

СОВРЕМЕННЫЕ ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

С. Волошин, С. Архипов

В современных системах электротехники, электропривода, а также автоматизированного управления и контроля широкое применение находят мощные полупроводниковые приборы с оптоэлектронной развязкой:

- твердотельные оптоэлектронные реле;
- входные и выходные модули устройств связи с объектом (УСО);
- тиристорные, МОП- и IGBT-силовые модули со встроенными драйверами.

ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ РЕЛЕ

Реле переменного тока. В цепях переменного тока твердотельные оптоэлектронные реле с тиристорами на выходе — альтернатива электромагнитным устройствам. В прибор входит светодиод, оптически связанный с оптосимистором, который управляет мощным коммутирующим элементом (последним может быть симистор или два включенных встречно-параллельно тиристора).

В зависимости от исполнения оптоэлектронное реле может содержать встроенную схему контроля перехода через “ноль” (реле типа ТМ), включаться в произвольный момент фазы (реле типа ТС), содержать на выходе встроенную RC-цепь (реле типов ТСА, ТСБ, ТСВ/ТМА, ТМБ, ТМВ). Последние предназначены для применения в системах с потенциальным управлением (постоянным или переменным). Эти приборы по цоколевке и расположению выводов взаимозаменяемы с приборами производства фирм Cridom, Siemens и др.

Реле постоянного тока. В цепях постоянного тока твердотельные оптоэлектронные реле с МОП-транзисторами или IGBT на выходе — альтернатива электромагнитным реле. В прибор входит ИК-светодиод, оптически связанный с электронной схемой, управляющей выходным элементом. Последний представляет собой мощный ДМОП-транзистор или IGBT.

Быстродействующие и нормально замкнутые твердотельные реле имеют дополнительный вывод питания, гальванически связанный с входом (5П57..., 5П59..., 5П62...) или выходом (5П40...) прибора.

Реле общего назначения. Твердотельные оптоэлектронные реле с МОП-транзисторами на выходе — альтернатива электромеханическим и полупроводниковым реле на основе тиристоров. Прибор состоит из ИК-светодиода, оптически связанного с матрицей фотодиодов, которые работают в фотovoltaическом режиме и управляют выходным коммутирующим элементом. Последний представляет собой пару МОП-транзисторов, соединенных истоками.

При включении МОП-транзисторов в последовательную цепь получают линейный переключатель постоянного и переменного тока двухнаправленного действия.

Реверсивные реле. Однофазные реверсивные реле обеспечивают включение, выключение и реверс однофазных двигателей. Реле имеют оптронную развязку управляющих сигналов от силовых цепей. Устройства данного типа могут использоваться и для коммутации резервного источника питания.

Двухфазные реверсивные реле обеспечивают включение, выключение и реверс двухфазных двигателей. Они также имеют оптронную развязку управляющих сигналов от силовых цепей. В реле данного типа обеспечивается коммутация двух фаз питающего напряжения.

Трехфазные реверсивные реле предназначены для включения, выключения и реверса трехфазных двигателей. Помимо оптронной развязки управляющих сигналов от силовых цепей, в них предусмотрен вход сигнала блокировки включения реле. В реле данного типа обеспечивается коммутация всех трех фаз питающего напряжения.

МОДУЛИ УСО

Выходные модули. Модули переменного тока выпускаются в двух вариантах: со схемой контроля фазы напряжения в нагрузке и без нее. При наличии схемы контроля модуль включается при значении напряжения в линии, близком к нулю, что позволяет минимизировать уровень электромагнитных и радиопомех. Модули отличаются высокой помехозащищенностью. В них используется встроенная RC-цепь для обеспечения работы с индуктивными нагрузками. Модули постоянного тока могут работать в широком диапазоне напряжений и имеют встроенную схему защиты от перенапряжений.

