

## О некоторых оценках эффективности и надежности микропроцессорных устройств релейной защиты

**В. И. Гуревич, начальник сектора Центральной лаборатории Электрической компании Израиля, канд. техн. наук**

Оценка эффективности и надежности микропроцессорных устройств релейной защиты (МУРЗ) является весьма важной и актуальной задачей в связи со все возрастающим применением МУРЗ в электроэнергетике. Как показано ранее в ряде работ автора [1–3], а также в публикациях многих других авторов [4], МУРЗ являются далеко не панацеей, способной решить все проблемы релейной защиты, а наоборот, являются источником многих новых проблем, связанных с микроэлектроникой, компьютером, программированием, ранее неизвестных в релейной защите. Оказывается, что, 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 1/4–1/5 стоимости всего МУРЗ является в большинстве случаев изделием неремонтпригодным. Это означает, что на поддержание МУРЗ в исправном состоянии требуются большие затраты. Не решен вопрос с обеспечением комплекта ЗИП. Каким должен быть оптимальный ЗИП? Как и где его хранить? Обычный склад — не очень подходящее место для хранения ЗИП, поскольку электролитические конденсаторы, длительное время находящиеся без напряжения, сильно ухудшают свои свойства. Какова оптимальная степень концентрации различных функций в одном МУРЗ, при которой повреждение одного единственного копеечного элемента может привести к отказу сразу всех функций релейной защиты, заложенных в данном МУРЗ? 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? Каков технико-экономический эффект от перехода на МУРЗ, есть ли он вообще или этот переход убыточен? Как наиболее эффективно резервировать МУРЗ? Нужно ли использовать для этого электромеханические защиты? Целесообразно ли заменять электромеханические защиты микропроцессорными на старых подстанциях, не приспособленных для эксплуатации микроэлектроники? Как правильно и оптимально испытывать

МУРЗ? В каком объеме и с какой периодичностью? Как калибровать испытательное оборудование, применяемое для проверки МУРЗ? Эти и множество других вопросов, связанных с эффективностью и надежностью МУРЗ все еще ждут своего решения. В этой связи, публикации, рассматривающие эти вопросы, являются чрезвычайно важными и актуальными. К большому сожалению, появившиеся в последнее время материалы не дают ответа ни на один из перечисленных выше вопросов, а наоборот, рождают лишь массу новых. Вот, например, в статье [5], посвященной именно этой теме, читаем:

*«Переход к рыночным отношениям в энергетике предполагает технико-экономический анализ предлагаемых решений, в частности, для оценки привлекательности инвестиционных проектов. Качественно выполнить такой анализ на базе принятых методик невозможно хотя бы потому, что прежде уровень технического совершенства вообще не оценивался интегральными показателями, а надежность оценивали безразмерными показателями, которые весьма трудно сопоставить со стоимостными характеристиками оборудования, эксплуатации и т.д.»*

Такого рода утверждения совершенно ничем не обоснованы. Еще в 1970–1980 гг. были опубликованы десятки работ, посвященных интегральной оценке эффективности сложных технических систем, включающих и стоимостные характеристики таких систем, в том числе диссертации и монографии, (см. например, [6]). Жаль, что авторы статьи не знакомы с ними.

Читаем далее:

*«К тому же разработанные методы относились к старой элементной базе, а устройства микропроцессорной релейной защиты и автоматики (МПРЗА) имеют целый ряд особенностей, которые не могут быть учтены при этих методах расчета. Необходимо выработать новые подходы к оценке показателей эффективности систем РЗА».*

Какие такие особенности? Чем это МУРЗ отличается от контроллера, управляющего любым технологическим процессом, на вход которого подаются сигналы с десятков датчиков, а выходы управляют внешними исполнительными устройствами, такими, как соленоиды, двигатели, контакторы? Или от электронной системы управления самолета?

Почему необходимо выработать новые подходы? Какие именно? Чем старые подходы не устраивают авторов и чем принципиально должны отличаться «новые подходы»? К сожалению, авторы не посчитали нужным хоть как-то обосновать свои взгляды, ограничившись лишь чисто декларативными заявлениями, за которыми, по существу, ничего нет.

