

## О НАДЕЖНОСТИ ЛОГИЧЕСКИХ ВХОДОВ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

В. И. Гуревич, к.т.н., Центральная лаборатория электрической компании Израиля

Проблемы надежности микропроцессорных устройств релейной защиты (МУРЗ) являются весьма актуальными в связи с повсеместным переходом от электромеханических и статических реле к микропроцессорным. Как показано в [1, 2], широко распространенное мнение о якобы очень высокой надежности МУРЗ, на порядки превышающей надежность вышеназванных реле защиты, на поверку оказывается не более чем распространенным мифом, многие годы формирующимся под влиянием рекламных публикаций фирм-производителей. Совершенно очевидно, что такие сложные многофункциональные устройства, как МУРЗ, не могут даже теоретически не иметь недостатков, быть абсолютно надежными и не иметь статистики повреждений за 15-20 лет эксплуатации.

Мы уже рассматривали ранее вопросы, связанные с недостаточной надежностью выходных реле МУРЗ, предназначенных для прямого включения отключающих катушек высоковольтных выключателей [3].

Данная статья посвящена проблеме надежности логических входов МУРЗ на примере широко распространенных устройств серии RE\*316 (REL, RET, REC), находящихся в эксплуатации уже 10-15 лет.

Цифровые (логические) входы в МУРЗ этого типа выполнены в виде набора совершенно одинаковых ячеек, функционально представляющих собой логические элементы ЗАПРЕТ, (рис. 1). Вход и выход этой ячейки через изолирующие оптроны Opt1 и Opt2 включены в электронные цепи МУРЗ, связанные с микропроцессором. Выходной сигнал с оптрона Opt2 логически моделирует (повторяет) наличие или отсутствие входного напряжения. Функционирование этой схемы может быть заблокировано программным методом. При этом блокирующий сигнал с микропроцессора через соответствующие электронные цепи поступает на запрещающий вход ячейки (вход оптрона Opt1). Ее проблема заключается в высоком уровне входного сигнала (220-250В постоянного

тока), который нужно погасить до уровня 1,5-2В, при котором работает оптрон Opt2.

Общий ток, потребляемый схемой, делится примерно поровну между резисторами R1 и R2, поэтому оба они в принципе должны были иметь одинаковую мощность. Однако для двух крупных резисторов (таких, как R1), да еще и с расстоянием между ними, необходимым для охлаждения, нет места на плате. Поэтому функции элемента, рассеивающего избыточную мощность, конструкторы МУРЗ возложили на транзистор VT, работающий не в ключевом режиме, как обычно в таких схемах, а в усилительном. Естественно, что резистор R2 при этом выбран малой мощности и малых размеров. На практике такое стремление к миниатюризации приводит к серьезным проблемам: резистор R2 часто полностью сгорает, приводя иногда к выгоранию участков печатной платы и даже рядом стоящих элементов.

Первая проблема этого устройства заключается в транзисторе VT. При работе в усилительном режиме и постоянном рассеивании избыточной мощности он нагревается до температуры 70-80°C. В отличие от обычного резистора, сопротивление которого незначительно увеличивается с ростом температуры, сопротивление прямого перехода транзистора с ростом температуры существенно уменьшается вследствие смещения рабочей точки на характеристике и увеличения коэффициента усиления. Это приводит к возрастанию коллекторного тока, то есть тока через резистор R2. При одновременном нагреве многих резисторов R1 и транзисторов VT в десяти-пятнадцати входных цепях температура внутри части корпуса МУРЗ (разделенного переборками), в которой установлена плата цифровых входов, может существенно возрасти. Это приводит к дальнейшему смещению рабочей точки транзистора и увеличению его коллекторного тока вплоть до полного сгорания резистора R1. При этом диод VD1, который, судя по схеме, призван стабилизировать рабочую точку транзистора, оказывается малоэффективным в связи с тем, что температура его и транзистора

