

# ПРОБЛЕМЫ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ: КТО ВИНОВАТ И ЧТО ДЕЛАТЬ?

**В.И. ГУРЕВИЧ**

Рассматривается программа реконструкции микропроцессорных устройств релейной защиты (МУРЗ) и пути ее реализации в рамках страны с большой емкостью рынка при наличии нескольких национальных производителей МУРЗ, таких как Россия и Китай, способных договориться между собой при относительной централизации управления энергетикой. Первым шагом на этом пути должен стать набор национальных стандартов, посвященных требованиям к конструкции МУРЗ нового типа, его программному обеспечению, методике испытаний. Предлагается к работе над этими стандартами привлечь специалистов производителей МУРЗ и будущих потребителей и представителей проектных организаций.

Сегодня на рынке микропроцессорных устройств релейной защиты (МУРЗ) присутствуют сотни моделей десятков различных производителей. В соответствии с данными отчета Newton-Evans Research Co. в 2006 г. группой ведущих компаний мира – ABB, Areva, SEL, Siemens, NARI – было продано реле защиты на сумму около 950 миллионов долларов, а второй группой, в которую вошли Basler, General Electric, Schneider – еще на 500 миллионов. Помимо указанных в отчете, на рынке МУРЗ сегодня активно работают та-

кие крупные компании, как Beckwith, Cooper Power, Orion Italia, VAMP, Woodward и др. По данным того же отчета в 2009 г. ожидается продажа реле защиты западными компаниями на сумму уже 2 миллиарда долларов. Рынок России и других стран бывшего СССР представлен как крупными Западными производителями, так и местными: НПП Бреслер, НПП “Экра”, РЕЛСiС, Киевприбор, ЗАО “Меандр”, НТЦ “Механотроника”, ЗАО “Радиус Автоматика”, Энергомашвин, ЗАО ЧЕАЗ, ВНИИР, и др. (рис. 1).

Казалось бы, при таком многообразии производителей и типов МУРЗ, представленных на рынке, потребитель всегда может выбрать наиболее подходящий для него вариант МУРЗ и никаких проблем с этим у него быть не должно.

Но, давайте разберемся по порядку.

## Во-первых, почему, собственно, речь идет только о микропроцессорных защитах?

Ну, действительно, почему? Ведь никаких новых функций в релейную защиту МУРЗ не привнесли, а параметры и возможности высококачественных электромеханических и полупроводниковых устройств (то есть статических аналоговых устройств, выполненных на основе дискретных полупроводниковых элементов или с применением интегральных микросхем) полностью обеспечивают по-

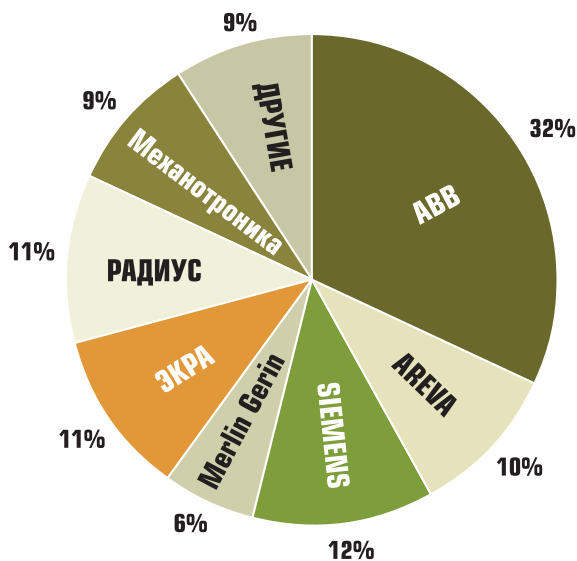


Рис. 1. Российский рынок МУРЗ

требности релейной защиты. Да, МУРЗ могут иметь более сложные и подходящие для некоторых конкретных задач релейной защиты характеристики, например, полигональную характеристику дистанционной защиты вместо обычной круговой, как у электромеханических реле. Но эти преимущества МУРЗ не являются какими-то революционными, способными повлиять на основополагающие принципы релейной защиты. Они остались теми же. В релейной защите нет принципиально важных задач, которые нельзя было бы решить с помощью электромеханических или статических реле. Свидетельством этому является тот факт, что развитые электрические сети и системы существуют и успешно функционируют во всем мире уже более ста лет, тогда как микропроцессорные защиты появились в эксплуатации в сколько-нибудь заметном количестве всего каких-то 10-15 лет тому назад, да и то только на Западе. В России (а также в странах бывшего СССР, в некоторых странах Восточной Европы и Азии) до сих пор количество МУРЗ в сетях не превышает нескольких процентов. Совершенно очевидно, что даже с такой крупной и разветвленной энергосистемой, как единая энергосистема России, ничего бы не произошло, если бы вместо МУРЗ обновление релейной защиты осуществлялось бы за счет новых поколений электромеханических или статических полупроводниковых реле. Разве что “головной боли” было бы меньше. Очевидно также, что с началом применения МУРЗ логика работы энергосистемы не изменилась, не увеличилось количество операций, выполняемых энергосистемой, не изменилось количество вырабатываемой электроэнергии, не изменились принципы передачи и распределения электроэнергии. Так почему же МУРЗ так стремительно вытесняют все остальные типы реле защиты?

