

ПРОГРЕСС В ОБЛАСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

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

Четыре года назад мы впервые обратили внимание технической общественности на проблему несоответствия параметров миниатюрных электромеханических реле, применяемых в качестве выходных элементов микропроцессорных устройств релейной защиты (МУРЗ), реальным условиям эксплуатации (то есть коммутации отключающих катушек выключателей) при напряжении 220В постоянного тока [1].

Статья получила широкую известность и была перепечатана различными журналами в разных странах, размещена в Интернете [2, 3]. Тогда мы обратились за разъяснениями по этому вопросу к ведущим мировым производителям МУРЗ, но внятных ответов по поводу несоответствия так и не получили. Позднее нами были предложены конкретные технические решения данной проблемы [4, 5].

Анализ самых последних моделей известных типов МУРЗ некоторых ведущих мировых производителей показал, что эта проблема привлекла внимание, и наши идеи были воплощены в жизнь. Вопрос в том, как именно они реализованы и решена ли окончательно эта проблема?

Простейшим решением проблемы, упомянутым в наших публикациях [4], является шунтирование контактов выходных реле МУРЗ готовыми элементами, содержащими RC-цепь или нелинейными защитными элементами, которые должны облегчить процесс коммутации на постоянном токе индуктивной нагрузки. По такому пути пошли, например, конструкторы МУРЗ типов SEL-787, SEL-751 (Schweitzer Engineering Laboratories, США) в которых используются миниатюрное реле серии JS с максимальным коммутируемым напряжением на постоянном токе 150В и варисторы типа 14D431K напряжением срабатывания

(clamping voltage) 710В (рис. 1).

На самом деле, практическое воплощение нашей идеи без учета всех факторов привело к резкому снижению эффективности этого решения, поскольку перенапряжения выше 700В возникают при коммутации на постоянном токе нагрузки, содержащей заметную индуктивную составляющую.

При небольших индуктивностях, когда перенапряжение на контактах не будет превышать 700В, варистор просто не будет работать, тогда как для поддержания электрической дуги постоянного тока на контактах реле (с максимальным допустимым напряжением 150В) этого напряжения вполне достаточно. Кроме того, контакты реле, зашунтированных варисторами, невозможно проверить на соответствие требованиям стандарта (сопротивление изоляции, выдерживаемое напряжение) из-за наличия варисторов.

Если уж использовать данное решение, то нужно было выбрать реле, контакты которого в открытом состоянии имеют высокую электрическую прочность (например, 1000-1500В), допускают коммутацию полного рабочего напряжения и обеспечивают полное отключение, а не так называемое (micro disconnection). Варистор же должен быть выбран, наоборот, на напряжение, значительно меньше чем 700В.

Второй нашей рекомендацией было [4] использование параллельного включения контактов двух электромагнитных реле различных типов с разными временами срабатывания и отпускания, не совпадающими по фазе, для предотвращения размыкания цепи нагрузки во время вибрации контактов в процессе их замыкания и размыкания. Эта идея была реализована в последних разработках китайской компании Nari Relays (рис. 2). Однако в качестве оптимального из них было выбрано миниатюрное реле с максимальным допустимым коммутирующим напряжением на постоянном токе 125В (рис. 2), тогда как в качестве номинального рабочего напряжения этой компанией заявлено напряжение 220В постоянного тока. При этом параллельное подключение к его контактам более мощных контактов другого реле не



Рис. 1. Фрагмент модуля выходных реле в МУРЗ типов SEL-787, SEL-751, контакты которых зашунтированы варисторами

