

# Твердотельные реле фирмы CRYDOM

Евгений Звонарев, технический консультант.

Оптоэлектронные твердотельные реле (ТТР) или Solid State Relays (SSR) — это силовоточные ключи с гальванической развязкой между входами управления и нагрузкой. Они применяются для управления двигателями, электромагнитами, лампами, датчиками, ТЭНами и т.д. В настоящее время происходит активная замена электромагнитных реле на их твердотельные аналоги.

В статье рассмотрены преимущества ТТР по сравнению с электромеханическими. Конечно, электромагнитные реле тоже имеют свои положительные стороны, поэтому они еще долгое время будут использоваться вместе с оптоэлектронными. Главное — сделать правильный выбор.

Как известно, в твердотельных реле (см. рис. 1) в отличие от электромеханических в качестве переключателя используются электронные ключи, выполненные на основе тиристора (симистора), МОП- или IGBT-транзисторов. При этом управляющий сигнал гальванически развязан с выходной цепью с помощью оптоэлектронной пары.

Основными преимуществами твердотельных реле является следующее:

- отсутствие механических частей значительно повышает надежность, а срок службы на порядок превышает срок службы электромеханических реле;
- высокий коммутируемый ток нагрузки (до 150 А);
- отсутствие «дребезга» и эрозии контактов, искрения и дуговых разрядов, что позволяет использовать их во взрывоопасной среде;
- возможность выбора времени включения по

отношению к коммутируемому сигналу, например, в момент перехода его через ноль, что устраняет коммутационные помехи;

- широкий рабочий температурный диапазон (обычно  $-40...80^{\circ}\text{C}$ );

- большая устойчивость к ударам и вибрации, чем у механических конструкций;

- значительно большее быстродействие;

- малая мощность управляющего сигнала;

- меньшие габариты и масса;

- безындуктивный вход;

- возможность прямого управления стандартными цифровыми ИС;

- наличие в некоторых ТТР встроенного светодиодного индикатора состояния;

- широкий выбор конструктивных оформлений;

- отсутствие акустического шума в момент переключения, что особенно важно в бытовых применениях.

## Основные группы твердотельных реле

Твердотельные реле подразделяются на две группы — постоянного и переменного тока, принципиально различающиеся тем, что реле переменного тока управляемы лишь частично — их силовой элемент можно выключить только при нулевом выходном токе.

ТТР постоянного тока выполняются на основе МОП- или IGBT-транзисторов, а переменного — в основном на базе тиристора или симисторов. При этом реле постоянного тока могут быть одно- или двуполярными (последние могут использоваться и для переключения переменного тока), а реле переменного тока делятся на включаемые в произвольный момент времени и включаемые в момент нулевого коммутируемого напряжения.

На рисунках 2–4 показан процесс переключения для разных типов нагрузки.

Включение ТТР в момент нулевой фазы силового напряжения уменьшает помехи при коммутации, поэтому в тех случаях, когда допустимо использование таких реле, выбор останавливают именно на них.

## Эффект $du/dt$ и методы борьбы с ним

В соответствии с принципом работы тиристорного или симисторного

ключа управляющий сигнал необходим лишь для его включения. Однако при большой скорости изменения коммутируемого напряжения существует вероятность самопроизвольного включения ключа даже в отсутствие управляющего сигнала, в связи с чем производители ТТР указывают допустимую величину  $du/dt$ , при которой включение коммутирующего элемента не происходит (обычно около  $500 \text{ В/мкс}$ ). Непринятие во внимание этого свойства тиристорных структур может привести к их выходу из строя.

Причинами несанкционированного включения могут быть импульсные помехи в цепях питания нагрузки или скачки напряжения при выключении ключа, работающего на индуктивную нагрузку. Эффективный метод борьбы с этим явлением — включение демпфирующей RC-цепи (снаббера) параллельно выходу ключевого каскада, как показано на рисунке 5. Желательно использовать металлопленочный полиэстерный (polyester) конденсатор. Его номинал обычно находится в диапазоне  $0,1...0,2 \text{ мкФ/630 В}$ , а сопротивление резистора — от 20 до 100 Ом (для сети 220 В). Мощность резистора обычно не превышает 2 Вт.

