

# Исполнительные выходы приборов Термодат

Русских Александр, начальник испытательной лаборатории  
приборостроительного предприятия «Системы контроля»

## Оглавление

Введение	стр. 2
1. Релейные выходы	3
2. Симисторные выходы	6
3. Комбинированные РС выходы	9
4. Транзисторные выходы	13
4.1 Силовые блоки	14
4.2 Блоки фазоимпульсного управления	16
4.3 Блоки аналоговых выходов	18
5. Проверка работоспособности выходов	18
Заключение	20
Список литературы	20
Приложение 1. Расчёт параметров РС-цепи	21
Приложение 2. Защита силовых выходов	24

## Введение

В статье мы рассмотрим все типы исполнительных выходов, которые встречаются в линейке приборов «Термодат», выпускаемых ООО НПП «Системы контроля», остановимся на особенностях применения, характеристиках и рекомендациях по подключению и безопасному использованию.

К исполнительным выходам можно подключить различные устройства для осуществления функций нагрева, охлаждения и аварийной сигнализации на контролируемых объектах. По типу выходного ключевого элемента выходы можно разделить на следующие типы:

- релейные (обозначение **P**, рис.1.1)
- симисторные (обозначение **C**, рис.1.2)
- транзисторные (обозначение **T**, рис.1.3)
- комбинированные реле + симистор (обозначение **PC**, рис.1.4)

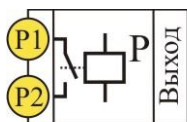


рис 1. Обозначение исполнительных выходов на этикетках приборов «Термодат»

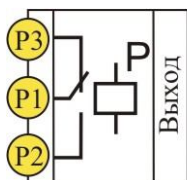


рис.1.1  
релейный

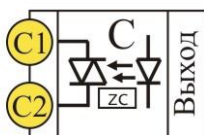


рис.1.2  
симисторный

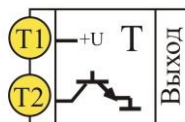


рис.1.3  
транзисторный

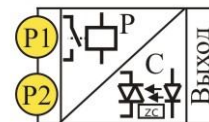


рис.1.4  
комбинированный

Особое место занимают аналоговые выходы, они не являются ключевыми, а позволяют плавно изменять выходной ток в заранее определённых стандартных пределах. Аналоговые выходы мы рассмотрим в отдельной статье.

Каждый из типов выходов может выполнять либо регулирующую, либо аварийную функцию в составе прибора. К регулирующим функциям относятся нагрев и охлаждение объекта. Расчёт выводимой на нагреватель/охлаждитель мощности производится прибором с помощью законов регулирования (двух- и трёх- позиционный, ПИД – пропорционально-интегрально-дифференциальный). Непосредственно на исполнительный выход мощность выводится с помощью специальных методов (ШИМ – широтно-импульсная модуляция, РСП – метод распределённых сетевых периодов, ФИУ – фазоимпульсное управление). Детальное описание этих законов и методов есть в отдельных статьях, поэтому мы будем рассматривать только применимость различных методов вывода мощности к существующим типам выходов. К аварийным функциям относится включение аварийных оповещателей и устройств защиты объекта в случае выхода контролируемых параметров за пределы установленных допустимых значений. Назначение функций выходов, законов регулирования, методов вывода мощности и аварийных параметров производится пользователем при первоначальной настройке прибора для работы с реальным объектом.

Во всех приборах «Термодат» существуют программные запреты на некорректное использование физически несовместимых метода вывода мощности и типа выхода. К примеру, у нас не получится установить метод РСП (распределённых сетевых периодов) на релейный выход, такое сочетание привело бы к быстрому выходу релейного выхода из

стройка. Таким образом, программные запреты в определённой степени защищают исполнительные выходы от неправильных действий пользователя.

Эта статья содержит не только описание типов исполнительных выходов, их номинальные и предельные параметры, но и рекомендации по их использованию и применению внешних средств защиты для получения максимального ресурса работы приборов.

Использование и расчёт искрогасящих цепей рассмотрены в **Приложении 1**. Рекомендации по защите выходов от перегрузок по току и коротких замыканий в нагрузке в **Приложении 2**.

## 1. Релейные выходы

Электромагнитное реле – самое известное и наиболее широко применяемое на практике электротехническое изделие, характеризуется высокой надёжностью и достаточной мощностью для управления исполнительными устройствами, гарантирует высоковольтную гальваническую развязку между объектом управления и управляющей системой. Именно поэтому релейные выходы являются самыми распространёнными исполнительными выходами в приборах Термодат.

Релейные выходы приборов Термодат реализованы на реле средней мощности OMRON G5LA [2] или аналогичных им по характеристикам. Согласно техническому описанию реле имеют следующие основные эксплуатационные характеристики:

Максимальное переменное напряжение нагрузки:	<b>250 VAC</b>
Максимальное постоянное напряжение нагрузки:	<b>125 VDC</b>
Максимальный ток нагрузки:	<b>10A(NO)</b> – нормально разомкнутые контакты <b>5A(NC)</b> – нормально замкнутые контакты

Это предельные паспортные характеристики для реле OMRON G5LA, использовать их для долговременной работы реле не рекомендуется, поэтому в технических характеристиках прибора приводятся иные максимальные значения по току:

Максимальный коммутируемый ток (на активной нагрузке):	<b>7 А, 220 В</b> для нормально-разомкнутого контакта <b>3 А, 220 В</b> для нормально-замкнутого контакта
--------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Такие параметры позволяют реле работать в более «мягком» режиме, что положительно сказывается на продолжительной безотказной работе прибора. Рассмотрим причины этого.

Существует важный дополнительный параметр – ресурс реле, это количество циклов включения/выключения до вероятного отказа реле. Производитель заявляет величину до 1 млн. циклов, это очень хороший показатель. Однако, он справедлив для минимального тока через контакты и фактически отражает ресурс механической системы реле. А нам, прежде всего, важен ресурс именно контактов, через которые протекает ток нагрузки.

Рассмотрим основные факторы, которые влияют на ресурс контактов реле средней мощности. Основными являются электрическое и термическое воздействия на контакты реле. Электрическое воздействие – это влияние тока и напряжения на контакты реле, которое может вызывать следующие эффекты: нагрев и сплавнение контактов, миграция материала (при постоянном токе), химические реакции, электрическая эрозия, электрический пробой и, как следствие, изменение электрического сопротивления

контактов. Термическое воздействие – это влияние кратковременной электрической дуги, которая неизбежно возникает между контактами при их замыкании и размыкании, начиная с некоторых пороговых значений тока и напряжения. Электрическая дуга вызывает следующие эффекты: плавление, износ и холодная сварка контактов, увеличение сопротивления контакта. Таким образом, можно сделать общий вывод – **чем меньше воздействие тока, напряжения и электрической дуги на контакты реле, тем больше ресурс реле.**

Как правило, напряжение питания нагрузки фиксировано стандартными значениями и составляет 220 V для переменного и 24 V для постоянного тока. Именно при этих значениях нагрузки обеспечивают выполнение своих функций, поэтому уменьшать напряжение нет никакого смысла. А с током, проходящим через контакты реле, ситуация куда более интересная. Согласно техническому описанию [2] существует очень важная зависимость ресурса контактов реле от среднего тока через контакты. Эта зависимость приведена на рис.2.

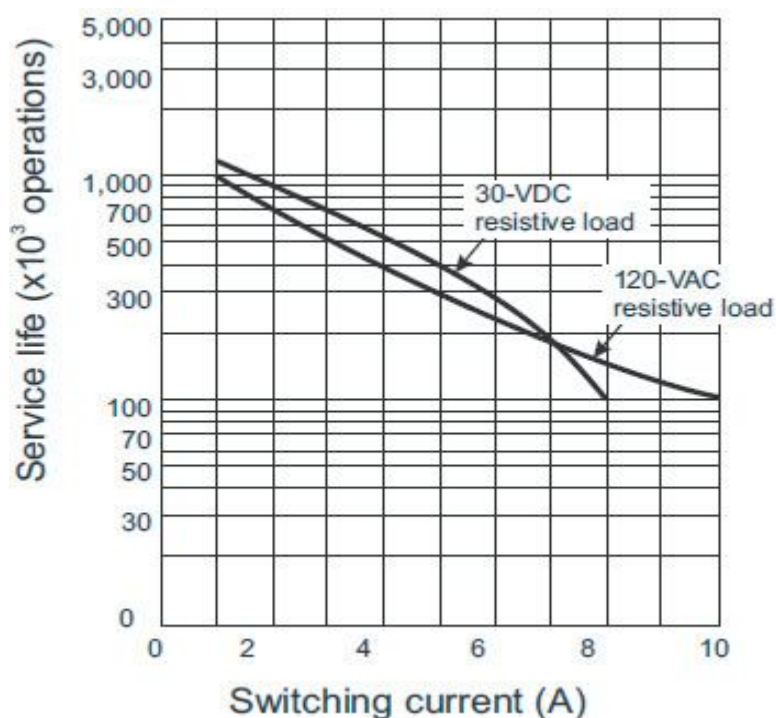


рис.2. Зависимость (кривая **120-VAC resistive load**) ресурса реле от тока через контакты для активной нагрузки (техническое описание [2] для реле OMRON G5LA).

Из графика возникает два важных совета для сохранения ресурса реле:

- **не рекомендуется управлять мощной нагрузкой напрямую с помощью выходного реле прибора «Термодат», необходимо (по возможности) ограничить ток контактов значением 3А.**
- **необходимо настроить прибор таким образом, чтобы реле включалось как можно более редко.**

Реле идеально подходит для аварийной сигнализации и позиционного регулирования инерционным объектом, к примеру – при включении охладителя (вентилятора) четыре раза в час при токе 7А (ресурс 200 тыс.) – ресурс составит более 5 лет непрерывной работы. Можно успешно использовать релейный выход и для ШИМ регулирования с достаточно большим периодом ШИМ, к примеру – при включении нагревателя при токе 3А (ресурс 500 тыс.) с периодом 5 минут – ресурс составит около 5

лет непрерывной работы. Но 3А соответствует мощности нагрузки всего около 600 Вт, это маловато для промышленных нагрузок, мощность которых может составлять десятки киловатт.

Возникает резонный вопрос: а как поступить, если ток нагрузки превышает значение 3 ампера? Существует несколько способов сделать это, в этой главе рассмотрим способ управления большим током с помощью мощного промежуточного электромеханического ключа, остальные способы рассмотрим в следующих главах. В качестве мощного электромеханического ключа рекомендуется использовать контактор.

**Контакторы** конструктивно являются соленоидными реле с мостовым контактом, разрывающим цепь управления одновременно в двух точках, способны коммутировать мощные индуктивные нагрузки с током от десятков до сотен ампер.

Для подключения к прибору необходимо запитать управляющую обмотку контактора через контакты исполнительного реле прибора. Схема подключения на рис.3.