*«Сама по себе система РЗА не обладает собственной эффективностью, так как не производит реальный материальный продукт, она эффективна только применительно к конкретному объекту, который она обслуживает. Иными словами, устройства РЗА в энергосистеме выполняют сервисные функции и эффективны лишь постольку, поскольку влияют на эффективность работы первичного оборудования. Таким образом, термин «эффективность» применительно к РЗА имеет особый смысл и может быть определен как свойство системы РЗА снижать отрицательный эффект от поврежденных в энергосистеме.»*

О каком таком «особом смысле» идет речь применительно к РЗА? Разве в технике одна лишь релейная защита выполняет сервисные функции? Разве автобус, перевозящий пассажиров, «производит реальный материальный продукт», а не выполняет сервисные функции? Разве любая система автоматического управления чем угодно не выполняет сервисные функции?

В действительности, выполнение сервисных функций — одно из самых распространенных применений техники! Но о чем же тогда идет речь в статье?!

*«Эффективность РЗА зависит от свойств защищаемого объекта, т.е. от его аварийности и аварийности окружающей его части электрической системы.»*

Оказывается, эффективность РЗА зависит от чего угодно, но только не от свойств самой РЗА (т. е. от ее надежности, стоимости, ремонтпригодности и т.д.)! Странные утверждения такого рода отнюдь не способствуют пониманию существа рассматриваемого вопроса.

*«Уровень технологии определяет исполнение устройством встроенных в него алгоритмов. Это касается и каждой отдельной функции, и полной функциональной структуры и относится как к аппаратному обеспечению (АО), так и к программному обеспечению (ПО) устройства.»*

Нам представляется, что это весьма странное определение, никак не характеризующее собственно уровень технологии. Например, телевизор КВН выпуска 1949 г. полностью выполнял абсолютно все заложенные в него функции. Следовательно, согласно определению его уровень техно-

гии более высокий, чем у современного компьютера с отсутствующей видеокарты (функция заложена, но осталась не реализованной).

*«Многофункциональная структура МП РЗА является их существенным преимуществом. Однако, если ее неправильно использовать, она может создать много проблем.»*

Является ли многофункциональность МП РЗА преимуществом, это еще большой вопрос. Ведь при отказе копеечного элемента в общем для всех функций узле (источник питания, память, микропроцессор и т.п.) произойдет полный отказ всех функций релейной защиты важного энергетического объекта. И что значит «неправильно использовать»? Кажется, гвозди ими еще никто не пытался забивать!

*«Проблемы возникнут и в случае, когда предлагаемые схемы недостаточно выверены.»*

Схемы чего? Внутренних электронных узлов МУРЗ? Схемы внешних присоединений? Схемы организации релейной защиты? А может быть логические схемы алгоритма работы? А кто должен «выверять предлагаемые схемы»? Производитель? Потребитель? И что является критерием «достаточности» или, наоборот, «недостаточности» такой «выверенности»? Если учесть, что абсолютно совершенных (читай абсолютно «выверенных») устройств не бывает и быть не может даже теоретически, тем более таких сложных, как МУРЗ, то процитированная выше фраза означает, что МУРЗ всегда будут источником проблем?

Утверждение о том, что «современные интеллектуальные устройства МП РЗА функционально самостоятельны» означает, что все их функции могут быть реализованы самостоятельно, т. е. вне всякой связи с другими устройствами. Следующее же за этим высказывание: «однако их возможности могут быть полностью реализованы только тогда, когда эти устройства становятся неотъемлемой частью АСУ ТП» напрочь отвергает предыдущее. Какое же из них верно?

*«Свойство надежности в принципе присуще отдельно взятому устройству РЗА и без его взаимодействия с защищаемым объектом...Показатели надежности устройств РЗА в общем случае различны при использовании одного и того же устройства на разных силовых объектах.»*

Но если «свойство надежности в принципе присуще отдельно взятому устройству РЗА и без его взаимодействия с защищаемым объектом», то как же это может быть, что «показатели надежности устройств РЗА в общем случае различны при использовании одного и того же устройства на разных силовых объектах». Если реле дистанционной защиты,

установленное на линии  $X$ , обладает само по себе надежностью  $A$ , рассчитанной для нормальных условий эксплуатации (температура, влажность, напряжение питания, напряжения и токи на входах и т.п.), то как оно может начать обладать надежностью  $B$ , если его переключить с линии  $X$  на линию  $Y$  в тех же самых нормальных условиях эксплуатации? На этот вопрос авторы не дают ответа.

