

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

А.В. Углов, М.Б. Углова

СТАТИЧЕСКИЕ РЕЛЕ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИЗАЦИИ

Учебное пособие

Севастополь
СевГУ
2021

УДК 621. 316.925.1:004.382: 621.311(076)
ББК 3127-05я73
У254

Рецензенты

А.А. Скидан – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой
«Системы контроля и управления атомных станций»
Н.В. Омельченко – старший преподаватель кафедры
«Электроэнергетические системы атомных станций»

Углов А.В.

У254 Статические реле релейной защиты и автоматизации: учебное пособие / А.В. Углов, М.Б. Углова ; Министерство науки и высшего образования РФ, Севастопольский государственный университет. – Севастополь: СевГУ, 2021. – 72 с. – Текст : электронный.

Учебное пособие «Статические реле релейной защиты и автоматизации» предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» профилей «Электрические станции», «Электроснабжение» и «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» при изучении дисциплин «Элементы релейной защиты и автоматики» и «Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем».

Рассмотрены принцип действия, характеристики и рекомендации по техническому обслуживанию основных типов статических реле отечественного производства, применяемых в устройствах релейной защиты и автоматизации электроэнергетических систем в настоящее время.

УДК 621 316.925.1:004.382.621.311(076)
ББК 3127-05я73

Учебное пособие рассмотрено и утверждено на заседании кафедры «Электроэнергетические системы атомных станций», протокол № 2 от 29 августа 2020 г.

Учебное пособие рассмотрено и утверждено на заседании учёного совета Института ядерной энергии и промышленности, протокол № 3 от 30 октября 2020 г.

Издаётся в авторской редакции

Изд. № 299/2020. Объем 4,5 п.л.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

© ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет», 2021

1. ИНТЕГРАЛЬНЫЕ МИКРОСХЕМЫ - ТЕХНИЧЕСКАЯ ОСНОВА ДЛЯ СОЗДАНИЯ АППАРАТУРЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

Релейная защита любой электроустановки содержит три основные части:

- измерительную;
- логическую;
- выходную.

В измерительную часть входят измерительные и пусковые органы защиты, которые воздействуют на логическую часть при отклонении электрических параметров (тока, напряжения, мощности, сопротивления) от значений, предварительно заданных для защищаемого объекта.

Логическая часть состоит из отдельных переключающих элементов и органов выдержки времени, которые при определённом действии (срабатывании) измерительных и пусковых органов в соответствии с заложенной в логическую часть программой запускают выходную часть.

Выходная часть связывает релейную защиту с цепями управления коммутационными аппаратами (выключателями) и устройствами передачи команд по каналам связи и телемеханики. Выходные органы защиты имеют на выходе переключающие элементы достаточной мощности, обеспечивающие работу цепей управления.

До последнего времени все органы релейной защиты выполнялись только с помощью электромеханических реле. Необходимые выдержки времени создавались в логической части защит такого исполнения посредством часовых механизмов, управляемых электромагнитными устройствами. Наряду с часовыми механизмами для той же цели применяют электромагнитные реле с магнитной задержкой отпадания якоря.

Для получения реле с зависимой характеристикой выдержки времени используют механические системы с приводом, действующим на индукционном принципе. Скорость движения таких механизмов зависит от значения проходящего по ним тока.

Во всех органах защиты, за исключением измерительных, чаще всего применяют электромагнитные реле клапанного типа или с втягивающимся якорем. В последнее время стали применять реле с магнитоуправляемыми контактами, обеспечивающие высокое быстродействие логических операций в некоторых нуждающихся в этом защитах,

Измерительные органы должны действовать с большой точностью, потребляя при этом незначительную мощность, из-за этого они не могут быть выполнены с помощью простых электромеханических устройств. Поэтому для них были разработаны специальные высокоточные электромагнитные механизмы с лёгким поворотным якорем. Применяют также чувствительные индукционные механизмы с вращающимся барабанчиком. Выпускается аппаратура, содержащая различные поляризованные и магнитоэлектрические реле, для срабатывания которых требуется очень небольшая мощность.

Таким образом, в релейной защите используется весьма большое количество самых разных электромеханических устройств. Это привело к значительному усложнению производства релейной аппаратуры и её обслуживания.

Современная энергетика развивается ускоренными темпами. Растёт протяжённость линий электропередачи, уровень рабочего напряжения уже превышает миллион вольт. Строятся крупные электростанции с генераторами мощностью в миллион и более киловатт. На опорных подстанциях устанавливают трансформаторы с пропускной мощностью в несколько миллионов киловольт-ампер.

Всё это оборудование должно быть оснащено релейной защитой с самыми различными характеристиками. Во всё увеличивающихся объёмах должен быть обеспечен выпуск аппаратуры для релейной защиты. Нередко новые требования к релейной защите не могут быть удовлетворены из-за несовершенства аппаратуры, содержащей электромеханические устройства. Стало очевидным, что использование электромеханических устройств в релейной аппаратуре задерживает дальнейшее развитие техники релейной защиты, как в качественном, так и в количественном отношении. Возможный выход из создавшегося положения открылся благодаря успехам современной полупроводниковой схемотехники, а в первую очередь – созданию интегральных микросхем.

Интегральные микросхемы относятся к категории электронных устройств средней степени интеграции, реализующих одну или несколько однородных функций. В последние годы электронная промышленность начала выпускать многоцелевые, так называемые большие интегральные схемы (БИС) универсального назначения. Создаваемые на их основе микропроцессорные наборы и микроЭВМ могут быть использованы для комплексного решения задач релейной защиты и управления энергообъектами. В настоящее время отечественная промышленность выпускает релейную аппаратуру только на серийных микросхемах средней степени интеграции.

Имеется два основных вида интегральных микросхем. Один вид – это так называемые логические микросхемы. Их роль заключается в том, что они обеспечивают подобно промежуточным реле выдачу управляющих команд в логической части защиты.

Логические микросхемы действуют при поступлении на их входы определённых сочетаний из двух управляющих сигналов – один из них называется нулевым и обозначается цифрой «0», а другой – единичным и обозначается цифрой «1». Эти сигналы поступают в виде напряжений постоянного тока. Нулевой сигнал – это напряжение «низкого», или «нулевого», уровня, а единичный – это напряжение «высокого», или «единичного», уровня. На выходе микросхемы всегда держится один из таких сигналов. В исходном состоянии в зависимости от характера выполняемой операции на выходе микросхем устанавливается либо нулевой, либо единичный сигнал. При действии микросхемы происходит замена имеющегося выходного сигнала сигналом другого

уровня. Такое действие аналогично замыканию или размыканию контакта промежуточного реле при образовании цепочки на его срабатывание.

Другой вид интегральных микросхем, называемых аналоговыми или линейными, представляют собой усилительное устройство высокой чувствительности. Оно имеет обычно два отдельных входных и общий выходной зажимы. Кроме них имеются зажимы для подачи напряжений питания, а в некоторых вариантах исполнения – также дополнительные зажимы для компенсации внутренних искажающих сигналов. В аналоговых микросхемах производится усиление напряжения, представляющего собой разность напряжений, подаваемых на входные зажимы. Аналоговые микросхемы имеют очень большой коэффициент усиления. Выходное сопротивление таких микросхем весьма мало, и в применяемых схемах его обычно не учитывают. Практически можно считать, что сигнал на выходе аналогового усилителя отсутствует только тогда, когда оба входных тока или их разность равны нулю. При появлении входного тока благодаря тому, что коэффициент усиления операционного усилителя стремится к бесконечности, напряжение на выходе сразу же достигает максимального значения, близкого к напряжению питания. Оно оценивается как напряжение насыщения. Знак этого напряжения определяется знаком разности входных токов.

В связи с тем, что аналоговые микросхемы были впервые применены для выполнения математических действий в ЭВМ, их стали называть операционными усилителями.

В процессе внедрения операционных усилителей выяснилось, что они могут успешно применяться для создания новых измерительных приборов и различной аппаратуры промышленной автоматики. В технике применяется много разных типов операционных усилителей, различающихся по конструкции и назначению. Благодаря своим свойствам операционные усилители оказались элементами, подходящими для осуществления любых измерительных органов релейной защиты.

Специальные помехоустойчивые логические и аналоговые микросхемы, созданные для целей промышленной автоматики, успешно используются в настоящее время для производства самой различной релейной аппаратуры. Эта аппаратура имеет качественно лучшие характеристики и проще в обслуживании, чем многие реле защиты, выполненные на базе электромеханических устройств.

Серийная аппаратура релейной защиты, выполненная на основе интегральных микросхем, изготавливается Чебоксарским электроаппаратным заводом в двух видах:

- один вид – это аппараты, представляющие собой отдельные органы измерительной или логической частей защиты. По аналогии с электромеханическими реле за такими органами сохранено название реле защиты. В интегральном исполнении выпускаются различные реле: тока, напряжения, направления мощности, сопротивления, а также времени. В электроустановках из таких реле монтируют измерительную часть устройств релейной защиты. Наряду с этим логическая

часть подобных устройств может выполняться как на электромагнитных реле, так и на базе логических микросхем в сочетании с контактными выходными элементами.

- другим видом изделий является комплектная аппаратура, представляющая собой набор устройств релейной защиты целого присоединения, собранных в кассеты, которые монтируются на панелях или в шкафах заводского производства. На энергетические объекты такие панели и шкафы поставляются в полностью готовом состоянии и нуждаются только в привязке к вторичным цепям присоединений.

2. ОСНОВНЫЕ УЗЛЫ РЕЛЕ ЗАЩИТЫ, ВЫПОЛНЕННЫХ НА ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЯХ

У реле защиты, содержащих операционные усилители, имеется ряд узлов, которыми не располагают электромеханические реле.

Обобщённая структурная схема реле защиты, в котором применены операционные усилители, показана на рис. 1. У таких реле имеется пять основных узлов:

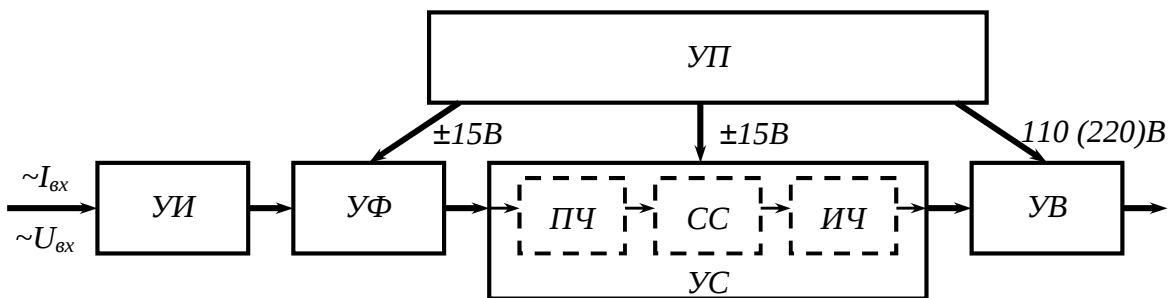


Рис. 1. Структурная схема статического реле защиты:

УП - узел питания; УИ - узел измерения; УФ - узел формирования;
 УС - узел сравнения (ПЧ — преобразующая часть, СС - схема сравнения,
 ИЧ — исполнительная часть); УВ — узел выхода

- узел измерения, содержащий измерительные преобразователи или датчики тока и напряжения, подаваемых на реле от измерительных трансформаторов тока и напряжения защищаемого объекта;
- узел формирования, в котором получают из поступающих входных сигналов специально сформированные напряжения переменного или выпрямленного тока, требуемые для реализации характеристики реле после их сопоставления в узле сравнения;
- узел сравнения, служащий для дальнейшего преобразования сравниваемых напряжений в форму, удобную для сравнения, собственно сравнения и получения на выходе узла управляющего сигнала, когда результат сравнения свидетельствует о соответствии поданных на реле токов и напряжений условиям его срабатывания;
- узел выхода обеспечивает действие содержащегося в нем электромеханического реле при поступлении управляющего сигнала из узла сравнения;
- узел питания (УП) предназначен для получения от источника оперативного тока защищаемого объекта стабилизированных напряжений постоянного тока, требующихся для работы интегральных микросхем и исполнительного выходного реле. Для каждого типа реле указывается, к какому источнику оперативного тока оно должно подключаться.

Содержащиеся в узле измерения измерительные преобразователи (датчики) представляют собой промежуточные трансформаторы тока или трансформаторы, предназначенные для отделения полупроводниковой части реле от

вторичных цепей защищаемого объекта. Одновременно эти преобразователи служат для трансформации токов и напряжений. Уровень трансформированных сигналов выбирается по условиям управления операционными усилителями.

Число датчиков определяется схемой реле. В токовых реле применяют один или несколько датчиков тока, а в реле напряжения - соответствующее число датчиков напряжения.

В реле сопротивления и в реле направления мощности устанавливают как датчики тока, так и датчики напряжения.

В узле формирования производится обработка сигналов, поступающих из датчиков тока и напряжения. Объём такой обработки зависит от типа реле и может сильно различаться. В одних - это только выпрямление, в других - усиление и сдвиг по фазе, в третьих - дифференцирование поступающих сигналов, а в четвёртых, наиболее сложных - это создание нескольких сравниваемых напряжений, полученных путём суммирования и сдвига по фазе трансформированных сигналов, пропорциональных поданным на вход реле токам и напряжениям. Кроме того, в узле формирования производится при необходимости подавление или выделение отдельных гармоник в сформированных сигналах. Для этой цели используют преимущественно различные фильтры низших и высших частот.

Узел сравнения может быть представлен состоящим из трёх частей. В преобразующей части узла сравнения осуществляется превращение поступающих из узла формирования синусоидальных или выпрямленных сигналов в импульсы определённой формы, наиболее удобной для выполнения операции сравнения. Чаще всего используются импульсы прямоугольной формы заданной длительности. Предварительно на этой стадии при необходимости проверяется, что поступающие сигналы превышают заданные схемой узла минимальные уровни. В ряде типов реле в этой части узла сравнения производится сопоставление полученных импульсов между собой или с заранее подготовленным сигналом установленного уровня или продолжительности. В качестве сигнала заданного уровня чаще всего используется напряжение постоянного тока стабильного значения, названное опорным U_{on} .

Другой составной частью узла сравнения является схема сравнения, в которой сравниваемые импульсы сопоставляются между собой не только по значению, но и по длительности их возникновения. Эти операции могут производиться раздельно в разных звеньях схемы сравнения. Применяется несколько вариантов схем сравнения сигналов по продолжительности, в том числе такие, где сравниваемый сигнал предварительно проходит операцию интегрирования. Различие в вариантах схем сравнения сигналов по длительности обуславливается задачей получения требуемой характеристики реле. Как будет показано ниже, задача сравнения сигналов по значению может осуществляться в преобразующей части узла.

Схемы сравнения, в которых происходит сравнение входных сигналов с опорным напряжением, применяются в основном в реле тока и в реле напряжения общего назначения.

В конце узла сравнения имеется исполнительная часть, в которой создаётся командный сигнал, если результат сравнения показывает, что параметры токов и напряжений, поступающих в реле, соответствуют условиям его срабатывания. Обычно она представляет собой усилитель с положительной обратной связью, обеспечивающей «*релейный*» эффект при действии реле.

3. ТИПЫ СЕРИЙНЫХ РЕЛЕ ЗАЩИТЫ, ВЫПОЛНЕННЫХ НА ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЯХ

Основным предприятием в нашей стране, которое производит аппаратуру релейной защиты, является Чебоксарский электроаппаратный завод. В последние годы в номенклатуре этого завода появилось несколько типов реле защиты, основные узлы которых выполнены на операционных усилителях или логических интегральных микросхемах. Такие реле получили наименование статических. В число реле, созданных на базе операционных усилителей, входит большая серия реле тока типа РСТ и серия реле напряжения типа РСН. Несколько ранее были внедрены в производство реле тока обратной последовательности серии РТФ и статические реле направления мощности серии РМ. Одним из наиболее сложных из освоенных заводом статических реле является комплектное реле сопротивления типа БРЭ-2801, содержащее три однофазных дистанционных органа и предназначенное для использования в качестве измерительного органа дистанционных защит линий и трансформаторов 110 - 500 кВ.

Большинство реле, рассматриваемых ниже, выпускаются заводом в пластмассовых корпусах единой серии типа «Сура». Корпус типа «Сура» состоит из цоколя, пригодного как для переднего, так и для заднего присоединений соединительных проводов, и объёмного кожуха из прозрачного материала. Используются два типоразмера корпусов шириной 66 и 132 мм и одной высоты 152 мм. На цоколе крепится металлическая скоба, на которой устанавливаются датчики тока и напряжения, выходные реле и печатная плата со смонтированными на ней микросхемами и радиодеталями. Ручки переключателей уставок реле выводятся на декоративную лицевую табличку, прикрывающую реле спереди. Тепловыделяющие резисторы делителей напряжения узла питания монтируются сзади на наружной стороне цоколя. Сложный блок реле сопротивления типа БРЭ-2801 имеет другое исполнение, конструкция которого будет рассмотрена отдельно.

В схемах статических реле защиты предусмотрены специальные меры, исключающие опасность повреждения содержащихся в них микросхем от перенапряжений, возникающих в сети постоянного тока при размыкании цепи обмотки электромагнитов управления и реле. Опасные перенапряжения появляются также при коммутационных операциях в сети высокого напряжения. Они могут проникать в схему реле по цепям измерительных трансформаторов тока и напряжения.

Причиной неправильной работы реле могут служить наведённые напряжения помех, получающиеся из-за наличия в окружающей среде переменных электрических и магнитных полей, создаваемых посторонними источниками (промышленные высокочастотные установки, устройства радиосвязи и др.).

Для сохранения микросхем и предотвращения неправильной работы реле на входе питания оперативным током ставятся шунтирующие конденсаторы, гасящие высокочастотные помехи, и нелинейные сопротивления - варисторы, ограничивающие верхние уровни проходящих волн перенапряжений.

Защитные конденсаторы устанавливаются также параллельно стабилизаторам питания ± 15 В и непосредственно на выходах операционных усилителей. Между первичными и вторичными обмотками датчиков тока и напряжения закладываются специальные экранирующие обмотки, соединённые с нулевой шинкой.

Монтаж печатных плат осуществлен с учётом требований как в части защиты от наведённых напряжений, появляющихся при близком прохождении смежных цепей, так и в части выравнивания потенциалов узловых точек, связанных с нулевой шинкой. Конструкция реле обеспечивает высокий уровень изоляции полупроводниковой части реле по отношению к земле и ко вторичным цепям трансформаторов тока и напряжения.

Все типы реле, рассматриваемые в данном разделе, изображаются с помощью структурных схем, в которых каждое звено (функциональный элемент) представлено своим условным изображением.

Условное изображение отдельного звена, выполненного на операционном усилителе, представляет собой прямоугольник, внутри которого помещен знак, отображающий свойства этого звена. Ниже даётся перечень знаков, присвоенных отдельным звеньям (функциональным элементам), из которых образуются схемы серийных реле защиты:

	Масштабный усилитель		Триггер Шмитта
	Компаратор		Сумматор
	Двухпороговый компаратор		Фазоповоротная схема
	Интегратор		Фильтр нижних частот
	Полосовой фильтр		Усилитель – ограничитель

3.1. Статические реле максимального тока серий РСТ-11- РСТ-14

Статические реле максимального тока серий РСТ-11- РСТ-14 предназначены для использования в качестве измерительных органов токовых защит как мгновенного действия, так и работающих с выдержкой времени любых присоединений электроустановок. Они пригодны для всех случаев, когда не требуются специальные меры по отстройке защиты от апериодических составляющих и высших гармоник, которые могут содержаться в первичных токах защищаемого объекта.

Схема реле выполнена на времяимпульсном принципе, гарантирующем хорошую помехоустойчивость реле. Принятое исполнение обеспечивает также чёткую работу реле при больших кратностях тока повреждения по отношению к номинальному току трансформаторов тока, когда их погрешность

может достигать 80 - 90 %. Реле обладают повышенной сейсмостойкостью и рассчитаны для применения на объектах атомной энергетики.

Для питания реле этих серий оперативным током должны использоваться надёжные источники постоянного или переменного тока напряжением 220 В. В заводских обозначениях реле отражены условия их применения. Так, реле PCT-11 и PCT-12 рассчитаны на питание переменным оперативным током 220 В, причём первое из них предназначено для сетей с рабочей частотой 50 Гц, а второе – с частотой 60 Гц. Реле PCT-13 и PCT-14 рассчитаны на питание постоянным током 220 В, а их рабочие частоты подобно предыдущему равны: 50 Гц для реле PCT-13, 60 Гц для реле PCT-14.

В условном обозначении реле, приводимом в заводской информации, первым указывается номер серии реле. Рядом с ним располагается двухзначное число, обозначающее максимальную уставку по току реле данного типа-исполнения. Имеется семь вариантов типовых исполнений, записываемых следующими числами: 04 на ток 0,2 А, 09 - 0,6 А, 14 - 2 А, 19 - 6 А, 24 - 20 А, 29 - 60 А и 32 - 120 А. Третий знак условного обозначения - цифры 1 или 5. Цифра 1 показывает, что реле собрано на заводе для переднего подключения соединительных проводов, а цифра 5 – соответственно для заднего подключения проводов. В конце условного обозначения приводится вид климатического исполнения реле: УХЛ4 для умеренного климата и 04 – для тропических условий. Нормальная работа реле в зоне умеренного климата гарантируется в диапазоне температур окружающей среды –20...+55 °С и относительной влажности воздуха не более 80 % при 25 °С.

Например, условное обозначение PCT 13-19-1-УХЛ4 относится к реле максимального тока, предназначенному для использования в сетях с промышленной частотой 50 Гц на объектах с постоянным оперативным током 220 В, наибольшая уставка реле по току - 6 А, подсоединение внешних проводов - переднее, а само реле должно работать в условиях умеренного климата. На рис. 2 в качестве примера приведена структурная схема реле PCT-13, а на рис. 3 - его принципиальная электрическая схема. Измерительный узел реле представляет собой промежуточный трансформатор тока ТА, а узлом формирования служит выпрямительный мост V1. Преобразующей частью узла сравнения является однопороговый компаратор А1, который используется одновременно как первая ступень сравнения, определяющая ток срабатывания реле, - поступающий сигнал сравнивается с заданным опорным напряжением. Для установки опорного сигнала, с помощью которого задается уставка реле, предусмотрены переключатели уставок SB1 - SB5. Ими шунтируется часть резисторов, образующих делитель напряжения, питающийся от источника напряжения ±15 В. При размыкании переключателей изменяется доля напряжения, подаваемая на вход компаратора.

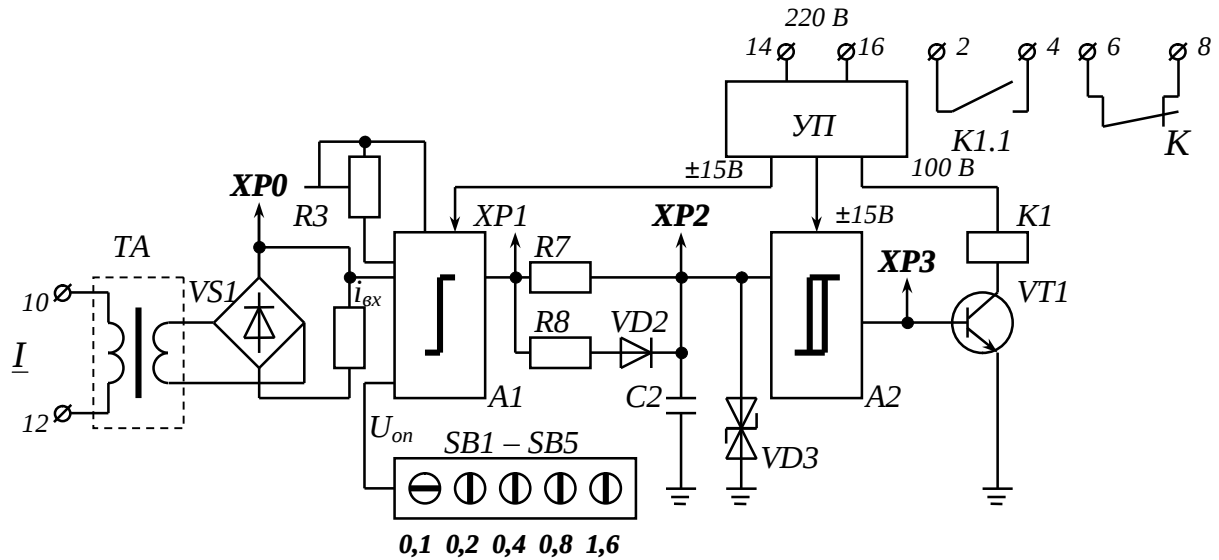


Рис. 2. Структурная схема реле максимального тока серии РСТ-13

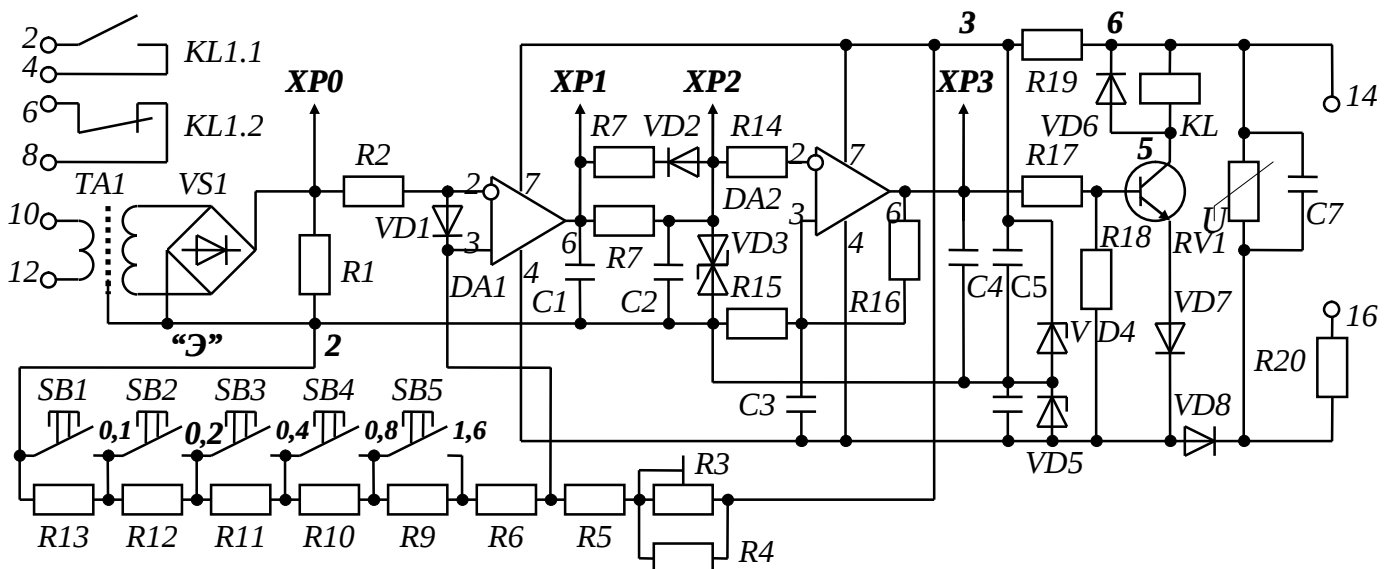


Рис. 3. Принципиальная электрическая схема реле типа РСТ-13

Выходной сигнал однопорогового компаратора поступает на следующую ступень сравнения - времязравнивающую цепочку, содержащую резисторы $R7$, $R8$, диод $VD2$, конденсатор $C2$ и стабилитрон $VD3$. Пороговым элементом этой цепочки и одновременно исполнительной частью узла сравнения служит триггер Шмитта $A2$.