Прогресс в развитии электромеханических реле был полностью остановлен 30-35 лет тому назад в связи с тем, что все усилия разработчиков направлялись на создание электронных, а затем и микропроцессорных защит. И дело здесь вовсе не в каких-то принципиальных недостатках электромеханических или статических реле, или в их неспособности обеспечивать надежную защиту энергетических объектов, а совершенно в другом. Дело в том, что затраты на полностью роботизированное (вплоть до автоматического тестирования) производство МУРЗ из дешевых электрон-

ных комплектующих высокой степени интеграции не идет ни в какое сравнение с затратами на производство и ручную сборку из высокоточных механических элементов электромеханических реле при том, что продажная стоимость МУРЗ остается очень высокой. Вот, например, Российская компания НЭК из Новосибирска ([www.nec.mbit.ru](http://www.nec.mbit.ru)) предлагает контрактную сборку печатных плат с использованием современной технологии поверхностного монтажа со скоростью монтажа 50 000 компонентов в час (японская машина SM402-M/L монтирует уже 60 тысяч компонентов в час). Совершенно очевидно, что при наличии такого высокопроизводительного, полностью автоматического оборудования производство печатных плат, из которых и состоит МУРЗ, приносит производителям баснословные прибыли по сравнению с производством и ручной сборкой высокоточных механических реле. Именно в сфере производства, а не эксплуатации проявляется самое важное преимущество МУРЗ: сверхприбыль производителей. По этой причине сегодня уже практически нигде в мире (за исключением отдельных небольших производств, не влияющих на общую картину) не производятся никакие другие виды защит, кроме микропроцессорных. Апологеты скорейшего и повсеместного внедрения МУРЗ (обычно, представители предприятий-производителей, их торговые агенты или связанные с ними общим бизнесом) часто приводят такие доводы в пользу последних, как отсутствовавшая у электромеханических реле возможность записи аварийных режимов, возможность обмена информацией между реле и т.п. Но все это рекламные трюки, не имеющие ничего общего с действительностью. Сегодня на рынке имеются сотни разновидностей микропроцессорных самописцев аварийных режимов, способных передавать данные по сети, которые регистрируют аварийные режимы значительно лучше и полнее, чем это делают МУРЗ; имеются развитые системы передачи информации такие, например, как SCADA, хорошо работающие уже многие годы с электромеханическими реле. В отличие от реле защиты микропроцессорные самописцы аварийных режимов не способны повлиять на надежность электроснабжения и спровоцировать тяжелые аварии в сети при отказах в работе (в отличие от МУРЗ), поэтому широкое их использование можно только приветствовать.

## **Во-вторых, разве МУРЗ в том виде, в котором они существуют сегодня, полностью устраивают потребителей?**

Появление МУРЗ в энергосистемах породило массу новых проблем, неведомых ранее, на которые пока нет однозначных и четких ответов:

### *1. Резервирование МУРЗ*

Необходимо ли резервирование в связи с недостаточной надежностью МУРЗ? Если да, то каких именно видов реле и какими видами реле должно осуществляться такое резервирование: микропроцессорными или электромеханическими? Каким должен быть тип резервирования?

### *2. ЗИП*

Каким должен быть оптимальный ЗИП? Какова методика его расчета для МУРЗ разных видов и типов? Как, где и при каких условиях его хранить (имеется информация о том, что при длительном хранении печатных плат с электролитическими конденсаторами на складе они очень быстро выходят из строя)? Как обеспечить быстрое восстановление МУРЗ, особенно на необслуживаемых подстанциях?

### *3. Количество функций в одном МУРЗ*

Какова должна быть оптимальная степень концентрации различных функций в одном МУРЗ, при которой повреждение одного единственного элемента может привести к отказу сразу всех функций релейной защиты, заложенных в данном МУРЗ?

### *4. Человеческий фактор*

Как оценить влияние человеческого фактора на надежность релейной защиты, резко возросшего при переходе от электромеханических защит к микропроцессорным? Что нужно сделать для уменьшения этого влияния?

### *5. Технико-экономический эффект*

Каков технико-экономический эффект (для потребителя, но не для производителя) от замены электромеханических реле на МУРЗ и есть ли он вообще, или этот переход убыточен? Для всех ли видов защит и для всех ли классов напряжения целесообразна такая замена? Целесообразно ли заменять электромеханические защиты микропроцессорными на старых подстанциях, не приспособленных для эксплуатации МУРЗ?

Как правильно и оптимально испытывать МУРЗ? В каком объеме и с какой периодичностью? Каковы требования к испытательному оборудованию? Как и где калибровать испытательное оборудование, применяемое для проверки МУРЗ?

