

Дата проведения занятия 28 октября 2020 г.

Номер пары: 30.

Группа: 21А

Тема занятия: Твердотельные реле.

Срок выполнения задания 30.10.2020

**По запросу преподавателя**, для проверки конспекта, скинуть фото конспекта в социальной сети «В контакте» Орлову А.А. (<https://vk.com/id421045327>) личным сообщением.

Проверка освоения теоретического материала будет произведена выполнением проверочной работы.

Все вопросы, которые возникнут в процессе работы, можете задавать в социальной сети «В контакте» Орлову А.А. (<https://vk.com/id421045327>) личным сообщением.

### Задание.

Используя предложенные справочные материалы (текст после вопросов и заданий) и другие источники информации, составить конспект по теме занятия.

**В конспекте обязательно должны быть выполнены задания и ответы на вопросы**

1. Поясните, что такое твердотельное реле, как оно устроено? Что является в твердотельном реле коммутирующим (силовым) элементом?
2. Отметьте в конспекте как можно классифицировать твердотельное реле?
3. Начертите схему твердотельного реле и кратко поясните работу (что, чем управляет?).
4. Поясните классификацию твердотельных реле по способу коммутации.
5. Отметьте в конспекте:
  - особенности использования твердотельного реле;
  - чем определяется выбор твердотельного реле;
  - достоинства твердотельного реле.

## Твердотельное реле

**твердотельное реле** (см. рис 1) - ТТР (solid state relay - SSR), оптоэлектронное реле, полупроводниковое реле — этими терминами обозначается большой класс модульных полупроводниковых приборов, выполненных по гибридной технологии, содержащих в своем составе мощные силовые ключи на полевых, биполярных, IGBT-транзисторах или на тиристорных (симисторных) структурах, а также оптронную схему управления.



Рис. 1. Твердотельное реле.

Эти устройства могут использоваться для замены традиционных электромагнитных реле, тиристорных и симисторных устройств. Низковольтная часть реле с оптронной схемой выполняет роль катушки

обычного электромагнитного реле, а высоковольтный полупроводниковый ключ подобен силовым контактам электромагнитного реле. Оптронная схема обеспечивает электрическую изоляцию между управляющей и силовой частью. Выпускаемые в настоящее время промышленностью приборы этого класса можно разделить на несколько базовых типов:

- Маломощные приборы в корпусах DIP с рабочими токами менее 1 А,
- Приборы средней мощности с рабочими токами до 10 А.
- Приборы большой мощности с рабочими токами до нескольких сотен ампер.

Все виды твердотельных реле имеют совершенно идентичную входную схему, выполненную на основе инфракрасного светодиода, излучение которого обеспечивает включение соответствующего силового элемента через специальную фоточувствительную схему. Цепи управления светодиодом выполнены или на резисторе соответствующего номинала или с применением токового стабилизатора. Типичный ток управления твердотельным реле — 10-15 мА, что на порядок меньше тока управления электромагнитного реле. Различные типы приборов могут управляться (как и электромагнитные реле) как постоянным, так и переменным напряжением.

Как уже отмечалось коммутирующим (силовым) элементом в твердотельном реле выступает один из типов полупроводниковых элементов:

- симистор (пиковое напряжение до 800 В, рабочий ток до 25 А, низкая устойчивость к скоростям нарастания тока и напряжения) — коммутация цепей переменного тока;
- пара встречно включенных тиристоров (пиковое напряжение до 1200 В, рабочие токи до 250 А для монолитного модуля и до 5000 А для специального исполнения, высокая устойчивость к скоростям нарастания тока и напряжения) — коммутация цепей переменного тока;
- полевой транзистор (пиковое напряжение с учетом возможных перенапряжений до 600 В, рабочий ток до 200 А) коммутация цепей постоянного тока;
- IGBT (пиковое напряжение с учетом возможных перенапряжений до 1200 В, рабочий ток до 250 А для монолитного модуля и до 2000 А для специального исполнения) — коммутация цепей постоянного тока.

Благодаря оптической развязке между входной управляющей цепью и выходным каскадом достигается полная гальваническая развязка по напряжению между входом и выходом до 4000 В, в зависимости от типа прибора.

