, а отключающая пружина 6 взведена. Кроме ручного в автоматическом выключателе могут быть электромагнитный привод 8 и электродвигательный привод, в котором после отключения автоматически включается электродвигатель небольшой мощности, взводящий включающую пружину (на рисунке не изображены).

При включении первыми замыкаются дугогасительные контакты 11, после них – главные контакты 15. При отключении в начале расходятся главные контакты и ток переходит в дугогасительные контакты. В результате на главных контактах предотвращается образование дуги большой мощности. Дуга гасится в дугогасительном устройстве 12. Гибкая латунная связь 16 необходима для создания цепи тока, когда он переходит в дугогасительные контакты 11.

Детали 13 образуют компенсатор электродинамических сил, который создает дополнительное электродинамическое усилие взаимодействия двух шарнирно связанных деталей с противоположно направленными токами. Это усилие суммируется с усилием контактной пружины 14 и компенсирует электродинамическую силу, возни-

кающую в самих контактах, и отталкивающую их друг от друга. Эти факторы, пропорциональные квадрату тока, приобретают особое значение при токах короткого замыкания. Деталь 9, осуществляющая связь между рукояткой 5 и валом 7 аппарата, является *механизмом свободного расцепления*, который разрывает связь между рукояткой и валом при автоматическом отключении аппарата от блока управления и защиты или при дистанционном отключении. При включении на существующее короткое замыкание он предотвращает «прыгание» (повторные включения-отключения) аппарата. Если бы не было механизма 9 и существовала бы жесткая связь между рукояткой 5 и валом 7, то при нажатой кнопке аппарата после включения аппарат тут же отключился бы от защиты. Но если сигнал на включение еще не был снят (оператор «зазевался»), то аппарат включится еще раз и быстро отключится и так далее. Это может привести к аварии аппарата.

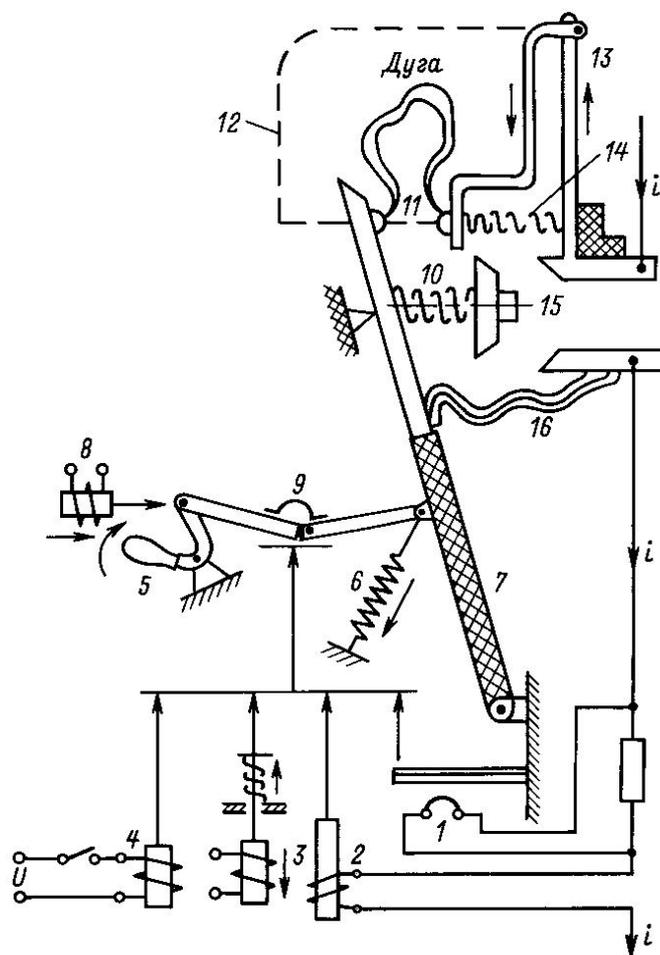


Рис. П2.1. Принципиальная схема автоматического выключателя

Расцепитель 1 с биметаллическим элементом осуществляет защиту от токов перегрузки, электромагнитный расцепитель 2 – от токов короткого замыкания, расцепитель 3 – от снижения напряжения в сетях (минимальный расцепитель), независимый расцепитель 4 – дистанционное отключение. Минимальный расцепитель 3 при номинальном напряжении развивает электромагнитную силу, которая будет больше силы пружины, и подвижная система расцепителя удержится в нижнем положении. Когда напряжение в сети окажется меньше допустимого, электромагнитная сила станет меньше силы пружины, подвижная деталь переместится вверх, ударит по рычагам 9 и переведет их через мертвую точку. Связь между рукояткой 5 и валом 7 нарушится под действием пружины 6. Отключаемые аппаратами токи достигают $70 \div 80$ кА. Для гашения электрической дуги используются щелевые камеры, дугогасительные решетки или их сочетание.

РАСЦЕПИТЕЛИ

Для выполнения защитных функций выключатели снабжаются специальными устройствами, воздействующими в аварийных режимах на механизм свободного расцепления. В связи с этим они получили название – «расцепители». В зависимости от параметра аварийного режима, на который реагируют расцепители, они подразделяются на следующие основные типы:

- расцепители максимального тока, срабатывающие при увеличении тока в главной цепи аппарата выше определенного уровня – уставки;
- расцепители дифференциального тока, срабатывающие при сверхдопустимой разности токов в полюсах аппарата;
- расцепители минимального напряжения, срабатывающие при снижении контролируемого напряжения ниже заданного уровня или при исчезновении напряжения – нулевые расцепители.

Наиболее опасным видом повреждений являются короткие замы-

кания. В электроустановках также часто возникают токовые перегрузки. Поэтому выключатели в первую очередь содержат расцепители максимального тока.

Выключатели, рассчитанные на массовое применение, особенно на номинальные токи ниже 630 А, например, отечественной серии ВА50-52 содержат наиболее простые, дешевые и надежные электромагнитные и термобиметаллические (тепловые) расцепители.

Электромагнитные расцепители по существу являются токовыми реле, которые срабатывают без выдержки времени и предназначены для защиты в зоне токов коротких замыканий.

В термобиметаллических расцепителях используется сила упругих деформаций, возникающих при нагревании термобиметаллического элемента (пластины из специального сплава с различным коэффициентом линейного расширения сторон пластины). Они выпускаются с прямым или косвенным подогревом. Термобиметаллические расцепители срабатывают с выдержкой времени, обратно пропорциональной квадрату тока, и применяются для защиты в зоне токов перегрузок.

В некоторых аппаратах применяются термомагнитные расцепители, в которых используется свойство ферромагнитных материалов изменять магнитную проницаемость при нагреве током.

Вид защитной характеристики (зависимости времени срабатывания от тока) определяется назначением аппарата и перегрузочной способностью защищаемого объекта (двигатель, кабель и т.д.).

В распределительных электрических сетях при коротких замыканиях необходимо отключать только поврежденный участок с сохранением электроснабжения других потребителей. Селективность (избирательность) действия защиты обеспечивается в ряде случаев рациональным выбором уставок по току срабатывания электромагнитных расцепителей, а в основном используется иерархический ступенчато-временной принцип срабатывания аппаратов. В первых конструкциях так называемых «селективных» выключателей для этой цели использовались раз-

личные замедлители срабатывания электромагнитных расцепителей: пневматические, гидравлические, с анкерным механизмом.

В связи с усложнением требований к качеству защиты низковольтных электроустановок (чувствительности, селективности, быстрдействию и надежности) в шестидесятые годы появились полупроводниковые расцепители. В основном из-за высокой стоимости сначала их стали применять в многоамперных аппаратах (на номинальные токи свыше 1000 А). Сейчас они широко применяются в выключателях с номинальными токами свыше 160 А. В нашей стране первыми аппаратами с новым типом расцепителя были выключатели серии «Электрон» и выключатели серии АЗ700. В настоящее время им на смену пришли выключатели типа ВА-75 и ВА53-55, в которых расцепители выполнены на микроэлектронной элементной базе. В последние годы в расцепителях стали применять микропроцессоры.

На рис. П2.2 приведена структурная схема полупроводникового расцепителя. В качестве датчика тока применены нестандартные встроенные трансформаторы тока. Они одновременно используются также и для электропитания устройства. Такое техническое решение использовано практически во всех аппаратах переменного тока. Объединение сигналов от каждой фазы в виде напряжения на резисторах R_1 , R_2 , R_3 выполняется при помощи выпрямителя. Сигнал напряжения, пропорциональный току, с резистора R_1 поступает на суммирующий блок U_z . Если под воздействием перегрузки сработает полупроводниковое реле K_1 , в суммирующий блок пройдет сигнал, снимаемый с цепочки временной задержки R_4C_1 . Когда результирующий сигнал в суммирующем блоке U_z достигнет порогового значения, суммирующий блок выдаст сигнал на отключающий орган OK выключателя. Таким образом, формируется защитная характеристика со временем срабатывания обратозависимым от тока в зоне токов перегрузки. Для создания независимой от тока характеристики срабатывания в зоне токов короткого замыкания используется сигнал, снимаемый с резистора R_3 .

Важно отметить, что с помощью полупроводниковых расцепителей удалось существенно повысить чувствительность защиты к коротким замыканиям с малыми токами замыкания, соизмеримыми с токами рабочих и пусковых режимов, в частности, к однофазным замыканиям в четырехпроводных сетях с глухозаземленной нейтралью, к коротким замыканиям с токами, ограниченными дугой, к витковым замыканиям в электродвигателях и трансформаторах и т.д. Для этой цели используются фильтры токов нулевой последовательности, а также характерные параметры электрической дуги, выявленные при помощи различных электронных средств.

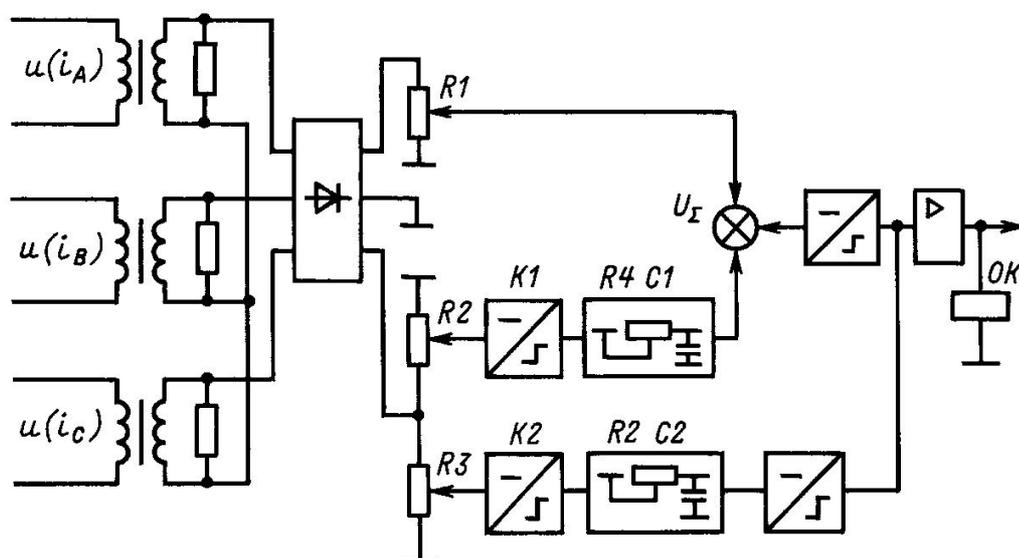


Рис. П2.2. Полупроводниковый расцепитель автоматического выключателя «Электрон»

Применение микропроцессоров в расцепителях позволяет также наделить выключатели новыми функциями и свойствами. С их помощью защитные характеристики становятся исключительно гибкими. Они позволяют дополнительно к защитным функциям измерять фазные токи и напряжения, электрические мощность и энергию и отображать текущие значения и действующие уставки на лицевой панели аппарата. При помощи установки специальных датчиков можно также контролировать технический ресурс и тепловое состояние аппарата. В сочетании с самодиагностикой микропроцессорного расце-

питателя указанные новые функции и свойства существенно улучшают потребительские качества выключателей.

В полупроводниковых расцепителях для аппаратов постоянного тока в качестве датчиков тока используются магнитные усилители, расположенные на участке токоведущей шины, а питание схемы выполняется от напряжения главной цепи аппарата. Расцепители дифференциального тока реагируют на токи утечки и в зависимости от чувствительности расцепителей используются или для повышения пожаробезопасности оборудования (при токах срабатывания $100 \div 300$ мА) или (при токах срабатывания $10 \div 30$ мА) для создания устройств защитного отключения – устройств защиты от поражения человека электрическим током – на базе малоамперных (до 63 А) выключателей. Они также выполняются либо на основе электромеханики (например, Астро УЗО), либо с применением электроники (УЗО 2000, УЗО 20 и ряда других).

РАЗНОВИДНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Широко распространенный автоматический выключатель А-3000 выпускается на напряжения $220 \div 660$ В, номинальные токи – до 630 А, предельные токи отключения – до 100 кА. Его коммутационная износостойкость – до 10 000 циклов коммутации.

Автоматический выключатель серии «Электрон» выпускается на номинальные токи до 6300 А, предельные отключаемые токи – до 100 кА. Его коммутационная износостойкость – до 1000 циклов коммутаций. На рис. П2.3 показано устройство контактно-дугогасительной системы этого автомата. Контактная система состоит из главных контактов 1, 3, замыкаемых роликовым контактом 2 и параллельных им дугогасительных контактов 8, 9.

Неподвижный дугогасительный контакт 9 совмещен с компенсатором электродинамических сил 4. Дугогасительное устройство образовано камерой 6 с узкой щелью, совмещенной с дугогасительной решеткой 5 из стальных пластин. В это устройство входит пламегаси-

тельная решетка 7 для ограничения выброса пламени и ионизированных газов на выходе из камеры. Чтобы избежать перемещения вниз столба дуги, расстояние между дугогасительными контактами и ширина образующегося просвета между ними принимаются малыми. Небольшая площадь «закупоривает» выход дуговых газов вниз, создает в этой зоне повышенное давление, которое выталкивает дугу вверх, в дугогасительную камеру.

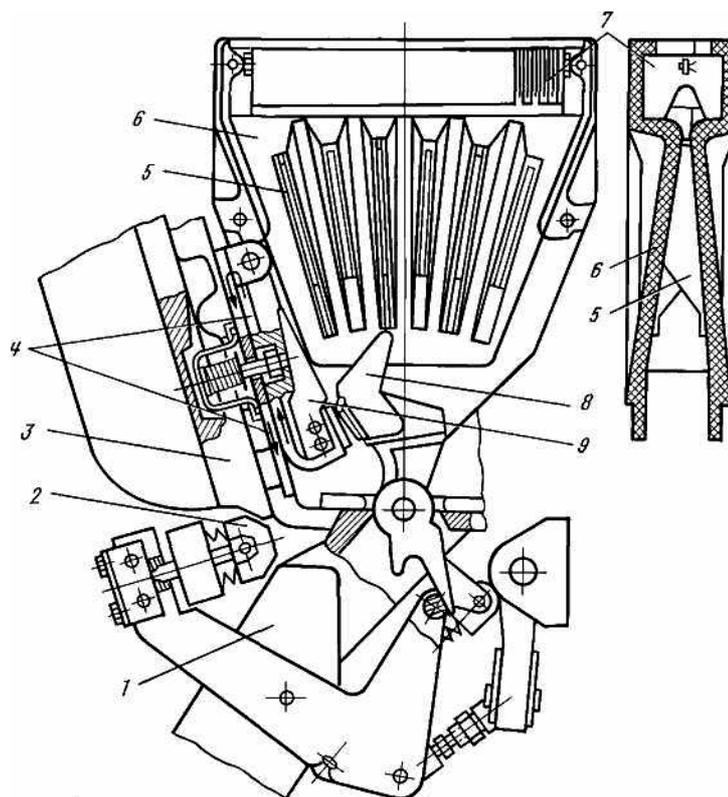


Рис. П2.3. Контактно-дугогасительная система автоматического выключателя «Электрон»

Для повышения быстродействия автоматических выключателей используется индукционно-динамический привод. На рис. П2.4 показана схема автоматического выключателя ВАТ-42. Аппарат закреплен на основании 5. В изоляционном корпусе 3, установленном на основании 4, размещается обмотка 2, через которую разряжается предварительно заряженный конденсатор. Ток разряда наводит индуцированные токи в медном диске 1. Индуцированный ток и ток разряда (а также магнитные потоки от них) создают силы отталкивания диска 1 от неподвижной обмотки 2.

Через деталь C движение передается к контактам K , которые размыкают цепь главного тока защищаемой цепи.

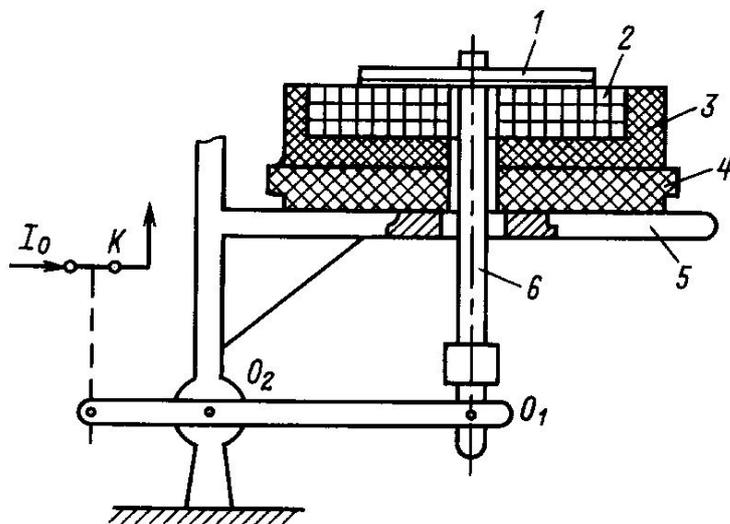


Рис. П2.4. Индукционно-динамический автоматический выключатель

Существует автоматический выключатель, в котором ток защищаемой цепи протекает через дисковую обмотку. Рядом с ней располагается медный диск, связанный с подвижной системой и контактами, размыкающими цепь главного тока. Ток, изменяющийся с большой скоростью при возникновении короткого замыкания (и магнитный поток от него), наводит в диске ток (поток). Их взаимодействие создает силу отталкивания диска от обмотки и размыкание контактов защищаемой цепи с током.

В отечественной промышленности распространены быстродействующие автоматические выключатели серии ВАБ. На рис. П2.5 поясняется принцип действия автоматического выключателя ВАБ-20М. Основная токоведущая шина 5, включенная в цепь главного тока, охвачена магнитопроводом 4. С ней механически связаны якорь 8 электромагнита и вал 7, имеющий возможность поворачиваться вокруг оси O_1 . Протекающий по шине 5 ток создает магнитный поток, который может замыкаться как через зазоры δ_2 , так и через зазоры δ_1 . Левые полюсные наконечники 6 охвачены короткозамкнутыми витками 10. Если ток в шине 5 не изменяется во времени, то в короткозамкнутых витках нет вихревых токов и создаваемое ими реактивное

магнитное сопротивление равно нулю. Поток, созданный током шины 5, замыкается в основном через зазоры δ_2 , так как они значительно меньше воздушных зазоров δ_1 . В результате возникает сила притяжения якоря к полюсам 6, которая передается шине 5 и жестко связанным с нею подвижным контактам K главной цепи. Сила притяжения контактов с увеличением тока возрастает. Это явление наблюдается при номинальных токах.

Когда же в цепи возникает короткое замыкание и ток резко увеличивается, изменяющийся магнитный поток наводит в короткозамкнутых витках большие вихревые токи. Реактивное магнитное сопротивление в этих частях магнитопровода резко возрастает и основная доля магнитного потока от тока в шине 5 замыкается уже через воздушные зазоры δ_2 . Результирующая электромагнитная сила перемещает якорь 8 и шину 5 вправо. Связанные с ней контакты размыкают цепь главного тока I_0 . Одновременно поворачивается по часовой стрелке рычаг 7. Установленный на нем валик 9 западает за выступ детали 1. Подвижная система автоматического выключателя останется в крайнем правом положении, соответствующем отключенному состоянию автоматического выключателя.

Для включения автоматического выключателя необходимо подать напряжение на включающую катушку W_B . Тогда к полюсам притянется якорь 3, а связанный с ним выступ 2 переместится вверх, поднимет конец рычага 1 и валик 9 выйдет из зацепления с выступом рычага 1. Под действием силы пружины P_{II} рычаг 7 и подвижная система автоматического выключателя перейдут в крайнее левое положение. Автоматический выключатель включится. Дистанционное отключение автоматического выключателя осуществляется подачей напряжения на отключающую катушку W_0 .

Дальнейшим развитием быстродействующих выключателей с индукционно-динамическим приводом стали выключатели ВБ-630, применяемые для защиты электрооборудования метровагонов. Номинальный ток данных аппаратов составляет 630 А, номинальное напряжение

– 750 В постоянного тока. Собственное время отключения выключателя (время до начала размыкания контактов) не более 1 мсек. Предельный отключаемый ток при индуктивности контура 0,5 мГн – 40 кА. Полное время отключения не более 20 мсек. Наибольшее восстанавливающееся напряжение на контактах не превышает 3900 В и обеспечивается применением шунтирующих варисторов.

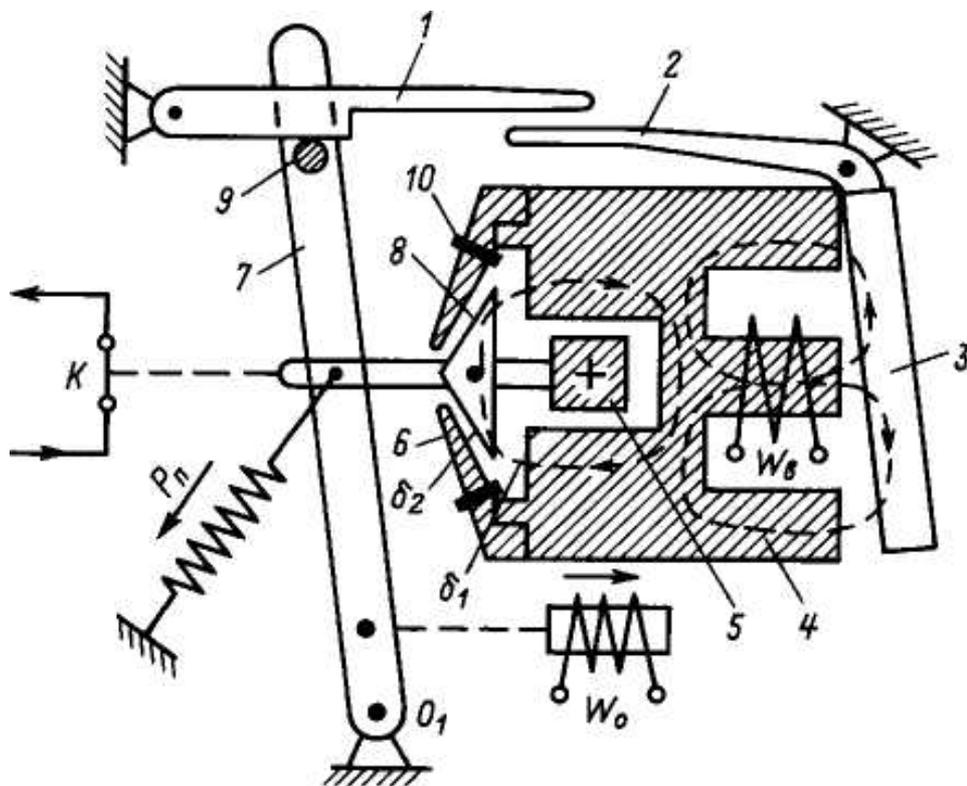


Рис. П2.5. Быстродействующий автоматический выключатель ВАБ-20М

Выключатель ВБ-630 представляет собой однополюсный аппарат, содержащий контактно-дугогасительную систему мостикового типа с индукционно-динамическим приводом для автоматического срабатывания и электромагнитным приводом для оперативных коммутаций. В качестве датчика тока используются герконовые токовые реле.