### *6. Испытания МУРЗ*

Как правильно учитывать надежность (повреждаемость) МУРЗ: по количеству неправильных действий релейной защиты или по общему количеству выявленных повреждений МУРЗ (которые не привели к неправильным действиям защиты) и выявленных ошибок в его программном обеспечении?

### *7. Надежность (повреждаемость) МУРЗ*

Какими должны быть технические требования и параметры подстанции для обеспечения надежной работы МУРЗ по критерию электромагнитной совместимости? По какой методике и как реально оценить пригодность подстанции для эксплуатации МУРЗ?

### *8. Критерии электромагнитной совместимости*

Каковыми должны быть технические требования и параметры подстанции для обеспечения надежной работы МУРЗ по критерию электромагнитной совместимости? По какой методике и как реально оценить пригодность подстанции для эксплуатации МУРЗ?

### *9. Условия эксплуатации МУРЗ*

Каким должен быть оптимальный температурный режим при эксплуатации МУРЗ? Когда нужно использовать кондиционирование воздуха в релейном зале, а когда достаточно лишь вентиляции в шкафах? Нужно ли использовать в шкафах с МУРЗ подогрев воздуха для предотвращения выпадения росы?

### *10. Проблема преднамеренного электромагнитного воздействия на МУРЗ и хаккерских атак*

Как предотвратить или хотя бы ослабить преднамеренные дистанционные воздействия на МУРЗ военного, уголовного или террористического характера с целью выведения из строя релейной защиты?

### *11. Требования к конструкции, параметрам и программному обеспечению МУРЗ*

Какой должна быть оптимальная конструкция МУРЗ и его программного обеспече-

ния? Кто должен сформулировать требования к конструкции и программам, как заставить производителей учитывать эти требования? Каков должен быть набор технических требований, предъявляемых к МУРЗ?

### 12. Тендер

Как правильно проводить тендеры на закупку МУРЗ? Как сформулировать технические требования к МУРЗ? Как проверять тендерную документацию и реальное соответствие МУРЗ требованиям тендера? Какие испытания МУРЗ можно проводить на этапе тендера? Как оценить качество различных МУРЗ и выбрать лучшее устройство на этапе тендера?

Мы попытались сформулировать лишь несколько общих вопросов и проблем, возникших с появлением МУРЗ, не вдаваясь во множество конкретных технических проблем, например: с логическими входами [1, 2]; с выходными реле [3]; проблем с электропитанием [4, 5] и др.

*Особняком в этом перечне вопросов и проблем стоят проблемы надежности и эффективности МУРЗ.* Как показано ранее в ряде работ автора [6, 7, 8], а также в публикациях многих других авторов [9], несмотря на полное отсутствие подвижных частей, надежность МУРЗ совсем не такая высокая, как это обычно представляется в рекламных каталогах. Широко рекламируемая, якобы очень высокая ремонтпригодность МУРЗ, позволяющая за считанные минуты заменить вышедший из строя блок, на поверку оказывается мифом, поскольку замененный неисправный блок стоимостью в одну треть стоимости всего МУРЗ является в большинстве случаев изделием неремонтпригодным. Это означает, что на поддержание МУРЗ в исправном состоянии требуются большие затраты. В этой связи публикации, рассматривающие эти вопросы, являются чрезвычайно важными и актуальными. К большому сожалению, появившиеся в последнее время публикации [10] не проясняют ситуацию, а лишь еще более запутывают ее. Основная проблема с оценкой надежности МУРЗ заключается в неверном, по нашему мнению, подходе, когда в качестве основного статистического показателя надежности МУРЗ используется процент неправильных действий (либо дополняющий его до 100 процент правильных действий). Этот показатель используется в России и некоторых других странах

при оценке результатов эксплуатации релейной защиты.

$$K = \frac{N_{ПС}}{N_{ПС} + N_{ИС} + N_{ЛС} + N_{ОС}} \cdot 100\%,$$

где:  $N_{ПС}$  – число правильных срабатываний;  $N_{ИС}$  – число излишних срабатываний;  $N_{ЛС}$  – число ложных срабатываний;  $N_{ОС}$  – число отказов в срабатывании.

На основе расчетов с использованием этого показателя многими авторами, проводившими анализ ситуации с надежностью МУРЗ, делаются выводы об их очень высокой надежности. Однако такой метод расчета вызывает много вопросов. Например, непонятно, почему для оценки надежности реле принято не количество его поломок, требующих ремонта, а количество последствий этих поломок, то есть неправильных действий защиты в аварийных режимах. Это все равно, как если бы надежность автомобиля оценивалась не по количеству поломавшихся узлов и деталей, требующих замены, а по количеству дорожных аварий, которые произошли по вине этих поломок. Можно иметь очень плохой автомобиль, требующий вложения огромных денег в его постоянные ремонты, но при этом не иметь ни одной дорожной аварии. Если к такому автомобилю применить методику, предлагаемую в указанных выше публикациях, то наш никчемный автомобиль становится просто идеальным и желанным для любого автолюбителя. Применительно к релейной защите это означает, что потребитель может получить “эффективное” и “надежное” реле, не имеющее неправильных срабатываний, но требующее частой замены вышедших из строя модулей, каждый из которых стоит одну четвертую или одну пятую стоимости всего микропроцессорного реле. Можно только представить, какую “головную боль” будет иметь потребитель от этого реле, проходящего в сводках как весьма “эффективное” и очень “надежное”.