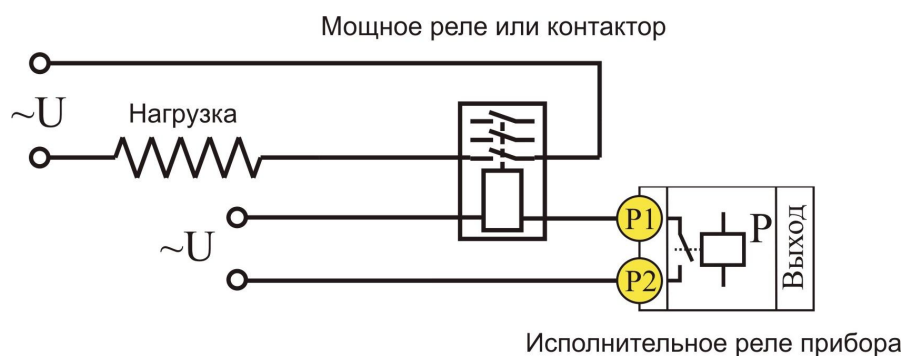


рис 3. Схема подключения контактора.

Казалось бы, всё прекрасно, весь большой ток нагрузки коммутируется мощным промежуточным ключом, контакты которого рассчитаны на это, а через контакты нашего реле протекает небольшой ток управляющей катушки контактора, который обычно составляет несколько сотен миллиампер. Но появился ряд других проблем:

- в выключенном состоянии якорь контактора не втянут, индуктивность управляющей катушки мала, поэтому при включении контактора до момента полного втягивания якоря через катушку течёт достаточно большой пусковой ток. Для малогабаритного контактора ИЕК КМИ-34012 (3 фазы, 40А, 220В) величина пускового тока составляет около 2А при длительности (время втягивания якоря) порядка 20 миллисекунд. Именно этот пусковой ток нужно принимать во внимание при расчёте ресурса исполнительного реле прибора, хотя ток катушки после втягивания якоря не превышает 0.3А.

- Во включенном состоянии якорь контактора втянут, индуктивность управляющей катушки становится значительной (возрастает примерно в 10 раз) и составляет около 5 генри (для контактора ИЕК КМИ-34012). При коммутации (особенно при размыкании) цепей с большой индуктивностью нагрузки появляется большое напряжение самоиндукции, которое вызывает кратковременное появление электрической дуги между контактами реле. Это явление может происходить не только при размыкании контактов, но и при их замыкании из-за наличия дребезга. Электрическая дуга представляет для контактов большую опасность, она значительно сокращает ресурс реле, несмотря на то, что средний ток через контакты имеет безопасное значение.

Для борьбы с электрической дугой необходимо применять искрогасящие цепи [1]. Подробное описание видов искрогасящих цепей, их расчёт и применение приводятся в **Приложении 1**.

Стоит отметить, что в реальных условиях мало кто озадачивается расчётом и установкой искрогасящих цепей. Причины тому – отсутствие в продаже готовых решений,

неудобство монтажа из отдельных элементов, надежда пользователей на достаточный ресурс реле и без искрогасящих цепей. Как мы увидим в следующей главе, идеальным решением для управления контактором является симисторный выход, хотя, по непонятным причинам, пользователи всё ещё мало применяют его для этих целей.

## 2. Симисторные выходы

Симисторные выходы приборов Термодат реализованы на симисторах NXP ВТА208-800В [3]. Для обеспечения гальванической развязки симисторного выхода от схемы прибора используется оптосимистор COSMO3083 [4] или аналогичный со встроенным определителем нуля. Обозначение симисторного выхода на этикетке прибора приведено на рис.1.2. Исходя из характеристик применяемого симистора были определены рекомендуемые эксплуатационные параметры симисторных выходов приборов Термодат:

Максимальное переменное напряжение нагрузки	не более <b>800 V</b>
Долговременный ток нагрузки (симистор в приборе используется без радиатора охлаждения, поэтому не рекомендуется превышать указанное значение)	не более <b>1 A</b>
Пиковый ток нагрузки (длительность не более 20 миллисекунд)	<b>65 A</b>

В соответствии с физическими свойствами симистора, можно управлять только моментом его открытия, закрывается симистор самостоятельно при прохождении приложенного к нему напряжения через ноль. Таким образом, **симисторный выход может работать только на переменном напряжении нагрузки**, когда питающее напряжение регулярно пересекает ноль и даёт возможность симисторному выходу закрываться. На постоянном напряжении выход будет оставаться открытым, пока мы не отключим питающее напряжение нагрузки. Управление открытием симисторного выхода в приборах Термодат происходит через оптосимистор, который срабатывает только при переходе напряжения нагрузки через ноль. Отсюда следует замечательное свойство:

***Включение и выключение симисторного выхода происходит только при прохождении напряжения на нём через ноль.***

Так как нагрузка включается и отключается при нулевом напряжении питания, это создаёт минимально возможные коммутационные помехи в питающей сети и позволяет «дозировать» подаваемое на нагрузку напряжение порциями, которые кратны одному полупериоду сети. Таким образом, для симисторного выхода, по сравнению с релейным, доступен ещё один метод регулирования – РСП (метод распределённых сетевых периодов). В основе метода РСП лежит равномерное распределение включенных и выключенных периодов сети во времени для получения требуемой мощности на нагрузке. К примеру, если подавать напряжение на нагрузку через период, мощность составит 50 процентов. Метод широко описан в дополнительных статьях, поэтому подробно рассматривать его мы не будем. Отметим только, что для реализации этого метода необходимо достаточно частое, несколько десятков раз в секунду, включение и отключение нагрузки. Релейные выходы из-за своей механической инерционности не способны справиться с этой задачей, кроме того, наличие искры при каждом замыкании и размыкании контактов породило бы массу коммутационных помех и неизбежно привело бы к быстрому выходу контактной группы из строя. Симистор является полностью электронным устройством, в нём нет движущихся механических частей, поэтому он легко справляется с этой задачей, может производить процедуру включения и отключения хоть в каждом полупериоде сети (100 раз в секунду), при этом не создаёт коммутационных

помех. Таким образом, симисторные выходы являются своеобразным «идеальным реле» для переменного тока. Поэтому устройства для коммутации нагрузки с помощью симисторов часто называют **твердотельными реле**.

Рассмотрим способы подключения нагрузки к симисторному выходу. Самым простым является прямое управление нагрузкой с помощью симисторного выхода (рис.4). При таком подключении есть одно существенное ограничение – ток через симистор не должен быть более 1 ампера, поэтому по этой схеме мы можем подключить нагрузку мощностью не более 200 Вт. Если в качестве нагрузки используется нагреватель, то рекомендуется использовать РСП метод вывода мощности. Такой метод позволяет более точно, чем ШИМ или двухпозиционный методы, поддерживать требуемую мощность, выводимую на нагреватель, существенно улучшить точность поддержания температуры нагревателя и избежать скачков температуры в процессе регулирования, которые присущи другим методам.

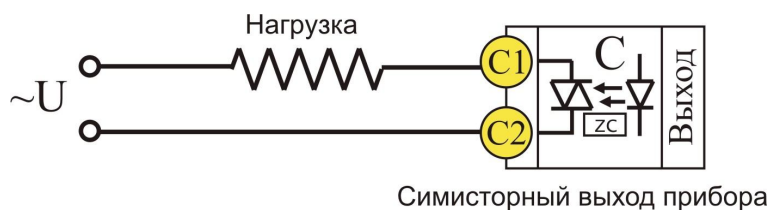


рис 4. Схема подключения нагрузки к симисторному выходу.

Аналогично релейному выходу, для управления большим током нагрузки можно использовать контактор. Симисторный выход очень хорошо подходит для управления обмоткой контактора, если установившийся ток потребления обмотки не превышает величину в 1 ампер. Схема подключения аналогична релейному выходу (рис. 5).

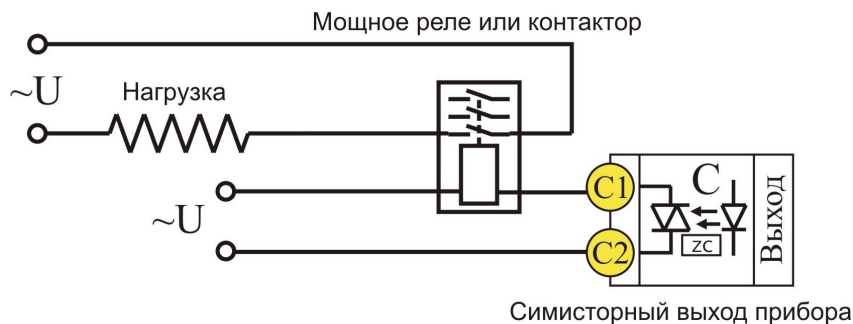


рис 5. Схема подключения контактора к симисторному выходу.

При таком включении симисторный выход может работать только по двухпозиционному или ШИМ методу регулирования, причём период ШИМ нельзя устанавливать слишком малым, для сохранения ресурса контактора. В момент включения обмотки контактора возникает достаточно мощный пусковой ток, величина которого превышает разрешённый для симисторного выхода долговременный ток в 1 ампер. Однако, такой бросок тока длится не более нескольких десятков миллисекунд и симистор прекрасно справляется с ним, так как пиковый ток нагрузки для данного типа симисторов может составлять до 65 ампер при длительности импульса не более 20 миллисекунд. Но, во избежание перегрева симистора нельзя повторять процесс такого включения слишком часто – это ещё одна причина увеличить период ШИМ при управлении контактором с помощью симисторного выхода. Рекомендуемая величина периода ШИМ при таком включении – не менее минуты. Следует отметить, что в цепи симисторного выхода не требуется устанавливать элементы искрогасящих цепей.

В качестве мощного промежуточного ключа вместо контактора можно применить мощный симистор или пару тиристоров, а симисторный выход прибора использовать для управления ими. Такое включение позволяет применить РСП метод управления мощностью нагрузки. Однако, как показывает практика, при больших токах нагрузки применение метода РСП вызывает мигание освещения в производственных помещениях, поэтому не рекомендуется использовать РСП при токах нагрузки более 10 ампер. При больших токах рекомендуется использовать ШИМ или двухпозиционный методы регулирования мощности. Следует отметить, что для симисторных выходов минимальный период ШИМ составляет 2 секунды, частая коммутация симисторов не вызывает уменьшение ресурса, как у реле. Типовые схемы подключения мощных полупроводниковых симистора и тиристоров к симисторному выходу прибора Термодат показаны на рис.6.