При коротком замыкании, когда ток в главной цепи превысит значение уставки датчика тока, предварительно заряженный накопительный конденсатор разряжается на катушку индукционно-динамического привода (ИДП), который быстро размыкает контакты, вызывая тем самым эффективное ограничение тока.

Контактно-дугогасительная система показана на рис. П2.6. Мостиковое контактное соединение состоит из подвижного контакта 12 и двух неподвижных контактов 19. Каждое контактное соединение помещено в дугогасительную камеру 13. При включении выключателя на катушку электромагнита 2 подается мощный импульс тока. Якорь электромагнита притягивается и перемещает вниз (по рисунку) рамку 6. Рамка 6, перемещаясь, замыкает контакты и деформирует пружины 15, которые создают контактное нажатие. В замкнутом состоянии контакты удерживаются электромагнитом 2, на катушку которого постоянно подано напряжение. При оперативном отключении катушка электромагнита обесточивается и возвратная пружина 16 через шток 14 воздействует на подвижной контакт 12, вызывая тем самым размыкание контактов.

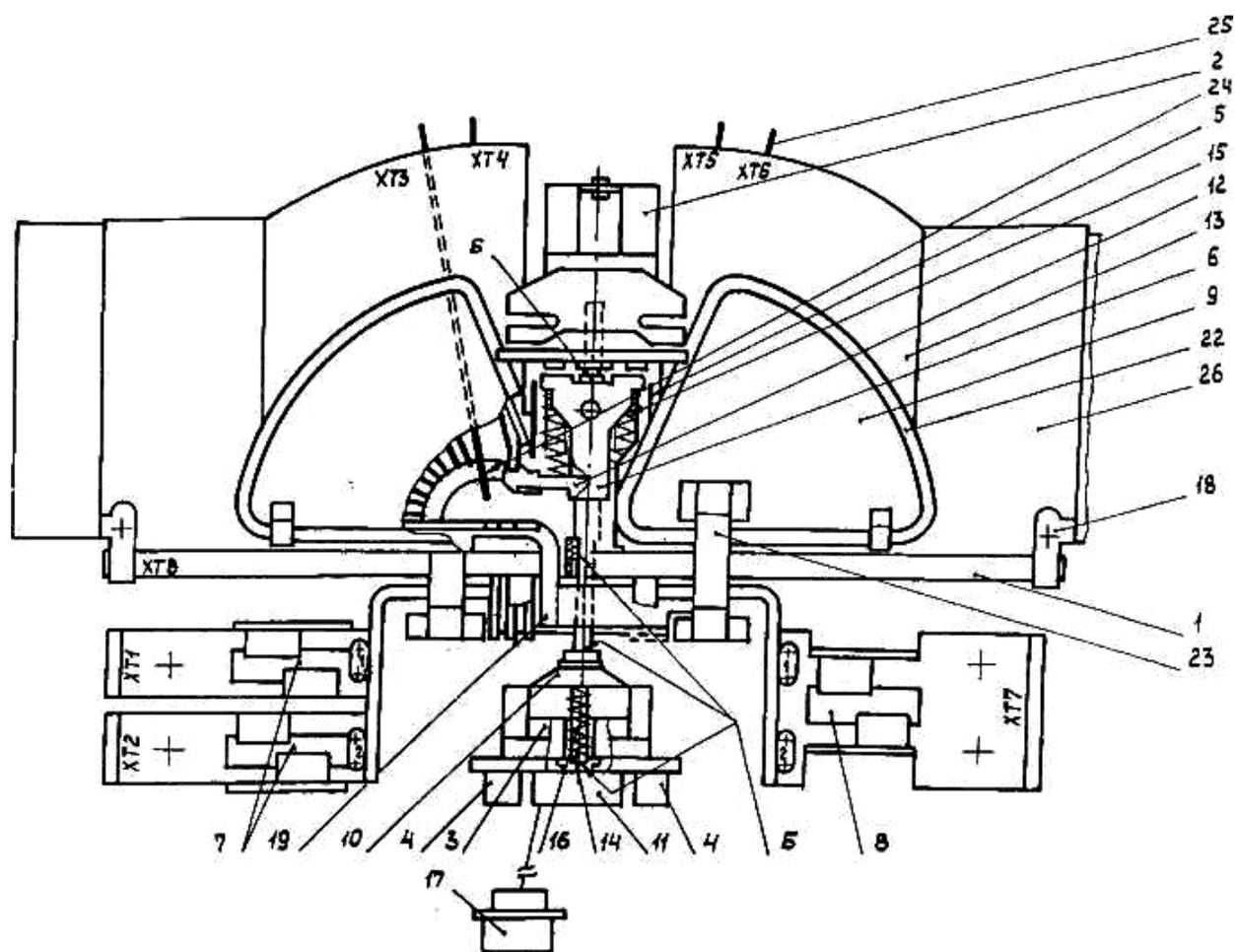


Рис. П2.6. Быстродействующий автоматический выключатель ВБ-630

При аварийном отключении через катушку ИДП 3 протекает ток

разряда накопительных конденсаторов. В результате взаимодействия диск *10* ускоренно движется вверх и через шток *14* перемещает подвижный контакт *12*. Одновременно производится быстрое вытеснение тока из цепи питания катушки электромагнита и рамка *б* также начинает двигаться вверх.

Для эффективного гашения электрической дуги в выключателе используется система магнитного дутья, содержащая катушки магнитного дутья *22*, магнитопровод *9*, сердечники *23* и токовую обмотку, образованную участками подводящих шин, расположенными друг против друга. Эта обмотка образуется за счет того, что отводящая шина *ХТ7* присоединена к неподвижному контакту *19*, расположенному в левой части выключателя, а подвижная шина *ХТ1* (*ХТ2*) подсоединена к неподвижному контакту, расположенному в правой части выключателя. Катушки магнитного дутья *22*, создающие магнитное поле в правом контактном разрыве, подключены к выводам *ХТ3* и *ХТ4*, а катушки, создающие магнитное поле в левом контактном разрыве, подключены к выводам *ХТ5* и *ХТ6*, при этом *ХТ4* и *ХТ5* соединены с подвижным контактом. Система магнитного дутья работает следующим образом: возникающая при отключении электрическая дуга под действием магнитного поля токовой обмотки, образованной подводящими шинами, выходит из межконтактного промежутка. Как только электрическая дуга достигает вспомогательного рога *24*, в цепи катушек магнитного дутья начнет протекать ток. Создаваемое этим током магнитное поле концентрируется с помощью магнитопроводов *9* и сердечников *23* и воздействует на электрическую дугу, вызывая дальнейшее ее движение и вхождение в дугогасительную решетку. По мере движения дуги большая часть тока отводится в катушки магнитного дутья. Что приводит к увеличению напряженности магнитного поля, воздействующего на дугу. Такое подключение катушек магнитного дутья, при котором ток в левом контактном разрыве воздействует на дугу, горящую в правом разрыве, и наоборот, позволяет обеспечить равномерное движение дуги и

участие обеих камер в дугогашении.

Приложение 3:

ПОЛЯРИЗОВАННЫЕ И ГЕРКОНОВЫЕ РЕЛЕ

ПОЛЯРИЗОВАННЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ РЕЛЕ

В основе принципа действия поляризованных реле лежит использование поляризованных магнитных систем. Поляризованные магнитные системы отличаются от неполяризованных, например, тем, что они имеют два вида источника магнитного поля – поляризующий и управляющий. Источником поляризуемого поля в большинстве случаев являются постоянные магниты, но иногда для этой цепи используется специальная обмотка с током. Управляющее поле создается МДС управляющей обмотки. Основной отличительной особенностью поляризованной магнитной системы является зависимость ее действия не только от значения, но и от направления тока в управляющей обмотке. При отсутствии тока в этой обмотке на подвижную часть магнитной системы – якорь действует электромагнитная сила, создаваемая поляризующим полем.

Применение постоянного магнита позволяет получить фиксированное положение якоря независимо от наличия или отсутствия источника тока и исключает потребление энергии в нерабочий период. Наличие поляризуемого поля определяет также высокую чувствительность и быстродействие электрических аппаратов на основе поляризованных магнитных систем. Это связано главным образом с тем, что при срабатывании этих аппаратов магнитное поле не создается вновь полностью, а происходит только перераспределение магнитных потоков.

Поляризованные магнитные системы являются основой высокочувствительных быстродействующих реле, электромагнитных преобразователей электрического сигнала в пропорциональное угловое или линейное перемещение, быстродействующих автоматических вы-

ключателей, блокирующих устройств и т.д.

Существует большое разнообразие поляризованных магнитных систем. В зависимости от схемы магнитной цепи они делятся на магнитные системы с *последовательной, дифференциальной и мостовой магнитными цепями*. Каждая из этих групп имеет много разновидностей. В настоящее время наибольшее распространение получили магнитные системы с дифференциальными и мостовыми магнитными цепями. Некоторые из них приведены на рис. ПЗ.1. В качестве примера рассмотрим принцип действия одной из дифференциальных магнитных систем (рис. ПЗ.1, *а*). Она состоит из магнитопровода 1, на котором размещены две (2 и 4) обмотки управления, включенные последовательно и согласно. С магнитопроводом жестко скреплен постоянный магнит 3, создающий поляризующий магнитный поток $\Phi_{п м}$ (обозначен сплошными линиями). Якорь 5 может поворачиваться на оси б в подшипниках (не показаны на рисунке). Поток $\Phi_{п м}$ проходит через воздушный зазор δ_1 в якорь и затем разветвляется на два потока, проходящие соответственно через воздушные зазоры δ_2 и δ_3 . При отсутствии тока в обмотках и горизонтальном положении якоря действующие на него электромагнитные силы в зазорах δ_2 и δ_3 одинаковы. Якорь при этом находится в неустойчивом положении: при незначительном повороте якоря (например, против часовой стрелки, т.е. в сторону уменьшения зазора δ_2 и увеличения зазора δ_3 , электромагнитная сила в зазоре δ_2 увеличится, а в зазоре δ_3 уменьшится). В результате якорь переходит в положение, изображенное на рис. ПЗ.1, *а*.

После включения обмоток с полярностью, показанной на рисунке, создается управляющий магнитный поток Φ_y (обозначен штриховыми линиями), проходящий последовательно через зазоры δ_1 и δ_3 . При этом в зазоре δ_1 происходит вычитание потоков $\Phi_{п м \delta}$ и Φ_y , а в зазоре δ_3 – сложение потоков $\Phi_{п м \delta}$ и Φ_y . При определенной МДС обмоток электромагнитная сила в зазоре δ_3 станет больше электромагнитной силы в зазоре δ_2 и (при условии отсутствия других сил) якорь повернется по часовой стрелке и займет другое крайнее положение. В этом положении якорь останется и после снятия напряжения с обмоток. Если снова включить обмотки, но с изменением полярности тока,

то якорь перебросится в противоположном направлении. В дифференциальных схемах на ось якоря (рис. ПЗ.1, *а*) или плоскую пружинную подвеску (рис. ПЗ.1, *б*) действуют значительные усилия, причиной которых является воздействие электромагнитных сил на якорь. В первом случае при перемещении якоря в подшипниках возникают значительные силы трения, что отрицательно сказывается на чувствительности аппарата. Во втором случае те же усилия, вызывают не только изгиб пружины, но и ее растяжение, что приводит к необходимости применять для пружины материалы с высоким временным сопротивлением разрыву. Мостовые схемы (рис. ПЗ.1, *в-е*) этим недостатком не обладают. Еще одним из недостатков дифференциальных схем является невозможность полного разделения поляризующего и управляющего потоков в якоре. Это вызывает необходимость увеличения площади поперечного сечения и, следовательно, массы якоря, что снижает быстродействие аппарата и его устойчивость к внешним механическим воздействиям. В некоторых мостовых схемах (например, рис. ПЗ.1, *г-д*) один из потоков (управляющий или поляризующий) направлен вдоль якоря, а второй – поперек.

В отличие от дифференциальных схем, имеющих практически только два рабочих зазора (δ_2 и δ_3 на рис. ПЗ.1, *а*), мостовые схемы характеризуются как минимум четырьмя такими зазорами. Это в ряде случаев (см., например, рис. ПЗ.1, *е*) дает возможность уменьшить примерно вдвое магнитное сопротивление управляющему потоку по сравнению с аналогичным сопротивлением схем с двумя зазорами, так как магнитные сопротивления зазоров на пути управляющего потока в первом случае расположены попарно параллельно.

Поляризованные электромагнитные реле подразделяются на высокочувствительные, имеющие, как правило, один переключающий контактный узел, и менее чувствительные, которые имеют до двенадцати переключающих контактных узлов. Магнитодвижущая сила и мощность срабатывания высокочувствительных поляризованных электромагнитных реле значительно меньше, а быстродействие выше чем у наиболее чувствительных нейтральных реле. Например, мощность срабатывания у первых составляет $10 \div 150$ мкВт, у вторых –

30 ÷ 100 мВт. Многоконтактные поляризованные реле, называемые также дистанционными переключателями, по МДС срабатывания аналогичны нейтральным электромагнитным реле. Современные поляризованные реле чаще всего имеют две и более обмоток, благодаря чему возможно более гибкое построение электрических схем, управление токами различной полярности и использование этих аппаратов не только в качестве коммутационных, но и логических элементов. Конструкции магнитной системы современных поляризованных электромагнитных реле построены по принципу дифференциальных или мостовых схем. Некоторые из них приведены на рис. ПЗ.1.

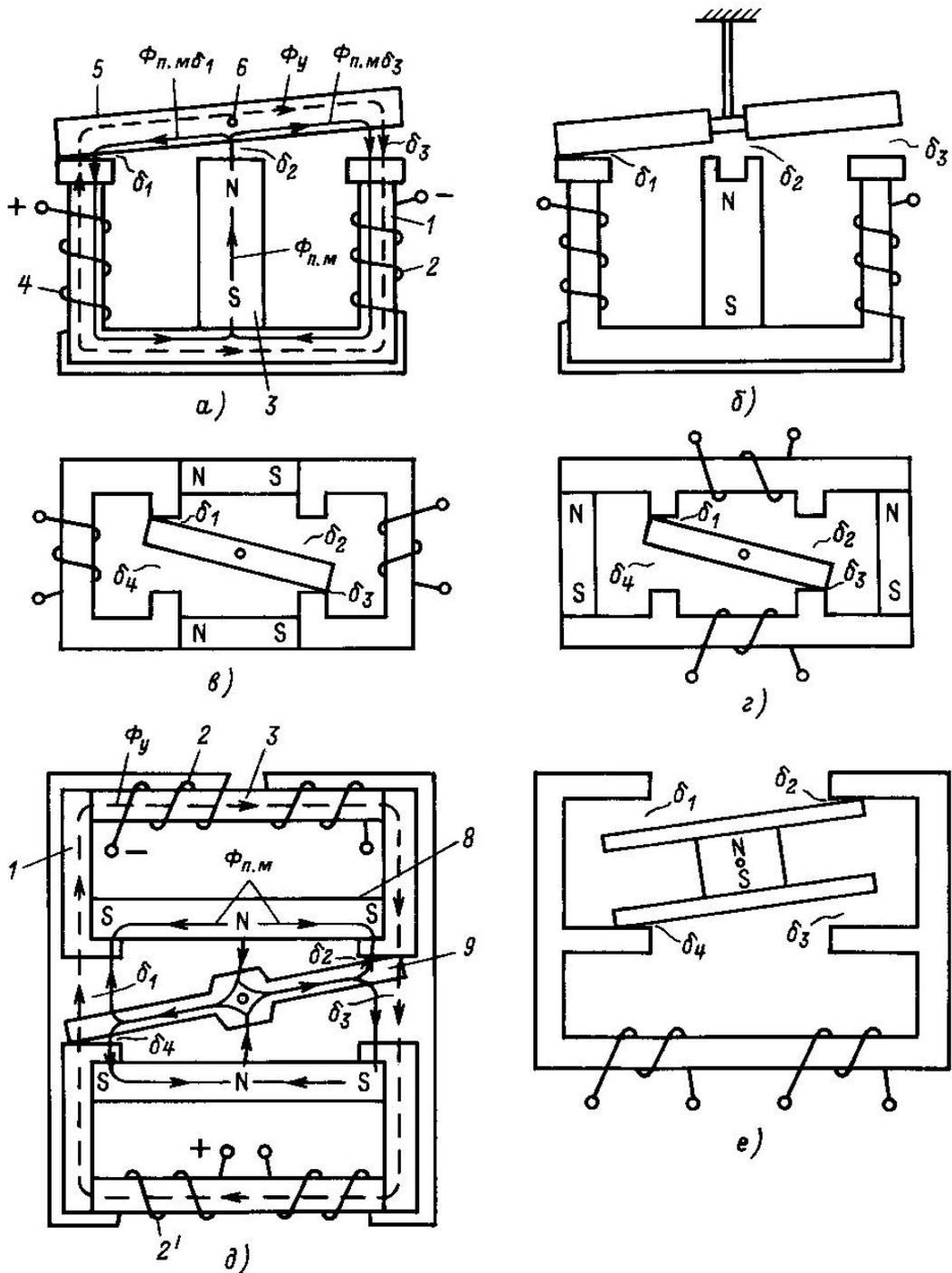


Рис. ПЗ.1. Примеры дифференциальных (а, б) и мостовых (в-е) схем поляризованных магнитных систем

Поляризованные электромагнитные реле бывают как *односта- бильными*, так и *дестабильными*. Они различаются также и по типу регулировки.

При *двухпозиционной нейтральной регулировке* контактные узлы устанавливаются симметрично относительно нейтральной линии, являющейся одной из осей симметрии магнитной системы реле. Якорь

в этом случае перебрасывается от одного своего крайнего устойчивого положения к другому (с реализацией коммутации выходных цепей реле контактными узлами) практически при одинаковых по модулю МДС в обмотке (или обмотках). При включении тока в обмотке (обмотках) якорь и, соответственно, контактные узлы, остаются в том положении, в котором они находились накануне. Такие реле называются *двустабильными двухпозиционными*.

При *двухпозиционной регулировке с преобладанием* оба контактных узла располагаются по одну сторону от нейтрали, но на разных от нее расстояниях. Срабатывание таких реле происходит только при одном определенном направлении тока в обмотке (обмотках). После отключения тока якорь всегда возвращается в одно и то же первоначальное устойчивое положение, коммутируя выходные цепи реле контактными узлами в обратном порядке. Такие реле функционируют как чувствительные нейтральные электромагнитные реле, поэтому и являются *одностабильными*.

При *трехпозиционной регулировке* контактные узлы расположены так же, как и при двухпозиционной нейтральной регулировке – т.е. симметрично относительно нейтрали магнитной системы. Однако при отсутствии тока в обмотке (обмотках) якорь в реле с трехпозиционной регулировкой занимает нейтральное (среднее) устойчивое положение благодаря усилию достаточно жесткой возвратной пружины, часто являющейся и подвеской. Прохождение тока через обмотки в одном направлении заставляет якорь инициировать коммутацию одного из контактных узлов. При изменении направления тока якорь отклоняется в другую сторону от нейтрали и вызывает коммутацию второго контактного узла. Токи срабатывания в обоих направлениях, так же как и у двухпозиционных реле с нейтральной регулировкой, будут практически одинаковыми. Такие реле называются *одностабильными трехпозиционными*.

МАГНИТОУПРАВЛЯЕМЫЕ ГЕРМЕТИЗИРОВАННЫЕ КОНТАКТЫ (ГЕРКОНЫ) И ГЕРКОНОВЫЕ РЕЛЕ

Магнитоуправляемым контактом (МК) называется контакт электрической цепи, изменяющий состояние электрической цепи посредством механического замыкания или размыкания ее при воздействии управляющего магнитного поля на его элементы, совмещающие функции контактов и участков электрических и магнитных цепей. Магнитоуправляемый контакт, помещенный в герметизированный баллон, называется *герметизированным магнитоуправляемым контактом* или *герконом*. Появление МК позволило решить несколько задач:

– устранить воздействие на область контакта как окружающей среды, так и многих продуктов, образующихся в процессе работы коммутационных электромеханических аппаратов, что расширило возможности коммутации электрических цепей с очень малыми токами ($10^{-10} \div 10^{-12}$ А) и напряжениями (10^{-6} В);

– повысить механическую износостойкость (до 10^9 циклов и выше);
– максимально унифицировать элементную базу и упростить коммутационные аппараты, повысить их быстродействие.

Так как детали МК реализуют функции контактов и участков электрических и магнитных цепей, их называют *контактными сердечниками* (КС). Контактные сердечники могут быть неподвижными и подвижными. Часто подвижные КС выполняются гибкими и играют роль возвратной пружины. Магнитоуправляемые контакты с гибкими подвижными КС называют *безъякорными*, так как в них отсутствует жесткий подвижный элемент магнитной системы – якорь, характерный для негерконовых электромагнитных реле. К безъякорным относятся *язычковые* и *мембранные* МК. Первые получили наибольшее распространение. Существуют МК сухие (с твердыми контактами) и смоченные жидким металлом.

Сухие язычковые магнитоуправляемые контакты. Язычковыми называются МК, содержащие КС в виде консольно закрепленных пластин или стержней, изгибающихся под воздействием магнитного поля. Наиболее распространенные виды (рис. ПЗ.2):

- симметричный и асимметричный замыкающие МК;
- переключающий МК вида РП-3 [размыкаемый (Р) и переключо-

чающий (П) контактные сердечники закреплены с одной стороны герметизированного баллона, а замыкаемый (З) – с другой];

– переключающий МК вида РЗ-П (размыкаемый и замыкаемый КС расположены с одной стороны баллона, а переключающий – с противоположной).

Симметричный язычковый замыкающий МК (рис. ПЗ.2, а) – простейшая конструкция, состоящая из одинаковых подвижных КС, заваренных в стеклянную трубку диаметром от 2 до 5,5 мм, которая после изготовления МК образует герметизированный баллон. Длина баллонов составляет от 7,5 до 50 мм. Общая длина (с выводами) язычковых МК – от 20 до 80 мм. При изготовлении баллон заполняется сухим газом (например, азотом, водородом или их смесью) при различных давлениях или вакуумируется. Для того, чтобы КС выполняли свои функции, материал, из которого их изготавливают, должен обладать определенными свойствами: большой магнитной индукцией в полях с напряженностью приблизительно $200 \div 700$ А/м; низкой коэрцитивной силой; достаточной электропроводностью; хорошей упругостью; малой зависимостью магнитных и механических свойств от температуры в пределах ее рабочего диапазона; незначительными изменениями этих свойств после $10^8 \div 10^9$ упругих деформаций и ударов КС друг о друга; коэффициентом теплового расширения (КТР), близким к КТР стекла, используемого для баллона. Указанные свойства имеют, например, низконикелевые пермаллои. Контактные сердечники язычковых МК штампуются из проволоки диаметром $0,5 \div 1,5$ мм, изготовленной из этих материалов.

Внутренние концы КС в язычковых МК перекрываются на величину a и имеют контактное покрытие Δ (рис. ПЗ.2, б) толщиной от единиц до десятков микрон. Для изготовления КС используются материалы: рутений, родий, сплавы на основе золота и др. Существуют также и более сложные (многослойные и многоструктурные) покрытия. В магнитоуправляемых контактах высокого напряжения и в МК, коммутирующих повышенные токи, применяются тугоплавкие ме-

таллы (например, вольфрам, молибден). Защитная среда в баллоне предохраняет контактные покрытия МК от окисления.