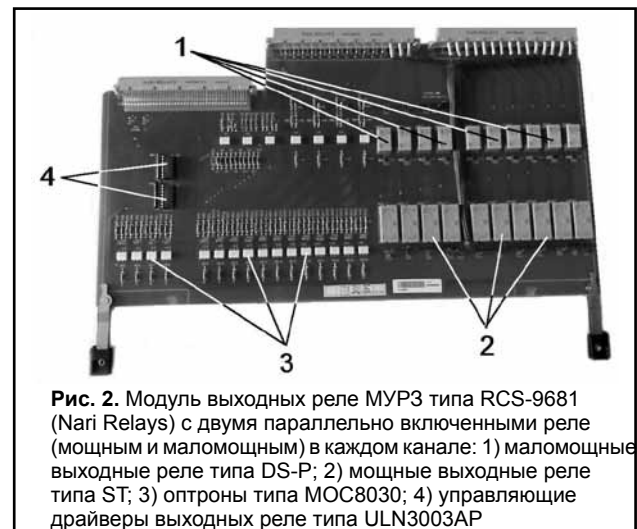


Рис. 2. Модуль выходных реле МУРЗ типа RCS-9681 (Nari Relays) с двумя параллельно включенными реле (мощным и маломощным) в каждом канале: 1) маломощные выходные реле типа DS-P; 2) мощные выходные реле типа ST; 3) оптроны типа MOC8030; 4) управляющие драйверы выходных реле типа ULN3003AP



решает проблему, так как первыми включаются и подвергаются перегрузке при вибрации контакты именно этого миниатюрного реле, вообще не допускающего коммутации при напряжениях выше 125В.

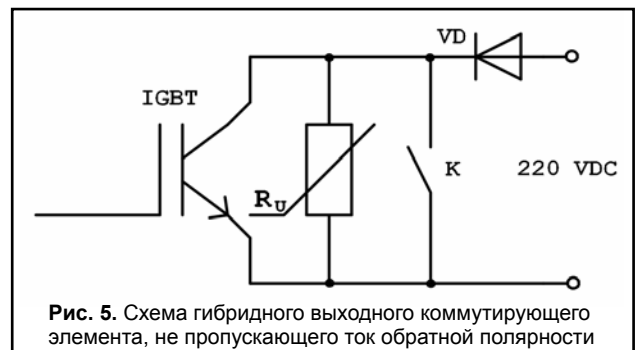
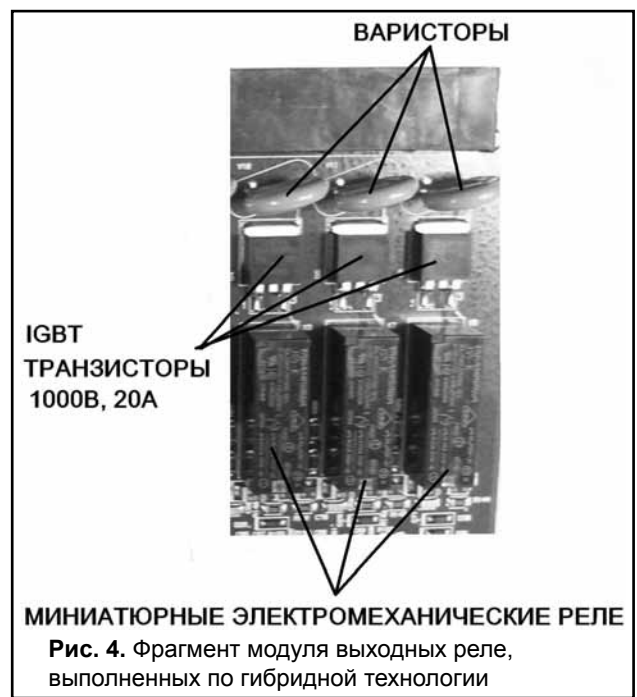
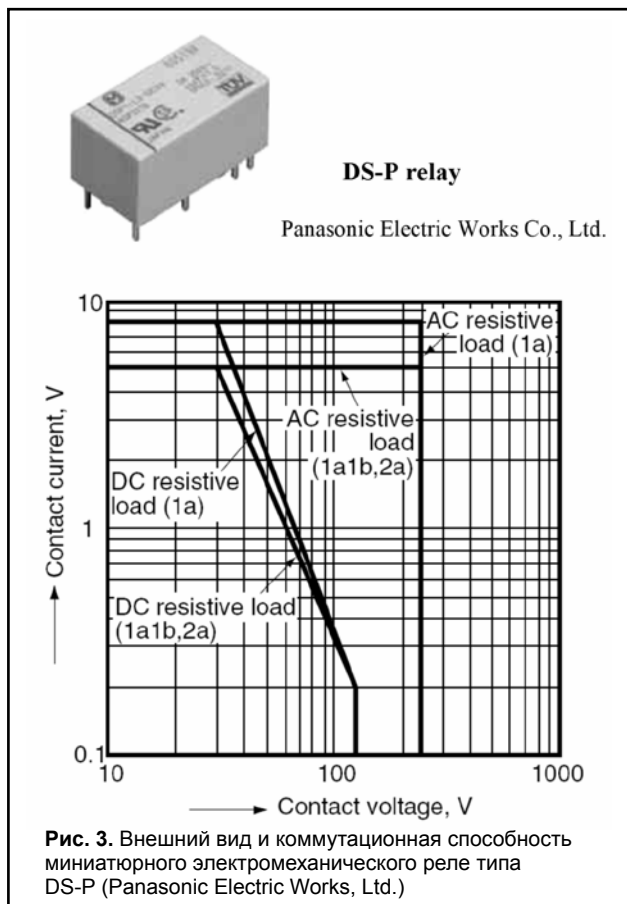
Еще одним решением проблемы является использование различных полупроводниковых ключевых элементов в качестве выходных реле, а также гибридных, образованных параллельным включением контакта электромеханического реле и полупроводникового ключевого элемента (рис. 4).

