

Применение современных технологий при эксплуатации РЗА для повышения надежности их функционирования

Мировые тенденции к повышению надежности в высоковольтных электрических сетях вместе с повышением операционной эффективности при их эксплуатации привели к росту числа исследований и созданию новых технологий и направлений для цифровой подстанции. Существенное влияние на надежность в электрических сетях оказывает система релейной защиты и автоматики, основной функцией которой является снижение ущерба при авариях.

Гвоздев Д.Б.,
к.т.н., доцент,
Первый заместитель
генерального
директора — Главный
инженер компании
«Россети Московский
регион»

Грибков М.А.,
директор Департамента
релейной защиты
и режимной автоматики
электрических сетей
компании «Россети
Московский регион»

Романов Ю.В.,
к.т.н., ведущий эксперт
ООО «РТСофт-СГ»

Рыбаков А.К.,
начальник отдела
алгоритмического
обеспечения
ООО «РТСофт-СГ»

Ненадежные устройства релейной защиты сами становятся источниками возникновения или развития аварии. Поэтому главным свойством любого РЗА всегда является надежность их функционирования. Анализ [1, 2] показывает, что возможностями повышения надежности РЗА, которые уже находятся в эксплуатации, являются:

- 1) контроль исправности модулей с использованием диагностических средств (как внешних, так и встроенных);
- 2) минимум вмешательства обслуживающего персонала в работу РЗА (минимизация «человеческого фактора»);
- 3) определение оптимального периода и объема технического обслуживания, приоритизация работ и выбор момента проведения обслуживания.

Интеллектуальные микропроцессорные устройства РЗА являются более технически совершенными и более сложными в сравнении с электромеханическими и микроэлектронными. Это обусловлено усложнением не только аппаратной части (новые компоненты, технологии изготовления), но и наличием внутреннего программного обеспечения, которое управляет работой самого устройства и при этом может собирать диагностическую информацию о его состоянии (самодиагностика). При этом следует учитывать, что сложность всегда растет быстрее, чем надежность. Таким образом, как показывает опыт и исследования [3–6], повышение надежности функционирования МП

РЗА зависит, в первую очередь, от правильной и качественной эксплуатации устройств с использованием оптимальной стратегии технического обслуживания.

Очевидным решением в повышении качества эксплуатации и наблюдаемости за МП РЗА с минимизацией ручных и лишних операций является использование цифровых технологий и внедрение систем автоматизации процессов непрерывного ситуативного мониторинга и анализа правильности функционирования РЗА, чтобы своевременно выявлять неисправности и ошибки в работе. Это, с одной стороны, позволяет снизить риски и предотвратить ущербы от неправильных срабатываний (недоотпуск электроэнергии, нарушение технологического процесса, повреждение основного оборудования), а с другой — оптимизировать операционные затраты компаний за счет перехода к эксплуатации энергообъектов без постоянного присутствия персонала и осуществить переход от планового технического обслуживания к обслуживанию РЗА по фактическому состоянию (сокращая объемы и время выполнения работ при ТО и увеличивая интервалы без выезда персонала на объект). В Приказе Минэнерго России от 13.07.2020 № 555 [7] возможность обслуживания РЗА по состоянию и необходимость использования автоматизированного мониторинга РЗА уже сегодня прописана в явном виде.

ПРЕДПОСЫЛКИ

В ходе строительства новых объектов электроэнергетики и модернизации существующих с заменой устаревших типовых электромеханических и микроэлектронных защит увеличивается парк используемых МП РЗА разных производителей, моделей и версий.

По данным аналитического агентства Transparency Market Research на глобальном рынке высокотехнологичных микропроцессорных РЗА наблюдались продажи ~11 млн единиц в 2018 году, которые по прогнозам увеличатся к 2027 году до ~23 млн единиц, составляя рост в среднем на ~9% в течение прогнозируемого периода [8]. К примеру, за последние 15 лет количество устройств МП РЗА на объектах ЕНЭС в России разных типов, версий и производителей увеличилось на 18% в общем числе устройств.

Поскольку каждый производитель РЗА придерживается своего вектора развития программной и аппаратной платформы, усложняя конструкцию, расширяя набор функций и совершенствуя алгоритмы работы, то, соответственно, возрастает сложность в их использовании. Из-за этого возрастают требования к квалификации специалистов и требования к эксплуатации самих МП РЗА. Увеличивается нагрузка на персонал служб по контролю, анализу работы и обслуживанию РЗА — «человеческий фактор». Все это в итоге влияет на надежность работы самой системы релейной защиты, следовательно, всего первичного оборудования и энергосистемы в целом.

