

## Микропроцессорная релейная защита. Микропроцессорные устройства релейной защиты: настоящее и будущее.

В. Гуревич, канд. техн. наук.

Источник: [www.rza.org.ua](http://www.rza.org.ua)

### 1. Введение

Электромеханические реле защиты последнего поколения полностью удовлетворяли всем требованиям, предъявляемым к ним как к средствам защиты электроэнергетических объектов от аварийных режимов в течение десятков лет. В новейших микропроцессорных устройствах функции релейной защиты объединили с функциями устройств связи и передачи данных, регистраторов аварийных режимов, узлов подстанционной логики и др. Такие многофункциональные комплексы стали сравнивать с единичными однофункциональными электромеханическими реле защиты, отработавшими не один десяток лет и порядком изношенными, и говорить о неоспоримых преимуществах микропроцессорных «реле защиты». При этом как бы упускается из виду, что речь идет о совершенно разных по выполняемым функциям устройствах, которые просто нельзя сравнивать друг с другом [1]. В статьях полурекламного характера, публикуемых специалистами ведущих мировых производителей и дистрибьюторов микропроцессорных устройств релейной защиты (МУРЗ) отмечаются только положительные качества МУРЗ. Существуют буквально единичные публикации отдельных авторов, посвященные анализу проблем, связанных с переходом на микропроцессорные системы, хотя в действительности их возникает немало. Несмотря на проблемы, связанные с внедрением МУРЗ, их все более широкое распространение и полное вытеснение ими электромеханических реле является неизбежным уже только потому, что выпуск электромеханических реле полностью прекращен практически всеми ведущими мировыми производителями реле. Причиной этого являются не непреодолимые принципиальные недостатки электромеханических реле (которые лишь изнашивались и не усовершенствовались последние 30 - 40 лет), а сверхприбыли, которые получают компании, при производстве МУРЗ по сравнению с производством электромеханических реле [2]. Поскольку будущее релейной защиты неизбежно связано с микропроцессорными системами (во всяком случае, для сложных защит), прогноз путей развития этого вида техники представляет безусловный интерес.

Микропроцессорные устройства релейной защиты: настоящее и будущее

В. Гуревич, канд. техн. наук

(Центральная лаборатория Электрической компании Израиля)

2. Целью данной статьи является анализ принципиальных конструктивных недостатков МУРЗ нынешнего поколения и предложения по созданию МУРЗ следующего поколения, предназначенных для вновь вводимых объектов.

3. Современные тенденции в конструировании микропроцессорных защит.

3.1. Если ввести некий показатель: «коэффициент удельной функциональности» (КУФ) микропроцессорных устройств релейной защиты (МУРЗ), характеризующий степень

функциональной насыщенности, приходящийся на единицу объема МУРЗ, то можно констатировать, что этот показатель из года в год растет: физические размеры МУРЗ остаются неизменными (или даже уменьшаются), а их функциональные возможности постоянно расширяются. С чем связан такой рост? По нашему мнению, никакой объективной необходимости для увеличения КУФ нет, а речь идет лишь о конкурентной борьбе между производителями МУРЗ и их стремлении превзойти друг друга по техническому уровню производимых изделий. Поскольку величина КУФ напрямую связана с уровнем техники и технологии, то увеличение КУФ, обычно, напрямую ассоциируется с техническим уровнем МУРЗ и высокими технологическими возможностями компании-производителя. Таким образом, наращивание КУФ в МУРЗ, по нашему мнению, является не более, чем средством в конкурентной борьбе. Полезна ли эта тенденция и действительно ли она приводит к увеличению качества МУРЗ? На первый взгляд, да, поскольку, как уже отмечалось выше, увеличение КУФ обеспечивается за счет использования более прогрессивных материалов, элементов и технологий и напрямую ассоциируется с увеличением технического уровня МУРЗ. На деле же все оказывается не так просто. Поскольку прогресс в области новых материалов и технологий на самом деле не так стремителен, как хотелось бы производителям МУРЗ, в дело идут любые методы достижения поставленной цели, то есть увеличения КУФ. Уже стало тенденцией постоянное усложнение программного обеспечения, «навороченность» интерфейса, огромное количество не используемых на практике функций, значительно усложняющих работу с МУРЗ и повышающих вероятность ошибки вследствие так называемого «человеческого фактора» [3]. Некоторые часто рекламируемые «выдающиеся способности» МУРЗ, увеличивающие КУФ, например, такие как полная внутренняя самодиагностика, на деле оказываются не более, чем рекламным трюком, призванным оправдать усложнение и увеличение стоимости МУРЗ. О какой эффективности этой самодиагностики можно говорить, если она не способна обнаружить даже замену целой печатной платы, входящей в состав МУРЗ, не говоря уже повреждениях (и не только на периферийной плате, но и на главной плате с центральным процессором!). Например, такие повреждения, в результате которых МУРЗ не может связаться с компьютером, или отказывается принимать и запоминать совершенно корректные изменения настроек, или не работает в режиме измерения входных аналоговых величин (токов и напряжений), и многие, многие другие никак не обнаруживаются системой самодиагностики. А чем иным, как не рекламным трюком, можно назвать якобы способность МУРЗ постоянно контролировать исправность даже выходных исполнительных реле. Нам было очень интересно узнать, каким образом можно непрерывно контролировать исправность электромеханического реле, не вызывая его срабатывание.