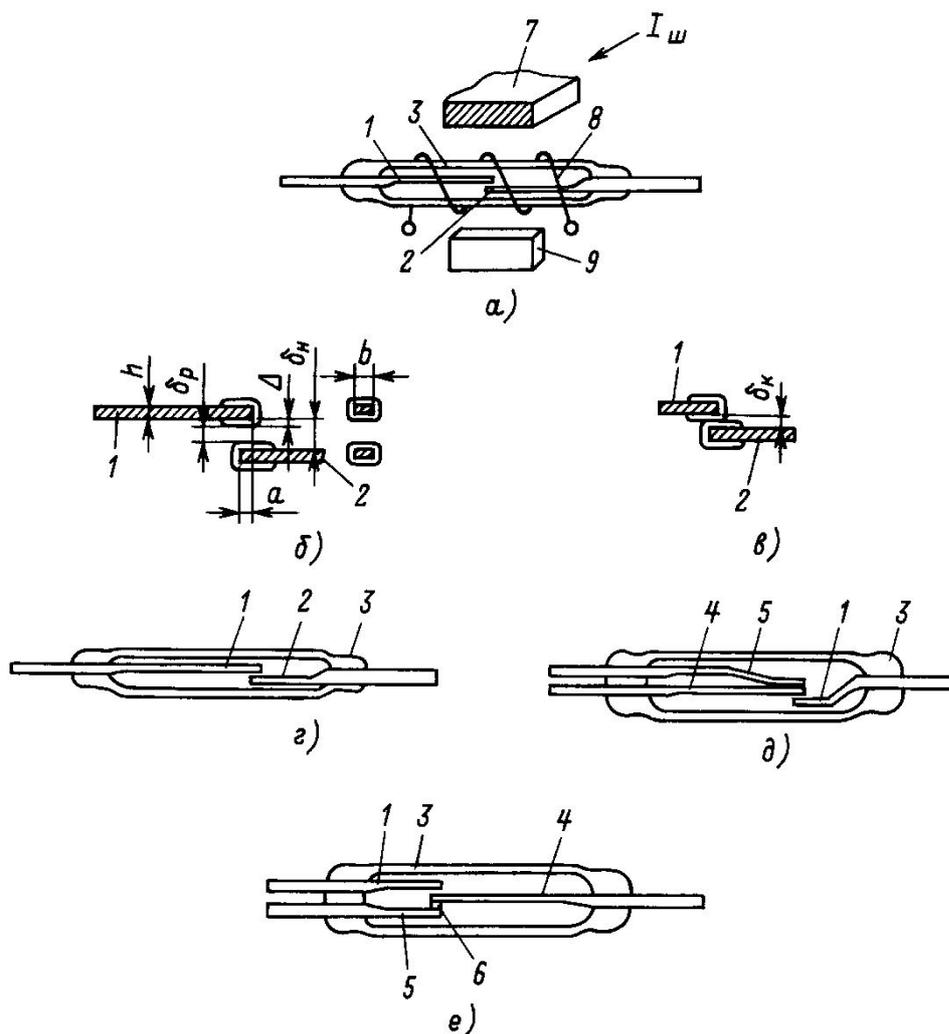


Рис. ПЗ.2. Основные виды сухих язычковых магнитоуправляемых контактов:

a – симметричный замыкающий МК; *б*, *в* – разомкнутое и замкнутое положение

КС замыкающего МК; *г* – асимметричный замыкающий МК;

д – переключающий МК вида РП-3; *е* – переключающий МК вида РЗ-П;

1, 2 – замыкаемые КС; 3 – баллон; 4 – переключающий КС; 5 – размыкаемый КС;

6 – немагнитная контакт-деталь; 7 – шина; 8 – обмотка; 9 – постоянный магнит

При отсутствии управляющего магнитного поля перекрывающиеся поверхности внутренних концов КС удалены друг от друга на размер немагнитного рабочего зазора $\delta_{\text{н}}$. При этом между поверхностями контактных покрытий имеется раствор $\delta_{\text{р}}$, который у язычковых МК составляет обычно от 40 до 300 мкм. Внешние концы КС служат для присоединения МК к коммутируемой электрической цепи. При воздействии управляющего магнитного поля от шины с током, об-

мотки с током или постоянного магнита (рис. ПЗ.2, а) между КС возникает электромагнитная сила. Эта сила, преодолевая механическую силу упругости КС, приближает их внутренние концы друг к другу. При определенной напряженности поля (значение срабатывания) КС скачкообразно переходят в замкнутое состояние, которому соответствует конечный немагнитный зазор δ_K (рис. ПЗ.2, в), определяемый суммарной толщиной контактных покрытий и неплотностью прилегания контактных поверхностей друг к другу. Уменьшение напряженности поля до значения возврата вызывает размыкание КС под действием их сил упругости.

Асимметричный язычковый замыкающий МК (рис. ПЗ.2, з) имеет разные КС, один из которых более гибкий. Такой МК сложнее в изготовлении, однако асимметрия помогает разрешить проблему миниатюризации, так как для одного и того же раствора и возвращающей механической силы КС удастся получить меньшую длину баллона, чем при симметричном исполнении. Применение асимметричных язычковых МК дает также возможность в ряде случаев получить более компактные переключатели, управляющее магнитное поле в которых создается подвижным постоянным магнитом. Принцип действия асимметричных язычковых замыкающих МК такой же, как и у симметричных конструкций.

В электрических аппаратах на базе замыкающих МК могут быть реализованы и размыкающие контакты, если использовать поляризующее магнитное поле (например, от постоянного магнита), а управляющее поле направлять в МК встречно поляризующему.

В исходном состоянии большинства язычковых переключающих МК (рис. ПЗ.2, д, е) переключающий КС механически поджат к размыкаемому. При определенном значении управляющего поля происходит перемещение переключающего КС от размыкаемого к замыкаемому. Замыкаемый КС обычно выполняется неподвижным (рис. ПЗ.2, д). Из двух других КС переключающий обладает существенно большей гибкостью. Конструкционная схема, показанная на

рис. ПЗ.2, *e*, имеет один подвижный (переключающий) и два неподвижных КС. Возможность переключения в этой конструкции обеспечивается созданием асимметрии вследствие бóльшего немагнитного рабочего зазора между КС 4 и 5 по сравнению с зазором между КС 1 и 4 (с этой целью на КС 5 устанавливается немагнитная контактная деталь 6, например, как показано на рисунке); разных перекрытий между КС (КС 5 выполняется с меньшей площадью поперечного сечения, чем КС 1, в целях магнитного насыщения при воздействии магнитного поля).

Выполняются КС сухих язычковых МК не только из магнитомягких материалов (пермаллоев), но и из среднекоэрцитивных материалов с высокой остаточной магнитной индукцией. В этом случае после замыкания МК его КС при снятии воздействия управляющего поля остаются в замкнутом состоянии за счет их остаточной магнитной энергии. Такие МК с магнитной памятью называются *гезаконами* (герметизированными замыкающими контактами).

Смоченные (жидкометаллические) язычковые магнитоуправляемые контакты. Смоченные (жидко-металлические МК-ЖМК) – это МК, внутри герметизированного баллона которых токопроводящие детали частично или полностью смочены жидким металлом. Наиболее распространенный смачивающий материал в настоящее время – ртуть. Рассмотрим один из язычковых ЖМК (рис. ПЗ.3). Подвижный переключающий КС расположен между контактными деталями, закрепленными на неподвижных КС, заваренных в баллон. Нижняя часть баллона – резервуар с ртутью. Находящаяся в ртути нижняя часть переключающего КС приварена к штенгелю. По капиллярам, имеющимся на поверхности переключающего КС, ртуть поднимается к контактными поверхностям и смачивает их. Баллон заполнен водородом при давлении выше 1 МПа. Водород устраняет пленки оксидов с внутренних контактирующих и капиллярных частей ЖМК и, тем самым, способствует лучшему смачиванию их ртутью. Высокое давление газа улучшает отвод тепла, увеличивает электрическую

прочность, а также повышает температуру кипения ртути. Повышение температуры кипения уменьшает количество ртути, испаряемой при коммутации.

Работа такого ЖМК возможна только при поляризации. Поляризующее магнитное поле создается либо одним постоянным магнитом, расположенным между выводами неподвижных КС или на одном из них, либо двумя постоянными магнитами, размещенными на этих выводах.

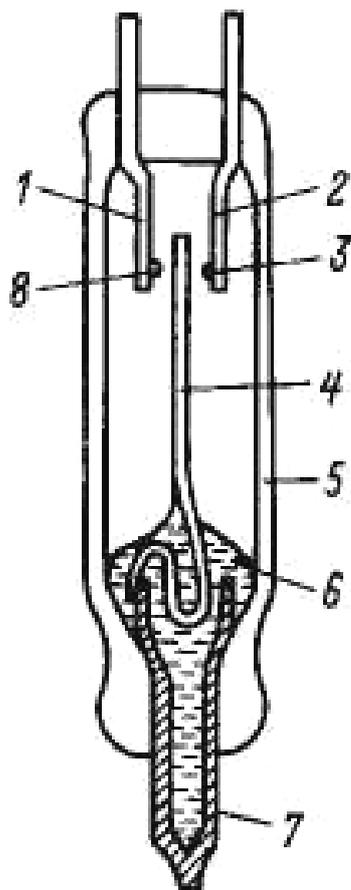


Рис. ПЗ.3. Ртутный язычковый переключающий МК (ЖМК):

1, 2 – неподвижные КС; 3, 8 – контакт-детали; 4 – переключающий КС;

5 – баллон; 6 – резервуар с ртутью; 7 – штенгель

Существуют язычковые переключающие ЖМК, работающие без поляризации (выполняются аналогично сухому МК – см. рис. ПЗ.2, е), а также язычковые замыкающие ЖМК. Благодаря смоченности контактных поверхностей в ЖМК можно устранить явление дребезга (разрывы цепи при вибрации КС после их первого соударения), снизить сопротивление МК в замкнутом состоянии и повысить его стабильность до $1 \div 2$ мОм в течение срока службы. Быст-

рое установление контакта позволяет при помощи ЖМК формировать сигналы с наносекундным фронтом.

Резервуарные ЖМК могут работать при наклонах от вертикального положения не более чем на $15 \div 45^\circ$. Существуют язычковые безрезервуарные ЖМК, жидкий металл в которых находится только в капиллярах переключающего КС. Такие ЖМК работают в любом пространственном положении, однако вследствие ограниченного запаса ртути ресурс их меньше чем у резервуарных ЖМК.

Герконовые реле. Герконовые реле могут содержать: один или несколько МК; одну или несколько обмоток (или шин); поляризующие постоянные магниты (ПМ); дополнительные ферромагнитные детали, играющие роль магнитопровода, кожуха, магнитного экрана (для снижения влияния внешних магнитных полей); другие детали конструкции. Конструкция герконового реле с одним сухим замыкающим язычковым МК приведена на рис. ПЗ.4.

На основе МК создают и многоцепные реле, располагая, например, в обмотке несколько коммутационных элементов. Существуют конструкции герконовых реле и с внешним по отношению к обмотке расположением МК.

В реле тока на номинальные токи в сотни и тысячи ампер управляющим элементом является не обмотка, а шина, по которой протекает ток. Регулировка уставки в таких реле осуществляется тремя способами: изменением угла между продольными осями МК и шины; изменением расстояния между шиной и МК; введением между МК и шиной экранирующей ферромагнитной пластины.

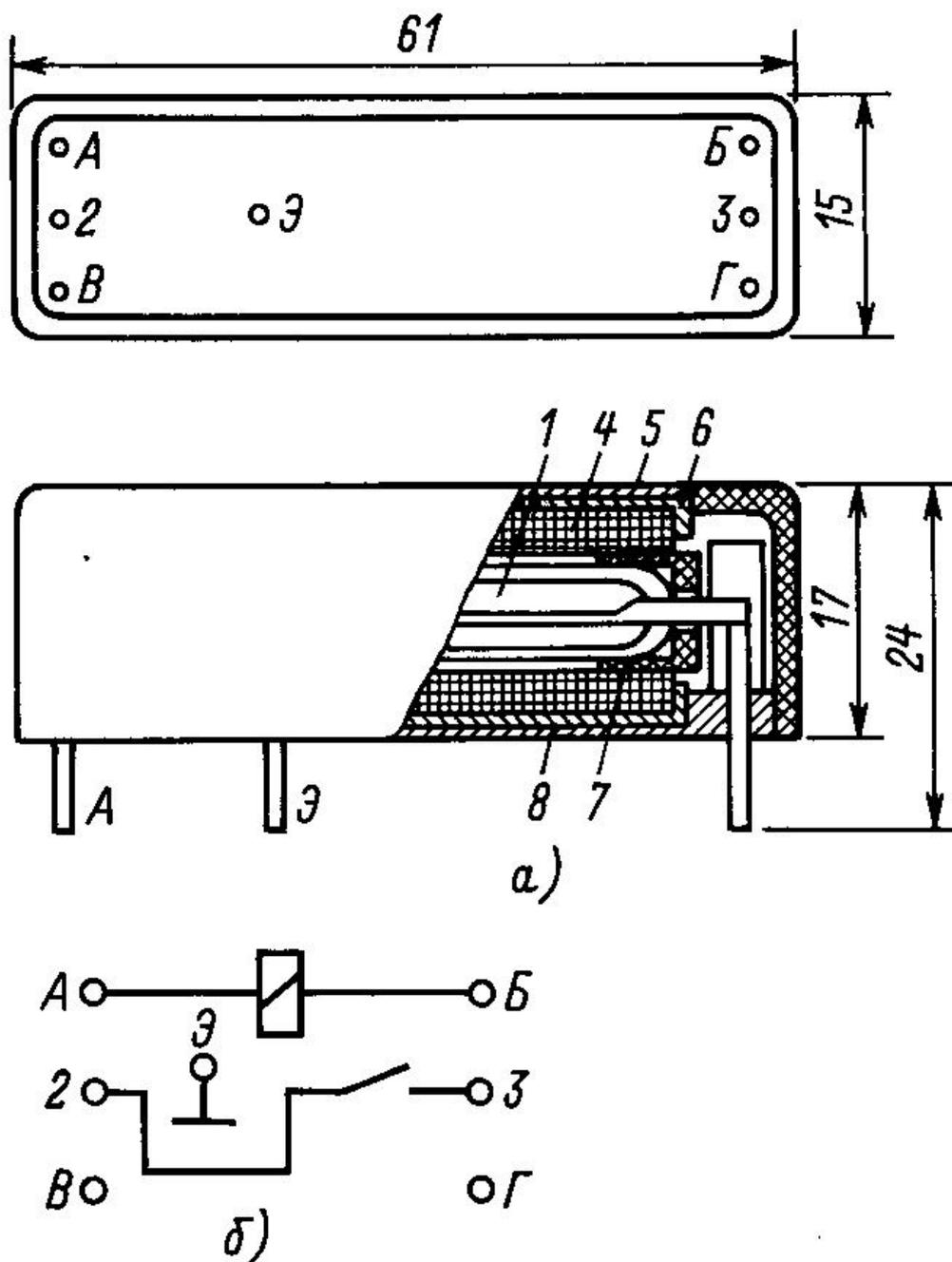


Рис. ПЗ.4. Герконовое реле напряжения РЭС-45:

а – общий вид; б – электрическая схема; 1 – МК; 2, 3 – выводы цепи МК; 4 – обмотка;
 5 – корпус; 6 – магнитный экран; 7 – амортизационные втулки; 8 – основание;
 А, В – выводы цепи обмотки; В, Г – свободные выводы; Э – вывод экрана

Примером реализации первого способа является реле РТГ-01010 (рис. ПЗ.5).

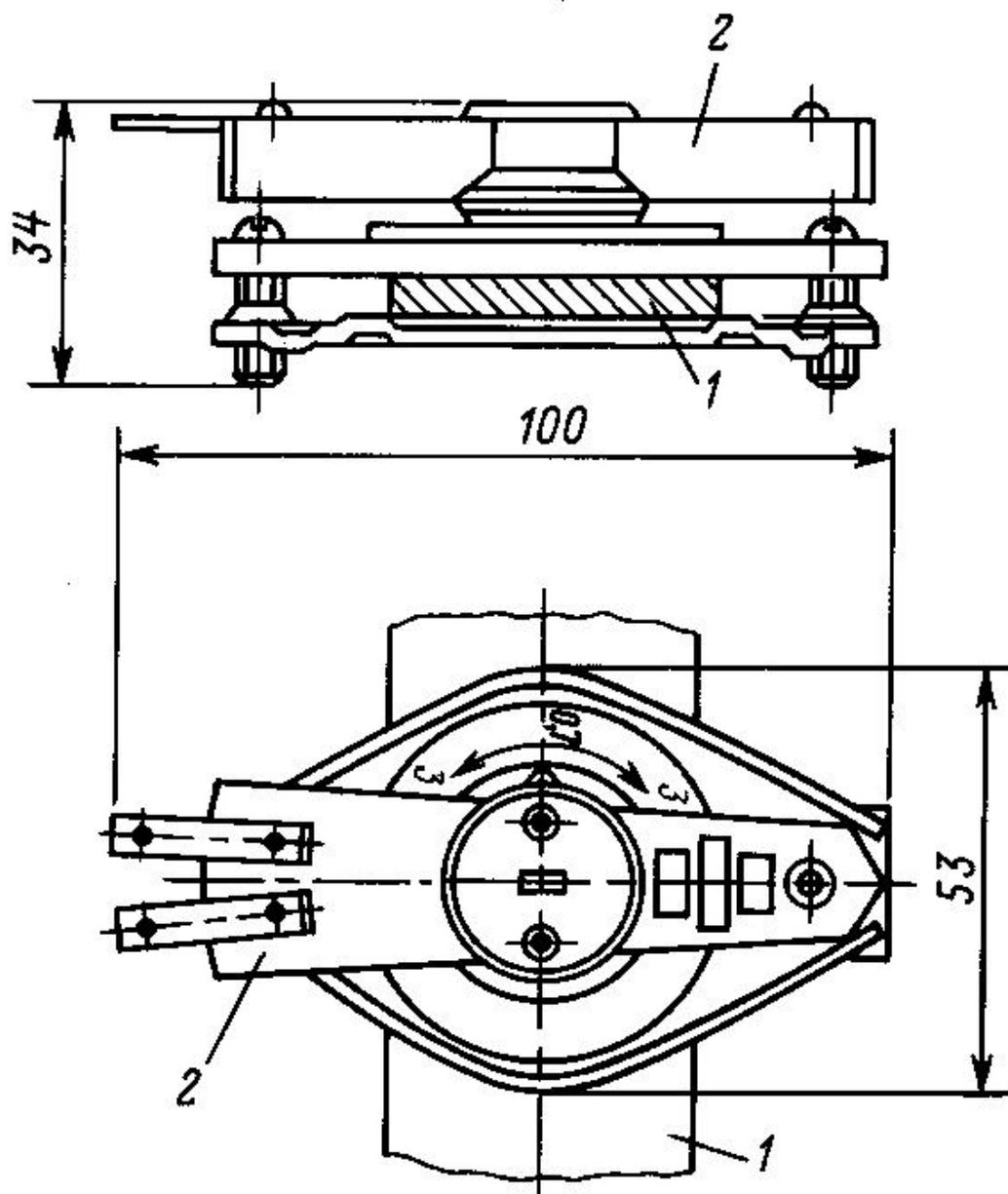


Рис. ПЗ.5. Герконовое реле тока РТГ-01010:

1 – шина; 2 – пластмассовая планка с МК

В герконовом реле регулировка осуществляется поворотом планки 2 (внутри которой расположен МК) относительно шины 1. Пределы регулирования уставки в этом реле – $(0,7 \div 3) I_{\text{ном}}$.

Приложение 4: АППАРАТЫ ЗАЩИТЫ. АППАРАТЫ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАЩИТЫ

Основные недостатки, присущие тепловым реле, обусловлены косвенным характером защиты. Она реагирует не на температуру нагрева обмотки двигателя, а на ток, вызывающий этот нагрев. Поскольку постоянная времени защитного реле и защищаемого объекта часто сильно отличаются друг от друга трудно согласовать их защитные характеристики.

Температурные защитные характеристики зависят непосредственно от температуры нагрева защищаемого объекта и относятся к *защитам прямого действия*.

Для контроля температуры тела используются температурные датчики, например терморезисторы и позисторы. Так как датчики температуры встраиваются в статорные обмотки двигателей, то такую защиту называют *встроенной температурной защитой*. Существуют биметаллические контактные и полупроводниковые терморезисторы, сопротивление которых зависит от температуры.

Полупроводниковые терморезисторы бывают с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления – термисторы (при повышении температуры сопротивление уменьшается) и с положительным температурным коэффициентом сопротивления (при повышении температуры сопротивление повышается) – позисторы. Наибольшее распространение получили позисторы, сопротивление которых при увеличении температуры увеличивается скачкообразно. Пороговое значение сопротивления срабатывания аппарата для разных типов позисторов различно. На рис. П4.1 приведена зависимость сопротивления позисторов от температуры при последовательном соединении трех позисторов. При этом крутизна характеристики (чувствительность защиты) возрастает.

Позисторы представляют собой диск диаметром 3,5 мм и толщиной 1 мм, покрытый кремнеорганической эмалью, создающей нуж-

ную влагостойкость и электрическую прочность изоляции. В зависимости от класса изоляции обмоток двигателя позисторы выбираются для $t_{\text{сраб.}} = 105, 115, 130, 145$ и 160 °С. При изменении температуры позистора на $+20$ °С от нормальной его сопротивление за 12 сек. увеличивается почти в 3 раза.

Особенно эффективно аппараты позисторной защиты работают в условиях нарушения охлаждения электродвигателя, а также при его частых пусках и реверсах, регулировке частоты вращения. Однако при торможении ротора или обрыве фазы его статорной обмотки, когда скорость нарастания температуры достигает 10 °С в секунду, возможен перегрев двигателя из-за тепловой инерции датчиков. Другими недостатками аппаратов температурной защиты являются: нечувствительность к токам короткого замыкания и сложность монтажа датчиков температуры. Датчики устанавливаются в пазах статорной обмотки или на лобовой части двигателя.

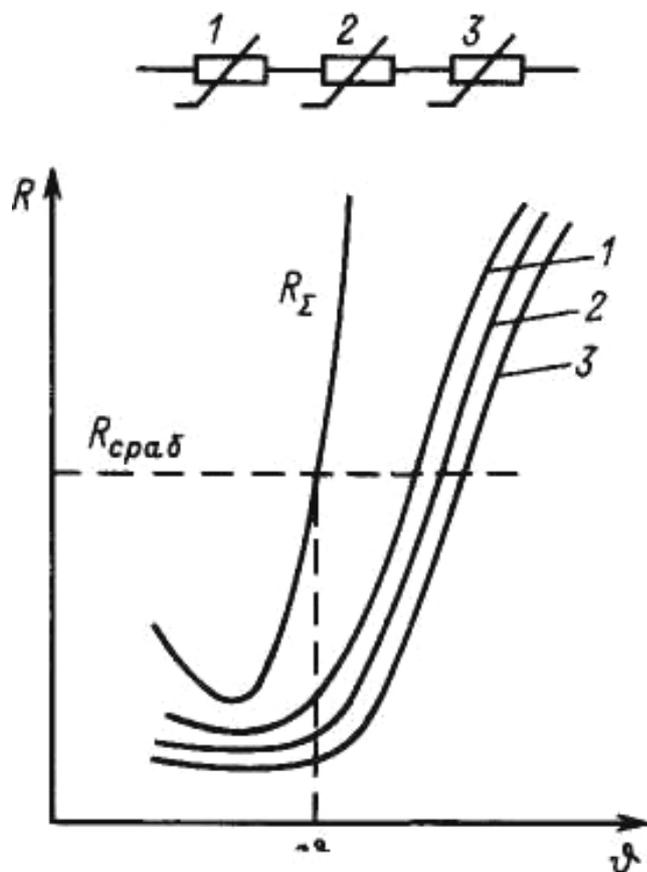


Рис. П4.1. Зависимость сопротивления позисторов от температуры при последовательном соединении трех позисторов

В настоящее время широко используются приборы типов АПЗ и УВТЗ для температурной защиты. Электрическая схема аппарата позисторной защиты УВТЗ-1 и способ ее подсоединения приведены на рис. П4.2. Устройство защиты подключено к сети посредством пусковой кнопки *SB1*. Если температура статорной обмотки двигателя нормальная (ниже порогового значения температуры датчиков), электромагнитное реле *K2* срабатывает и своим замыкающим контактом *K2.1* включает магнитный пускатель *K1*, который, в свою очередь, включает силовую цепь статорной обмотки двигателя (контакты *K1.1*) и шунтирует пусковую кнопку (контакты *K1.2*).

