

МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ устройства релейной защиты:

Настоящее и будущее

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. 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



В. И. Гуревич,
кандидат технических наук (центральная лаборатория Электрической компании Израиля)

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. Поскольку будущее релейной защиты неизбежно связано с микропроцессорными системами (во всяком случае, для сложных защит), прогноз путей развития этого вида техники представляет безусловный интерес.

2. Целью данной статьи является анализ принципиальных конструк-

тивных 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 этого коэффициента 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 обес-

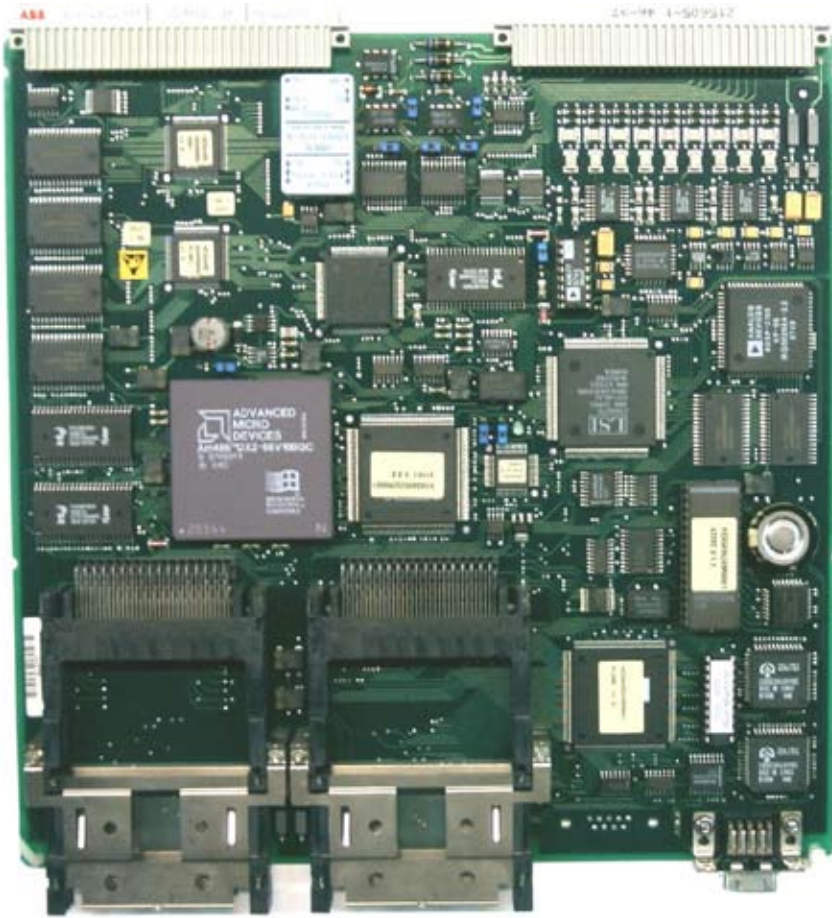


Рис.1. Главная плата микропроцессорной защиты семейства RE_*316 на базе компьютерного микропроцессора Intel-486.

печивается 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». 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.

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.

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



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



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

С учетом того, что компании-производители никогда не предоставляют потребителю подробных принципиальных схем таких плат, поиск неисправностей на них и ремонт также очень сложны. Часто приходится выбрасывать даже такие платы, несмотря на большое количество крупных дискретных компонентов обычного монтажа. Тенденция все большего увеличения плотности монтажа свойственна также и печат-