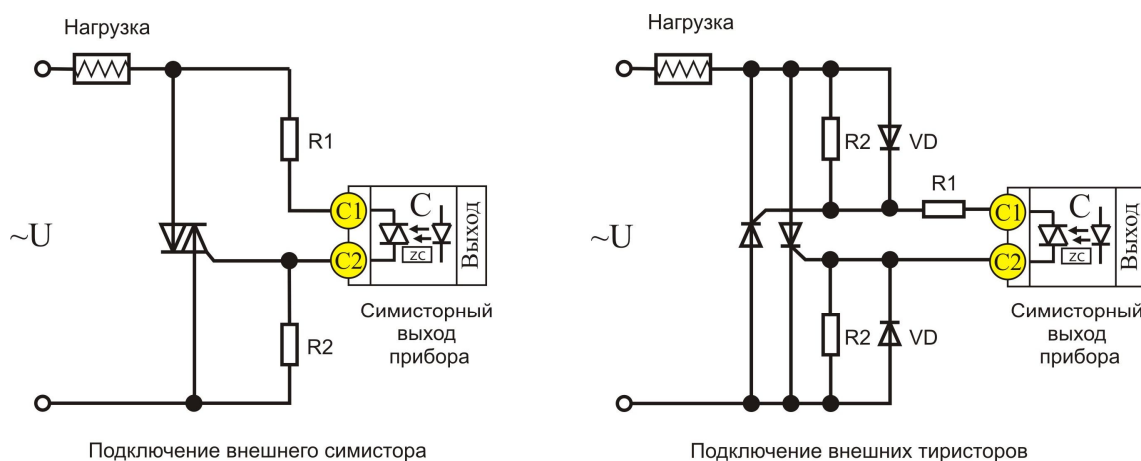


рис 6. Схемы подключения мощных полупроводниковых ключей к симисторному выходу.

Дополнительные элементы R1, R2, VD являются необходимыми. Рассмотрим их назначение. Управляющие электроды мощных симисторов и тиристоров достаточно чувствительны к помехам, поэтому нужно подтягивать управляющий электрод к катоду с помощью резистора R2, чтобы обеспечить надёжное закрытие симистора или тиристора при отсутствии открывающего сигнала. Резистор R1 стоит в цепи симисторного выхода и служит для ограничения броска тока, возникающего при его открытии. Симисторный выход открывается в нуле напряжения сети, поэтому бросок тока невелик и из этих соображений можно было бы R1 убрать. Однако возможна ситуация, когда мощный симистор или тиристор выходят из строя, тогда весь большой ток нагрузки начинает протекать через открытый симисторный выход и приводит к его поломке. В этом случае наличие R1 спасёт симисторный выход, резистор просто перегорит, сыграв роль своеобразного предохранителя. Рекомендуемые номиналы  $R1, R2 = 50...100$  Ом, мощность не менее 0.5 Вт. Диоды VD в схеме подключения внешних тиристоров служат для того, чтобы в каждый полупериод питающей сети (положительный или отрицательный) открывался соответствующий по полярности тиристор, а другой был надёжно закрыт. Рекомендуемый диод 1N4007, он рассчитан на обратное напряжение до 1000 вольт и прямой ток до 1 ампера, этих параметров с запасом хватит для любых внешних тиристоров.

В заключение главы о симисторных выходах остановимся на защите симисторов и тиристоров от электрических повреждений и самопроизвольного открывания. При использовании симисторов и тиристоров накладываются ограничения не только на максимальные рабочий ток и напряжение, но и на скорость изменения рабочего тока  $di/dt$  при открытом ключе и скорость изменения напряжения  $du/dt$  между основными



электродами закрытого ключа. Превышение первого параметра  $di/dt$  может повлечь за собой повреждение симистора или тиристора. Обычно это происходит при переходе ключа в открытое состояние при высоком напряжении на нём, но в нашем случае открытие ключа происходит в нуле питающей сети, при минимальных значениях напряжения и тока, поэтому величина  $di/dt$  при открытии ключа небольшая и не представляет опасности. Превышение второго параметра  $du/dt$  может вызвать самопроизвольное открытие ключа (симистор или тиристор открываются без подачи на них управляющего сигнала). Такая ситуация вполне возможна в производственных условиях при наличии в питающей сети высоковольтных импульсных помех от каких либо промышленных установок. Эффективный способ решения этой проблемы – включение снабберной (демпфирующей) RC-цепи параллельно выходу ключевого каскада, как показано на рис.7.

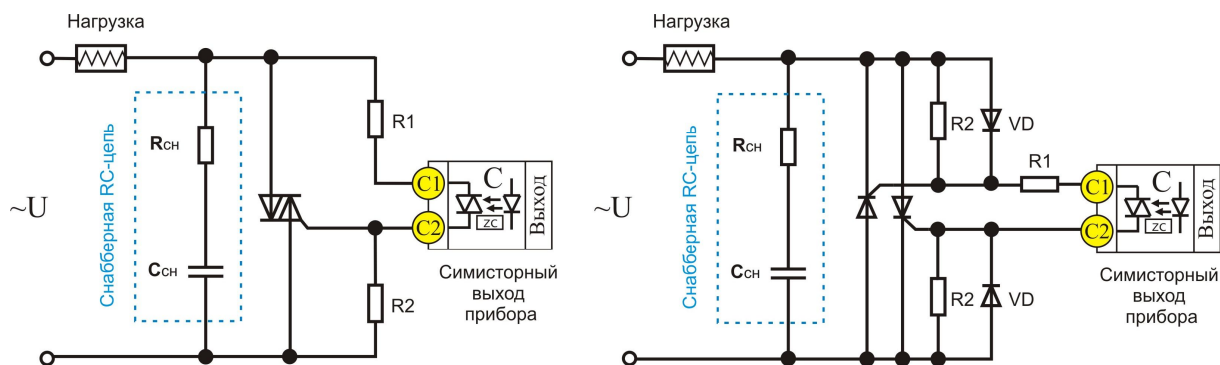


рис 7. Схема подключения снабберной RC-цепи.

В снабберной цепи желательно использовать металлопленочный полиэстерный конденсатор. Его номинал выбирается в пределах  $C_{сн} = 0,01...0,1$  мкФ, сопротивление резистора  $R_{сн} = 20...500$  Ом. Эти значения следует рассматривать только в качестве ориентировочных величин, их можно варьировать для достижения наилучшего результата.

### 3. Комбинированные RC выходы

В предыдущих двух главах мы рассмотрели особенности использования релейных и симисторных выходов, их преимущества и недостатки. Итак, что мы имеем:

#### Релейный выход:

**Преимущества** – возможность коммутировать ток 7 – 10 ампер (по паспорту), малое сопротивление контактов в замкнутом состоянии (малая рассеиваемая мощность), легко проверяется работоспособность.

**Недостатки** – ограниченный ресурс контактной группы, который сильно зависит от тока и характера нагрузки, искрообразование при коммутации создаёт помехи окружающим устройствам, требует применения искрогасящих цепей.

#### Симисторный выход:

**Преимущества** – включается и отключается в нуле питающей сети, является полупроводниковым элементом с практически неограниченным ресурсом, не создаёт помех при коммутации, может выдерживать большой импульсный ток, не требует применения искрогасящих цепей.

**Недостатки** – ограничен долговременный ток нагрузки величиной 1 ампер.



для реле OMRON G5LA. Контакты реле начинают размыкаться, и, как только напряжение на них становится достаточным для открывания симистора (единицы вольт), симистор за очень короткое время (порядка 10 микросекунд) переходит в открытое состояние (точка **I**) и весь ток РС выхода начинает протекать через него. Контакты реле переходят в разомкнутое состояние, и ток нагрузки прекращает протекать через них (точка **J**). В процессе отключения реле, к контактам реле прикладывается напряжение величиной не более величины падения на открытом симисторе, поэтому электрической дуги при размыкании контактов не возникает.

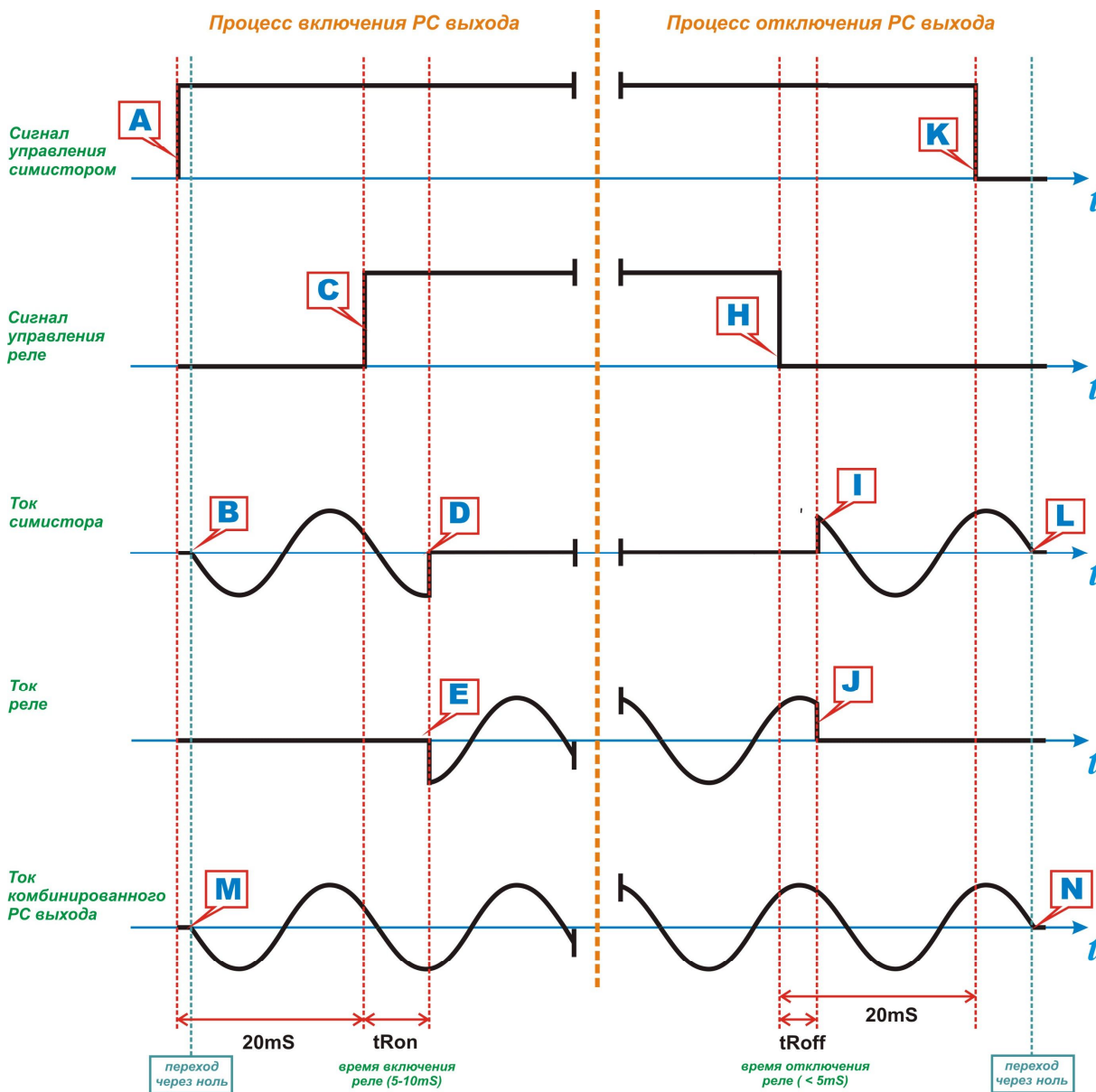


рис 9. Временная диаграмма работы комбинированного РС выхода. (Диаграмма получена в результате исследований автора из осциллограмм тока реальных РС выходов).

