

Микропроцессорные реле защиты: альтернативный взгляд

В. И. Гуревич, канд. техн. наук

В ранее опубликованных статьях [4, 6, 7] автор уже обращал внимание энергетиков на проблемы, сопутствующие повсеместному массовому переходу на микропроцессорные реле защиты и показал, что незнание этих проблем может существенно осложнить жизнь энергетикам. В данной статье предпринята попытка проанализировать сложившуюся ситуацию в области микропроцессорных защит и показать внутренние движущие силы такого перехода.

Микропроцессорные реле защиты находятся в эксплуатации уже два десятка лет, тем не менее, они еще не стали основным средством релейной защиты. В странах бывшего СССР, такие реле начали применяться значительно позже и пока составляют менее одного процента от общего количества реле защиты. Даже в одной из самых развитых и передовых энергосистем – Мосэнерго – микропроцессорные реле составляют всего около 2 %. Следует отметить, что и в странах Запада темпы перехода на микропроцессорные реле защиты достаточно низки. По данным [1] при существующих темпах потребуется около 70 лет для замены всех реле защиты на микропроцессорные. Только в отдельных странах (например, в Израиле) этот процесс идет намного быстрее по причине ввода в строй большого количества новых энергетических объектов, укомплектованных новыми защитами.

Около 80% электромеханических реле, находящихся сегодня в эксплуатации в странах СНГ, выпущены 25 – 30 лет тому назад, а некоторые реле эксплуатируются уже 50 лет и даже более, тогда как их срок службы не превышает, обычно, 15 лет [2]. Понятно в каком техническом состоянии находятся эти реле и какой образ электромеханического реле, как вида, сформировался у релейщиков. У специалистов-релейщиков СНГ мнение об электромеханических реле защиты, в том числе об индукционных реле сформировалось на основе опыта эксплуатации очень ограниченного количества типов таких реле производства ЧЭАЗ. В частности, образ индукционного реле обычно представляется в виде реле серии РТ-80 со сложной и не очень надежной кинематикой.

Многие специалисты даже не знают, что это реле было скопировано с реле типа RI, разработанного шведской фирмой ASEA еще в 1918 году (!) и уже давно не известного релейщикам западных стран, рис. 1.



Рис. 1. Индукционные реле тока: слева типа RI, разработанного в 1918 году, справа – РТ-80, до сих пор выпускаемого в России.

Совершенно очевидно, что при очень ограниченной номенклатуре электромеханических реле защиты, имеющихся на российском рынке, обычные претензии релейщиков к электромеханическим реле, такие, как увлажнение или наоборот, пересыхание изоляции проводов и катушек, коррозия металлических элементов, электрическая эрозия (обгорание) и окисление контактов, запыление и заедание механизмов и т.п. могут относиться лишь к конкретным типам реле, а не ко всему классу электромеханических реле, как таковых. Тем не менее, все эти недостатки конкретных типов реле чисто психологически переносятся на электромеханические реле, как класс.

Между тем, существует очень много разнообразных и весьма удачных конструкций электромеханических, в частности, индукционных реле, производимых западными компаниями, которые прекрасно зарекомендовали себя во всем мире за многие годы эксплуатации. Одним из таких реле является индукционное токовое реле с зависимой выдержкой времени (а вернее с целым набором характеристик, обеспечивающим выбор той или иной зависимости выдержки времени от тока) типа IAC, рис. 2, которое выпускалось в огромных количествах и находится в эксплуатации уже десятки лет во многих странах мира.