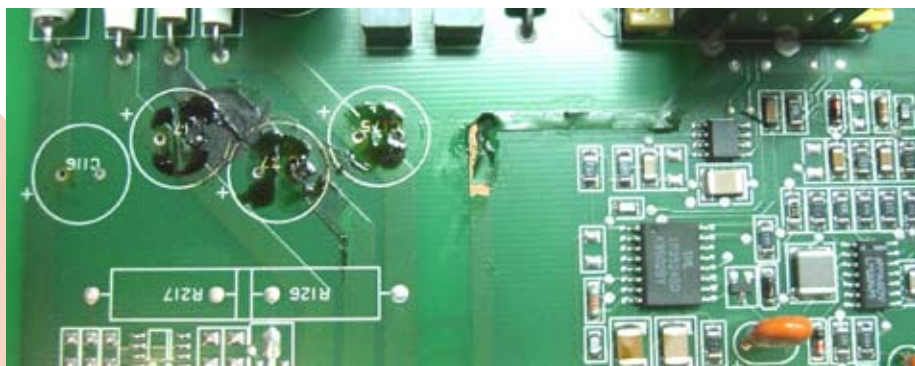


Рис. 4. Фрагмент печатной платы микропроцессорной защиты с повреждениями, вызванными протечкой электролита из конденсаторов.

ным платам на основе обычных дискретных элементов. Когда речь идет об источниках питания, работающих с относительно высокими напряжениями и мощностями, рис. 3, такой монтаж приводит к опасному сближению разнопотенциальных печатных проводников на плате, что повышает вероятность электрического

пробоя запыленной печатной платы при повышении влажности воздуха. Кроме того, при плотном монтаже утяжеляется тепловой режим работы электронных компонентов и заметно сокращается их срок службы. Искать неисправности и ремонтировать печатные платы при таком плотном монтаже совсем не просто и не дешево, учитывая значительные затраты времени.

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 повреждения такого рода.

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 известно, 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

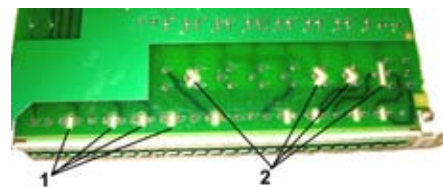


Рис. 5. Фрагмент печатной платы микропроцессорной защиты с просечками, выполненными между близко расположенными выводами малогабаритных разъемов (1) и миниатюрных выходных реле (2) с целью предотвращения электрического пробоя.

баритные 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.

3.6. Все возрастающая плотность монтажа усугубляет положение и с электромагнитной совместимостью, особенно в ситуации возрастания опасности преднамеренных дистанционных воздействий на МУРЗ очень мощных направленных электромагнитных импульсов [6]. Специальные мощные импульсные ультравысокочастотные генераторы, рис. 6, позволяют мгновенно вывести из строя существующие МУРЗ с расстояния от нескольких десятков метров до полукилометра даже из проезжающего автомобиля, не говоря уже о военных средствах поражения в виде электромагнитных бомб и зарядов,

свободно продающихся сегодня на рынке вооружений.

3.7. Совершенно очевидно, что все более возрастающая концентрация функций релейной защиты в одном устройстве при одновременном увеличении коэффициентов загрузки электронных компонентов вовсе не способствует повышению надежности релейной защиты. В такой ситуации достаточно отказа даже одного компонента, обслуживающего любой общий для всего МУРЗ узел (центральный микропроцессор, память, источник питания и т.п.) и важный энергетический объект может быть ложно отключен или может быть серьезно поврежден при несрабатывании релейной защиты в аварийной ситуации.

3.8. МУРЗ – дорогостоящие устройства, приобретение которых осуществляется, как правило, на конкурсной основе. Не все функциональные узлы МУРЗ имеют одинаковую загрузку, одинаковый тепловой режим и одинаковую вероятность отказов, одинаковый срок службы. Наиболее подвержены отказам типа электрических пробоев или тепलो-

почти не выходят из строя блоки с входными трансформаторами тока и напряжения. В разных моделях МУРЗ разных производителей показатели надежности отдельных блоков могут существенно различаться. Однако, сегодня использование функциональных блоков одних МУРЗ вместо таких же по назначению блоков других МУРЗ полностью исключается. Более того, даже полная замена МУРЗ одного производителя на МУРЗ другого производителя на действующей подстанции вызывает сложности в связи с большим разнообразием форм и размеров этих устройств, рис.6.