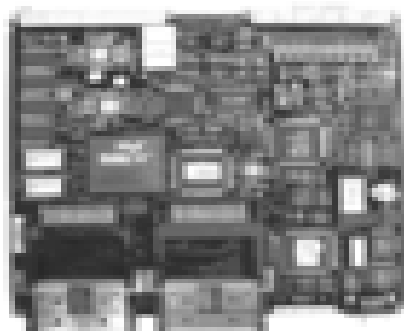


Рис.1. Главная плата микропроцессорной защиты семейства RE\_\*316 на базе компьютерного микропроцессора Intel-486.

Проведенное нами исследование показало, что речь идет о контроле целостности обмотки реле путем пропускания через нее слабого тока, не вызывающего срабатывания. Но разве катушка реле, а не его контакты является самыми нагруженным и самым ненадежным элементом? Конечно нет, но организовать никому не нужный контроль катушки ведь намного проще, чем контроль состояния контактов, а для нового рекламного объявления вовсе не важно что именно и как контролируется.

3.2. Печатные платы МУРЗ все чаще выполняются методом поверхностного монтажа с применением микрокомпонентов. При этом плотность монтажа на такой плате настолько высока, рис. 1, что даже обсуждать вопрос о поиске неисправности и ремонте такой платы абсолютно бесперспективно. Ее можно только выбросить и заменить новой. Предоставим читателю самому представить себе примерную стоимость платы реле REL-316 с центральным микропроцессором Intel-486, изображенную на рис. 1.

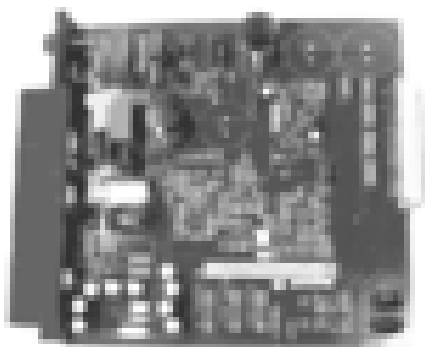


Рис. 2. Печатная плата импульсного источника питания микропроцессорной защиты, совмещающая микрокомпоненты поверхностного монтажа с крупными дискретными элементами обычного монтажа.

Все чаще на одной печатной плате размещают микрокомпоненты поверхностного монтажа вместе с крупными силовыми элементами, электрически связанными друг с другом, рис.2.

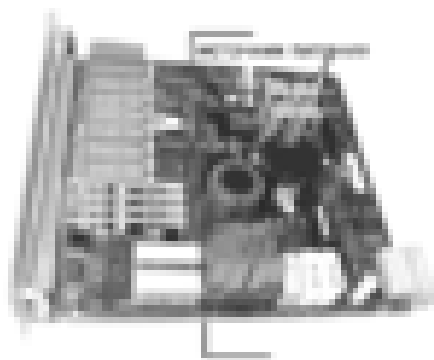


Рис. 3. Печатная плата микропроцессорной защиты, объединяющая разные функциональные узлы и выполненная полностью на электронных элементах обычного монтажа с высокой плотностью монтажа.

3.3. Серьезную проблему представляют собой электролитические конденсаторы, широко используемые в большом количестве в источниках питания МУРЗ. Через 7 – 10 лет работы в импульсных высокочастотных источниках питания даже очень высококачественные конденсаторы производства известных японских компаний начинают протекать, выделяя химически весьма агрессивный электролит. При этом работоспособность источника питания сохраняется до тех пор, пока не произойдет разрушение рядом стоящих микрокомпонентов или растворение медных дорожек печатного монтажа, которых не спасает даже слой специального прочного лака, называемого «маской», рис. 4. Вряд ли кто-то осмелится гарантировать исправность узла даже после попытки устранения повреждения и возвращать в эксплуатацию такое ответственное устройство, как МУРЗ, после повреждений такого рода.