Временные диаграммы работы реле серии РСТ-13 по контрольным точкам представлены на рис. 4.

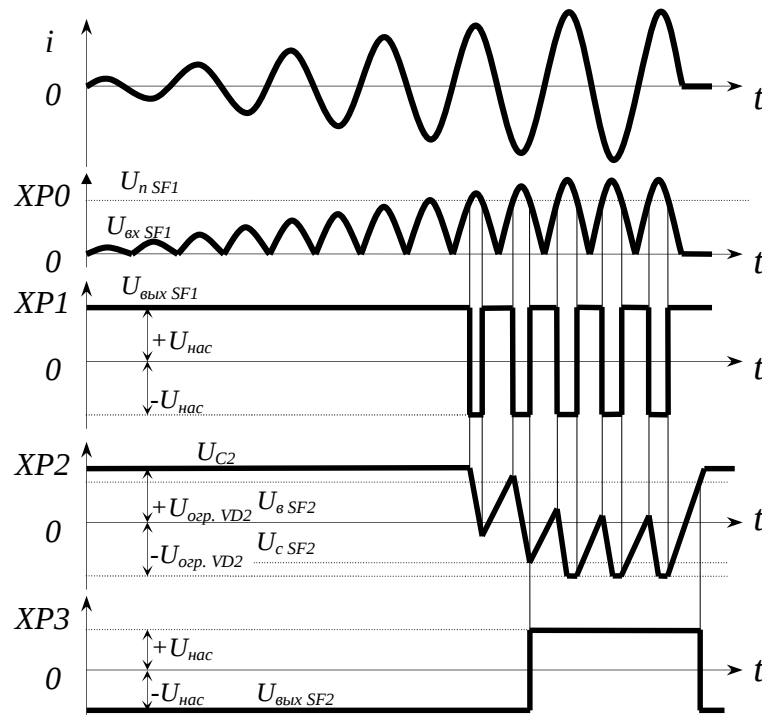


Рис. 4. Временные диаграммы реле РСТ13.

Узел выхода реле состоит из транзистора $VT1$ и выходного электромагнитного реле типа РП-13 на рабочее напряжение 110 В.

Узел питания представляет собой делитель напряжения на резисторах, в составе которого имеются стабилитроны, поддерживающие уровни напряжения ± 15 В. В компараторе $A1$ и триггере Шмитта $A2$ (рис. 2, 3) используются операционные усилители типа К140УД7. Кружочки с номерами на рис. 3 соответствуют внешним выводам реле. Для измерения напряжений в схеме реле при различных режимах имеются контрольные точки $XP1 - XP3$, снабжённые штырьками для подключения измерительных приборов.

По своим техническим данным реле серий РСТ-11 – РСТ-14 близки к хорошо зарекомендовавшим себя в эксплуатации электромагнитным реле максимального тока типа РТ-40. Так, коэффициент возврата реле типа РСТ превышает 0,9, а время действия при $1,2 I_{c.p.}$ составляет не более 60 мс, при $3,0 I_{c.p.}$ - не более 35 мс. Наибольшее время возврата реле доходит до 70 мс. Предельный ток, размыкаемый контактами реле, не должен превышать 1 А на постоянном токе и 2 А на переменном оперативном токе.

Надёжная работа реле типа РСТ при значительных искажениях формы кривой вторичного тока достигается за счёт того, что для действия реле достаточно, чтобы ширина входного импульса тока превысила $1/12$ периода. Мгновенное значение тока при этом находится на уровне 97 % максимального. Из других параметров реле весьма существенным является мощность, потребляемая реле из сети оперативного тока. Она равна 7 Вт в нормальном режиме и 8,5 Вт в режиме срабатывания.

Чтобы выставить заданный ток срабатывания реле, требуется с помощью отвёртки поставить соответствующие переключатели *SB1 - SB5* в **выступающее** положение. Ток уставки реле равен:

$$I_{уст} = I_{min}(1 + \sum \oplus), \text{ А,}$$

где I_{min} – минимальный ток уставки, равный 1/4 значения тока, соответствующего второму числу в условном обозначении реле; $\sum \oplus$ -сумма чисел, нанесённых под переключателями, поставленными в **выступающее** положение. При этом риски на торцах головок переключателей будут направлены в сторону выбранных чисел.

3.2. Реле максимального и минимального напряжений серии РСН-14 - РСН-17

Реле максимального и минимального напряжений входят в серии РСН-14 – РСН-17, каждая из которых имеет несколько типовых исполнений. Реле РСН-14 и РСН-15 являются реле максимального напряжения, которые реагируют на повышение напряжения в сети защищаемого объекта, а реле РСН-16 и РСН-17 представляют собой реле минимального напряжения, срабатывающие при понижении напряжения в сети.

По своему устройству реле серий РСН-14 – РСН-17 подобны реле типа РСТ. Различаются они лишь тем, что вместо датчика тока в них установлен датчик напряжения. Датчик напряжения содержит промежуточный трансформатор и два добавочных резистора, включённых последовательно в цепь его первичной обмотки. Датчик имеет три вывода, которые дают возможность использовать реле в двух диапазонах рабочих напряжений. Переход в другой диапазон обеспечивается за счёт исключения одного из добавочных резисторов. В остальной части схема реле ничем не отличается от схемы реле типа РСТ, показанной на рис. 3. Поэтому в отдельном описании принципа работы реле типа РСН-14 - РСН-17 не нуждаются.

У реле минимального напряжения изменено подключение входных выводов операционного усилителя, входящего в схему компаратора А1. У таких реле опорное напряжение подаётся на неинвертирующий вход операционного усилителя, а напряжение от датчика напряжения поступает на инвертирующий вход. Поэтому при подаче на реле нормального напряжения выходное реле остаётся в отпавшем положении. Оно срабатывает, когда поданное напряжение падает ниже напряжения уставки, определяемой значением опорного напряжения. Реле РСН-14 – РСН-17 имеют другую нумерацию внешних зажимов.

Входные зажимы датчика напряжения имеют номера 12, 14 и 16. Напряжение оперативного тока подаётся на зажимы 20 («плюс») и 21. Замыкающий контакт реле выведен на зажимы 2 и 4, а размыкающий – на зажимы 6 и 8.

Условные обозначения реле РСН-14 – РСН-17 построены так же, как и у реле типа РСТ. Первым стоит номер серии реле. Серии РСН-14 и РСН-16 рассчитаны на питание оперативным постоянным током 220 В, а реле серий

РСН-15 и РСН-17 должны питаться от источника переменного тока 220 В. За номером серии следует двузначное число, которое отражает рабочую частоту реле, диапазоны уставок по напряжению и номинальное напряжение реле. Вместе с номером серии это число служит обозначением типа реле. В остальном условные обозначения одинаковы.

Ниже даётся расшифровка чисел, стоящих за номером серии: первой приводится рабочая частота, за ней - диапазон уставок и в конце - номинальное напряжение; вторые значения диапазона уставок и номинального напряжения указаны в скобках:

23 - 50 Гц, 12 - 30 (24 - 60) В, 30 (60) В;
 50 - 60 Гц, 12 - 30 (24 - 60) В, 30 (60) В;
 25 - 50 Гц, 15 - 37,5 (30 - 75) В, 100 (200) В;
 52 - 60 Гц, 15 - 37,5 (30 - 75) В, 100 (200) В;
 28 - 50 Гц, 40 - 100 (80 - 200) В, 100 (200) В;
 55 - 60 Гц, 40 - 100 (80 - 200) В, 100 (200) В;
 30 - 50 Гц, 50 - 125 (100 - 250) В, 120 (240) В;
 57 - 60 Гц, 50 - 125 (100 - 250) В, 120 (240) В;
 33 - 50 Гц, 80 - 200 (160 - 400) В, 200 (400) В;
 39 - 60 Гц, 80 - 200 (160 - 400) В, 200 (400) В.

Реле типоразмеров 25, 52, 30 и 57 выпускаются только как реле максимального напряжения, т.е. в сериях РСН-14 и РСН-15. Остальные типоразмеры могут выполняться как реле максимального, так и минимального напряжения.

Технические данные реле серий РСН-14 – РСН-17 практически совпадают с соответствующими параметрами реле типа РСТ. Следует выделить только такой параметр, как коэффициент возврата. У реле максимального напряжения он составляет не менее 0,9, а у реле минимального напряжения не выше 1,1. У реле максимального напряжения с высоким коэффициентом возврата типоразмеров 30 и 57, у которых он должен быть не менее 0,95, предусмотрена регулировка коэффициента возврата с помощью переменного резистора, установленного в цепи выходного триггера Шмитта.

Заданная уставка по напряжению срабатывания в выбранном диапазоне устанавливается с помощью кнопочных переключателей, выведенных на лицевую плату реле. Уставка реле выражается в виде:

$$U_{уст} = U_{min}(1 + \sum \oplus), \text{ В,}$$

где $\sum \oplus$ - сумма чисел на шкале уставок, переключатели у которых поставлены в выдвинутое положение, и риска на торце головки расположена горизонтально. Числа на шкале уставок 0,8; 0,4; 0,2 и 0,1 показывают, что заданная уставка может быть установлена с точностью до $0,1 U_{min}$, где U_{min} - минимальная уставка выбранного диапазона.

Мощность, потребляемая реле из цепей напряжения в нормальном режиме, находится в пределах от 0,1 до 0,8 В·А. Она пропорциональна номинальному напряжению реле.

3.3. Реле максимального напряжения обратной последовательности серии РСН-13

Реле максимального напряжения обратной последовательности входят в состав серии РСН-13. Они используются в качестве пусковых органов защит, реагирующих на несимметричные короткие замыкания. Измерительная часть реле рассчитана на подключение к источнику трёхфазного напряжения переменного тока с линейным напряжением, равным 100 В. Рабочая частота составляет 50 или 60 Гц. Для питания реле оперативным током требуется источник постоянного тока напряжением 220 В.

Напряжение срабатывания обратной последовательности может устанавливаться в пределах от 6 до 24,6 В (линейных) ступенями через 0,6 В.

Структура условного обозначения реле РСН-13 подобна структуре обозначений для реле РСТ-11 – РСТ-14. Двухзначное число, стоящее рядом с обозначениями серии реле, соответствует рабочей частоте. Число 28 относится к частоте 50 Гц, число 55 - к частоте 60 Гц.

На входе реле установлен обычный пассивный RC-фильтр обратной последовательности. К выходу фильтра подключен трансформатор, ко вторичной обмотке которого присоединён пассивный Т-образный фильтр верхних частот, предназначенный для снижения уровня высших гармоник, которые могут содержаться в поступающих на реле напряжениях. Перечисленные звенья образуют воспринимающую часть и узел формирования реле этой серии.

Реле РСН-13 имеет коэффициент возврата не менее 0,9. Время срабатывания реле при напряжении, равном удвоенному напряжению срабатывания, не превышает 40 мс. Потребление реле по цепям переменного напряжения в нормальном режиме не более 3,0 В·А на фазу, по цепям оперативного тока не более 6,0 Вт.

Установка заданной уставки реле производится с помощью кнопочных переключателей, головки которых выведены на лицевую панель. Напряжение срабатывания реле равно сумме чисел у головок переключателей, находящихся в **выступающем** положении, когда риски у головок указывают на выбранные числа:

$$U_{ycm} = U_{min}(1 + \sum \oplus), \text{ В,}$$

где U_{min} - минимальное напряжение срабатывания реле, указанное на передней панели реле.

3.4. Реле тока обратной последовательности серии РТФ-8 и РТФ-9

Реле тока обратной последовательности серий РТФ-8 и РТФ-9 относятся к числу изделий на операционных усилителях, впервые освоенных на Чебоксарском электроаппаратном заводе в начале 80^х годов. Эти реле создавались для замены таких сложных комплектных реле, как РТФ-1М и РТФ-7, громоздких по размерам и неудобных в обслуживании и эксплуатации.

Реле РТФ-8 используются в качестве пускового органа токовой защиты обратной последовательности линий и трансформаторов. Реле РТФ-9 применяются для аналогичных защит генераторов и блоков генератор-трансформатор, когда необходимо осуществить несколько ступеней защиты обратной последовательности.

Реле РТФ-8 изготавливается на номинальные токи 1,0 и 5,0 А и имеют диапазон изменения уставок по току обратной последовательности от 0,3 до 1,2 номинального. Реле РТФ-9 выпускаются на номинальные токи 1,0, 5,0 и 10,0 А и содержат два измерительных органа, имеющих разные диапазоны уставок по току обратной последовательности.

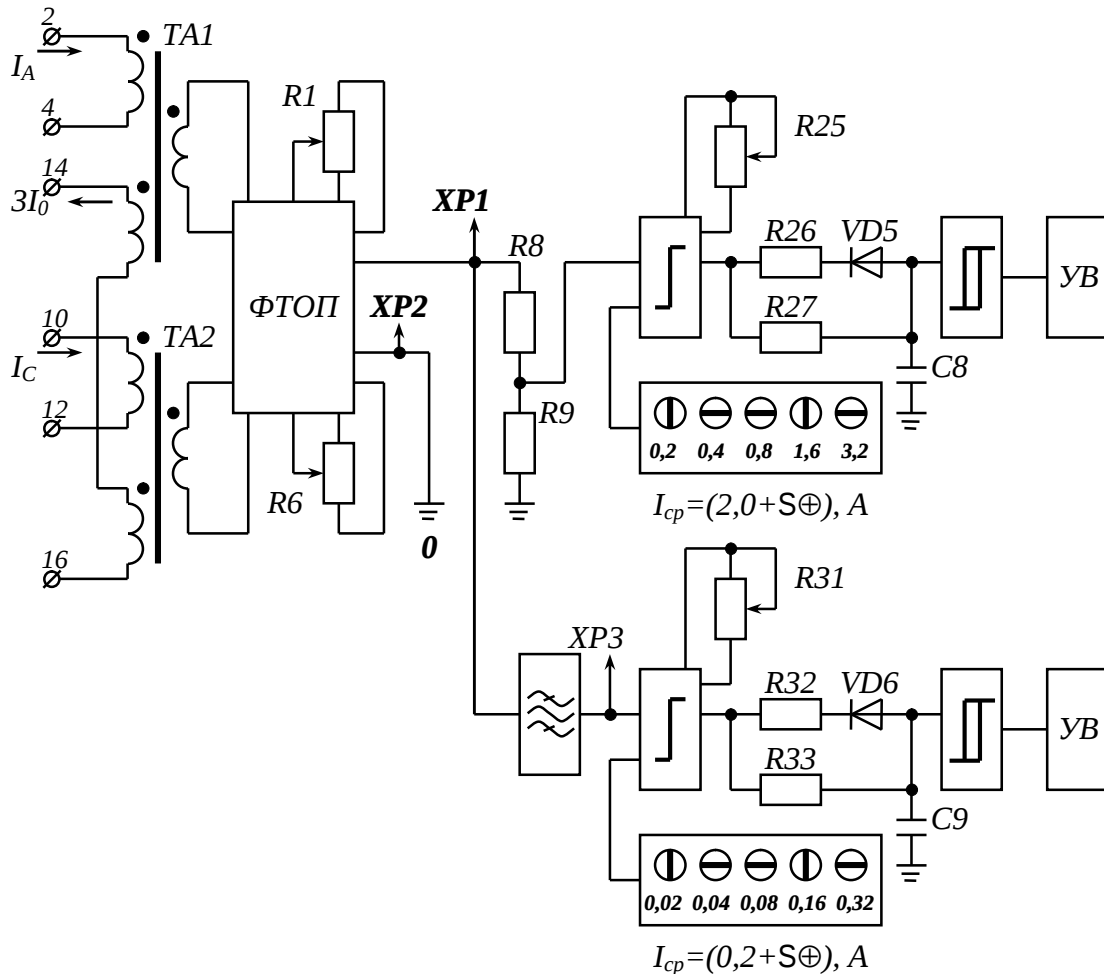


Рис. 5. Структурная схема реле тока обратной последовательности серии РТФ-9

Для первого, более грубого органа пределы составляют от 0,4 до 1,6, а для второго, чувствительного - от 0,04 до 0,16 номинального тока реле. Регулировка уставок производится ступенями по 10 %. Реле предназначено для работы на постоянном оперативном токе напряжением 220 или 110 В. Рабочая частота реле 50 или 60 Гц. При заказе помимо значения номинального тока реле необходимо указывать, на какое напряжение оперативного тока и рабочую частоту должно быть исполнено реле. В качестве выходного применено электромагнитное реле типа РП-13 на 110 В с двумя замыкающими контактами.

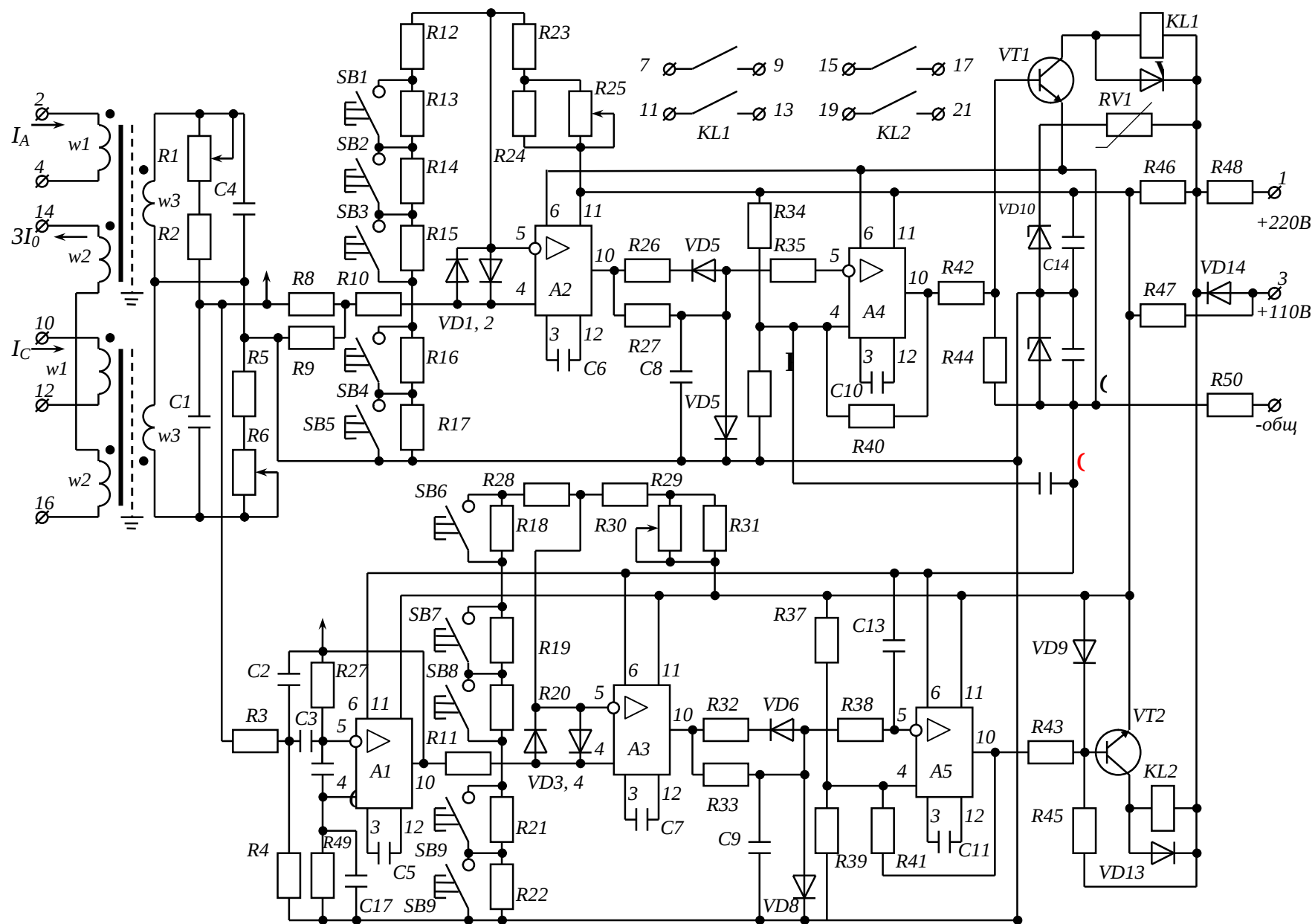


Рис. 6. Принципиальная электрическая схема реле тока обратной последовательности серии РТФ-9

Для пояснения устройства и принципа работы реле РТФ-8 и РТФ-9 на рис. 5 приведена структурная схема реле РТФ-9 на $I_{ном} = 5$ А. Схема реле РТФ-8 подобна схеме первого, более грубого измерительного органа реле РТФ-9. На рис. 6 дана принципиальная электрическая схема реле РТФ-9.

В реле имеются два датчика тока $TA1$ и $TA2$, каждый с двумя первичными обмотками, имеющими соотношение витков 3:1, и одной вторичной обмоткой. В первичную обмотку $TA1$ с большим числом витков подаётся ток фазы А, а в соответствующую обмотку $TA2$ - ток фазы С. В первичные обмотки с меньшим числом витков подаётся ток нулевого провода трансформаторов тока.

При таком соединении токовых цепей исключается влияние составляющих нулевой последовательности на работу реле. Ко вторичным обмоткам подключён фильтр токов обратной последовательности, являющийся основной частью узла формирования реле. Непосредственно к выходу фильтра токов обратной последовательности присоединён активный полосовой фильтр, настроенный на рабочую частоту. Фильтр входит в состав узла формирования чувствительного органа и служит для подавления высших гармоник, содержащихся в поступающем на него сигнале. Выходной сигнал от фильтра токов обратной последовательности подаётся с делителя напряжения на резисторах $R8$ и $R9$ в узел сравнения грубого измерительного органа.

Узлы сравнения обоих органов выполнены одинаково. В каждом из них имеется однопороговый компаратор, времясравнивающая RC -цепочка и триггер Шмитта, служащий одновременно пороговым элементом и исполнительной частью узла. Работа узла сравнения основана на сопоставлении времени превышения входным сигналом заданного опорного напряжения с временем, когда входной сигнал меньше опорного. Выходные узлы обоих органов и делитель питания постоянным оперативным током мало отличаются от применённых в реле РСТ-11 – РСТ-14.

Параметры реле РТФ-8 и РТФ-9 не хуже, чем у других токовых реле, содержащих операционные усилители. Они пригодны для работы при температуре окружающего воздуха от минус 40 до плюс 55°C. Коэффициент возврата реле не менее 0,95, а время срабатывания не более 50 мс.

В чувствительном органе реле РТФ-8 благодаря наличию селективного фильтра составляющие третьей и пятой гармоник фазных токов, проникающие через фильтр обратной последовательности, снижаются в 3 - 4 раза перед тем, как поступить в узел сравнения.

Для выполнения заданной уставки по току обратной последовательности необходимо перевести соответствующие переключатели на лицевой табличке реле в разомкнутое, **выступающее** состояние. Полученный ток срабатывания реле определяется как сумма, складывающаяся из минимального тока срабатывания, значение которого указано на табличке, и чисел, нанесённых у головок переключателей, поставленных в разомкнутое положение: $I_{yct} = I_{min}(1 + \sum \oplus)$, А, при этом риски на торцах головок указывают на выбранные числа.

3.5. Дифференциальные реле тока серий РСТ-15 и РСТ-16

Дифференциальные реле тока серий РСТ-15, РСТ-16 применяются в качестве измерительных органов дифференциальной защиты понижающих трансформаторов и мощных электродвигателей. Так же как и другие реле серии РСТ, эти реле имеют сейсмостойкую конструкцию.