Дополнительно используют включение фильтрующей индуктивности (обычно  $200...500 \text{ мкГн}$ ) в цепь питания ключевого элемента (см. рис. 6).

## Защита тиристорных каскадов от выбросов напряжения

Для обеспечения надежной работы твердотельного реле необходимо снабдить

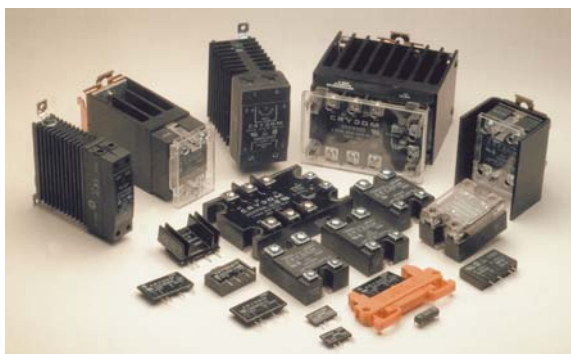


Рис. 1. Внешний вид некоторых твердотельных реле фирмы CRYDOM

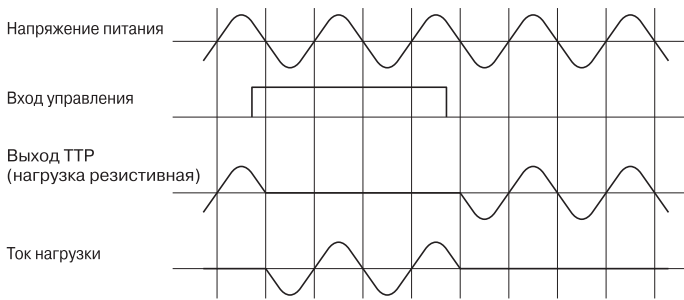


Рис. 2. Коммутация резистивной нагрузки твердотельным реле с включением по нулевому уровню напряжения

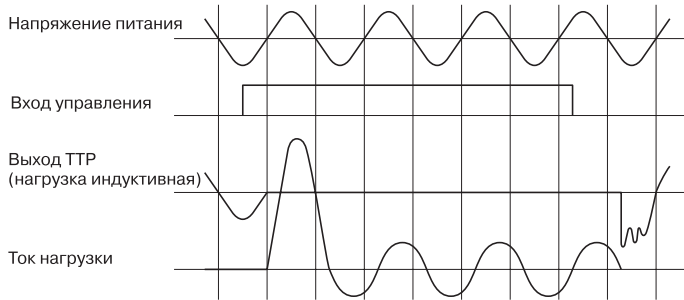


Рис. 3. Коммутация индуктивной нагрузки твердотельным реле с включением по нулевому уровню напряжения

его надежной защитой от перегрузки по напряжению из-за импульсной помехи. Для этого используется включение варисторов и (или) защитных диодов (супрессоров) параллельно нагрузке или коммутирующему ключу (см. рис. 7)

Основным преимуществом защитного диода перед варистором является малое время срабатывания — единицы пс по сравнению с десятками нс у варисторов, недостатком — большая стоимость. В высоковольтных схемах защитные диоды допускается соединять последовательно, включая параллельно каждому выравнивающий резистор сопротивлением не менее 1 МОм, как показано на рисунке 8.

При монтаже элементов защиты необходимо минимизировать длину их

выводов для уменьшения паразитной индуктивности. Защитные диоды выпускаются многими фирмами, в т.ч. STMicroelectronics, Semikron, On Semiconductor и др. Для применения совместно с твердотельными реле их выбирают по напряжению пробоя, которое должно быть меньше максимально допустимого для ключевого элемента реле.

