

# Микропроцессорные реле защиты. Как они устроены? Часть 2

Часть 1 опубликована в предыдущем номере (№4 (28) июль–август 2009) и на сайте журнала <http://www.market.elec.ru/>



Микропроцессорные устройства релейной защиты (МУРЗ) появились на рынке в привычном сегодня виде около 20 лет тому назад и за прошедшее время серьезно потеснили все остальные виды реле защиты. Триумфальное шествие МУРЗ связано со многими причинами, главная из которых — сверхприбыль, получаемая производителями МУРЗ по сравнению с производством всех остальных видов защитных реле (электромеханических, полупроводниковых статических). Принцип действия и устройство современных МУРЗ очень сильно отличаются от защит других видов и имеют целый ряд специфических особенностей, знание которых является необходимым условием для правильного выбора и дальнейшей успешной эксплуатации МУРЗ. Доминирующее сегодня в среде специалистов-релейщиков отношение к МУРЗ, как к «черному ящику» с функциями релейной защиты отнюдь не способствует правильному выбору и успешной эксплуатации МУРЗ. Предлагаемый цикл статей автора призван помочь релейщикам, не являющимися специалистами в области электроники и микропроцессорной техники, восполнить существующий пробел и помочь правильно сориентироваться на обширном рынке устройств релейной защиты нового поколения.

В части 2 статьи рассматриваются конструкции модулей выходных реле и модулей цифровых (логических) входов.

## Модули выходных реле

Несколько более сложную конструкцию имеют узлы выходных реле. Довольно редко они выполняются в виде отдельных модулей, как, например, в реле компании Nari-Relays, рис. 13.

Такой модуль содержит некоторое количество электро-механических реле относительно большой мощности,

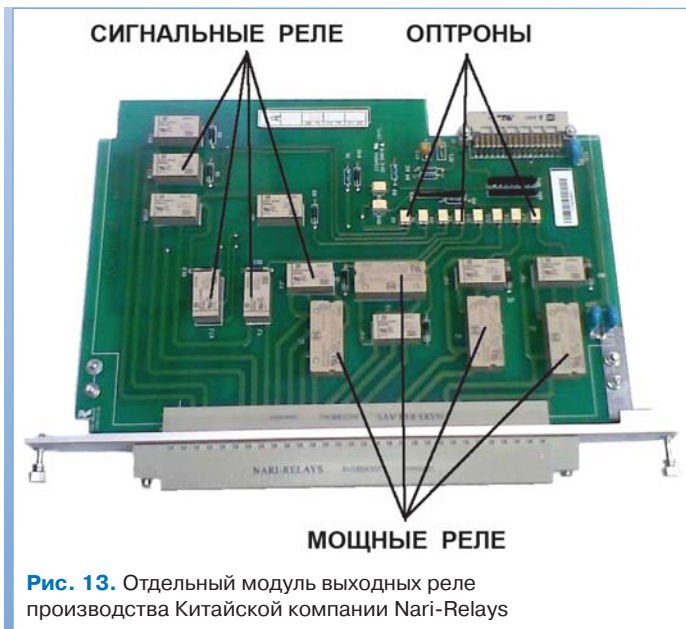
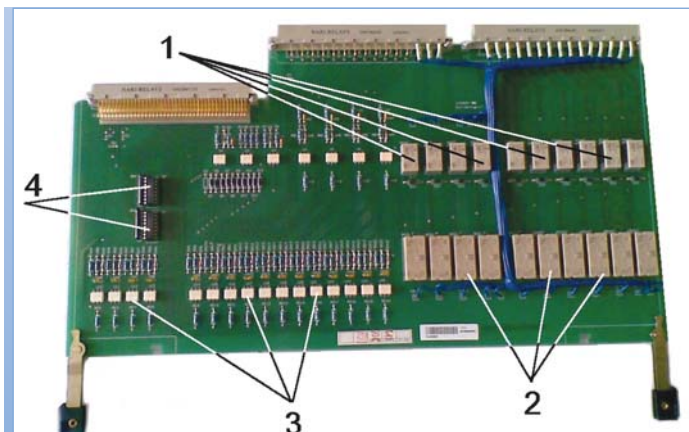


Рис. 13. Отдельный модуль выходных реле производства Китайской компании Nari-Relays