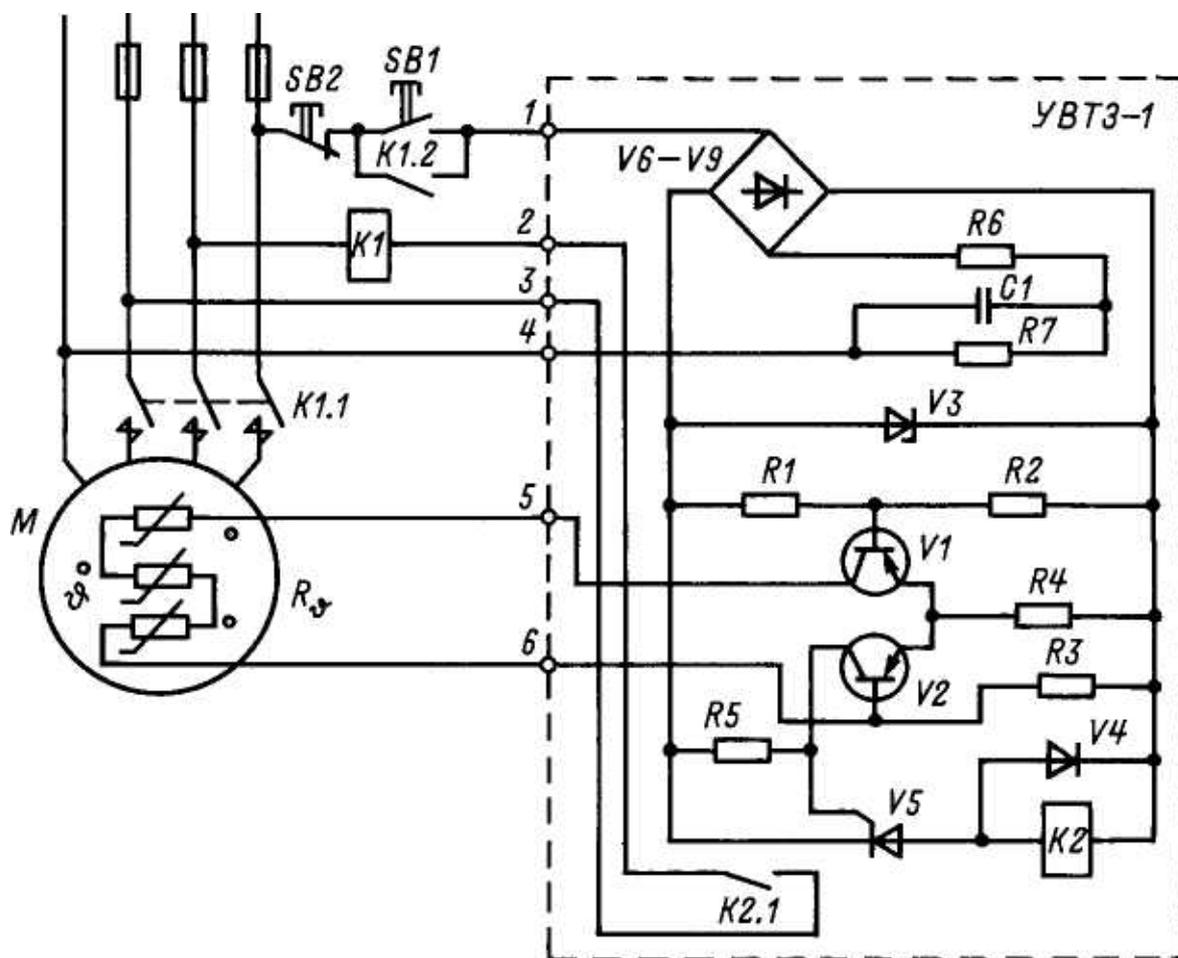


Рис. П4.2. Электрическая схема позисторной защиты УВТЗ-1 и способ ее подсоединения к электродвигателю

Для питания электрической схемы УВТЗ-1 используется стабилизированный выпрямитель, состоящий из конденсатора *C1*, резисторов *R6*, *R7*, диодов *V6–V9* и стабилитрона *V3*.

Реле $K2$ управляет тиристором $V5$, в цепь управляющего электрода которого включен триггер на транзисторах $V1$ и $V2$. Потенциал базы транзистора $V2$ определяет делитель напряжения $R3-R_v$, где R_v – суммарное сопротивление трех позисторов, подключенных к зажимам 5 и 6. Таким образом, увеличение сопротивления одного или нескольких позисторов, вследствие роста температуры нагрева двигателя, вызывает увеличение потенциала базы и включение транзистора $V2$. Это, в свою очередь, приводит к выключению тиристора $V5$ и обесточиванию реле $K2$. Контакты $K2.1$ реле отключают питание катушки $K1$ магнитного пускателя, что приводит к размыканию его силовых контактов $K1.1$ и отключению двигателя. Диод $V4$ предохраняет тиристор от перенапряжений в цепи при отключении катушки реле $K2$.

После охлаждения двигателя возможен его повторный запуск.

АППАРАТЫ ТОКОВОЙ ЗАЩИТЫ

К аппаратам токовой защиты относятся все устройства защиты, контролирующие ток в цепи. Это предохранители, автоматические выключатели, максимальные и минимальные токовые реле. К аппаратам токовой защиты можно отнести и тепловые реле, которые из-за специфики их работы и широкого распространения могут быть выделены в отдельный класс тепловой защиты.

Аппараты токовой защиты обычно защищают потребителей от перегрузок, неполнофазных режимов, а электрические цепи – от коротких замыканий.

Среди аппаратов токовой защиты особое место занимают минимальные и максимальные реле тока.

Минимальные реле тока предназначены для защиты двигателей от неполнофазных режимов (обрыва фазы статорной обмотки двигателя). В простейшей схеме используются три реле минимального тока, включенные во все фазы питания электродвигателя, а замыкающие контакты этих реле соединены последовательно с цепью управления магнитного пускателя. При нормальной работе электродвига-

теля все три реле минимального тока включены. При обрыве любой фазы соответствующий ток прекращается и реле отключается, разрывая цепь управления магнитного пускателя. При этом электродвигатель отключается. Для защиты электродвигателей можно применять реле минимального тока ЭТ-521.

Большие функциональные возможности заложены в *максимальном реле тока*. Они могут выполнять функции защиты потребителей от больших перегрузок по току (например, для защиты электродвигателей применяют реле РЭ-570Т, ЭТ-522 и др.) и защиту электрических цепей от короткого замыкания на зажимах потребителей и в самой цепи (например, реле РТ-40, РТ-80 и др.).

При нормальной работе потребителя максимальное реле тока не включается. При большой нагрузке или коротком замыкании одно или все реле, включенные в различные фазы питания, сработают и своими размыкающими контактами разорвут цепь управления магнитного пускателя. Основным недостатком максимальных реле тока является то, что они не реагируют на обрывы фаз и их нельзя отрегулировать на небольшие перегрузки по току в цепи.

Одним из самых распространенных максимальных реле тока является реле РТ-40. В нем предусмотрено два способа регулировки тока срабатывания: изменением предварительного натяжения противодействующей пружины (в 4 раза) и переключением обмоток (в 2 раза).

Известно девять типоразмеров реле, выпускаемых на номинальные токи от 0,2 до 200 А.

Время срабатывания реле не более 0,1 сек. при токе, равном $1,2 I_{\text{сраб}}$ и не более 0,03 сек. при токе $3 I_{\text{сраб}}$.

Коэффициент возврата реле – не ниже 0,85 (в ряде типоразмеров – не ниже 0,7). Контакты реле выдерживают мощность коммутационной цепи около 60 Вт постоянного тока при напряжении 220 В и около 300 ВА переменного тока при напряжении до 250 В.

В реле тока РТ-40, снабженных промежуточным трансформатором и выпрямительным мостом, повышается термическая стойкость к длительному протеканию больших токов (реле РТ-40/1Д).

Реле РТ-40/Ф реагирует на отклонение формы кривой переменного тока от синусоидальной. Реле содержит специальный фильтр, не пропускающий в обмотку реле ток третьей и кратных ей гармоник.

Для цепей управления и защиты электродвигателей часто применяют токовые реле постоянного тока РЭВ-300 и реле переменного тока РЭВ, РЭ-571Т и др.

Максимальные реле тока в цепи управления асинхронными двигателями выбираются по номинальному току катушки реле, который должен быть не меньше номинального тока двигателя, и по уставке на ток срабатывания $I_{уст}$ реле.

Для работы в цепи асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором уставка на ток срабатывания реле отстраивается от пускового тока двигателя:

$$I_{уст} > (1,3 \div 1,5)I_{п},$$

а для асинхронного двигателя с фазным ротором – от номинального тока

$$I_{уст} > (2,25 \div 2,5)I_{нс}.$$

Здесь соответственно номинальный и пусковой ток двигателя.

Контакты выбранного токового реле проверяются на коммутационную способность.

Приложение 5: СТАТИЧЕСКИЕ И ГИБРИДНЫЕ КОММУТАЦИОННЫЕ АППАРАТЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СТАТИЧЕСКИХ И ГИБРИДНЫХ АППАРАТАХ

Существуют принципиальные различия между электронными аппаратами постоянного и переменного тока. Во-первых, количество регулируемых параметров в цепях переменного тока больше, чем в цепях постоянного тока. Например, на переменном токе возможно регулирование частоты и фазы тока и напряжения. Во-вторых, на переменном токе более явно различаются понятия мгновенного, среднего и действующего значений, учитывающих форму напряжения или тока.

На переменном токе широко используются обычные, не полностью управляемые тиристоры с естественной коммутацией. Поэтому среди аппаратов переменного тока можно выделить широкий класс тиристорных аппаратов с естественной коммутацией, работа по этому принципу на постоянном токе принципиально невозможна.

Повышение частот преобразования электроэнергии открыло новые возможности для применения электромагнитных управляемых компонентов – магнитных усилителей, которые могут работать в качестве исполнительных органов различных видов электротехнических устройств как в непрерывном, так и в импульсном режиме.

ТИРИСТОРНЫЕ КОНТАКТОРЫ И РЕГУЛЯТОРЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ЕСТЕСТВЕННОЙ КОММУТАЦИЕЙ

Поскольку обычный тиристор является силовым полупроводниковым элементом с неполной управляемостью, для его выключения необходимо обеспечить спадание прямого тока до нуля и требуемое время выключения, после чего тиристор способен блокировать прямое напряжение. В этой связи различают два основных способа коммутации обычных тиристоров – естественную и искусственную (принудительную). Соответственно существуют два класса тиристорных прерывателей или контакторов переменного тока – с естественной (ТКЕ) и искусственной (ТКИ) коммутацией.

Прерыватели первого класса реализуются сравнительно просто, так как не содержат устройств, обеспечивающих принудительное выключение тиристоров. На рис. П5.1, *а* представлена однофазная схема ТКЕ, выполненная на основе встречно-параллельных тиристоров (или одного симистора). Импульсы управления должны поступать на тиристоры синхронно с сетевым напряжением. На рис. П5.1, *б* показана упрощенная структурная схема системы управления СУ тиристорами прерывателя, которая включает в себя формирователи импульсов $\Phi И1$, $\Phi И2$ и входное устройство ВУ, обеспечивающее синхронизацию импульсов с сетевым напряжением. При работе преры-

вателя в режиме контактора каждый из тиристоров находится в проводящем состоянии полупериода $T/2$, определяемого частотой напряжения. При выключении одного тиристора происходит включение другого, для чего к этому моменту на его управляющий электрод должен быть подан отпирающий импульс.

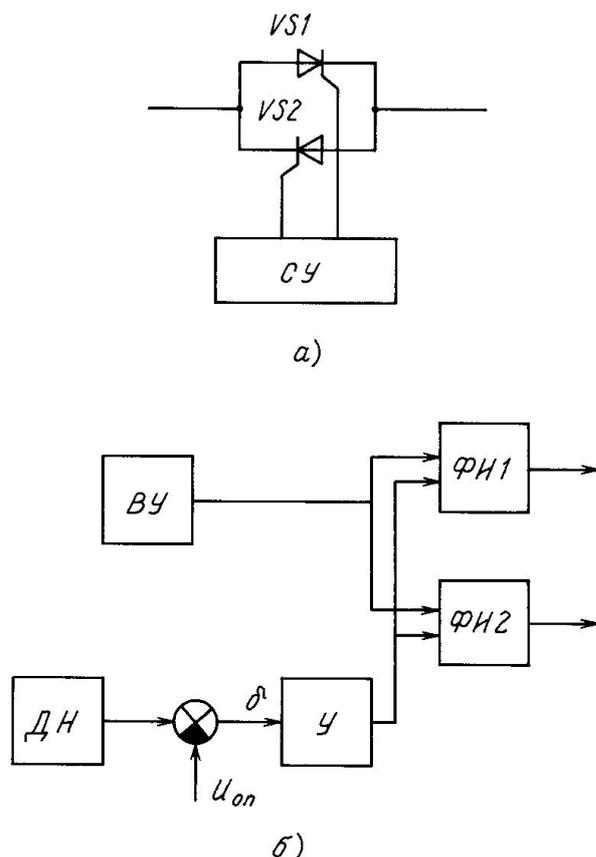


Рис. П5.1. Тиристорный регулятор переменного тока на встречно-параллельных тиристорах:
 а – силовая схема; б – структурная схема системы управления

При работе на активную нагрузку форма тока совпадает с напряжением и угол сдвига между напряжением и током равен нулю. В общем случае угол не равен нулю при активно-индуктивной нагрузке $\varphi > 0$ и изменяется в зависимости от нагрузки. В результате изменяется также и момент прохождения тока через нуль, определяющий выключение проводящего ток нагрузки тиристора и включение встречного тиристора. Система управления должна отслеживать изменение угла φ или функционировать с импульсами управления, синхронизированными с сетевым напряжением, но имеющих длитель-

ность $t_a > \varphi$, чтобы обеспечить безразрывность тока нагрузки. Однако увеличение длительности импульса управления t_a приводит к увеличению потерь мощности в цепях управления тиристорами, что необходимо учитывать при проектировании прерывателя.

Тиристорный прерыватель может быть выполнен на одном тиристоре (рис. П5.2). Однако увеличение числа диодов в схеме повышает потери мощности в прерывателе, что особенно заметно начинает проявляться в сильноточных ТКЕ. Тиристорные прерыватели могут иметь трехфазное исполнение, например, по схеме, изображенной на рис. П5.3. Очевидно, последовательность импульсов управления должна в такой схеме соответствовать трехфазной системе напряжений, т.е. следовать со сдвигом 120° между импульсами управления тиристорных соответствующих фаз.

При задержке поступления импульса на очередной тиристор на угол управления α становится возможным изменять действующее значение напряжения на нагрузке. В этом случае прерыватель может использоваться в качестве регулятора напряжения или тока. При активной нагрузке диаграммы напряжения и тока совпадают по форме. Очевидно, что с увеличением угла α напряжение на нагрузке уменьшается. Это позволяет реализовать принцип фазового регулирования напряжения.

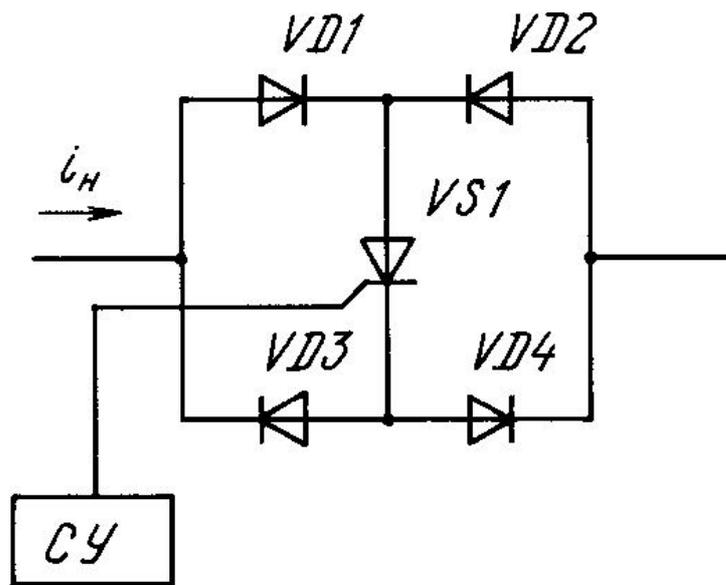


Рис. П5.2. Тиристорный регулятор переменного тока на одном тиристоре

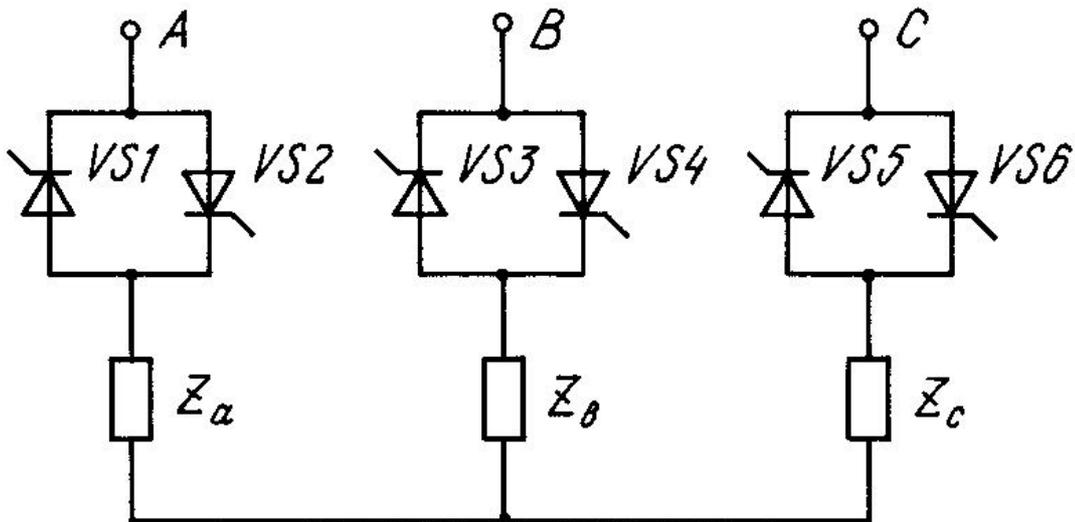


Рис. П5.3. Трехфазный тиристорный регулятор переменного тока

ТИРИСТОРНЫЕ КОНТАКТОРЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ИСКУССТВЕННОЙ КОММУТАЦИЕЙ

При подаче команды на отключение в схеме рис. П5.1 формирование импульсов блокируется. При прекращении подачи импульсов тиристор $VS1$, проводящий ток нагрузки, выключается при спадании этого тока до нуля (под воздействием переменного сетевого напряжения происходит естественная коммутация тиристора). В зависимости от момента поступления команды на выключение время ее выполнения может изменяться от 0 до $T/2$. Такое время срабатывания прерывателя в ряде случаев недопустимо.

Например, в установках бесперебойного электроснабжения при возникновении аварийных ситуаций требуется практически мгновенное переключение нагрузки с одного источника на другой. Для этих целей используют прерыватели ТКИ, схемотехническое исполнение которых имеет много вариантов.

На рис. П5.4 представлен вариант схемы ТКИ. Когда ТКИ включен, то ток нагрузки протекает в один полупериод через тиристор $VS1$ и диод $VD1$, а в другой – через тиристор $VS2$ и диод $VD2$. Коммутирующий конденсатор C_k заряжен от маломощного зарядного устройства ЗУ до напряжения U_C с полярностью, показанной на рисунке, и отделен от основных тириستоров и диодов коммутирующим тиристором $VS3$.

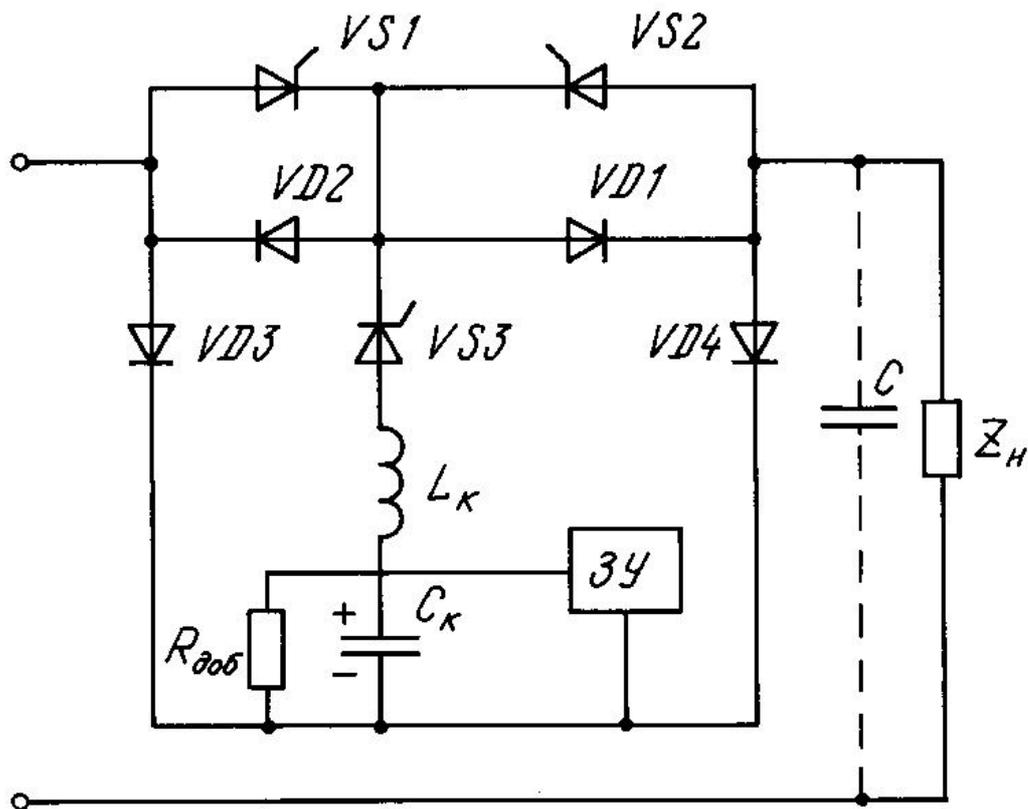


Рис. П5.4. Тиристорный контактор с принудительной коммутацией

Для выключения основных тиристоров $VS1$ и $VS2$ необходимо подать отпирающий импульс на тиристор $VS3$. При этом в результате разряда конденсатора C_k возникает ток I_k , направленный встречно току проводящего в тот момент основного тиристора. При этом процессы в коммутационном контуре происходят на значительно более высокой частоте по отношению к частоте сети, поэтому ток I_H на интервале коммутации практически не меняется. Допустим, что ток нагрузки проводил тиристор $VS1$. При включении тиристора $VS3$ в момент времени $t=t_1$ в контуре $VS3 - VS1 - VD3 - C_k - L_k - VS3$ начнется колебательный процесс разряда конденсатора C_k и нарастание тока I_k по следующему закону: напряжение тиристора $VS1$ больше нуля и он находится в проводящем состоянии. Диод $VD2$ на этом интервале выключен, так как к нему приложено обратное напряжение, равное падению напряжения на включенном тиристоре $VS1$. При равенстве токов I_k и I_H ток тиристора $VS1$ становится равным нулю, и он выключается. Одновременно под воздействием прямого положительного напряжения включается диод $VD2$ и разность токов I_H и I_k

начинает протекать через диод $VD2$. На интервале проводимости диода $VD2$ к тиристор $VS1$ будет приложено запирающее напряжение, равное падению напряжения на диоде $VD2$. В момент времени t_3 ток I_k снова становится равным току I_H , ток диода $VD2$ становится равным нулю и он выключается.