### Работа твердотельного реле на реактивную нагрузку

При работе ТТР на емкостную нагрузку в выходной цепи возможны многократные перегрузки по току с высокой скоростью нарастания тока. При включении реле при отличном от нуля выходном напряжении возникает скачок тока, превышающий номинальное значение во

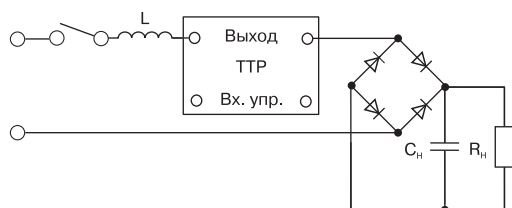


Рис. 6. Включение индуктивности в цепи питания ТТР для устранения перегрузки по  $dv/dt$

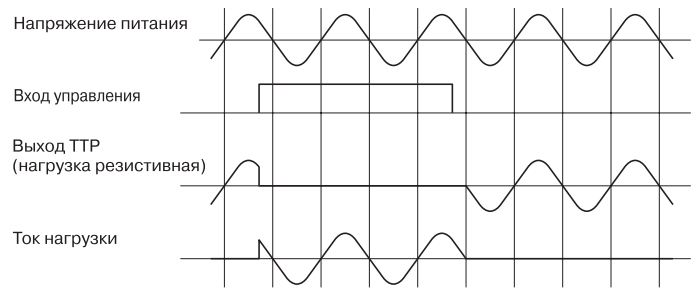


Рис. 4. Коммутация резистивной нагрузки твердотельным реле с включением в произвольный момент времени

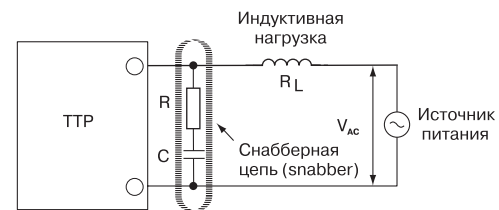


Рис. 5. Подключение RC-цепи (снаббера) для устранения самопроизвольного включения

много раз. Для исключения перегрузки в таких случаях целесообразно выбрать ТТР с включением в момент нулевого выходного напряжения. Другим вариантом ограничения пикового тока является последовательное включение дросселя в цепь питания выходного каскада реле (см. рис. 6).

При работе на индуктивную нагрузку из-за сдвига фаз между током и напряжением использование ТТР с переключением по нулевому уровню не является оптимальным выбором. В любом случае для работы на реактивную нагрузку

рекомендуется выбирать реле с высоким допустимым импульсным током.

### Выбор твердотельного реле по максимально допустимому току

При выборе ТТР необходимо учитывать, что даже для активной нагрузки при включении и выключении броски тока могут в 40 раз и более превышать номинальный ток в выходной цепи.

Например, при включении лампы накаливания перегрузка составляет до 15 раз в течение примерно 0,3 с. Из-за длительного