Как можно понять из данной методики оценки надежности релейной защиты, она никак не учитывает отказы важнейшей составной части РЗА – собственно реле защиты в том случае, если эти отказы не сопровождались неправильными действиями РЗА. Применительно к микропроцессорным устройствам РЗ речь идет о тех случаях, когда внутренняя система самодиагностики выявила повреждение и выдала об этом соответствующее сообщение. На первый взгляд кажется, что регистрировать такое событие в качестве отказа

РЗ и не требуется. Но давайте вспомним, как обычно работает система внутренней самодиагностики в МУРЗ. При выявлении серьезной неисправности, способной повлиять на работоспособность МУРЗ (например, повреждение содержимого ячеек памяти, сбой в работе главного процессора и т.п.), его особый элемент так называемый “watchdog” (“сторожевой пес” в русском переводе) выдает команду на полную перезагрузку МУРЗ (если, конечно, не вышел из строя источник питания). Если это не помогло, этот элемент полностью блокирует МУРЗ, выводя из работы все 10-15 функциональных защит, входящих в состав одного многофункционального модуля МУРЗ. При этом по-существу остаются без всякой защиты такие объекты электроэнергетики, как линии электропередач, мощные трансформаторы, генераторы на электростанции и т.д. (если, конечно, потребитель не настолько богатый, чтобы держать резервные МУРЗ, автоматически включаемые в работу при блокировании основного МУРЗ). Такое состояние РЗ будет сохраняться до тех пор, пока обслуживающий персонал не получит со склада новый модуль МУРЗ и не заменит его. А что будет, если на складе не оказалось нужного модуля или если подстанция вообще не обслуживаемая? Допустимо ли никак не учитывать такие события? А допустимо ли не учитывать затраты на замену поврежденного модуля, стоимость которого равна одной четвертой/одной пятой стоимости весьма недешевого МУРЗ?

А как относиться к ошибкам в заводском программном обеспечении МУРЗ, выявленным, скажем, в процессе проверки МУРЗ? Или к ошибкам в уставках, коэффициентах или выбранных режимах защиты? Тоже никак не регистрировать и никак не учитывать? Однако для обеспечения правильного функционирования МУРЗ исправность его программного обеспечения имеет ничуть не меньшее значение, чем исправность “железа”. Значит “программные проблемы” являются такими же отказами МУРЗ, как и повреждения электронных компонентов.

Как известно, количество неправильных действий вследствие ошибок персонала микропроцессорной защиты значительно больше, чем это было ранее для электромеханических защит. И чем более “наворочена” микропроцессорная защита, тем больше таких ошибок. Это вполне понятно и объяснимо. Но как быть, если МУРЗ, находящееся в эксплуатации, ни разу не сработало (например, из-за отсутствия

аварийных режимов в защищаемом объекте) при наличии “заблокированной” по ошибке при предыдущих испытаниях функции? Ведь МУРЗ не могло правильно сработать при возникновении аварийного режима, то есть все время оставалось неисправным. Разве такое событие, выявленное при очередной проверке, не влияет на надежность защиты и его не нужно регистрировать?

Попробуем более строго сформулировать мысль об оценке надежности МУРЗ. По нашему мнению, основная проблема существующих методик оценки надежности МУРЗ заключается в том, что они *относятся к релейной защите (то есть, к некоей системе), а не как к отдельным компонентам этой системы*, которыми являются МУРЗ. Для сложной системы, называемой “релейной защитой”, в состав которой входит множество компонентов, включая и МУРЗ, вполне корректно оценивать надежность так, как это делается сегодня, то есть по количеству неправильных действий этой системы (излишних срабатываний или, наоборот, несрабатываний в аварийных режимах). Однако если мы хотим произвести технико-экономическую оценку МУРЗ или сравнительную оценку надежности различных типов МУРЗ (*то есть отдельного компонента системы релейной защиты*), то такой подход неприемлем, так как он никак не учитывает случаи отказов компонентов этой системы, таких как МУРЗ, которые были связаны с полной потерей работоспособности и потребовали замены дорогостоящих внутренних блоков, но не привели к неправильным действиям системы, то есть релейной защиты.

Исходя из вышеизложенного, при оценке надежности отдельных микропроцессорных реле защиты необходимо, по нашему мнению, учитывать три типа отказов:

1. Отказы реле, не связанные с неправильными действиями РЗ, но требующие ремонта или замены вышедших из строя элементов, блоков и модулей или программного обеспечения реле ( $M_s$ ).
2. Неправильные действия релейной защиты, то есть излишние срабатывания при отсутствии аварийного режима или несрабатывания при аварийном режиме ( $M_D$ ).
3. Ошибки персонала, связанные с эксплуатацией, тестированием и программированием реле, влияющие на правильность действия этого реле, но выявленные до наступления неправильного действия релейной защиты ( $M_p$ ).