Входные модули. Эти модули представляют собой оптоэлектронные устройства, на выходе которых формируется логический сигнал, соответствующий состоянию опрашиваемого датчика. Высокий уровень выходного сигнала соответствует отключенной нагрузке (датчик разомкнут), а низкий уровень выходного сигнала — включенной нагрузке (датчик замкнут). Схема входного модуля обеспечивает четкую фиксацию состояния, имеет элементы фильтрации и гистерезиса. Выход модуля представляет собой схему с открытым коллектором. Входные и выходные модули совместимы по входам и выходам и могут работать в системах совместно.

Силовые модули. В семейство силовых модулей входят монолитные гибридные интегральные полупроводниковые сборки с изолированными радиаторами следующих силовых элементов: диодов, тиристоров, МОП-транзисторов, IGBT. По средствам управления они разделяются на модули с непосредственным и с оптически развязанным управлением. Функционально силовые модули делятся на тиристорно-диодные, транзисторно-(IGBT)-диодные, полумосты (МОП или IGBT), трехфазные мосты (диодные или IGBT), мощные сборки транзисторов (МОП или IGBT).

Рабочие токи модулей составляют 10...160 А при значениях напряжения 60...400 В (модули на МОП-транзисторах) и 600...1200 В (модули на тиристорах и диодах и IGBT-модули).

ЗАО “Протон-Импульс” выпускает все перечисленные силовые оптоэлектронные приборы. Анализ результатов эксплуатации этих приборов потребителями в разнообразных системах с различными нагрузками позволяет сформулировать некоторые особенности их при-



менения. На примере твердотельных оптоэлектронных реле (далее – ТТР) рассмотрим следующие аспекты:

- условия задания управляющих сигналов, обеспечивающих нормированные параметры ТТР;
- защиту ТТР от перенапряжений в силовых цепях;
- устойчивость тиристорных ТТР к воздействию dU/dt и dI/dt ;
- особенности работы реле на индуктивную нагрузку;
- особенности работы реле на емкостную нагрузку;
- устойчивость реле к ударным и пусковым токам;
- расчет тепловых режимов ТТР;
- климатические условия эксплуатации;
- устойчивость реле к механическим воздействиям;
- монтаж реле в электронной и электротехнической аппаратуре;
- общие рекомендации по защите и устойчивости работы реле.

Цепи управления оптоэлектронным реле. Исходный входной элемент оптореле – светодиод входной оптопары (транзисторной, симисторной или фотovoltaической). Внутренние цепи управления реле могут также содержать: последовательный резистор, стабилизатор тока, диодный мост со сглаживающей цепью и, в некоторых специальных случаях, транзисторные схемы (реверсивные, быстродействующие, многоканальные реле).

При построении внешних управляющих цепей рекомендуется учитывать следующие особенности параметров входных оптронов:

- ухудшение из-за входного микротока устойчивости к быстрому нарастанию напряжения на выходе у симисторных оптронов при напряжении на входе $0...0,8$ В;
- несанкционированное открывание фотovoltaических оптронов в режиме входных микротоков из-за вероятности “накачивания” заряда на затвор выходного транзистора;
- увеличение токов утечки транзисторных оптронов при наличии микротоков на входе.

Исходя из перечисленных особенностей, для реле с управлением постоянным током (напряжением) можно рекомендовать обеспечивать в режиме выключения небольшое отрицательное смещение на входе, как показано на рис. 1:

$$R_2 = \frac{E - U_{НОМ} - U_{КЗ}}{I_{НОМ}};$$

$$R_1 \leq \frac{E - U_{СТ}}{I_{Т.УТ}}; \quad U_{СТ} \neq U_{НОМ} + U_{КЗ},$$

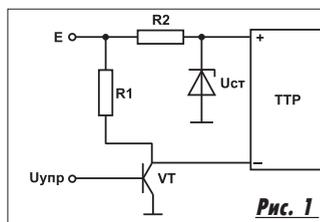


Рис. 1

где $U_{НОМ}$ – номинальное входное напряжение оптореле; $I_{НОМ}$ – номинальный входной ток оптореле; $U_{КЗ}$ – напряжение насыщения VT; $I_{Т.УТ}$ – темновой ток VT.