3.9. Цифровые (логические) входы в МУРЗ очень распространенного типа REL, REC, RET серии 316, выполнены в виде набора совершенно одинаковых ячеек, функционально представляющих собой логические элементы ЗАПРЕТ, рис. 7.

Вход и выход этой схемы через изолирующие оптроны Opt1 и Opt2 включены в электронные цепи МУРЗ, связанные с микропроцессором. Выходной сигнал с оптрона Opt2 логически моделирует (повторяет)

оптрона Opt1). Проблема такой логической ячейки заключается в высоком уровне входного сигнала (220 – 250 В постоянного тока), который нужно погасить до уровня 1.5 – 2 В, при котором работает оптрон Opt2.



Рис. 6. Современные микропроцессорные МУРЗ ведущих мировых производителей

Общий ток, потребляемый схемой, делится примерно поровну между резисторами R1 и R2, поэтому оба они, в принципе, должны были быть одинаковой мощности. Однако для двух крупных резисторов (таких как R1), да еще и с расстоянием между ними, необходимым для охлаждения, нет места на плате. Поэтому

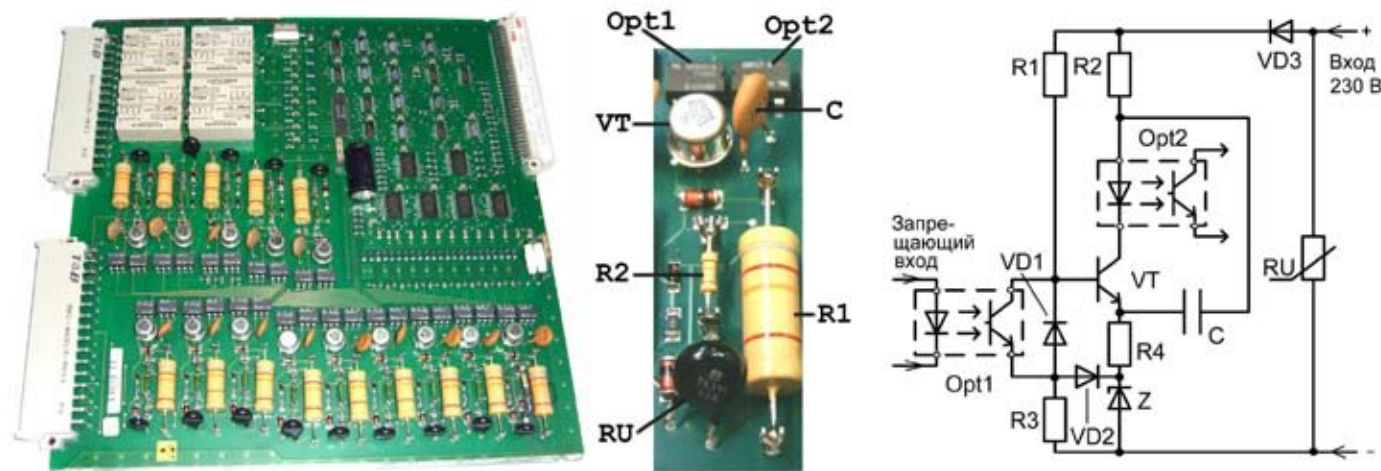


Рис. 7. Цифровые (логические) входы микропроцессорной защиты серии RE_*316: печатная плата, один канал и его принципиальная схема.

го разрушения, сильно загруженные блоки, такие, как источники питания, платы входов и выходов. Отказы блока центрального процессора имеют совершенно другой характер и связаны, обычно, не с физическими повреждениями, а нарушениями в работе с программой. Как правило,

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

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. Ничего

не скажешь, оригинальное решение, однако 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. Проблема заключается в транзисторе VT.