*«Основной используемый в России статистический показатель, относящийся к надежности, — процент неправильных действий (либо дополняющее его до 100% количество правильных действий). Этот показатель используется при оценке результатов эксплуатации РЗА».*

Действительно, об этом показателе и об этой же методике оценки идет речь и в известной Инструкции [6], и в публикациях других авторов [7]. В частности, на основе показателя

$$K = \frac{N_{\text{пс}}}{N_{\text{пс}} + N_{\text{ис}} + N_{\text{лс}} + N_{\text{ос}}} \cdot 100\%,$$

где  $N_{\text{пс}}$  — число правильных срабатываний;  $N_{\text{ис}}$  — число излишних срабатываний;  $N_{\text{лс}}$  — число ложных срабатываний;  $N_{\text{ос}}$  — число отказов в срабатывании»

в [7] делаются выводы об очень высокой надежности МУРЗ. Там же читаем:

*«Ввод в эксплуатацию защит нового поколения позволяет повысить точность и чувствительность защит, улучшить условия согласования защит, ввести новые ступени защит, что в конечном итоге должно повысить надежность электроснабжения потребителей».*

Оказывается, надежность электроснабжения зависит от чего угодно, но только не от надежности релейной защиты! А ведь именно с этой самой надежностью-то дела как раз обстоят и не очень здорово. Как показано в [1, 2], надежность защит «нового поколения» оказывается ниже надежности электромеханических реле.

Другая статья, другие авторы, но тот же парадоксальный вывод: надежность релейной защиты не зависит от надежности самих реле защиты...

Возвращаясь к [4] читаем: *«Целесообразно в отечественной практике... перейти к оценке эксплуатационной надежности РЗА посредством этих показателей, отдельно выделив при этом ложные и излишние срабатывания, поскольку их последствия для энергосистемы могут существенно отличаться».*

Но, во-первых, согласно упомянутой выше Методике [7], они и так учтены. Во-вторых, не

понятно, почему для оценки надежности реле принято не количество его поломок, требующих ремонта, а количество **последствий** этих поломок, т. е. неправильных действий защиты в аварийных режимах. Это все равно, как если бы надежность автомобиля оценивалась не по количеству поломанных 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 любым автолюбителем. 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. 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 принятой в России 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») 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, т. е., по существу, оставляя без всякой защиты такие объекты электроэнергетики, как линии электропередачи, мощный трансформатор или генератор на электростанции. 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 1/4 – 1/5 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 повреждение 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, т. е. все время оставалось неисправным. Разве такое событие, выявленное при очередной проверке, не влияет на надежность защиты и его не нужно регистрировать?

Не все очевидно и с таким популярным во всех тендерах на МУРЗ показателем, как MTBF (Mean Time Between Failures) — средняя расчетная наработка на отказ. Как правило, для МУРЗ его значение указывается 50 – 70 лет и более. Например, для МУРЗ типа М-3430 (многофункциональная защита генератора) компании Beckwith Electric этот показатель равен 74 годам. Совершенно очевидно, что это значение не имеет ничего общего с реальностью. Но, даже если допустить (чисто теоретически, разумеется), что за весь срок службы этого реле произошел всего один его отказ, то и этот единственный отказ может привести к колоссальному ущербу из-за концентрации всех защитных функций в одном этом отказавшем модуле МУРЗ. Целесообразно ли пользоваться таким ничего не значащим показателем, основанным на теоретических расчетах производителя, и на никому не ведомых исходных данных, принятых в расчете?

По нашему мнению, при оценке надежности микропроцессорного реле защиты необходимо 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, т. е. 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:

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

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 показатель, 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.

#### Литература

1. Гуревич В. И. Надежность микропроцессорных устройств релейной защиты: мифы и реальность // Вести в электроэнергетике. 2008. № 4. С. 29 – 37.
2. Гуревич В. И. Еще раз о надежности микропроцессорных устройств релейной защиты // Вести в электроэнергетике. 2009. № 3. С. 33 – 39.
3. Гуревич В. И. Микропроцессорные реле защиты: альтернативный взгляд // Электро-инфо. 2006. № 4 (30). С. 40 – 46.
4. Нудельман Г. С., Шалин А. И. Микропроцессорные системы РЗА. Оценка эффективности и надежности // Новости электротехники. 2008. № 3 (51).
5. Чумаков Н. М., Серебряный Е. И. Оценка эффективности сложных технических систем. М.: Советское Радио, 1980.
6. РД 34.35.516–89 Инструкция по учету и оценке работы релейной защиты и автоматики электрической части энергосистем, 06.04.1989.
7. Коновалова Е, Сахаров С. Устройства РЗА в ЕНЭС. Основные результаты работы // Новости электротехники. № 4(52). 2008.