- через 20 миллисекунд (1 период напряжения сети 50 Гц) после подачи сигнала на отключение реле происходит отключение управляющего сигнала симистора (точка **K**). Симистор закрывается не сразу, а только при переходе напряжения на нём через ноль (точка **L**). Таким образом, процесс отключения РС выхода может занимать по времени 20-30 миллисекунд (от 1-го до 1,5 периодов напряжения сети 50 Гц).

Если мы суммируем графики токов через симистор и реле, то получим суммарный график тока через РС выход (нижний график на рис.13). Из графика видно, что РС выход открывается (точка **M**) и закрывается (точка **N**) в нуле приложенного к нему напряжения. График тока получился гладким, то есть на нём отсутствуют разрывы тока в моменты включения и отключения реле. Таким образом, РС выход очень хорошо подходит для прямой коммутации индуктивных нагрузок с током до нескольких ампер. Благодаря отсутствию искры в моменты коммутации хорошо сохраняется ресурс контактов реле, не требуются искрогасящие цепи, отсутствуют помехи окружающим устройствам.

В составе РС выхода приборов Термодат обычно используется трёхконтактное реле с перекидным контактом **OMRON G5LA** с максимальным паспортным током 10 ампер. При использовании релейного выхода мы рекомендовали ограничить ток значением 3 ампера (стр.3) из соображений сохранения ресурса реле. При использовании комбинированного РС выхода искрообразования не возникает, ресурс реле сохраняется значительно лучше, поэтому можно использовать выход на токах нагрузки больше, чем 3 ампера. Необходимо только позаботиться о том, чтобы долговременный ток нагрузки не превышал предельного для реле значения 10 ампер, а кратковременный импульсный ток нагрузки не превышал предельного для симистора значения.

Итак, рассмотрим характеристики комбинированного РС выхода, которые получаются в результате вышеописанного, достаточно сложного функционального взаимодействия реле и симистора:

Максимальное переменное напряжение нагрузки  
(ограничено характеристиками реле) не более **250 V**

Долговременный ток нагрузки  
(ограничено характеристиками реле) не более **10 A**

Пиковый ток в момент включения нагрузки  
(длительность не более 20 миллисекунд)  
(ограничено характеристиками симистора) не более **65 A**

**К преимуществам** РС выхода можно отнести:

- включается и отключается в нуле питающей сети
- может выдерживать большой импульсный ток
- практически не создаёт помех при коммутации
- имеет малую рассеиваемую мощность за счёт низкого сопротивления замкнутых контактов реле
- не требует искрогасящих РС-цепей
- имеет ресурс, значительно больший, чем релейный выход.

**К особенностям** РС выхода можно отнести:

- работает только при переменном напряжении питания нагрузки
- для РС выхода доступны двухпозиционный и ШИМ методы регулирования
- минимальный период ШИМ составляет 10 секунд (аналогично релейным выходам)

Применять РС выход можно везде, где использовали реле, кроме цепей с постоянным напряжением питания. Идеально подходит для коммутации индуктивных нагрузок, таких как пускатели, звонки, вентиляторы, соленоиды. Ресурс выхода при этом увеличивается по сравнению с релейным, а искрогасящие цепи не нужны. Кроме того, появляется новая возможность – прямое управление нагрузкой мощностью до 2000 Вт без значительного (как у релейного выхода) уменьшения ресурса.

В составе приборов Термодат встречается реализация комбинированного выхода в трёх вариантах:

В приборе **Термодат-12К/1УВ/1РС/1Р/1Т** выход РС для простоты применения работает только как комбинированный, выходы реле и симистора объединены внутри прибора и работают всегда вместе.

В сложных и умных приборах **Термодат 18Е,К** и **Термодат 19Е,К** может быть до 4-х РС выходов. Выходы реле и симистора объединены внутри прибора, выход РС может работать как комбинированный, либо как симисторный, либо как релейный. Выбор режима выхода производится программно.

Приборы **Термодат-14Е6** и **Термодат-16Е6** имеют независимые выходы, релейный и симисторный. В обычном режиме эти выходы могут работать независимо и выполнять каждый свою функцию. Для включения режима комбинированного РС выхода пользователю необходимо соединить параллельно релейный **Выход 3** и симисторный **Выход 4** (рис.10) и включить соответствующий режим в меню прибора.

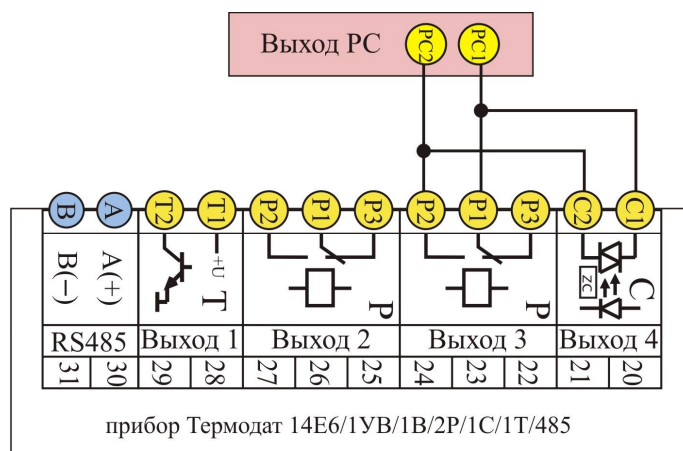


рис 10. Соединение P выхода и C выхода в комбинированный РС выход для приборов Термодат-14Е6/16Е6.

#### 4. Транзисторные выходы

Транзисторные выходы в составе приборов Термодат служат для управления внешними устройствами производственного приборостроительного предприятия «Системы контроля». Эти выходы реализованы на цифровых транзисторах **PDTC123** [5], включенных по схеме с открытым коллектором (рис.11). Обозначение транзисторного выхода (Т-выхода) на этикетке прибора приведено на рис.1.3.



рис 11. Внутреннее устройство транзисторного (Т) выхода.

Транзисторный выход имеет два состояния, которые соответствуют открытому и закрытому состоянию транзистора. Во включенном состоянии Т-выхода транзистор открыт и ток течёт через нагрузку, подключенную к клеммам Т1 и Т2, создавая на ней падение напряжения. В выключенном состоянии транзистор закрыт, ток через нагрузку не течёт, напряжение на выходе равно нулю. Внутреннее питающее напряжение  $+U$  лежит в пределах от 10 до 15 вольт и зависит от модели прибора (в большинстве случаев  $+U = 10,5$  вольт). Резисторы  $R$  имеют номинал 47...56 Ом, служат для ограничения тока нагрузки и защиты транзистора при коротком замыкании Т-выхода.

Транзисторный выход имеет следующие характеристики:

Напряжение на нагрузке во включенном состоянии	<b>10 - 15 V</b>
Максимальный ток нагрузки	<b>30 mA</b>

Нагрузкой Т-выхода служат входные цепи внешнего устройства. На входе внешнего устройства установлен оптрон, который служит для гальванического разделения схемы внешнего устройства от внутренней схемы прибора. Следует отметить, что транзисторный выход является сигнальным, причём его выходные контакты не развязаны гальванически от внутренней схемы прибора в отличие от силовых релейного, симисторного и комбинированного выходов. Поэтому, для предотвращения поломки прибора, следует не допускать соединения линий Т-выхода с фазой или нулевой шиной силовой сети.

В качестве внешних устройств, подключаемых к Т-выходу, могут выступать:

- Силовые блоки (СБ, БУС, БУТ)
- Блоки фазоимпульсного управления (ФИУ, МБТ)
- Блоки аналоговых выходов (БАВ).

Рассмотрим подключение этих устройств подробнее.

#### 4.1. Силовые блоки

По своей сути, силовые блоки представляют из себя симисторный выход, вынесенный за пределы прибора, с подключенными к нему мощным симистором или парой тиристоров. Такие схемы мы рассматривали в главе о симисторных выходах на рис.10. Таким образом, силовой блок состоит из оптосимистора с функцией определения нуля, симистора, аналогичного применяемому в составе С-выхода и мощного полупроводникового ключа, в качестве которого выступает мощный симистор или пара мощных тиристоров. Силовой блок выполнен в качестве отдельного законченного устройства и снабжён радиатором для охлаждения мощного ключа и индикатором включения. Силовые блоки выпускаются на номинальный ток от 10 до 320 ампер, имеют одно-, двух- или трёхфазное исполнение. Простейшая схема подключения однофазного силового блока к Т-выходу приведена на рис.12.

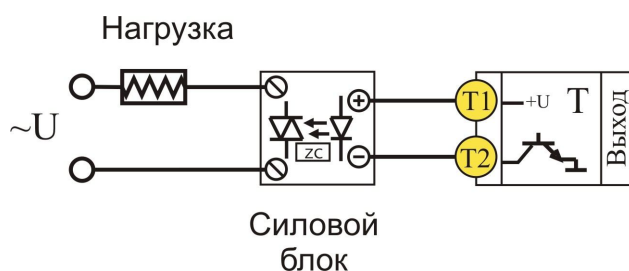
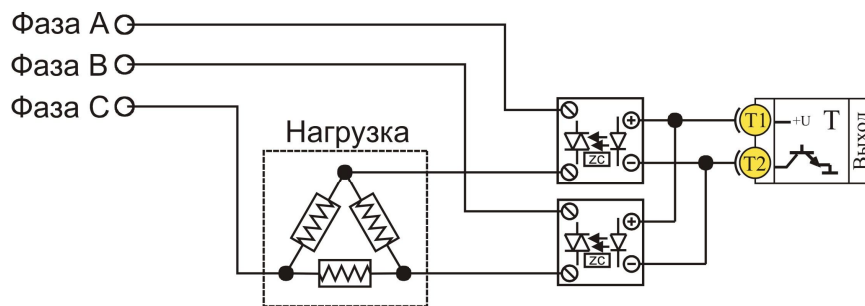


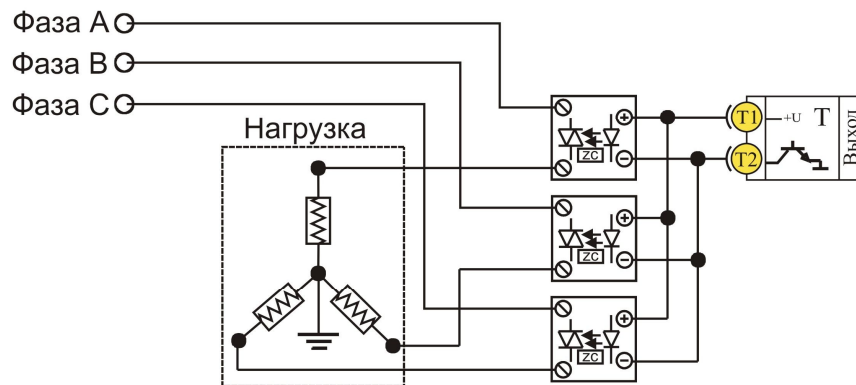
рис 12. Подключение однофазного силового блока к Т-выходу.