Все эти составляющие должны войти, по нашему мнению, в обобщенный нормализованный показатель отказов  $M_{\Sigma}$  релейной защиты:

$$M_{\Sigma_i} = \left( \frac{M_{S_i} + M_{D_i} + M_{P_i}}{N_i} \right) \times 100 \%,$$

где  $M_{S_i}$ ,  $M_{D_i}$ ,  $M_{P_i}$  – количество отказов каждого типа для реле  $i$ -го вида за выбранный период времени;  $N_i$  – количество реле  $i$ -го вида, находящихся в эксплуатации в рассматриваемый период времени.

Предлагаемый критерий, по нашему мнению, мог бы послужить одной из основных составляющих в интегральном показателе эффективности реле защиты (в частности, МУРЗ) при оценке ситуации и принятии решений. Совершенно очевидно, что при использовании предлагаемого критерия, показатели надежности МУРЗ будут резко снижены по сравнению с показателями, приводимыми сегодня в статистических отчетах.

*Еще одна отдельная проблема: сложность испытаний МУРЗ.* Существующие компьютеризированные тестовые системы релейной защиты (ТСРЗ) предназначены для проведения испытаний трех групп: статических (steady state tests), динамических (dynamic tests) и переходных процессов (transient tests). Первая группа испытаний предполагает проверку базовых уставок срабатывания реле и является как бы предварительным испытанием реле. Вторая группа испытаний предназначена в основном для проверки поведения сложных защит, таких как дистанционные или дифференциальные, на различных участках характеристик и зон защиты при изменении входных параметров (ток, напряжение, угол) во времени. Третья группа испытаний предполагает инъекцию во входные цепи реле файлов переходных процессов в формате COMTRADE, извлеченных из регистрирующих устройств, записавших реальный переходной процесс короткого замыкания в сети, или файлов в том же формате, построенных искусственно с помощью специальных программ. Результаты испытаний формируются в базу данных, реализованную, как правило, на основе Sybase SQL Anywhere и автоматически оформляются в виде стандартного протокола, который может быть распечатан на принтере. Изготовители ТСРЗ предлагают обычно наборы тестовых процедур (библиотеки) в виде макросов для различных видов испытаний и даже для некоторых распространенных типов реле.



Рис. 2. Современные компьютеризированные тестовые системы последнего поколения для испытания многофункциональных микропроцессорных защит

Современные ТСРЗ (рис. 2) обладают поистине супергибкостью и широчайшими функциональными возможностями.

ТСРЗ позволяют симулировать практически любые встречающиеся на практике условия работы реле защиты, включая: создание под собственные требования искусственных COMTRADE файлов; искусственное искажение формы кривой тока; симуляцию гармоник; смещение синусоиды тока относительно оси (симуляция апериодической составляющей); симуляцию ответной реакции выключателя; автоматическое построение самых сложных полигональных характеристик дистанционных защит; синхронизацию дифференциальных защит через спутники и т.п. Такие супервозможности современных ТСРЗ обуславливают наличие и оборотной стороны медали: необходимости вводить сотни параметров в десятки таблиц для выполнения каждого отдельного испытания реле. При этом встроенные библиотеки тестовых процедур на практике мало помогают, так как не освобождают от необходимости заполнения многих таблиц. К этому следует добавить не меньшую гибкость и универсальность испытываемого объекта (МУРЗ), также требующего введения огромного количества параметров из десятков выпадающих меню и таблиц. Малейшее несоответствие между собой настроек МУРЗ и ТСРЗ приводит к неправильным результатам. Причем, далеко не всегда можно понять, что полученные результаты неверны. И даже в тех случаях, когда ошибка очевидна (например, полученная характеристика реле не соответствует теоретической), очень

сложно определить, где именно допущена ошибка: в настройках МУРЗ или в настройках ТСПЗ. На собственном опыте автор может подтвердить, что поиск ошибки такого рода чрезвычайно сложен и требует много усилий и времени. Не менее сложна работа с моделью электрической сети (Power System Model), применяемой в ТСПЗ некоторых типов, для проверки дистанционных защит. Для настройки параметров ТСПЗ в этом режиме необходимо знание множества параметров реальной электрической сети, которые необходимо занести со специальными коэффициентами во множество таблиц. Технику и даже инженеру службы релейной защиты многие из этих параметров реальной сети и применяемых коэффициентов часто не известны, что требует участия в процедуре проверки реле инженеров из других служб энергосистемы. Вообще же, психологами давно установлено, что чем большим количеством кнопок и рычажков (реальных или виртуальных, то есть программных) должен манипулировать оператор, тем ниже эффективность взаимодействия человека с такой техникой. Многие функции и возможности такой “навороченной” техники просто выпадают из человеческого восприятия.