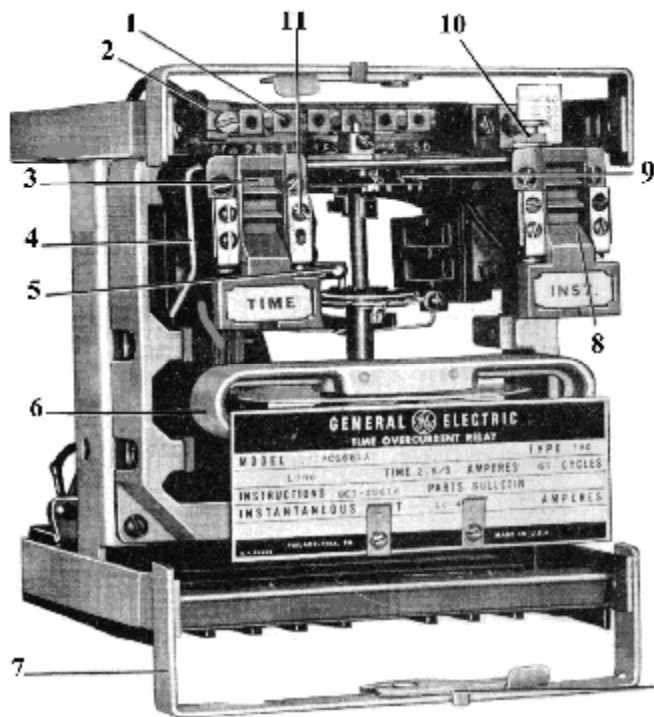


Рис. 2. Одно из самых массовых реле, широко применяемых на Западе – индукционное токовое реле с зависимой выдержкой времени типа IAC, производимое General Electric (без корпуса).

1 – переключатель отпаек токовой катушки; 2 – переключаемый вывод катушки; 3 – выходное промежуточное реле с индикаторным флажком включаемое контактом индукционного механизма; 4 – коромысло возврата индикаторного флажка; 5 –

магнитопровод постоянного магнита, замедляющего вращение диска; 7 – направляющая рама с фиксатором положения реле в корпусе; 8 – реле токовой отсечки мгновенного действия с индикаторным флажком; 9 – переключатель временных характеристик реле; 10 – элемент регулировки порога срабатывания токовой отсечки; 11 – переключатель отпаек выходного реле.

Это одно из самых массовых реле в релейной защите. Электромеханические реле западного производства изготавливаются, как правило, из высококачественных металлов с очень хорошим антикоррозионным покрытием, с

катушками, пропитанными специальными лаками. Металло-бумажные конденсаторы, используемые для создания сдвига фаз, изготовлены в герметичных корпусах со стеклянными изоляторами. К тому же такие реле снабжаются тяжелыми стальными корпусами с хорошим уплотнением, предотвращающим попадание пыли во внутрь. Обнаружить следы коррозии на деталях таких реле, находящихся в эксплуатации десятки лет даже в субтропическом морском климате практически не возможно.

На электромеханической основе работают не только простейшие реле, типа IAC, но и самые сложные системы релейной защиты, например, многоступенчатые дистанционные защиты. Примером такой системы релейной защиты может быть реле типа LZ31, рис. 3. Это прекрасно выполненное и надежно работающее уже десятки лет электромеханическое устройство, произведено компанией ASEA (ныне ABB). Автору довелось проверять много таких реле и он может на личном опыте подтвердить, что и через тридцать лет эксплуатации таких реле во влажном субтропическом и морском климате они по-прежнему выглядят как только что сошедшие с конвейера.



Рис. 3. Шедевр релестроения – электромеханическое реле трехступенчатой дистанционной защиты типа LZ31, выпускавшееся фирмой ASEA в 70-х годах и до сих пор надежно защищающих линии высокого напряжения 110 – 220 кВ во многих странах мира (со снятой крышкой-дверцей).

Нельзя рассуждать о недостатках целого класса реле на основании конкретного опыта работы с одним или двумя конкретными типами реле, к тому же далеко не самой лучшей конструкции и качества исполнения. Автор приглашает читателей познакомиться с целым миром электрических реле [3], прежде чем делать какие-то

выводы.

