

Проблемы оценки надежности релейной защиты

ГУРЕВИЧ В.И.

Рассматриваются вопросы оценки надежности релейной защиты (РЗ). Показано, что существующая методика, как российская, так и зарубежная, не позволяют корректно оценивать надежность РЗ. Предложена новая методика оценки надежности РЗ.

Ключевые слова: релейная защита, надежность, микропроцессорные реле

Как известно, в 25–28% случаев причиной возникновения крупнейших системных аварий, имеющих место в мире, были отказы релейной защиты [1]. А если добавить к этому, что в 50–70% случаев перехода обычного аварийного режима в тяжелую системную аварию повинна также релейная защита, то становится очевидным первостепенная важность такого параметра, как надежность релейной защиты (РЗ) [1].

В соответствии с ГОСТ 27.002-89 «Надежность – свойство объекта *сохранять во времени* в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих *способность выполнять* требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования» [2]. Выделенные в этом определении слова подчеркивают, что надежность объекта заключается не только в «выполнении им требуемых функций», но и в свойстве «сохранять во времени способность выполнять требуемые функции». Совершенно очевидно, что «выполнение функций» и «способность выполнять функции» это не одно и то же. Поясним это на примере той же релейной защиты. Если оценивать надежность РЗ по «выполнению требуемых функций», то получится, что микропроцессорное устройство релейной защиты (МУРЗ), которое постоянно выходит из строя и требует частой замены внутренних блоков, но при этом ни разу не привело к ложному срабатыванию (или несрабатыванию) выключателя, которым оно управляет, является абсолютно надежным. С другой стороны, если оценивать надежность того же МУРЗ по «способности выполнять функции», как того требует стандарт, то окажется, что МУРЗ в нашем примере крайне ненадежное устройство, поскольку оно много раз и в течение достаточно длительного времени *было не способно выполнять требуемые функции* из-за внутренних повреждений.

Как же в действительности оценивается надежность РЗ на практике? В западных странах надеж-

Matters of estimating the reliability of relay protection are considered. It is shown that the existing procedures used both in Russia and abroad do not allow the reliability of relay protection to be estimated in a correct way. A new procedure for estimating the reliability of relay protection is proposed.

Key words: relay protection, reliability, microprocessor relays

ность РЗ принято оценивать по трем показателям [3]:

надёжность срабатывания (Dependability) D :

$$D = \frac{N_C}{N_C + N_F};$$

надёжность несрабатывания (Security) S :

$$S = \frac{N_C}{N_C + N_U};$$

общая надёжность (Reliability) R :

$$R = \frac{N_C}{N_C + N_F + N_U},$$

где N_C – число правильных срабатываний защиты; N_F – число отказов в срабатывании; N_U – число излишних (ложных) срабатываний.

Как видно из приведенных выше формул, они недостаточно корректно отражают показатель надежности РЗ, поскольку не учитывают повреждения РЗ, не приведшие к ее неправильным действиям.

В России, как оказалось, учет надежности РЗ вообще не предусмотрен. Вместо этого в [4] указано, что «основным показателем работы устройств РЗА принимается процент их правильной работы, получаемый по формуле

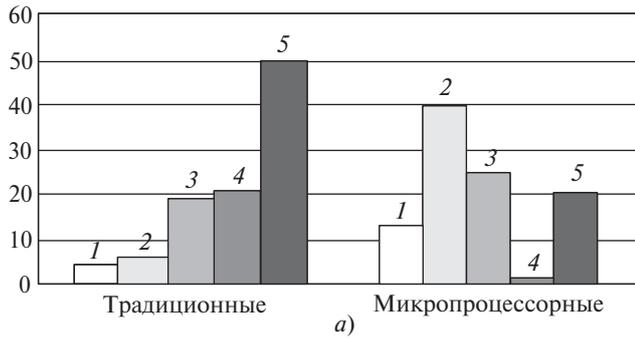
$$K = \frac{N_{PS}}{N_{PS} + N_{IS} + N_{LS} + N_{OS}} \cdot 100\%,$$

где N_{PS} – число правильных срабатываний; N_{IS} – число излишних срабатываний; N_{LS} – число ложных срабатываний; N_{OS} – число отказов срабатываний».