Реле РСТ-15, РСТ-16 обладают высокой степенью отстройки от переходных токов небаланса, возникающих при включении трансформаторов и двигателей под напряжение. Поэтому ток срабатывания дифференциальной защиты при применении этих реле можно устанавливать на уровне 0,5 номинального тока трансформатора или двигателя.

Область применения реле серии РСТ-15 и РСТ-16 ограничивается объектами, для которых не требуется автоматически заглублять защиту при близких внешних коротких замыканиях, т.е. когда не требуется реле с тормозными характеристиками.

Серия реле РСТ-15 предназначена для сетей с промышленной частотой 50 Гц, а серия РСТ-16 – для сетей с частотой 60 Гц. Все реле имеют номинальный ток 5 А и рассчитаны на питание постоянным оперативным током 220 В. В условном обозначении реле после номера серии стоит цифра 1 или 5, указывающая, для какого способа подсоединения внешних проводов собрано реле на заводе. Цифра 1 относится к переднему, а цифра 5 – к заднему присоединению проводов. Кроме того, в обозначении приводится сокращённое выражение о внешних условиях применения – для умеренного или тропического климата.

На структурной схеме реле (рис. 7) выделены функциональные звенья, обеспечивающие особые свойства таких реле.

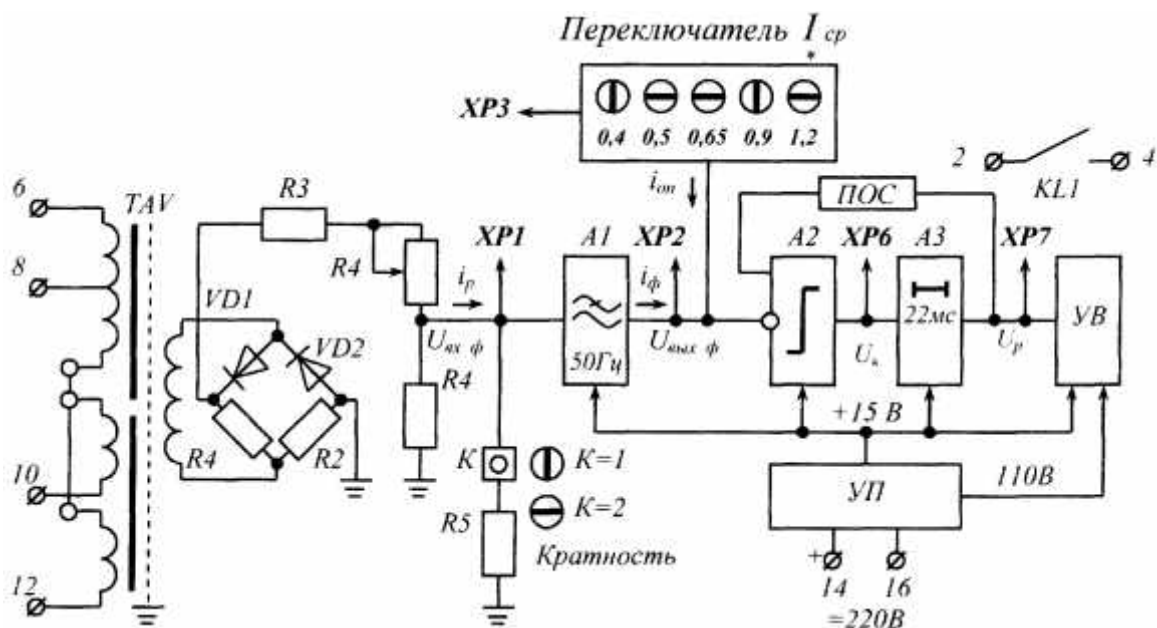


Рис. 7. Структурная схема дифференциального токового реле серии РСТ-15

Датчик тока *TAV* – это трансреактор, нагрузкой которого служит выпрямительный мост, состоящий из двух диодов и двух резисторов. Благодаря трансреактору в узел формирования реле не попадают медленно затухающие апериодические составляющие, содержащиеся в дифференциальном токе.

Трансреактор *TAV* реле серий РСТ-15, РСТ-16 (рис. 7) имеет три первичные обмотки - одну основную (дифференциальную) с 30-ю витками и отводами от 12, 16, 20 и 25-го витков и две дополнительные по три витка в каждой с отводом от 1-го витка. Отводы выведены на лицевую плату трансреактора и могут связываться гибкими проводами с выходными зажимами реле. Основная и дополнительные обмотки связаны между собой перемычками.

Нагрузочный мост обеспечивает требуемую чувствительность реле при небольших размерах датчика тока. К выходу нагрузочного моста подсоединен делитель из резисторов $R3 - R6$, с выхода которого берётся доля дифференциального тока, подаваемая в активный фильтр нижних частот $A1$.

Нагрузочный мост, делитель и фильтр нижних частот образуют узел формирования реле. С помощью переключателя K резистор $R5$ может быть исключён из схемы делителя. За счёт этого значение выходного сигнала, подаваемого на фильтр нижних частот, изменяется в отношении 1:2. Переключатель K предназначен для ступенчатого изменения уставки реле по току срабатывания в 2 раза ($K = 1$ и $K = 2$).

Инвертирующий активный фильтр нижних частот $A1$ выполнен по схеме с многопетлевой обратной связью. Параметры резисторов и конденсаторов, входящих в схему фильтра, подобраны таким образом, чтобы для постоянной слагающей входного сигнала коэффициент фильтра был равен 1. При рабочей частоте его коэффициент усиления имеет максимальное значение, достигающее 2,2, а при частоте второй гармоники рабочей частоты он понижается до 0,9. На рис. 8 изображена амплитудно-частотная характеристика такого фильтра.

Форма сигналов, образующихся на выходе узла формирования при появлении повышенного дифференциального тока, резко различается в зависимости от того, является он током короткого замыкания или током включения. Это позволяет получать управляющий сигнал на выходе узла сравнения только при коротком замыкании в зоне защиты. Сам узел сравнения выполнен применительно к этой задаче. Он состоит из компаратора $A2$ и элемента выдержки времени $A3$. Установленная выдержка времени элемента $A3$ равна 22 мс. При этом операционный усилитель элемента времени является также исполнительной частью узла сравнения. Для обеспечения релейного эффекта выход элемента времени $A3$ соединён положительной обратной связью с входом компаратора $A2$.

Узел выхода и узел питания реле серий РСТ-15 и РСТ-16 незначительно отличаются от применённых в реле серии РСТ для *постоянного* оперативного тока 220 В.

В нормальном режиме, когда по вторичной обмотке трансформатора проходит только незначительный ток небаланса, напряжение на выходе фильтра нижних частот А1 составляет не более 15 мВ. Опорный ток $i_{оп}$ замыкается через выход фильтра, создавая на инвертирующем входе компаратора А2 положительный потенциал. На выходе компаратора А2 держится отрицательное напряжение, составляющее около минус 13 В. При этом на выходе элемента времени будет иметься примерно такое же отрицательное напряжение, которое надёжно запирает транзистор узла выхода реле.

При этом по цепи положительной обратной связи на неинвертирующий вход компаратора А2 поступает небольшой отрицательный потенциал.

На рис. 9 представлены временные диаграммы работы реле РСТ-15 и РСТ-16 при коротком замыкании в зоне защиты и при включении защищаемого объекта под напряжение.

Действие реле при коротком замыкании в защищаемой зоне иллюстрирует левый ряд диаграмм. На первой из них показано изменение во времени дифференциального тока, протекающего в этом случае по первичной обмотке трансреактора. Следующая изображает форму выпрямленного тока i_p , поступающего на вход фильтра нижних частот А1. Как видно из диаграммы, этот ток имеет характер пульсаций с частотой, вдвое большей рабочей. Составляющие промышленной частоты в токе i_p отсутствуют полностью. Если нет апериодической составляющей, подавляемой трансреактором, то при прохождении через фильтр постоянная слагающая этого тока сохраняется в неизменном виде, а гармоника двойной частоты подавляется. Выходной ток фильтра i_ϕ приобретает форму постоянного тока с огибающей, имеющей уменьшенную примерно на 70 % пульсацию двойной частоты. Роль фильтра сводится в этом случае к сглаживанию сигнала.

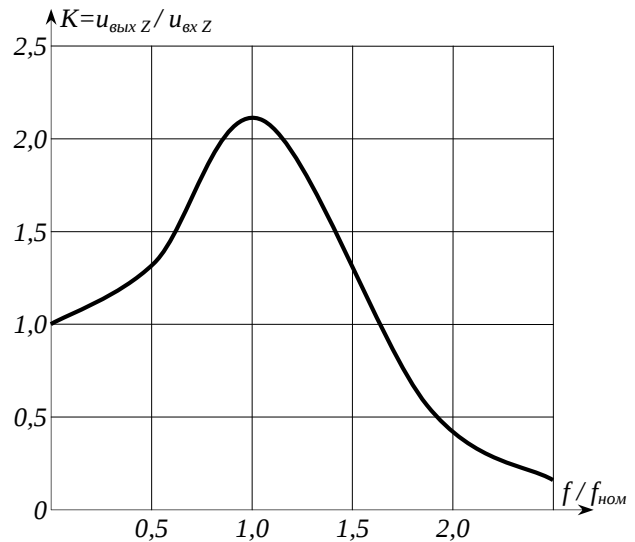


Рис. 8. Типовая частотная характеристика фильтра реле РСТ-15

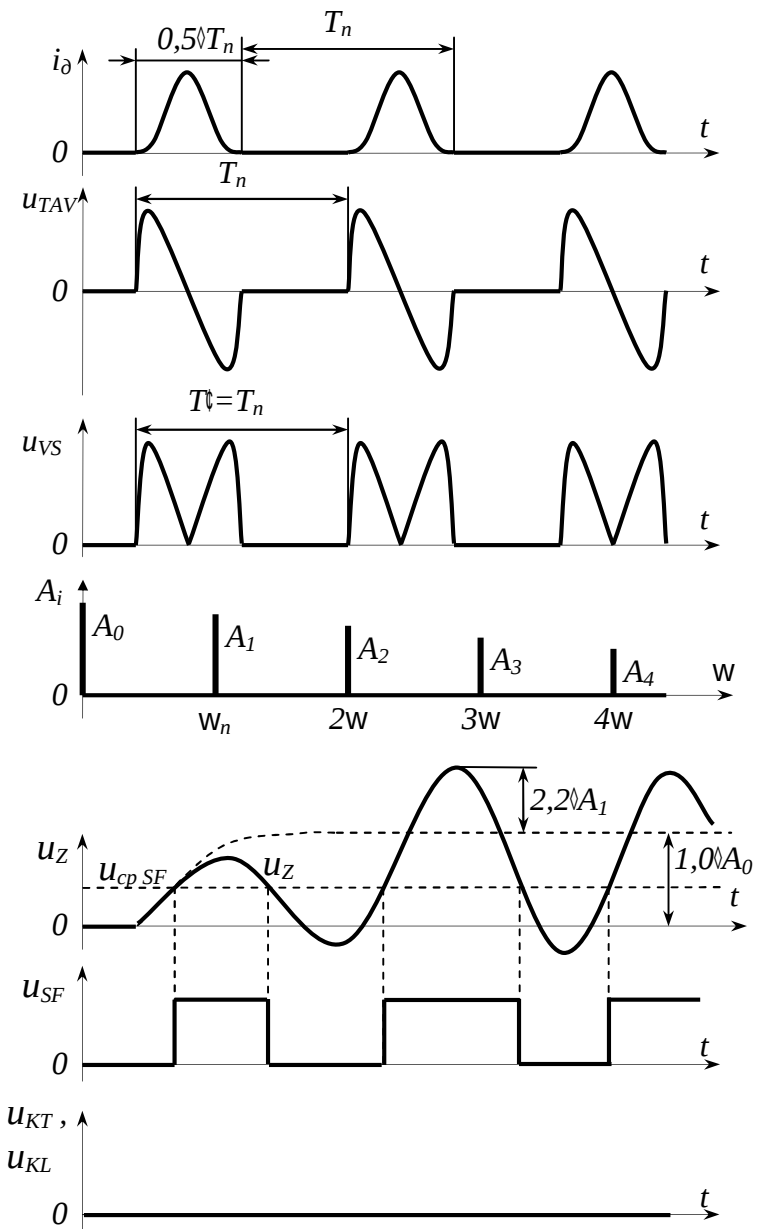
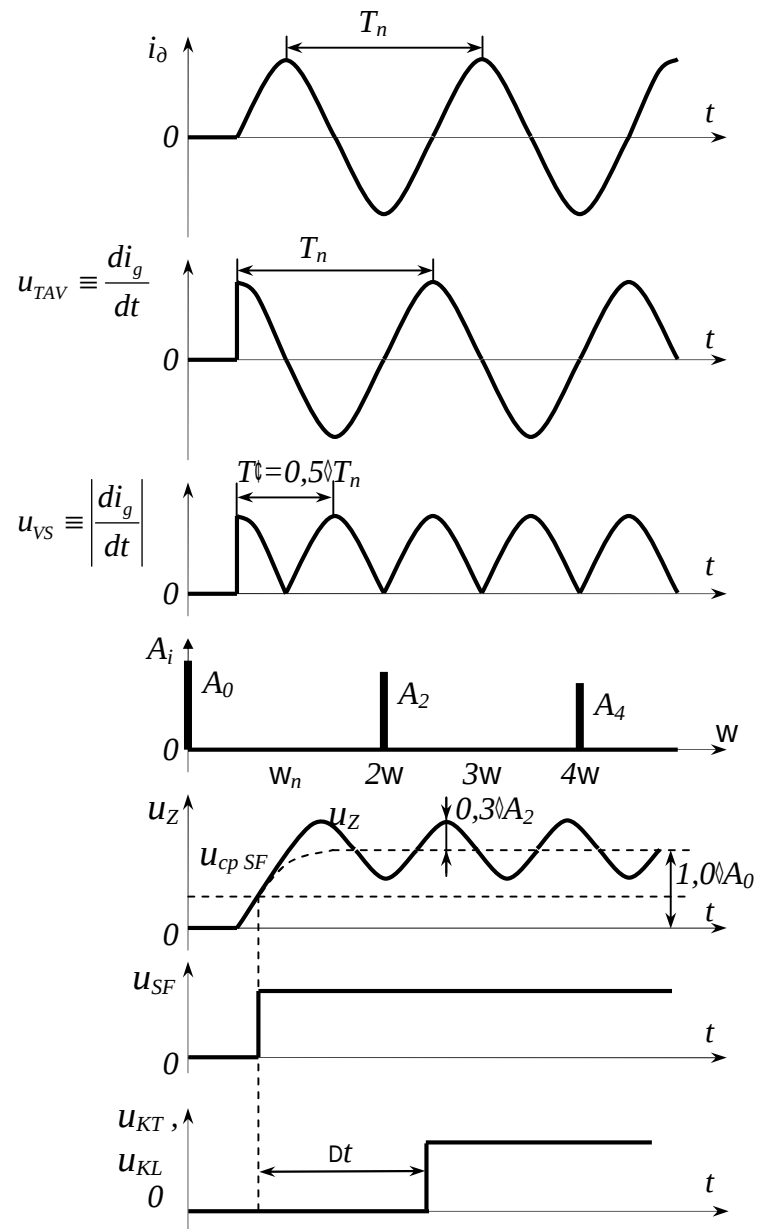


Рис. 9. Временные диаграммы работы дифференциального токового реле серии РСТ-15 при коротком замыкании в защищаемой зоне и броске намагничивающего тока трансформатора

При повреждении в зоне значение тока i_ϕ превышает опорный ток i_{on} . Так как фильтр нижних частот $A1$ инвертирующий, то направление тока i_ϕ оказывается противоположным току i_{on} . На инвертирующем входе компаратора $A2$ эти токи сложатся, а так как ток i_ϕ больше, то знак входного тока компаратора изменится. Это вызовет немедленную перемену знака выходного напряжения компаратора $A2$ на положительный. Отработает свою выдержку времени элемент $A3$, и через 22 мс откроется транзистор в узле выхода. Сработает выходное реле и замкнёт свои контакты.

Благодаря положительной обратной связи на неинвертирующем входе компаратора $A2$ появляется небольшой положительный потенциал. Теперь для возврата реле требуется, чтобы дифференциальный ток стал меньше тока срабатывания на значение, определяемое коэффициентом возврата.

Иначе проходит процесс в реле, когда в первичной обмотке трансреактора появляется ток включения защищаемого присоединения. Временные диаграммы такого процесса приведены в правом ряду (рис. 9). На первой из них изображена кривая изменения вторичного дифференциального тока i_ϕ в первичной обмотке трансреактора, форма которой характерна для случая подачи напряжения на силовой трансформатор. Близка к ней и форма такого тока при включении двигателя. Этим кривым свойственна большая несимметрия относительно оси времени.

На следующем графике показан ток i_p , поступающий в фильтр нижних частот $A1$. Форма тока i_p определяется тем, что этот ток является долей выпрямленной производной дифференциального тока. В токе i_p преобладает составляющая промышленной частоты и содержится меньшая по значению постоянная слагающая. При прохождении через фильтр слагающая промышленной частоты усиливается примерно в 2 раза больше, чем постоянная. Выходной ток фильтра i_ϕ приобретает вид, показанный на следующей диаграмме. Он близок по форме к симметричному синусоидальному току и имеет положительные и отрицательные полуволны. Отрицательные полуволны i_ϕ , мгновенные значения которых превышают i_{on} , вызывают появление на выходе компаратора $A2$ положительных импульсов, под воздействием которых элемент $A3$ начинает отсчёт своей выдержки времени. Но так как ширина положительных входных импульсов компаратора $A2$ не доходит до 22 мс, то срабатывания элемента времени не происходит, и реле подействовать не может.

На рис. 10 показана принципиальная электрическая схема реле РСТ-15.

По своим техническим данным реле РСТ-15 и РСТ-16 лучше выпускаемых электромеханических реле серии РНТ-565.

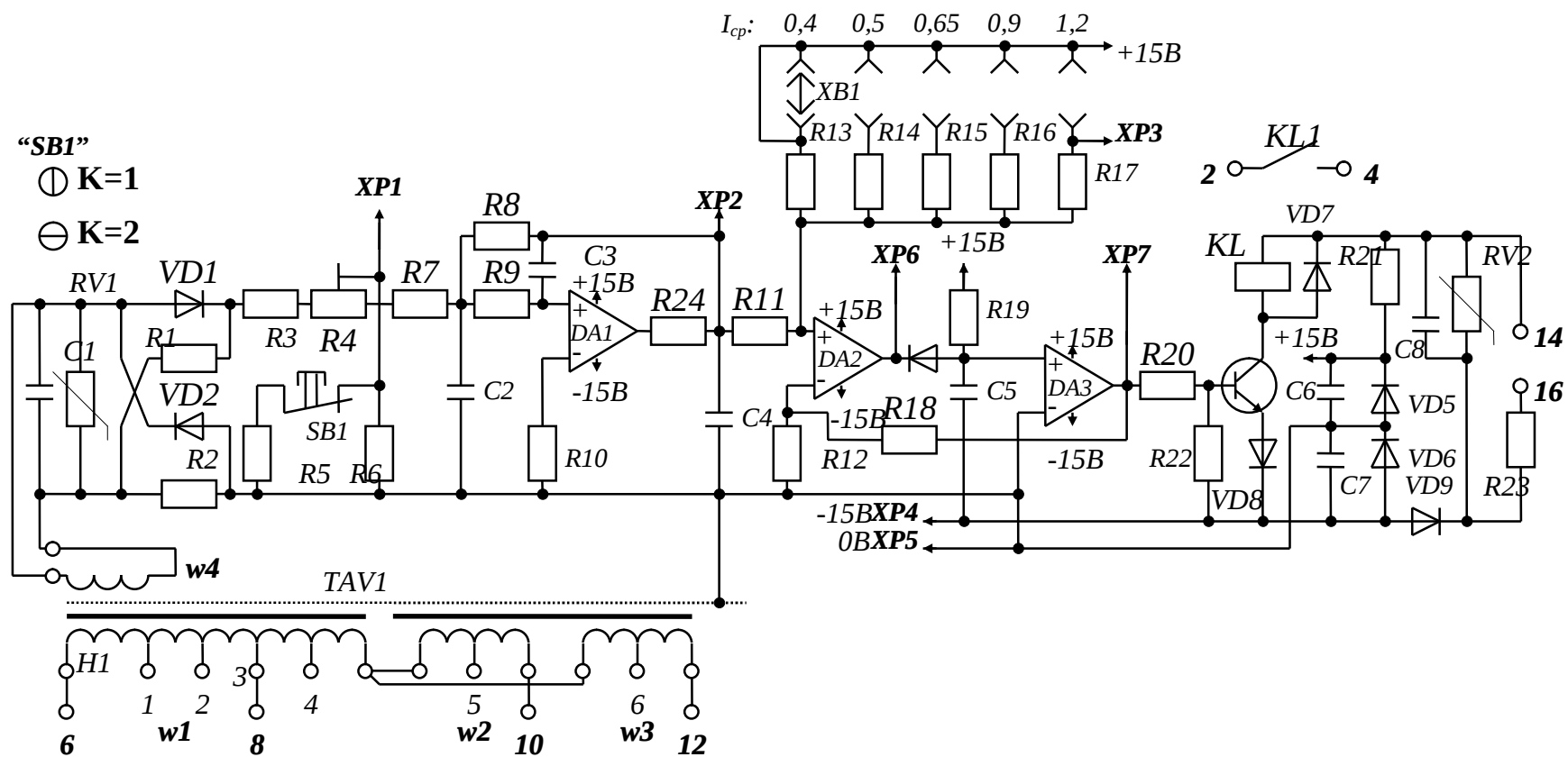


Рис. 10. Принципиальная электрическая схема дифференциального токового реле серии РСТ-15

Ток срабатывания реле может устанавливаться в пределах от 0,4 до 2,4 номинального. Коэффициент выравнивания при неравенстве вторичных токов плеч может изменяться от 0,627 до 1,6. Точность выравнивания составляет 7%. Время срабатывания реле при токе, равном утроенному току срабатывания, не более 40 мс. Потребление реле по цепям переменного тока равно 2,5 В·А. Потребление цепей оперативного тока в нормальном режиме равно 7 Вт, а при срабатывании реле - 9 Вт.

Число витков основной части дифференциальной обмотки (зажимы 6 и 8) определяется, исходя из заданной уставки по току срабатывания реле $I_{1c.p.}$, для плеча, где ток в нормальном режиме больше токов других плеч защиты. Для определения нужного отвода делят значение МДС срабатывания реле при относительной уставке $I_{c.p.*} = 0,5$, составляющей 50 А·в, на заданный ток. По полученному результату выбирают отвод с ближайшим меньшим числом витков ($w_{осн}$). Витки других плеч подбирают с учётом равенства МДС:

$$I_{1c.p.} \cdot w_{осн} = I_{2c.p.} \cdot (w'_1 + w_{дон}),$$

где w'_1 – используемые витки основной обмотки, к которым подсоединяется дополнительная обмотка; $w_{дон}$ – используемые витки дополнительной обмотки; $I_{2c.p.}$ – ток срабатывания другого плеча.

Затем определяют необходимую уставку по относительному току срабатывания:

$$I_{c.p.*} = \frac{I_{1c.p.} \cdot w_{осн}}{100 \cdot K}.$$

По полученным результатам устанавливают в соответствующее положение переключатель K и вставляют штекеры в нужные гнезда $XS1 - XS5$ на лицевой панели реле. Резистором $R4$ пользуются при наладке реле, если необходимо подстроить уставку с точностью до 10 %.

3.6. Реле направления мощности серий РМ-11 и РМ-12

Реле направления мощности серий РМ-11 и РМ-12 являются одними из первых изделий на базе микросхем, внедрённых в серийное производство на Чебоксарском электроаппаратном заводе. Эти реле предназначены для замены индукционных реле направления мощности, выпускавшихся до настоящего времени. Индукционные реле обладают рядом принципиальных недостатков, таких, как наличие самохода и вибрации контактных систем, низкая механическая устойчивость. Многократные попытки избавить реле от этих недостатков не дали весомых результатов. Поэтому вопрос создания реле направления мощности на новой базе стоял особенно остро.

По аналогии с существующими индукционными реле мощности номер серии реле РМ определяется по углу максимальной чувствительности j_x . Реле серии РМ-11 имеют два дискретно устанавливаемых угла j_x : минус 30

и минус 45° , а реле серии РМ-12 - один угол, равный плюс 70° . Соответствующие зоны срабатывания реле РМ представлены на рис. 11, а. В каждой из этих серий имеется несколько типоразмеров реле, которые находят отображение в условном обозначении реле. Двухзначное число, следующее за номером серии, показывает, на какой номинальный ток это реле изготовлено. Число 11 соответствует току 1 А, а число 18 – току 5 А. За этим числом идет цифра 1 или 2, свидетельствующая о виде питания оперативным током. Цифра 1 – питание от источника напряжения постоянного тока 110 или 220 В, а цифра 2 – комбинированное питание от вторичных цепей переменного тока защищаемого объекта и напряжения 220 В сети собственных нужд. В последнем случае нормальное действие реле обеспечивается при отклонении напряжения в пределах 0,5 – 1,15 номинального или тока от 0,5 до 30-кратного значения по отношению к номинальному. Рабочая частота 50 или 60 Гц определяется потребителем при оформлении заказа. Также указывают значение напряжений оперативного постоянного тока 110 или 220 В.