В рассуждениях о недостатках электромеханических реле и преимуществах микропроцессорных как-то выпадает из рассмотрения целый класс защит на основе дискретных полупроводниковых элементов (транзисторов, диодов), так называемых статических реле, выпускавшихся во всем мире в массовом количестве в 70-е годы (в России статические реле выпускаются до сих пор некоторыми компаниями). Такие реле до сих пор надежно работают во многих странах. Выбор полупроводниковых элементов с

большими запасами по току и напряжению, высококачественных конденсаторов, герметичных выходных реле, сплошное покрытие печатных плат толстым слоем влагостойкого лака методом прямого погружения, хорошо отработанные схемные решения обеспечили таким реле надежную работу и сохранение параметров в течение 30 лет и более. Автор неоднократно проверял такие реле разных типов, произведенные компанией AEG после 20 – 30 лет эксплуатации и убеждался в их надежности. Такие реле не имеют недостатков, приписываемых обычно электромеханическим реле. Так почему же не они выбраны для замены электромеханических реле? Наверное потому, что переход на микропроцессорные защиты обусловлен отнюдь не недостатками электромеханических и уж тем более электронных реле, а чем-то другим. Чем же? Почему же крупнейшие производители реле защиты с налаженным пороизводством электромеханических реле так воспылали любовью к микропроцессорным защитам? Объясняется все очень просто: микропроцессорное реле состоит из печатных плат, процесс производства которых полностью автоматизирован. Проверка собранных плат также автоматизирована: на плату автоматически опускаются несколько десятков тонких металлических щупов, соприкасающихся с контрольными точками на плате. Через эти щупы на плату подаются по специальной программе тестовые сигналы и измеряется реакция отдельных функциональных блоков на эти сигналы, которые анализируются компьютером в автоматическом режиме.

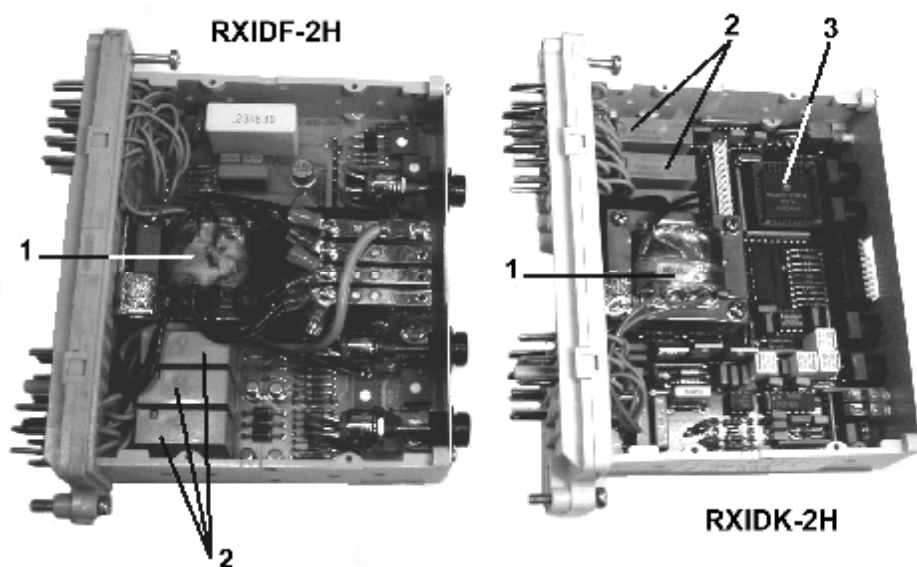


Рис. 4. Два токовых реле с зависимой выдержкой времени с одинаковыми электрическими параметрами, функциональными возможностями и габаритами, произведенные одной и той же компанией (ABB): слева статическое полупроводниковое типа RXIDF-2H, справа – микропроцессорное типа RXIDK-2H

1 – входной трансформатор тока; 2 – выходные электромагнитные реле; 3 – специализированный микропроцессор.

Затраты на полностью автоматизированное производство таких реле несоизмеримо меньше, чем на ручную сборку прецизионных механизмов электромеханических реле, при этом цена микропроцессорных реле заметно

выше электромеханических, то есть прибыль от производства микропроцессорных реле несоизмеримо больше, чем от производства электромеханических. Вот вам и вся разгадка большой любви больших компаний к маленьким реле. Но почему не электронные реле, ведь технология производства также может быть автоматизирована? К сожалению, не полностью: аналоговые электронные реле все-же требуют ручной настройки режимов. Первые опыты по переходу на микропроцессорные реле происходили путем полного копирования всех функций и параметров аналоговых электронных реле на дискретных электронных компонентах небольшим специализированным микропроцессором, рис. 4. Оба реле являются универсальными токовыми реле с регулируемой зависимой от тока выдержкой времени, произведенные одной и той же компанией, одной из самых крупных в мире компаний в области электроэнергетического оборудования и релейной защиты – АВВ.