В качестве ключевого элемента используются, как правило, IGBT транзисторы с соответствующими драйверами с оптической развязкой, защищенные от перенапряжений варисторами. Транзисторы обычно выбирают с большими запасами по току (40-90 А) для обеспечения необходимой устойчивости к импульсным токам и повышения надежности. В гибридной схеме транзисторы находятся под током лишь до замыкания контактов электромеханических реле (10-15 мс) и поэтому не успевают разогреться даже при отсутствии радиаторов. Такой принцип используется в некоторых МУРЗ фирмы SEL. Для защиты IGBT транзистор зашунтирован обратно включенным диодом. Однако при ошибочной полярности подключении внешней нагрузки (например, отключающей катушки выключателя) она окажется сразу включенной при подаче внешнего напряжения питания, что чревато крупными неприятностями. Кроме того, известны случаи ложных срабатываний реле защиты при поступлении на их входы ложных сигналов, формирующихся в момент размыкания блок-контакта выключателя, разрывающего

цепь питания отключающего соленоида (катушки отключения). При этом в цепях управления формируется мощный импульс напряжения обратной полярности, который через обратно включенный диод поступал на логические входы других МУРЗ, вызывая их нежелательные операции. Такой импульс свободно пройдет через описанный выше гибридный контакт, но не пройдет, если защитный диод будет включен последовательно с IGBT транзистором и шунтирующим контактом реле (рис. 5).

Компания Siemens использует в новейших МУРЗ типа Siprotec 7SA6115 усложненную конструкцию гибридного реле, дополненную диодным мостом (рис. 6). При этом IGBT транзистор, включенный в диагональ моста, позволяет коммутировать и постоянный и переменный ток нагрузки.

Проблема этой конструкции в неправильном выборе типа диодного моста. Так, если IGBT транзистор рассчитан на напряжение 1200В, то диодный мост имеет максимальное допустимое напряжение всего 420В (действующего значения) или 600В амплитудного значения, что совершенно не достаточно для работы в сети 220В постоянного тока и резко снижает надежность всего МУРЗ. Способность такого выходного элемента пропускать ток обеих полярностей хороша при коммутации нагрузки переменного тока, но может сыграть злую шутку при коммутации цепи постоянного тока с индуктивностью



(отключающий соленоид), о чем уже упоминалось выше.

Аналогичную конструкцию имеют и выходные элементы в МУРЗ типа SEL-487 компании Schweitzer Engineering Laboratories (рис. 7).