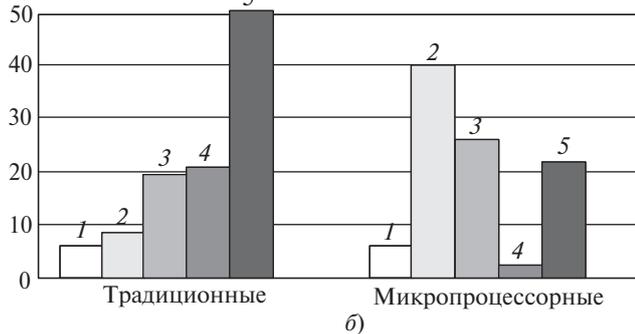
При сравнении этих двух методик видно, что они совершенно идентичны вне зависимости от названия применяемого показателя оценки РЗ и не способны корректно учитывать надежность РЗ.

Еще одной проблемой является то, что такой метод оценки РЗ оперирует абсолютными, а не

Отказы за 1999–2003, %



Отказы в год, %



Диаграммы отказов дистанционной защиты линий 132–420 кВ: а – данные [5]; б – [6]: 1 – отказы из-за ошибок при тестировании и эксплуатации; 2 – отказы из-за ошибок в уставках и настройках; 3 – конструктивные недостатки; 4 – технические проблемы; 5 – отказы по неустановленным причинам

нормализованными показателями. К чему это приводит, можно судить из следующего примера. На рисунке приведены диаграммы с анализом причин повреждаемости реле защиты. На каждом из рисунков помещены две диаграммы: одна для электромеханических реле защиты (ЭМ), другая для МУРЗ. Какой вывод можно сделать из рассмотрения этих диаграмм? В [6], например, делается такой вывод: «... частота отказов микропроцессорной дистанционной защиты сопоставима с частотой отказов традиционной защиты, хотя соотношение причин отказов различно». Иными словами, если перейти от частоты отказов к надежности, то можно говорить о том, что надежность ЭМ и МУРЗ сопоставимы. Значит ли это, что с переходом от ЭМ к МУРЗ никакого снижения надежности РЗ, как об этом утверждается в [7–9], не произошло? Можно ли делать такой вывод на основании сравнения левой и правой диаграмм на рисунке? Конечно же, нет! Ведь при составлении этих диаграмм никак не учитывалось число установленных реле, для которых приведены численные значения по отказам, поэтому и сравнивать между собой левые и правые диаграммы нельзя. Это типичная ошибка учета абсолютных, а не нормализованных (т.е. отнесенных к числу рассматриваемых объектов) значений.

Есть и обратные примеры. Приведем данные, опубликованные зам. начальника службы релейной защиты Центрального диспетчерского управления ЕЭС России А.Н. Владимировым [10]:

«За 2000–2009 годы по ЛЭП и оборудованию напряжением 110–750 кВ зафиксировано 2913 случаев работы цифровых устройств релейной защиты. Из них правильно в 89,5% случаев, неправильно в 10,6% случаев. За этот же интервал времени электромеханические устройства релейной защиты работали 17529 раз. Из них правильно в 93,53%, неправильно в 6,48%. Микроэлектронные устройства релейной защиты работали 5685 раз. Из них правильно в 92,91% случаев и в 7,07% случаев неправильно».

В этом примере приведены нормализованные данные по отказам (т.е. число отказов каждого вида реле представлено в процентах общего числа срабатываний каждого вида реле). При этом уже простое деление 10,6 на 6,48 позволяет получить реальную картину. Оказывается, что даже при существующей, не учитывающей всех факторов оценке надежности РЗ, получается, что МУРЗ на 60% менее надежны, чем ЭМ.