Первое (RXIDF 2H) – относительно простое реле, содержащее 2 операционных усилителя и 8 транзисторов. Все настройки осуществляются потенциометрами. Эти реле находятся в эксплуатации уже более 20 лет и по-прежнему показывают надежную работу и точность. Автору довелось неоднократно производить периодические проверки реле этого типа.

Второе реле (RXIDK 2H) – микропроцессорное реле, выпущенное как замена реле RXIDF 2H и полностью повторяющее его характеристики.

Что дала замена относительно простой и надежной схемы на микропроцессор? Те же функции, те же габариты! Только вот надежность стала намного ниже! Автору довелось видеть много таких реле, вышедших из строя, которые не подлежат ремонту из-за наличия специализированного микропроцессора и просто выбрасываются.

Такой переход отчетливо продемонстрировал недостатки микропроцессорных реле: при той же функциональности они оказались более дорогими, гораздо менее надежными и полностью неремонтопригодными. Вот тут то производители и поняли, что такие "новшества" вряд ли понравятся потребителю. Для того, чтобы быть конкурентоспособными, электронные реле должны иметь намного больше функций, чем старые реле, чтобы можно было оправдать их высокую стоимость за счет множества новых функций. Именно этим объясняется такая перегруженность огромным количеством явно избыточных функций [4] практически всех распространенных типов микропроцессорных защит последнего поколения.

Такое резкое увеличение функций реле может быть реализовано лишь на основе мощного универсального микропроцессора. Поэтому в современных реле часто используют мощные универсальные компьютерные микропроцессоры Intel или AMD 486 серии, рис.5. Однако, многофункциональность микропроцессорных реле не так уж и безобидна. До эры микропроцессорных реле функции защиты важного объекта были распределены между 5 – 6 отдельными реле. Выход из строя одного реле еще не привел к отказу полностью всей системы защиты объекта. В одном микропроцессорном устройстве сосредоточены функции очень многих реле. Например, одно только микропроцессорное устройство типа REG216 выполняет функции: дифференциальной защиты; токовой защиты с зависимой выдержкой времени; обратной последовательности фаз; реле повышенного напряжения; дистанционной защиты; реле сопротивления; реле перегрузки; реле температуры; частоты; скорости изменения частоты; перевозбуждения генератора и др. В

таком устройстве выход из строя какого-либо общего для всех функций элемента, например, источника питания, микропроцессора, памяти или вспомогательных элементов, обслуживающих микропроцессор, приводит к отказу сразу всей системы защиты объекта.



Рис. 5. Главная плата универсального микропро-цессорного реле серии RE_316*4 с установлен-ными на ней стандартным "компьютерным" микро-процессором 486 серии (1) и постоянным запоминающим устройством – "soft-ware key" (2) с программой, определяющей тип реле.

Вот теперь все стало на свое место: потребитель получил красиво упакованную и разрекламированную многофункциональную микропроцессорную защиту, о проблемах которой он порой ничего не знает, а производитель – сверхприбыль. Именно сверхприбылью компаний-монополистов обусловлена эта воистину платоническая любовь к микропроцессорным реле.

Приобщению к такой "любви" потребителей посвящена мощная рекламная кампания, проводимая этими фирмами. Красочные рекламные проспекты полны мифов о сверхспособностях микропроцессорных реле. Один из таких мифов относится к якобы очень высокой надежности микропроцессорных реле за счет полной самодиагностики всех элементов. Но о какой серьезной самодиагностике может идти речь, если очень распространенная универсальная микропроцессорная защита серии REL316 (REC316, RET316) фирмы АВВ вообще не в состоянии заметить замену

печатной платы одного вида на плату другого вида и требует ручного ввода данных о новой плате. Входные цепи реле, особенно подверженные повреждениям, вообще никак не диагностируются. В самых новых реле серии MiCOM P437 фирмы Aegva рекламируется самодиагностика даже выходных электромагнитных реле.