Аналогично симисторным выходам **силовые блоки могут работать только на переменном напряжении нагрузки**. Для силовых блоков доступны двухпозиционный, ШИМ и РСП методы управления мощностью нагрузки. Включение и отключение силового блока происходит в нуле питающего напряжения нагрузки, благодаря чему процессы включения и отключения создают минимальные помехи для окружающих электронных устройств.

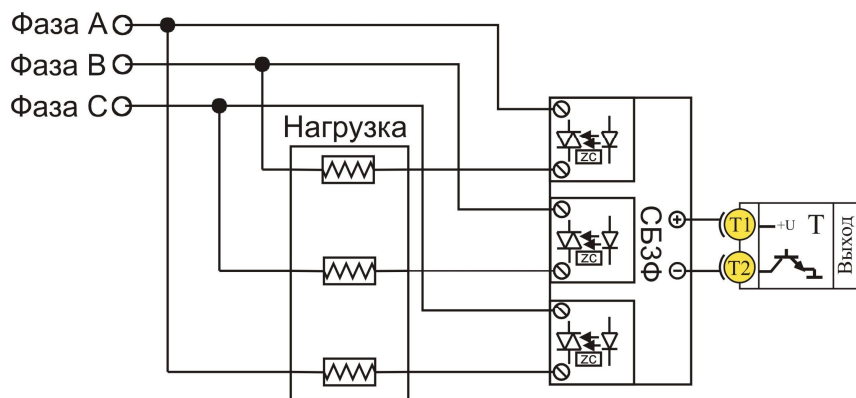
Ток управления, необходимый для включения одного силового блока составляет 5-10 мА, поэтому к одному Т-выходу можно подключить до трёх силовых блоков. Это позволяет реализовать разнообразные схемы включения силовых блоков для трёхфазной сети. Некоторые трёхфазные схемы показаны на рис.13.



Использование двух силовых блоков для управления трехфазной нагрузкой по схеме "треугольник"



Использование трех силовых блоков для управления трехфазной нагрузкой по схеме "звезда"



Подключение трёхфазного силового блока для управления трехфазной нагрузкой по шестипроводной схеме

рис 13. Трёхфазные схемы подключения силовых блоков к Т-выходу.

Разновидностью силовых блоков можно считать блоки управления симисторами (БУС) и тиристорами (БУТ). Они отличаются от силовых блоков тем, что не имеют в своём составе мощных полупроводниковых ключей с радиаторами охлаждения. Эти блоки имеют клеммы для прямого подключения к ним выводов мощного симистора (БУС) или пары мощных тиристорov (БУТ). Вспомогательные элементы обвязки, такие как резисторы и диоды на рис.10 смонтированы внутри блоков.

## 4.2. Блоки фазоимпульсного управления

Блоки фазоимпульсного управления кардинальным образом отличаются от силовых блоков как по принципу работы и внутреннему устройству, так и по формату сигнала управления ими. При любом методе регулировки мощности силовым блоком мы можем «дозировать» напряжение, поступающее в нагрузку, только целыми порциями, величина которых кратна одному периоду сети. Происходит это потому, что силовые блоки могут включаться и отключаться только при переходе питающего напряжения нагрузки через ноль. Минимальная длительность управляющего импульса для силовых блоков равна 20 миллисекунд, поэтому при подаче такого импульса силовой блок «выделит» в нагрузку один период сети. Можно, конечно, подавать на управление силовым блоком и более короткие импульсы, тогда мы получим минимальную «порцию» для нагрузки – половина периода сети. Но такое управление вызовет появление постоянной составляющей в питающем напряжении, что очень нежелательно для некоторых типов нагрузок. Именно поэтому при управлении силовыми блоками с помощью приборов Термодат выбрана минимальная «порция» для нагрузки – один период сетевого напряжения. Отсюда и получил своё название самый точный метод, который оперирует целыми периодами сети – метод РСР (распределённых сетевых периодов). Этот метод позволяет достаточно точно регулировать мощность на нагрузке, однако при недостаточной мощности питающей сети каждое включение нагрузки будет вызывать просадку напряжения, что выразится в мигании осветительных приборов при работе данного метода. Метод фазоимпульсного регулирования (ФИУ) свободен от этих недостатков, кроме того, он обладает большей точностью регулирования, чем метод РСР.

Остановимся кратко на принципе работы метода ФИУ. Основное его отличие заключается в том, что мощность дозируется внутри каждого полупериода напряжения, подаваемого на нагрузку. Это достигается тем, что мощный полупроводниковый ключ включается не в нуле напряжения сети, а в нужный нам момент внутри каждого полупериода сети. После включения ключ остаётся открытым до конца полупериода сети, а затем выключается при переходе напряжения через ноль и остаётся выключенным до нужного нам момента внутри следующего полупериода питающей сети. Если перемещать момент включения мощного ключа в пределах полупериода питающего напряжения, то получится очень плавная регулировка мощности нагрузки. Этот процесс проиллюстрирован на рис.17.

Для реализации этого, достаточно сложного метода, в составе блоков ФИУ и МБТ установлен отдельный контроллер, который синхронизован с частотой питающей сети и выполняет функцию включения мощных ключей в нужный момент полупериода сети для получения заданной мощности на нагрузке. Подключение блока ФИУ к транзисторному выходу показано на рис.18, схема аналогична подключению силового блока, однако формат сигнала управления совершенно иной. Если для всех предыдущих методов регулирования состояние Т-выхода однозначно определяет, включен или выключен силовой блок, то для ФИУ метода регулирования с помощью Т-выхода происходит передача значения вычисленной мощности в контроллер блока ФИУ в цифровом виде. При подключении блока ФИУ к Т-выходу прибора Термодат необходимо в меню прибора правильно установить метод регулирования ФИУ для данного выхода и подключить



напряжение питания нагрузки ко входу синхронизации, иначе блок ФИУ работать не будет.



рис 14. Принцип фазоимпульсного метода регулирования.

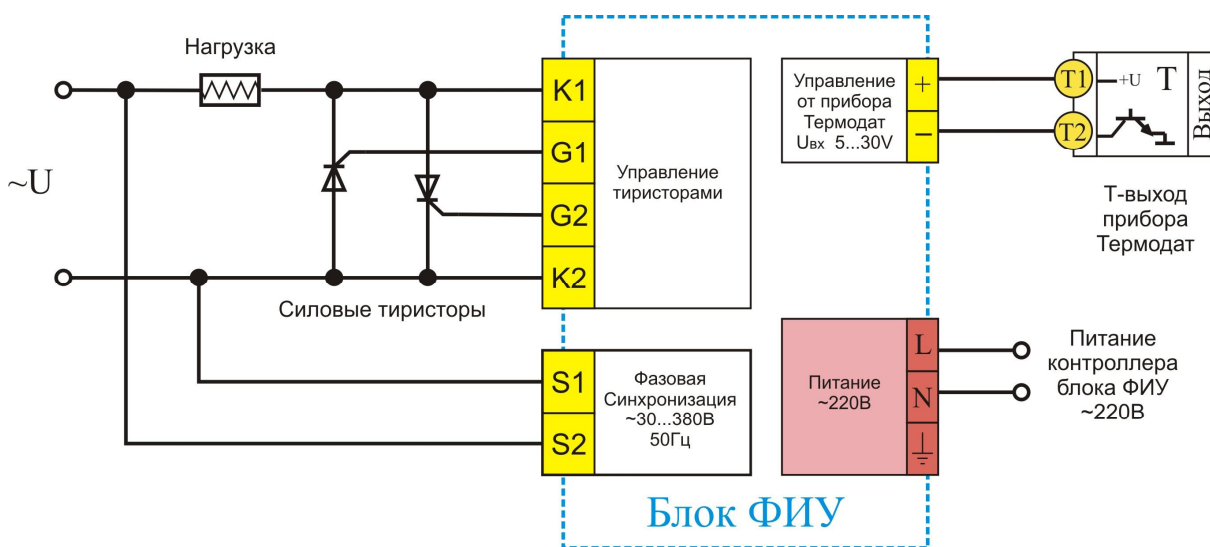


рис 15. Подключение однофазного блока ФИУ к Т-выходу.

Блок МБТ (микроконтроллерный блок тиристорный) подключается к Т-выходу прибора аналогично блоку ФИУ, но МБТ имеет более широкие функциональные возможности, которые позволяют получать значение мощности из других источников, кроме Т-выхода. Кроме того, МБТ выпускаются в одно- и трёхфазном исполнении.

Кроме очевидных преимуществ, использование блоков ФИУ и МБТ имеет свои особенности. Мощные полупроводниковые ключи в составе блоков фазоимпульсного управления включаются не в нуле питающего напряжения, поэтому их работа сопровождается большим уровнем электромагнитных помех, чем у силовых блоков. Это может влиять на чувствительные электронные приборы, расположенные поблизости. Кроме того, в процессе открытия ключей при ненулевом напряжении может быть значительной скоростью изменения рабочего тока  $di/dt$ , что требует применения

дополнительных защитных схем (снабберных и демпфирующих цепей). Блоки ФИУ и МБТ требуют подключения питающей сети для синхронизации. В реальных производственных условиях питающая сеть может содержать значительные импульсные помехи от мощных потребителей, что может нарушать синхронизацию блоков и приводить к неправильной работе мощных ключей. Поэтому использование блоков фазоимпульсного управления предъявляет определённые требования к качеству питающей сети.

### 4.3. Блоки аналоговых выходов

Линейка выпускаемых приборов Термодат имеет ряд четырёхканальных моделей, которые могут оснащаться четырёхканальным блоком аналоговых выходов (БАВ4). В составе этих приборов имеется специализированный Т-выход, который предназначен только для подключения БАВ. Внутреннее устройство этого выхода полностью совпадает со стандартным. Для передачи в контроллер БАВ данных используется такой же цифровой протокол, как и в случае блоков ФИУ и МБТ, только передаются значения тока вместо значений мощности.

## 5. Проверка работоспособности выходов

В процессе начальной настройки и эксплуатации приборов «Термодат» часто возникает необходимость проверить работоспособность того или иного исполнительного выхода, не подключая к нему исполнительное устройство.

Для начала несколько слов о том, как заставить тот или иной выход включаться принудительно. Прежде всего, необходимо, чтобы прибор показывал какую-либо температуру. При отсутствии датчика можно закоротить клеммы V+ и V- входа и выбрать тип датчика 1 (термопара ХА(К)), при этом прибор будет показывать температуру входного клеммника (близко к окружающей температуре). Затем, в меню прибора необходимо назначить проверяемому выходу функцию нагревателя (HEAT) и установить в свойствах нагревателя метод регулирования ШИМ с небольшим периодом, например 10 секунд. После этого, если включено регулирование и уставка больше измеренной температуры, выход начнёт включаться и выключаться с установленным периодом ШИМ. Время включения выхода при этом может оказаться слишком коротким, что неудобно для проверки. Рекомендуется включить ручное управление мощностью (HAND) и установить мощность нагревателя 50 %, тогда выход будет включаться на половину времени установленного периода ШИМ. Визуально управление выходом можно контролировать по индикатору «нагреватель» на передней панели прибора, желательно при этом включить режим P.Out в меню управления единичными индикаторами, тогда индикатор будет включаться вместе с проверяемым выходом нагревателя. Включение индикатора «нагреватель» не означает исправность выхода! Работоспособность выхода нужно проверять с помощью внешней цепи!