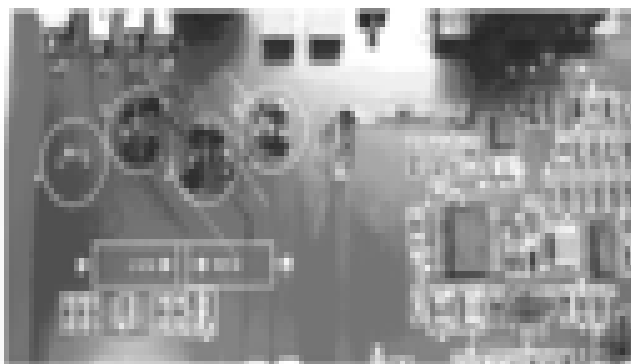


Рис. 4. Фрагмент печатной платы микропроцессорной защиты с повреждениями, вызванными протечкой электролита из конденсаторов.

3.4. Только стремлением уменьшить размеры МУРЗ можно объяснить использование практически всеми мировыми лидерами в области производства МУРЗ миниатюрных электромагнитных реле для прямого включения отключающих катушек высоковольтных выключателей и для управления достаточно мощными внешними промежуточными реле. Как показано в [4, 5], технические характеристики подавляющего большинства таких реле не соответствуют реальным условиям эксплуатации их в МУРЗ, что, естественно, снижает надежность защиты.

3.5. В некоторых типах МУРЗ, производимых ведущими мировыми компаниями используются малогабаритные соединители (разъемы) в цепях с напряжением 250 В, не предназначенные для работы при таких напряжениях. Для уменьшения опасности электрического пробоя между близко расположенными выводами миниатюрных реле и соединителей, на печатных платах МУРЗ иногда можно видеть специальные просечки в плате, расположенные между выводами, рис. 5.

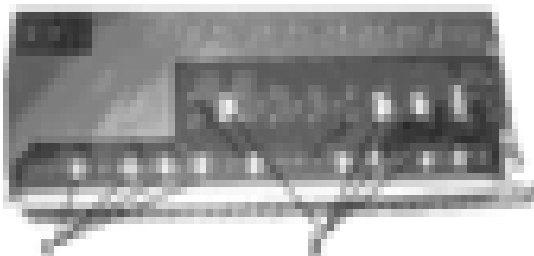


Рис. 5. Фрагмент печатной платы микропроцессорной защиты с просечками, выполненными между близко расположенными выводами малогабаритных разъемов (1) и миниатюрных выходных реле (2) с целью предотвращения электрического пробоя.

## 4. Предлагаемые решения

4.1. Основной принцип конструирования будущих МУРЗ должен быть, по нашему мнению, такой же, как и у современных персональных компьютеров: сотни разновидностей корпусов, материнской платы, памяти, периферийных устройств десятков различных производителей прекрасно сочетаются друг с другом, являются взаимозаменяемыми, позволяют производить обновление (upgrade) отдельных узлов, оставляя неизменными другие. Ничего не мешает использованию такого же принципа и для новых МУРЗ. Отдельные функциональные модули, выполненные на жестких печатных платах в едином конструктивном стиле, снабженные втычными разъемами – такой нам видится будущая микропроцессорная защита.

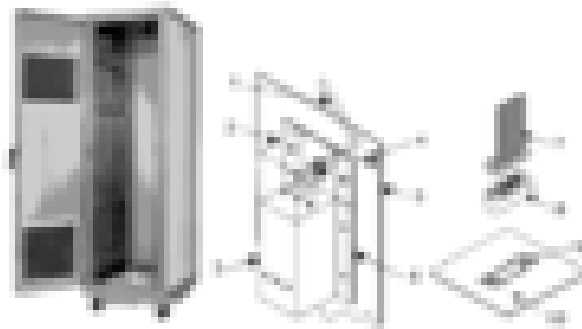


Рис. 9. Специальный металлический шкаф и элементы фильтров для усиленной защиты от внешних электромагнитных полей в широком спектре частот

Такое же заимствование из области персональных компьютеров следует, по нашему мнению, осуществить и для программного обеспечения: базовый «релейный» прототип Windows™ и набор прикладных программ, реализующих функции конкретных видов защит на общей базе – наиболее перспективное, по нашему мнению, направление развития программного обеспечения.