Спрашивается, как можно проверить исправность электромагнитного реле чисто электрическим методом, не вызывая его срабатывания. При более глубоком изучении этого вопроса оказывается, что речь идет всего лишь о контроле целостности обмотки реле путем постоянного пропуска через нее слабого тока. Чего стоит такая диагностика? Такого же рода миф представляет собой утверждение об особо высокой надежности микропроцессорных реле. Анализ повреждаемости микропроцессорных реле, выполненный в Японии [5], рис. 6 показал это со всей очевидностью. Не правда ли, интересная статистика, подтверждающая, что дискретные электронные компоненты обладают гораздо более высокой надежностью при работе в реле защиты, чем микросхемы и микропроцессоры.

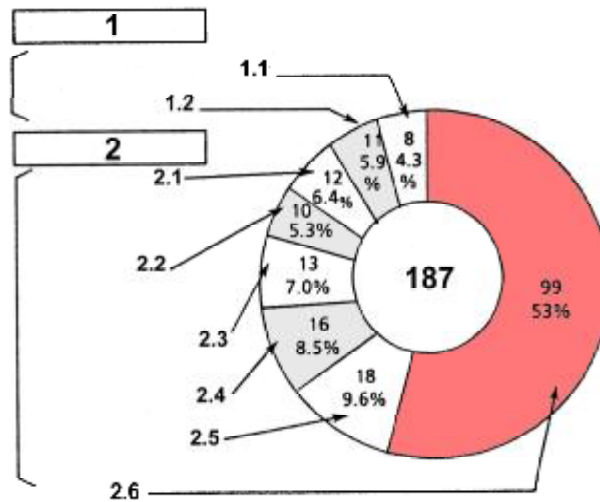


Рис. 6. Анализ причин повреждений 187 микропроцессорных реле защиты производства ведущих Японских компаний.

1 – повреждения системного характера; 2 – повреждения отдельных элементов

1.1 – дефекты внутренних контактных соединений и внешних присоединений; 1.2 – дефекты пайки; 2.1 – сопротивления и разъемы; 2.2 – конденсаторы; 2.3 – транзисторы, диоды, оптроны; 2.4 – кварцы; 2.5 – внутренние промежуточные реле; 2.6 – микросхемы, включая микропроцессоры

А о какой высокой надежности может идти речь, если даже параметры миниатюрных выходных электромагнитных реле, используемых в качестве выходных элементов микропроцессорных защит практически всех ведущих компаний мира не соответствуют ни заявленным в каталогах параметрам (якобы способность коммутировать ток 30 А в цепи с индуктивной нагрузкой при напряжении 250 В постоянного тока) ни реальным условиям эксплуатации реле. Автор опубликовано целое исследование на эту тему [6].

Современная напасть - электромагнитный терроризм [7] – еще один увесистый камень в сторону микропроцессорных реле, весьма чувствительных к мощным высокочастотным электромагнитным полям, специально генерируемым с целью выведения из строя электронной аппаратуры.

Анализируя процесс перехода на микропроцессорные реле не будет лишним вспомнить ситуацию с обычными электромагнитными реле (не защиты), сложившуюся в 70-х годах [8]. Тогда, под напором стремительно развивающихся полупроводниковых технологий и появлением широкой номенклатуры мощных транзисторов, тиристоров, оптронов многим на Западе казалось, что эра электромеханических реле закончилась. Заводы, производящие такие реле в срочном порядке переоснащались под производство полупроводниковых коммутирующих устройств или просто закрывались. Отрезвление наступило довольно быстро и уже через 7 – 10 лет производство электромеханических реле было не только полностью восстановлено, но и значительно расширено. Современные контактные материалы и сплавы, новые пластмассы и лаки позволили резко сократить размеры и повысить надежность электромеханических реле. Сегодня всем стало абсолютно ясно, что полупроводниковые коммутирующие устройства могут занять лишь определенную нишу и в принципе не способны полностью вытеснить электромеханические коммутирующие устройства ни сегодня, ни в обозримом будущем.