Производитель рекламирует такую конструкцию выходных реле как супербыстродействующую (время срабатывания 10 микросекунд). Вопрос в том, кому это нужно, если время, затрачиваемое МУРЗ на обработку входного сигнала и выдачу команды на выходное реле, составляет 20-30 миллисекунд. С другой стороны, такое высокое быстродействие вполне может быть источником крупных неприятностей, обусловленных ложными срабатываниями от коротких импульсных и высокочастотных помех.

Еще одной проблемой, сказывающейся на надежности МУРЗ, была выявленная нами проблема с цифровыми (логическими) входами. Если быть более точным, то это даже не одна, две отдельных проблемы логических входов. Первая из них – проблема, обусловленная противоречивым требованием к конструкции ячеек логических входов. С одной стороны, мощность, рассеиваемая на элементах ячейки при снижении входного напряжения 220-240В постоянного тока до требуемого уровня в 1,2-2В (необходимого для работы входного оптрона), должна быть как можно меньшей, а с другой, мощность, подводимая ко входу оптрона, должна обеспечивать его надежное срабатывание. Поиск компромисса приводит к тому, что в реальных МУРЗ, выполненных на принципе прямого включения оптрона и рассеивания излишней входной мощности на входных элементах, оптрон работает на нижней границе своей чувствительности [6].

С течением времени из-за естественного и хорошо известного процесса деградации оптрона его чувствительность немного снижается и МУРЗ перестает реагировать на входные логические сигналы. Что и произошло

с большим количеством МУРЗ 316-й серии (REL, REC и RET) производства компании ABB [7]. Наши публикации, несмотря на то, что часть из них была на русском языке, быстро привлекли внимание компаний-производителей. Представители некоторых из них даже звонили и писали письма, пытаясь объяснить, что виноваты не разработчики МУРЗ, не принявшие во внимание известный процесс деградации оптронов, а сами по себе оптроны.

Действия других компаний были более конструктивными. Они просто изменили принцип построения логических входов, уйдя от необходимости поиска компромисса.

Так, например, в МУРЗ типа P433 и P446 компании Areva на входе ячеек логических входов установлены не мощные резисторы, гасящие избыточную мощность, а современный мощный SiPMOS транзистор типа BSP125, требующий небольшой мощности для отпирания (мощность входного сигнала логических входов МУРЗ типа P433 менее 0,19 Вт при напряжении 220В). При этом оптрон, обеспечивающий гальваническую развязку, получает полноценное питание от внутреннего источника питания МУРЗ, а логические входы, выполненные на миниатюрных маломощных элементах, не занимают много места на плате и не выделяют тепло (рис. 8) даже при большом количестве этих входов (доходящих до 24 в некоторых МУРЗ).

Второй проблемой логических входов, отмеченной в наших публикациях, была проблема слишком широкого диапазона входных напряжений (24-300В), обеспечивающих их активацию [8]. Желание производителей обеспечить универсальность логических входов за счет широкого диапазона входных напряжений на практике обернулось проблемой. При однополюсных замыканиях на землю в сети постоянного тока на логических входах МУРЗ возникают импульсы напряжения, достигающие половины напряжения источника [8]. Большинство производителей МУРЗ оперативно отреагировали на эту проблему, введя возможность изменения минимального