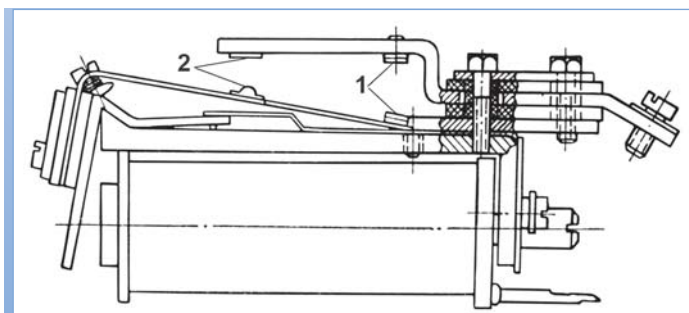
предназначенных для непосредственного включения отключающей катушки высоковольтного выключателя или мощного промежуточного реле с механической блокировкой и нескольких реле меньшей мощности, контакты которых предназначены для активации внешних устройств и цепей сигнализации.

В реле типа RCS-9681 (Nari-Relays) автору пришлось встретиться с довольно странным техническим решением, когда для повышения быстродействия были использованы два электро-механических реле: достаточно мощное (типа ST), с временем срабатывания 10–12 мс и маленькое быстродействующее (типа DS-P) с временем срабатывания 3–4 мс, рис. 14. Контакты обоих реле включены параллельно, что, по утверждению разработчика, должно было привести к объединению высокого быстродействия мало-мощного реле с достаточно большой коммутируемой мощностью обычного реле. На проверку оказалось, что маленькое быстродействующее реле (имеющее мелкие детали и малые зазоры между контактами) вообще не предназначено для коммутации нагрузок при напряжении 220 В постоянного тока (его максимальное коммутируемое напряжение 125 В). В беседе с разработчиками выяснилось, что они не приняли во внимание также и то обстоятельство, что процесс замыкания всегда сопровождается отскоками контактов (contact bouncing), то есть многократными разрывами коммутируемой цепи после первого смыкания контактов. Таким образом, контакты миниатюрного реле окажутся перегруженными в момент замыкания и могут просто свариться еще до того, как будут зашунтированы более мощными контактами.

Следует отметить, что контактные системы с двойным разрывом известны и широко используются в технике. Однако, в таких контактных системах первым замыкается специальный контакт с увеличенным зазором, особо устойчивый к электрической дуге, а затем он шунтируется обычным серебряным контактом, рис. 15.



**Рис. 14.** Модуль выходных реле МУРЗ типа RCS-9681 (Nagi-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 МOC8030;  
4 – управляющие драйверы выходных реле типа ULN3003AP



**Рис. 15.** Двухступенчатая контактная система электромагнитного реле  
1 – вспомогательный вольфрамовый контакт, осуществляющий коммутацию;  
2 – главный серебряный контакт

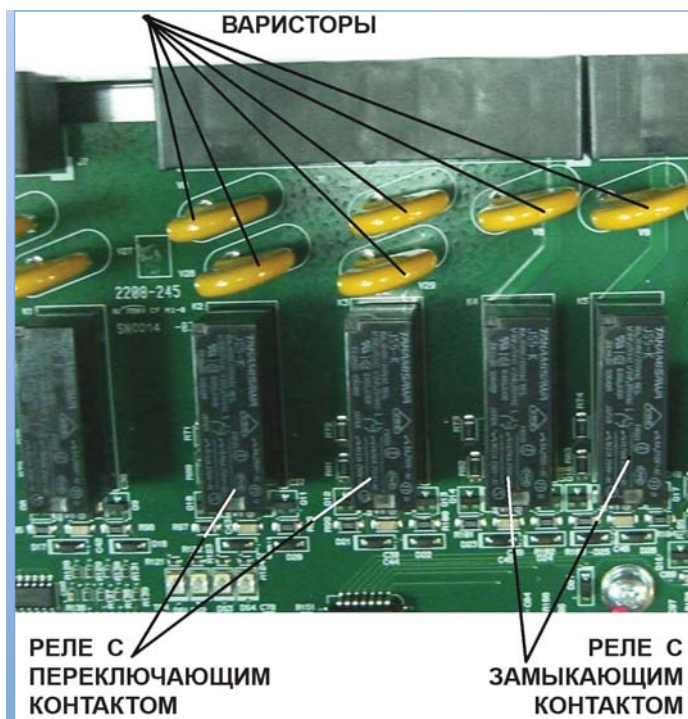
Поскольку применение миниатюрных электромеханических реле с параметрами, не соответствующими условиям работы в МУРЗ стало весьма распространенным явлением, некоторые компании пытаются выйти из положения, включая параллельно контактам варисторы, которые, по мысли разработчиков должны облегчить коммутацию индуктивной нагрузки, рис. 16.