4.2. МУРЗ должны располагаться в специальных металлических шкафах, рис. 9, изготовленных по специальной технологии, обеспечивающей надежную защиту от внешних электромагнитных излучений в широком спектре частот. Такие шкафы выпускаются сегодня многими компаниями, например: R.F. Installations, Inc.; Universal Shielding Corp.; Eldon; Equipto Electronics Corp.; European EMC Products Ltd; Amco Engineering, и многими другими. Шкафы должны быть снабжены направляющими для введения печатных плат и соответствующими разъемами для подключения печатных плат. В одном таком шкафу могут быть размещены несколько различных МУРЗ. Поскольку реле защиты занимают очень незначительную часть площади подстанции или станции, то задача ограничения объемов, занимаемых такими шкафами не должна быть преобладающей целью при рассмотрении новых принципов построения защит. Скорее наоборот. По нашему мнению, плотность монтажа печатных плат, выполненных на обычных элементах, должна быть уменьшена до уровня, при котором поиск неисправностей и ремонт становится доступным технику средней квалификации. Показатели такого рода, а не упомянутый выше КУФ, должны стать мерилем технического уровня МУРЗ.

4.3. Установленная мощность элементов, рассеивающих энергию, должна в 4 – 5 раз превышать фактически рассеиваемую мощность. Только в этом случае может быть обеспечена сравнительно низкая температура силовых элементов и их высокий срок службы. Предельные значения токов и напряжений применяемых электронных компонентов должны также выбираться с 4 – 5 кратными запасами. Элементы защиты от перенапряжений (например, варисторы) должны выбираться с достаточно большой рассеиваемой мощностью (диаметр диска не менее 20 мм). Длительное допустимое рабочее

напряжение этих защитных элементов и напряжение «срабатывания» (clamping voltage) должны быть скоординированы с реальным рабочим напряжением и с максимально допустимым напряжением применяемых компонентов.

4.4. Функциональные блоки будущих цифровых защит, такие как:  
аналоговые входы (трансформаторы тока и напряжения), снабженные высокоэффективными помехоподавляющими фильтрами и электронными элементами первичного преобразования сигналов;  
логические (цифровые) входы, снабженные высокочастотными фильтрами и эффективной защитой от перенапряжений;  
сетевые фильтры с многоступенчатой защитой от перенапряжений в цепи питания;  
система связи и передачи данных;  
блок выходных реле, включающий:

- а) миниатюрные реле с позолоченными контактами для слаботочных низковольтных сигнальных цепей;
- б) электромагнитные реле промышленного типа с мощными контактами для управления промежуточными электромагнитными реле систем автоматики;
- в) быстродействующие полупроводниковые реле на основе тиристоров или IGBT-транзисторов со специальными драйверами с оптической развязкой и с элементами защиты от перенапряжений – для включения отключающей катушки выключателя; источники питания;
- микропроцессорные самописцы (регистраторы), для записи аварийных режимов и срабатываний реле и другой коммутационной аппаратуры,

должны быть выполнены в виде отдельных печатных плат-модулей.

4.5. Блок главного процессора с памятью и со всеми вспомогательными элементами должен быть помещен в отдельный экранированный отсек и быть гальванически изолированным от всех остальных узлов оптическими связями.

4.6. Плата главного процессора, плата связи и передачи данных, плата регистратора аварийных событий выполнены на микрокомпонентах поверхностного монтажа, не должны быть ремонтируемыми. Остальные платы должны быть выполнены на обычных компонентах и должны иметь конструкцию печатной платы, предусматривающую поиск неисправностей и ремонт.

4.7. Несмотря на появившуюся возможность объединения функции разных видов защит, расположенных в одном шкафу, и реализации их на общем мощном микропроцессоре, такая возможность, по-нашему мнению, не должна быть реализована в связи с опасностью излишней концентрации многих функций защиты в единственном устройстве. Вместе с тем, запись аварийных режимов и регистрация срабатывания всех защит, установленных в шкафу могут быть вполне выполнены на общем для всего шкафа микропроцессоре и флэш-памяти. Система связи и передачи данных также может быть общей для всех защит, установленных в шкафу.