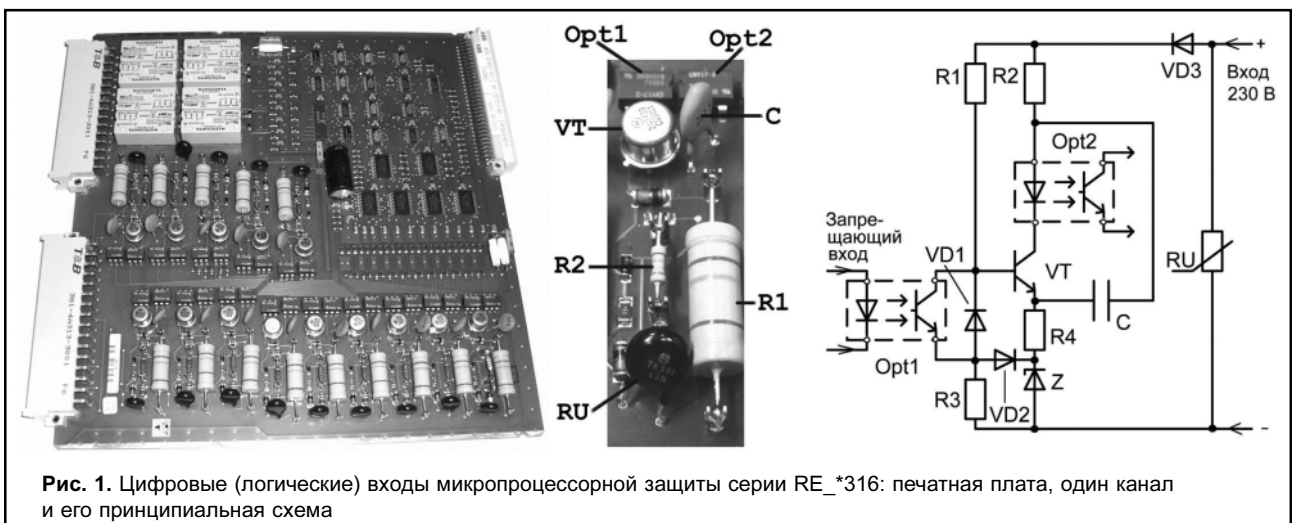


Рис. 1. Цифровые (логические) входы микропроцессорной защиты серии RE\_\*316: печатная плата, один канал и его принципиальная схема

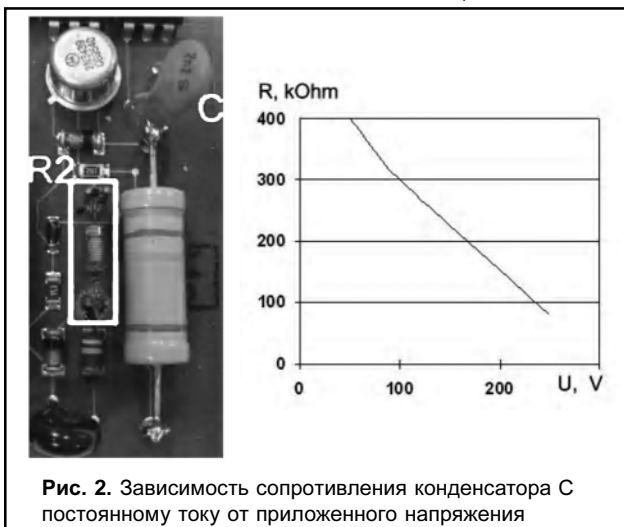
различаются на 50-60 градусов. Таким образом, стремление производителя уменьшить размеры МУРЗ, используя транзистор вместо мощного резистора для рассеивания избыточной мощности, привело к снижению надежности МУРЗ. Проблема недостаточной надежности этой схемы, связанной с миниатюризацией, не ограничивается только описанным парадоксом.