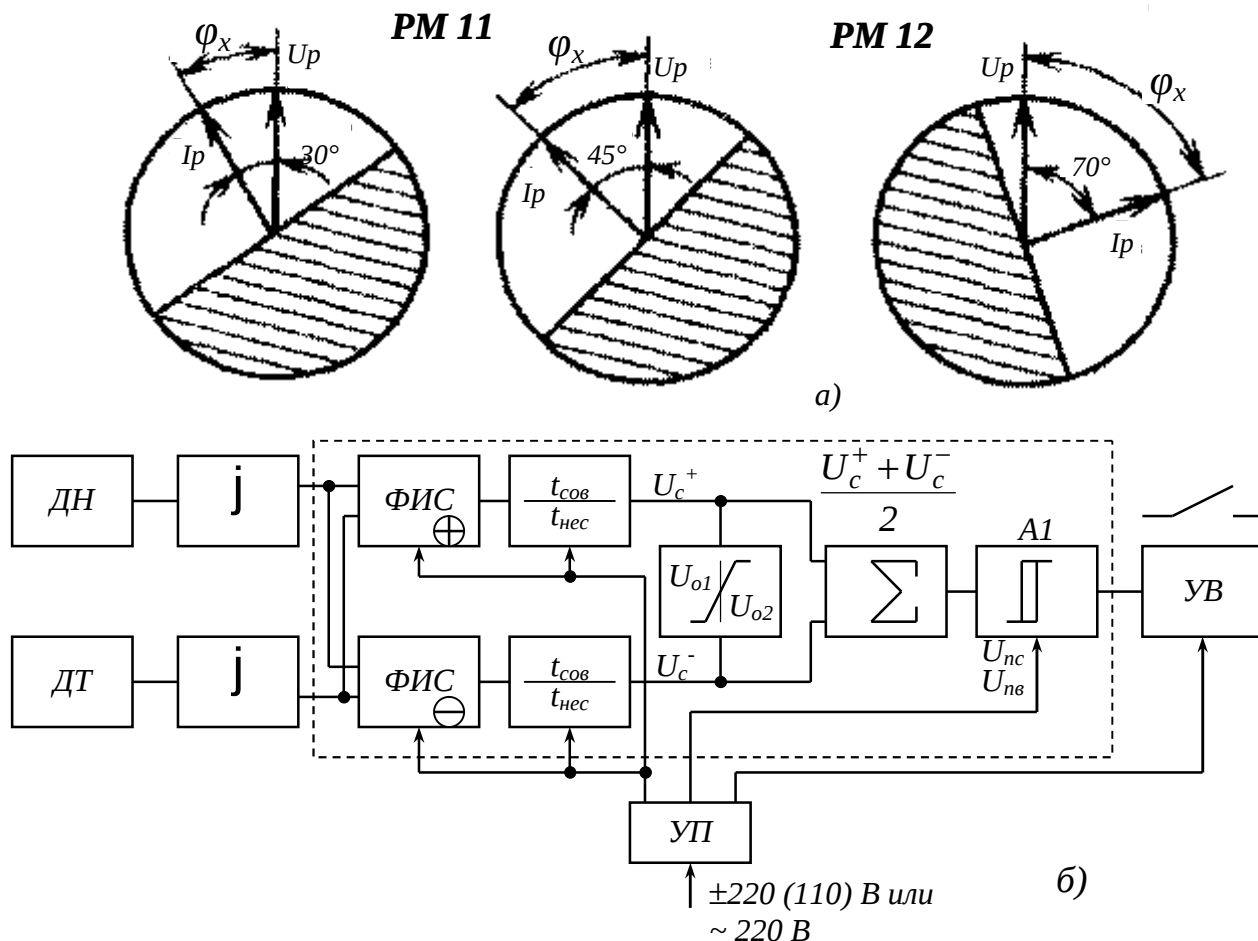


Рис. 11. Реле направления мощности серий РМ-11 и РМ-12:

а - зоны срабатывания реле; б - структурная схема реле.

ДН - датчик напряжения; ДТ - датчик тока; j - фазоповоротная схема; ФИС - формирователь импульсов совпадения мгновенных значений сравниваемых напряжений (знак плюс относится к положительным значениям, а знак минус – к отрицательным значениям этих напряжений); $t_{сов}/t_{нс}$ - времясравнивающая цепочка; $\sqrt{}$ - ограничитель уровней напряжений; Σ - сумматор; А1 - выходной компаратор с положительной обратной связью; УВ - узел выхода; УП - узел питания

В схеме реле серий РМ-11, РМ-12 имеется всего один операционный усилитель, установленный на выходе узла сравнения. В остальном реле построено на резисторах, конденсаторах и полупроводниковых приборах массового применения. Этим оно существенно отличается от других статических реле, собранных из типовых функциональных элементов.

На рис. 11, б представлена структурная схема реле серий РМ-11 и РМ-12.

Пунктиром обведены элементы, образующие узел сравнения. В нём осуществляется раздельное сравнение фазовых сдвигов между напряжениями $\underline{E}_U$ и $\underline{E}_I$, сформированными в узле формирования из поданных на реле напряжения и тока. С помощью фазоповоротных схем обеспечивается такое положение, чтобы сдвиг между $\underline{E}_U$ и $\underline{E}_I$ равнялся нулю, когда сдвиг между подведенными $\underline{U}_p$ и $\underline{I}_p$ достигает угла максимальной чувствительности j_x соответствующего типа реле. Благодаря этому во всех типоразмерах реле используется одна схема узла сравнения. Командный управляющий сигнал на выходе реле возникает при условии, если напряжения $\underline{E}_U$ и $\underline{E}_I$ оказываются сдвинутыми на угол не более чем $\pm 90^\circ$, которым определяется зона срабатывания реле. Это соответствует совпадению знаков мгновенных значений сравниваемых напряжений e_U и e_I в течение одной четверти периода и более.

Особенностью узла является раздельное сравнение интервалов совпадения и несовпадения мгновенных значений положительного и отрицательного знаков. Сигналы, полученные при раздельном сравнении, суммируются и подаются на пороговый элемент – выходной компаратор А1. Если уровень суммарного сигнала превышает порог срабатывания компаратора, на выходе А1 возникает командный сигнал, вызывающий срабатывание выходного реле с контактным выходом.

На рис. 12 показана схема реле РМ-11, питающегося от источника напряжения постоянного тока 220 В. Пунктиром выделены те части схемы, исполнение которых зависит от типа реле. Часть схемы под цифрой 1, обведённой кружком, содержит датчики тока и напряжения и относящиеся к ним фазоповоротные и согласующие звенья. Часть схемы под цифрой 2, обведённой кружком, изображает узел выхода и узел питания ± 220 В. Оставшаяся часть схемы представляет собой узел сравнения, одинаковый для всех исполнений реле серий РМ-11 и РМ-12.

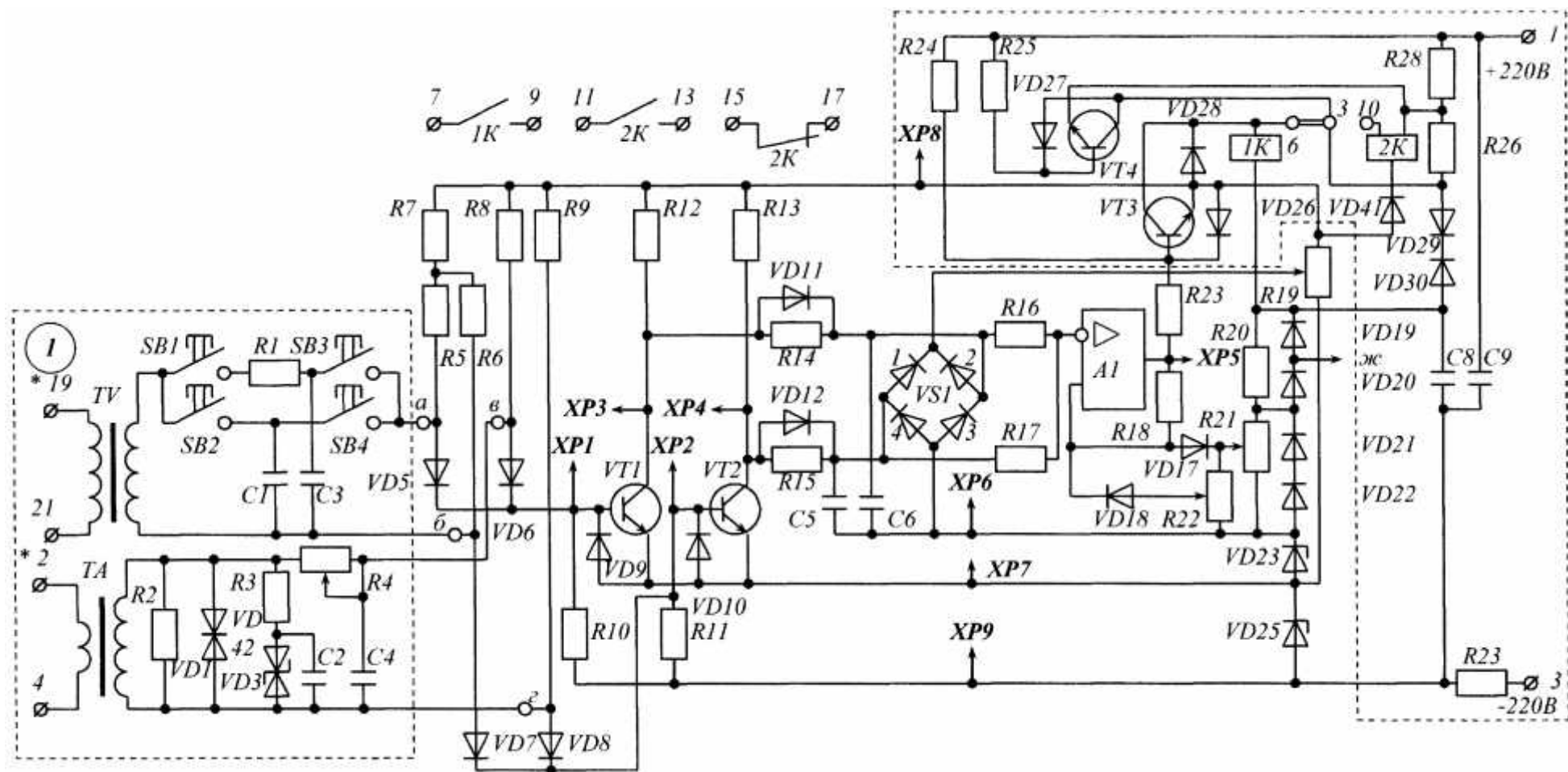


Рис. 12. Принципиальная электрическая схема реле направления мощности серии РМ-11

На рис. 13, а показаны отдельно датчики тока и напряжения и их фазоповоротные и согласующие звенья, присущие реле серии РМ-12, а на рис. 13, б - комбинированный узел питания от трансформаторов тока и напряжения собственных нужд переменным оперативным током 220 В.

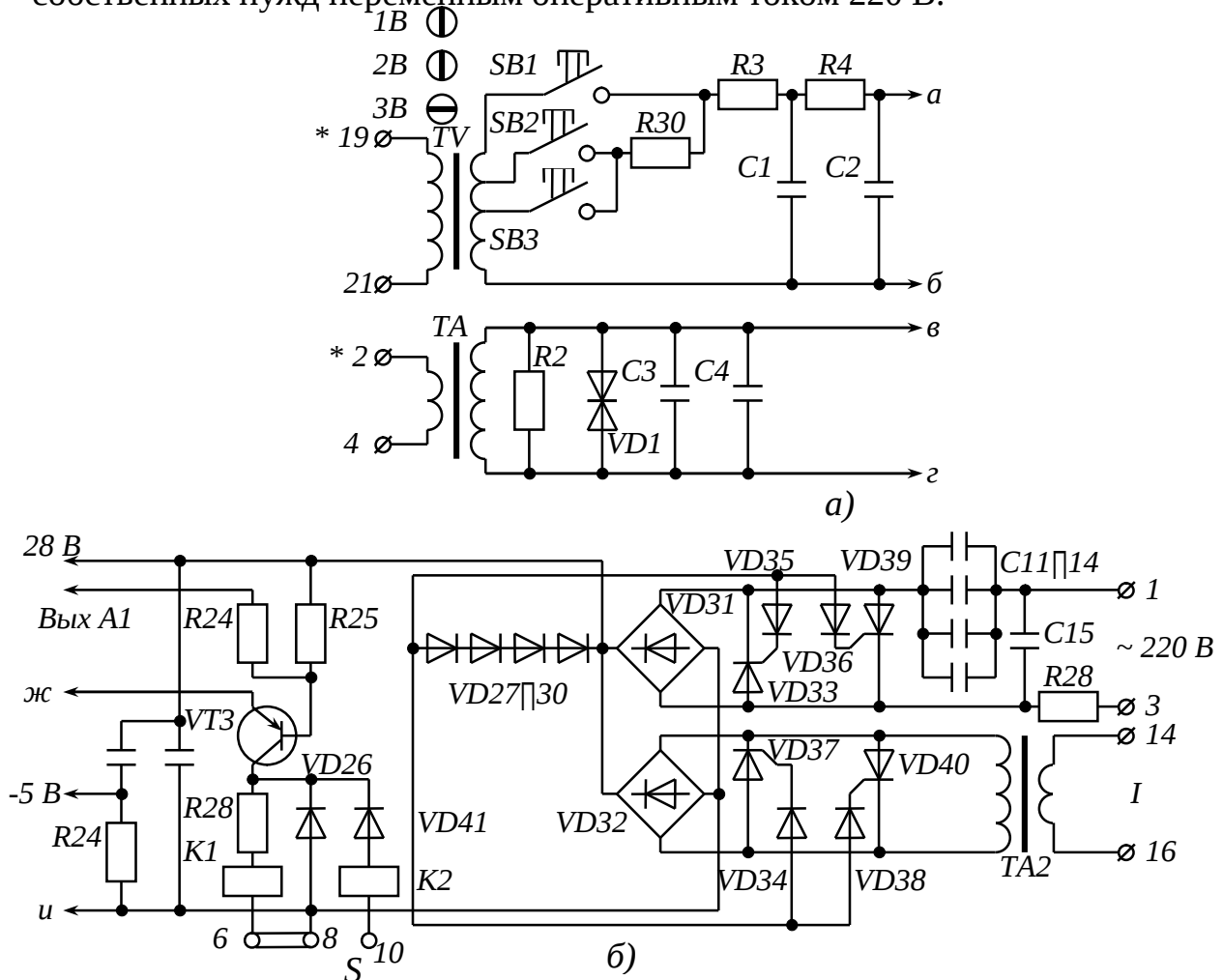


Рис. 13. Принципиальные электрические схемы датчиков тока и напряжения реле направления мощности серии РМ-12 (а) и комбинированного узла питания реле переменным оперативным током (б)

К датчику напряжения TV реле РМ-11 (рис. 12) с помощью переключателей SB1 – SB4 может подключаться одна из двух фазоповоротных схем для получения выбранного угла j_x (30 или 45°). Основной нагрузкой датчика тока ТА является резистор R2. Другие подсоединённые к ТА элементы - стабилитроны VD1 и VD42, фазовый корректор, состоящий из R3, VD3 и C2, а также интегрирующая цепочка R4 – C4 служат для компенсации угловых погрешностей и искажений формы кривой тока во всем диапазоне значений тока короткого замыкания.

В схеме датчика напряжения TV реле РМ-12 (рис. 13, а) установлены переключатели SB1 – SB4 для ступенчатой регулировки уставок срабатывания реле по напряжению, имеющих значения 1 - 3 В. Датчик тока TAV реле этого типа нагружен на резистор R2. Сердечник трансреактора TAV выполнен с зазором. Его индуктивность намагничивания вместе с конденсаторами C3 и C4

образуют фильтр, настроенный на рабочую частоту. Назначение фильтра - снизить уровень высших гармоник, поступающих в схему реле из токовых цепей.

Цепи, подсоединённые к датчикам, служат узлами формирования сравниваемых напряжений $\underline{E}_U$ и $\underline{E}_I$, подаваемых соответственно на входы а-б и в-г узла сравнения. В узле формирования датчика напряжения создаётся постоянный сдвиг по фазе между напряжением $\underline{U}_p$, поступающим на реле от трансформаторов напряжения, и напряжением $\underline{E}_U$. За счёт этого сдвига обеспечивается получение заданной угловой характеристики реле.

На выходе узла формирования датчика тока образуется напряжение $\underline{E}_I$, представляющее собой падение напряжения на резисторе R_2 , пропорциональное току, проходящему по первичной обмотке датчика.

Работа узла сравнения реле серий РМ-11 и РМ-12 основана на принципе сопоставления времени совпадения знаков мгновенных значений сравниваемых напряжений e_U и e_I со временем несовпадения этих знаков. Если время совпадения знаков превышает четверть периода промышленной частоты, то реле срабатывает. При меньшем времени совпадения реле не действует.

Надо иметь в виду, что реле может подействовать только в том случае, когда время совпадения знаков мгновенных значений, как положительных, так и отрицательных, становится больше четверти периода. Такое двойное сравнение предотвращает неправильную работу реле при наличии апериодических составляющих в сравниваемых напряжениях и позволяет уменьшить время срабатывания реле. Если бы сравнение проводилось для мгновенных значений сравниваемых напряжений только одного знака, то могла бы произойти неправильная работа реле из-за одностороннего смещения кривой напряжения при наличии апериодической составляющей. Она может обуславливать расширение интервала совпадения мгновенных значений выбранного знака при одновременном сокращении интервала совпадения напряжений другого знака.

На входах узла сравнения установлены транзисторы $VT1$ и $VT2$. При отсутствии сравниваемых напряжений оба транзистора полностью открыты, так как через базу каждого из них протекает открывающий ток, идущий от плюса питания через резисторы $R_5 - R_9$ и диоды $VD5 - VD8$.

Если на вход узла подано только одно из сравниваемых напряжений, например e_U , то при положительной полуволне закроется диод $VD5$, а при отрицательной – диод $VD7$. Запирание диодов происходит потому, что изменяется направление тока через относящиеся к ним резисторы, при этом транзисторы $VT1$ и $VT2$ остаются открытыми, так как положительный потенциал на их базах поддерживается через открытые диоды $VD6$ и $VD8$.

Если на схему подать другое сравниваемое напряжение e_I и при этом e_U будет отсутствовать, то аналогично вышеизложенному транзисторы $VT1$ и $VT2$ останутся открытыми через диоды $VD5$ и $VD7$.

Таким образом, при поступлении на схему узла сравнения только одного из сравниваемых напряжений срабатывания реле не происходит.

В случае одновременной подачи на узел обоих напряжений e_U и e_I в промежутки времени, когда знаки мгновенных значений этих напряжений совпадают, транзисторы $VT1$ и $VT2$ будут поочередно закрываться. При положительных знаках мгновенных значений обоих напряжений закроются диоды $VD5$ и $VD6$. База транзистора $VT1$ окажется связанной с отрицательным напряжением минус 5 В через резистор $R10$, и $VT1$ закроется. На его выходе возникает положительный импульс, ширина которого определяется временем совпадения знаков сравниваемых напряжений.

При отрицательных знаках обоих напряжений будут запираются диоды $VD7$ и $VD8$, закроется транзистор $VT2$. На выходе $VT2$ появится аналогичный положительный импульс.

На рис. 14 приведены временные диаграммы работы реле РМ-11 и РМ-12. На верхней диаграмме показаны кривые изменения напряжений e_U и e_I для граничного положения, когда угол сдвига между ними равен 90° . Интервалы, в которых знаки сравниваемых напряжений совпадают, заштрихованы.

На расположенных ниже диаграммах коллекторных напряжений $VT1$ и $VT2$ видно, что положительные импульсы на их выходах чередуются, точно повторяя интервалы совпадения знаков мгновенных значений сравниваемых напряжений.

Выходные сигналы с коллекторов $VT1$ и $VT2$ проходят соответственно каждый на свою времясравнивающую цепочку. Для $VT1$ она состоит из резисторов $R12$, $R14$, диода $VD11$ и конденсатора $C6$, а для $VT2$ - из $R13$, $R15$, $VD12$ и $C5$. Когда $VT1$ и $VT2$ полностью открыты, напряжение на их выходах равняется нулю. Нижние обкладки конденсаторов $C5$ и $C6$ жёстко подключены к шинке +10 В, а верхние оказываются в рассматриваемом случае связанными с той же шинкой через открытые диоды 3 и 4 выпрямительного моста $VS1$. Оба диода открыты токами, текущими по резисторам $R14$ и $R15$ и открытыми транзисторами $VT1$ и $VT2$ к нулевой шинке. Диоды $VD11$ и $VD12$, установленные параллельно резисторам $R14$ и $R15$, находятся в запертом состоянии. Таким образом, когда транзисторы $VT1$ и $VT2$ открыты, напряжение $U_{огр 1}$ между обкладками конденсаторов $C5$ и $C6$ равно прямому падению напряжения на диодах 4 и 3 выпрямительного моста $VS1$, взятому с обратным знаком. Напряжение с верхних обкладок конденсаторов $C5$ и $C6$ через резисторы $R16$ и $R17$ поступает на инвертирующий вход компаратора $A1$, создавая на его выходе напряжение положительного знака. Неинвертирующий вход $A1$ по цепи обратной связи через открывающийся диод $VD17$ поступает с резистора $R21$ положительный потенциал, определяющий порог срабатывания компаратора $U_{н.с.}$. На выходе $A1$ держится максимальное положительное напряжение, приближающееся к плюс 28 В. Выходной транзистор $VT3$ открыт и шунтирует обмотку одного из подсоединенных к нему реле 1К или 2К.

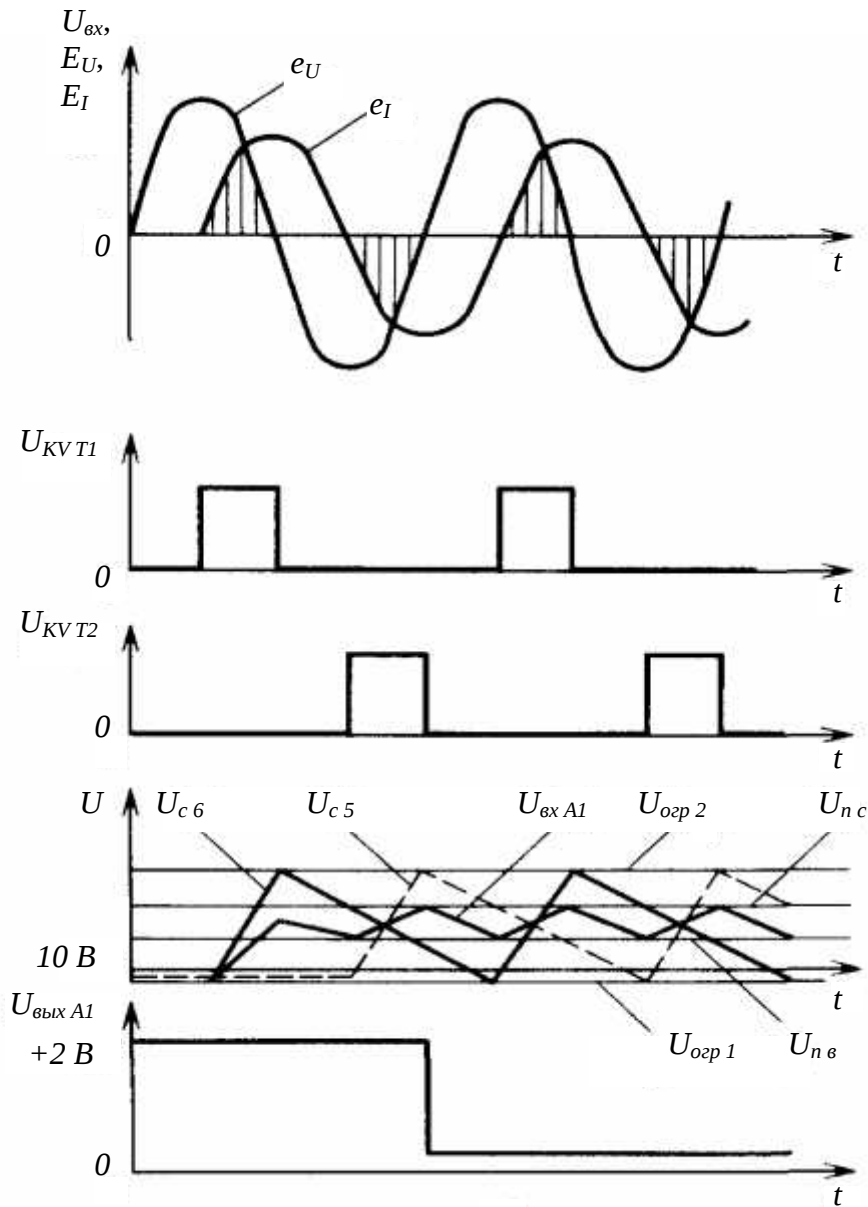


Рис. 14. Временные диаграммы работы реле направления мощности серий РМ-11 и РМ-12

Как было сказано выше, в промежутки времени, когда совпадают положительные мгновенные значения сравниваемых напряжений, транзистор $VT1$ закрывается. Начальный момент первого из этих промежутков на временной диаграмме изменений e_U и e_I совпадает с моментом появления e_I , когда конденсатор $C5$ ещё не начинал перезаряжаться (пунктирная линия на диаграмме напряжений на конденсаторе U_{C5}) и транзистор $VT2$ открыт до насыщения.