Вернемся к рисунку. Совершенно очевидно, что корректный анализ диаграмм возможен только в части процентного соотношения причин, вызвавших отказы того или иного вида реле, но не в сравнении между собой абсолютных показателей надежности ЭМ и МУРЗ. Важный вывод, который можно сделать из анализа этих диаграмм, заключается в резком возрастании процента отказов РЗ, связанных с так называемым «человеческим фактором» при переходе с ЭМ на МУРЗ:

процент отказов, связанных с ошибками в уставках и настройках реле, возрос почти в 6 раз; при испытаниях и при эксплуатации РЗ, – в 4 раза.

Вывод о существенном влиянии «человеческого фактора» на состояние РЗ подтверждается также и данными российских специалистов, согласно которым уже сегодня «человеческий фактор» присутствует в 52,8% случаев неправильных действий РЗ [11]. По данным [5] в западных странах этот процент еще более высок и доходит до 78%, т.е. фактически этот фактор является основной причиной проблем с РЗ.

Почему переход от ЭМ к МУРЗ сопровождается резким увеличением влияния «человеческого фактора»? Ответ на это вопрос дает, как нам представляется, следующая цитата [12]:

«В терминале Siprotec 7SJ642 (Siemens) заложена неоправданная техническая и информационная избыточность. В руководстве по эксплуатации (C53000G1140C1476, 2005 г.) отмечается «простота работы с устройством с помощью интегрированной

панели управления или посредством подключения ПК с системной программой DIGSI», что не соответствует действительности. Например, требуется ввести около 500 параметров (уставок), не считая внесения неизбежных изменений в матрицу сигналов, а у каждого из сигналов есть «свойства», влияющие на работу устройства (распечатанная из DIGSI матрица сигналов занимает около 100 страниц англоязычного текста). Учитывая необходимость составления заданий на наладку и протоколов проверки терминалов, где должны указываться все параметры настройки, объем документации становится неподъемным. Большой объем вводимой информации усложняет настройку. Информационная избыточность повышает вероятность ошибок, связанных с человеческим фактором. Техническая избыточность требует для работы с терминалом специалистов высокой квалификации. Документация фирмы по рассматриваемым терминалам – это тысячи страниц, но при этом зачастую нет нужной информации, встречаются ошибки».

Комментарии, как говорится, излишни. Следует лишь отметить, что упомянутое изделие фирмы Siemens приведено лишь в качестве примера и не является чем-то из ряда вон выходящим. Такую же оценку можно дать и большинству изделий других производителей. К сожалению, сегодня это стало общей тенденцией.

В связи с изложенным возникает вполне закономерный вопрос: как же можно оценивать уровень технической эффективности, надежности, «процента правильной работы» (можно назвать это как угодно) современной РЗ без учета влияния «человеческого фактора»? Ведь для такой оценки РЗ не имеет никакого значения причина, по которой произошел отказ (неправильное действие) защиты. Неправильные уставки, ошибочная логика работы, программное отключение отдельных функций во время испытаний и невозврат их после окончания испытаний – все это и многое другое, что подпадает под определение «человеческий фактор», приводит к точно таким же неправильным действиям релейной защиты, как и внутренние неисправности в электронных цепях. Более того, точно так же, как один тип реле отличается от другого элементной базой и схемотехническими решениями, что обуславливает и их разную надежность, различные типы МУРЗ отличаются также и программным интерфейсом. У одних типов МУРЗ он простой и понятный, у других чрезвычайно «навороченный» и «недружественный». Совершенно очевидно, что в последнем случае вероятность неправильных действий РЗ будет выше из-за значительного увеличения влияния «человеческого фактора».