РЕЛЕ И КОНТАКТОРЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НА ПОЛНОСТЬЮ УПРАВЛЯЕМЫХ КЛЮЧАХ

В настоящее время на основе полностью управляемых силовых полупроводниковых ключей разрабатываются реле и контакторы с очень высоким быстродействием и практически неограниченным ресурсом работы. При этом становится возможным осуществлять коммутацию силовых цепей за время, не превышающее десяти микросекунд, т.е. практически мгновенно относительно скорости изменения аварийных токов и напряжений в промышленных сетях. В качестве силовых электронных ключей в статических аппаратах используются силовые транзисторы, запираемые тиристоры и др. В то же время быстрая коммутация электрических цепей вызывает определенные проблемы, связанные с наличием в коммутируемых цепях индуктивностей и выводом накопленной в них энергии при коммутации. Рассмотрим эти процессы более подробно на примере отключения нагрузки однофазной цепи переменного тока.

На рис. П5.5 представлена схема однофазного контактора, выполненного на основе транзисторов, и диаграммы, иллюстрирующие процессы изменения тока и напряжения при его отключении. Статический контактор состоит из двух пар транзисторных ключей со встречно включенными диодами: $VT1, VT2, VD1, VD2$ и $VT3, VT4, VD3, VD4$. Учитывая, что время выключения транзисторов мало по сравнению со временем изменения тока и напряжения, можно считать, что на интервалах выключения любого из транзисторов $VT1$ или $VT2$ ток I_H и входное напряжение практически постоянны. В этом случае электромагнитные процессы в схеме будут сходны с процес-

сами отключения статическим контактором цепи постоянного тока. Функцию обратного диода, замыкающего ток активно-индуктивной нагрузки, в данном случае выполняют транзисторы $VT2$ и диоды $VD2$, $VD3$, включение которых должно производиться синхронно с выключением транзисторов $VT1$ и $VT2$. Следует отметить, что внутреннее сопротивление источника переменного тока (генератора, трансформатора и др.) обычно имеет индуктивный характер, поэтому на рис. П5.5 он представлен эквивалентной индуктивностью L_c , оказывает существенное влияние на процесс выключения контактора, так как при этом возникает задача вывода накопленной в ней энергии для исключения (ограничения) перенапряжения на выключающихся ключах $VT1$ и $VT2$.

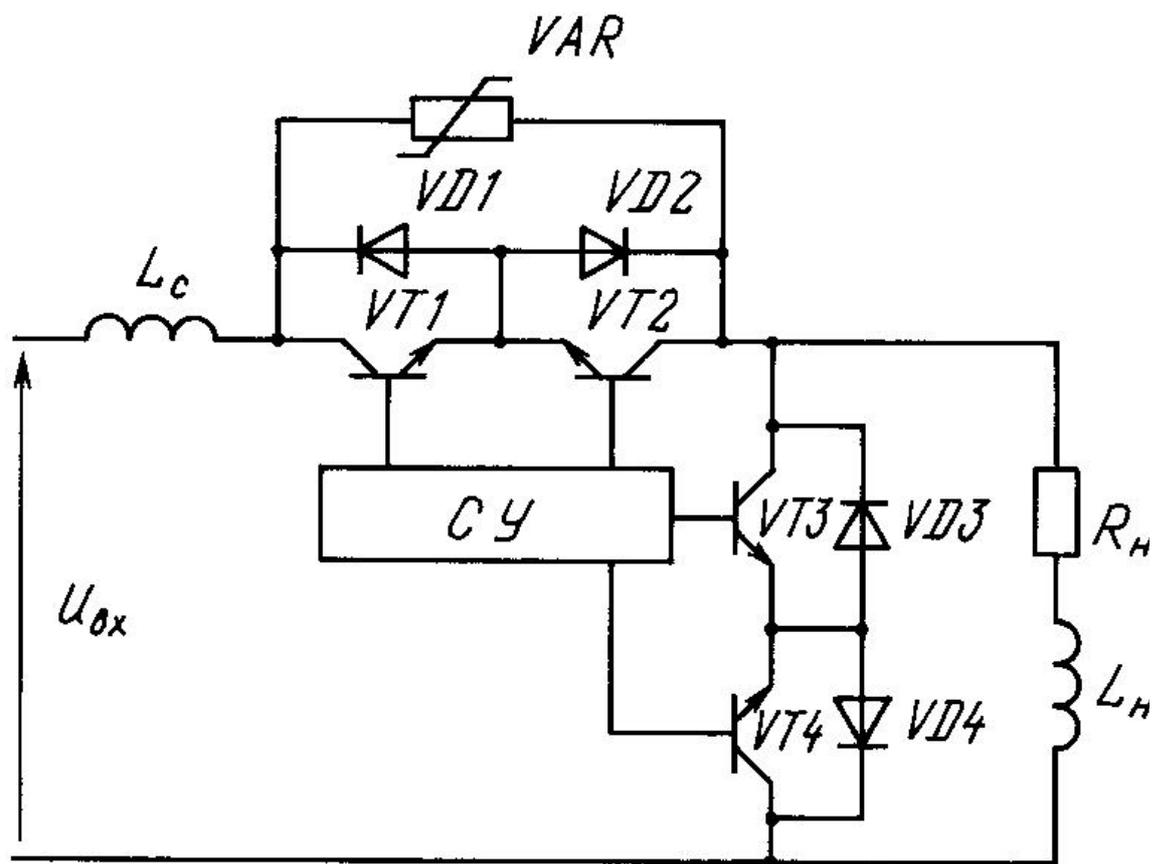


Рис. П5.5. Транзисторный контактор

Наиболее распространенным способом вывода этой энергии является рассеивание ее на нелинейных полупроводниковых элементах – варисторах или стабилитронах. В настоящее время наиболее энер-

гоемкими являются ограничители перенапряжения ОПН на основе оксидно-цинковых варисторов. Такие ОПН имеют высокое быстродействие и нелинейную вольт-амперную характеристику, что позволяет эффективно ограничивать перенапряжения на ключевых элементах на заданном уровне за счет поглощения значительной дозы энергии, накопленной в индуктивностях отключаемой цепи. Встречно включенные стабилитроны или варисторы могут включаться как непосредственно на входе контактора, так и параллельно ключам контактора по другим, менее распространенным, схемам.

При проектировании контакторов переменного тока на транзисторах следует учитывать, что они позволяют блокировать напряжение одной полярности. Поэтому транзисторы надо дополнять диодами, включенными параллельно или последовательно. В этой связи в слаботочных цепях целесообразно использовать схему с одним транзистором, включенным на стороне постоянного тока диодного моста (рис. П5.6).

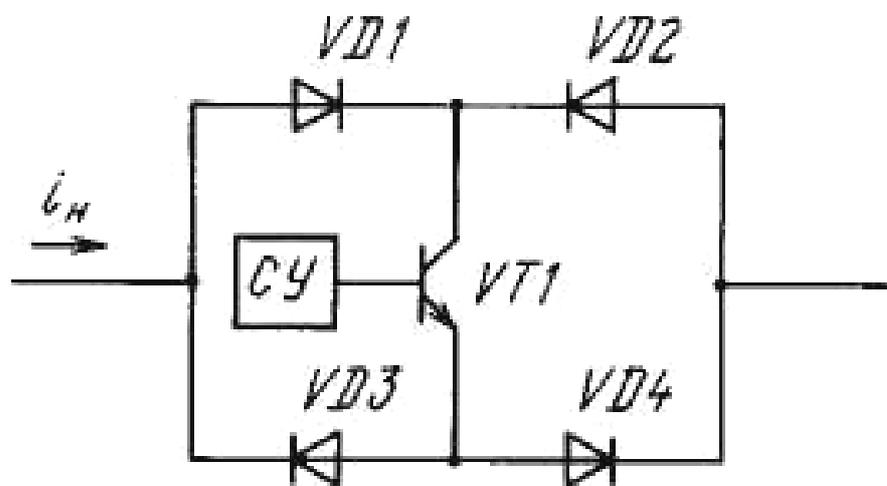


Рис. П5.6. Транзисторный контактор с одним транзистором

ГИБРИДНЫЕ АППАРАТЫ

Основным достоинством статических коммутационных аппаратов переменного тока на полностью управляемых ключевых элементах является их высокое быстродействие, позволяющее практически мгновенно предотвратить возрастание аварийного тока, ограничив его максимальное значение на любом заданном уровне.

В то же время всем статическим аппаратам присущи два принципиальных недостатка – значительные потери активной мощности в проводящем состоянии и отсутствие гальванической развязки в разомкнутом состоянии. Для устранения этих недостатков используются гибридные аппараты.

Принципы построения и алгоритмы работы гибридных аппаратов переменного и постоянного токов во многом сходны. В качестве примера на рис. П5.7 приведена схема гибридного аппарата на основе встречно включенных тиристоров и электрических контакторов, последовательно и параллельно соединенных с ними.

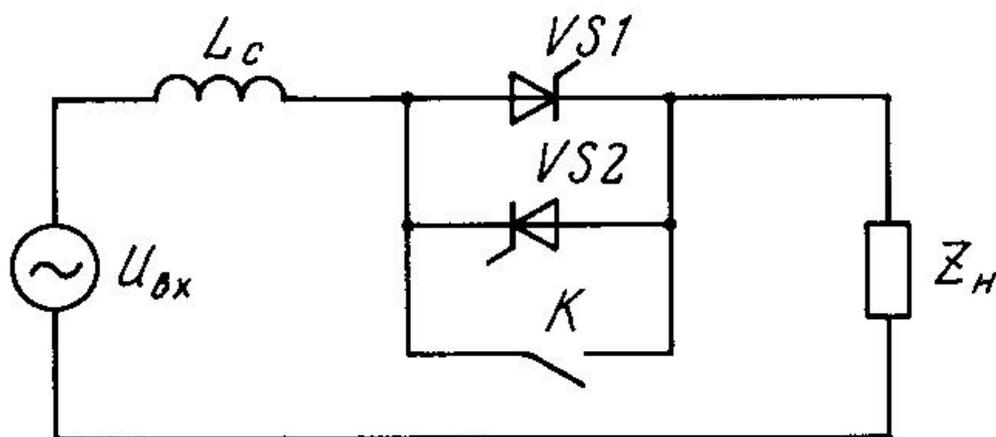


Рис. П5.7. Гибридный контактор переменного тока

Следует отметить, что аппараты защиты на основе тиристоров как чисто статические, так и гибридные не позволяют гарантированно ограничить максимальное значение ударного тока КЗ. Это объясняется тем, что выключение тиристора происходит при прохождении тока через нуль, а при наиболее неблагоприятном моменте возникновения КЗ ток спадает до нуля примерно в конце периода. За это время максимальное значение ударного тока $I_{уд}$ будет определяться следующим приближенным соотношением $I_{уд} = \frac{2U_m}{\omega L_c}$, где ω – частота сетевого напряжения; L_c – эквивалентная индуктивность сети.

В то же время гибридный аппарат на основе встречно включенных тиристоров позволяет использовать положительные качества статиче-

ского и электромеханического аппаратов. В результате такой гибридный аппарат может реализовать «мягкий» пуск (торможение) электропривода с ограничением за счет фазового регулирования пусковых токов и резких динамических воздействий в переходных процессах, а также повысить срок службы электромеханической части аппарата при одновременном улучшении ее массогабаритных показателей.

Приложение 6: КОМПЛЕКТНЫЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

НИЗКОВОЛЬТНЫЕ КОМПЛЕКТНЫЕ УСТРОЙСТВА

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О НИЗКОВОЛЬТНЫХ КОМПЛЕКТНЫХ УСТРОЙСТВАХ

Низковольтные комплектные устройства (НКУ) представляют собой совокупность аппаратов защиты, управления и автоматики, а также приборов, объединенных единой конструктивной основой.

Низковольтные комплектные устройства предназначены для управления, регулирования и защиты электроустановок, распределения энергии, электрических измерений и сигнализации, для управления различными механизмами, установками и технологическими процессами.

Объединение аппаратов и приборов, решающих определенную техническую задачу, в виде отдельного конструктивного узла позволяет не только повысить их удобство, безопасность и надежность в эксплуатации, но и улучшает качество их монтажа и наладки, а также снижает стоимость изготовления НКУ в заводских условиях с использованием унифицированных изделий.

Конструктивно НКУ выполняются в виде открытых щитов, защищенных щитов и отдельных напольных шкафов, щитов, защищенных только спереди и с боков, блоков, панелей, ящиков (навесных шкафов) и пультов. Низковольтные комплектные устройства выполняются с

односторонним или двухсторонним обслуживанием, с однорядным, двухрядным или комбинированным расположением аппаратов.

Если НКУ открытого исполнения предназначены для установки в специальных электротехнических помещениях, в которых находится только обслуживающий персонал, то защищенные НКУ могут устанавливаться непосредственно в цехах, вблизи от управляемых ими механизмов. Подобные НКУ удобны в эксплуатации, при этом значительно сокращается общая протяженность электрических коммуникаций, облегчается наладка электрооборудования, снижается объем и стоимость комплектного устройства. Однако защищенные НКУ несмотря на все преимущества имеют существенный недостаток: в замкнутом объеме происходит перегрев элементов НКУ, что требует специальных мер по выбору и размещению аппаратов, монтажу и эксплуатации, вентиляции внутреннего объема НКУ. Часто НКУ комплектуются типовыми блоками и панелями.

К низковольтным комплектным устройствам и отдельным его элементам предъявляются следующие требования.

Удобство и безопасность обслуживания. НКУ должно быть надежно защищено от случайного прикосновения обслуживающего персонала к токоведущим и подвижным частям, а элементы НКУ – от воздействия внешней среды и механических повреждений. При этом к элементам НКУ, требующим систематического контроля и наблюдения в процессе эксплуатации, должен быть удобный доступ (например, к контактным соединениям).

Удобство наблюдения за работой аппаратов. Измерительные приборы и аппараты ручного управления (кнопки, рубильники, выключатели и т.п.) должны располагаться на удобном для наблюдения уровне (на высоте от 600 до 1800 мм от уровня пола).

Удобство подключения внешних соединений. Внешние соединения подключаются через зажимы, расположенные внутри НКУ.

Удобство ремонта и замены аппаратов, приборов и других элементов НКУ.

Исключение возможного взаимного влияния аппаратов друг на друга. При этом возможны тепловые, электромагнитные и механические воздействия аппаратов. Чрезмерный нагрев отдельных аппаратов, переброс электрической дуги отключения, механическая вибрация аппаратов, магнитные поля и взаимоиндуктивности могут вызвать ложные срабатывания и отключения, разрегулировку аппаратов, перегрев и изменение характеристик аппаратов и отдельных его узлов и другие несанкционированные действия.

Поэтому аппараты, являющиеся источниками внешних воздействий, должны размещаться на расстоянии от остальных аппаратов, в нижней или в верхней частях НКУ, а иногда и за пределами НКУ. Особые требования предъявляются к выбору площади поверхности охлаждения НКУ и условиям его охлаждения.

В зависимости от характера, длительности и условий нагрева различают три основных режима работы НКУ: продолжительный, кратковременный и повторно-кратковременный.

РЕЖИМЫ РАБОТЫ НИЗКОВОЛЬТНЫХ КОМПЛЕКТНЫХ УСТРОЙСТВ

Низковольтное комплектное устройство состоит из физических тел, излучающих или потребляющих тепловую энергию в ограниченном пространстве. Поскольку температура и в различных точках НКУ неодинакова, внутри НКУ возникают тепловые потоки.

Построив температурное поле внутреннего объема НКУ, можно представить наиболее уязвимые области НКУ, что облегчит работу по рациональному размещению элементов внутри НКУ. В качестве основного теплового параметра, характеризующего НКУ, используется допустимая температура нагрева частей элементов и конструкции НКУ. Снижение температуры внутри НКУ ниже допустимой приведет лишь к увеличению габаритных размеров НКУ и снижению его технико-экономических показателей.

Низковольтное комплектное устройство должно нормально функционировать при температуре среды внутреннего объема до +55 °С, что является наиболее эффективным и рациональным.

Для поддержания температуры внутри НКУ в допустимых пределах используются различные способы охлаждения – естественные и принудительные.

Естественное воздушное охлаждение является наиболее простым и распространенным охлаждением НКУ. Однако его можно использовать лишь при небольшой плотности теплового потока внутри НКУ. Естественное охлаждение используется либо в полностью закрытых шкафах путем конвекции и излучения с наружной поверхности НКУ через металлические стенки, либо через специальные вентиляционные отверстия, расположенные в нижней и верхней частях НКУ. При этом выделяющаяся в элементах тепловая энергия конвекцией передается потоку воздуха и уносится из шкафа. Эффективность работы НКУ с естественной вентиляцией можно повысить, подбирая количество и форму вентиляционных отверстий, окраску теплоотдающих поверхностей и т.п.

Принудительная вентиляция наиболее эффективна при высокой плотности теплового потока внутри НКУ. Принудительное движение воздуха создается специальными вентиляторами, расположенными в верхней или нижней части НКУ. При этом возможны замкнутая или разомкнутая системы охлаждения. В замкнутой системе охлаждения воздух циркулирует внутри объема НКУ, в разомкнутой – воздухообмен осуществляется между окружающей средой и внутренним объемом НКУ.

Принудительная вентиляция НКУ более широко применяется вследствие высокой ее эффективности, надежности и простоты.

Расчет теплового режима НКУ проводят для выбора необходимых габаритных размеров, которые обеспечивали бы нормальное тепловое состояние элементов НКУ.

НКУ представляет собой устройство, в котором протекают два воздушных потока с различными температурами, разделенных жесткой стенкой: внутренний тепловой поток определяется количеством

теплоты, выделяемой элементами НКУ, а внешний тепловой поток – теплоотводящими свойствами стенок НКУ и окружающей средой.

ВЫБОР ГАБАРИТНЫХ РАЗМЕРОВ НИЗКОВОЛЬТНЫХ КОМПЛЕКТНЫХ УСТРОЙСТВ И ОСОБЕННОСТИ ИХ МОНТАЖА

Для того чтобы правильно выбрать оптимальные габаритные размеры НКУ, необходимо предварительно подобрать способ его охлаждения. При этом необходимо знать: количество теплоты P_n , выделяемой встроенными элементами НКУ; допустимое значение температуры во внутренней области НКУ; допустимое значение температуры окружающей НКУ среды; предварительные габаритные размеры НКУ; требуемую степень защиты шкафа НКУ. Вышеперечисленные параметры могут быть рассчитаны или заданы согласно требованиям.

Удобно пользоваться при проектировании НКУ *зонами аппаратов*, входящих в комплект НКУ. Зона аппарата представляет собой прямоугольник вокруг аппарата, размеры ее определяются габаритными размерами аппарата, возможностью подключения к нему внешних проводов, удобством монтажа и эксплуатации, исключением влияния аппарата на соседние элементы НКУ. Таким образом, зоны аппаратов в НКУ фактически задают начальные габаритные размеры НКУ в виде *полезной площади НКУ*. Набор зон аппаратов, зажимов, приборов позволяет выбрать из стандартного ряда предварительные размеры НКУ, которые и уточняются потом в ходе теплового расчета.

Монтаж НКУ выполняется с учетом следующих требований:

1. Аппараты в НКУ крепятся на С-образных рейках непосредственно или при помощи переходных пластин.
2. Крупногабаритные аппараты размещаются внизу НКУ на рейках или на основании, либо за пределами НКУ или на крышке НКУ.
3. Монтаж выполняется гибким проводом или шиной, в коробах или в жгутах.
4. Измерительная или регулировочная аппаратура располагается на расстоянии от 600 до 1800 мм от пола.

5. Внешние, внутриванельные, межблочные и другие соединения выполняются при помощи силовых наборных зажимов.

Внутри НКУ соединительные провода маркируются для удобства монтажа и эксплуатации.

КОМПЛЕКТНЫЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Распределительное устройство (РУ) представляет собой совокупность соединенных между собой электрических аппаратов, предназначенных для приема и распределения электрической энергии. В функции РУ входит также защита сети и обслуживающих ее электрических аппаратов от КЗ и ненормальных режимов. Различают сборные и комплектные РУ (КРУ). Сборные РУ на напряжение 6–35 кВ монтируются в специально построенных кирпичных или железобетонных капитальных зданиях. Масляные выключатели монтируются в железобетонных ячейках, рассчитанных на возможность взрыва.

Сборные РУ на напряжение выше 35 кВ строятся открытого типа (ОРУ) и не требуют строительства капитальных зданий. Отдельные электрические аппараты поступают с заводов, монтируются и настраиваются на месте установки. Значительного улучшения технических, эксплуатационных и экономических характеристик можно достигнуть применением КРУ. Все входящие в КРУ электрические аппараты (коммутационные аппараты, измерительные трансформаторы, аппараты управления, устройства релейной защиты и автоматики и т.п.) монтируются заводом-изготовителем вместе со всеми электрическими соединениями на общем металлическом основании.

Различают КРУ, предназначенные для работы в закрытом помещении и для наружной установки на открытом воздухе (КРУН). В конструкции КРУН предусматривается защита электрических аппаратов и всех электрических соединений от воздействия окружающей среды (дождя, снега, тумана, пыли, ветра).

По сравнению со сборными КРУ имеются следующие преимущества:

1. Значительно уменьшается трудоемкость проектирования и строительно-монтажных работ.

2. Улучшается качество электроустановок, увеличивается надежность их работы, безопасность обслуживания и сокращаются эксплуатационные расходы.

3. Обеспечивается возможность модернизации и реконструкции.

4. Изготовление КРУ ведется индустриальным методом с широким применением механизированного труда. Технологические операции разбиваются на простейшие, что позволяет автоматизировать изготовление и контроль качества.

КОМПЛЕКТНЫЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА НА НАПРЯЖЕНИЕ 6–35 КВ

С целью уменьшения размеров, улучшения эксплуатационных характеристик и повышения надежности к электрическим аппаратам КРУ предъявляются следующие требования:

1. Выключатели должны обладать малыми габаритами и встроенным приводом, высокой износостойкостью, пожаро- и взрывобезопасностью. Они должны снабжаться розеточными или пальцевыми контактами. С учетом этих требований в КРУ применяются маломасляные, электромагнитные, элегазовые и вакуумные выключатели.

2. Трансформаторы тока и напряжения применяются с литой изоляцией, обладающей высокой электрической и механической прочностью. Такие трансформаторы не требуют ухода в эксплуатации.

3. Разъединители должны быть механически связаны с выключателем и обеспечивать электробезопасность при выкатывании выключателя; смонтированного на тележке. Монтаж выключателя с приводом на выкатных тележках позволяет легко производить ревизию и профилактические работы. Подвижные контакты разъединителя выполняются в виде розетки или пальцевых контактов, устанавливаемых на выводах выключателя. Неподвижные контакты в виде штыря

или шины крепятся на специальных опорных изоляторах. При выкатывании тележки из КРУ контакты разъединителя размыкаются, а на концы выходного силового кабеля накладывается заземление с помощью заземлителя, привод которого заблокирован с механизмом тележки выключателя. При вкатывании тележки пальцы подвижных контактов разъединителя охватывают неподвижные и создают надежный контакт. Эта конструкция обеспечивает пропускание номинальных токов до 3000 А.