После запираания $VT1$ через резистор $R12$ и открывающийся диод $VD11$ начинает заряжаться конденсатор $C6$, при этом закрывается диод 3 выпрямительного моста $VS1$. Значение сопротивления $R12$ выбрано таким, чтобы за время, соответствующее четверти периода, напряжение на конденсаторе $C6$ достигло максимального значения $U_{C\max}$. Оно определяется верхним уров-

нем ограничения $U_{огр\ 2}$ когда открывается диод 2 выпрямительного моста VS1, и дальнейшее повышение напряжения на конденсаторе прекращается.

Как только транзистор VT1 снова откроется, сразу же закроется диод VD11, и конденсатор C6 начнёт разряжаться через резистор R14 до уровня $U_{огр\ 1}$. Значение сопротивления R14 выбрано таким, чтобы на границе зоны этот разряд заканчивался к началу следующего промежутка совпадения положительных сигналов, т.е. за $3/4$ периода.

При наступлении промежутка совпадения отрицательных мгновенных значений e_U и e_I закрывается транзистор VT2, и происходит заряд конденсатора C5 до $U_{огр\ 2}$. К моменту окончания заряда C5 на конденсаторе C6 ещё сохраняется напряжение, равное $\frac{1}{3}U_{C\ max}$. Напряжения U_{C6} и U_{C5} приходят на инвертирующий вход компаратора A1 через резисторы R16 и R17, имеющие равные сопротивления. Поэтому на этом входе установится напряжение, равное полусумме напряжений на конденсаторах, т.е. $\frac{2}{3}U_{C\ max}$. Это напряжение подбирается несколько выше порога срабатывания $U_{н.с.}$ компаратора A1, и напряжение на его выходе скачком снижается до значения, близкого к нулю. Транзистор VT3 закрывается, срабатывает выходное реле и замкнет свои контакты.

Одновременно по цепи обратной связи закрывается диод VD17 и откроется диод VD18. Напряжение на неинвертирующем входе A1 снизится до порогового напряжения возврата $U_{н.в.}$. Это напряжение подобрано так, чтобы после переключения компаратора A1 и закрытия VT3 за время до срабатывания выходного реле не произошёл сброс выходного сигнала A1. Дело в том, что в течение этого времени могут быть моменты, когда оба транзистора VT1 и VT2 оказываются открытыми, и необходимо, чтобы происходящее из-за разряда понижение напряжения не доходило ниже уровня $U_{н.в.}$.

Кроме этого следует отметить, что в связи с тем, что в первом из промежутков совпадения положительных значений e_U и e_I , показанном на диаграмме рис. 14, когда на конденсаторе C5 напряжение было близко к нулю, на инвертирующем входе A1 к моменту окончания заряда C6 было напряжение, равное $\frac{1}{2}U_{C\ max}$, что меньше $U_{н.с.}$ компаратора A1.

Чтобы выставить заданное значение j_x у реле РМ-11, необходимо поставить переключатели SB1 – SB4, головки которых выведены на лицевую панель реле, в положение, соответствующее выбранному углу. Для этого необходимо поставить головку в **утопленное** положение и **зафиксировать** её, чтобы риска на торце головки была направлена в сторону обозначения выбранного угла.

Аналогично поступают при установке заданного напряжения срабатывания реле РМ-12. На рис. 13, а показано положение головок для $U_{с.р.} = 1 В$.

Головки других переключателей должны оставаться в **выступающем** положении.

Имеются некоторые отличия в выполнении узла выхода при питании реле постоянным или переменным оперативным током. На постоянном токе в схеме узла выхода стоят два транзистора $VT3$ и $VT4$. До срабатывания реле транзистор $VT3$ открыт положительным напряжением на его базе, при этом потенциал базы $VT4$ ниже потенциала его эмиттера, $VT4$ закрыт и в схему делителя напряжения оперативного тока введён резистор $R26$, сопротивление которого равно сопротивлению выходного реле. При срабатывании реле транзистор $VT3$ запирается и дешунтирует обмотку выходного реле. Потенциал базы $VT4$ при этом повышается, $VT4$ открывается и закорачивает резистор $R26$. За счёт этого срабатывание выходного реле не вызывает изменения уровней питающих напряжений, снимаемых с делителя.

При питании реле переменным оперативным током в узле выхода ставится только транзистор $VT3$. Комбинированный узел питания реле переменным током (рис. 13, б) имеет две цепи питания: от напряжения 220 В трансформаторов собственных нужд и от собственных токовых цепей защиты. В схеме узла имеется накопительный конденсатор $C9$ ёмкостью 200 мкФ, на котором поддерживается постоянное напряжение с помощью управляемых тиристоров, установленных в обеих цепях питания. При повышении напряжения на конденсаторе $C9$ выше напряжения пробоя стабилитронов $VD27$ - $VD30$ тиристоры открываются и шунтируют цепь питания до окончания полупериода напряжения переменного тока. Процесс повторяется, пока напряжение на конденсаторе $C9$ не снизится до нормального уровня.

Технические данные реле РМ-11 и РМ-12 имеют определенные преимущества перед данным реле серии РБМ.

Область срабатывания составляет $165-180^\circ$ при $U_{ном}$ и $I_{ном}$. Время срабатывания реле РМ-11 при утроенных значениях тока и напряжения срабатывания и угле максимальной чувствительности с герконовым выходом не более 30 мс, а с электромагнитным реле не более 45 мс, время возврата не более 60 мс. Реле РМ-11 имеет напряжение срабатывания не более 0,25 В и относительный ток срабатывания не свыше 0,05 номинального.

Потребление измерительных цепей переменного тока составляет 0,15 В·А, переменного напряжения - 1 В·А для РМ-11 и 2 В·А для РМ-12.

Потребление цепей питания оперативным током при постоянном токе 10 Вт, при переменном токе - от цепей напряжения 35 В·А (4 Вт) и от цепей переменного тока 10 В·А (4 Вт). Коэффициент загрузки реле для частоты третьей гармоники по напряжению 9, по току 4,5. Диапазон рабочих температур от -40 до $+55^\circ\text{C}$ для умеренного климата.

3.7. Блок-реле сопротивления БРЭ-2801

Блок-реле сопротивления БРЭ-2801 представляет собой комплектное реле, содержащее три дистанционных органа, каждый из которых имеет на выходе отдельное электромагнитное реле типа РП-13 с одной парой переключо-

чающих контактов. Такие блоки выпускаются Чебоксарским электроаппаратным заводом вместо комплектов реле сопротивления типов КРС-2 и КРС-3. Как и эти реле, реле БРЭ-2801 может использоваться в качестве пускового или измерительного органа дистанционной защиты линий и трансформаторов напряжением 110 кВ и выше.

Реле КРС-2 и КРС-3 обладают значительными размерами, имеют весьма сложную конструкцию; потребляют довольно большую мощность от измерительных трансформаторов тока и напряжения и могут неправильно работать при нарушениях в цепях напряжения и тока. Благодаря тому, что схема реле БРЭ-2801 собрана на операционных усилителях, его габариты и потребление получились меньшими, а возможность неправильного действия при различных нарушениях в цепях резко сократилась.

Блок-реле сопротивления БРЭ-2801 собирается в стандартной кассете типа БУКб, которая помещается в металлический кожух с внешними размерами 376x270x216 мм, снабжённый передней крышкой из прозрачного материала. В разъёмы кассеты вставляются три реле сопротивления типа С108, выполненные в виде отдельных блоков, и блок выходных реле типа Р1110, совмещённый с делителем питания оперативным током. Разъёмы связаны с наружными выводами, расположенными на кожухе. Они служат для подсоединения блока к цепям измерительных трансформаторов, источнику питания оперативным током и логической части защиты.

Подключение реле сопротивления С108 к трансформаторам тока и напряжения может осуществляться двумя способами: на междуфазное напряжение и разность токов двух фаз или на фазное напряжение и фазный ток с компенсацией тока нулевой последовательности.

Блок-реле сопротивления БРЭ-2801 может применяться в разных схемах дистанционной защиты. Поэтому нём предусмотрена возможность получения нескольких отличающихся друг от друга характеристик срабатывания.

За основу принята характеристика в виде окружности, угол максимальной чувствительности которой может быть установлен равным 65 или 80°. Расположение окружности на комплексной плоскости в осях R и jX может меняться в зависимости от требований, предъявляемых к защите.

Можно получать следующие характеристики срабатывания (рис. 15, а):

1 - направленная окружность, смещённая в первый квадрант с плавной установкой смещения от 5 до 50 % уставки;

2 - направленная окружность с нерегулируемым смещением в первый квадрант на 5% уставки;

3 - направленная окружность, проходящая через начало координат;

4 - 6 - направленная окружность с заданным смещением в третий квадрант соответственно на 5, 12 или 20 % уставки;

7 - ненаправленная окружность с центром в начале координат.

В схеме реле сопротивления предусмотрена возможность изменения принятой за основу круговой формы характеристики, приближая её к эллиптической с отношением малой и большой осей $\epsilon = 0,75$ и $\epsilon = 0,5$ и сохраняя

при этом наклон большой оси равным углом максимальной чувствительности (рис. 15, б). Значение ϵ для круговой характеристики равно единице.

Блок-реле сопротивления БРЭ-2801 выпускаются на номинальные токи 1 и 5 А. В структуре условного обозначения блока им соответствуют двузначные числа 20 или 27, помещаемые после собственного обозначения блока. За этими числами следует заглавная буква, обозначающая рабочую частоту блока - Е - относится к частоте 50 Гц, а И - к 60 Гц. За этими буквами стоит цифра 2 и буква, присваиваемая модификации реле по минимальному сопротивлению срабатывания. В зависимости от номинального тока эта буква означает: при $I_{ном} = 1$ А букве А соответствует минимальное сопротивление 5 Ом, а букве Б - 20 Ом, а при $I_{ном} = 5$ А букве А соответствует 1 Ом, а Б - 4 Ом.

Минимальные уставки по сопротивлению срабатывания модификации А могут быть уменьшены в 2 и 4 раза за счёт переключения нагрузочных сопротивлений в датчике тока. Коэффициент k_I , соответствующий этим изменениям, может иметь значения, равные 1; 0,5 и 0,25. Установка заданной уставки производится путём ступенчатого и плавного изменения напряжения, снимаемого с выхода датчика напряжения. С их помощью значение сопротивления срабатывания может быть увеличено до 40-кратного по отношению к минимальному. Необходимо иметь в виду, что регулировка смещения характеристик реле по рис. 15, а, б не влияет на значение выбранной уставки срабатывания и угла максимальной чувствительности.

На рис. 15, в в осях R и jX изображена характеристика реле сопротивления в виде окружности, смещённой в третий квадрант. На этой окружности отмечены точки 1 и 2, лежащие по концам диаметра, проведённого под углом максимальной чувствительности. Эти точки, названные особыми, служат исходными для получения требуемой зоны срабатывания реле.

Вспомогательные векторы, соединяющие начало координат с точками 1 и 2, обозначим $\underline{Z}_1$ и $\underline{Z}_2$. Посмотрим, какая существует связь между этими двумя векторами и положением произвольного вектора $\underline{Z}$, расположение которого может быть как в зоне срабатывания, так и за её пределами. Вначале рассмотрим случай, когда вектор $\underline{Z} = \underline{Z}'$ лежит внутри характеристической окружности.

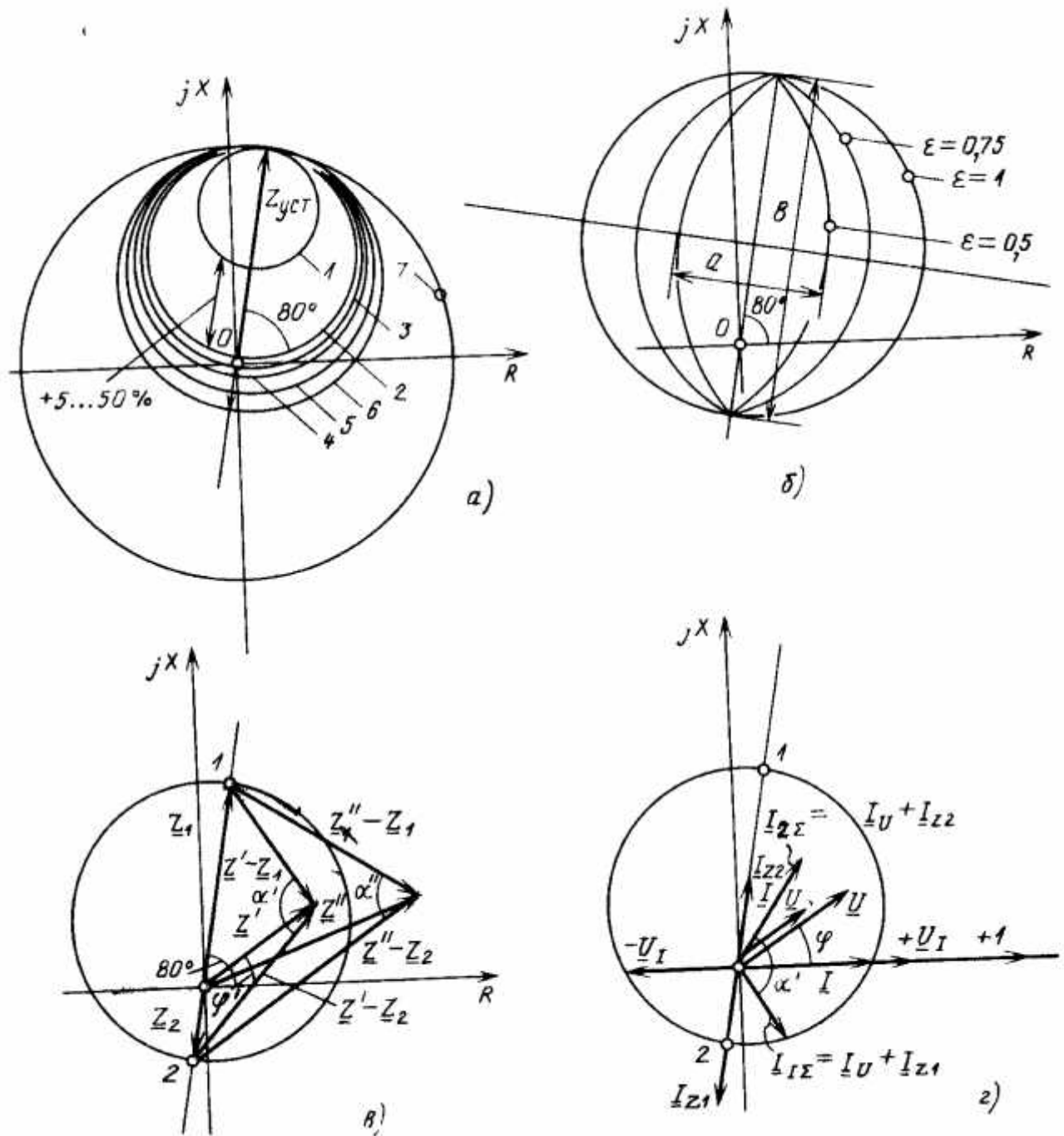


Рис. 15. Блок-реле сопротивления типа БРЭ-2801:

а - характеристики срабатывания реле;

б - варианты круговой и эллиптической характеристик срабатывания реле;

в - векторная диаграмма для пояснения принципа работы реле

Построим два разностных вектора $\underline{Z}' - \underline{Z}_1$ и $\underline{Z}' - \underline{Z}_2$, каждый из которых представляет собой разность между вектором $\underline{Z}'$ и векторами $\underline{Z}_1$ и $\underline{Z}_2$ соответственно. Угол α' между полученными разностными векторами больше $\rho/2$, так как он является углом при вершине треугольника, опирающегося на диаметр характеристической окружности. Это свойство может быть отнесено и к любому другому вектору $\underline{Z}$, конец которого расположен внутри ок-

ружности. Только тогда, когда вершина треугольника лежит на самой окружности, этот угол будет равен $\rho/2$. Очевидно, что для вектора $\underline{Z} = \underline{Z}''$, конец которого выходит за пределы окружности, угол между соответствующими векторами $\underline{Z}'' - \underline{Z}_1$ и $\underline{Z}'' - \underline{Z}_2$, будет всегда меньше $\rho/2$. Таким образом, для зоны срабатывания граничным является угол $\alpha_{cp} = \rho/2$. Условие срабатывания реле сопротивления с круговой характеристикой может быть представлено с помощью следующего выражения:

$$-\rho/2 > \arcsin \frac{\underline{Z} - \underline{Z}_1}{\underline{Z} - \underline{Z}_2} > \rho/2.$$

Опираясь на это выражение, можно различить, находится вектор $\underline{Z}$ в зоне или вне зоны срабатывания, измерив фазовый угол между двумя векторами, проведёнными из особых точек характеристической окружности к концу вектора $\underline{Z}$.

Если принять угол срабатывания реле большим, чем $\rho/2$, то характеристика реле примет вид двух соприкасающихся дуг окружностей. Такая характеристика с определённым допуском приравнивается к эллиптической. Она также используется в реле БРЭ-2801.

На рис. 16 представлена структурная схема реле сопротивления БРЭ-2801. Схема разделена штриховыми линиями на три части. Слева находится воспринимающая часть реле, середину занимает узел формирования, а справа расположены узел сравнения, узел выхода и узел питания.

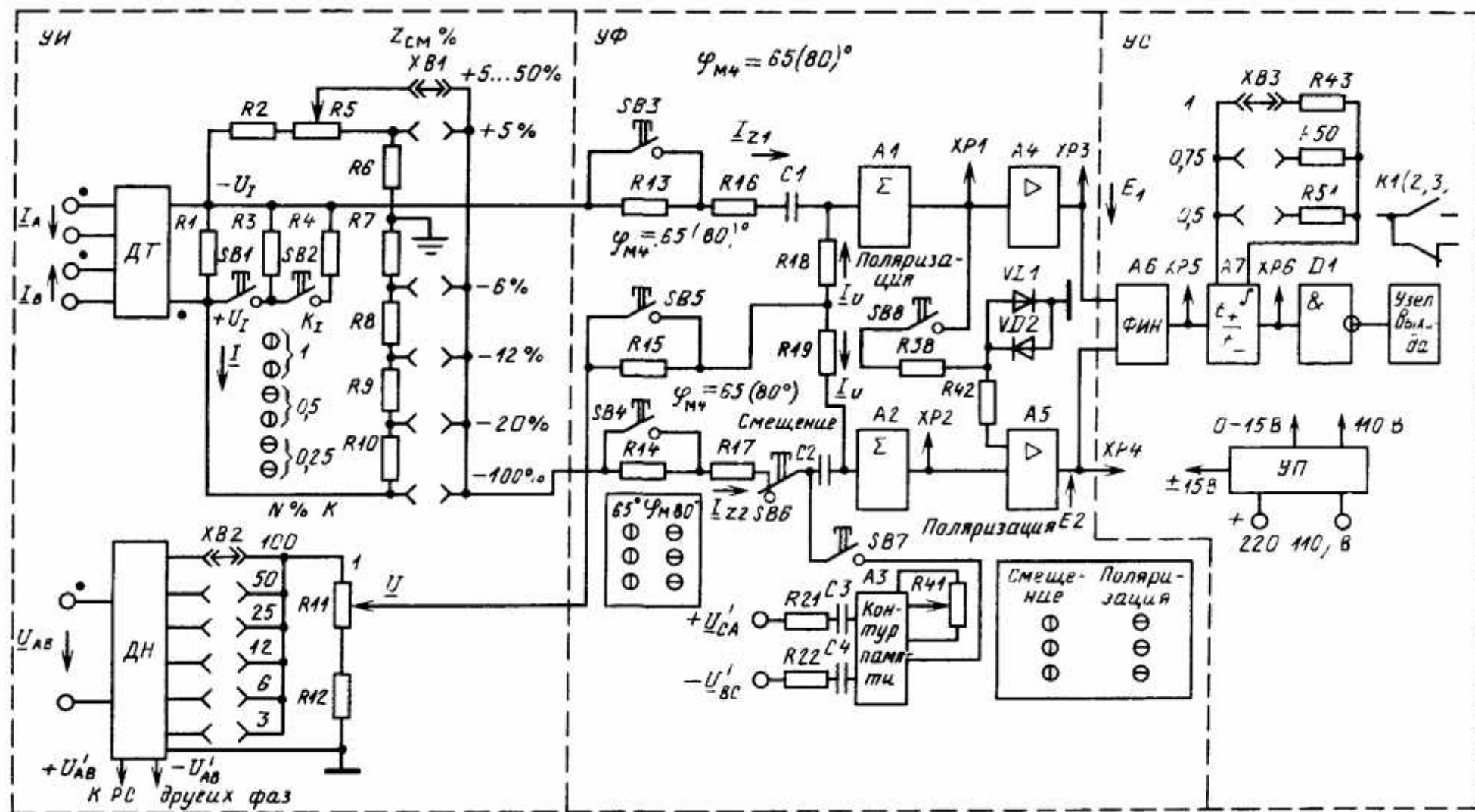


Рис. 16. Структурная схема блок-реле сопротивления типа БРЭ-2801

Узел измерения содержит датчик напряжения $\underline{ДН}$, с выхода которого снимается напряжение $\underline{U}$, и датчик тока $\underline{ДТ}$. К выходу $\underline{ДТ}$ подключены нагрузочные резисторы $R1 - R4$ и делитель из $R2$ и $R5 - R10$. Переключатели $SB1$ и $SB2$ служат для ступенчатого изменения уставки реле. Через делитель протекает ток $\underline{I}$. Создаваемые на резисторах делителя падения напряжения, пропорциональные току $\underline{I}$, подаются в узел формирования. В узле формирования имеются два сумматора, служащих для получения сравниваемых напряжений $\underline{E}_1$ и $\underline{E}_2$. Каждый сумматор состоит из активного фильтра-сумматора и инвертирующего масштабного усилителя. Применен фильтр-сумматор с двойным Т-мостом в цепи обратной связи. На входе фильтров-сумматоров установлены резисторы и последовательные RC -цепочки, необходимые для получения соответствующих входных токов. Ко входу второго сумматора может ещё подключаться отдельный контур «памяти» АЗ. Остановимся на векторной диаграмме токов и напряжений, действующих в схеме реле сопротивления при коротком замыкании в зоне срабатывания, представленной на рис. 15, г. Для наглядности эта диаграмма составлена для случая, когда сопротивление петли короткого замыкания совпадает с сопротивлением $\underline{Z}'$ на рис. 15, в. Это значит, что показанный на рис. 15, г вторичный ток $\underline{I}$ отстаёт от напряжения $\underline{U}$ на угол φ , равный углу φ полного сопротивления $\underline{Z}'$. Для получения напряжения $\underline{E}_1$ на вход фильтра-сумматора А1 подаются два входных тока. Один из них – это ток $\underline{I}_U$, пропорциональный напряжению $\underline{U}$, а второй – $\underline{I}_{Z1}$, который определяется током $\underline{I}$, но сдвинут относительно него на такой угол, чтобы его направление было противоположно направлению вспомогательного вектора $\underline{Z}_1$ на рис. 15, в. Аналогично для получения напряжения $\underline{E}_2$ необходимо подать на вход другого фильтра-сумматора А2 два входных тока. Одни из них – это такой же ток $\underline{I}_U$, как и поданный на вход А1, а второй – это ток $\underline{I}_{Z2}$, создаваемый током $\underline{I}$, но имеющий направление, противоположное направлению вспомогательного вектора $\underline{Z}_2$. Как видно из рис. 15, в, г, фазовый сдвиг между суммарными входными токами сумматоров $\underline{I}_{1S} = \underline{I}_U + \underline{I}_{Z1}$ и $\underline{I}_{2S} = \underline{I}_U + \underline{I}_{Z2}$ равен углу α' между разностными векторами $\underline{Z}' - \underline{Z}_1$ и $\underline{Z}' - \underline{Z}_2$. Соответственно угол сдвига между напряжением $\underline{E}_1$, возникающим на выходе масштабного усилителя А4, и напряжением $\underline{E}_2$, образующимся на выходе аналогичного усилителя А5, будет иметь то же значение.

Ток $\underline{I}_U$ определяется общим резистором $R15$, резистором $R18$ для первого сумматора и резистором $R19$ для второго сумматора, причём $R_{18} = R_{19}$. Так как эти сопротивления чисто активные, то ток $\underline{I}_U$ совпадает по направлению с напряжением $\underline{U}$. Отсюда следует, что коэффициент k_{I1} является действительной величиной.

Для того чтобы получить на входе $A1$ ток $\underline{I}_{Z1}$, расположенный в третьем квадранте, используют напряжение минус $\underline{U}_I$, снимаемое непосредственно с выхода ДТ. Ток $\underline{I}_{Z1}$ образуется в активно-ёмкостной цепочке из $R13$, $R16$ и $C1$. Ток $\underline{I}_{Z1}$ опережает создающее его напряжение минус $\underline{U}_I$ на угол $j_{м.ч.}$, что соответствует исходным требованиям. Ток $\underline{I}_{Z2}$, приходящий на вход $A2$, создаётся в цепи из $R14$, $R17$ и $C2$ напряжением плюс $\underline{U}_I$, снимаемым с резисторов $R2$ и $R5 - R10$. Он опережает ток $\underline{I}$ на угол $j_{м.ч.}$, т.е. противоположен по направлению вспомогательному вектору $\underline{Z}_2$.

Сравниваемые напряжения $\underline{E}_1$ и $\underline{E}_2$ поступают в узел сравнения. Особенностью схемы узла сравнения является то, что на входе преобразующей части в формирователе импульсов несовпадения ФИН имеется четыре диода, так как сравниваются всего два напряжения. В цепи интегратора поставлено три зарядных резистора. Это сделано, чтобы иметь возможность получать три значения a_{cp} , определяющих соотношение осей ϵ характеристики реле. Необходимое значение ϵ вводится переключателем $XB3$.