Таким образом, существующая методика оценки РЗ не отражает объективной картины и нужда-

ется в серьезной корректировке. По нашему мнению, при оценке надежности РЗ 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 (M_S);

2) неправильные действия релейной защиты, т.е. излишние срабатывания при отсутствии аварийного режима или несрабатывания при аварийном режиме (M_D), не связанные с ошибками персонала;

3) ошибки персонала, связанные с эксплуатацией, тестированием и программированием реле, влияющие на правильность действия релейной защиты, выявленные до наступления неправильного действия защиты (M_P) или после него.

Все эти составляющие должны войти, по нашему мнению, в обобщенный нормализованный показатель отказов релейной защиты:

$$M_{\Sigma} = \left(\frac{M_S + M_{D_i} + M_{P_i}}{N_i} \right) 100\%,$$

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

Совершенно очевидно, что при использовании предлагаемой методики надежность МУРЗ существенно ниже надежности ЭМ. Из этого не следует, конечно, что нужно затормозить переход от ЭМ к МУРЗ. Однако из этого следует, что имеется достаточно серьезная проблема, требующая своего решения. Некоторые пути решения этой проблемы уже предложены [13–17]. Вкратце их можно сформулировать следующим образом:

запрет на использования в МУРЗ функций, не свойственных релейной защите, например таких, как мониторинг электрооборудования;

существенное ограничение числа функций в одном микропроцессорном терминале; оптимизация числа таких функций по критерию не только стоимости РЗ, но и ее надежности;

отказ от использования алгоритмов с недетерминированной логикой, допускающих непредсказуемые действия релейной защиты;

максимальное упрощение программного интерфейса на основе некоей универсальной для всех МУРЗ программной платформы;

выпуск ведущими производителями компьютеризированного испытательного оборудования МУРЗ набора программ, полностью совместимых с универсальной программной платформой МУРЗ и позволяющих полностью автоматизировать процесс испытания МУРЗ, существенно снизив влияние «человеческого фактора»;

новые принципы конструирования МУРЗ, базирующиеся на универсальных взаимозаменяемых функциональных модулях, по типу персональных компьютеров; создание рынка универсальных функциональных модулей МУРЗ;

проведение специальных исследований и разработок, обеспечивающих функционирование релейной защиты в условиях преднамеренных деструктивных электромагнитных воздействий, например за счет повышения устойчивости МУРЗ к таким воздействиям, а также за счет введения резервного комплекта РЗ при чрезвычайных ситуациях, на роль которого подходят лишь электромеханические реле.

Еще одной фундаментальной ошибкой применяемой сегодня методики является, по нашему мнению, выбор в качестве критерия оценки надежности релейной защиты параметра, называемого «наработкой на отказ» (MTBF). Этот параметр предполагает многократные отказы оборудования с последующим его восстановлением (ремонт) и фактически равен частному от деления суммарной наработки на отказ на суммарное число отказов за весь период эксплуатации. Этот показатель можно использовать во многих случаях, когда отказы оборудования не могут привести к каким-то катастрофическим последствиям (типа системных аварий в электроэнергетике) или к особо значительным убыткам. В случае же с релейной защитой существует опасность того, что даже единичный отказ многофункционального микропроцессорного терминала может привести к очень большим убыткам и даже к техногенным катастрофам. В этом случае, по нашему мнению, вместо показателя «наработка на отказ» должен использоваться показатель «наработка до отказа» (наработка до первого отказа), который больше подходит в качестве показателя надежности для релейной защиты в частности и для многофункциональных МУРЗ особенно. Если быть более точным, то это должен быть показатель, называемый «гамма-процентной наработкой до отказа», представляющий собой наработку, в течение которой отказ объекта не возникает с вероятностью, выраженной в процентах (например 95%). Некоторые авторы ранее уже приходили к выводу о том, что MTBF является наилучшим показателем для оценки надежности отдельных видов техники, и предлагали использовать для такой оценки гамма-процентную наработку до отказа. Очевидно, пришло время ввести в обращение этот показатель и для оценки надежности МУРЗ.