Один из основных параметров оптореле во включенном состоянии – нормируемый для нормальных условий (25°C) ток. При нормированном значении тока гарантируются остальные параметры реле. Однако для обеспечения работы реле в требуемом температурном диапазоне следует учесть, что, в частности, входной ток симисторных оптронов при -40°C должен быть на 50% больше, а для сохранения выходных параметров фотovoltaических оптронов при 100°C необходимо увеличить входной ток на 50%. Однако увеличение выходного тока выше предельно допустимого значения ведет к развитию деградационных процессов у входного светодиода со всеми вытекающими из этого последствиями.

Защита от перенапряжений. Выбросы напряжения на силовых выходах оптореле могут возникать по разным причинам: помехи в сети питания, остаточные напряжения при коммутации емкостных нагрузок, напряжение самоиндукции при коммутации индуктивных на-

грузок. Превышение пробивного напряжения тиристорных приводит к их разрушению. Полевые и IGBT-транзисторы могут работать в режиме лавинного пробоя. Однако, как правило, допустимая энергия лавинного пробоя относительно невелика (десятки – сотни миллиджоулей), поэтому риск выхода из строя этих силовых элементов достаточно велик. Отсюда следует необходимость защиты выходов оптореле от перенапряжений. Существует два основных механизма защиты: – фиксация напряжения, реализуемая стабилитронами и варисторами; – шунтирование защищенных цепей, реализуемое искровыми и газовыми разрядниками, а также модулями, представляющими собой комбинацию силового элемента (тиристора, МОП- или IGBT-транзистора) со стабилитроном в цепи управления силовым элементом (рис. 2).

Силовые элементы на рис. 2 могут быть выходными элементами самого оптореле. В этом случае управляющие элементы должны быть встроены в реле.

Названные механизмы защиты имеют свои достоинства и недостатки, и их использование зависит от конкретных условий применения оптореле. Устройства с фиксацией напряжения характеризуются тем, что паразитный ток в нагрузке при перенапряжении в первом приближении равен $D U/Z_H$, где D – величина перенапряжения, Z_H – импеданс нагрузки, в то время как при шунтировании этот ток равен U/Z_H , где U – полное напряжение силовой цепи. Таким образом, ясно, что в первом случае паразитный ток значительно меньше, чем во втором, и в большинстве случаев не будет оказывать нежелательного влияния на нагрузку. Недостаток устройств с фиксацией напряжения – необходимость рассеивать значительную энергию при перенапряжениях, в то время как при шунтировании энергия рассеивается в нагрузке. Сравнивая параметры стабилизаторов и варисторов, можно отметить, что варисторы рассеивают значительно большие мощности, но имеют тенденцию к деградации характеристик, в отличие от стабилитронов.

Таким образом, когда перенапряжения возникают редко или их средняя энергия относительно мала, а обработка перенапряжений нагрузкой недопустима, следует использовать варисторы или стабилитроны. Если же нагрузка при перенапряжениях допускает кратковременные выбросы тока (несколько больше номинального тока), то безотносительно к величине энергии перенапряжения можно использовать механизм шунтирования в соответствии с рис. 2 (искровые и газовые разрядники здесь не рассматриваются).

Отметим, что схемы с тиристором при срабатывании остаются включенными до тех пор, пока величина тока в нагрузке не станет близкой к нулю. Поэтому схема рис. 2а может использоваться при однополярном пульсирующем напряжении (глубина модуляции 100%), схема на рис. 2б – при переменном напряжении. Схемы рис. 2в и 2г – однополярный и двухполярный модули защиты для силовой сети постоянного и переменного тока, соответственно.

Существует еще один общеизвестный способ защиты при коммутации индуктивной нагрузки в цепи постоянного тока – шунтирование индуктивности защитным диодом. В случае, когда единственным источником перенапряжений является э.д.с. самоиндукции нагрузки при разрыве цепи постоянного тока, такой защиты вполне достаточно.

Рассмотрим вопросы расчета некоторых цепей защиты от перенапряжений.