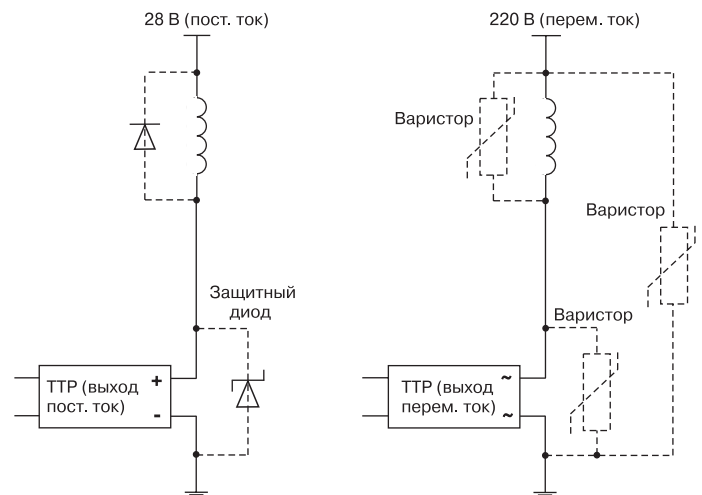


Рис. 7. Варианты защиты твердотельных реле

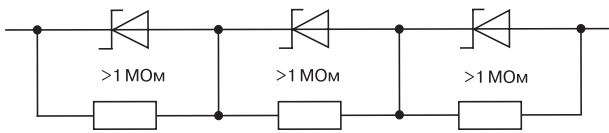


Рис. 8. Последовательное включение защитных диодов

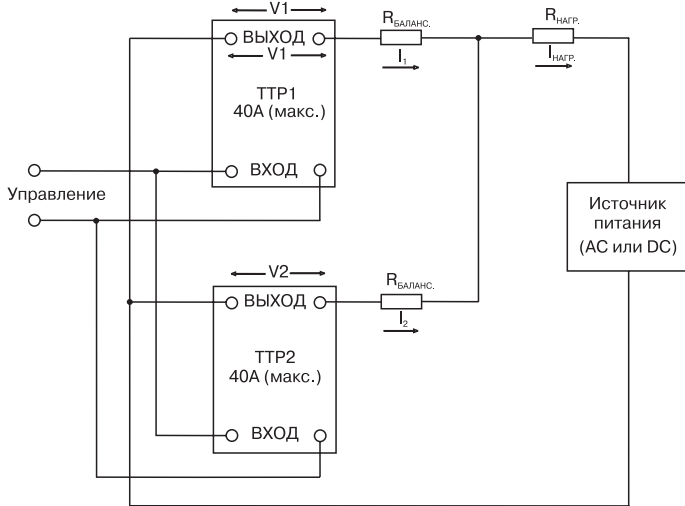


Рис. 9. Параллельное включение твердотельных реле

времени выхода на рабочий режим (от 3 до 5 минут) очень сложной нагрузкой является ртутная лампа, для которой максимальный ток может превышать установившееся значение в 3 раза. Схема включения ртутной лампы включает в себя дроссель, что дополни-

тельно усложняет процесс коммутации. Лампа дневного света (флуоресцентная) имеет десятикратную разницу между током в момент включения и номинальным режимом при времени установления около 10 секунд.

Электродвигатель — классический пример индуктив-

ной нагрузки. Его время выхода на режим составляет 0,2...0,5 с и даже более, а токовая перегрузка — до 10 раз.

Из вышесказанного понятно, что выбирать твердотельное реле надо, исходя не только из номинального тока нагрузки, а учитывая и пиковое его значение (с учетом времени воздействия перегрузки). Кстати, все это необходимо учитывать и при выборе обычного электромеханического реле или контактора.

### Температурные режимы твердотельных реле

Величина максимально допустимого тока сильно зависит от температурных условий, поэтому расчет теплового режима ТТР и выбор радиатора (если он необходим) очень важны. Для реле с выходным каскадом на МОП-транзисторах при возрастании температуры перехода до 150°C сопротивление канала увеличивается приблизительно в два раза. В фирменной документации для всех выпускаемых компонентов CRYDOM приводит

графики температурных режимов, максимального тока и допустимую рассеиваемую мощность. Эта информация позволяет правильно выбрать радиатор и обеспечить надежную работу на долгие годы эксплуатации приборов. В номенклатуре CRYDOM есть широкий выбор радиаторов для конкретных типов твердотельных реле. Некоторые ТТР объединены с теплоотводом в единую конструкцию (см. рис. 1).

### Параллельное включение твердотельных реле

ТТР с выходными каскадами на МОП-транзисторах допустимо соединять параллельно для увеличения выходного тока (для реле с тиристорным выходом параллельное соединение настоятельно не рекомендуется). При параллельном включении двух реле с максимальным током 40 А суммарный ток будет около 72 А (см. рис. 9). Это связано с необходимостью включения выравнивающих резисторов  $R_X$  из-за разброса падения напряжения на выходных транзисторах реле. В худшем случае  $V_1 = 1,3 В$ ,  $V_2 = 11,5 В$ . Тогда  $R_X = (V_2 - V_1)/(I_1 - I_2) = 0,025 Ом = 25 мОм$

### Заключение

Так как существует множество вариантов использования ТТР, желательно иметь как можно больше возможности для выбора подходящего устройства. Одна из самых широких номенклатур твердотельных реле — у фирмы CRYDOM.

