

# СОВРЕМЕННЫЕ ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Окончание\*

Исследование процессов в трехфазной системе показали, что при любом варианте включения тиристоров перенапряжение возникает на тиристоре, закрытом в последней стадии включения. Этот тиристор должен быть шунтирован защитным варистором. При превышении классификационного напряжения на варисторе ток разряда конденсатора начинает нарастать и, соответственно, напряжение на конденсаторе снижается. Амплитуды тока и напряжения на варисторе зависят от скорости нарастания тока и емкости конденсатора: при увеличении скорости этих параметров амплитуды тока и напряжения возрастают. При этом амплитуда напряжения может превышать предельно допустимую для тиристора.

Энергия, рассеиваемая варистором в одном цикле, равна:

$$W_{\text{имп}} = \frac{C(2U_0 - U_{\text{кл}})(2U_0 + U_{\text{кл}})}{2},$$

где  $U_{\text{кл}}$  — классификационное напряжение варистора. Если  $C = 10^{-4}$  Ф,  $U_{\text{кл}} = 680$  В и  $U_0 = 380$  В, то  $W_{\text{имп}} = 34$  Дж. При повторении один раз в минуту порядка этой величины тот же, что и у предельно допустимой величины для варисторов типа СН2-1 и СН2-2. Таким образом, при достаточно высокой частоте коммутации на больших емкостях возможен перегрев и выход варисторов, а затем и тиристоров из строя. Экспериментальная проверка этой модели с конденсаторами емкостью 50 мкФ и варисторами СН2-2-620 В показала, что:

- напряжения на конденсаторах равны 190 В, 530 В и 720 В;
- длительность нарастания импульса тока в варисторе равна примерно 1 мс;
- длительность импульса тока на уровне 0,5 составляет около 4 мс;
- амплитуда импульса тока  $\gg 10$  А.

Следовательно, в условиях частых коммутаций при малом интервале между *выключением–включением* в схеме, приведенной на рис. 3\*\*, необходимо использовать тиристорные реле с вдвое большим предельно допустимым напряжением или ограничители напряжения с запасом по рассеиваемой мощности. Правда, возникновения перенапряжений на тиристорах можно избежать с помощью частичного разряда конденсаторной нагрузки после выключения реле в заданной фазе и последующего его включения в той же фазе напряжений (см. рис.). При такой защите компаратор нуля выдает импульс записи в момент перехода напряжения  $U_{AB}$  через нуль в определенном направлении. Если сигнал на входе управления равен нулю, триггер сбрасывается в нуль, выключая через узел управления силовое реле. Поскольку в этот момент ток в фазе С равен нулю, эта фаза реле выключается, емкости перезаряжаются, а затем отключаются фазы А и В. По окончании этого процесса на выходе узла управления формируется импульс, открывающий симистор VS, и конденсатор С1 через разрядный резистор полностью разряжается, а емкости С2 и С3 разряжают-

ся частично. При появлении на входе управления сигнала включения напряжение включения на реле поступает в той же фазе, что и сигнал выключения, при этом, как нетрудно видеть, перенапряжения отсутствуют. Такое устройство синхронного управления (УСУ) выпускает ЗАО “Протон-Импульс”.

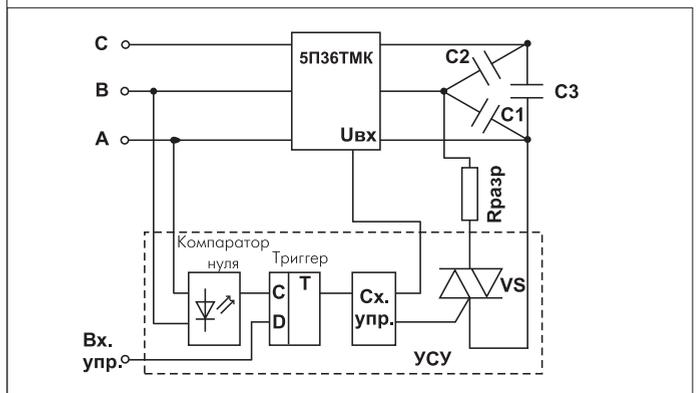
**Ударные и пусковые токи.** При работе с большинством типов нагрузок включение реле сопровождается скачком тока различной длительности и амплитуды. Помимо рассмотренных выше емкостных и индуктивных (с насыщающимися сердечниками) нагрузок можно отметить и другие их типы:

- *чисто активные нагрузки* (например, нагреватели) с минимально возможными скачками тока, которые практически устраняются при использовании реле с контролем пересечения нуля;
- *лампы накаливания.* Галогенные лампы при включении пропускают ток, в 7–12 раз превышающий номинальный. За  $\sim 0,1$  с этот ток экспоненциально падает. В флуоресцентных лампах в течение первых секунд ( $\sim 10$  с) возникают кратковременные скачки тока, в 5–10 раз превышающие номинальный ток. Ртутные лампы дают тройную перегрузку по току в течение первых 3–5 мин работы;
- *обмотки электромагнитных реле* переменного тока и соленоидов. Ток обмотки реле в течение одного-двух периодов в 3–10 раз больше номинального, вторых – в 10–20 раз больше номинального в течение 0,05–0,1 с;
- *электродвигатели.* Их ток в течение 0,2–0,5 с в 5–10 раз больше номинального;
- *высокоиндуктивные нагрузки с насыщающимися сердечниками* (например, трансформаторы на холостом ходу). При включении в фазе нуля напряжения их ток в течение 0,05–0,2 с в 20–40 раз больше номинального;
- *емкостные нагрузки.* Ток таких нагрузок при включении в фазе, близкой к  $90^\circ$ , в 20–40 раз больше номинального в течение времени от десятков микросекунд до десятков миллисекунд.

Способность реле выдерживать токовые перегрузки характеризуется величиной “ударного тока”, т.е. амплитудой одиночного импульса заданной длительности (обычно 10 мс). У реле постоянного тока эта

\* Начало см.: ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес, 2000, №.3, с. 24–26; №.4, с.25–27.

\*\*См. рис.3 в статье: С. Волошин, С. Архипов. Современные оптоэлектронные приборы для силовой электроники. – ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес, 2000, №.4, с.25–27.



**Блок-схема реализации метода предотвращения возникновения перенапряжений**



величина обычно в два-три раза превосходит значение максимально допустимого постоянного тока, у тиристорных реле – примерно в 10 раз. Для токовых перегрузок произвольной длительности можно воспользоваться следующей эмпирической зависимостью: увеличение длительности перегрузки на порядок ведет к уменьшению допустимой амплитуды тока в два раза.

Выбор номинального тока реле для конкретной нагрузки должен быть основан на компромиссе между запасом по номинальному току реле и дополнительными мерами по уменьшению пусковых токов (применение токоограничивающих резисторов, реакторов и т.п.).

**Тепловые режимы оптоэлектронных реле.** В отличие от электромагнитных реле, на контактах которых в замкнутом состоянии рассеивается пренебрежимо малая мощность, оптоэлектронные реле в открытом состоянии характеризуются некоторым остаточным напряжением (тиристорные, на биполярных или IGBT-транзисторах) или сопротивлением (полевые транзисторы) на выходе. Поэтому на них рассеивается мощность ( $U_{ост} I$  или  $R_{откр} I^2$ ), что вызывает разогрев кристалла силового элемента и требует принятия мер по ограничению температуры рабочего *p-n*-перехода (предельно допустимые значения рабочей температуры симисторов 110 или 125°C, тиристоров 125°C, полевых транзисторов 150°C).

В систему параметров оптореле, выпускаемых ЗАО “Протон-Импульс”, входят следующие, необходимые для расчета тепловых режимов:

- остаточное напряжение  $U_{ост}$  в открытом состоянии при максимальном рабочем токе (амплитудное значение);
- сопротивление  $R_{откр}$  в открытом состоянии при 25°C при максимальном рабочем токе;
- предельно допустимая температура перехода;
- тепловое сопротивление переход-среда  $R_{пер-ср}$  или переход-радиатор  $R_{пер-рад}$

Для многоканальных (многофазных) реле тепловое сопротивление приводится для одного канала (фазы).

При расчете теплового режима однофазных тиристорных реле максимально допустимый ток определяется как

$$I_{max} = \frac{T_{пер}^{max} - T_{ср}}{0,8 U_{ост} R_{пер-ср}},$$

где  $T_{ср}$  – температура окружающей среды,  $R_{пер-ср} = R_{пер-рад} + R_{рад-охл} + R_{охл-ср}$  – для реле, применяемых с внешним охладителем (табл.). Контактное тепловое сопротивление радиатор-охладитель  $R_{рад-охл}$  при использовании теплопроводящих паст равно 0,12°C/Вт для корпуса типа В и 0,065°C/Вт для корпуса Д.