Кто знает, как бы сложилась судьба микропроцессорных реле, если бы совершенствованию электромеханических реле было посвящено столько же усилий и было бы затрачено столько же денег, как на разработку микропроцессорных защит, но может быть, мы еще станем свидетелями "ренессанса" и электромеханических реле защиты.

Современная тенденция, однако, предполагает постепенное вытеснение электромеханических реле защиты и замену их микропроцессорными реле. При этом конкретные решения, принимаемые в конкретных обстоятельствах, о переходе на микропроцессорные реле защиты часто принимаются без четкого понимания тех проблем [4, 6, 7], которые появляются с таким переходом. Виноваты в этом прежде всего производители реле, которые никогда не говорят о недостатках микропроцессорных защит, а подчеркивают только их преимущества, причем часто довольно надуманные. Если проследить за многочисленными публикациями в ведущих западных научно-технических журналах, можно обнаружить интересную тенденцию: 90% статей на тему о применении микропроцессорных защит публикуются авторами, представляющими компании ABB, General Electric, Siemens, которые являются крупнейшими в мире производителями микропроцессорных защит. Эти публикации, в которых всячески восхваляются преимущества микропроцессорных реле и никогда не обсуждаются новые проблемы, которые возникают при переходе на такие реле, создают определенный информационный фон, на который вынуждены ориентироваться и эксплуатационники. Рецензируются эти журналы по рассматриваемой тематике также ведущими специалистами все тех же компаний. Существуют такие журналы во многом благодаря спонсорской поддержке и публикациям рекламных блоков все тех же компаний. В связи с таким положением дел, опубликовать на Западе статью с критикой микропроцессорных защит в ведущих журналах практически не возможно.

Некоторые итоги и рекомендации:

1. Интенсивные научно-исследовательские и конструкторские работы в области электромеханических реле защиты были фактически полностью заморожены около 30-35 лет тому назад и все усилия разработчиков были переключены на создание электронных, а затем и микропроцессорных реле. Прогресс последних десятилетий в области новых материалов, сплавов, электроизоляционных материалов уже никак не затронул электромеханические реле защиты. В связи с этим, у эксплуатационного персонала электромеханические реле начали ассоциироваться с чем-то давно устаревшим, отжившим свой век. Особенно это характерно для энергетиков и релейщиков стран бывшего СНГ, вынужденных иметь дело с конструкциями, разработанными чуть ли не сто лет тому назад, да к тому же изготовленных с весьма низким качеством. При этом, совершенно очевидные недостатки и справедливые нарекания на конкретные типы реле, очень ограниченной номенклатуры, чисто психологически распространяются на весь класс электромеханических реле. Стремление избавиться от постоянного обслуживания изношенных электромеханических реле является важным стимулом у российских релейщиков к переходу на многообещающие микропроцессорные устройства не требующих такого обслуживания. При этом они еще не догадываются, что вместо затрат на обслуживание старых реле они будут иметь ничуть не меньшие затраты на приобретение вышедших из строя и не подлежащих ремонту весьма дорогостоящих электронных блоков.
2. Информационный фон, целенаправленно создаваемый компаниями-производителями микропроцессорных реле, дает искаженное представление о микропроцессорных реле защиты, как об устройствах обладающих только преимуществами и не имеющими недостатков. Проблемы и недостатки микропроцессорных реле не обсуждаются даже на страницах специализированных научно-технических журналов, заполненных дорогостоящими и весьма прибыльными для журналов рекламными блоками этих самых компаний.
3. Переход на микропроцессорные реле обусловлен не принципиальной неспособностью электромеханических реле обеспечить эффективную защиту энергетических объектов от аварийных режимов и не их недостаточной надежностью, а стремлением крупнейших компаний мира получить сверхприбыль от производства реле.
4. При принятии решения о переходе на микропроцессорную релейную защиту следует принимать во внимание не только рекламные проспекты компаний-производителей, но и мнение специалистов, занимающихся эксплуатацией таких защит, статьи и другие материалы, опубликованные этими специалистами, а не только разработчиками защит. В любом случае такой переход должен быть взвешенным и очень осторожным, особенно в отношении реле, произведенных малоизвестными компаниями, не имеющими достаточного опыта работы в области производства оборудования для электроэнергетики.
5. При оформлении договора на приобретение партии микропроцессорных реле нужно иметь в виду, что функциональные блоки, то есть печатные платы современных реле выполнены, как правило на микроэлементах по

технологии поверхностного монтажа и являются неремонтопригодными. Поэтому заранее нужно обговорить порядок замены вышедших из строя плат и их стоимость.