В данном случае речь идет о МУРЗ типов SEL-787, SEL-751 и некоторых других, в которых используются миниатюрное реле серии JS с максимальным коммутируемым напряжением на постоянном токе 150 В и варисторы типа 14D431K with clamping voltage 710 V. Следует отметить, что это не очень эффективное решение, поскольку перенапряжения выше 700 В возникают при коммутации на постоянном токе нагрузки, содержащей заметную индуктивную составляющую.

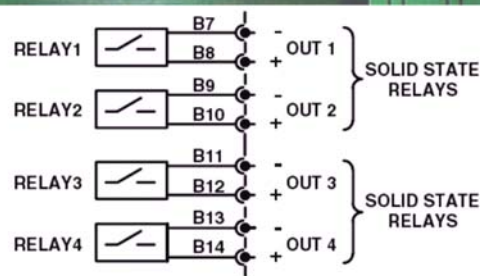
При небольших индуктивностях, когда перенапряжение на контактах не будут превышать 700 В, варистор просто не будет работать, тогда как для поддержания электрической дуги постоянного тока на контактах реле этого напряжения вполне достаточно. Кроме того, контакты реле, зашунтированных варисторами невозможно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

В современных МУРЗ различного типа компании Areva применяются электромеханические реле типа G6RN-1 в

качестве стандартных выходных реле и специальные модули с полупроводниковыми элементами — в качестве твердотельных полупроводниковых реле, рис. 17. Тот или другой тип реле может быть «привязан» к той или иной функции реле программным образом.



**Рис. 16.** Фрагмент модуля выходных реле в МУРЗ типов SEL-787, SEL-751, контакты которых зашунтированы варисторами

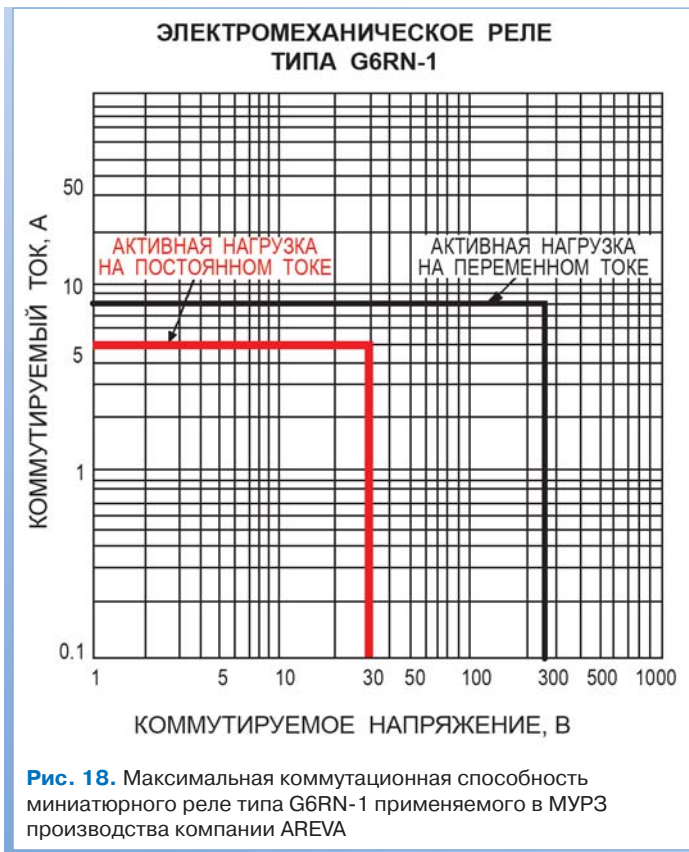


**Рис. 17.** Модуль выходных реле, содержащий обычные электромеханические и быстродействующие полупроводниковые реле (Areva), увеличенный фрагмент полупроводникового реле и обозначение этих реле в технической документации компании Areva



Areva утверждает, что стандартные реле способны включать нагрузку с током 250 А при длительности 30 мс или 30 А при длительности 3 сек при напряжении 300 В. Предлагаем читателю самому оценить заявленную коммутационную способность МУРЗ компании Areva, воспользовавшись графиком, заимствованным из технической документации на реле G6RN-1, рис. 18.