Защита варисторами. Классификационные напряжения защитных варисторов ти-

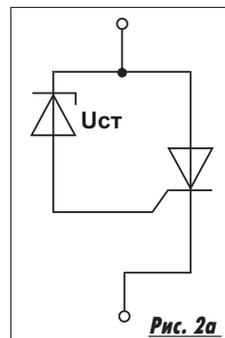
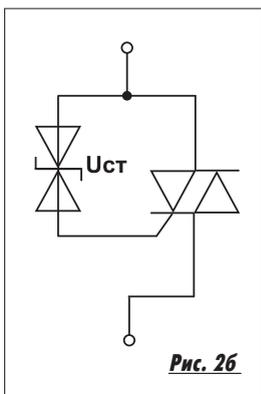


Рис. 2а



пов ВР-1, ВР-2, СН2-1, СН2-2 лежат в диапазоне 68 – 1500 В ($I_{кл} = 1 \text{ мА}$), их энергия рассеивания составляет 10 – 114 Дж, а коэффициент нелинейности превышает 30 (более 22 у ВР-1). Классификационное напряжение варистора должно превышать максимально возможное пиковое напряжение силовой сети с учетом нестабильности напряжения (10%) и технологического разброса значений классификационного напряжения:

$$U_{кл} \neq U_{НОМ} \quad 2 \quad 1,1 \quad 1,1.$$

Для $U_{НОМ} = 220 \text{ В}$, $U_{кл} \neq 375 \text{ В}$; для $U_{НОМ} = 380 \text{ В}$, $U_{кл} \neq 650 \text{ В}$.

При этих условиях ближайшие из ряда классификационных напряжений значения $U_{кл}$ равны 390 В для ~ 220 В и 680 В для ~ 380 В.

Рассмотрим вопрос о максимально допустимых перенапряжениях в силовой цепи при защите отпореlem с пробивным напряжением $U_{проб}$ варистором с классификационным напряжением $U_{кл}$ при номинальном пиковом напряжении сети $U_{пик}$.

Вольт-амперная характеристика варистора описывается выражением: $I = k U^n$, где $n \neq 30$.

С учетом того, что $I_{кл} = k U_{кл}^n$, где $I_{кл}$ – классификационный ток и $U_{кл}$ – классификационное напряжение, имеем

$$U = U_{кл} \sqrt[n]{\frac{I}{I_{кл}}}$$

При напряжении в сети U_c для нагрузки с импедансом Z_n напряжение на варисторе равно $U = U_c - I Z_n$.

Тогда
$$U_c = U + Z_n I_{кл} \frac{U}{U_{кл}^{\frac{n+1}{n}}}$$

Граница безопасной работы определяется равенствами

$$U_c = U_c^{max}, \quad U = U_{проб}, \text{ т.е.}$$

$$U_c^{max} = U_{проб} + Z_n I_{кл} \frac{U_{проб}}{U_{кл}^{\frac{n+1}{n}}}$$

Для активной нагрузки можно записать
$$Z_n = \frac{U_{пик}}{I_{пик}}$$
,

где $I_{пик}$ – пиковое значение номинального тока (характеристика реле).

Введя обозначение $\frac{U_{проб}}{U_{кл}} = x$, получим

$$U_c^{max} = x + \frac{U_{пик}}{U_{кл}} \frac{I_{кл}}{I_{пик}} x^n$$

Поскольку должно выполняться условие

$$\frac{U_{пик}}{U_{кл}} \gg 0,8 \text{ а } I_{кл} = 10^{-3} \text{ А,}$$

окончательно получим:

$$\frac{U_c^{max}}{U_{кл}} = x + \frac{0,57 \cdot 10^{-3}}{I_{НОМ} [\text{А}]} x^{30}$$

Из зависимости нормированного значения максимально допустимого напряжения от нормированного значения пробивного напряжения отпореlem при различных значениях номинального