В заключение хотелось бы отметить недопустимость использования в такой чувствительной и важной области, как микропроцессорная релейная защита, доморощенных упрощенных и удешевленных методов испытания на надежность, которые стали модными в последнее время и применяются

некоторыми производителями МУРЗ (например, см. [18]) с целью снижения собственных затрат.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Саратова Н.Е.** Анализ подходов к исследованию процессов протекания системных аварий. Системные исследования в энергетике. — Материалы конф. молодых ученых. — Иркутск: ИСЭМ, 2007.
2. **ГОСТ 27.002-89.** Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. — М.: Изд-во стандартов, 1989.
3. **Moxley R.** Analyze Relay Fault Data to Improve Service Reliability: <http://www.selinc.com>
4. **РД 34.35.516-89.** Инструкция по учету и оценке работы релейной защиты и автоматики электрической части энергосистем. — М.: Союзтехэнерго, 1990.
5. **Kjolle G.H., Heggset J., Hjartsjo B.T., Engen H.** Protection System Faults 1999–2003 and the Influence on the Reliability of Supply. — 2005 IEEE St. Petersburg Power Tech., St. Petersburg (Russia), 27–30 June 2005.
6. **Воропай Н.И., Саратова Н.Е.** Анализ статистики отказов РЗА на микропроцессорной базе с точки зрения их учета при моделировании каскадных аварий. — Доклады 3-й Международ. научно-техн. конф. «Энергосистема: управление, конкуренция, образование», Екатеринбург, 13–16 ноября 2008.
7. **Гуревич В.** Надежность микропроцессорных устройств релейной защиты: мифы и реальность. — Проблемы энергетики, 2008, № 5–6.
8. **Гуревич В.И.** Еще раз о надежности микропроцессорных устройств релейной защиты. — Электротехнический рынок, 2009, № 3 (29).
9. **Проблемы микропроцессорных устройств релейной защиты: мнения специалистов, нерешенные проблемы, публикации в прессе:** <http://digital-relay-problems.tripod.com/>
10. **Интернет-форум «Советы бывалого релейщика»:** <http://rza.communityhost.ru/>
11. **Коновалова Е.В.** Основные результаты эксплуатации устройств РЗА энергосистем Российской Федерации. — Сб. докладов XV научно-техн. конф. «Релейная защита и автоматика энергосистем», Москва, 2002.
12. **Беляев А.В., Широков В.В., Емельянец А.Ю.** Цифровые терминалы РЗА. Опыт адаптации к российским условиям. — Новости электротехники, 2009, № 5.
13. **Гуревич В.И.** Проблемы микропроцессорных реле защиты: кто виноват и что делать? — Электроника-инфо, 2009, № 9.
14. **Гуревич В.И.** Новая концепция построения микропроцессорных устройств релейной защиты. — Компоненты и технологии, 2010, № 5.
15. **Гуревич В.И.** Испытания микропроцессорных устройств релейной защиты. — Электро: Электротехника. Электроэнергетика. Электротехническая промышленность, 2009, № 1.
16. **Гуревич В.И.** Актуальные проблемы релейной защиты: альтернативный взгляд. — Вести в электроэнергетике, 2010, № 3.
17. **Гуревич В.И.** Энергобезопасна ли релейная защита? — Энергобезопасность и Энергосбережение, 2010, № 2.
18. **Гуревич В.И.** Как не нужно оценивать надежность микропроцессорных устройств релейной защиты. — Вести в электроэнергетике, 2010, № 5.

[30.07.10]

Автор: Гуревич Владимир Игоревич окончил Харьковский институт механизации и электрификации с.х. по специальности «Электроснабжение с.х.» в 1978 г. В 1986 г. защитил кандидатскую диссертацию «Квазистатическая коммутирующая и регулирующая аппаратура с высокопотенциальной развязкой» в Харьковском политехническом институте. С 1994 г. постоянно проживает в Израиле. Зам. руководителя группы релейной защиты Центральной лаборатории Электрической компании Израиля.