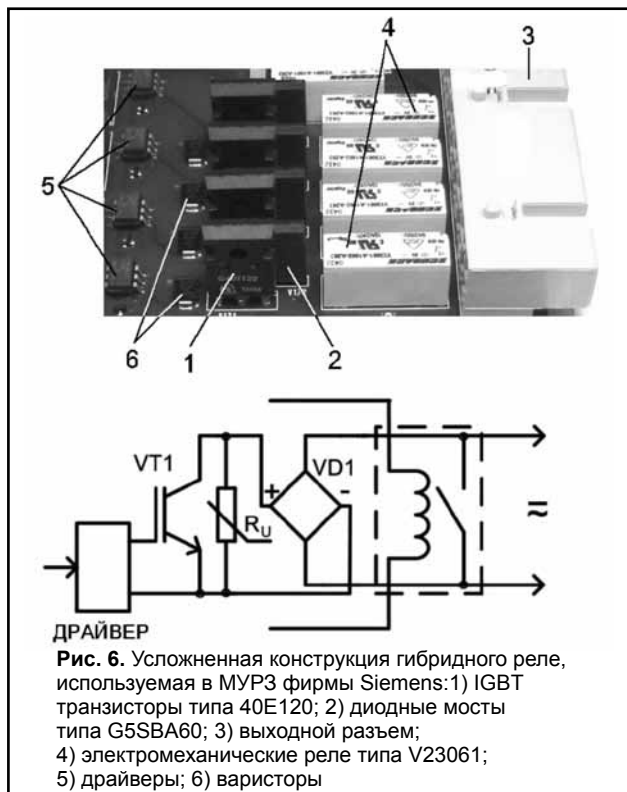


Рис. 6. Усложненная конструкция гибридного реле, используемая в МУРЗ фирмы Siemens: 1) IGBT транзисторы типа 40E120; 2) диодные мосты типа G5SBA60; 3) выходной разъем; 4) электромеханические реле типа V23061; 5) драйверы; 6) варисторы

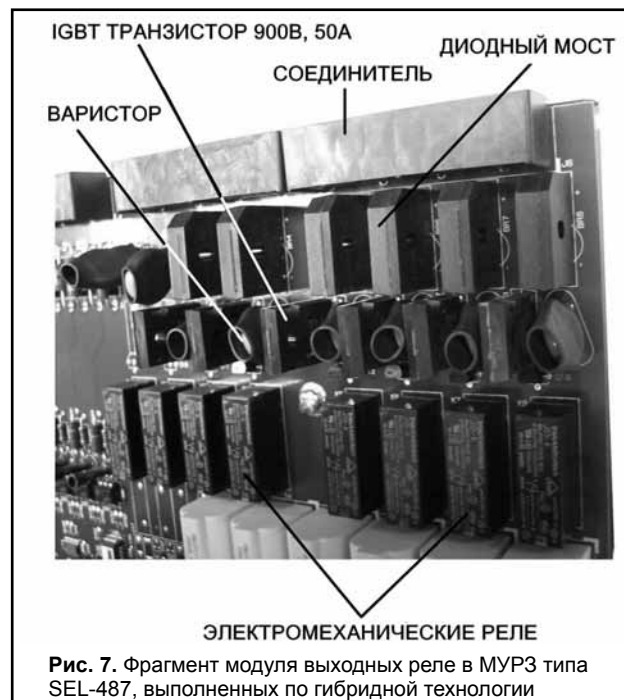


Рис. 7. Фрагмент модуля выходных реле в МУРЗ типа SEL-487, выполненных по гибридной технологии

порога напряжения срабатывания логических входов путем выбора одного из 3-4 диапазонов. В уже упомянутом МУРЗ типа Р443 эта возможность реализуется программным путем, то есть путем выбора необходимого диапазона напряжений непосредственно из сервисной программы МУРЗ. На первый взгляд, это очень удобно и хорошо. Но при этом возникает вопрос о том, как именно технически реализуется эта возможность. Ведь после того, как входной сигнал прошел через оптрон и превратился в логическую единицу, его уже нельзя изменить по величине. Следовательно, изменение диапазона входного напряжения должно осуществляться до оптрона. Технически из центрального процессора можно послать сигнал в EEPROM или его функциональный аналог Field Programmable Gate Array (на данной плате присутствует FPGA типа VQG100), посредством которого (и других промежуточных элементов) можно было бы изменить потенциал на базе одного из входных транзисторов, изменив, таким образом, порог его открывания. Но подключение высокочувствительных низкороговых элементов памяти или любых других микроэлектронных устройств к цепям, не имеющим гальванической развязки от входного напряжения сети (то есть, до оптрона), нам представляется совершенно недопустимым (зачем тогда нужен оптрон с его высоковольтной изоляцией входа от выхода?). Во всяком случае, осталось не понятным, как конструкторам этого типа МУРЗ удалось решить данную проблему (и решена ли она вообще?). В то же время конструкторами другого типа МУРЗ, также самой последней модели (речь идет об уже упомянутых выше

последних моделях МУРЗ серии Siprotec компании Siemens), эта задача решена более надежным, по нашему мнению, способом: путем ручного переноса перемычки на печатной плате модуля логических входов. Учитывая, что изменение уровня рабочего напряжения логических входов производится всего лишь один раз за все время эксплуатации МУРЗ, такое решение выглядит гораздо более предпочтительным, так как не приводит к снижению надежности МУРЗ.