4. Разрядники и предохранители должны иметь малые габаритные размеры и требовать минимального ухода в эксплуатации. Для защиты от перенапряжений используются вентильные разрядники типов РВО, РВРД. Предохранители устанавливаются для защиты КРУ от повреждений в измерительных TV и трансформаторах собственных нужд, которые питаются через КРУ. Применяются предохранители с кварцевым наполнением серий ПКТН и ПК.

При возникновении дуги между шинами появляется электродинамическая сила, которая со скоростью в сотни метров в секунду перемещает дугу, при этом дуга причиняет большие разрушения. Для того чтобы воспрепятствовать движению дуги, в настоящее время начинает применяться ошиновка с твердой изоляцией в виде стеклоткани, пропитанной эпоксидной смолой. При наличии такой изоляции дуга не может перемещаться вдоль шин.

Ввиду того, что перегородки между ячейками изготовлены из листовой стали и имеют небольшую прочность, взрыв выключателя может привести к разрушению и ячейки и всего КРУ. Поэтому в КРУ применяются пожаро- и взрывобезопасные выключатели.

Газы, выходящие из выключателя при отключении, должны иметь свободный выход из ячейки во избежание возможного взрыва. При большой мощности отключения выхлопные газы должны выбрасываться в атмосферу с помощью специальных газопроводов. Для уменьшения опасности взрыва негерметизированные контакты схемы управления выключателем выносятся в другой отсек.

Стенки КРУ имеют небольшую толщину и большую поверхность. Деформация их возможна даже при небольших избыточных давлениях внутри ячейки. Поэтому желательны предохранительные клапаны сброса давления. При появлении повышенного давления внутри КРУ из-за наличия электрической дуги предохранительный клапан открывается и ограничивает давление.

При мощностях отключения до 350 МВА рациональным является пружинный привод, встроенный в механизм самого выключателя. Ввиду малой мощности двигателя такого привода (100 Вт) отпадает необходимость применения мощного автономного источника питания (аккумулятора).

В современных КРУ выключатель монтируется на тележке. Механизм выкатывания тележки заблокирован с механизмом выключателя. Выкатывание возможно только при отключенном выключателе.

Тележка выключателя имеет три фиксированных положения: рабочее, когда разъединители включены, промежуточное, когда разъединители отключены, но цепи управления приводом выключателя остаются включенными, и третье – ремонтное, когда все цепи отключены и выключатель можно выкатить из ячейки полностью и направить на ремонт. Вместо него может быть установлен резервный выключатель на те же параметры.

При переводе тележки из рабочего положения в промежуточное металлические шторы закрывают отверстия в перегородке ячейки и отделяют отсек *Б* выключателя от отсеков *Л* и *В*, которые могут находиться под высоким напряжением. При вкатывании тележки с выключателем эти шторы открываются.

В промежуточном положении тележки механизм выключателя может быть проверен, так как цепи управления остаются включенными.

В ячейке измерения напряжения устанавливаются пока масляные трансформаторы серий НОМ, НТМ и др. Эти трансформаторы пожароопасны, занимают много места и требуют специальной ячейки для их размещения. Перспективны трансформаторы типа НОЛ с твердой

литой изоляцией, надежность которых позволяет отказаться от предохранителей на их входах.

Аппаратура релейной защиты и измерительные приборы монтируются на откидной передней крышке отсека. При ревизии и ремонте эта крышка открывается и все приборы становятся легкодоступными. Соединение приборов с остальной схемой вторичной коммутации осуществляется многожильным гибким кабелем.

Более совершенны маломасляные выключатели ВК-10 с теми же электрическими параметрами, что и выключатели ВМП-10, но со значительно меньшими габаритами. В связи с этим выпускаются новые КРУ серии КМ-1, ширина ячейки для которых уменьшается с 900 до 750 мм. Выключатель вместе с пружинным приводом расположен на выкатной тележке. Соединение выключателя со схемой КРУ осуществляется с помощью розеточных контактов. Контакты защищены от пыли и грязи изоляционными колпаками.

Малые габариты вакуумных выключателей позволяют резко сократить габариты КРУ. Ресурс вакуумного выключателя составляет 10^4 отключений номинального тока. Время непрерывной работы КРУ без ревизии достигает 10 лет.

Для установок с частыми коммутациями номинальных токов выпускаются КРУ с электромагнитными выключателями серий ВЭМ-10 и ВЭ-10. Для выключателей ВЭ-10 допустимое число коммутаций номинального тока достигает $(5 \div 10) \cdot 10^3$ при токах $3,6 \div 1,6$ кА соответственно.

Развитие заводских методов изготовления привело к созданию комплектных трансформаторных подстанций (КТП), в которых помимо приема и распределения электрической энергии осуществляется ее преобразование. В КТП силовой понижающий трансформатор, коммутационная и защитная аппаратура высокого и низкого напряжения, измерительные приборы комплектуются в заводских условиях, что дает большой экономический эффект, повышает надежность энергоснабжения и ускоряет ввод новых мощностей. Большие преимущества КТП привели к их широкому распространению в сетях напряжением до 110 кВ.

ЭЛЕГАЗОВЫЕ КОМПЛЕКТНЫЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

В связи с ростом городов, укрупнением промышленных предприятий и широкой автоматизацией производственных процессов резко возрастает потребление электроэнергии. При этом возникает необходимость максимального приближения линий 110, 220, 330 кВ к потребителям. При таких напряжениях допустимые изоляционные расстояния в воздухе между токоведущими частями РУ очень велики. Это приводит к резкому увеличению габаритов как самих РУ, так и зданий и площадей для их установки. Существующие открытые РУ создают большие радиопомехи и звуковые эффекты (выстрелы), связанные с работой воздушных выключателей.

Выходом из этого положения является создание РУ, в которых изоляция осуществляется твердыми и жидкими изоляционными материалами или газами под повышенным давлением. Твердая изоляция распространения не получила – трудно обеспечить надежную изоляцию при переходе от одного элемента РУ к другому. Минеральное масло из-за пожаро- и взрывоопасное не применяется. Другие жидкости (негорючие хлорированные масла) дороги, выделяют хлор. Поэтому наиболее подходящими являются газы – воздух и элегаз. Первый требует высокого давления, а следовательно, большой прочности оболочек. Поэтому элегаз нашел преимущественное применение. Площадь, занимаемая КРУ с напряжением ПО, 220 кВ, может быть уменьшена в 10-15 раз за счет использования элегаза. В элегазовых КРУ (КРУЭ) элегаз используется и как изолирующая, и как дугогасящая среда. Заключение в металлические оболочки токоведущих цепей высокого напряжения (экранирование).

Приложение 7: ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Измерительные трансформаторы применяются для расширения пределов измерения электроизмерительных приборов в цепях переменного тока и обеспечения безопасности их обслуживания в сетях высокого напряжения. Кроме того, измерительные трансформаторы используются для включения приборов релейной защиты.

Измерительный трансформатор напряжения применяется при измерениях в сетях переменного тока напряжением свыше 220 В. Трансформатор напряжения представляет собой понижающий трансформатор (рис. П7.1) с таким отношением витков в первичной и во вторичной обмотках, чтобы при номинальном первичном напряжении вторичное напряжение составляло 100 В.

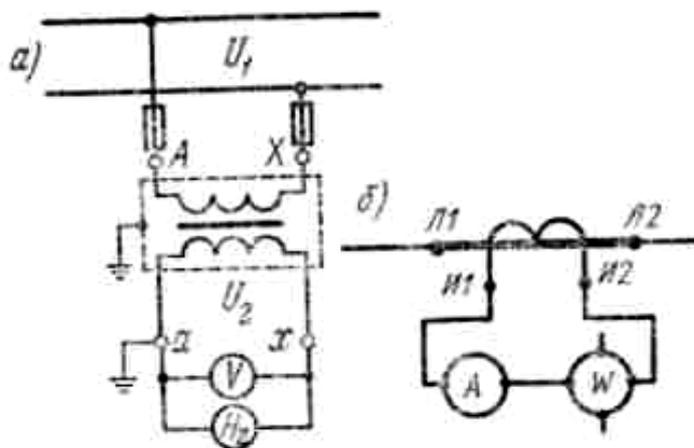


Рис. П7.1. Схемы измерительных трансформаторов напряжения (а) и тока (б)

Во вторичную цепь трансформатора напряжения включаются вольтметры, частотомеры и обмотки напряжения ваттметров, счетчиков энергии и фазометров. Так как электрическое сопротивление этих приборов велико (порядка тысяч ом), то трансформатор напряжения обычно работает в режиме, близком к режиму холостого хода. Это дает возможность пренебречь падением напряже-

ния в обмотках и принять $U_1 = -E_1$; $U_2 = -E_2$, а так как $E_1 = E \cdot w_1/w_2$, то напряжение в первичной обмотке

$$U_1 = -\frac{w_1}{w_2}U_2 = -k_H U_2.$$

Здесь k_H – коэффициент трансформации трансформатора напряжения.

Из выражения следует, что вектор U_1 сдвинут по фазе относительно вектора U_2 на 180° . Имеющие место в обмотках трансформатора падения напряжения приводят к тому, что отношение напряжений U_1/U_2 несколько меняется при различных (рис. П7.2) напряжениях U_v , а векторы напряжений U_1 и $-U_2$ оказываются сдвинутыми по фазе на угол δ . В результате возникают погрешности измерений.

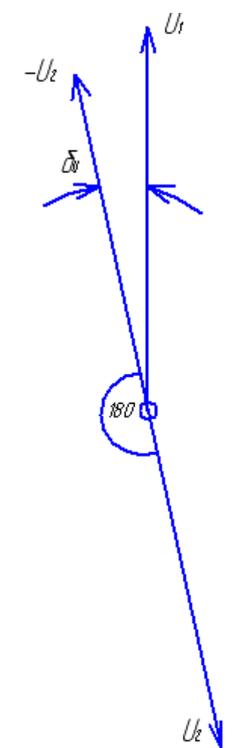


Рис. П7.2. Угловая погрешность трансформатора напряжения

В трансформаторах напряжения различают два вида погрешностей:

а) погрешность по напряжению

$$f_U = \frac{U_2 \frac{w_1}{w_2} - U_1}{U_1} 100\%,$$

т.е. погрешность при измерении напряжения, обусловленная применением измерительного трансформатора;

б) угловая погрешность δ_U , выражаемая в минутах, величина которой соответствует углу сдвига фаз между векторами U_1 и $-U_2$.

ГОСТ устанавливает классы точности для трансформаторов напряжения.

Измерительные трансформаторы изготавливаются однофазными и трехфазными на первичное напряжение от 380 В до 400 000 В. В трехфазных измерительных трансформаторах напряжения применяется группа соединения 12.

При напряжении до 3000 В трансформаторы напряжения делаются сухими, т.е. с естественным воздушным охлаждением, а при более высоких напряжениях – с масляным охлаждением.

В целях безопасности один из выводов вторичной обмотки и кожух трансформатора напряжения заземляются.

Измерительный трансформатор тока применяется для включения амперметров и обмоток тока ваттметров, счетчиков энергии и фазометров.

Первичная обмотка трансформатора тока выполняется из провода большого сечения и включается в сеть последовательно. Количество витков в обмотках трансформатора выбирается таким, чтобы при номинальном токе в первичной обмотке ток во вторичной цепи был 5 А.

Так как электрическое сопротивление приборов, включаемых во вторичную цепь, незначительно, то режим работы трансформатора тока близок к режиму короткого замыкания, при котором магнитный поток в магнитопроводе настолько мал, что им можно пренебречь. Тогда по аналогии с уравнением токов для опыта короткого замыкания можно записать следующее равенство для трансформатора тока:

$$\dot{I}_1 = -\dot{I}'_2 = -\frac{w_2}{w_1} \dot{I}_2,$$

откуда

$$\dot{I}_1 = -k_T \dot{I}_2,$$

где k_T – коэффициент трансформации трансформатора тока. В трансформаторах тока, так же как и в трансформаторах напряжения, наблюдается погрешность по току:

$$f_I = \frac{I_2 \frac{w_2}{w_1} - I_1}{I_1} \cdot 100\%,$$

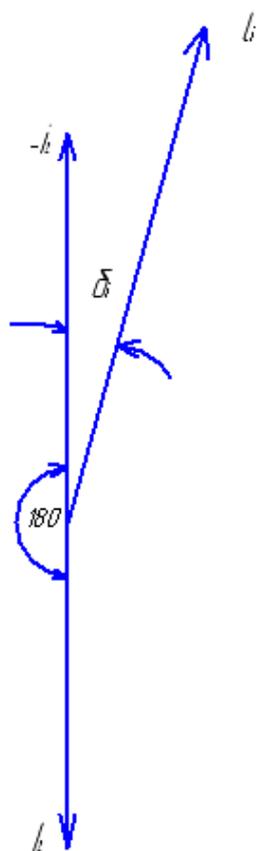
т.е. погрешность при измерении тока, обусловленная применением измерительного трансформатора; и угловая погрешность, измеряемая углом δ_4 в минутах (рис. П7.3).

Трансформаторы тока изготавливаются пяти классов точности: 0,2; 0,5; 1; 3; 10. Эти цифры указывают на допустимую для данно-

го класса погрешность по току в процентах при номинальном первичном токе. Угловая погрешность для классов 0,2, 0,5 и 1 при номинальном токе не должна превышать соответственно 10, 40 и 80 мин.; для классов 3 и 10 угловая погрешность не ограничивается. Трансформаторы тока классов 3 и 10 обычно применяются для включения аппаратуры релейной защиты.

Трансформаторы тока изготавливаются на первичные токи от 5 до 15 000 А.

При включении трансформатора тока в цепь высокого напряжения заземляются кожух и один вывод вторичной обмотки. Если во



время работы трансформатора тока разомкнуть его вторичную обмотку, то ток в ней станет равен нулю, а первичный ток останется прежним. При этом он будет полностью намагничивающим и вызовет значительное увеличение магнитного потока. Магнитные потери возрастут пропорционально квадрату потока, что приведет к перегреву магнитопровода, опасному для целостности изоляции. В итоге это может привести электрическую линию к короткому замыканию на землю. Кроме того, э.д.с. вторичной обмотки возрастет пропорционально магнитному потоку и достигнет значений, опасных для обслуживающего персонала. Поэтому *размыкание вторичной цепи трансформатора тока при наличии тока в первичной обмотке является недопустимым.*

Рис. П7.3. Угловая погрешность трансформатора тока

По способу выполнения трансформаторы тока бывают сухими и масляными. Кроме того, трансформаторы тока разделяются на многовитковые, в которых первичная обмотка содержит два и более витков, и одновитковые, в которых первичная обмотка представляет

стержень.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ.

НАЗНАЧЕНИЕ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ТРАНСФОРМАТОРА ТОКА

Трансформатор тока (ТА) служит для измерения, преобразования и передачи информации о режиме работы силовоточной цепи высокого напряжения в цепь низкого напряжения с целью ее последующей обработки. При этом одновременно ТА служит для изоляции первичной цепи высокого напряжения от вторичной цепи низкого напряжения, имеющей потенциал земли. Информация на вторичной стороне используется как для целей измерения мощности при помощи амперметра, ваттметра, качества энергии, так и для системы релейной защиты. Поэтому ТА, как правило, имеют две вторичные обмотки: одну для измерения, другую для защиты. Вторичный ток ТА имеет нормированные значения: 5 или 1 А. Первичная цепь трансформатора тока постоянно включена в цепь высокого напряжения и является первым элементом (датчиком контроля тока) системы релейной защиты. От точности передачи информации зависит четкость и быстрота ликвидации аварии.

Одной из важнейших характеристик ТА является его точность, определяемая погрешностями измерения вторичного тока, соответствующего информации о первичном токе. Класс точности определяется по наибольшей допустимой погрешности ТА при номинальном первичном токе, выраженном в процентах. Установлено 6 классов точности: 0,2; 0,5; 1; 3; 5; 10% как при токах $100 \div 120\% I_{\text{ном}}$, так и при 20% и 10% $I_{\text{ном}}$.

Основными номинальными параметрами ТА являются:

- 1) номинальный коэффициент трансформации: отношение номинального первичного тока трансформатора к его номинальному вторичному току;
- 2) относительная погрешность трансформации: токовая погрешность – разность между номинальным коэффициентом и действитель-

ным коэффициентом трансформации, выраженная в процентах от первичного тока трансформации.

Угловая погрешность ТА – угол между вектором первичного тока и повернутым на 180° вектором вторичного тока. Угловая погрешность считается положительной, если повернутый вектор вторичного тока опережает вектор первичного тока.

Кратность первичного тока ТА – отношение действительного первичного тока к номинальному первичному.

Номинальная вторичная нагрузка – полное сопротивление внешней вторичной цепи ТА, при которой гарантируется установленный класс точности, при этом $\cos\varphi_{\text{ном}} = 0,8$.

Номинальная предельная кратность – это кратность первичного тока по отношению к номинальному, при котором погрешность не превышает 10% при номинальной вторичной нагрузке и номинальном коэффициенте мощности $\cos\varphi$.

Трансформаторы тока отличаются от силовых трансформаторов следующими особенностями: работают в условиях близких к короткому замыканию (амперметр является нагрузкой измерительной обмотки ТА); ток во вторичной цепи не зависит от значения и характера нагрузки (источник тока), а определяется значением и характером изменения первичного тока.

В противоположность этому в силовых трансформаторах первичный ток определяется мощностью, потребляемой во вторичной цепи.

В общем случае ТА можно представить в виде двух обмоток: первичной и вторичной, размещенных на одном магнитопроводе из трансформаторной стали (рис. П7.4). Принцип действия ТА основан на явлении электромагнитной индукции (закон Ленца). При прохождении тока по первичной обмотке в магнитопроводе ТА создается переменный магнитный поток, изменяющийся с той же частотой, что и ток. Поток индуцирует во вторичной обмотке э.д.с., которая при замкнутой вторичной цепи приводит к появлению в ней тока, имеющего направление, противоположное первичному току. Ток I_2 создает в магнитопроводе поток Φ_2 , направленный встречно по отношению к основному потоку Φ_1 . В результате в магнитопроводе устанавливается

ся результирующий магнитный поток $\Phi_0 = \Phi_1 - \Phi_2$. В идеальном трансформаторе при отсутствии потерь на перемагничивание от циркуляции токов магнитные потоки равны по значению и противоположны по фазе, тогда $\Phi_0 = 0$. Вышесказанное характеризует работу ТА в статическом режиме. В переходных режимах в токах КЗ появляется апериодическая составляющая. В этом случае ударный ток может быть столь велик, что вызовет насыщение материала и приведет к искажению выходных характеристик ТА. Это особенно сильно скажется на работе релейной защиты. Для ослабления нелинейности кривой намагничивания и снижения остаточной намагниченности в магнитопроводы вводится немагнитный зазор, что позволяет осуществить передачу тока в переходном режиме с допустимыми токовыми и угловыми погрешностями.

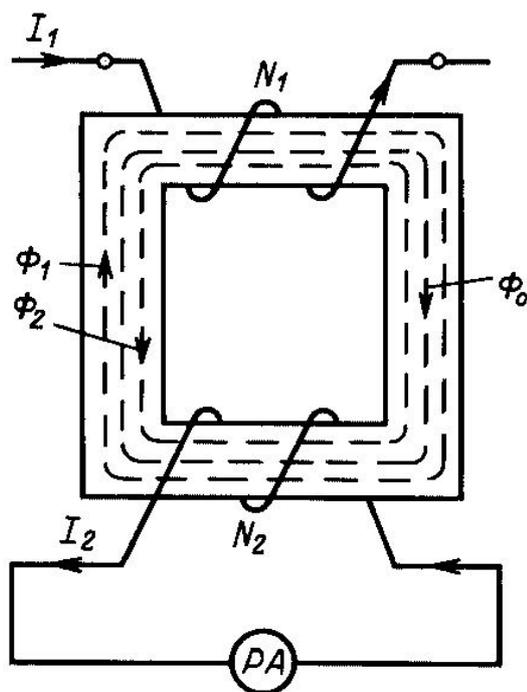


Рис. П7.4. Принципиальная схема трансформатора тока

Другим способом передачи переходных режимов из первичной цепи во вторичную является полный отказ от ферромагнитного магнитопровода – так называемый воздушный ТА, или «пояс Роговского» (рис. П7.5). Конструктивно он представляет собой катушку Z , индуктивно связанную с контуром измеряемого тока. Катушка намо-

тана на тороидальный магнитопровод из немагнитного материала 2, в качестве первичной цепи – токоведущая шина 1, пропущенная через окно тора. В обмотке индуцируется э.д.с., пропорциональная производной тока. На выходе воздушного ТА включена интегрирующая цепочка RC . Сопротивление нагрузки велико и ТА работает практически в режиме холостого хода.

С увеличением класса напряжения использование ферромагнитных или воздушных ТА приводит к значительным трудностям по обеспечению необходимой изоляции между первичной и вторичной цепями. Это послужило основой для разработки принципиально новых устройств по измерению тока для сверх- и ультравысоких напряжений.

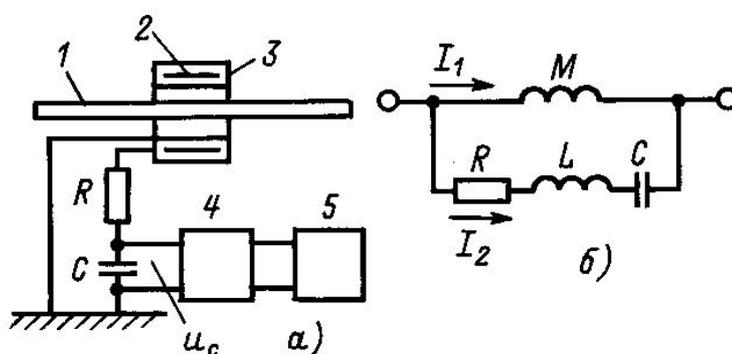


Рис. П7.5. Принципиальная схема включения воздушного трансформатора тока

Физическую основу оптико-электронных методов измерения составляют процессы преобразования измеряемого электрического сигнала в световой, а светового сигнала в выходной электрический сигнал. Системы преобразования отличаются друг от друга способом воздействия измеряемого параметра первичного тока на свойства светового луча (способом модуляции) и соответственно конструктивным исполнением.

КОНСТРУКЦИИ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА

Многообразие конструктивных исполнений ТА объясняется условиями их конкретного использования. В общем случае различа-

ют ТА для внутренней и наружной установки. Для внутренней установки, как правило для использования в КРУ, ТА защищены от атмосферных воздействий и класс напряжения ограничен 35 кВ. Поэтому ТА в этом случае выполняются с литой (из эпоксидной смолы) изоляцией и с менее развитой внешней поверхностью. Трансформаторы тока имеют обозначения для первичной цепи $Л1$ – $Л2$, для вторичных цепей $И1$ – $И2$ (рис. П7.6).