В таблице 2 приведены основные выходные параметры некоторых серий ТТР фирмы CRYDOM. Она была основана в 1960 г. и до 1987 г. была частью корпорации International Rectifier. В начале 70-х годов CRYDOM запатентовала и начала производство ТТР, ставших промышленным стандартом, и сегодня

Вариант монтажа	Серии	Тип коммутируемой нагрузки	Внешний вид	
На радиатор (Panel mount)	CW	AC		
	53TP	AC (три фазы)		
	DC серии	DC		
	SSC	AC		
Вариант монтажа	Серии	Тип коммутируемой нагрузки	Внешний вид	
На DIN-рейку	CKR	AC		
	CMR	AC		
	MS11	AC/DC		
	с монтажной панелью	AC/DC		
Вариант монтажа	Серии	Тип коммутируемой нагрузки	Внешний вид	
На печатную плату	CX/CMX	AC/DC		
	PF	AC		
	MP	AC/DC		
	ASO/DMO	AC/DC		
	SD	AC		

занимает лидирующие позиции на этом рынке. Кроме ТТР, компания выпускает однофазные и трехфазные сетевые фильтры для защиты оптореле, диодные и тиристорные модули, модули мягкого запуска. Фирма одной из первых в Америке сертифицирована по стандарту ISO 9001. Основное производство находится в Мексике, а европейское подразделение CRYDOM расположено в Великобритании. Основные характеристики поставляемых компанией ТТР приведены в таблицах

1 и 2. При этом необходимо учитывать, что почти каждое из представленных в таблице реле может поставляться в различных вариантах.

Например, для новой серии sw24 возможны следующие варианты исполнения:

– 10 – произвольное включение (Random Turn-On);

– E – вход управления 24 В (перем. ток) (18...36 В переменного тока);

– P – внутренняя защита от перегрузки по напряжению (неэффектив-

на при работе на емкостную нагрузку);

– S – наличие встроенного снаббера;

– H – наличие радиатора.

Для других серий кодировка опций может отличаться, поэтому необходимо внимательно изучать документацию.

Таблица 2. Основные выходные параметры некоторых серий ТТР фирмы CRYDOM

	Серия 1	Новая серия	Серия 1	Новая серия	Серия 1	Новая серия
Управляемые переменным напряжением (AC CONTROL)	A2410	CWA2410	A2425	CWA2425	A2450	CWA2450
Управляемые постоянным напряжением (DC CONTROL)	D2410	CWD2410	D2425	CWD2425	D2450	CWD2450
Диапазон рабочих напряжений (47...63 Гц), В (перем. ток)	24...280	24...280	24...280	24...280	24...280	24...280
Максимальный ток нагрузки, А (необходим радиатор)	10		25		50	
Импульсный ток (16,6 мс), А (пиковое значение)	120	400	250	600	625	850
Уоткр.(макс.) при номинальном токе, В	1,6	1,3	1,6	1,3	1,6	1,3
Тепловое сопротивление «переход – корпус», °С/Вт	1,48	0,35	1,02	0,35	0,63	0,2
	Серия 1	Новая серия	Серия 1	Новая серия	Серия 1	Новая серия
Управляемые переменным напряжением (AC CONTROL)	A2490	CWA2490	A24125	CWA24125	HA48125	CWA48125
Управляемые постоянным напряжением (DC CONTROL)	D2490	CWD2490	D24125	CWD24125	HD48125	CWD48125
Диапазон рабочих напряжений (47...63 Гц), В (перем. ток)	24...280	24...280	24...280	24...280	48...530	48...660
Максимальный ток нагрузки, А (необходим радиатор)	90		125			
Импульсный ток (16,6 мс), А (пиковое значение)	1200	1350	1750	2000	1750	2000
Уоткр.(макс.) при номинальном токе, В	1,6	1,3	1,7	1,25	1,7	1,25
Тепловое сопротивление «переход – корпус», °С/Вт	0,28	0,14	0,22	0,13	0,22	0,13
Серия CX						
Управляемые постоянным напряжением 5 В (пост. ток) (DC CONTROL)	CX240D5		CX380D5		CX480D5	
Управляемые постоянным напряжением 24 В (пост. ток) (DC CONTROL)	CXE240D5		CXE380D5		CXE480D5	
Диапазон рабочих напряжений (47...63 Гц), В (перем. ток)]	12...280		48...530		48...660	
Максимальный ток нагрузки, А	5					
Импульсный ток (16,6 мс), А (пиковое значение)	250					
Уоткр.(макс.) при номинальном токе, В	1,4					
du/dt (максимально допустимое значение), В/мкс	500					