6. При выборе реле микропроцессорной защиты того или иного типа для массовой закупки нельзя относиться к нему как к функциональному "черному ящику" с параметрами и характеристиками, указанными компанией-производителем. Необходимо обязательно вскрыть образец реле и внимательно осмотреть его внутреннюю конструкцию, обращая особое внимание на элементную базу на которой построены входные и выходные цепи, в частности, на входные и выходные клеммы, которые по требованиям стандартов должны выдерживать высокие испытательные напряжения, наличие и правильный выбор элементов для защиты от перенапряжений входных цепей, соответствие параметров выходных реле требованиям коммутации индуктивной нагрузки в цепи постоянного тока с напряжением 220 В (управление отключающей катушкой высоковольтного выключателя) и т.п. Сегодня в Интернете можно найти технические параметры практически любого электронного компонента и электромагнитных реле, поэтому такая проверка не вызывает больших трудностей.
7. Для обеспечения высокой надежности работы микропроцессорных реле необходимо принять специальные меры по обеспечению их бесперебойного питания и защите питающих сетей от перенапряжений и высокочастотных помех с помощью специальных фильтров для цепей питания и мощных варисторов совмещенных с предохранителями и сигнальными элементами. На провода, подходящие к реле от трансформаторов тока и трансформаторов напряжения должны быть одеты специальные ферритовые кольца, повышающие импеданс для высокочастотных сигналов. Все эти элементы сегодня широко представлены на рынке. Особое внимание следует уделить повышению качества цепей заземления, по возможности отделению контура заземления микропроцессорных реле и других высокочувствительных электронных систем от контура заземления силового оборудования станций и подстанций.
8. При переходе на многофункциональные микропроцессорные защиты последнего поколения нужно заранее позаботиться о приобретении достаточного количества портативных компьютеров (ноутбуков) и принятии на работу высококвалифицированных специалистов, которым можно было бы доверить работу с такими реле.
9. Необходимо принять самые серьезные меры по защите локальных компьютерных сетей с включенными в них микропроцессорными реле от возможности несанкционированного доступа, не допускать даже кратковременного подключения к таким сетям компьютеров, имеющих подключение к Интернету.

ЛИТЕРАТУРА

1. Johnson G., Thomson M. Reliability considerations of multifunction protection. – Basler Electric Corp.
2. Материалы 15-й Научно-технической конференции "Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем", 2002.

3. Gurevich V. Electric Relays: Principles and Applications. – CRC Press (Taylor & Francis Group), Boca Raton-London-New York, 2005, 704 pp.
4. Гуревич В. И. Микропроцессорные реле защиты: новые перспективы или новые проблемы? – Новости электротехники, N 6 (36), с. 63 – 67.
5. Matsuda T., Kovayashi J., Itoh H., Tanigushi T., Seo K., Hatata M., Andow F. Experience with Maintenance and Improvement in Reliability of Microprocessor-Based Digital Protection Equipment for Power Transmission Systems. Report 34-104. SIGRE Session, 30 August – 5 September 1992, Paris.
6. Гуревич В. И. О проблеме несоответствия выходных реле микропроцессорных устройств релейной защиты западного производства реальным условиям эксплуатации. – Пром. энергетика, 2005, N. 12.
7. Гуревич В. И. Электромагнитный терроризм – новая реальность 21 века. – Мир техники и технологий, N. 12 (49), 2005.
8. Гуревич В. И. О развитии средств релейной защиты электрических сетей. – Энергетическое строительство, 1994, N. 1, с. 48 – 51.