Твердотельные реле, по утверждению компании Areva, могут длительно находиться под током до 10 А. Не очень понятно, каким образом миниатюрные полупроводниковые элементы без радиаторов (см. рис. 17) способны длительно пропускать ток в 10 А, если при прохождении тока более 2–3 А в длительном режиме полупроводниковые приборы без радиаторов обычно разогреваются до очень высокой температуры и выходят из строя.

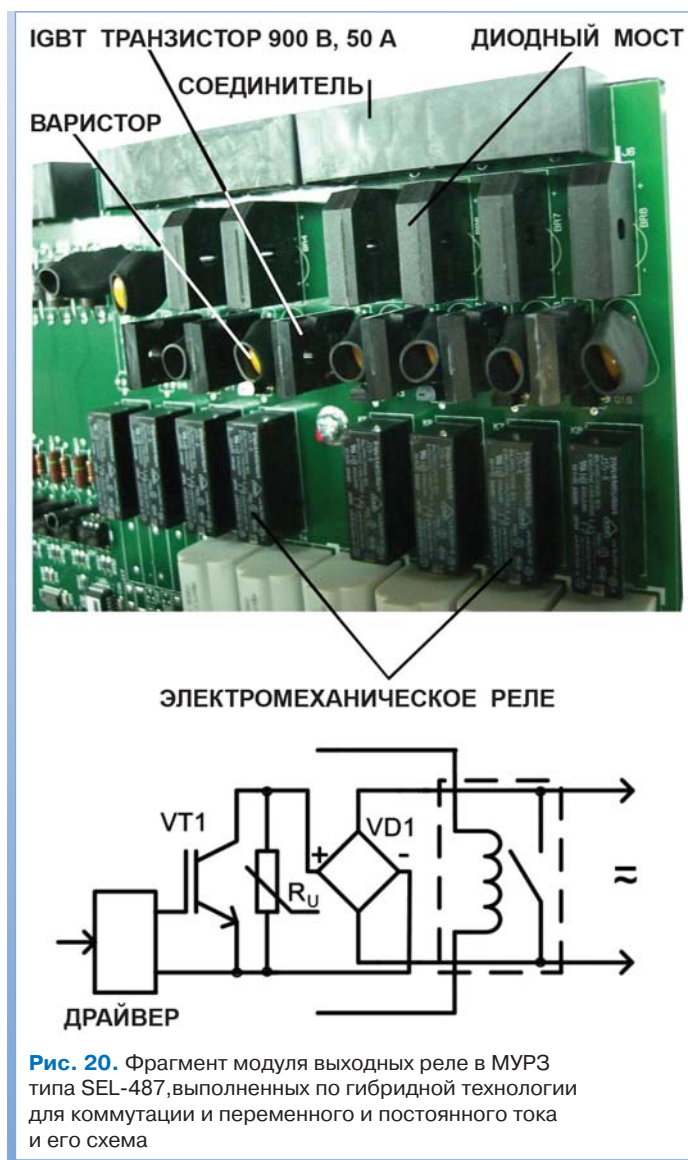
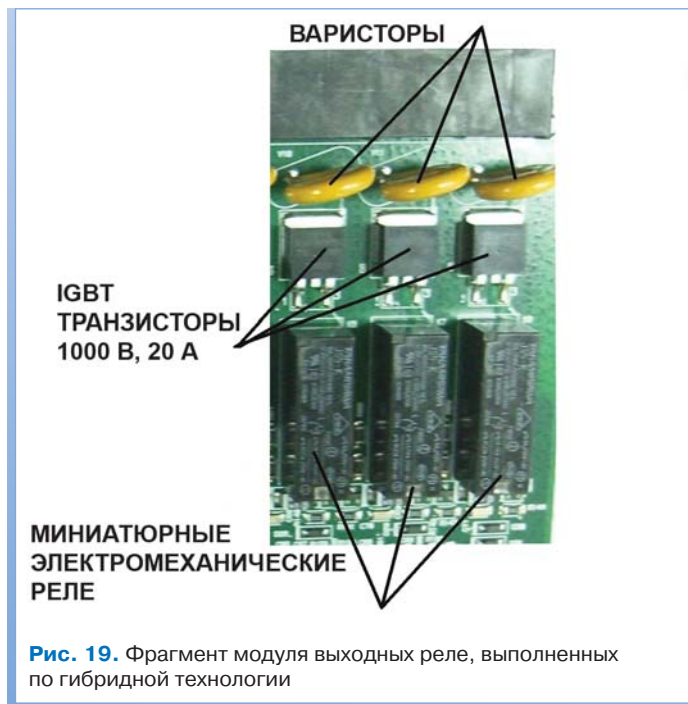