Литература:

1. Gurevich, V. Nonconformance in Electromechanical Output Relays of Microprocessor-Based Protection Devices under Actual Operation Conditions. – Electrical Engineering & Electromechanics. – 2006. – №1. – P. 12-16.
2. Gurevich, V. Peculiarities of the Relays Intended for Operating Trip Coils of the High Voltage Circuit Breakers. – Serbian Journal of Electr. Engineering. – 2007. – v. 4. – №2. – P. 223- 23.
3. Гуревич, В. И. Об особенностях реле управления отключающими катушками высоковольтных выключателей. – Электричество. – 2008 – №11. – С. 22-29.
4. Gurevich, V. Problem With Output Relays Used in Microprocessor-Based Protection Devices: What to Do? – Electrical Engineering & Electromechanics. – 2007. – №6. – P. 24-29.
5. Гуревич, В. И. Решение проблемы выходных реле микропроцессорных устройств релейной защиты. – Компоненты и технологии. – 2009. – №3. С. 38- 41.
6. Gurevich, V. Microprocessor Protection Devices: the Present and the Future. – Serbian Journal of Electr. Engineering. – 2008. – v. 5. – №2. – P. 325-335.
7. Гуревич, В. И. О надежности логических входов микропроцессорных устройств релейной защиты. – Электроника инфо. – 2009. – №2. – С. 28-30.
8. Гуревич, В. И. Повышение помехоустойчивости логических входов микропроцессорных устройств релейной защиты. – Электроника инфо. – 2008. – №11. – С. 26-27.

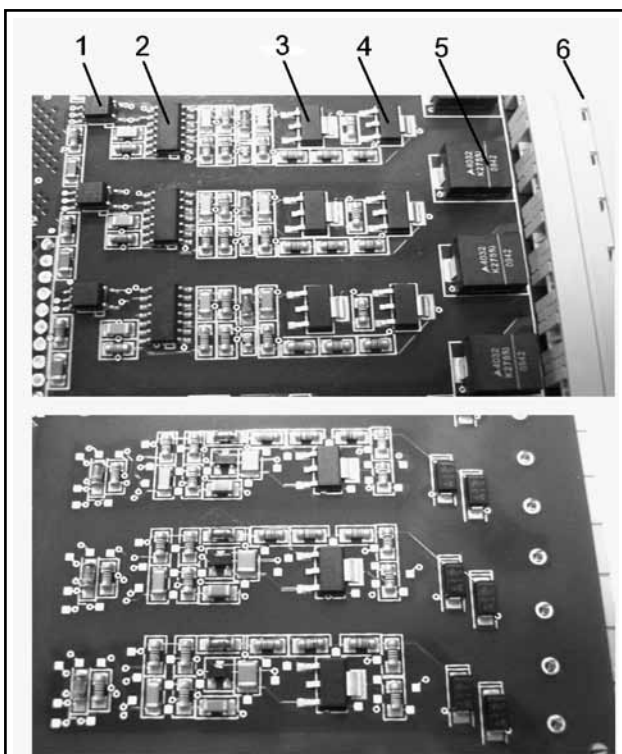


Рис. 8. Фрагмент платы логических входов МУРЗ типа Р443 (вид с двух сторон) с явно выраженными ячейками каждого входа: 1) оптрон типа РС400 со встроенным триггером; 2) интегральная микросхема с невыясненной функцией; 3) транзистор BSP125; 4) транзистор FZT560; 5) варистор на напряжение 275В; 6) разъем