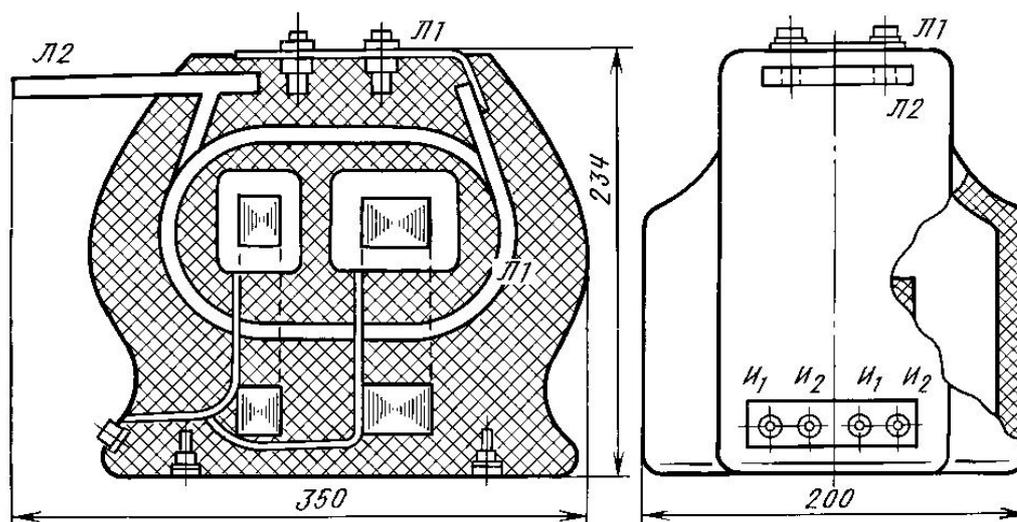


Рис. П7.6. Трансформаторы тока внутренней ТЛМ-10 (а) и наружной ТФЗМ-35 (б) установки

Для наружной установки ТА имеют значительно более сложную конструкцию изоляции (многослойная бумажно-масляная изоляция) между первичной и вторичной цепью и при этом используется трансформаторное масло. Вся конструкция ТА находится в фарфоровой рубашке, заполненной маслом.

По этому же конструктивному принципу создаются ТА на более высокий класс напряжения, используя каскадный принцип понижения уровня тока и напряжения на каждом преобразовании. При отсутствии вторичной нагрузки выходные клеммы $И1$ – $И2$ ТА должны быть закорочены, в противном случае на них возникает высокое напряжение, опасное для обслуживающего персонала.

ТРАНСФОРМАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

а) Назначение и основные параметры. Трансформаторы напряжения (ТН) двух- или трехобмоточные предназначены как для измерения напряжения, мощности, энергии, так и для питания цепей автоматики, сигнализации и релейной защиты линий электропередач от замыкания на землю. Трансформаторы напряжения имеют два назначения: изолировать вторичную обмотку НН и, тем самым, обезопасить обслуживающий персонал; понизить измеряемое напряжение до стандартного значения 100; $100/\sqrt{3}$; 100/3 В.

Это позволяет для измерения любого высокого напряжения применять одни и те же измерительные приборы. Реле защиты также выпускаются на те же стандартные напряжения независимо от номинального напряжения защищаемой установки. Трансформаторы напряжения различают: по числу фаз – однофазные и трехфазные; по числу обмоток – двухобмоточные и трехобмоточные; по классу точности – 0,2; 0,5; 1,0; 3; по способу охлаждения – с масляным охлаждением, с воздушным охлаждением; по способу установки – для внутренней установки, для наружной установки и для КРУ.

Первичная обмотка ТН изолируется от вторичной соответственно классу напряжения установки. Для безопасности обслуживания один вывод вторичной обмотки заземляется. Таким образом, ТН изолирует измерительные приборы и реле от цепи высокого напряжения и делает безопасным их обслуживание.

Схема включения однофазного ТН дана на рис. П7.7. Первичная обмотка w_1 присоединена к цепи высокого напряжения через предохранители. Вторичная обмотка питает нагрузку в виде обмоток измерительных приборов или реле защиты через предохранители $FU3$, $FU4$. В нормальной конструкции заземляются и вторичная обмотка и магнитопровод.

Предохранители $FU3$, $FU4$ служат для защиты ТV от КЗ в цепи нагрузки.

Предохранители $FU1$, $FU2$ на высоковольтной стороне служат для защиты сети от КЗ в ТV. Целесообразно применение токоограничивающих предохранителей типа ПКТ или стреляющих с ограничивающим резистором. Вследствие высокого сопротивления обмоток самого ТV при КЗ во вторичной цепи ток в первичной цепи мал (порядка нескольких ампер) и недостаточен для срабатывания предохранителей $FU1$; $FU2$. Этим объясняется установка предохранителей $FU3$, $FU4$ во вторичной цепи.

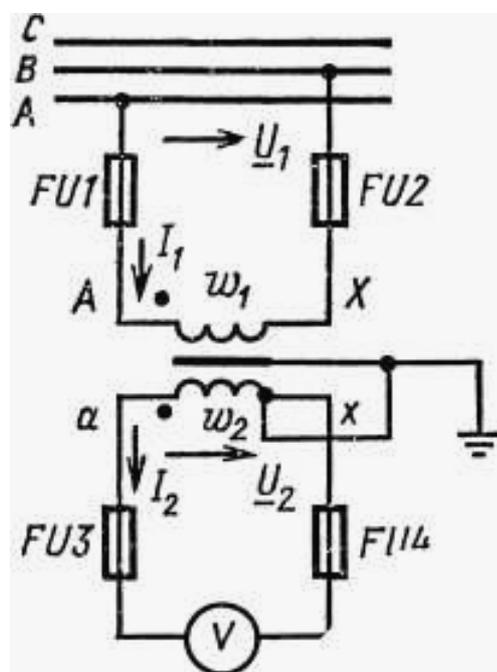


Рис. П7.7. Схема включения однофазного ТV

Основными параметрами ТV являются:

- номинальные напряжения обмоток, т.е. напряжения первичной и вторичной обмоток, указанные на щитке;
- номинальный коэффициент трансформации, т.е. отношение номинального первичного напряжения к номинальному вторичному, погрешность по напряжению;
- угловая погрешность, т.е. угол между вектором первичного напряжения и повернутым на 180° вектором вторичного напряжения, выраженный в угловых градусах (минутах).

Коррекцией напряжения называется преднамеренное изменение коэффициента трансформации в сторону повышения вторичного напряжения, выраженное в процентах. Это достигается уменьшением числа витков первичной обмотки.

По ГОСТ 1983-77 направления токов и напряжений, показанные на рис. П7.7, приняты за положительные. Угловую погрешность необходимо учитывать при измерении активной мощности, энергии и в схемах релейной защиты. Допустимая погрешность TV по напряжению в процентах при номинальных условиях численно равна классу точности.

Погрешности TV не должны превышать значений, предусмотренных классом точности при колебании напряжения U в пределах $90 \div 110\%$ и колебаний мощности вторичной цепи в пределах $25 \div 100\%$ номинальной.

КОНСТРУКЦИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ

При напряжении до 35 кВ конструкции TV и силовых трансформаторов аналогичны. При этом индукция в магнитопроводе значительно меньше, чем у силовых трансформаторов. Это снижает погрешность, позволяет в некоторых случаях проводить испытания индуцированным напряжением. Для испытания TV на выводы вторичной обмотки подается удвоенное напряжение частотой 50 Гц. На первичной обмотке появляется также удвоенное напряжение. Индукция не должна превышать индукцию насыщения.

При эксплуатации возможны случаи, когда первичная обмотка, рассчитанная на работу при фазном напряжении, попадает под линейное напряжение вместо фазного. При этом магнитопровод не должен насыщаться.

Для напряжений до 35 кВ выпускаются однофазные TV, у которых оба или один из выводов обмотки высокого напряжения изолированы от земли (второй вывод заземлен). На рис. П7.8, а показан од-

нофазный TV на напряжение 6 кВ с масляной изоляцией. Оба вывода первичной обмотки изолированы от корпуса.

Перспективным является отказ от масляной изоляции. В этом случае применяется заливка TV эпоксидным компаундом. Наряду с резким сокращением массы и габаритов упрощается эксплуатация, делается ненужным уход за маслом.

Трансформаторы с литой пластмассовой изоляцией пожаробезопасны, удобны в передвижных установках и КРУ. Для сравнения на рис. П7.8 показаны TV с одинаковыми параметрами при масляной и литой изоляции. Габариты TV в значительной степени определяются изоляцией. Поэтому там, где возможно, TV включаются между фазой сети и землей, что исключает необходимость в изоляции заземленного вывода первичной обмотки.

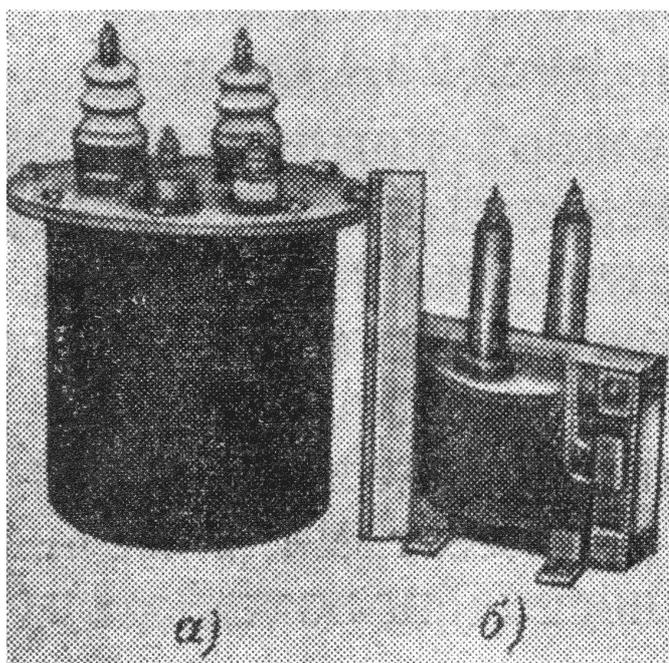


Рис. П7.8. TV с масляной (а) и литой (б) изоляцией

Линейное напряжение получается путем соединения в звезду вторичных обмоток таких TV. Такие способы позволяют уменьшить габариты, массу и стоимость TV.

Основные схемы включения однофазных TV нормального исполнения показаны на рис. П7.9. В схеме рис. П7.9, а используются TV, у которых оба вывода первичной обмотки изолированы от земли. Такая

схема удобна при измерении мощности и энергии. К каждому TV может подключаться номинальная нагрузка. Схема позволяет получать как фазное, так и линейное напряжение. В последнем случае измерительные приборы подключаются между точками *a* и *c*. Однако при таком включении создаются дополнительные погрешности за счет тока приборов, проходящего через обе вторичные обмотки. В этом случае нагрузка TV должна быть меньше номинальной.

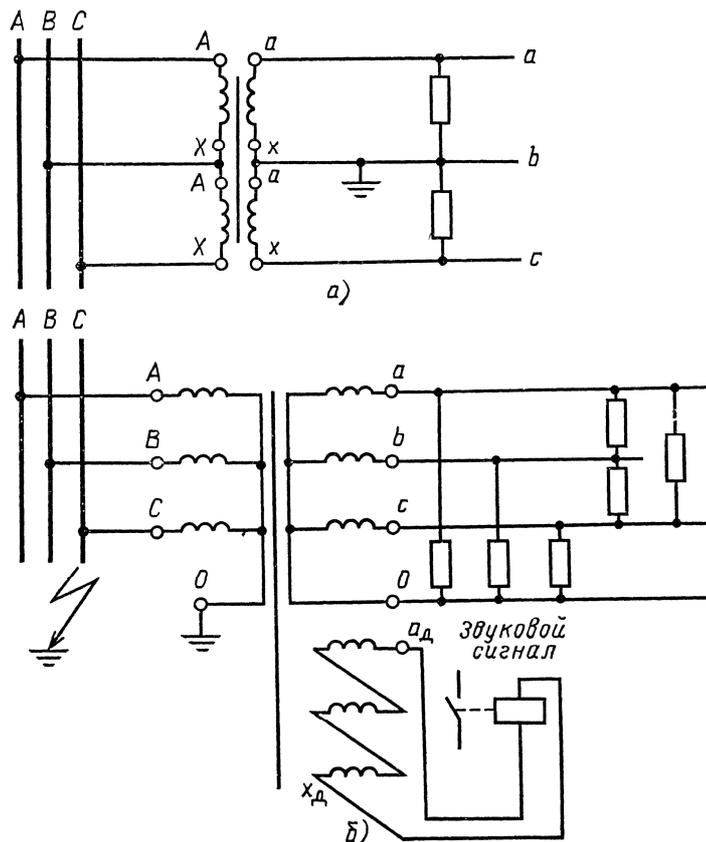


Рис. П7.9. Схемы включения TV в трехфазных цепях

Для контроля сопротивления изоляции и питания защиты, срабатывающей при КЗ на землю, имеются дополнительные обмотки, которые включаются по схеме разомкнутого треугольника. При симметричном режиме сумма э.д.с., наводимых в этих обмотках, равна нулю. Если один из проводов заземляется, то равновесие э.д.с. нарушается и на выводах разомкнутого треугольника возникает напряжение, которое подается на звуковой сигнализатор.

Возможны два режима работы схемы рис. П7.9, б. Если нейтраль сети изолирована или заземлена через реактор, то заземление одной из фаз сети, например C , не ведет к КЗ. Установка может оставаться длительное время в работе. При этом напряжение на обмотке C падает до нуля, а на обмотках A и B – увеличивается до линейного. В связи с этим индукция в магнитопроводах ТВ увеличивается. Во избежание недопустимого нагрева и резкого возрастания погрешности магнитопроводы не должны насыщаться при таком увеличении индукции.

В установках с заземленной нейтралью заземление одной из фаз сети вызывает КЗ и срабатывание релейной защиты. Напряжение на неповрежденных фазах при этом не поднимается выше $(1,2 \div 1,3) U_H$.

Габариты и стоимость ТВ могут быть уменьшены путем объединения трех однофазных ТВ в один трехфазный. Применяются трехстержневые и пятистержневые ТВ. Трехфазные трехстержневые ТВ выполняются с изолированной нулевой точкой на стороне высокого напряжения. Если нулевую точку заземлить, то при заземлении одной фазы в сетях с изолированной нейтралью возникает аварийный режим работы.

Для контроля сопротивления изоляции систем с изолированной нейтралью применяются трехфазные пятистержневые ТВ (рис. П7.10). При заземлении одной из фаз магнитные потоки, созданные обмотками неповрежденных фаз, замыкаются по крайним стержням, имеющим малое магнитное сопротивление. Дополнительные обмотки, соединенные в открытый треугольник, обеспечивают работу сигнализации и релейной защиты. При симметричном режиме в сети на выходе напряжение отсутствует.

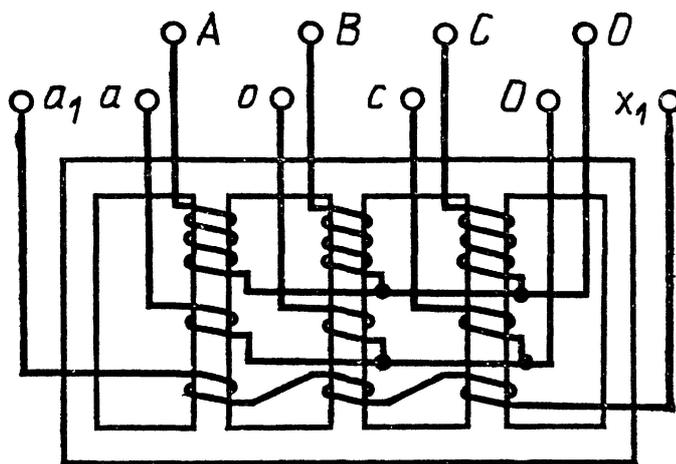


Рис. П7.10. ТВ с пятистержневым магнитопроводом

При напряжениях выше 35 кВ ввиду резкого возрастания габаритов и стоимости ТВ нормальной конструкции применяются каскадные ТВ (рис. П7.11). В двухкаскадном ТВ на напряжение 110 кВ каждый каскад имеет свой магнитопровод. Обмотки высокого напряжения *ВН* каждого каскада рассчитаны на 50% фазного напряжения. Один из выводов каждой обмотки *ВН* соединен с магнитопроводом. На стороне низкого напряжения *НН* выходные обмотки предназначены для питания измерительных приборов и реле в схеме защиты.

ТВ на напряжение 220 кВ собирается из двух ТВ на 110 кВ. Аналогично выполняются ТВ на напряжения до 500 кВ. Для выравнивания напряжения между каскадами применяют охранные кольца. Изоляция верхних элементов, подвергающихся большей электрической нагрузке, соответственно усиливается.

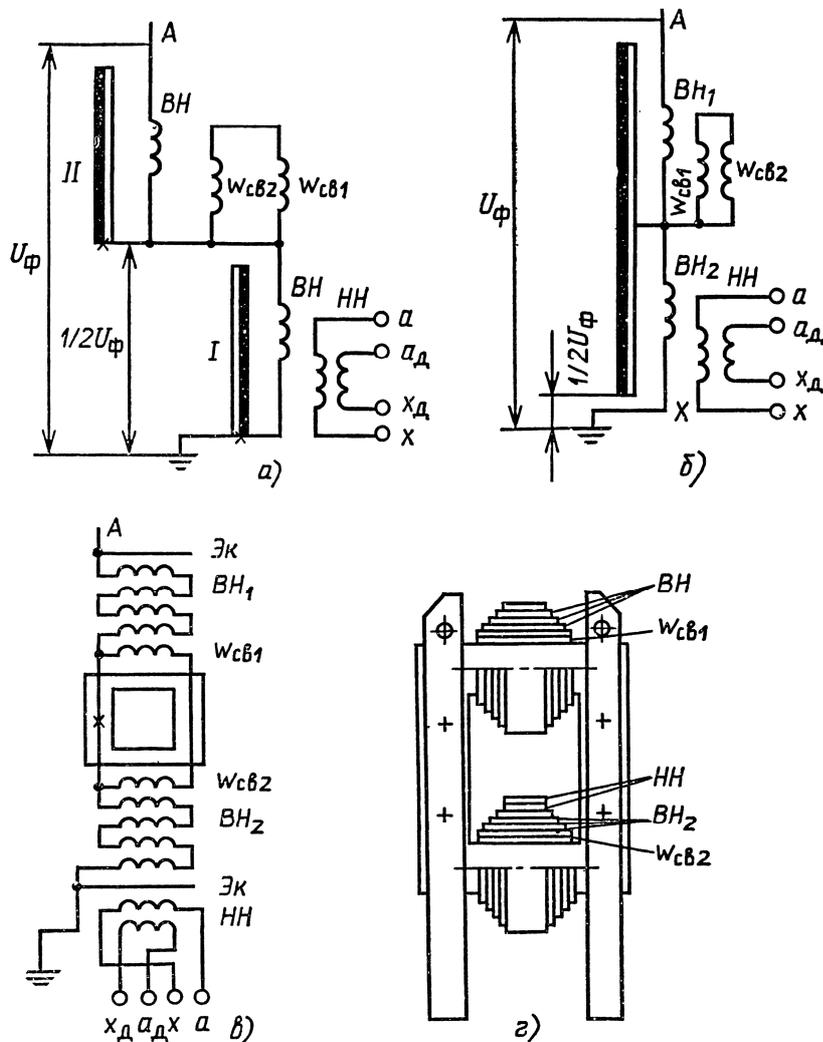


Рис. П7.11. Каскадные трансформаторы напряжения

Результирующее активное и индуктивное сопротивление обмоток каскадных ТВ значительно больше, чем у ТВ нормального исполнения. Поэтому для получения высокого класса точности приходится снижать нагрузку.

Как указывалось, для ТВ характерна малая плотность тока в обмотках. В том случае, когда ТВ используется как источник мощности и погрешность не играет особой роли, нагрузку обмоток можно значительно увеличить. Так, например, для ТВ типа НОМ-10 при классе точности 0,5 допустима нагрузка 80 ВА, хотя максимальная мощность, которая может быть снята со вторичной обмотки, равна 720 ВА.

ЕМКОСТНЫЕ ДЕЛИТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЯ

Помимо электромагнитных ТВ для понижения высокого напря-

жения могут быть использованы емкостные делители. Принципиальная схема подобного устройства, понижающего напряжение сети 500 кВ, приведена на рис. П7.12. Делитель D состоит из конденсаторной батареи $C1$ и конденсатора $C2$.

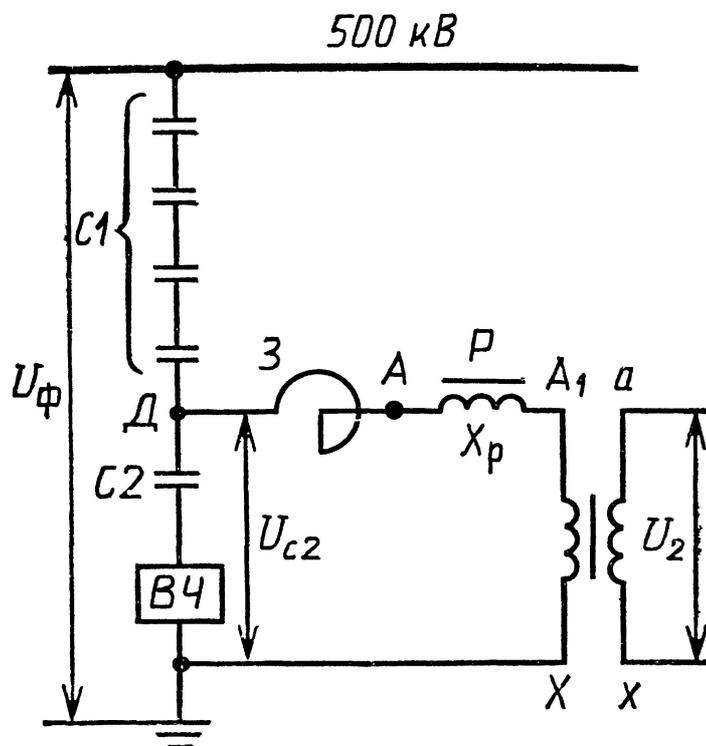


Рис. П7.12. Емкостный делитель

В чисто емкостной цепочке (цепь ТВ $A\bar{X}X$ разомкнута) напряжение делится обратно пропорционально значениям емкостей. Емкость $C2$ на порядок больше $C1$, и ток цепочки определяется конденсатором $C1$. Емкость $C2$ выбирается так, чтобы напряжение на ней U_{C2} находилось в пределах $4 \div 12$ кВ. Для дальнейшего понижения напряжение через реактор P подается на ТВ нормального исполнения и низкой стоимости. Нагрузка, имеющая номинальное напряжение 100 В, включается на вторичную обмотку этого ТВ.

Если в схеме отсутствует реактор P , то с ростом нагрузки уменьшается входное сопротивление ТВ и выходное напряжение начинает падать. Если реактор настроен в резонанс с емкостью $C1+C2$ при частоте сети 50 Гц, то выходное напряжение мало зависит от нагрузки.

При использовании в качестве конденсатора $C1$ конденсаторной

бумагомасляной изоляции проходных изоляторов мощность полезной нагрузки ограничивается из-за малости емкости C_1 . Так, при номинальном напряжении 110 кВ мощность нагрузки составляет 15 ВА.

Погрешность по напряжению достигает 5%, а угловая погрешность доходит до 5° . В настоящее время в релейной защите высоковольтных линий широко используются сигналы высокой частоты. Релейная защита, работающая на высокой частоте (блок ВЧ, рис. П7.12), связана с линией высокого напряжения через конденсатор CL . Сигналы высокой частоты подаются в линию высокого напряжения и воспринимаются устройством, расположенным в другой точке линии. Для таких защит разработаны специальные конденсаторы большой емкости. Эти конденсаторы используются в емкостном делителе и дают возможность увеличить мощность нагрузки до 1000 ВА. Для того чтобы не пропускать токи высокой частоты, в цепь TV устанавливается высокочастотный заградитель Z , играющий роль фильтра. Емкостный делитель может быть использован также для отбора больших мощностей (многих киловольт-ампер) вместо понижающих силовых трансформаторов.

Выпускаются емкостные делители мощностью до 300 ВА первого класса точности. Исследования показали возможность создания делителей класса точности 0,2.