Второй проблемой является миниатюрный дисковый керамический конденсатор С емкостью 2,2 нФ. Данные конденсаторы считаются одними из наиболее устойчивых к воздействию электрических эксплуатационных нагрузок и стабильными во времени. Однако у керамических конденсаторов с открытым (или плохо изолированным) междуэлектродным зазором возможно снижение сопротивления изоляции и даже электрический пробой за счет миграции ионов металла обкладок (в частности серебра) по торцу конденсатора, особенно в условиях влажного тропического климата. При напряжении на входе реле ниже 100В такие конденсаторы ничем не выдают своей неисправности как и при «прозвонке» обычным тестером. Но при напряжении 180-230В ток утечки через них возрастает настолько, что нормальная работа транзистора и оптрона становится невозможной. Более того, при длительном воздействии входного напряжения 220-230В из-за увеличенного тока утечки через этот конденсатор возрастает мощность, рассеиваемая на резисторе R2, и он просто сгорает (рис. 2).

Третьей проблемой, выявленной нами в этих узлах МУРЗ, являются внутренние обрывы, появляющиеся со временем в мощных резисторах R1 (рис. 1). Это явление возникает предположительно вследствие нарушения контакта между металлическими чашками на торцах резистора и резистивным слоем на поверхности керамического цилиндра из-за его отслаивания.

Четвертой проблемой являются массовые отказы оптронов Opt2. Например, однажды пришлось заменить 7 оптронов типа CNY17-2 лишь на одной печатной плате логических входов реле REC316!

Оптроны этого типа имеют следующие параметры:  
 номинальный прямой входной ток (ток светоизлучающего элемента –  $I_F$ ) – 60 мА;  
 максимальный прямой входной ток ( $I_F$ ) – 100 мА;



**Рис. 2.** Зависимость сопротивления конденсатора С постоянному току от приложенного напряжения

номинальный выходной ток (ток коллектора выходного транзистора) – 50 мА;

максимальный ток коллектора выходного транзистора – 100 мА.

Как оказалось, эти оптроны работают в реле в режиме, весьма далеком от номинального, при очень малых входном и выходном токах, практически на их нижней границе. Кроме того, в результате проведенного исследования было выяснено, что оптроны, выпаянные из неработающих входов реле, в действительности не являются поврежденными. Разница между «работающими» и «неработающими» оптронами в реле оказалась лишь в их чувствительности к очень малым, фактически, предельным входным токам ( $I_F$ ), (таблица 1).

Как видно из таблицы, падения напряжения на транзисторах оптронов, извлеченных из неработающих входных цепей реле, значительно превышают типовые значения (0,18В при входном токе  $I_F=2$  мА), в то время как те же значения для новых оптронов другого производителя даже ниже типовых (рис. 3).

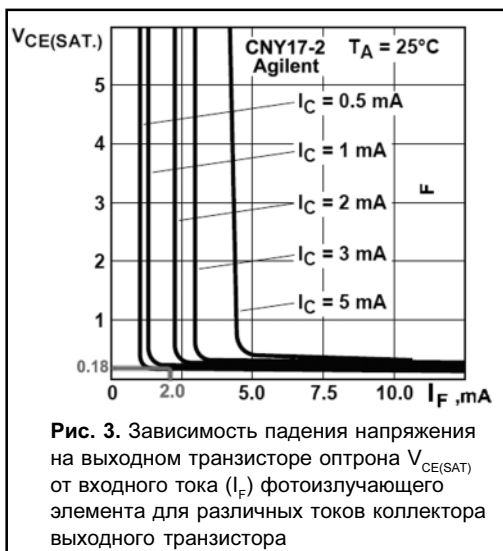
К сожалению, многие производители (а оптроны типа CNY17-2 выпускаются компаниями Agilent, Toshiba, QT Optoelectronics, Fairchild, Vishay, Liteon, Everlight, Isocom, Opto Inc. и др.) просто не представляют эти важнейшие характеристики оптронов в технической документации на свои изделия, поэтому никаких претензий к ним предъявить нельзя. Претензии скорее можно предъявить к конструкторам электронной аппаратуры (в данном случае к конструкторам реле RE\*316 из компании АВВ), выбравшим режим ее работы на самой границе характеристики оптронов, в результате чего малейшие технологические отклонения параметров приборов приводят к полной потере работоспособности таких ответственных устройств, как многофункциональные реле защиты.