При работе в усилительном режиме и постоянном рассеивании избы-

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 VD, который, судя по схеме, призван стабилизировать рабочую точку транзистора, оказывается мало эффективным в связи с тем, его температура и температура транзистора различаются на 50 –

R2. Одной из причин этих пробоев может быть также недостаточная эффективность варисторов RU, применяемых в МУРЗ – самых маленьких (для экономии места) и, следовательно, самых маломощных из всех существующих типов, из-за чего они не всегда способны поглотить энергию импульса перенапряжения. Кроме того, не понятно вообще кто кого защищает: варистор ли электронные компоненты, или электронные компоненты защищают варистор, поскольку напряжение «срабатывания» (clamping voltage) установленных на плате варисторов (650 В) значительно превышает максимальное допустимое напряжение электронных компонентов (например, 350 В для транзистора VT). При таком соотношении параметров электронные компоненты будут выходить из строя еще до того, как сработают варисторы.

3.10. Для повышения надежности электропитания МУРЗ используют, как правило, постоянный оперативный ток. Однако, даже при использовании постоянного оперативного тока возможны нарушения в цепях аккумуляторов. При этом питание шин постоянного тока на подстанции обеспечивается только зарядным устройством, питающимся от сети переменного тока. При возникновении аварийного режима в высоковольтной сети, защищаемой МУРЗ, пропадает питание зарядного устройства и МУРЗ оказывается без питания в самый ответственный момент. Проведенные нами исследования [7] показали, что в реальных условиях эксплуатации МУРЗ различных типов успевают выдать сигнал на отключение выключателя только, если они работают в функции мгновенной отсечки, то есть без выдержки времени.

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

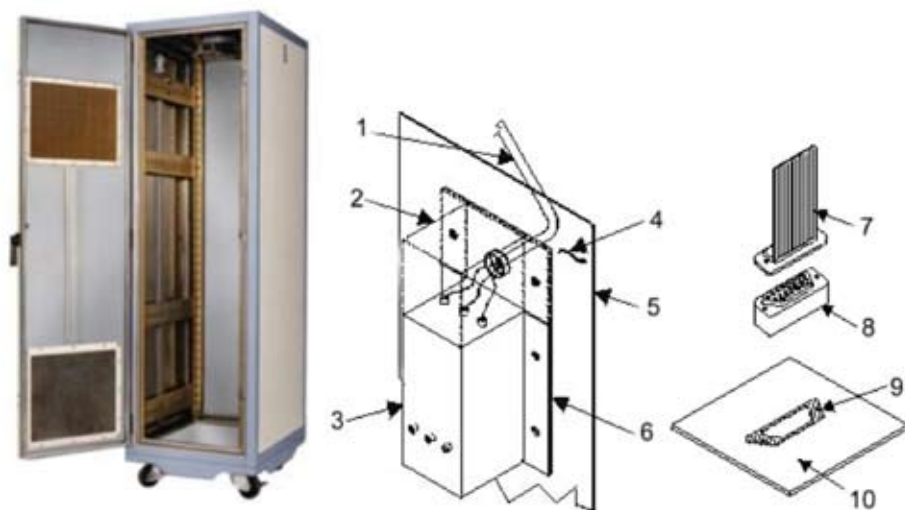


Рис. 8. Специальный металлический шкаф и элементы фильтров для усиленной защиты от внешних электромагнитных полей в широком спектре частот

1 – силовой экранированный кабель; 2 – отсек, экранирующий ввод и разделку силового кабеля; 3 – мощный сетевой фильтр с элементами защиты от перенапряжений; 4 и 5 – внутренняя и внешняя поверхности шкафа; 6 и 9 – прокладки из специальной электропроводной резины; 7 – сигнальный кабель; 8 – специальный высокочастотный фильтр; 10 – стенка шкафа.