В нормальном режиме и при коротком замыкании вне зоны угол $\underline{E}_1$ и $\underline{E}_2$ невелик. Он сравним с углом a'' между разностными векторами на рис. 15, g и не достигает угла срабатывания реле a_{cp} . Мгновенные значения напряжений $\underline{E}_1$ и $\underline{E}_2$ имеют одинаковые знаки на подавляющей части обоих полупериодов промышленной частоты. Реле не действует.

При коротком замыкании в зоне срабатывания фазовый сдвиг между $\underline{E}_1$ и $\underline{E}_2$ значительно возрастает и становится больше $\rho/2$. Соответственно время не-совпадения мгновенных значений $\underline{E}_1$ и $\underline{E}_2$ превысит четверть периода, и если реле имеет круговую характеристику, то оно сработает. При использовании эллиптической характеристики, когда $a_{cp} > \rho/2$, требуемое время не-совпадения будет больше четверти периода.

Контур «памяти» $A3$ вводится в схеме узла формирования, когда реле имеет характеристику, проходящую через начало координат, и особая точка 2 совпадает с ним. Ток $\underline{I}$ на фильтр-сумматор $A2$ подаваться не должен. Из-за этого при коротком замыкании вблизи шин возможен отказ защиты, так как у реле появляется «мертвая зона», вызванная отсутствием сравниваемого напряжения $\underline{E}_2$. Чтобы обеспечить работу реле при коротком замыкании в начале линии, в цепь фильтра-сумматора $A2$ вместо входного тока $\underline{I}$ подаётся ток от контура «памяти». Его назначение состоит в том, чтобы при коротком замыкании в зоне, сопровождающемся понижением $\underline{U}_{ш}$ до нуля, поддерживать на входе $A2$ достаточный для действия реле ток, направление которого совпадало бы с током $\underline{I}_U$ предшествующего режима. В контуре «памяти» такой ток создаётся суммой напряжений плюс $\underline{U}'_{CA}$ и минус $\underline{U}'_{BC}$, представляю-

щих собой примерно 3 % соответствующих линейных напряжений $ДН$ других фаз. Направление суммарного напряжения соответствует фазному напряжению $\underline{U}_C$. Контуром «памяти» служит активный полосовой фильтр АЗ с двойным Т-мостом в цепи отрицательной обратной связи. По схеме он мало отличается от фильтров-сумматоров А1 и А2. В нём отсутствуют диоды между входами и ограничительная цепочка, включённая параллельно мосту. Благодаря достаточной добротности при трёхфазном коротком замыкании вблизи шин затухающее напряжение на выходе АЗ поддерживается в течение времени, вполне достаточного для срабатывания реле.

Напряжения $\underline{U}'_{CA}$ и $\underline{U}'_{BC}$ поступают на вход АЗ через последовательные цепочки $R21, C3$ и $R22, C4$, которые компенсируют сдвиг между входным и выходным сигналами АЗ. Выходное напряжение контура «памяти» подаётся на фильтр-сумматор А2 через конденсатор $C2$. Этим обеспечивается совпадение по фазе тока, идущего из контура «памяти» с током $\underline{I}_U$.

Между фильтрами-сумматорами А1 и А2 введена дополнительная связь через резисторы $R38$ и $R42$, средняя точка которых связана с нулевой шиной через встречно включённые диоды $VD1$ и $VD2$. Эта цепочка ненамного сдвигает характеристику реле в первый квадрант, обеспечивая недействие реле при близких внешних коротких замыканиях.

В узле выхода для каждого реле сопротивления имеется своё электромагнитное реле типа РП-13, снабжённое парой переключающих контактов. При действии любого из них загорается общий светодиод «Срабатывание». Предусмотрена возможность отсоединения каждого из них от светодиода при проверках. Управляющий сигнал на выходное реле поступает через инвертор на элементе И-НЕ микросхемы типа К511ЛА2 и усилитель на транзисторе типа КТ940А, собранный по схеме с общим эмиттером.

Реле БРЭ-2801 обладает данными, позволяющими осуществлять дистанционную защиту линий и трансформаторов напряжением 110 – 500 кВ. Погрешность реле по сопротивлению составляет не более 10 %. Время срабатывания в основной части характеристики не превышает 70 мс. Ток точной работы зависит от выбранной минимальной уставки по сопротивлению. Наименьшее значение тока точной работы на верхней уставке равняется 0,1 номинального тока реле, а его наибольшее значение на нижней уставке доходит до 40-кратного по отношению к номинальному. Коэффициент возврата может изменяться от 1,07 до 1,15 и зависит от отклонения угла сопротивления от $j_{м.ч.}$. Коммутационная способность контактов выходных реле порядка 30 Вт. Уставка реле по сопротивлению срабатывания определяется из выражения

$$Z = (Z_{min} \cdot K_I \cdot 100) / (N\% \cdot k),$$

где K_I - коэффициент ступенчатой регулировки уставки в цепи тока, который может иметь значение 1; 0,5 или 0,25; $N\%$ - степень регулировки в цепи напряжения, выражаемая в процентах; k - коэффициент плавной регулировки в цепи напряжения в пределах 0,4 – 1 выбранной ступени $N\%$.

Выставлять уставку начинают с определения K_I в целях получения наименьшего тока точной работы. По нему находят предварительное значение $N\% \cdot k = \frac{Z_{min} \cdot K_I \cdot 100}{Z_{уст}}$. По полученному результату берут ближайшую большую ступень $N\%$. Окончательная настройка реле на заданную уставку производится резистором $R11$ плавной регулировки k , выведенным на лицевую сторону реле сопротивления. Перед настройкой необходимо поставить все переключатели в положение, соответствующее заданной уставке и выбранной форме характеристики реле. Сначала устанавливают нужную ступень K_I с помощью переключателей $SB1$ и $SB2$ у ДТ согласно рис. 16. Вслед за этим переставляют однополюсную вилку $XB1$ в гнездо $Z_{см}\%$, соответствующее принятому смещению характеристики реле, в первый или третий квадрант. При смещении в первый квадрант свыше 5 % дополнительно доворачивают резистор $R5$ до нужного положения, при этом переключатель $SB6$ «Смещение» должен быть замкнут и находиться в утопленном положении, а переключатели $SB7$ и $SB8$ «Поляризация» должны быть разомкнуты и находиться в выдвинутом положении. Риски на торце всех трех переключателей располагаются при этом вертикально.

Если характеристика реле должна проходить через начало координат, то переключатели $SB6 - SB8$ поворачивают в горизонтальное положение, при этом переключатель $SB6$ «Смещение» переходит в выступающее положение и размыкается. Переключатели $SB7$ и $SB8$ «Поляризация» переводятся в утопленное положение и замыкаются.

Установка угла максимальной чувствительности производится переключателями $SB3 - SB5$ с обозначением $j_{м.ч.}$. Углу 65° соответствуют разомкнутое, выдвинутое положение переключателей с вертикальным направлением риски. Для получения угла 80° необходимо все переключатели замкнуть, поставив их в утопленное положение, риски на торцах переключателей приобретают горизонтальное направление. Наладка реле сопротивления БРЭ-2801 производится по программе, аналогичной принятой для статических реле других типов. Объём снимаемых электрических характеристик должен совпадать с применяемым для электромеханических дистанционных реле. На рис. 17 представлена принципиальная электрическая схема реле БРЭ 2801.

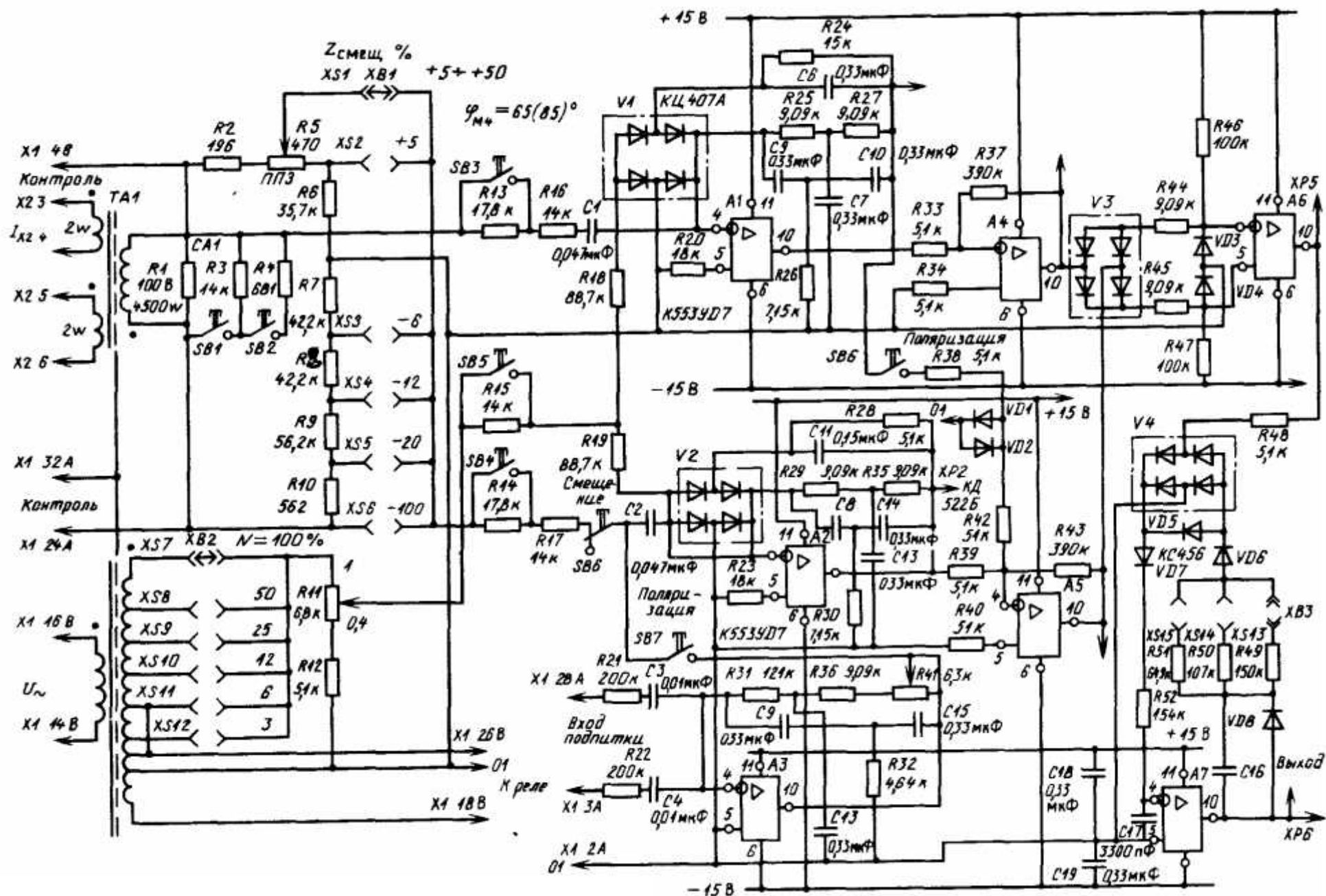
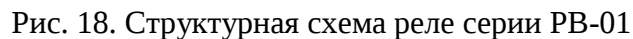


Рис. 17. Принципиальная электрическая схема блок-реле сопротивления типа БРЭ-2801

На рис. 18 и 19 показаны структурная и принципиальная электрическая схемы реле серии РВ-01. Управление работой реле осуществляется подачей (снятием) напряжения питания на клеммы (с клемм) 1 и 9.



При подаче напряжения на реле происходит быстрый заряд конденсатора $C1$ через резистор $R1$ и диод $VD5$, а также через диод $VD12$ и резисторы $R15 \text{--} R33$ до начального напряжения, равного падению напряжения, равного падению напряжения на стабилитроне $VD1$. После превышения этой величины напряжение на аноде диода $VD4$ становится больше напряжения на его катоде, диод $VD4$ открывается, и так как при этом потенциал анода диода $VD5$ становится меньше потенциала его катода, определяемого падением напряжения на резисторах $R15 \text{--} R33$, диод $VD5$ запирается. Ток резистора $R1$ идёт через диод $VD4$, а дальнейший заряд конденсатора $C1$ происходит по цепи резисторов $R15 \text{--} R33$, причём напряжение на этой цепи стабилизировано стабилитронами $VD1 \text{--} VD3$, а параметры цепи заряда выбраны таким образом, чтобы заряд проходил на начальном практически линейном участке экспоненты. В тот момент, когда напряжение на конденсаторе $C1$ и, соответствен-

но, на эмиттере транзистора $VT7$ превысит напряжение на его базе, задаваемое потенциалом на движке потенциометра $R5$, переход эмиттер-база транзистора $VT7$ открывается. Это приводит к разветвлению зарядного тока как в эту цепь, так и в цепь коллектора транзистора $VT7$ и как только величина этого тока превысит ток запирающего напряжения смещения транзистора $VT7$, определяемый резистором $R3$, транзистор $VT8$ начинает открываться и в цепи его коллектора начинает протекать ток. Появление шунтирующего тока приводит к снижению напряжения на $R4$. Так как напряжение на конденсаторе $C1$ не может измениться скачком, то это приводит к возрастанию разности потенциалов эмиттера и базы транзистора $VT8$, что в свою очередь приводит к увеличению тока в цепи эмиттера транзистора $VT7$ и к дальнейшему снижению напряжения на резисторе $R4$. Этот процесс развивается лавинообразно и завершается насыщением транзисторов $VT7$, $VT8$ и $VT10$, а также срабатыванием реле K от предварительно заряженного через резистор $R13$ конденсатора $C3$.

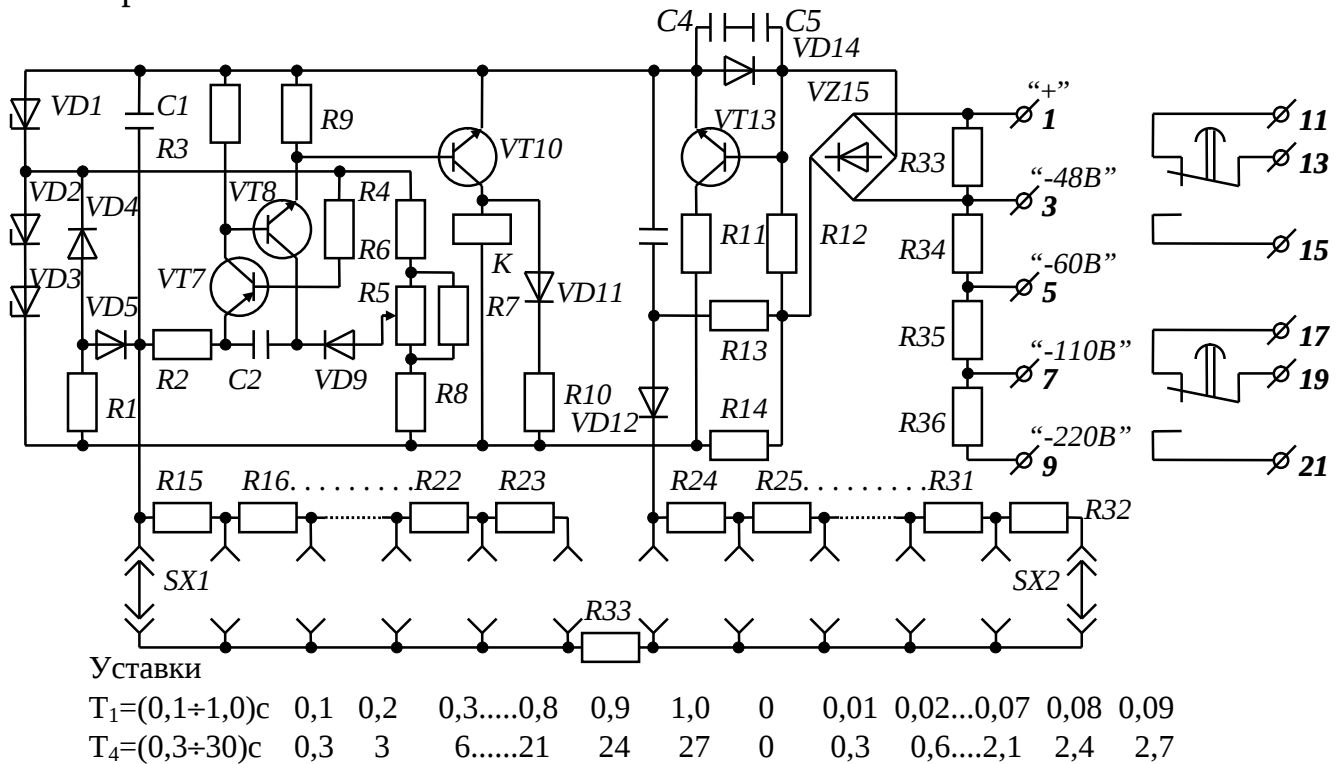


Рис. 19. Принципиальная электрическая схема реле времени РВ-01

Удержание реле K в сработавшем состоянии после срабатывания обеспечивается разрядом конденсатора $C1$ на резистор $R2$ через открытые переходы эмиттер-база транзисторов $VT7$, $VT8$ и $VT10$. После разряда конденсатора $C1$ ниже напряжения стабилизации стабилитрона $VD1$ открывается диод $VD5$ и ток резистора $R1$ проходит через этот диод и цепь эмиттера транзистора $VT7$, благодаря чему обеспечивается поддержание насыщенного состояния транзисторов $VT7$ и $VT8$, а, следовательно, и $VT10$.

Возврат схемы в исходное состояние происходит после снятия напряжения 220 В с клемм 1 и 9 реле.

Для быстрого разряда конденсаторов схемы реле серии РВ-01 после снятия напряжения с реле, что позволяет существенно сократить время подготовки реле к последующему срабатыванию и сделать его меньше минимальной уставки реле, в схему реле введён специальный каскад на транзисторе VT13.

При наличии питающего напряжения этот транзистор заперт за счёт падения напряжения на диоде VD14 от тока потребления схемы. При снятии напряжения питания транзистор VT13 переходит в режим насыщения за счёт тока разряда конденсатора C3 через резистор R12. При этом конденсатор C3 разряжается на сопротивление резистора R11, величина которого в четыре раза меньше сопротивления резистора R12.

Одновременно через диод VD6 и открытый транзистор VT13 обеспечивается разряд конденсатора C1 на резистор R2. При этом падение напряжения на этом резисторе обеспечивает запирающие транзисторы VT7 и VT8 пороговой схемы. Это исключает возможность кратковременного срабатывания реле К при снятии напряжения питания с реле. Шунтирование диода VD14 конденсаторами C4 и C5 предназначено для обеспечения некоторого замедления разрядного каскада, что позволяет отстроиться от кратковременных помех на стороне постоянного оперативного тока питания реле.

Чтобы заряд конденсатора C3, который необходим для надёжного срабатывания реле К, не вызывал дополнительной погрешности выдержек времени, питание цепи заряда конденсатора C3 и стабилитронов VD1 и VD3 производится через отдельные резисторы R13 и R14, связанные между собой диодом VD12. При этом сразу после подачи напряжения на реле ток через стабилитроны VD1 и VD3 появляется скачком, а параметры цепи заряда C3-R13 выбираются такими, чтобы время заряда конденсатора C3 было меньше минимальной уставки реле. Диод VD12 открывается только после заряда конденсатора C3 до напряжения, определяемого стабилитронами VD1 и VD3, следовательно, к моменту срабатывания пороговой схемы питания всей схемы реле происходит через параллельно соединённые диодом VD12 резисторы R13 и R14.

Цепочка VD11 - R10 предназначена для ограничения перенапряжений на коллекторе транзистора VT10, вызванном прекращением протекания тока через индуктивность обмотки реле К при его возврате.

Регулировка выдержки времени осуществляется изменением величин зарядного сопротивления путём дискретного переключения резисторов R15 и R32 на двух колодках. Переключатель SX1 (переключатель старшего разряда уставки) обеспечивает переключение через 10% максимальной уставки, а переключатель SX2 - через 1% от максимальной уставки. Потенциометр R5 обеспечивает калибровку шкалы реле.

3.9. Полупроводниковое промежуточное реле серии РП-18

Промежуточные реле РП-16 - РП-18 являются аналогами реле серий РП-16 - РП-23, РП-17 - РП-220 и РП-18 - РП-250 соответственно. Эти реле рабо-

тают на электромагнитном принципе. Модификации реле РП-16 и РП-17 на номинальное напряжение $220В$ отличаются между собой сочетанием замыкающихся и размыкающихся контактов, причём в отличие от реле РП-23 конструкция этих реле не допускает изменения сочетания контактной системы, а также наличием дополнительных токовых обмоток. Время срабатывания реле РП-16 не более 50 мс , а время срабатывания реле типа РП-17 не более 11 мс . Реле серии РП-18 на номинальное напряжение 220 В дополнительно имеют блоки с полупроводниковой схемой замедления при включении (РП-18-1 - РП-18-3) и отключении (РП-18-4 - РП-18-9).

Структурная схема реле серии РП-18 представлена на рис 20.

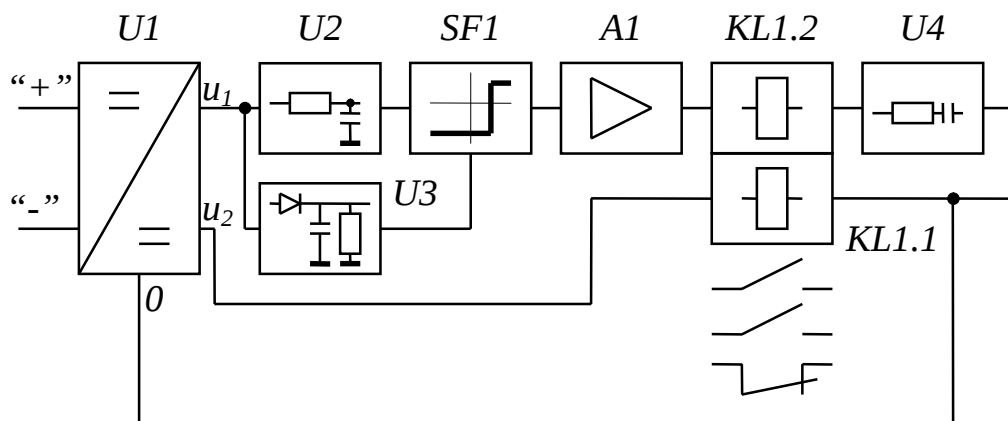


Рис. 20. Структурная схема реле типа РП-18

Она включает в себя следующие блоки:

- блок питания $U1$;
- времязадающие RC -цепи $U2$ и $U3$;
- пороговую схему $SF1$;
- выходной усилитель $A1$;
- двухобмоточное реле $KL1$;
- RC -цепь $U4$.

Принципиальные электрические схемы реле приведена на рис. 21 и 22.

Реле РП-18 с замедлением при включении работают следующим образом.

При включении напряжения питания начинается заряд конденсатора $C1$ через резисторы $R1$ и $R2$, а на базе транзистора $VT2$ устанавливается напряжение, определяющим положение движка резистора $R3$. Это напряжение регулируется на заводе таким образом, чтобы непосредственно после включения напряжения питания оно не превышало величину напряжения на эмиттере $VT2$ (при этом транзистор $VT2$ и, следовательно, транзистор $VT3$ остаются в закрытом состоянии. Закрытым остаётся и выходной транзистор $VT4$. После того, как напряжение на конденсаторе $C1$ достигнет величины, незначительно превышающей напряжение на базе транзистора $VT2$, транзистор $VT2$ открывается, что, в свою очередь, вызывает открытие транзистора $VT3$ вследствие чего к базе транзистора $VT4$ через резистор $R5$ прикладывается напряжение конденсатора $C1$. Транзистор $VT4$ открывается, что приводит к включе-

нию реле $KL1$. Путём изменения резистора $R2$ замедление включения реле регулируется в пределах $0,05 - 0,25$ с.