Еще одним решением проблемы является использование гибридных выходных реле, образованных параллельным включением контакта электромеханического реле и полупроводникового ключевого элемента, рис. 19. В качестве такого ключевого элемента используются, как правило IGBT транзисторы с соответствующими драйверами с оптической развязкой, защищенные варисторами от перенапряжений. Транзисторы выбираются, обычно, 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 МУРЗ фирмы SEL. Для защиты IGBT транзистора он зашунтирован обратно включенным диодом. При ошибочной полярности подключения внешней нагрузки (например, отключающей катушки выключателя) она окажется включенной сразу же при подаче внешнего напряжения питания, что чревато крупными неприятностями.

Эта же фирма использует в реле типа SEL-487 усложненную конструкцию гибридного реле, дополненную диодным мостом (типа KBU4M, 1000 В, 4 А), рис. 20.

При этом IGBT транзистор (типа IRG4PF50, 900 В, 50 А), включенный в диагональ моста, позволяет коммутировать

и постоянный и переменный ток нагрузки. Диодный мост этого типа имеет более чем 20-кратную перегрузочную способность в течение короткого времени (до замыкания контактов реле), что позволяет использовать его для коммутации значительных токов нагрузки.



Помимо непосредственно реле, модуль содержит также набор оптронов, служащих буфером между управляющими микрочипами и реле, а также резисторы, задающие режим работы оптронов.

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 20–40 миллисекунд. С другой стороны, такое высокое быстродействие вполне может быть источником крупных неприятностей, обусловленных ложными срабатываниями от коротких импульсных и высокочастотных помех.

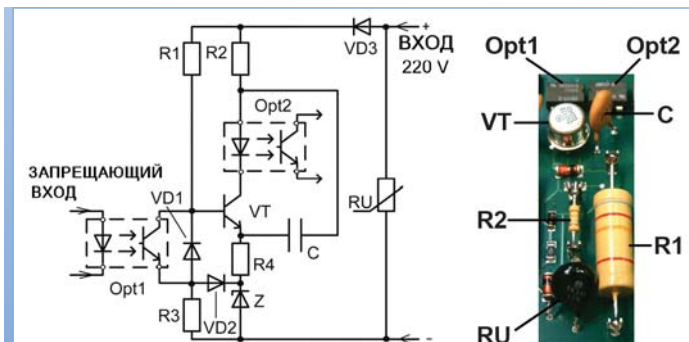
### Модули цифровых (логических) входов

Чаще приходится встречаться с конструкциями, в которых выходные реле расположены на общей плате с другими функциональными узлами МУРЗ, например, с узлом логических (цифровых) входов (поэтому часто такие объединенные узлы называют модулями входов-выходов (I/O modules), рис. 21.

