

ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

В. И. Гуревич, к.т.н., Центральная лаборатория электрической компании Израиля

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

Что такое надежность? 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].

Мы специально выделили в этом определении слова, подчеркивающие, 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» – не одно и то же. Поясним такой случай на примере той же РЗ.

Если оценивать ее надежность 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 требуемые функции», как того требует стандарт, то окажется, что оно в нашем примере крайне ненадежное устройство, поскольку МУРЗ многократно 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?

На Западе ее принято оценивать по трем показателям [3]:

надежность срабатывания (Dependability) D:

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

надежность несрабатывания (Security) S:

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

общая надежность (Reliability) R:

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

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

Как видно из приведенных выше формул, они недостаточно корректно отражают показатель надежности РЗ, поскольку

не учитывают ее повреждения, которые не привели к неправильным действиям.

В России, как оказалось, учет надежности РЗ вообще не предусмотрен. Вместо этого в руководящем документе РД 34.35.516-89 [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.

Как можно видеть из сравнения методик, они совершенно идентичны вне зависимости от названия применяемого показателя оценки РЗ и не способны корректно учитывать ее надежность.

Еще одной проблемой является то, что такой метод оценки РЗ оперирует абсолютными, а не нормализованными показателями. К чему это приводит, можно уяснить из следующего примера. На рис. 1 приведены диаграммы с анализом причин повреждаемости реле защиты: одна – для электромеханических реле защиты (ЭМ), другая – для МУРЗ. Какой вывод напрашивается после их рассмотрения?

В [6], например, делается такой вывод: «Как видно из диаграммы, 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 (рис. 1)? Конечно же, нет! Ведь при их составлении не учитывалось количественное установление 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 (то

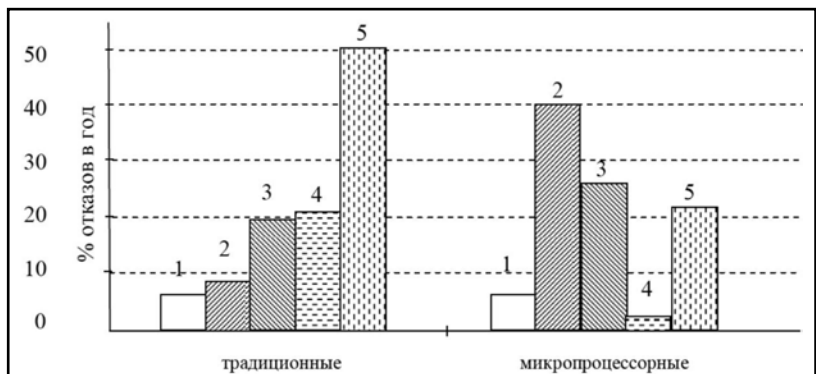


Рис. 1. Диаграммы отказов дистанционной защиты линий 132-420 кВ из [5], и из [6]: 1) отказы из-за ошибок при тестировании и эксплуатации; 2) отказы из-за ошибок в уставках и настройках; 3) конструктивные недостатки; 4) технические проблемы; 5) отказы по неустановленным причинам

есть отнесенных к количеству рассматриваемых объектов) значений.

Есть и обратные примеры. Приведем цитату с данными, опубликованными заместителем начальника службы релейной защиты Центрального диспетчерского управления ЕЭС России А. Н. Владимировым на известном форуме по релейной защите [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 электро-механические устройства релейной защиты работали 17 529 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 неправильно в 7,07% случаев.

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

Вернемся к рис.1. В связи с вышеизложенным 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 их анализа, 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, увеличился почти в 6 раз;

процент отказов, связанных с ошибками при испытаниях и при эксплуатации РЗ, вырос в 4 раза.

Вывод о существенном влиянии человеческого фактора на состояние РЗ подтверждается также и данными российских специалистов, согласно которым уже сегодня он стал причиной неправильных действий РЗ в 52,8% случаев [11]. По данным [5], на Западе этот показатель еще более высок и доходит до 78%, то есть фактически этот фактор является основной причиной проблем с РЗ.

Почему переход от ЭМ к МУРЗ сопровождается резким увеличением веса человеческого фактора? Красноречивый 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 вводить 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 прото-

колов 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 выше 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 вышеизложенным возникает вполне правомерный вопрос: как же можно оценивать уровни технической эффективности и надежности, процент 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 из них он простой и понятный, у других очень сложный и «недружественный». Совершенно очевидно, что в последнем случае вероятность неправильных действий РЗ будет выше из-за значительного увеличения веса человеческого фактора.

Таким образом, как было показано выше, существующая методика оценки РЗ не отражает объективной картины и нуждается 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 (MS);

2) неправильные действия РЗ, то есть излишние срабатывания при отсутствии аварийного режима или несрабатывания при аварийном режиме (MD), не связанные с ошибками персонала;

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

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

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



где M_{St} , M_{Dt} , M_{Pi} – 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.

Совершенно очевидно, что при использовании предлагаемой методики мы увидим, что 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 [13-15].

Литература:

1. Саратова, Н. Е. Анализ подходов к исследованию процессов протекания системных аварий. Системные исследования в энергетике. Материалы конф. молодых ученых. Иркутск: ИСЭМ, 2007. – С. 31-39.
2. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения.
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, June 27-30, 2005.
6. Воропай, Н. И., Саратова, Н. Е. Анализ статистики отказов РЗА на микропроцессорной базе с точки зрения их учета при моделировании каскадных аварий. – До-

клады 3-й Международной науч.-техн. конф. «Энергосистема: управление, конкуренция, образование». Екатеринбург, 13-16 нояб. 2008 г.

7. Гуревич, В. Надежность микропроцессорных устройств релейной защиты: мифы и реальность. – Проблемы энергетики. – 2008. – №5-6. – С. 47-62.

8. Гуревич, В. И. Еще раз о надежности микропроцессорных устройств релейной защиты. – Электротехнический рынок. – 2009. – №3. – С. 40-45.

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. – Сборник докладов XV науч.-техн. конф. «Релейная защита и автоматика энергосистем». – Москва. – 2002.

12. Беляев, А., Широков, В., Емельянцева, А. 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. – С. 17-23.

14. Гуревич, В. И. Новая концепция построения микропроцессорных устройств релейной защиты. – Компоненты и технологии. – 2010. – №5. – С. 12-15.

15. Гуревич, В. И. Испытания микропроцессорных устройств релейной защиты. – ЭЛЕКТРО: Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. – 2009. – №1. – С. 31-33.