Итак, подведем некоторые итоги первой части нашего анализа:

1. Широкое наступление МУРЗ и вытеснение ими всех других видов реле защиты обусловлено не принципиальными недостатками последних и не революционными преимуществами МУРЗ, а всего лишь сверхприбылью, получаемой при производстве МУРЗ, по сравнению с производством всех других видов реле защит, то есть фактически диктатом производителей, почти полностью прекративших выпускать все другие виды защит, кроме микропроцессорных.
2. Высокая надежность МУРЗ, отмечаемая сегодня в статистических сводках, не отражает объективной ситуации и связана с неправильной методикой оценки надежности. Реальная надежность МУРЗ намного ниже, приводимой в отчетах и она ниже надежности электромеханических реле.
3. Помимо снижения надежности МУРЗ, их широкое применение породило массу дополнительных проблем в релейной защите, неизвестных ранее, решение которых сегодня пока не найдено.

### Что же делать со всеми этими проблемами?

За ответом на этот вопрос обратимся к конструкции МУРЗ. Как показано в большом материале, опубликованном автором в виде серии из 5 статей [11], МУРЗ имеют модульную конструкцию. Основными функциональными узлами МУРЗ являются: материнская плата с аналого-цифровым преобразователем, микропроцессором, различными видами памяти и другими вспомогательными элементами; модуль цифровых (логических) входов с оптронами; модуль аналоговых входов на основе трансформаторов тока и напряжения; модуль выходных реле. Не правда ли, модульная конструкция МУРЗ чем-то напоминает конструкцию персонального компьютера (ПК)? Однако имеется одно очень существенное, можно сказать, основополагающее отличие ПК от МУРЗ: для каждого модуля ПК имеется обширный рынок, позволяющий комплектовать ПК из набора этих модулей, выпущенных разными производителями в разных странах. К чему это приводит? К снижению цены и возможности комплектовать ПК из набора модулей, наиболее подходящих потребителю и по характеристикам, и по цене. То же самое относится и к программному обеспечению. Имеется некая универсальная платформа (Windows) и огромный рынок прикладных программ на любой вкус.

Но, наверное, есть и существенные конструктивные отличия между ПК и МУРЗ? В действительности, принципиальных отличий очень мало – тот же источник питания, тот же главный модуль (материнская плата), к которому подключены вспомогательные модули: модуль аналоговых входов (набор ТТ и ТН с фильтром и АЦП) вместо видеокарты; модуль логических входов – вместо ТВ-тюнера; модуль выходных реле – вместо звуковой карты. А чем принципиально отличается компьютерная программа, предназначенная для работы с многофункциональным МУРЗ, от любой другой компьютерной программы? Аж ничем! Так в чем же дело? Почему сегодня мы имеем огромное количество абсолютно не взаимозаменяемых конструктивных исполнений МУРЗ вместо набора универсальных модулей в виде печатных плат, а также огромное количество программ для МУРЗ и их версий, несовместимых даже между собой?



Рис. 3. Внешний вид современных МУРЗ различных производителей

Для ответа на этот вопрос давайте проследим, как работает этот огромный бизнес. Например, что происходит, если выходит из строя какой-то модуль конкретного типа МУРЗ, установленного на конкретной подстанции? А вот что. Поскольку рынка универсальных модулей не существует, *потребитель может заменить вышедший из строя модуль только и исключительно таким же самым, произведенным тем же изготовителем.* Таким образом, потратив однажды кругленькую сумму на приобретение комплекта МУРЗ у одного