Очевидно, что для проверки силовых выходов (**релейного, симисторного или комбинированного**), можно использовать маломощную (< 100 Вт) сигнальную лампу с питанием от сети переменного тока (рис. 16.)

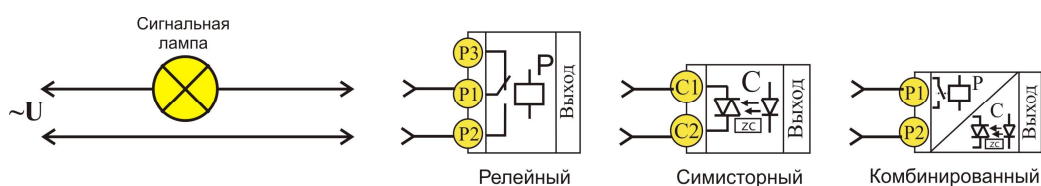


рис 16. Проверка силовых выходов сигнальной лампой.

Однако, существует более безопасный способ проверить выходы с помощью переносного мультиметра.

Для проверки **релейного** выхода необходимо переключить мультиметр в режим прозвона или измерения сопротивления на нижнем пределе измерения (обычно 200 Ом). При включении выхода появится звуковой сигнал и показания мультиметра будут близки к значению 0 ом. (рис.17). Аналогично можно проверить реле в составе **комбинированного** выхода.

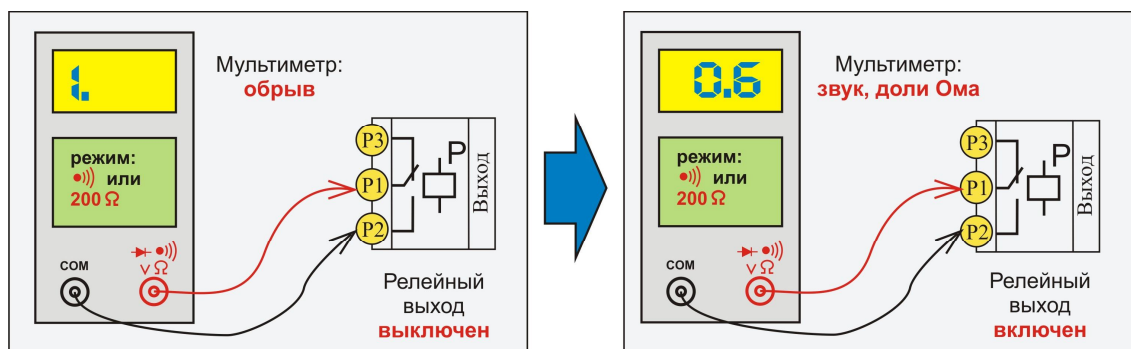


рис 17. Проверка релейного выхода мультиметром.

Для проверки **симисторного** выхода необходимо переключить мультиметр в режим проверки диодов (рис.18.). При выключенном симисторном выходе необходимо присоединить щупы мультиметра к выходу. Прибор должен показать обрыв или максимальное падение напряжения (около 3 вольт). Затем необходимо включить симисторный выход, после этого показания прибора должны уменьшиться до значения около 1 вольт. Если выключить симисторный выход не убирая щупов мультиметра, показания существенно не изменятся, выход будет оставаться открытым, пока подключены щупы мультиметра. Причина – мультиметр проводит измерения с помощью постоянного напряжения, а симисторный выход может закрыться только при переходе напряжения через ноль (убрали щупы – выход закрылся). Процедуру необходимо повторить при обратной полярности подключения щупов для проверки работы симисторного выхода при отрицательной и положительной полярности питающего напряжения.

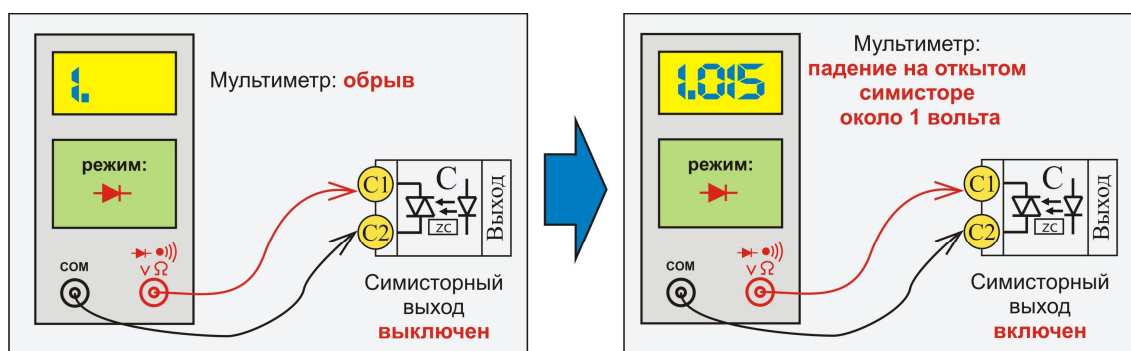


рис 18. Проверка симисторного выхода мультиметром.

Аналогично можно проверить симистор в составе **комбинированного** выхода, для этого необходимо в настройках выхода отключить реле, установить режим работы «только симистор». Иначе включение реле будет шунтировать симистор, и мы не сможем проверить его.

Для проверки **транзисторного** выхода необходимо переключить мультиметр в режим измерения постоянного напряжения с пределом 20 вольт. Если выход выключен, напряжение на нём близко к нулю. При включении на выходе появляется постоянное напряжение 10 – 15 вольт (рис.19.)



рис 19. Проверка симисторного выхода мультиметром.

Вместо мультиметра к транзисторному выходу можно подключить низковольтную лампу или светодиод с соблюдением полярности. При включении выхода светодиод будет загораться.

## Заключение

Приборы Термодат могут оснащаться достаточно широким спектром исполнительных выходов: классическими – релейными и симисторными, выходами управления – транзисторными, перспективными – комбинированными РС выходами. Такое разнообразие позволяет подобрать прибор практически для любого объекта регулирования, от простейших, которым достаточно двухпозиционного закона регулирования с релейным выходом, до сложных систем с фазоимпульсным управлением и точностью поддержания температуры объекта до долей градуса. В любом случае, прежде чем приобретать прибор и использовать его на своём объекте, автор рекомендует внимательно ознакомиться не только с описанием прибора, но и с данной статьёй. Это позволит пользователю не только выбрать прибор с необходимыми именно для его объекта исполнительными выходами, но и избежать ошибок при разработке схем подключения, правильно и безопасно использовать прибор в процессе эксплуатации.

## Список литературы

1. Мощные электромагнитные реле. Справочник инженера. Санкт-Петербург 2001.
2. OMRON G5LA Cubic, Single-pole 10A Power Relay. Техническое описание.
3. NXP Hi-Com Triac. BTA208-800B. Техническое описание.
4. COSMO КМОС3083. Zero Crossing Optoisolators Triac Driver. Техническое описание.
5. PDTC123E series NPN resistor-equipped transistors. Техническое описание.

## Приложение 1. Расчет параметров RC-цепи

Наиболее часто в качестве искрогасящих цепей используют RC-цепи и обратные диоды (только для цепей постоянного тока). Искрогасящие RC-цепи можно включать параллельно контактам реле или индуктивной нагрузке, либо параллельно контактам и нагрузке одновременно (рис.п.1.1).

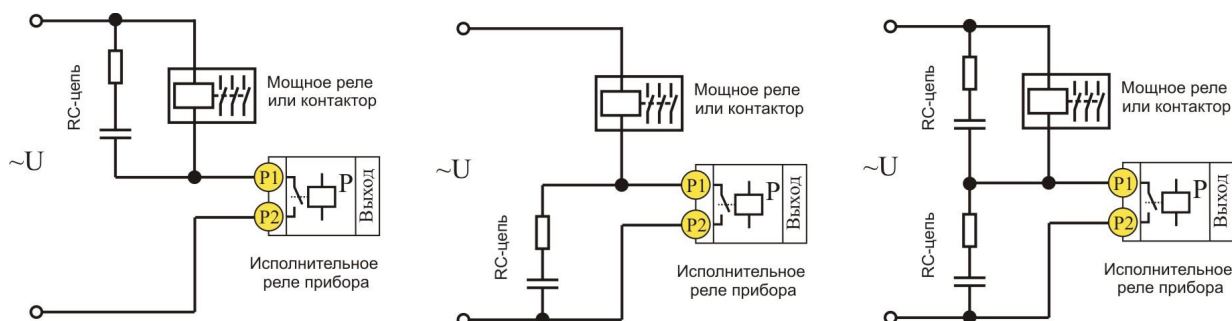


рис. п.1.1. Варианты включения искрогасящей RC-цепи.

Если считать внутреннее сопротивление источника питания равным нулю, то подключение RC-цепи параллельно нагрузке эквивалентно включению RC-цепи параллельно контактам реле. Однако, в случае подключения RC-цепи параллельно контактам реле, при разомкнутых контактах через RC-цепь будет протекать ток, определяемый импедансом RC-цепи на частоте питающей сети. Если по каким-либо соображениям это нежелательно, следует включать RC-цепь параллельно нагрузке. Мы не будем останавливаться на процессах, протекающих внутри RC-цепи, затронем лишь практическую сторону – расчёт параметров RC-цепи по известным нам току и напряжению питания нагрузки.

Для расчёта RC-цепи проще всего пользоваться универсальной номограммой, показанной на рис.п.1.2.