4.8. Входные трансформаторы тока и напряжения (блок аналоговых входов) являются высоконадежными элементами МУРЗ и случаи их повреждения в процессе эксплуатации МУРЗ не выявлены. Поэтому они могут быть рассчитаны по мощности для совместного использования их всеми устройствами МУРЗ, установленными в шкафу. Блок аналоговых входов должен иметь функционально законченную конструкцию, позволяющую изъять целиком весь блок из общей схемы МУРЗ и заменить его блоком принципиально иной

конструкции, например, с оптическим входом, предназначенным для получения оптического входного аналогового сигнала с оптических трансформаторов тока и напряжения нового поколения.

4.9. Алюминиевые электролитические конденсаторы источников питания должны быть выделены в отдельный блок (печатную плату). Этот блок должен заменяться независимо от состояния конденсаторов каждые 5 лет.

4.10. Источник питания должен быть общим на весь шкаф. Этот источник должен содержать два отдельных, независимых блока: основной и резервный, включаемый в работу автоматически при выходе из строя основного. Кроме этого, источник питания должен содержать небольшой герметичный необслуживаемый аккумулятор с зарядным устройством, как это сделано, например, в системах пожарной сигнализации. Весьма перспективно использование вместо такого аккумулятора электролитических конденсаторов большой емкости на напряжение не менее 450 – 500В. В университете штата Северная Каролина разработаны конденсаторы с накапливаемой энергией в 5 – 7 раз превышающей энергию обычных конденсаторов [8]. Возможно также использование суперконденсаторов, обеспечивающих питание шкафа релейной защиты в течение небольшого промежутка времени, достаточного для срабатывания защиты при нарушениях в системе централизованного питания [7]. Цепи питания каждого отдельного модуля должны быть развязаны от цепей питания соседнего модуля таким образом, чтобы повреждение в одном из них не сказывалось на работоспособности другого.

## 5. Заключение

Предлагаемые принципы построения систем релейной защиты позволят повысить ее надежность, гибкость и удобство в использовании. Появится возможность с минимальными затратами производить модернизацию защиты. Если какие-то узлы МУРЗ показали неудовлетворительную работу, то их можно с легкостью заменить на узлы другого производителя. При переходе на новое поколение микропроцессоров не нужно заменять все устройство целиком, включая входные цепи, источники питания, фильтры и т.д. а нужно всего лишь заменить одну – две печатные платы. При переходе на оптические трансформаторы тока и напряжения необходимо будет заменить лишь одну печатную плату аналоговых входов, а не всю защиту, как это нужно было бы делать сегодня. Аналогичным образом можно будет заменять и модернизировать программное обеспечение защиты. Все это приведет к появлению на рынке новых компаний, специализирующихся на выпуске отдельных функциональных блоков и отдельных прикладных программ, усилению конкуренции и, в конечном счете, к стремительному улучшению качества релейной защиты при одновременном снижении ее стоимости.

Автор отдает себе отчет в том, что рассмотрел далеко не все аспекты проблемы и сформулировал далеко не все принципы конструирования будущих МУРЗ и поэтому приглашает к обсуждению этой темы всех заинтересованных специалистов.

## Литература

1. Гуревич В. Как нам обустроить релейную защиту: мнения российских специалистов и взгляд со стороны - Вести в электроэнергетике, 2007, N 2.
2. Гуревич В. Как не обжечься на микропроцессорных реле защиты. - ПРО-электричество, 2006, N 3/19.
3. Гуревич В. Микропроцессорные реле защиты: новые перспективы или новые проблемы? – Электрические сети и системы, 2006 , N 1.

4. Gurevich V. Nonconformance in Electromechanical Output Relays of Microprocessor-Based Protection Devices Under Actual Operating Conditions. - Electrical Engineering & Electromechanics, 2006, No. 1.
5. Gurevich V. Dealing with Problems in Output Relays Used in Microprocessor-Based Protection Devices. – Electricity Today. Transmission and Distribution, Part I, in No. 1 (Vol.19); Part II, in No. 2 (Vol.19), 2007.
6. Gurevich V. Electromagnetic Terrorism: New Hazards. – Electrical Engineering & Electromechanics, 2005, No. 4.
7. Gurevich V. A problem of Power Supply of Microprocessor-Based Protective Relays in Emergency Mode. – Electricity Today. Transmission and Distribution, 2006, No. 8 (Vol. 18).
8. Capacitors hold promise of increase in energy storage capability. RF Design, Jul.25, 2007.
9. Гуревич В. Гибридные герконо-полупроводниковые реле - новое поколение устройств релейной защиты. – Электрические сети и системы, 2007 , N .
10. Gurevich V. Simple Very High-Speed Overcurrent Protection Relay. – Electrical Engineering & Electromechanics, 2007, No. 1.