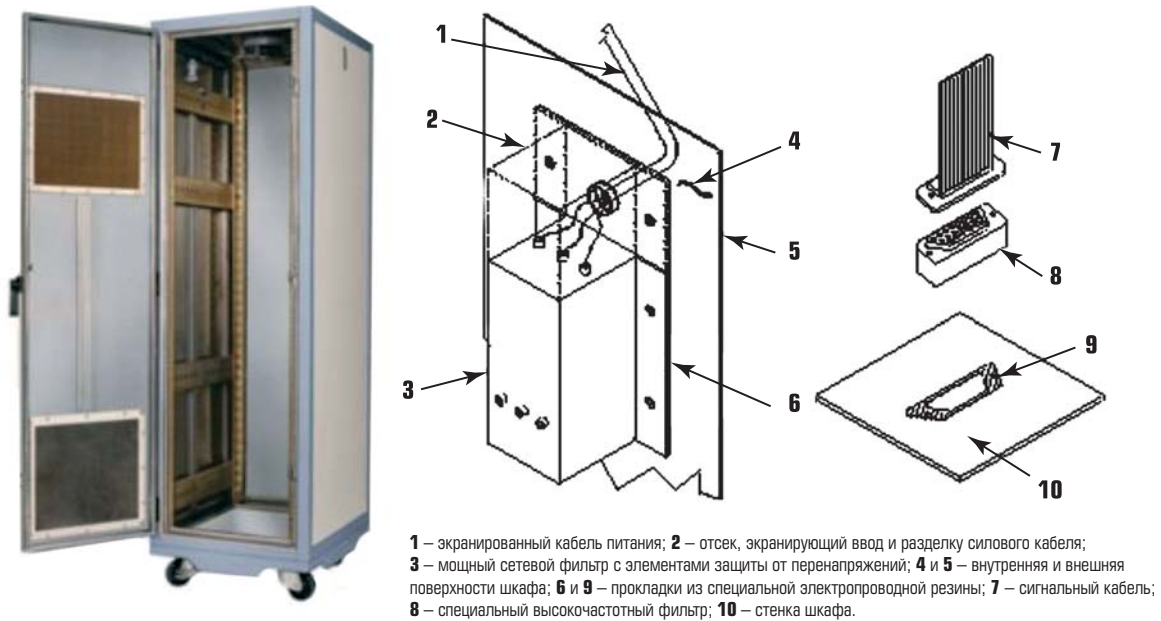
из производителей, потребитель фактически попадает в экономическую кабалу этого производителя на период в 10-15 лет, поскольку после совершения сделки для потребителя уже не имеет значения наличие нескольких разных производителей на рынке, так как он не может воспользоваться изделиями других производителей. Выбраться из этой кабалы можно только потратив еще раз не менее круглую сумму на приобретение комплекта МУРЗ другого производителя (и таким образом из одной кабалы попасть в другую). А что делает производитель в ситуации абсолютного монополиста? Правильно: повышает цену! Цена одного запасного модуля для МУРЗ может доходить чуть ли не до трети и даже половины цены всего весьма недешевого МУРЗ! Поскольку потребителю некуда деваться, он покупает и по такой цене. А что происходит через 8-10 лет эксплуатации МУРЗ? А вот что: производитель за это время освоил уже несколько новых конструкций и ему становится просто не выгодным содержать производственные мощности для выпуска запасных модулей для старых реле, и он просто прекращает их выпускать. Что в такой ситуации вынужден делать потребитель? Выбросить старый МУРЗ, даже если в нем вышел из строя всего лишь один из модулей (печатные платы современных МУРЗ выполнены по технологии, не предусматривающей их ремонт), и раскошелиться на приобретение нового. Кому от этого жить хорошо...?, Тому же производителю! Но почему же при любой ситуации производителю позволено наживаться за счет потребителя? Что нужно сделать, чтобы переломить ситуацию в пользу потребителя? Правильно, производить МУРЗ в виде набора модулей – печатных плат с универсальными стандартизированными размерами и разъемами, точно так, как это сегодня делается на рынке персональных компьютеров и со встроенной базовой программной оболочкой, под которую потребитель мог бы загрузить купленную им на рынке программу прикладную программу конкретного вида защит или комплекта защит.

Сегодня каждый тип МУРЗ имеет собственный корпус, существенно отличающийся от корпуса другого типа МУРЗ, иногда даже того же самого производителя (рис. 3). Отдельные МУРЗ размещаются сегодня, как правило, в релейных шкафах: по 3-5 штук в каждом шкафу (рис. 4). Если новые МУРЗ будут изготовлены в виде набора универсальных модулей на печатных платах, то для такого набора плат станут



Рис. 4. Современный способ монтажа МУРЗ в релейных шкафах





▲ Рис. 5. Специальный металлический шкаф с вентиляционными окнами, имеющими защиту от проникновения радиоизлучений и элементы фильтров для усиленной защиты от внешних электромагнитных полей в широком спектре частот

ненужными (во всяком случае, в большинстве случаев) отдельные корпуса. Каждый МУРЗ может быть образован отдельной горизонтальной секцией в шкафу с направляющими под печатные платы, с индивидуальной дверцей и с задней стенкой с разъемами и клеммами для подключения внешних кабелей.

Сам релейный шкаф должен быть выполнен по специальной технологии, предназначенной для защиты его содержимого от электромагнитных воздействий (рис. 5). Сегодня существуют технологии (специальные шкафы, электропроводные прокладки и смазки, фильтры и т.п.), которые могут существенно ослабить влияние внешних электромагнитных излучений в широком спектре частот на высокочувствительную аппаратуру типа МУРЗ.

Такие шкафы выпускаются компаниями: R.F. Installations, Inc.; Universal Shielding Corp.; Eldon; Equipto Electronics Corp.; European EMC Products Ltd; Amco Engineering, и многими другими.

В случае принятия предложенного пути развития МУРЗ на рынке появились бы новые “игроки”, одни из которых специали-

зировались бы на выпуске модулей аналоговых входов с трансформаторами тока и напряжения, другие – на выпуске материнской платы, третьи – на программном обеспечении. Потребитель мог бы компоновать свое МУРЗ из модулей различных производителей, точно так, как это происходит сегодня с ПК, с учетом стоимости и качества этих модулей, а также использовать одну и ту же программу для всех своих МУРЗ. При этом были бы решены не только многие из сформулированных выше вопросов, но и была бы существенно снижена стоимость релейной защиты. Последнее позволило бы устанавливать два комплекта идентичных защит вместо одного для повышения надежности и использовать второй комплект как резервный, автоматически запускаемый в работу по сигналу “watchdog” поврежденного основного МУРЗ. Можно было бы отказаться от использования индивидуального источника питания для каждого МУРЗ и использовать один вдвоенный комплект питания повышенной мощности и надежности на весь шкаф. Можно установить в таком шкафу много разных сервисных модулей, повышающих надежность работы МУРЗ.