Вид твердотельного реле	Схема твердотельного реле
Реле постоянного тока на биполярных транзисторах	
Реле постоянного тока на IGBT-транзисторе	
Реле постоянного тока на IGBT-транзисторе с диодом	
Реле постоянного тока на полевом транзисторе	
Реле постоянного тока на полевых транзисторах для коммутации двухполярного напряжения	
Реле переменного тока на тринисторах	
Трехфазное реле	

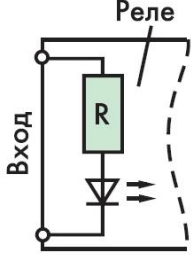
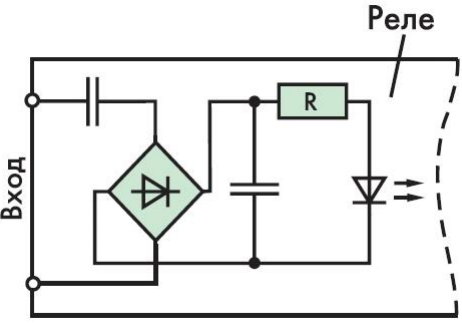
Используемые в настоящее время твердотельные реле можно классифицировать по следующим признакам:

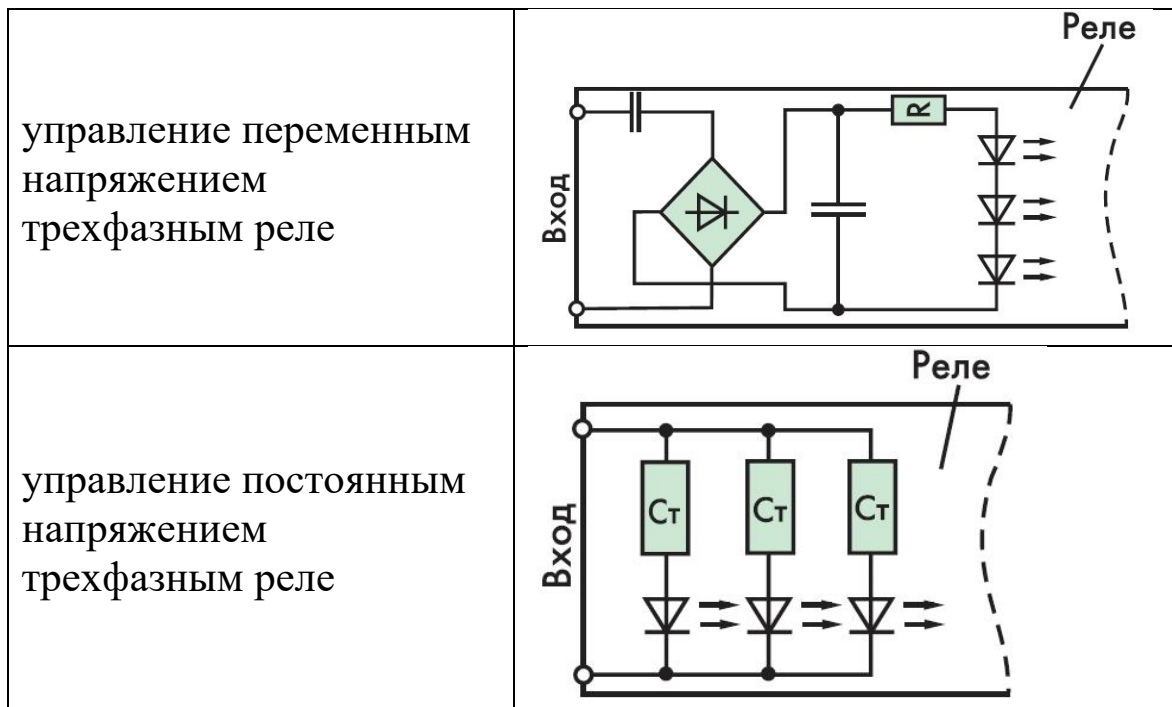
**По роду тока** ТТР можно разделить на две принципиально различные группы: реле переменного тока, у которых силовыми элементами являются симисторы и тиристоры и однополярные и двухполярные реле постоянного тока с силовыми элементами на IGBT или МОП-транзисторах, причем, двухполярные реле могут работать и в цепях переменного тока.

**По типу нагрузки** ТТР делятся на однофазные и трехфазные. Широкий диапазон коммутируемого напряжения – 24...480 V позволяет использовать твердотельные реле для управления нагрузками в различных областях промышленности. В перечне трехфазных реле отдельно выделена специальная реверсивная серия для управления асинхронными и синхронными электродвигателями в реверсивных исполнительных механизмах (МЭО, регулирующий клапан или задвижка). Они позволяют осуществлять запуск, остановку и реверсирование направления вращения. Для управления реверсивными исполнительными механизмами можно применять и обычные ТТР вместе с 3-х позиционным регулятором «больше-меньше».

**По типу управления** твердотельные реле делятся на 4 группы:

- управление напряжением постоянного тока 3...32 V;
- управление напряжением переменного тока 90...250 V;
- управление посредством унифицированного токового сигнала 4..20 mA;
- ручное управление выходным напряжением с помощью переменного резистора.