точной мощности он нагревается до температуры 70 – 80 С. 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

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. Еще одной причиной сгорания резистора R2, выявленной на практике, является недостаточный уровень изоляции миниатюрного конденсатора С. Частичные пробои его внутренней изоляции и возрастание тока утечки при постоянно приложенном к нему напряжении около 200 В также приводит к перегоранию резистора

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 (стандарте), снабженные втычными разъемами – такой нам видится будущая микропроцессорная защита.

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. 8, 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 мерилом технического уровня МУРЗ.

4.3. Установленная мощность элементов, рассеивающих энергию должна в 4 – 5 раз (по личному опыту автора) 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 напряжения «срабатывания» (clamping voltage) должны быть скорректированы 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 слабых токовых 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 ава-

рийных 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 выполненные 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. Очевидно, что это требование будет актуальным до тех пор, пока стоимость каждой платы МУРЗ будет оставаться очень высокой, а ремонт плат экономически эффективным.

4.7. Несмотря на появившуюся возможность объединения функций 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 за-

менить 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.

4.11. Шкаф релейной защиты должен быть снабжен платой-модулем с быстродействующими высоконадежными электромеханическими элементами, выполненными, например, на герконах или на гибридных геркононо-полупроводниковых элементах. Такие элементы будут обеспечивать быстродействующее срабатывание выходных реле защиты в обход микропроцессора при больших кратностях токов на входах защиты, когда режим определяется

однозначно как аварийный и никакая дополнительная обработка входного сигнала для определения режима как аварийного, уже не требуется. Как показано в работах автора [9, 10], простые модули на таких элементах имеют быстродействие (0.8 – 1.5 мс), значительно превышающее быстродействие микропроцессорной защиты (20 – 40 мс).

4.12. Как показано выше, анализ исправности МУРЗ только с помощью встроенных программных средств, как это делается сегодня, однозначно неэффективен. С другой стороны, реальная самодиагностика, включающая автоматическую подачу по специальной программе на аналоговые и цифровые входы МУРЗ нормированных тестовых сигналов от внешнего источника и регистрацию изменений состояния реле и его выходных цепей невозможна без полного отключения реле. Допустимость периодических автоматических отключений МУРЗ с последующим автоматическим запуском системы диагностики на действующих объектах электроэнергетики, по нашему мнению, весьма сомнительна. Кроме того, для проверки отдельных функций реле часто требуется изменение (или отмена) некоторых уставок защиты, с последующим возвратом по окончании тестирования. Сложность и стоимость системы, обеспечивающей такую проверку, будут соизмеримы со стоимостью самого МУРЗ. Если добавить сюда неизбежное снижение надежности всего этого комплекса из-за его усложнения, а также необходимость периодической калибровки самой системы диагностики, то станет очевидным бесперспективность такого пути развития, во всяком случае, в обозримом будущем. Гораздо более привлекательной, на наш взгляд, является идея создания портативного переносного универсального автоматического диагностического комплекса, управляемого посредством внешнего портативного компьютера и набора специализированных программ для каждого вида защиты, позволяющим в полуавтоматическом режиме в течение 15 – 30 минут производить эффективное тестирование МУРЗ. В принципе, хорошая основа для таких диагностических комплексов уже имеется: это уст-

ройства, производимые компаниями Omicron, Doble и другими. Необходимо снабдить эти устройства многоканальными интерфейсами для одновременного подключения многочисленных входов и выходов МУРЗ, а также разработать набор прикладных программ, обеспечивающих тестирование защит различных видов в автоматическом режиме. При наличии такого диагностического комплекса целесообразно, по нашему мнению, вернуться к периодическим проверкам МУРЗ с экономически обоснованными интервалами.

5. Заключение

Предлагаемые принципы построения систем релейной защиты позволят, по нашему мнению, 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.

От редакции: Редакция журнала PRO-Электричество присоединяется к этому призыву автора. **Pro**