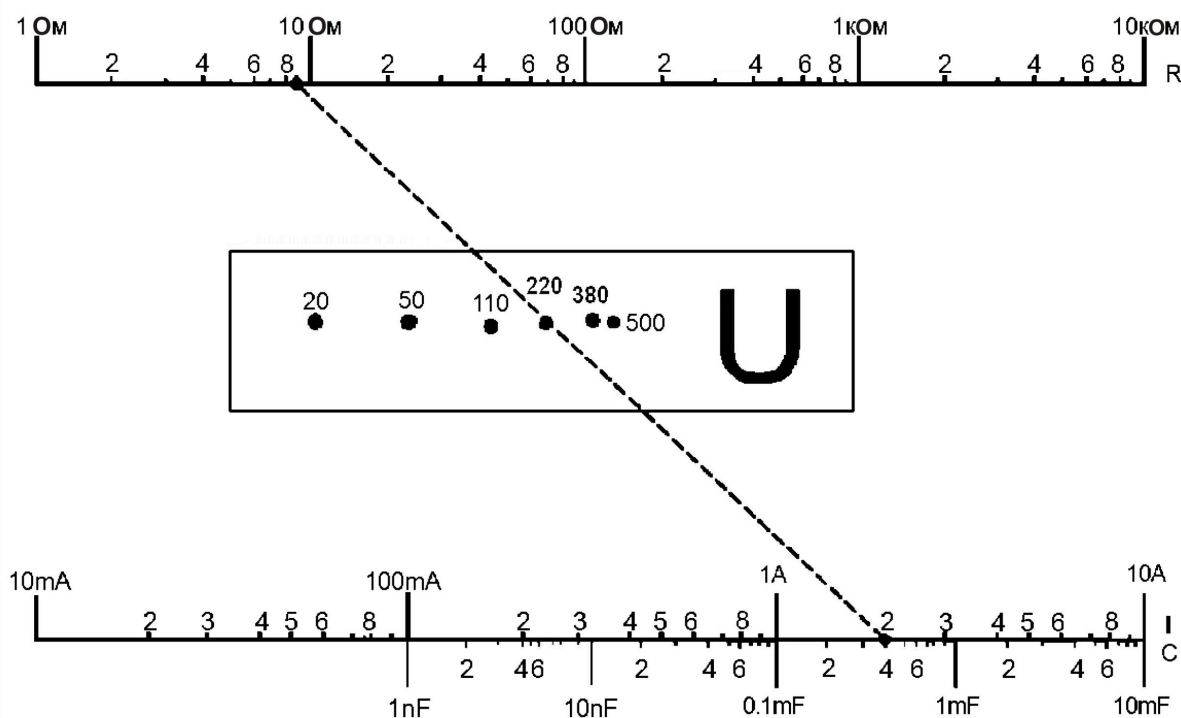


рис. п.1.2. Номограмма для определения параметров искрогасящей RC-цепи.

По известному напряжению источника питания  $U$  и току нагрузки  $I$  находят две точки на номограмме, после чего между точками проводится прямая линия, показывающая искомое значение сопротивления  $R$ . Значение емкости  $C$  отсчитывается по шкале рядом со шкалой тока  $I$ . Номограмма даёт достаточно точные данные, при практической реализации схемы необходимо будет подобрать ближайшие стандартные значения для резистора и конденсатора RC-цепи. Конденсатор следует применять только с плёночным или бумажным диэлектриком, керамические конденсаторы для высоковольтных защитных цепей непригодны. При выборе резистора необходимо помнить, что на нём при переходном процессе может рассеиваться большая мощность. Можно рекомендовать применять для RC-цепей резисторы мощностью 1-2 Вт, причём обязательно следует проверить, рассчитан ли резистор на высокое импульсное напряжение самоиндукции. Лучше всего применять проволочные резисторы, но хорошо работают и металлоплёночные или углеродные с заливкой керамическими компаундами.

Кроме широко распространённого метода защиты контактов реле с помощью RC-цепей, на практике находят применение и другие, эффективные и экономичные схемы:

- обратные диоды
- варисторы
- комбинированные схемы (варистор + RC-цепь, DRC-цепь)

Схемы включения представлены на рис.п.1.3. Следует отметить, что схемы с обратным диодом и DRC-цепью применимы только для цепей постоянного тока.

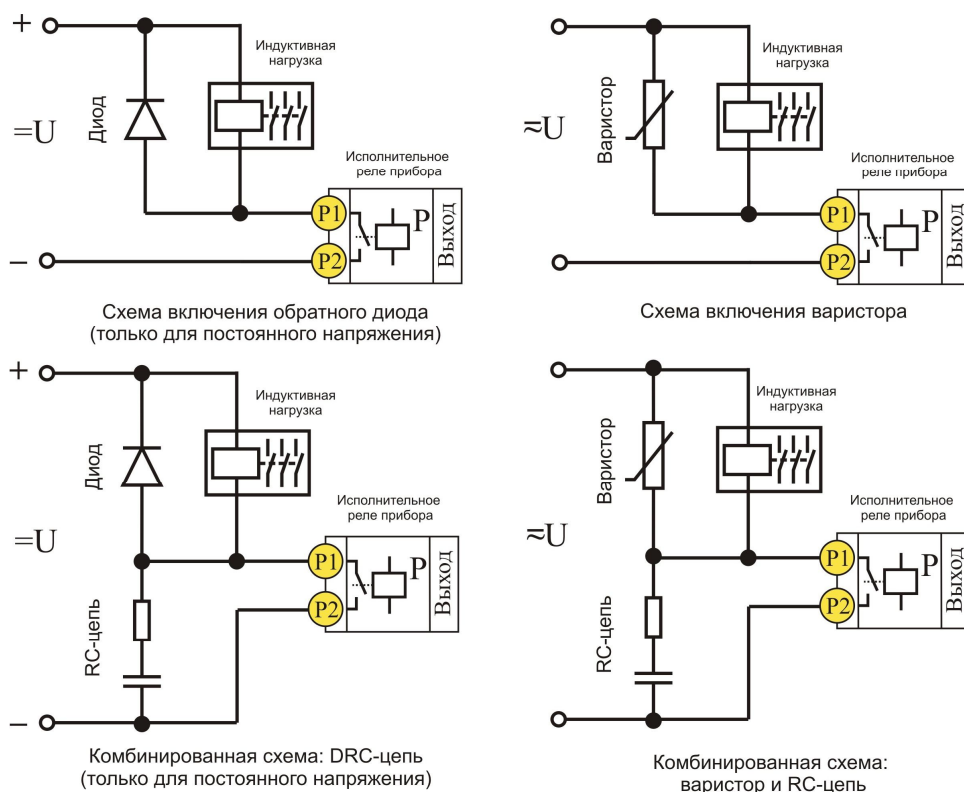


рис.п.1.3. Защитные схемы.

**Диодная схема** является самой дешёвой и широко применяемой схемой для подавления напряжения самоиндукции в цепях постоянного тока. Кремниевый диод включается параллельно индуктивной нагрузке, при замыкании контактов и в установившемся режиме не оказывает никакого влияния на работу схемы. При отключении нагрузки возникает напряжение самоиндукции, обратное по полярности рабочему напряжению, диод открывается и шунтирует индуктивную нагрузку.

Не следует считать, что диод ограничивает обратное напряжение на уровне прямого падения напряжения, равного 0.7...1 В. Вследствие конечного внутреннего сопротивления падение напряжения на диоде зависит от тока через диод. Мощные индуктивные нагрузки способны развивать импульсные токи самоиндукции до десятков ампер, что для мощных кремниевых диодов соответствует падению напряжения около 10...20 В. Диоды исключительно эффективно устраняют дуговые разряды и предохраняют контакты реле от обгорания лучше, чем любые другие схемы искрогашения.

Остановимся на правилах выбора обратного диода. Рабочий ток и напряжение диода должны быть сравнимы с номинальным напряжением и током нагрузки. Для исполнительных реле приборов Термодат постоянное напряжение нагрузки не должно превышать 30 VDC, а ток, как мы рекомендовали ранее, должен быть не более 3 ампер. Для таких значений неплохо подходит распространённый кремниевый диод 1N4007 с обратным напряжением 1000 VDC и максимальным импульсным током до 20 ампер. Выводы диода должны быть как можно короче, его следует присоединять непосредственно к индуктивной нагрузке, без длинных соединительных проводов – это улучшает электромагнитную совместимость (ЭМС) при процессах коммутации.

Комбинация **RC-цепи и диодной схемы (DRC – цепь)** обладает предельной эффективностью среди рассматриваемых защитных цепей. DRC – цепь применима только для цепей постоянного тока и позволяет приблизить электрический ресурс контактов реле к своему теоретическому пределу.

Существует один недостаток при использовании диодной схемы или DRC – цепи, использование в них диода вызывает увеличение времени выключения индуктивной нагрузки в 5...10 раз по сравнению со схемой включения вообще без шунтирующих элементов.

**Варисторная схема** используется для цепей переменного и постоянного тока. Металл-оксидный варистор имеет вольтамперную характеристику, сходную с биполярным стабилитроном. До момента приложения к выводам напряжения ограничения варистор практически отключен от схемы и характеризуется только микроамперными токами утечки и внутренней ёмкостью на уровне 150...1000 пФ. При увеличении напряжения варистор начинает плавно открываться, шунтируя своим внутренним сопротивлением индуктивную нагрузку. При очень небольших размерах варисторы способны отводить большие импульсные токи, для варистора диаметром 7 мм разрядный ток может быть равен 500...1000 А (длительность импульса менее 0.1 мс).

Остановимся на расчёте и монтаже варисторной защиты. Напряжение ограничения выбирают таким образом, чтобы варистор был закрыт во всём диапазоне рабочих напряжений на нагрузке (ток утечки 10...50 мкА). При необходимости варисторы можно устанавливать последовательно для подбора нужного напряжения. Рассчитывается или измеряется ток, отдаваемый индуктивной нагрузкой при самоиндукции, для определения требуемого тока варистора. Варистор необходимо монтировать на нагрузке по правилам, указанным для диодной защиты.

Варисторная защита обладает своими достоинствами и недостатками. Варисторы, в отличие от диодов, могут работать в цепях переменного и постоянного тока, они дешёвы, оказывают незначительное влияние на задержку выключения индуктивной нагрузки. Однако, при применении только варисторной защиты защита контактов реле от электрической дуги существенно хуже, чем в диодных цепях.

Комбинация **RC-цепи и варистора** по своим параметрам аналогична обычной RC-цепи, но ограничение варистором величины напряжения самоиндукции на нагрузке позволяет применить гораздо менее высоковольтные, а значит более дешёвые конденсатор и резистор.

Все вышеописанные схемы защиты контактов реле обладают достаточной эффективностью, чтобы значительно продлить ресурс контактной группы

исполнительного реле, они построены на недорогих, широко распространённых пассивных компонентах, просты в расчёте и реализации, поэтому настоятельно рекомендуются для использования на релейных выходах приборов Термодат. Однако, существует ещё один, более сложный и эффективный метод, который рассмотрен в главе о комбинированных (реле + симистор) выходах приборов Термодат. Этот метод позволяет вообще избежать появления губительных для контактов реле искры и дуги, так как метод устраняет условия для их появления.

## Приложение 2. Защита силовых выходов

При непосредственном подключении нагрузки к силовым выходам прибора (**релейный, симисторный или комбинированный**) необходимо позаботиться о защите выхода от перегрузки по току и от короткого замыкания в нагрузке. Для этого часто рекомендуют использовать обычный плавкий предохранитель, включенный последовательно с нагрузкой (рис.п.2.1), однако его использование может привести к негативным последствиям.

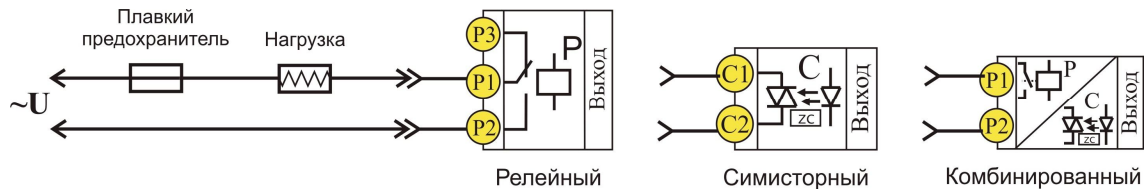


рис.п.2.1. Включение плавкого предохранителя для защиты силовых выходов.