Тип управления твердотельным реле	Схема входной цепи
управление напряжением постоянного тока	
управление напряжением переменного тока	



Различные варианты управляющих сигналов позволяют применять твердотельные реле в качестве коммутационных элементов в разнотипных системах автоматического управления.

**По способу коммутации ТТР можно разделить на:**

**ТТР с контролем перехода через ноль**, применяемые для коммутации резистивных, емкостных и индуктивных нагрузок. При подаче управляющего сигнала, напряжение на выходе такого реле появляется в момент первого пересечения линейным напряжением нулевого уровня (рис. 2). Это позволяет уменьшить начальный бросок тока, снизить уровень создаваемых электромагнитных помех и, как следствие, увеличить срок службы коммутируемых нагрузок.



Рис. 2 – Диаграмма срабатывания

ТТР с контролем перехода через ноль.

**ТТР мгновенного (случайного) включения**, также применяемые для коммутации резистивных, емкостных и индуктивных нагрузок, но используемые при необходимости очень быстрого срабатывания. Напряжение на выходе реле данного типа появляется почти одновременно с подачей управляющего сигнала (время задержки включения не более 1 миллисекунды). То есть, включение возможно на любом участке синусоидального напряжения (рис. 3), что приводит к возникновению импульсных помех и начальных бросков тока в цепи нагрузки. После

включения такое реле функционирует как обычное реле с контролем перехода через ноль.



Рис. 3 – Диаграмма срабатывания ТТР мгновенного включения.

**ТТР с фазовым управлением**, позволяющие изменять величину выходного напряжения на нагрузке пропорционально значению управляющего сигнала (рис. 4). В качестве управляющего сигнала могут быть использованы: токовый сигнал 4..20 мА, либо значение сопротивления переменного резистора. ТТР с фазовым управлением обычно применяются в качестве регуляторов мощности для нагревательных элементов, либо регуляторов уровня освещенности (при использовании ламп накаливания).



Рис. 4 – Диаграмма срабатывания ТТР с фазовым управлением.

### Особенности использования твердотельные реле.

При выборе и эксплуатации твердотельных реле необходимо принимать во внимание чувствительность устройств к температурным перегрузкам. При нагреве ТТР свыше 60 °С их эксплуатационные характеристики снижаются. Нагрузка может отключаться не полностью. При достижении температуры в 80 °С реле коммутируют нагрузку независимо от управляющего входа и часто, в такой ситуации, выходят из строя. Следовательно, при длительной работе реле в номинальных, и особенно, «тяжелых» режимах, например, при длительной коммутации больших токов (свыше 5 А), требуется применение радиаторов или воздушного охлаждения для рассеивания тепла. При повышенных нагрузках, например, в случае нагрузки «индуктивного» характера (соленоиды, электромагниты и т.п.), рекомендуется выбирать реле с большим запасом по току – в 2-4 раза, а в случае применения ТТР для управления асинхронным электродвигателем необходим 6-10 кратный запас по току, либо использование специальных серий ТТР, предназначенных для управления электродвигателями. При нагрузке свыше 25 А необходимо использовать принудительное воздушное охлаждение (вентилятор обдува).

Тиристорные структуры весьма чувствительны к перенапряжениям – их появление ведет к необратимому пробое, поэтому актуальной является задача защиты выходов реле от перенапряжений. Основным средством такой защиты является шунтирование выходов реле варисторами. Для защиты реле от потери

управления из-за импульсных помех применяется шунтирование выходов R-C-цепью.

Таким образом, выбор необходимой модели реле зависит от ряда факторов, среди которых основными являются: мощность и тип нагрузки, величина питающего напряжения и тип управляющего сигнала.

Рассмотрим преимущества ТТР:

- Высокая надежность, обусловленная отсутствием механических контактов, подтверждается высокой наработкой на отказ. Число переключений ТТР составляет не менее 10 млрд., что в 1000 раз больше показателей лучших образцов электромагнитных реле и контакторов;
- Неизменные характеристики в течении всего срока службы;
- Отсутствие дребезга контактов, искр и электрической дуги при коммутации, что значительно снижает внутрисхемный уровень помех в аппаратуре и обеспечивает стабильность её работы;
- Отличные характеристики изоляционных свойств между управляющими и силовыми цепями (до 4 кВ), высокое сопротивление изоляции корпуса;
- Низкое энергопотребление: твердотельные реле потребляют электроэнергии на 95% меньше, чем электромагнитные реле;
- Отсутствие акустического шума;
- Высокое быстродействие;
- Малые габариты и вес.