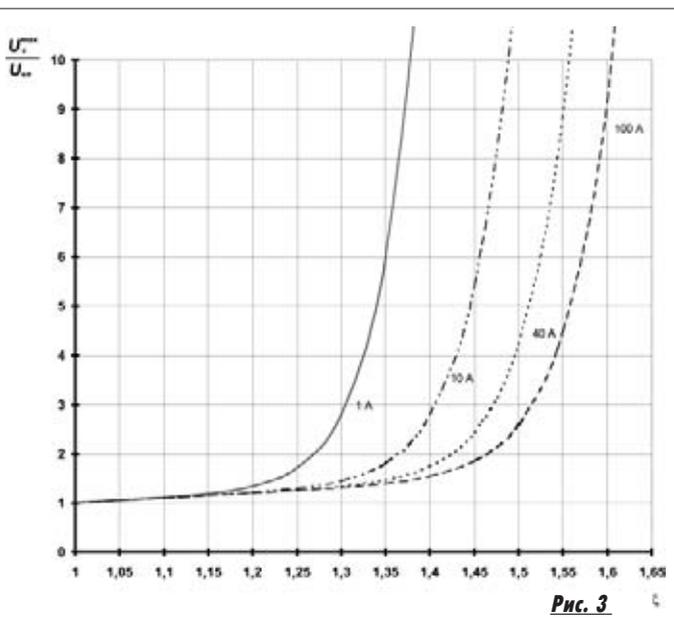
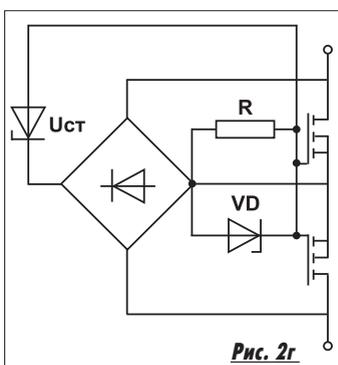


Рис. 3

тока реле (рис. 3) следует, что при заданном перенапряжении в сети для более мощных реле требуется более высокий класс реле по напряжению. При индуктивном характере нагрузки импульсный импеданс нагрузки Z_n значительно выше номинального и механизм защиты будет более эффективным, чем это следует из рис. 3.

ЗАЩИТА ШУНТИРУЮЩИМИ ЦЕПЯМИ

Интерполируем линейной функцией вольт-амперную характеристику стабилитрона схем, приведенных на рис. 2а, б:

$$I = \frac{U - U_{ст}}{R_d}, \text{ где } U_{ст} - \text{напряжение стабилизации, а } R_d - \text{дифференциальное сопротивление стабилитрона на участке стабилизации.}$$

Тогда можно записать $U_{ст} \in U_{проб} - R_d I_{упр}^{отп}$; $U_{пик} \in U_{ст}$, где $U_{проб}$ – пробивное напряжение выхода отпореlem; $I_{упр}^{отп}$ – управляющий ток отпирания тиристора; $U_{пик}$ – максимальное пиковое напряжение в силовой цепи.

Последние соотношения должны выполняться с учетом технологического разброса и изменения в температурном диапазоне параметров $U_{ст}$, R_d , $I_{упр}^{отп}$.

Для схем на рис. 2в, г при линейном приближении ВАХ стабилитрона имеем:

$$I = \frac{U - U_{ст}}{R - R_d}; \quad RI > U_{пор}; \quad U_{ст} > U_{пик}.$$

Отсюда
$$R > \frac{R_d U_{пор}}{U_{проб} - U_{ст} - U_{пор}},$$

где $U_{пор}$ – пороговое напряжение полевого транзистора.

Последнее соотношение и неравенство $U_{ст} > U_{пик}$ должно выполняться с учетом технологических и температурных изменений параметров $U_{ст}$, $U_{пик}$, R_d , $U_{пор}$, R .

Дополнительный стабилитрон VD в этих схемах предназначен для защиты затвора МОП-транзистора.

(Продолжение в следующем номере.)

ЗАО "Протон-Импульс"
Россия, 302027, г. Орел, ул. Лескова, 19
Отдел сбыта: тел. (0862) 41-01-90
E-mail: marketing@orel.ru, http://www.valley.ru/~energia
Отдел разработок: тел. (0862) 41-36-63
E-mail: energia@valley.ru