Для трехфазных тиристорных реле

$$I_{max} = \frac{T_{пер}^{max} - T_{ср}}{2,4 U_{ост} (R_{охл} + \frac{R_{пер-рад}}{3})}$$

Изделия ЗАО “Протон-Импульс” в соответствии с ГОСТ 15150 поставляются в климатическом исполнении У 2.1, УХЛ 2.1, ХЛ 2.1, ТВ 2.1, ОМ 2.1. По устойчивости к механическим воздействиям они удовлетворяют требованиям ГОСТ 18725. Допустимые механические воздействия для реле групп М1–М47 приведены в ГОСТ 17516.1.

**Монтаж реле в электронной и электротехнической аппаратуре.** Реле в корпусах типов А и Б можно монтировать в аппаратуру с помощью разъемных соединителей или пайкой выводов на печатную плату при температуре не выше  $235 \pm 5^\circ\text{C}$  и продолжительности пайки не более 5 с. Расстояние от корпуса до области пайки должно быть не менее 1,5 мм. Реле можно монтировать и методом групповой пайки. Число допустимых перепаяк выводов реле при проведении мон-

#### Параметры стандартных воздушных охладителей

Тип охладителя	$R_{охл-ср}, ^\circ\text{C}/\text{Вт}$			Габаритные размеры, мм
	0 м/с	3 м/с	6 м/с	
0221	2,8	–	–	45 x 60 x 60
0135, 0145	1,9	0,85	0,67	45 x 80 x 80
0123 (половина)	1,4	0,54	0,42	100 x 100 x 50
0155	1,1	0,47	0,36	70 x 80 x 100
0342 (половина)	1,1	0,46	0,36	150 x 170 x 60
0143 (половина)	1,0	0,34	0,24	135 x 150 x 48
0165, 0175	0,71	0,3	0,23	110 x 110 x 100
0253 (половина)	0,72	0,28	0,2	150 x 170 x 60
0153 (половина)	0,56	0,2	0,15	150 x 170 x 70

тажных и сборочных операций не ограничено. Выводы реле сохраняют способность к пайке в течение 12 месяцев с момента изготовления без дополнительной обработки.

К реле в корпусах типов В и Д с круглыми резьбовыми контактами электрические проводники и кабели присоединяются с помощью винтов и шайб, входящих в комплект поставки изделия с крутящим моментом 2–3 Н·м.

Реле в корпусах типа В и Д крепятся в аппаратуре на любых поверхностях или на монтажных плоскостях охладителей с любой ориентацией с помощью винтов М4 с крутящим моментом  $5 \pm 0,5$  Н·м.

Шероховатость контактной поверхности не должна превышать 3,2 мкм. Для улучшения теплового баланса реле должно крепиться на монтажной поверхности или охладителе с помощью теплопроводящих паст (типа КПТ-8 ГОСТ 19783-74).

**Защита и устойчивость работы реле.** Для улучшения устойчивости реле переменного тока к импульсным помехам рекомендуется параллельно коммутирующим контактам ТТР включать внешнюю цепь, состоящую из последовательно соединенных резистора с сопротивлением 10–50 Ом и конденсатора емкостью 0,01–0,15 мкФ. Следует учитывать, что увеличение емкости снижает скорость нарастания напряжения на выходе реле, но увеличивает величину выброса напряжения. Сопротивление RC-цепи должно быть безындукционным.

С целью исключения перегрузок коммутирующих элементов ТТР по напряжению необходимо параллельно им включать защитные варисторы типа СН2-2, СН2-1, ВР-1, ВР-2 или другие с аналогичными характеристиками. Для сетей с напряжением 220 В квалификационное напряжение варистора – 390 В, а для сетей с напряжением 380 В – 620 В. Для более полной защиты трехфазных реле от перегрузок по напряжению со стороны питающей сети защитные варисторы следует включать между фазами питающей сети.

При работе с реверсивными реле должны быть соблюдены все перечисленные рекомендации по защите ТТР и, кроме того, в коммутируемых (переключаемых) фазах питающей сети должна быть включена индуктивность 200 мкГн перед входными контактами ТТР. Биполярные реле постоянного тока также необходимо защищать варисторами.

Гальваническая развязка между входными выводами и теплоотводом гарантируется конструкцией реле. Для повышения надежности рекомендуется выбирать реле так, чтобы максимальные рабочие токи и напряжения его коммутирующих цепей не превышали 60% их предельно допустимых значений.

ТТР – тепловыделяющие изделия, поэтому в аппаратуре их необходимо располагать так, чтобы охлаждение происходило за счет конвекционных потоков воздуха. Достигаемое благодаря этому снижение максимальной рабочей температуры повышает их надежность. В условиях эксплуатации ТТР при предельно допустимых температурах целесообразно устанавливать принудительное воздушное охлаждение.