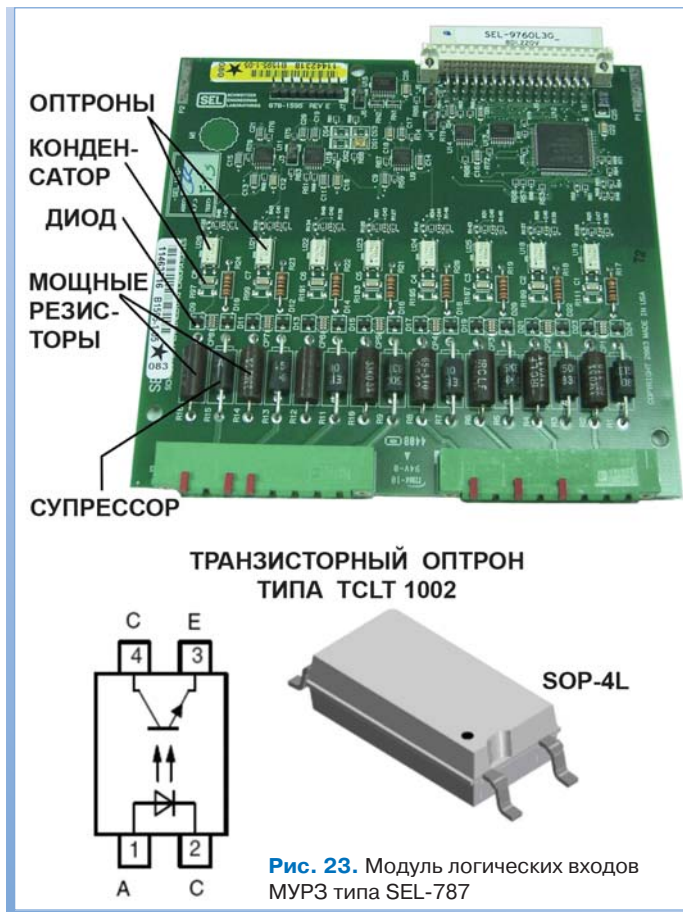


**Рис. 21.** Объединенный модуль «входов-выходов» МУРЗ типа REC-316.  
1 – узел входных элементов;  
2 – узел выходных реле

Обычно, узел логических (цифровых) входов МУРЗ образован некоторым количеством (5–40) совершенно идентичных входных каналов. В рассматриваемой конструкции каждый такой канал образован мощным резистором (R1), гасящим основную часть входного напряжения 220 В, оптроном (Opt2), обеспечивающими гальваническую развязку внутренних цепей МУРЗ от входного напряжения 220 В, элементом защиты от перенапряжений (RU) на входе и некоторыми вспомогательными элементами, рис. 22.



**Рис. 22.** Принципиальная схема и внешний вид одного канала узла логических входов реле серии 316 (REL, REC, RET, REG и др.), производства компании ABB

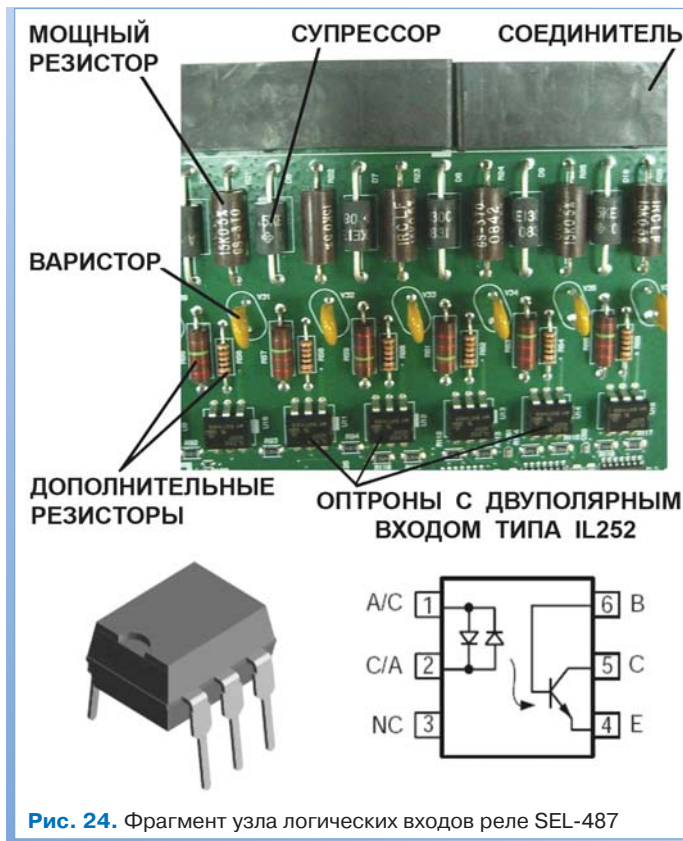


**ТРАНЗИСТОРНЫЙ ОПТРОН ТИПА TCLT 1002**

**Рис. 23.** Модуль логических входов МУРЗ типа SEL-787

В данной конкретной схеме на транзисторе VT собран логический элемент «Запрет» с запрещающим входом на базе оптрона Opt1, позволяющий по внутренней команде микропроцессора заблокировать данный логический вход путем активации оптрона Opt1.