Мы провели в лаборатории множество экспериментов с плавкими предохранителями наиболее распространённых типоразмеров и выяснили следующее. Плавкие предохранители достаточно хорошо справляются с защитой цепи от перегрузки по току, но в подавляющем большинстве случаев **абсолютно непригодны для защиты от короткого замыкания** в нагрузке.

Рассмотрим процессы, происходящие в предохранителе при коротком замыкании. В первый момент ток через предохранитель нарастает до предельных значений, ограниченных сопротивлением проводки и максимальным током трансформатора силовой подстанции. В нашей лаборатории это значение составило около 250 ампер, в реальных производственных условиях значение максимального тока может быть больше. От теплового воздействия тока нить предохранителя расплавляется и размыкает цепь. Этот процесс занимает от 2 до 6 миллисекунд, длительность зависит от момента замыкания и максимального тока конкретной сети. В ходе экспериментов происходили случаи, когда после перегорания нити цепь окончательно размыкалась (рис. п.2.2) Такой процесс можно назвать идеальным поведением плавкого предохранителя, время срабатывания 2-6 миллисекунд – хороший результат.

Однако, в подавляющем большинстве случаев после размыкания нити в предохранителе возникает электрическая дуга (рис.п.2.3), которая характеризуется большим током, близком к максимальному, и выделением энергии, что часто приводит к разрушению корпуса и держателя предохранителя. Время жизни дуги ограничено полупериодом сетевого напряжения и может составлять до 10 миллисекунд. В течении этого времени через включенный выход прибора протекает недопустимо высокий максимальный ток сети, что может привести к неисправности выхода.



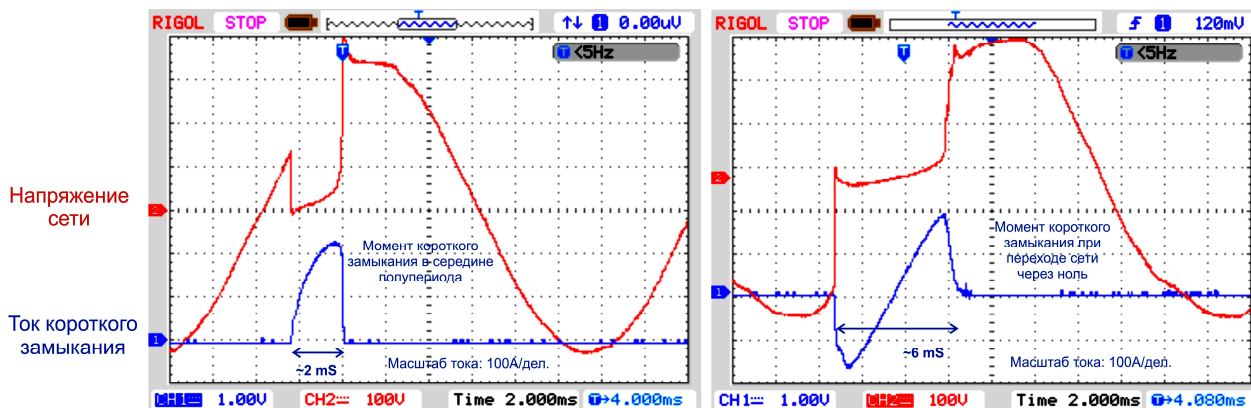


рис.п.2.2. Ток предохранителя и напряжение сети при коротком замыкании. Поведение «идеального» плавкого предохранителя. (Осциллограмма получена в результате исследований автора при испытаниях предохранителей ПК45).

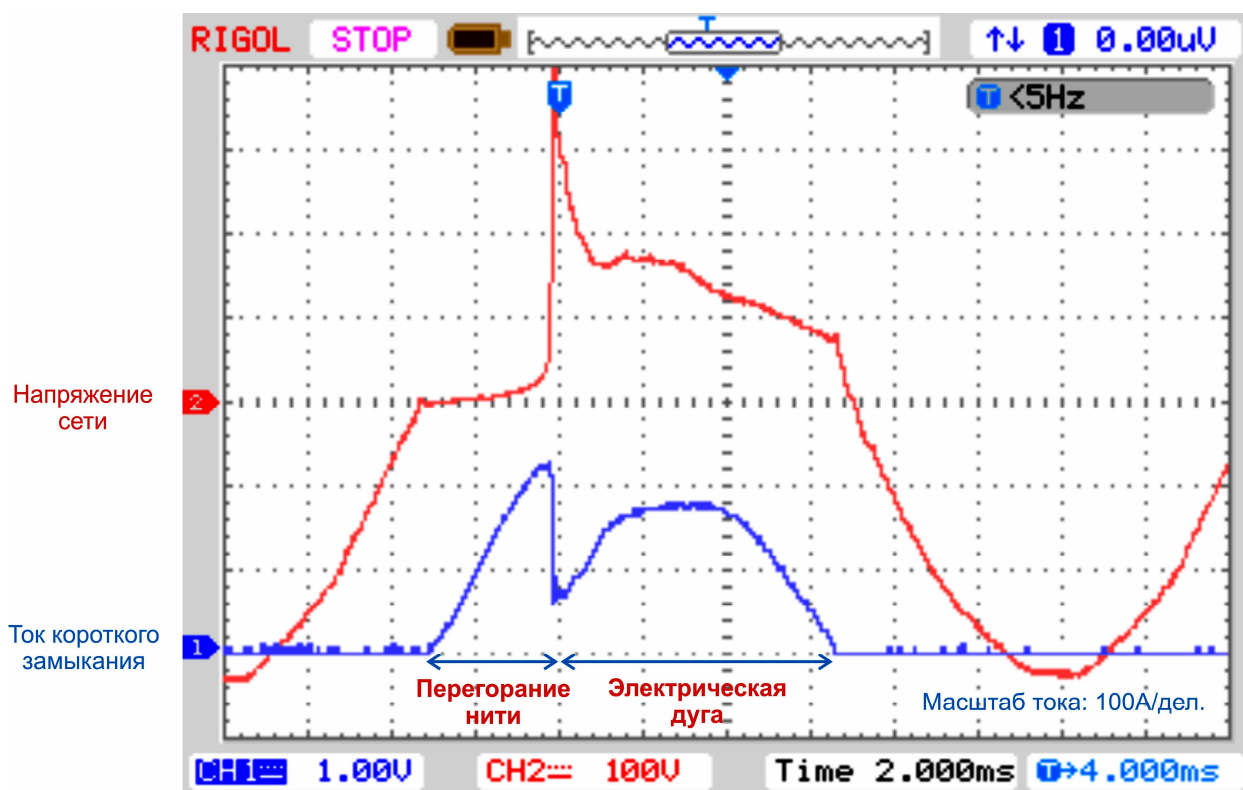


рис.п.2.3. Ток предохранителя и напряжение сети при коротком замыкании. Появление электрической дуги после перегорания нити предохранителя. (Осциллограмма получена в результате исследований автора при испытаниях предохранителей ВПБ6-13).

Вероятность появления дуги при коротком замыкании сильно зависит от типоразмера плавкого предохранителя. Для самого распространённого размера 5 x 20 мм (ВПБ6-13, S1014) электрическая дуга появляется практически в 100% случаев, независимо от марки и заявленного быстродействия. Для размеров предохранителей 6 x 30 мм (ВПБ6-26) и 7 x 30 мм (ВПЗБ-1В, ПЦ30) вероятность появления дуги составляет около половины случаев, а при испытаниях предохранителей 7 x 45 мм (ПК45) дуга не наблюдалась вообще. Можно порекомендовать использование последнего типа для защиты выходов, но этот типоразмер не имеет широкого распространения, кроме того сложно найти удобные современные держатели для этих предохранителей. Поэтому, в общем случае:

**Не рекомендуется использовать плавкие предохранители для защиты силовых цепей исполнительных выходов приборов Термодат.**

В настоящее время для защиты электрических цепей широко применяются **автоматические выключатели** (автоматы). В отличие от предохранителей, автоматический выключатель представляет собой аппарат многоразового действия. В конструкции автомата предусмотрены тепловой и электромагнитный расцепители. **Тепловой расцепитель** отвечает за отключение автомата при перегрузке по току. Он состоит из биметаллической пластины, которая при превышении тока нагревается и деформируется, приводя в действие механизм расцепления. Время, необходимое для срабатывания теплового расцепителя зависит от величины проходящего тока (больше ток – меньше время расцепления). При срабатывании автомата по токовой перегрузке сразу включить автомат не получится, требуется время для остывания биметаллической пластины. **Электромагнитный расцепитель** отвечает за быстрое отключение автомата при коротком замыкании. Он работает по принципу соленоида, состоит из катушки и сердечника, который приводит в действие механизм расцепления в случае короткого замыкания. Время, необходимое для срабатывания электромагнитного расцепителя зависит от типа автоматического выключателя и скорости нарастания тока короткого замыкания, составляет несколько миллисекунд. При расцеплении контактов автомата возникает электрическая дуга, для гашения которой в конструкции предусмотрена дугогасительная решётка.

Автоматические выключатели бывают трех типов: В, С, D. Они отличаются по быстродействию и условно разделены по типу защищаемой нагрузки:

В тип – самый быстродействующий, для защиты полупроводниковых устройств

С тип – среднее быстродействие, для защиты цепей освещения

D тип – низкое быстродействие, для защиты электродвигателей.

Для защиты силовых исполнительных выходов (реле, симистор, комбинированный) необходимо максимальное быстродействие, поэтому **рекомендуется использовать автоматические выключатели типа В**. Время срабатывания электромагнитного расцепителя при коротком замыкании для этого типа составляет 4-6 миллисекунд, что вполне достаточно для защиты выходов. Автоматические выключатели выпускаются в одно-, двух-, трёх- и четырёхполюсном исполнении. Многополюсные выключатели удобно использовать для полного отключения цепи нагрузки от питающей сети. Схемы подключения автоматических выключателей к цепям нагрузки исполнительных выходов для однофазной питающей сети (рис.п.2.4).

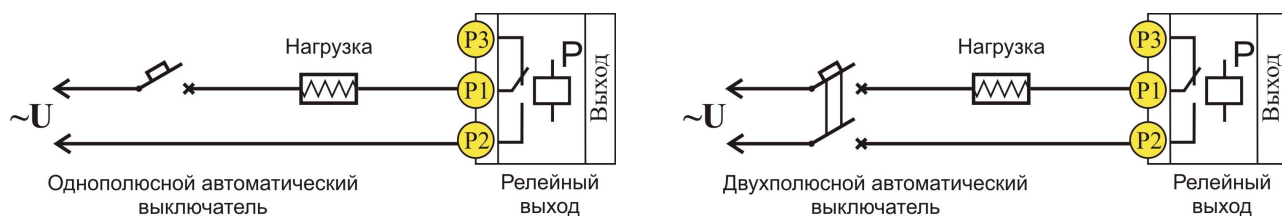


рис.п.2.4. Схемы подключения автоматических выключателей.