В конструкции реакторов и TV предусмотрена возможность регулирования параметров для компенсации технологических разбросов по емкости конденсаторов делителя.

Индуктивность реактора регулируется изменением воздушного зазора в магнитопроводе и с помощью отводов обмотки. В TV с помощью отводов обмотки регулируется коэффициент трансформации.

Сравнение стоимости емкостного делителя и каскадных TV показывает, что делители целесообразно применять при напряжениях выше 110 кВ. При напряжениях 400 кВ и выше стоимость емкостного делителя примерно в 2 раза ниже стоимости каскадного TV. При напряжении ниже 110 кВ использование делителя не дает ощутимого

экономического эффекта.

Наличие конденсаторов делителя и нелинейных индуктивностей создает возможность феррорезонансных явлений не только на основной, но и на низших частотах (субгармониках).

В результате таких явлений могут возникать перенапряжения, опасные для изоляции, а также ложные срабатывания защиты. Возможно даже повреждение присоединяемых приборов. В настоящее время разработано много схем, эффективно ограничивающих эти перенапряжения.

Работа делителя зависит также от изменения частоты измеряемого напряжения, так как при этом возможны нарушения условия резонанса между реактором и конденсаторами.

ВЫБОР ТРАНСФОРМАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ

Номинальное напряжение первичной обмотки TV должно соответствовать номинальному напряжению сети, в которую он включается (если TV включается между фазой и землей – то номинальному фазному напряжению).

Номинальное вторичное напряжение TV должно соответствовать номинальному напряжению нагрузки.

Нагрузка должна быть равномерно распределена по фазам TV. Суммарная нагрузка на фазу TV должна быть меньше допустимой при заданных классе точности и коэффициенте мощности.

Сечение проводников, соединяющих. TV с нагрузкой, должно быть таким, чтобы падение напряжения на них составляло доли процента номинального вторичного напряжения.

Приложение 8: ПЕРЕЧЕНЬ ПРОДУКЦИИ ЗАРУБЕЖНЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ФИРМ, ПРЕДСТАВЛЕННЫХ В РОССИИ

ПЕРЕЧЕНЬ ПРОДУКЦИИ КОНЦЕРНА АББ

АББ – самый крупный в мире многонациональный электротехнический концерн, объединяющий свыше 1000 предприятий в разных странах с более чем 200 тыс. сотрудников.

АББ является ведущей в мире инженерно-технической группой компаний в области энергетики со столетними достижениями, уходящими своими разветвленными корнями в историю фирм АСЕА (Швеция) и БРАУН БОВЕРИ (Швейцария), слияние которых произошло в 1988 году.

Компания **АББ Электроинжиниринг** является дочерней компанией международного электротехнического концерна **АББ** и имеет собственное производство элегазовых баковых и колонковых выключателей ПО и 220 кВ в г. Чебоксары, Россия. Выключатели, выпускаемые российским предприятием по технологии ведущих западных компаний **АББ**, сертифицированы на соответствие требованиям стандартов РФ и адаптированы к условиям работы в отечественных энергосистемах.

Компания **АББ Электроинжиниринг** также осуществляет проектные, монтажные и пуско-наладочные работы, оказывает помощь в выполнении работ по техническому обслуживанию, обеспечивает заказчиков необходимым газотехнологическим оборудованием, специальными инструментами, приспособлениями и материалами.

ЭЛЕГАЗОВЫЕ БАКОВЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ СЕРИИ РМ

Более двух десятилетий элегаз (шестифтористая сера SF₆), благодаря своим прекрасным изолирующим и дугогасящим свойствам, успешно применяется при создании высоковольтного оборудования. Концерн АББ внес существенный вклад в разработки в данной области и накопил обширный опыт в создании как выключателей, так и герметизированных комплектных распределительных устройств.

Так, в элегазовых выключателях серии РМ используется поршневой и автодутьевой принципы гашения дуги: во время отключения элегазового выключателя газ сжимается и пропускается через контакты

выключателя, обеспечивая при этом гашение дуги. Выключатели содержат литые алюминиевые баки с прерывателями, пружинный привод, единую элегазовую систему с минимальным давлением элегаза 0,63 МПа при 20 °С, шкаф управления. Трансформаторы тока расположены на внешней стороне заполненных элегазом вводов выключателя.

ЭЛЕГАЗОВЫЕ КОЛОНКОВЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ

Элегазовые выключатели серии НРL-A и НРL-B с фарфоровым резервуаром и дугогасителем предназначены для напряжений от 145 до 550 кВ и для номинальных токов отключения до 63 кА. Включение и отключение производятся пружинным приводом.

Полюс выключателя, герметически заполненный элегазом под давлением 0,5 МПа, состоит из контактной системы, фарфорового опорного изолятора и пружинного привода с двигательным заводным устройством. Исполнение выключателя – однополюсное и трехполюсное.

Высоковольтный элегазовый выключатель серии LTB – это первый совместно разработанный в концерне АББ выключатель, предназначенный для работы с напряжением в системе 72,5 ÷ 170 кВ при номинальном токе отключения 31,5 ÷ 40 кА.

ВАКУУМНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ НА НОМИНАЛЬНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ 10 КВ

Вакуумные выключатели серии VD-4 предназначены для установки внутри помещений и входят в состав распределительных устройств с воздушной изоляцией. Преимущество вакуумных выключателей особенно проявляется при работе в сетях с высокой частотой переключения в номинальном режиме. Вакуумные выключатели серии VD-4 можно использовать в схемах с автоматическим восстановлением подачи энергии, они обладают очень высокой эксплуатационной надежностью и большим сроком службы. Полюса сконструированы в виде колонн и смонтированы на задней консольной части кор-

пуса с арматурой выключателя.

ГЕРМЕТИЗИРОВАННЫЕ КОМПЛЕКТНЫЕ ЭЛЕГАЗОВЫЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА (КРУЭ)

КРУЭ занимают незначительную часть площади и объема, требуемых для обычной коммутационной аппаратуры с воздушной изоляцией. В районах с высокой плотностью электрической нагрузки, особенно в городах и индустриальных центрах, применение КРУЭ является наиболее экономичным решением.

Диапазон номинальных напряжений КРУЭ – от 72,5 до 765 кВ при номинальных токах отключения до 63 кА.

КРУЭ серии ELK строятся на основе комбинации выбранных модулей оборудования, в состав которых входят: шины с комбинированным разъединителем-заземлителем, силовые выключатели с трансформатором тока, выключатели нагрузки или силовые разъединители, модули кабельного ввода, трансформаторы напряжения, элегазовый воздушный ввод, шкаф управления и вспомогательные модули. Модули имеют индивидуальную защиту и легко расширяются для дальнейшей модификации. В качестве материала для оболочек отсеков выбран стойкий к коррозии алюминий.

ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА СЕРИИ TG

Трансформаторы тока соответствуют международным и российским стандартам, обладают высокой стойкостью к воздействию окружающей среды, имеют контроль уровня давления элегаза, характеризуются отсутствием частичных разрядов и не являются источником радиопомех, просты в эксплуатации и обладают высокой надежностью.

Трансформаторы тока выполнены в виде опорной конструкции. Вторичные обмотки намотаны на тороидальные магнитопроводы и заключены в защитный экран. Первичная обмотка состоит из канала и трех внутренних и трех внешних изолированных шин. Параллельно

первичным виткам подключен нелинейный резистор для защиты их изоляции от приходящих с линии перенапряжений. Переключающие переключатели закрыты съемными изоляционными коробками. Трансформаторы тока снабжены защитной мембраной, которая разрушается при скачкообразном повышении давления газа вследствие дуговых перекрытий внутри аппарата.

ТРАНСФОРМАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ ТИПА СРА И СРВ

Емкостные трансформаторы напряжения устанавливаются между фазой и землей в сетях с заземленной нейтралью и между фазой и нейтралью в сетях с изолированной нейтралью.

В состав трансформатора напряжения входят емкостной делитель напряжения и электромагнитный модуль типа ЕОА и ЕОВ, которые соединены между собой внутренним вводом. Трансформатор состоит из сердечника, собранного из высококачественного стального листа и обмоток, изолированных бумагой, пропитанной маслом. Первичная обмотка разделена на основную и несколько уравнивающих, используемых для настройки коэффициента трансформации. Модули ЕОА и ЕОВ имеют реактор, соединенный последовательно с делителем напряжения и высоковольтной обмоткой. Он служит для компенсации угла сдвига фаз, вызванного делителем напряжения. Трансформатор, компенсирующий реактор и демпфирующий модуль находятся в герметичном алюминиевом баке, заполненном минеральным маслом. В верхней части бака расположена газовая подушка в виде расширительной системы.

ДВУХКОЛОНКОВЫЙ ГОРИЗОНТАЛЬНО-ПОВОРОТНЫЙ РАЗЪЕДИНИТЕЛЬ СЕРИИ SGF

Разъединитель предназначен для изоляции электрических цепей и образует в отключенном состоянии видимый изолирующий промежуток. Он может использоваться и для коммутации малых токов, а также для заземления отключенных участков электрической цепи при

помощи заземлителей. Двухколонковые разъединители серии SGF горизонтально-поворотного типа могут использоваться в высоковольтных подстанциях любого типа, с номинальным напряжением 110 и 220 кВ и номинальным током 1600 и 2500 А.

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ПРОИЗВОДИМОЕ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ АКЦИОНЕРНОГО ОБЩЕСТВА «СИМЕНС»

Фирма «Сименс» была основана в 1847 г. как небольшая мастерская электромеханических стрелочных телеграфов. В течение последующих 150 лет она стала одним из крупнейших и современных концернов мира, заняв ведущие позиции в области электротехники и электроники. Практически любая продукция фирмы – от микрочипа до электрооборудования крупнейших в мире электростанций – разрабатывается, производится и поставляется заказчикам более чем в 140 странах мира.

Одним из ведущих самостоятельных структурных подразделений концерна является департамент передачи и распределения энергии (EV). Спектр производимого им оборудования и услуг включает как поставку отдельных приборов, аппаратов и установок, так и реализацию комплексных проектов электроснабжения «под ключ».

Начиная с 1997 г. на российском рынке работает общество с ограниченной ответственностью «Сименс» – российское предприятие с немецким капиталом. В его структуре также имеется департамент передачи и распределения энергии (EV), в задачу которого входит поставка электрооборудования, производимого на заводах концерна «Сименс».

Всё поставляемое фирмой электрооборудование на классы напряжения от 6 до 750 кВ и необходимые для него вторичные низковольтные приборы и устройства сертифицированы Госстандартом России и уже хорошо зарекомендовали себя в российских эксплуатационных условиях.

ТРАНСФОРМАТОРЫ С ЛИТОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ СЕРИИ GEAFOL

Трансформаторы мощностью 100 ÷ 2500 кВА (см. таблицу) предназначены для внутренней установки и имеют следующие особенности конструкции:

1. Трёхстержневой сердечник набирается из структурно-ориентированных электропластин с низкими потерями, изолированных с обеих сторон.

2. Обмотка низкого напряжения набирается из алюминиевой полосы. Витки жёстко склеиваются вместе посредством широкополосного изолирующего материала.

3. Обмотка высокого напряжения состоит из обработанных в вакууме отдельных обмоток из алюминиевой фольги.

4. Вводы низкого напряжения – обычно сверху (специальная опция – снизу).

5. Вводы высокого напряжения. Высоковольтные отпайки установлены на низковольтной стороне для регулирования в соответствии с характеристиками системы, переключаются в отключённом состоянии трансформатора.

6. Эластичные распорки изолируют сердечник и обмотки от механических колебаний и обеспечивают эффективное подавление шумов.

7. Опорная рама и платформа. Ролики могут поворачиваться вокруг вертикальной оси для транспортировки трансформатора в продольном или поперечном направлении.

Изоляция: смесь эпоксидной смолы и кварцевого порошка. Обеспечивает необслуживаемость, влагонепроницаемость, пожаропрочность, самопогашаемость трансформатора, даёт возможность работы в тропических условиях.

■ Номинальная мощность, кВ А	630	1000
■ Высшая сторона (ВН), кВ	10	10
■ Низшая сторона (НН), кВ	0,4	0,4
■ Группа включения обмоток	Dyn11	Dyn11

■ Степень защит	IP00 (без кожуха)	IP00 (без кожуха)
■ Тип охлаждения	AN (естественное)	AN (естественное)
■ Климатическая категория	C2	C2
■ Класс пожаробезопасности	F1	F1
■ Тип установки	Внутренняя	Внутренняя
■ Высота установки, до м	1000	1000
■ Нагрев по стороне ВН, К	100	100
■ Нагрев по стороне НН, К	100	100
■ Класс изоляции ВН	F	F
■ Класс изоляции НН	F	F
■ Частота тока, Гц	50	50
■ Потери х.х., Вт	1370	2000
■ Выводы ВН %	+2*2,5 -2*2,5	+2*2,5 -2*2,5
■ Габаритные размеры, мм:		
длина × ширина × высота	1520×835×1300	162×990×1570
расстояние между опорными роликами	820	820
Масса, кг	1660	2410

ПРОДУКЦИЯ ФИРМЫ LEGRAND

История фирмы Legrand берет свое начало с небольшой мастерской по производству фарфора в г. Лимож (Франция), открытой в 1860 г. В то время изолирующие части электрических приборов были фарфоровыми, и в 1914 г. фирма параллельно с фарфором начинает производить установочное электрооборудование. Постепенно это направление стало основным, и в 1950 г. фирма полностью отказывается от производства столового фарфора, сосредотачивая все свое внимание на электрооборудовании.

С тех пор Legrand стала мощной многонациональной фирмой. Сегодня в группе Legrand более 50% работников заняты за пределами Франции в 43 странах мира, а общее число работающих превысило 26 000 человек. В 1993 году было открыто представительство в Москве, а на сегодняшний день действует сеть представительств в крупнейших городах – Санкт-Петербурге, Нижнем Новгороде, Екатеринбурге, Ростове-на-Дону, Самаре, Казани, Новосибирске.

Основными направлениями деятельности являются производство и распространение (дистрибьюция) низковольтного электрооборудо-

вания, в том числе аппаратуры защиты электрических цепей и аксессуаров для электромонтажа. Продукция Legrand ориентирована на широкий спектр областей применения и используется как в жилых домах и офисных помещениях, так и на промышленных предприятиях: модульные распределительные устройства с шириной модуля 17,5 мм, главные распределительные устройства, вводные устройства, наборы распределительных шин и суппорта для их установки; электрошкафы и щиты, установочное электрооборудование.

ПРИМЕРЫ КРАТКИХ ТЕХНИЧЕСКИХ ДАННЫХ НА ТРАНСФОРМАТОРЫ СО ЗНАЧЕНИЯМИ НОМИНАЛЬНЫХ МОЩНОСТЕЙ 630 И 1000 КВА

Модульное электрооборудование защиты и управления до 125 А Lexis является новым словом в аппаратостроении. В основе лежит концепция безопасности, которая включает следующие основополагающие принципы: *свобода, безопасность и простота*.

Свобода подключения универсальной гребенкой (соединителем), обеспечивающей электрическую связь аппаратов, подразумевает возможность подключения сверху или снизу, разделения силовых цепей и цепей управления, распределительных блоков, удобство при обслуживании, замене изделия. При подключении гребенкой наличие двойных фиксаторов позволяет извлечь аппарат из распределительного устройства без полного демонтажа всей рейки. Во всех новых модульных устройствах используются универсальные винтовые соединения, наглядная маркировка с использованием держателей этикеток и лазерной гравировки на корпусах, специальные фиксирующие устройства в виде защелки для подсоединения дополнительных устройств к основному элементу аппарата, большой набор дополнительных устройств, расширяющих функциональные возможности аппарата в целом.

Безопасность – невозможность прямого контакта с токоведущими частями (IP2). Достигается за счет защитных шторок на контактах и утопленных винтов на модульных устройствах, а также электроизолирующими крышками и перегородками в других устройствах.

Простота обслуживания, идентификации, интуитивно понятное программирование таймеров и других устройств управления.

Ниже рассматриваются основные виды электрических аппаратов в гамме Lexis, и вводно-распределительные устройства, комплектуемые этими аппаратами:

– *распределительные устройства низкого напряжения*, среди которых следует выделить силовые защитно-коммутационные аппараты (автоматические выключатели DPX на токи от 16 до 1600 А и DX на токи от 1 до 125 А, устройства дифференциальной защиты, выключатели-разъединители Vistor, плавкие предохранители и держатели для них, разрядники, клеммные соединения, аксессуары электрические и монтажные), аппараты управления (неавтоматические выключатели, переключатели, кнопки, реле), измерительные приборы, распределительные щиты различного назначения;

– *электроустановочные изделия* – соединители, удлинители и вилки, розетки и выключатели, распределительные коробки, кабельные каналы, устройства для их прокладки и монтажа, устройства управления освещением, блоки аварийного освещения, электромонтажные изделия промышленного назначения, такие как силовые разъемы и соединители, силовые плавкие вставки, трансформаторы для цепей управления, щиты и шкафы для силового электрооборудования.

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИИ, ВЫПУСКАЕМОМ КОМПАНИЕЙ «ШНЕЙДЕР ЭЛЕКТРИК» (ФРАНЦИЯ)

Международная компания «Шнейдер Электрик» занимает лидирующие позиции в производстве, передаче и распределении электроэнергии; в электроснабжении и производстве электротехнических установок; в автоматизации производственных процессов и промышленном контроле.

На протяжении многих лет в России в ключевых отраслях промышленности (нефтедобыча и нефтепереработка, черная и цветная металлургия, газовая промышленность и др.) успешно используется продукция этой компании:

- 1) комплектные распределительные устройства (КРУ) с элегазовыми выключателями;
- 2) трансформаторные подстанции (ТП);
- 3) системы учета и контроля электропотребления и многие другие.

В настоящее время важными направлениями работы компании «Шнейдер Электрик» в России являются: модернизация оборудования электроэнергетических объектов, технологическая поддержка ведущих отраслей промышленности, автоматизация и диспетчеризация систем электросбережения. Продукция «Шнейдер Электрик» имеет высокую степень безопасности для электроустановок и персонала, высокий электрический и механический ресурс при отключении как номинальных токов, так и токов КЗ, простоту в эксплуатации и обслуживании, легкую адаптацию к любым схемам распределения электроэнергии.

Ниже рассмотрено несколько **высоковольтных аппаратов** на напряжения $6 \div 10$ кВ, выпускаемых компанией «Шнейдер Электрик» и предлагаемых на рынке России:

- 1) элегазовый выключатель;
- 2) элегазовый контактор;
- 3) элегазовый выключатель нагрузки;
- 4) вакуумный выключатель.

Компания «Шнейдер Электрик» является пионером и мировым лидером в производстве элегазовых коммутационных аппаратов и технологий гашения дуги в элегазе.

Элегаз – шестифтористая сера (SF₆) – нетоксичный, химически инертный газ, приблизительно в 5 раз тяжелее воздуха. В электрических аппаратах используется благодаря высокой электрической прочности, хорошей дугогасительной и теплоотводящей способности. Газ не оказывает генетического или канцерогенного влияния на здоровье человека.

Благодаря высокой стабильности молекулы газа он не включен в перечень веществ, подлежащих запрету или ограничению применения согласно Монреальской Конвенции.

ПЕРЕЧЕНЬ ПРОДУКЦИИ КОНЦЕРНА ALSTOM

ALSTOM является крупнейшим международным электротехническим концерном, возникшим в результате слияния крупнейших европейских компаний GEC ALSTHOM, CEGELEC, AEG, ABB ALSTOM Power и др., в результате чего концерн усилил свои позиции на арене мирового рынка электроэнергетики и транспорта. Сегодня это свыше 140 тыс. сотрудников, работающих на сотнях предприятий по всему миру.

ALSTOM является мировым лидером в энергетике, железнодорожном транспорте, судостроении.

Работа компании организована по шести сегментам, каждый из которых обеспечивает всю гамму производственной деятельности, включая проектирование, поставки, пуск и техническую поддержку:

- 1) производство энергии;
- 2) передача и распределение электроэнергии;
- 3) транспорт;
- 4) контрактинг;
- 5) судостроение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

ОСНОВНОЙ

1. Алиев, И.И. Электрические аппараты: справочник / И.И. Алиев, М.Б. Абрамов. – М.: Радио софт, 2004.
2. Чунихин, А.А. Электрические аппараты / А.А. Чунихин. – М.: Энергоатомиздат, CD-ROM, 2005.
3. Родштейн, Л.А. Электрические аппараты / Л.А. Родштейн. – М.: Энергоатомиздат, CD-ROM, 2005.
4. Розанов, Ю.К. Электрические и электронные аппараты / Ю.К. Розанов и др. – М.: Информэлектро, 2001.
5. Буткевич, Г.В. Задачник по электрическим аппаратам / Г.В. Буткевич и др. –

М.: Высш. школа, 1977.

6. Буль, Б.К. и др. Основы теории электрических аппаратов: учеб. пособие для электротехнич. специальностей вузов / Под ред. Г.В. Буткевича. – М.: Высш. школа, 1970. – 600 с.
7. Годжелло, А.Г. Электрические и электронные аппараты. Т.1 / А.Г. Годжелло. – М.: Acadmia, 2010.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ

7. Гольдберг, О.Д. Переходные процессы в электрических машинах и аппаратах, вопросы их проектирования / О.Д. Гольдберг и др. – М.: Высш. школа, 2001.
8. Сахаров, П.В. Проектирование электрических аппаратов / П.В. Сахаров. – М.: Энергия, 1971.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Лекция №11. Предохранители, параметры, требования, характеристики. Выбор предохранителей	4
Лекция №12. Контактторы постоянного и переменного тока, параметры, требования. Магнитные пускатели	25
Современные контактторы, выпускаемые отечественной промышленностью ...	53
Современные магнитные пускатели, производимые отечественной промышленностью	54
Лекция №13. Автоматические воздушные выключатели (автоматы), виды, параметры. Электромагнитные реле (тока и напряжения, для энергосистем и электроприводов)	57

Лекция №14. Аппараты тепловой, температурной и токовой защиты. Тепловое реле. Устройство, характеристики. Реле времени.....	72
Лекция №15. Полупроводниковые реле. устройство, параметры.....	94
Лекция №16. Бесконтактные контакторы и пускатели на базе тиристорных элементов.....	105
Лекция №17. Электромагнитные муфты: фрикционные, индукционные. Принцип действия, конструкция.....	112
Лекция №18. Комплектные распределительные устройства. Виды, состав, конструкция. Ограничительные аппараты. Реакторы, разрядники.	
Ограничители напряжения	123
Заключение	133
Приложения.....	136
Приложение 1: Датчики.....	136
Приложение 2: Автоматические воздушные выключатели	148
Приложение 3: Поляризованные и герконовые реле	161
Приложение 4: Аппараты защиты. Аппараты температурной защиты	176
Приложение 5: Статические и гибридные коммутационные аппараты переменного тока	181
Приложение 6: Комплектные распределительные устройства	191
Приложение 7: Измерительные трансформаторы.....	202
Приложение 8: Перечень продукции зарубежных электротехнических фирм, представленных в России	221
Список литературы	232

*ЧЕБОТКОВ Эдуард Галактионович,
ЗУБКОВ Юрий Валентинович*

**Электрические и электронные аппараты
(Ч. II. Аппараты управления и распределительных устройств)**

Редактор *Ю.А. Петропольская*
Верстка *И.О. Миняева*
Выпускающий редактор *Е.В. Абрамова*

Подписано в печать 24.11.11.
Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная
Усл. п. л. 13,48. Уч.-изд. л. 13,42.
Тираж 70 экз. Рег. №163/11

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Самарский государственный технический университет»
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244. Главный корпус

Отпечатано в типографии
Самарского государственного технического университета
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244. Корпус №8