Иногда встречаются упрощенные конструкции каналов логических входов, содержащие один гасящий резистор, оптрон и небольшой керамический конденсатор емкостью в несколько сотен пикофард на входе.



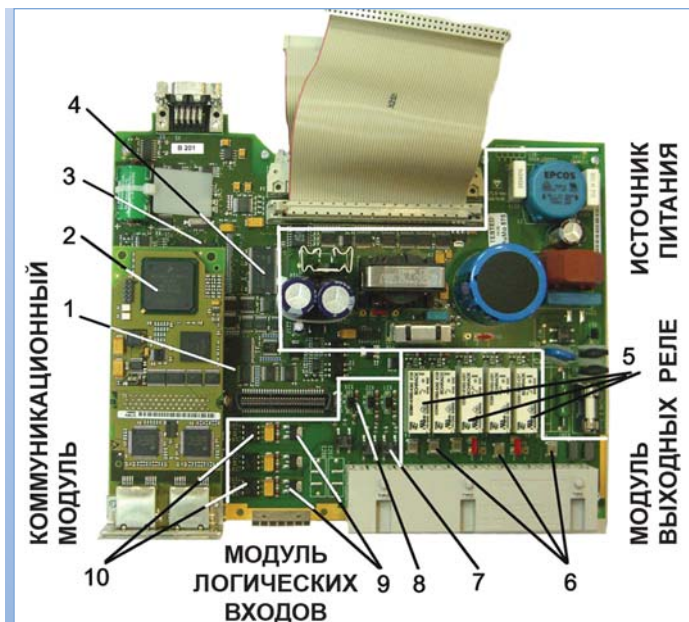
**Рис. 24.** Фрагмент узла логических входов реле SEL-487



Следует отметить, что такой конденсатор не способен поглотить энергию импульсов поступающих на вход логического канала при переходных процессах в мощной и весьма протяженной сети постоянного тока на подстанциях, сопровождающихся импульсными перенапряжениями.

Важным элементом такого канала является также диод, включенный параллельно входу в обратном направлении (или последовательно, в прямом направлении) и предотвращающий попадание на вход МУРЗ напряжения обратной полярности, рис. 23. Это предотвращает ложную активацию логических входов от импульсов напряжения обратной полярности, возникающие иногда на входах МУРЗ при коммутации индуктивной нагрузки (отключающие катушки выключателей, обмотки промежуточных реле). К сожалению, такой диод присутствует далеко не во всех типах МУРЗ, а использование оптронов с двунаправленным входом, рис. 24, приводит к возможности активации логических входов МУРЗ напряжением любой полярности.

В одной из новых моделей МУРЗ (SIPROTEC 7U6125), рис. 25, все функциональные узлы, кроме блока с входными трансформаторами напряжения и тока, расположены на одной общей печатной плате, причем таким образом, что импульсный источник питания размещен буквально вплотную к центральному процессору, размещенному под коммуникационным модулем, рис. 25. Это единственная известная автору конструкция, такого рода.