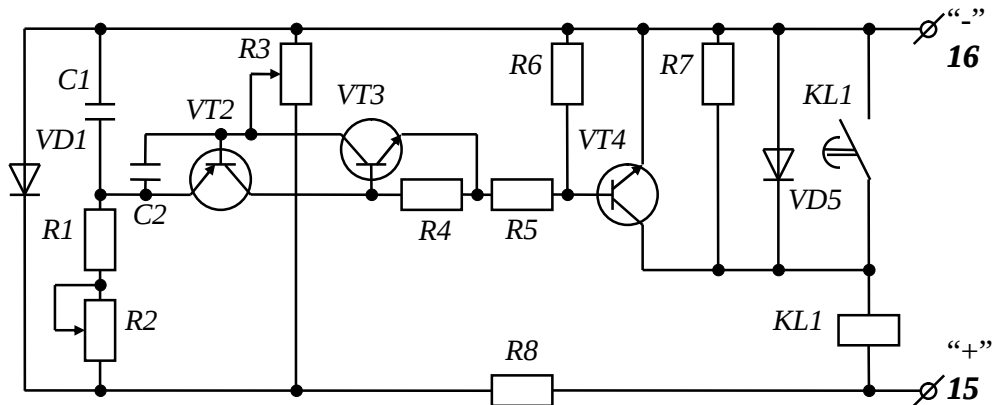


Рис. 21. Принципиальная электрическая схема реле серии РП-18 с замедлением при включении

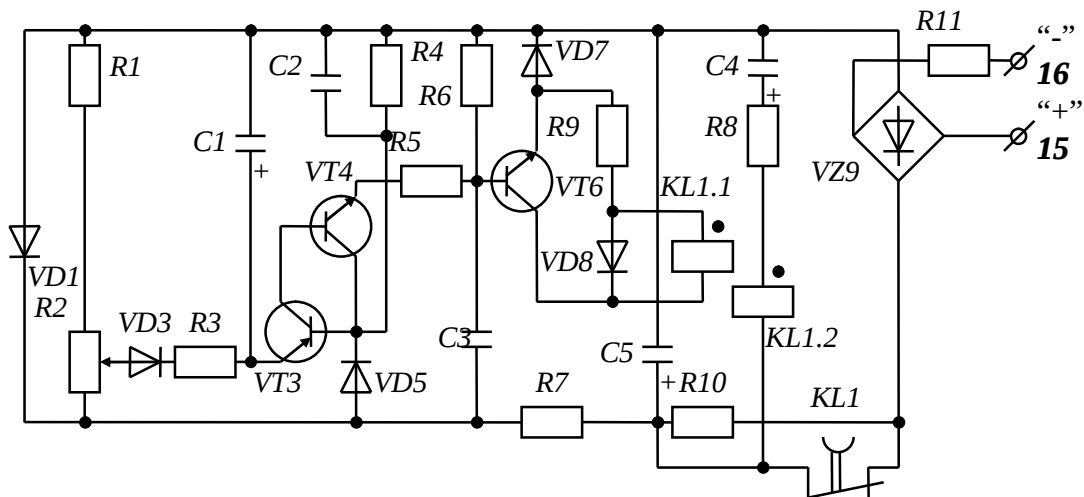


Рис. 22. Принципиальная электрическая схема реле серии РП-18 с замедлением при отключении

Резисторы $R4$ и $R7$, конденсатор $C2$ и диод $VD5$ служат для защиты элементов схемы от перенапряжений и для повышения помехоустойчивости реле, причём ток, протекающий в период отсчёта схемой выдержки времени по резистору $R7$ и обмотке реле $KL1$, мал и недостаточен для срабатывания реле.

После срабатывания реле $KL1$ его замыкающийся контакт, задействованный в схеме реле, шунтирует транзистор $VT4$ и обмотка реле получает питание через свой блок-контакт. Такая схема включения обеспечивает также надёжный возврат реле после снятия напряжения питания за время, не превышающее $0,05$ с.

Реле РП-18 с замедлением при отключении при подаче на него напряжения срабатывает в течение времени, не превышающего $0,05$ с за счёт тока, протекающего по цепи: выпрямительный мост $VD9$ - размыкающийся контакт реле $KL1$ - обмотка $KL1.2$ - диод $VD8$ - транзистор $VT6$ - диод $VD7$. открытое состояние транзистора $VT6$ при этом обеспечивается током заряда конденсатора $C3$. Одновременно происходит заряд конденсатора $C2$ до на-

пряжения стабилизации стабилитрона *VD1* и заряд конденсатора *C1* до напряжения, определяемого положением движка резистора *R2*. При этом напряжение на базе транзистора *VT3* непосредственно после включения реле превышает напряжение на его эмиттере и транзистор *VT3* и, следовательно, транзистор *VT4* заперты.

После заряда конденсатора *C3* транзистор *VT6* запирается и происходит заряд накопительного конденсатора *C4* по цепи *VD9* - *R10* - обмотка реле *KL1.2* - диод *VD8* - обмотка реле *KL1.1* - резистор *R8* - конденсатор *C4*. При этом якорь реле остаётся в притянутом состоянии за счёт остаточной намагниченности сердечника и за счёт тока заряда конденсатора *C4*. При снятии напряжения с клемм *19* и *20* конденсатор *C2* начинает разряжаться через резистор *R4*, а напряжение на конденсаторах *C1* и *C4* не изменяются, поскольку все пути разряда отделены запертыми *p-n* переходами транзисторов и диодов. Реле *KL1* остаётся при этом в сработавшем состоянии за счёт остаточной намагниченности сердечника. По мере разряда конденсатора *C2* запирающее напряжение на базе транзистора *VT3* уменьшается по величине и в момент времени, когда это напряжение становится меньше напряжения на эмиттере *VT3*, определяемого потенциалом, снимаемым с движка резистора *R2*, транзистор *VT3* (а, значит, и транзистор *VT4*) отпирается. При этом конденсатор *C1* разряжается через транзисторы *VT3* и *VT4*, резисторы *R5* и *R6*, и током этого разряда открывается транзистор *VT6*. Конденсатор *C4* начинает разряжаться на обмотку *KL1.1* электромагнитного реле, создавая ампер-витки, противоположные ампер-виткам, вызвавшим его срабатывание. Сердечник реле размагничивается и его якорь отпадает. Резисторы *R10* и *R11* и конденсатор *C5* служат для защиты элементов схемы от перенапряжений и для повышения помехоустойчивости реле.

Параметры конденсатора *C2* и резистора *R4* выбраны такими, чтобы в течение *1,0 - 1,5* с разряд конденсатора происходил на практически линейном начальном участке экспоненты, при этом время отпадения реле определяется только напряжением, снимаемым с движка потенциометра *R2*. Благодаря такому выполнению схемы время отпадения реле плавно регулируется в пределах *0,4 - 1,2* с изменением положения движка потенциометра *R2*. Для гарантированного возврата реле напряжение питания на него должно подаваться в течение времени, превышающем *0,05 - 0,1* с. Временные диаграммы работы реле представлены на рис. 23.

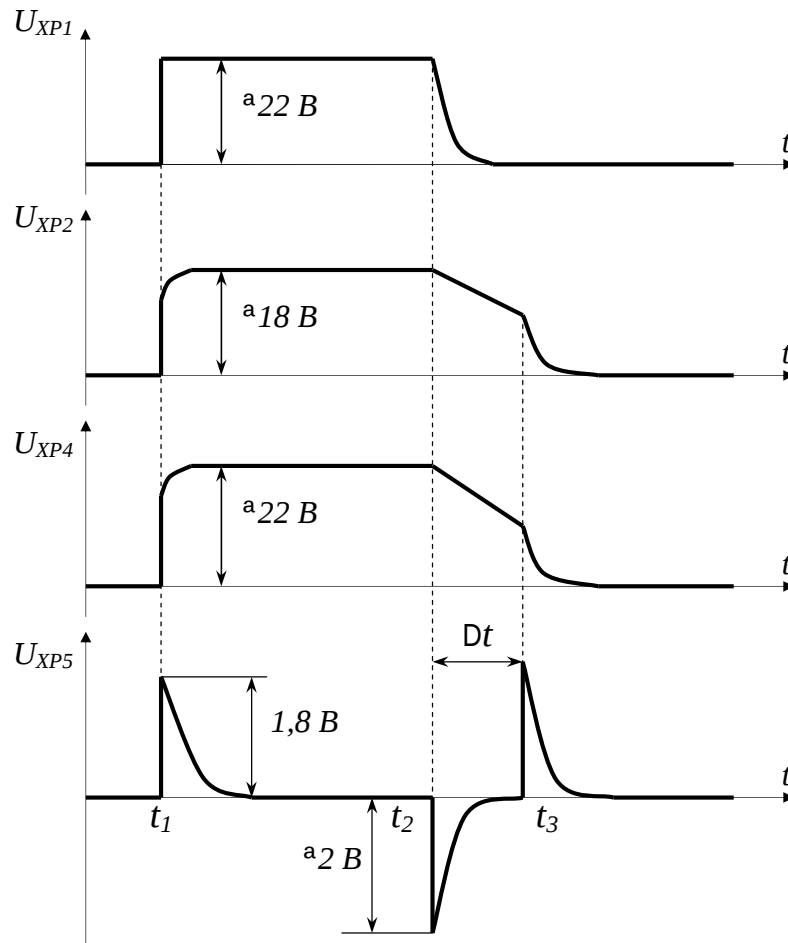


Рис. 23. Временные диаграммы работы реле РП-18:
 t_1 – момент подачи напряжения питания и срабатывания реле;
 t_2 – момент снятия напряжения питания с реле;
 t_3 – момент отпускания реле

3.10. Реле тока нулевой последовательности типа РТЗ-51

Реле РТЗ-51 предназначено для контроля токов малого уровня, например токов нулевой последовательности в схемах защит при замыканиях на землю в цепях генераторов, электродвигателей и линий с малым током замыкания на землю.

Реле РТЗ-51 является одним из новых типов реле на микроэлектронной базе. С точки зрения обработки входной информации реле может быть условно разделено на несколько частей (рис. 24):

- воспринимающую, в которую входят трансформатор тока $TA1$, нагруженный на резисторы $R2 - R7$, которые одновременно служат для преобразования тока в напряжения и для дискретной регулировки уставки тока срабатывания;
- преобразующую, состоящую из активного полосового фильтра, настроенного на частоту 50 Гц, и выполненного на операционном усилителе $A1$;

- сравнивающую в которую входят пороговый элемент, выполненный на операционном усилителе A_2 , времяизмерительная цепь (VD_5 , R_{15} , R_{16} , C_8) и триггер Шмитта, построенный на операционном усилителе A_3 ;
- исполнительный орган, состоящий из транзистора VT и реле KL включённого в коллекторную цепь транзистора.

Технические данные реле

Пределы регулирования тока срабатывания	0,02 – 0,12 А
Относительная предельная основная погрешность тока срабатывания (отклонение среднеарифметического значения тока срабатывания от уставки)	не более 10%
Время срабатывания реле при двукратном токе относительно тока срабатывания	не более 0,06 с
Длительно допустимый ток	0,11 А
Кратность увеличения тока срабатывания реле	
- на частоте 150 Гц	не менее 4
- на частоте 400 Гц	не менее 15
Односекундная термическая стойкость реле	60 А
Мощность, потребляемая на входе реле по токовым цепям на минимальной уставке (0,02 А)	не превышает 0,01 Вт
Реле имеет один замыкающийся контакт, способный коммутировать электрические цепи напряжением от 20 до 250 В и током до 2,5 А	
Коммутационная способность контакта	
- в цепи постоянного тока с постоянной времени не более 0,02 с	30 Вт
- в цепи переменного тока с коэффициентом мощности не менее 0,4	250 В\А
Номинальное напряжение питания реле:	
- переменный ток промышленной частоты	100 В
- постоянный ток	110 или 220 В
Мощность, потребляемая реле в цепи питания при номинальном напряжении, не превышает:	
- на переменном токе в режиме ожидания	5 В\А
- на переменном токе в режиме срабатывания	5,5 В\А
- на постоянном токе как в режиме ожидания, так и срабатывания	10 Вт
Изоляция реле выдерживает в течении 1 мин без пробоя и перекрытия испытательное напряжение 2000 В (эффективное значение) переменного тока промышленной частоты 50 Гц, приложенное между любыми электрически не связанными токоведущими частями и корпусом.	
Реле размещается в корпусе типа «Сура».	

Когда входной ток превышает уставку срабатывания реле, т.е. напряжение на выходе $A1$, пропорциональное текущему значению тока, превышает порог срабатывания компаратора на $A2$, задаваемый с помощью резистора $R14$, на выходе этого компаратора возникает напряжение прямоугольной формы. Причём длительность отрицательных импульсов этого напряжения определяется временем превышения выходного напряжения фильтра над напряжением порога компаратора $A2$. Конденсатор $C8$ заряжается или разряжается в зависимости от полярности выходного сигнала $A2$, причём постоянные времени заряда и разряда выбираются таким образом, чтобы схема срабатывала при определённом значении входного сигнала. Если соотношение интервалов времени, в течение которых входная воздействующая величина больше или меньше установленного порога $A2$, превышает заданное значение, конденсатор $C8$ заряжается до уровня, достаточного для переключения триггера Шмитта. Высокий уровень сигнала триггера при его срабатывании переводит транзистор VT в режим насыщения. При этом срабатывает выходное реле KL .

Временные диаграммы работы реле в режиме ожидания и срабатывания представлены на рис. 25.

При проверке реле измерение сигналов в контрольных точках производится относительно точки нулевого потенциала (точки соединения двух параметрических стабилизаторов блока питания). Это отражает общепринятое представление сигналов при описании функциональных узлов. В реальной конструкции реле эта точка труднодоступна и поэтому все измерения рекомендуется производить относительно клеммы 10. При этом потенциалы в контрольных точках получают приращение, равное напряжению источника питания.

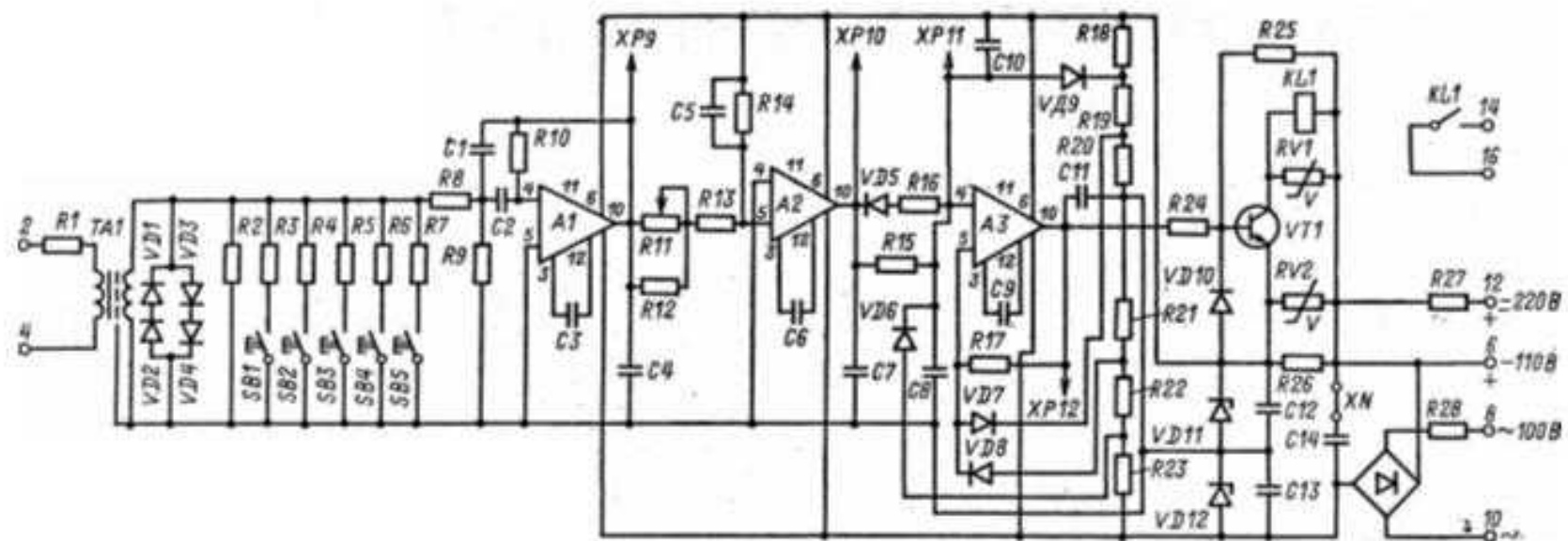


Рис. 24. Принципиальная электрическая схема реле тока нулевой последовательности типа РТЗ-51

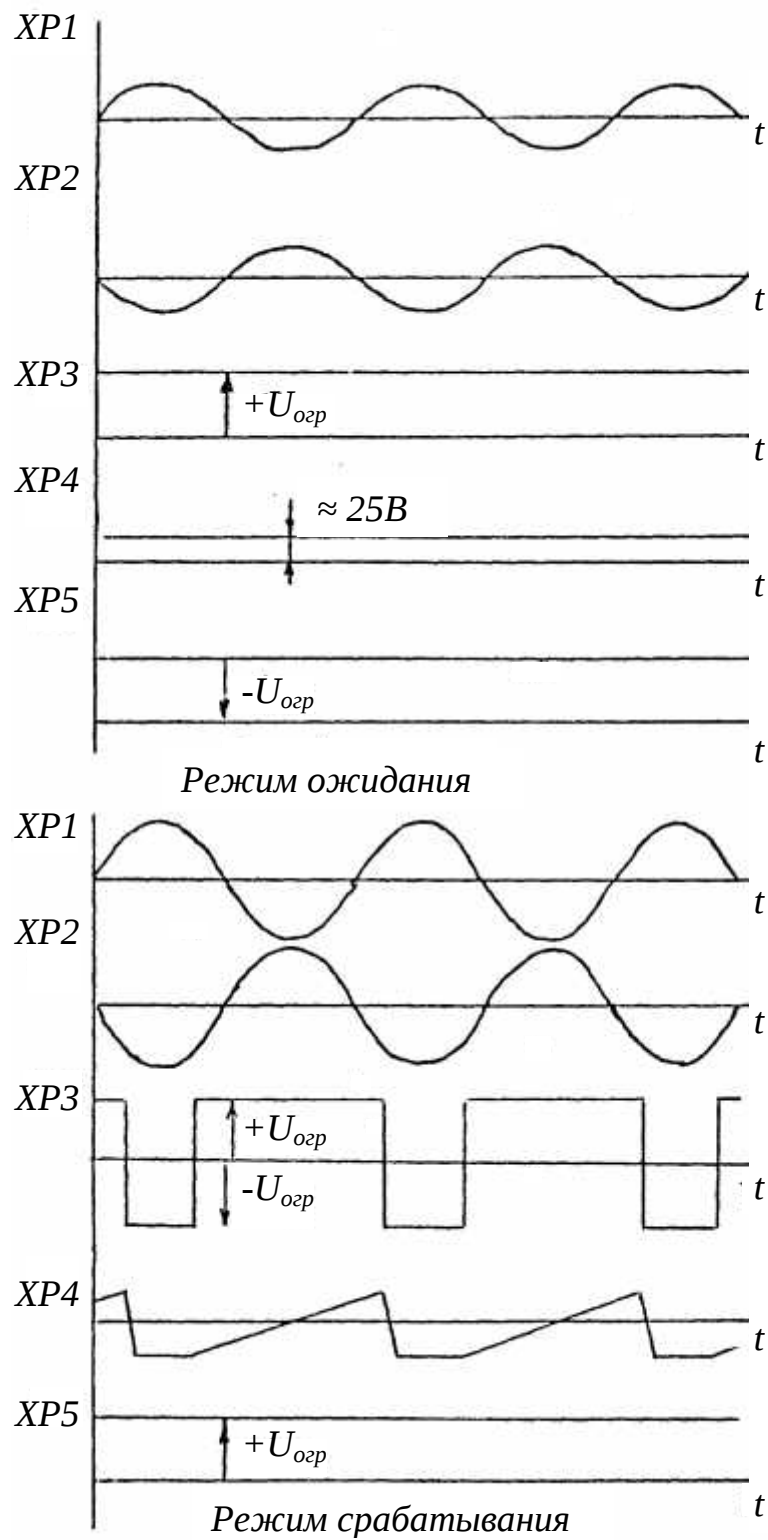


Рис. 25. Временные диаграммы работы реле тока нулевой последовательности типа РТЗ-51

3.11. Полупроводниковое реле мощности серии РСМ-13

Сейсмостойкие реле направления мощности типа РСМ-13 предназначены:

- ♦ в модификации реле максимальной мощности - для блокировки резервной защиты при самозапуске электродвигателей собственных нужд, вызванных внешними короткими замыканиями;
- ♦ в модификации реле минимальной мощности - для пуска аварийной защиты реактора при уменьшении активной мощности главных циркуляционных насосов.

Реле РСМ-13-11 подключаются к токовым цепям с $I_{ном}=1,0$ А и цепям напряжения с $U_{ном}=100$ В. Диапазон изменения уставок составляет 2-100 Вм вторичных со ступенью дискретного регулирования 2 Вм. Реле РСМ-13-18 подключаются к токовым цепям с $I_{ном}=5,0$ А и цепям напряжения с $U_{ном}=100$ В. Диапазон изменения уставок составляет 10-500 Вм вторичных со ступенью дискретного регулирования 10 Вм.

Коэффициент возврата реле не более 1,2 для реле минимальной мощности и не менее 0,85 для реле максимальной мощности. Угол максимальной чувствительности реле составляет $0 \pm 5^\circ$, зона надёжной работы реле не менее 85° в каждую сторону от угла максимальной чувствительности. Питание реле осуществляется от сети постоянного тока напряжением 220 В.

Структурная схема реле представлена на рис. 26 и 27, а принципиальная электрическая схема на рис. 28. На рис. 29 и 30 приведены временные диаграммы напряжений на выходе отдельных элементов реле.

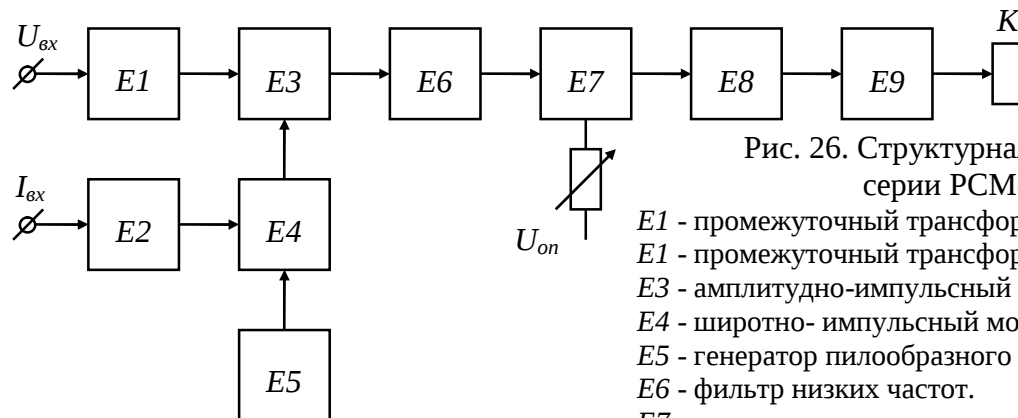


Рис. 26. Структурная схема реле серии РСМ-13:

- $E1$ - промежуточный трансформатор напряжения.
- $E1$ - промежуточный трансформатор тока.
- $E3$ - амплитудно-импульсный модулятор.
- $E4$ - широтно- импульсный модулятор.
- $E5$ - генератор пилообразного напряжения.
- $E6$ - фильтр низких частот.
- $E7$ - компаратор.
- $E8$ - интегратор.
- $E9$ - пороговый элемент.
- K - выходное реле

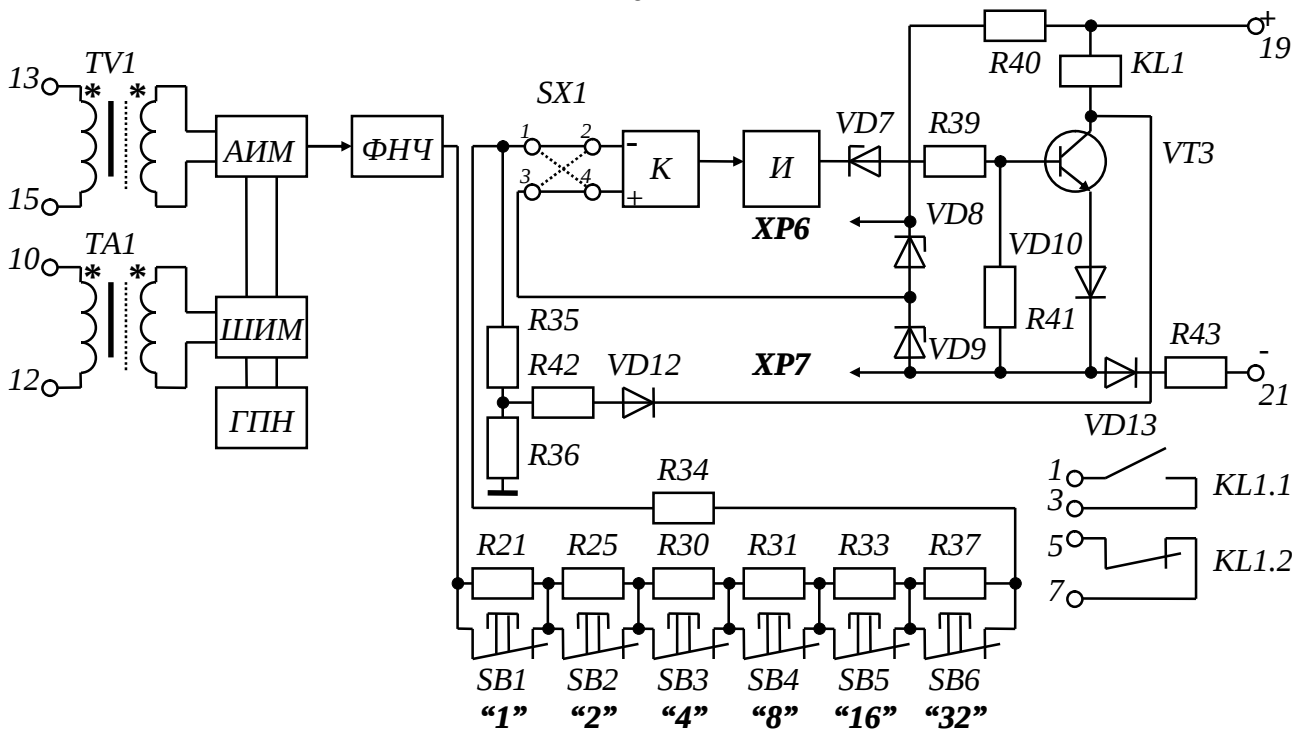


Рис. 27. Структурно-функциональная схема реле направления мощности типа РСМ-13

Реле состоит из:

- * промежуточного трансформатора тока *ТА1*;
- * промежуточного трансформатора напряжения *ТВ1*;
- * генератора пилообразного напряжения *ГПН*;
- * широтно-импульсного модулятора *ШИМ*;
- * амплитудно-импульсного модулятора *АИМ*;
- * фильтра низких частот *ФНЧ*;
- * измерительной части, содержащей:
 - ⇒ одноходовой компаратор *К*;
 - ⇒ резисторную цепь *R21, R25, R30, R31, R33, R37, R34* для регулировки уставок реле;
 - ⇒ интегратор *И*;
 - ⇒ пороговый элемент на транзисторе *VT3*;
 - ⇒ исполнительный орган - выходное реле *KL1*.