Значительно упростилась бы работа обслуживающего персонала, то есть служб релейной защиты, поскольку теперь им не нужно было бы изучать толстенные фолианты (рис. 6) каждого из установленных типов МУРЗ, разбираться с особенностями программы каждого типа МУРЗ. Кроме существенного облегчения работы с МУРЗ и сокращения времени освое-



▲ Рис. 6. Многостраничные фолианты с описанием МУРЗ, предназначенные для потребителя

ния новых защит, существенно снизился бы процент ошибок, вызванных так называемым “человеческим фактором”.

При такой конструкции МУРЗ решилась бы и проблема тестирования сложных функций МУРЗ, таких как полигональная характеристика дистанционных реле. При наличии общей стандартной программной платформы для всех МУРЗ производители МУРЗ могли бы снабжать свои защиты двумя компакт-дисками. На одном из них под соответствующими номерами должны быть записаны полные наборы уставок для специфических режимов работы защит или для характерных точек характеристики, или для типовых примеров электрических сетей.

На втором под номерами, соответствующими наборам уставок защиты, должны быть записаны полные наборы уставок для ТСПЗ и схемы внешних подключений МУРЗ к выходам и входам ТСПЗ. При этом вся процедура тестирования сведется к загрузке в МУРЗ набора уставок номер ХХ1, загрузке в ТСПЗ набора уставок номер YY1, подключению МУРЗ к ТСПЗ и ... приготовлению порции кофе. После успешного завершения процедуры автоматического тестирования в МУРЗ должен быть загружен файл заранее проверенных рабочих уставок с соответствующего компакт-диска. Процесс загрузки должен автоматически контролироваться МУРЗ, и его успешность по завершении должна быть подтверждена выдачей на дисплей соответствующего подтверждения.

Как практически можно было бы реализовать описанную выше программу реконструкции МУРЗ? Проще всего – в рамках одной страны с большой емкостью рынка при наличии нескольких национальных производителей МУРЗ, способных договориться между собой при относительной централизации управления энергетикой, при наличии трудностей с финансированием проектов по модернизации релейной защиты, основанной на дорогостоящих МУРЗ западного производства. Странами, в которых существуют все эти условия, на наш взгляд, являются Россия и Китай. Первым шагом на этом пути должен стать, по нашему мнению, набор национальных стандартов, по-

священных требованиям к конструкции МУРЗ нового типа, его программному обеспечению, методике испытаний и т.д. К работе над этими стандартами должен быть привлечен широкий круг специалистов, ученых, будущих производителей МУРЗ и будущих потребителей, представителей проектных организаций. Такой путь развития релейной защиты не только помог бы России выйти из тупика, но и показал бы пример для подражания всему миру.

### Список литературы

1. Гуревич В.И. О надежности логических входов микропроцессорных устройств релейной защиты // Электроника-Инфо. 2009. № 2.
2. Гуревич В.И. Повышение помехоустойчивости логических входов микропроцессорных устройств релейной защиты // Электроника-Инфо. 2008. № 11.
3. Гуревич В.И. Проблемы выходных реле, используемых в микропроцессорных устройствах релейной защиты // Электрические сети и системы. 2007. № 1
4. Гуревич В.И. Проблемы электропитания микропроцессорных реле защиты // Промышленная энергетика. 2007. № 5.
5. Гуревич В.И. Устройства для мониторинга целостности цепи подстанционной батареи // Энергослужба предприятия. 2008. № 4 (34).
6. Гуревич В.И. Надежность микропроцессорных устройств релейной защиты: мифы и реальность // Вести в электроэнергетике. 2008, № 4.
7. Гуревич В.И. Еще раз о надежности микропроцессорных устройств релейной защиты // Вести в электроэнергетике. 2009. № 3.
8. Гуревич В.И. Микропроцессорные реле защиты: альтернативный взгляд – “Электро-инфо”. 2006. № 4 (30).
9. Проблемы микропроцессорных устройств релейной защиты: мнения специалистов, нерешенные проблемы, публикации в прессе // <http://digital-relay-problems.tripod.com/>
10. Нудельман Г.С., Шалин А.И. Микропроцессорные системы РЗА. Оценка эффективности и надежности // Новости электротехники. 2008. № 3 (51).
11. Гуревич В.И. Микропроцессорные реле защиты. Как они устроены? // Электротехнический рынок. 2009. № № 4-6; 2010. № № 1-2 (цикл из 5 статей).

*Гуревич Владимир Игоревич – канд. техн. наук, Почетный профессор Харьковского национального технического университета им. П. Василенко, начальник сектора Центральной лаборатории Электрической компании Израиля, эксперт комитета ТС94 Международной электротехнической комиссии ([www.gurevich-publications.com](http://www.gurevich-publications.com)).*

*Телефон: (+972)52-746-7436. E-mail: [vladimir.gurevich@gmx.net](mailto:vladimir.gurevich@gmx.net)*