Пятой проблемой является выбор изготовителем слишком широкого диапазона рабочих напряжений (82-312В) для логических входов реле. Такой широкий диапазон рабочих напряжений является источником двух проблем: низкой эффективности защиты от

**Таблица.** Падение напряжения (вольт) на выходных транзисторах оптронов типа CNY17-2 при токе коллектора 0,5 мА и входных токах 2 и 2,5 мА

$I_F=2,0$ мА	$I_F=2,5$ мА
<b>Оптроны, извлеченные из неработающих входов реле REC316</b>	
1,471	0,992
1,027	0,344
0,574	0,188
1,452	0,967
1,315	0,769
0,734	0,201
0,634	0,178
<b>Новые оптроны того же типа, но другого производителя</b>	
0,134	0,120
0,143	0,127
0,132	0,119
0,144	0,127
0,139	0,123
0,139	0,124
0,134	0,120
0,143	0,125

перенапряжений с помощью варистора и проблемы ложных срабатываний. Первая проблема обусловлена тем, что для обеспечения работоспособности при напряжении 312В (совершенно не реального в практическом плане) напряжение срабатывания («clamping voltage») варистора RU (типа 7K391) (рис. 1), должно быть выбрано не менее 650В (таковы реальные характеристики варисторов). Это означает, что все электронные элементы схемы будут подвергаться перенапряжениям, достигающим до 600В и более (для сравнения: максимальное допустимое напряжение транзистора VT типа 2N3439 не превышает 350В). Вторая проблема обусловлена низким значением нижней границы диапазона рабочих напряжений (82В). При замыкании на землю одного из полюсов (положительного или отрицательного) в системе постоянного тока, применяющегося в релейной защите, возникает импульс тока напряжением в половину напряжения батареи (то есть около 110В), обусловленный разрядом емкости проводов сети постоянного тока. Как показано в [4], при таком разряде создаются условия для самопроизвольной активации логических входов микропроцессорных защит в том случае, если порог срабатывания логических входов ниже половины напряжения сети постоянного тока (то есть 110В).



**Рис. 3.** Зависимость падения напряжения на выходном транзисторе оптрона  $V_{CE(SAT)}$  от входного тока ( $I_F$ ) фотоизлучающего элемента для различных токов коллектора выходного транзистора

На примере простейшего фрагмента схемы МУРЗ, содержащей всего лишь десяток электронных компонентов, мы показали, сколько проблем, связанных с надежностью релейной защиты, может возникнуть в реальных условиях эксплуатации. Это подтверждает выдвинутый тезис о том, что современные МУРЗ вовсе не являются эталонами совершенства и надежности, как это пытаются представить рекламные каталоги, а представляют собой сложнейшие и не всегда достаточно надежные устройства, проблемы которых нужно не замалчивать, как это делается сегодня, а широко обсуждать.

#### Литература:

1. Гуревич, В. Как нам обустроить релейную защиту: мнения российских специалистов и взгляд со стороны - Вести в электроэнергетике, – 2007, – №2.
2. Гуревич, В. Надежность микропроцессорных устройств релейной защиты: мифы и реальность – «Электроника инфо», – 2008, – №4, – С. 8-15.
3. Гуревич, В. Об особенностях реле управления отключающими катушками высоковольтных выключателей – Электро: электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность, – 2008, – №4.
4. Гуревич, В. И. Повышение помехоустойчивости логических входов микропроцессорных устройств релейной защиты – «Электроника инфо», – 2008, – №11, – С. 26-27.