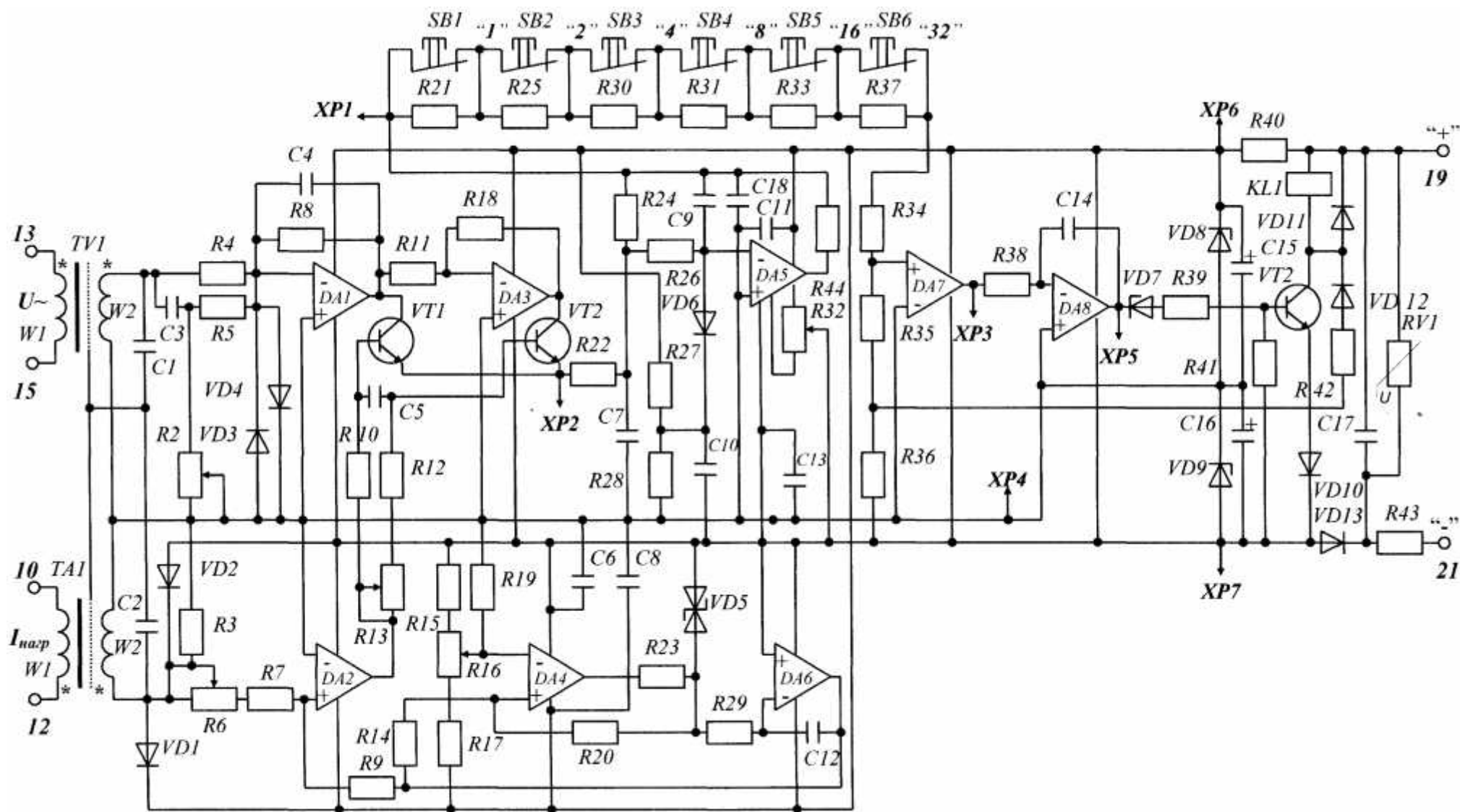


Рис. 28. Принципиальная электрическая схема реле направления мощности типа РСМ-13

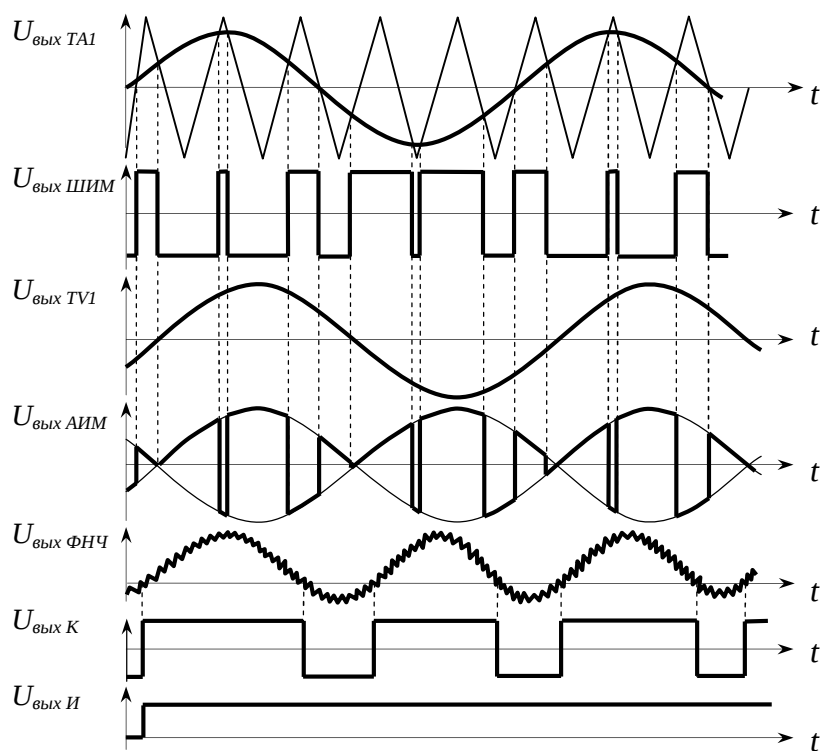


Рис. 29. Временная диаграмма работы реле серии РСМ-13 при мощности, соответствующей уставке по срабатыванию

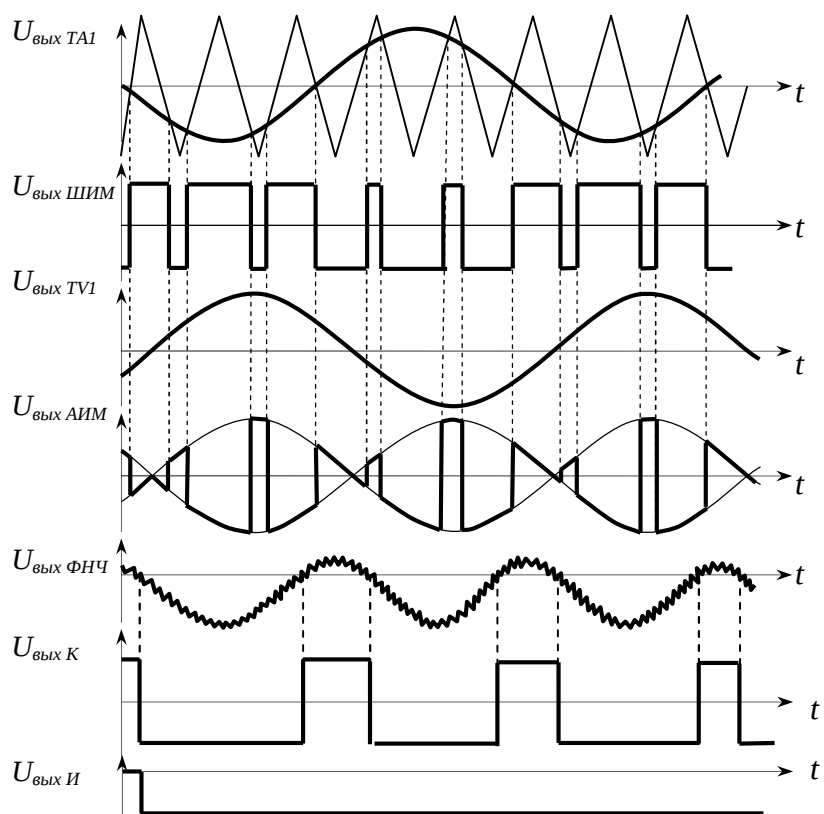


Рис. 30. Временная диаграмма работы реле серии РСМ-13 при мощности ниже уставки по срабатыванию

С помощью трансформатора тока $TA1$ входной ток преобразуется в пропорциональное напряжение, которое в широтно-импульсном модуляторе сравнивается по величине с напряжением с выхода генератора пилообразных импульсов $ГПН$. Если разность напряжений $U_{вых ГПН}$ и $U_{вых TA1}$ меньше нуля, то на выходе $ШИМ$ присутствует максимальное отрицательное напряжение ($-15 В$). Если разность этих напряжений больше нуля, то на выходе $ШИМ$ присутствует максимальное положительное напряжение ($+15 В$). Так как частота $U_{вых ГПН}$ значительно превышает частоту $U_{вых TA1}$, то на выходе $ШИМ$ образуются прямоугольные импульсы амплитудой $\pm 15 В$. При этом длительность импульсов, совпадающих по знаку с $U_{вых TA1}$, пропорциональна мгновенному значению входного тока реле. Импульсы с выхода $ШИМ$ поступают на вход амплитудно-импульсного модулятора $АИМ$, на второй вход которого поступает напряжение с выхода трансформатора напряжения $TV1$ $U_{вых TV1}$, пропорциональное напряжению на входе реле. На выходе $АИМ$ формируется импульсное напряжение, причём амплитуда всех импульсов пропорциональна мгновенному значению входного напряжения реле. При этом длительность импульсов положительной полярности на выходе $АИМ$ прямо пропорциональна мгновенному значению тока на входе реле в течение времени, когда полярности входных значений тока и напряжения совпадают, и обратно пропорциональна мгновенному значению тока на входе реле в течение времени, когда полярности входных значений тока и напряжения находятся в противофазе. Следовательно, постоянная составляющая выходного напряжения $АИМ$ пропорциональна величине и знаку (направлению) мощности на входе реле, и наибольшая положительная величина этой постоянной составляющей при заданных величинах тока и напряжения будет, когда ток и напряжение совпадают по фазе, т.е. по принципу действия угол максимальной чувствительности реле $j_{м.ч.} = 0^0$. Для выделения постоянной составляющей из выходного напряжения $АИМ$ сигнал с выхода $АИМ$ проходит через активный фильтр низких частот $ФНЧ$, резисторную цепь для регулирования уставок по величине мощности и сравнивается по величине с напряжением на делителе $R35, R36$ при помощи компаратора K . Так как неинвертирующий вход компаратора K имеет нулевой потенциал, то в те моменты, когда мгновенное положительное значение напряжения на выходе резисторной цепи больше напряжения на делителе $R35, R36$, напряжение на выходе компаратора K максимальное положительное ($+15 В$). В остальные моменты времени напряжение на выходе компаратора K максимальное отрицательное ($-15 В$). Двухполярные импульсы с выхода компаратора K проходят через интегратор $И$ и, если напряжение на выходе интегратора $И$ положительное, а его величина превышает порог стабилитрона $VD7$, то через резистор $R39$ открывает транзистор $VT3$. При этом срабатывает выходное реле $KL1$, а также с помощью цепи: диод $VD12$ - резистор $R42$ уменьшается напряжение на делителе $R35, R36$, что обеспечивает необходимый коэффициент возврата и тем самым устойчивую работу реле РСМ13 при срабатывании. Диод $VD10$ и резистор $R41$ служат для обеспечения режима отсечки транзистора $VT3$ в закрытом состоянии, а диод $VD13$ для защиты схемы от ошибки в полярности при подключе-

нии реле к питающему напряжению. Стабилитроны $VD8$ и $VD9$ и резисторы $R40$ и $R43$ предназначены для получения двухполярного напряжения $\pm 15 В$, необходимого для питания генератора $ГПН$, модуляторов $ШИМ$ и $АИМ$, активного фильтра $ФНЧ$, компаратора K и интегратора $И$.

Величина мощности срабатывания реле при угле максимальной чувствительности на соответствующей вторичной уставке определяется по формуле

$$P = P_{min}(1 + SN),$$

где SN - сумма чисел по шкале уставок, около которых шлицы на головках переключателей уставок $SB1 - SB5$ установлены горизонтально.

4. ТЕХНИКА ОБСЛУЖИВАНИЯ АППАРАТУРЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ, СОДЕРЖАЩЕЙ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ МИКРОСХЕМЫ

4.1. Наладка статических реле защиты

Наладка статических реле защиты несколько отличается по объёму от наладки электромеханических реле и имеет свои особенности.

Обычно применяется следующая последовательность работ при наладке статических реле защиты:

- 1) внешний осмотр и проверка состояния монтажа;
- 2) механическая регулировка реле и переключателей;
- 3) измерение сопротивления изоляции;
- 4) проверка питания реле оперативным током;
- 5) измерение напряжений постоянного тока в контрольных точках;
- 6) проверка напряжений (токов) срабатывания электромагнитных реле и герконов;
- 7) проверка датчиков тока и напряжения;
- 8) снятие электрических характеристик реле;
- 9) проверка реле рабочим током и напряжением.

Внешний осмотр реле производится при снятой наружной оболочке и откинутой печатной плате. Цель осмотра – визуальная оценка состояния реле. В ходе осмотра определяют качество печатного монтажа, желательно с помощью лупы. Это позволяет легче выявлять такие дефекты, как обрывы печатных проводников, образование лишних проводящих мостиков от растёкшегося припоя, нарушение лакового покрытия, плохие пайки выводов радиокомпонентов и микросхем, а также проводов, соединяющих печатную плату с выносными деталями и внешними зажимами реле. Зазор между печатными проводниками должен быть не меньше 0,25 мм. Кроме того, необходимо проверить, как стянуты магнитопроводы трансформаторов и трансреакторов. При наличии в них доступного для осмотра воздушного зазора следует определить, соответствует ли зазор требуемому значению. Механическое крепление проверяют у всех деталей, смонтированных отдельно. Производят затяжку винтовых соединений на всех платах деталей и на зажимах цоколя. Необходимо опробовать от руки действие подвижной части и контактов электромеханических выходных реле, кнопок и переключателей. Расстояние контактов реле должно быть порядка 1 мм, а совместный ход при замыкании контактов – около 0,5 мм. При наличии моментомера измеряют нажатие контактов, которое должно быть 6 – 9 г, и усилие, действующее на толкатель со стороны плоской пружины. Значение усилия должно быть не менее 10 г. Для регулировки этого усилия пользуются специальным винтом, расположенным наверху контактной системы.

Чистят контакты реле острым лезвием ножа или мелким надфилем, специально выделенным для этой цели. После чистки следует протереть контакты мягкой неворсистой тряпочкой.

Измерение изоляции проводят, соблюдая меры предосторожности, чтобы во время испытаний не повредить микросхемы и другие полупроводниковые

приборы. Одной из причин повреждений могут являться импульсные перенапряжения, проникающие в полупроводниковую часть реле через разделительные трансформаторы и связывающие конденсаторы при пробое изоляции в смежных цепях. Возможность повреждений такого рода резко снижается, если на время испытаний объединить накоротко входные зажимы, относящиеся к отдельным группам цепей тока, напряжения, оперативного тока и т.д.

Измерение изоляции производится мегомметром на 500 В относительно металлического каркаса или монтажной скобы, на которых крепятся промежуточные трансформаторы и печатная плата реле. Поочерёдно проверяется изоляция каждой отдельной группы цепей при замкнутых на каркас объединённых зажимах остальных цепей.

При наличии у датчиков тока нескольких первичных обмоток необходимо также проверить изоляцию между этими обмотками при соединённых накоротко выводах каждой из них.

Отдельно проверяется изоляция контактов электромеханических реле и герконов относительно каркаса и между разомкнутыми контактами.

Проверка питания реле оперативным током производится при номинальном значении напряжения оперативного тока. Измеряются напряжения ± 15 В питания полупроводниковой части и напряжения во всех контрольных точках делителя питания. Затем измеряют напряжения постоянного тока в контрольных точках основных узлов реле, а также на обмотках выходных реле в неработающем состоянии. В большинстве случаев при измерениях пользуются переносными многопредельными ампервольтметрами постоянного тока. В этом случае целесообразно проводить замеры напряжений в контрольных точках относительно шинки минус 15В (вместо нулевой).

Ещё необходимо проверить, что при понижении напряжения питания до 0,7 номинального при постоянном и до 0,6 номинального при переменном оперативном токе уровни стабилизированных напряжений ± 15 В остаются в допустимых пределах. Если питание реле возможно также от трансформаторов тока, то следует проверить стабильность напряжений ± 15 В при изменениях подаваемого на входы оперативных цепей переменного тока в диапазоне, указанном в заводской документации.

Напряжение срабатывания выходных реле и герконов определяется при питании от регулируемого источника постоянного тока. Напряжение подаётся непосредственно на обмотку с соблюдением полярности в соответствии с исполнительной схемой реле. На время проверки напряжение питания со входных зажимов реле должно быть снято. Полученное напряжение срабатывания должно составлять от 0,55 до 0,65 номинального напряжения выходного реле, значение которого указывается на обмотке реле или в технической документации. При отклонении значения напряжения срабатывания от указанных пределов необходимо произвести подрегулировку механической части реле.

При измерениях напряжений постоянного тока в схемах статических реле защиты можно пользоваться вольтметром постоянного тока с внутренним сопротивлением порядка 20 кОм/В.

Измерение тока намагничивания трансформатора датчика напряжения проводится при наладке для выявления неисправностей в обмотках и магнитопроводе. Ток намагничивания определяется при подаче на первичную обмотку напряжения, равного 1,1 номинального, при отключённой вторичной нагрузке. При отсутствии заводских данных о значениях тока намагничивания полученные замеры сравнивают с результатами замеров аналогичных трансформаторов у реле того же типа.

У датчиков тока проводят измерение напряжения на вторичной нагрузке, подавая в первичную обмотку номинальный ток.

Снятие основных характеристик реле производится в объёме, принятом для электромеханических реле того же назначения. Расширение объёма требуется только для индивидуальной проверки отдельных функциональных элементов, параметры которых влияют на характеристики реле.

Не разрешается подавать воздействующие электрические величины на реле при снятом оперативном токе.

В конце настройки необходимо измерить напряжения в контрольных точках и на обмотках выходных реле, когда на вход реле поданы воздействующие величины, достаточные для его срабатывания (не менее чем на 10 % выше уставки срабатывания).

Рекомендуется производить замеры напряжений в контрольных точках по заранее составленным таблицам данных об ожидаемых значениях напряжений для сработавшего и несработавшего состояний реле.

После включения реле в схему защиты необходимо ещё раз проверить значения питающих напряжений на делителе напряжения оперативного тока.

В полной схеме защиты проводятся необходимые замеры под рабочим током и напряжением или от постороннего источника, как это делается для электромеханических реле того же назначения. Объём таких замеров определяется типовой программой проверки защиты под нагрузкой.

4.2. Использование осциллографа

Использование осциллографа для наблюдения за работой статических реле тока и напряжения. Такая проверка применяется вместо измерения напряжений в контрольных точках в сработавшем состоянии реле. Она удобна тем, что наряду с определением значений напряжений позволяет установить временные соотношения между сигналами. Лучше пользоваться двухлучевым осциллографом.

При снятом оперативном токе соединяют входы осциллографа с наиболее характерными контрольными точками реле (например, у статических реле РСТ-11 это точка *ХР1* – выход первого компаратора и точка *ХР2* – вход триггера Шмитта). Нуль осциллографа соединяется с нулевой шинкой реле.

Подают оперативный ток на реле. Устанавливают удобное для наблюдения отклонение луча осциллографа в соответствии со значением ожидаемого сигнала. Затем подают в реле переменный ток и постепенно доводят реле до срабатывания. При появлении знакопеременных импульсов напряжения в контрольной точке необходимо отрегулировать режим осциллографа, чтобы

на экране было неподвижное изображение процесса длительностью в два – четыре периода промышленной частоты. С помощью масштабных коэффициентов оценивают соответствие значений напряжений и длительностей сигналов на экране заводским характеристикам.

4.3. Измерение временных задержек на операционных усилителях

В качестве примера рассмотрим, как она определяется у реле РСТ-15 по заводской инструкции. Через ключ пуска миллисекундомера подают напряжение минус 15 В (точка ХР4) на вход компаратора А2 (точка ХР3). Останов миллисекундомера осуществляют контактом выходного реле. Запускают миллисекундомер и по его показаниям определяют суммарное время, в которое помимо интересующей задержки входит собственное время срабатывания выходного реле. Затем переключают конец с точки ХР3 на обмотку выходного реле - в точку 3 на печатной плате. Запускают миллисекундомер и измеряют время срабатывания выходного реле. Разность полученных времен является искомым временем задержки.

Другим, довольно наглядным способом измерения является визуальный - с помощью электронно-лучевого осциллографа. Для этого переводят полупроводниковую часть реле в автоколебательный режим и проводят осциллографирование процесса. При снятом оперативном токе соединяют точку ХР7 через ключ и резистор 43 кОм с точкой ХР3. Между точками ХР3 и ХР5 включают конденсатор ёмкостью 0,25 мкФ и параллельно ему диод анодом к точке ХР3. На входы осциллографа подключают точки ХР5 и ХР6. Подают оперативный ток на реле. Включают ключ и устанавливают режим осциллографа, позволяющий определить искомую задержку в масштабе времени.

4.4. Снятие характеристик активных фильтров

У активных частотных фильтров рекомендуется снимать амплитудно-частотные характеристики. Для этого при снятом оперативном токе подключают ко входу фильтра настроечный генератор сигналов звуковой частоты синусоидальной формы, имеющий регулировку выходного напряжения от 0 до 5 В. К выходу фильтра подключают ламповый вольтметр типа ВЗ-38 или подобный ему. Подают оперативный ток на реле. На настроечном генераторе устанавливают напряжение порядка 1 - 2 В и, плавно изменяя частоту, снимают частотную характеристику фильтра, поддерживая значение входного напряжения постоянным. Полученную характеристику сравнивают с заводской. Если расхождение между ними составляет более 5 %, то производят подрегулировку фильтра.

У токовых реле можно снимать частотную характеристику фильтра, подавая на вход реле ток порядка 10 % тока срабатывания реле.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации: РД 34.20.501-95. - 15-е изд., перераб. и доп. - М.: СПО ОРГРЭС, 1996.
2. Правила устройства электроустановок. - 6-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1986.
3. Правила технического обслуживания устройств релейной защиты и электроавтоматики электрических сетей 0,4 - 35 кВ. 3-е изд., перераб. и доп. - М.: СПО Союзтехэнерго, 2000.
4. Правила технического обслуживания устройств релейной защиты, электроавтоматики, дистанционного управления и сигнализации электростанций и подстанций 110 - 750 кВ. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: СПО Союзтехэнерго, 2000.
5. Сборник руководящих материалов Главтехуправления Минэнерго СССР. Электротехническая часть. - 4-е изд., перераб. и доп. Ч. 1.- М.: СПО ОРГРЭС, 1992 (разд. 4 «Защита и электроавтоматика»).
6. Ванин В.К., Павлов Г.М. Релейная защита на элементах вычислительной техники. - 2-е изд., перераб. и доп. - М: Энергоатомиздат, 1991.
7. Шмурьев В.Я. Цифровые реле защиты. - М.: НПФ «Энергопрогресс», 1999.
8. Головин П.И. Энергосистема и потребители электрической энергии. 2-е изд. - М.: Энергоатомиздат, 1990.
9. Гук Ю.Б. Теория надёжности в электроэнергетике. - М: Энергоатомиздат, 1990.
10. Шабад М.А. Техничко-экономическое обоснование автоматизации распределительных сетей // Энергетик. 1998. - 9.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1.	Интегральные микросхемы - техническая основа для создания аппаратуры релейной защиты	3
2.	Основные узлы реле защиты, выполненных на операционных усилителях	7
3.	Типы серийных реле защиты, выполненных на операционных усилителях	10
3.1.	Статические реле максимального тока серий РСТ-11- РСТ-14	12
3.2.	Реле максимального и минимального напряжений серии РСН-14 - РСН-17	15
3.3.	Реле максимального напряжения обратной последовательности серии РСН-13	17
3.4.	Реле тока обратной последовательности серии РТФ-8 и РТФ-9	17
3.5.	Дифференциальные реле тока серий РСТ-15 и РСТ-16	21
3.6.	Реле направления мощности серий РМ-11 и РМ-12	28
3.7.	Блок-реле сопротивления БРЭ-2801	37
3.8.	Полупроводниковое реле времени серии РВ-01	50
3.9.	Полупроводниковое промежуточное реле серии РП-18	52
3.10.	Реле тока нулевой последовательности типа РТЗ-51	56
3.11.	Полупроводниковое реле мощности серии РСМ-13	61
4.	Техника обслуживания аппаратуры релейной защиты, содержащей интегральные микросхемы	67
4.1.	Наладка статических реле защиты	67
4.2.	Использование осциллографа	69
4.3.	Измерение временных задержек на операционных усилителях	70
4.4.	Снятие характеристик активных фильтров	70
	Список литературы	71