**Рис. 25.** Комбинированный модуль МУРЗ типа SIPROTEC 7U6125 (Siemens).

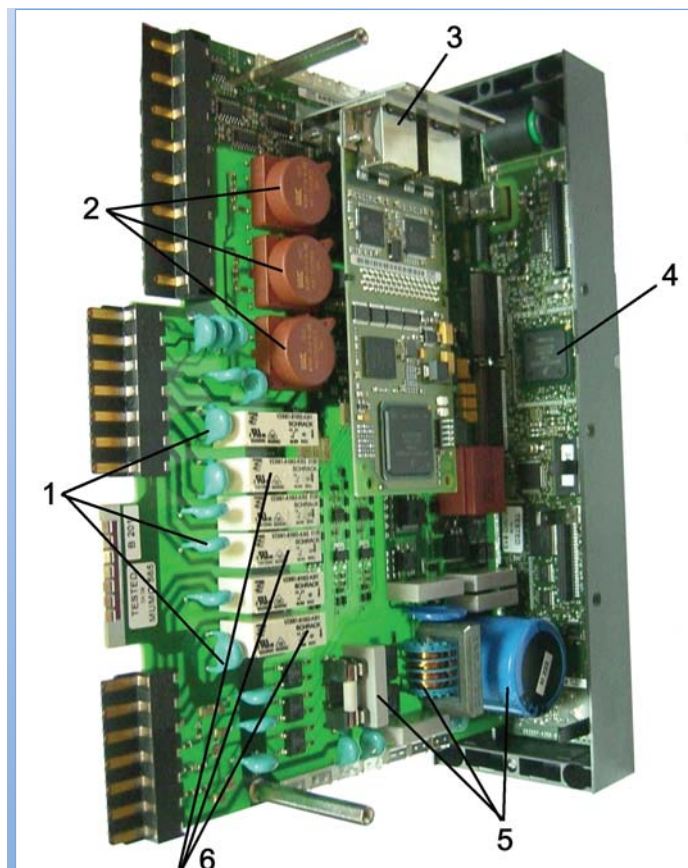
- 1 – 32 Mb CMOS флэш-память типа S29AL032090;
- 2 – коммуникационный контроллер типа MPC860EN;
- 3 – центральный процессор типа MCF5280CVM66 (Freescale);
- 4 – синхронизированная динамическая оперативная память типа 48LC2M3282;
- 5 – выходные реле типа V23061-A1001-A302;
- 6 – конденсаторы (4,7 нФ, 250 В) включенные параллельно контактам реле;
- 7 – диодный мост типа DF10S (1000 В, 1 А);
- 8 – стабилитрон;
- 9 – транзисторы типа BSP135 (600 В, 0,1 А);
- 10 – оптроны типа SFH601

Учитывая высокочастотные электромагнитные излучения импульсного источника питания, правильность такой конструкции вызывает сомнения с точки зрения электромагнитной совместимости. Некоторое удивление вызывает также выбранный конструкторами этого МУРЗ способ повышения коммутационной способности контактов миниатюрных реле путем их шунтирования конденсаторами 4,7 нФ, 250 В. Во-первых, одного только конденсатора не достаточно для повышения коммутационной способности

контактов, нужен еще и последовательно включенный резистор. Во-вторых, номинального напряжения конденсатора 250 В совершенно не достаточно для работы в сети 220 В, где возможны значительные коммутационные перенапряжения.

Резисторы, гасящие большую часть входного напряжения в узле логических входов, расположены с обратной стороны печатной платы. Стабилитроны вместе с транзисторами образуют стабилизатор входного напряжения (аналогичный по принципу действия рассмотренному выше и применяющийся в МУРЗ серии REC, REL, RET компании АВВ), позволяющий МУРЗ работать в широком диапазоне входных напряжения (24–250 В), а наличие диодных мостов на логических входах делает их нечувствительными к полярности входного напряжения. Обе эти особенности схемы являются скорее недостатками, чем преимуществами (см. выше). Кроме того, полное отсутствие элементов для защиты от высоковольтных импульсных перенапряжений (варисторов, супрессоров) на входах этого узла, является, по нашему мнению существенным недостатком конструкции.

Похожую конструкцию имеют и реле токовой защиты типа 7SJ8032, рис. 26. В отличие от предыдущей конструкции, узел аналоговых входов расположен на общей печатной плате, а центральный процессор — на отдельной плате, размещенной под прямым углом к основной. Принцип построения входных логических входов, выходные реле, защитный элемент на контактах реле — такие же, как и в рассмотренном выше случае.



**Рис. 26.** SIPROTEC 7SJ8032 (Siemens).

- 1 – защитные конденсаторы (2,2 нФ, 250 В), подключенные параллельно контактам реле;
- 2 – капсулированные трансформаторы тока;
- 3 – модуль связи;
- 4 – основной микропроцессор;
- 5 – элементы источника питания;
- 6 – электромагнитические выходные реле

**Продолжение в следующем номере**

**В. ГУРЕВИЧ, канд. техн. наук**