Увеличение штатной численности персонала не может быть решением в данной проблеме, поэтому требуется использование новых подходов, инструментов и современных технологий в автоматизации рабочих процессов служб РЗА, которые позволят оптимизировать их работу. Это является залогом сохранения и повышения надежности в энергосистеме и вместе с этим позволит без ущерба снижать операционные затраты. Исходя из этого, можно сделать вывод о том, что актуальным направлением становится исследование и разработка таких систем автоматизированного мониторинга и анализа РЗА.

ОБЗОР РЕШЕНИЙ

Большая часть работ по исследованиям надежности РЗА и поиску оптимальных решений ее повышения носят теоретический или экспериментальный характер. За последние двадцать лет активного внедрения МП РЗА, несмотря на их техническое совершенствование, контроль исправности продолжает осуществляться визуальной оценкой по месту: при обходах, в ходе разбора аварийного нарушения или при проведении планового технического обслуживания. При наличии АСУТП используются минимальные возможности: сбор обобщенных сигналов аварийной и предупредительной сигнализации РЗА, автоматическое скачивание файлов осциллограмм. Решения по автоматизации контроля исправности и анализа работы РЗА, которые встречаются при обзоре рынка, обладают функционалом, который решает частные проблемы. Однако весь этот опыт и решения позволили развивать и совершенствовать технологию.

Наиболее интересным является практический опыт испанской энергетической компании IBERDROLA SA, являющейся производителем и поставщиком электроэнергии, которая в 2012 году разработала и внедрила систему «SINAL» [9] для фиксации, обработки и анализа аварийных событий в электрических распределительных сетях 45 кВ и выше с формированием оперативного отчета по событию. В результате использования системы для выявления ошибок работы РЗА за шесть лет удалось сократить число отключений трансформаторов из-за неправильной работы РЗА на 43%.

Большим шагом в этом направлении стала методическая работа, которую провело ПАО «Россети» и в 2018 году выпустило стандарт организации СТО 34.01-4.1-007-2018 «Технические требования к автоматизированному мониторингу устройств РЗА, в том числе работающих по стандарту МЭК 61850» [10]. В нем определяется автоматизированный мониторинг микропроцессорных устройств РЗА, являющийся неотъемлемой частью процессов технического обслуживания по состоянию устройств РЗА, и описаны основные функции и алгоритмы работы системы:

1. Удаленный непрерывный мониторинг исправности МП РЗА по:
 - сигналам аппаратной и программной внутренней самодиагностики;

- сигналам перезагрузок и отключения питания оперативных цепей;
 - аналоговым сигналам цепей измерения тока и напряжения;
 - сигналам нарушения информационного обмена;
 - сигналам неисправности каналов связи для защит и каналобразующей аппаратуры;
 - контролю изменений в активной конфигурации и параметрах настройки РЗА с выявлением несоответствий задания на конфигурирование;
 - контролю изменений положения переключающих устройств в шкафу РЗА с выявлением несоответствий задания оперативного положения.
2. Анализ функционирования защит:
- сбор и обработка данных по аварийным событиям;
 - локализация места и вида повреждения оборудования с программным определением расстояния до места повреждения на ЛЭП;
 - оценка правильности пусков и срабатываний защит с использованием технологии «циф-ровых двойников» РЗА при моделировании аварийных режимов и анализом поведения защит.
3. Оперативное оповещение пользователей и формирование протоколов мониторинга и анализа функционирования РЗА.
- Уже в 2019 году в рамках научно-исследовательских работ ПАО «ФСК ЕЭС» были разработаны и внедрены на нескольких подстанциях 220 кВ автоматизированные системы мониторинга РЗА с указанным функционалом.

РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РЗА

В соответствии со стандартом ПАО «Россети» [5] комплексный показатель аппаратной надежности МП РЗА определяется в целом коэффициентом готовности устройства k_r (ГОСТ 27-301. Надежность в технике):

$$k_r = 1 / (1 + \underline{v}^{аб}), \quad (1)$$

который учитывает $\underline{v}^{аб}$ — среднегодовую длительность восстановления работы РЗА при выявлении неисправности.

Наиболее общим показателем надежности является уже коэффициент технического использования, характеризующий среднюю долю календарного времени, в течение которого устройство РЗА должно безотказно выполнять свои функции:

$$k_{т.и.} = (1 - \underline{v}^{пл}) \cdot k_r, \quad (2)$$

где $\underline{v}^{пл}$ — среднегодовая длительность планово-профилактических работ с устройством РЗА [2].

Таким образом в процессе эксплуатации надежность РЗА во многом будет зависеть от длительности работ по техническому обслуживанию и от времени восстановления работы РЗА после неисправности. Надо учесть, что в длительность вос-

становления РЗА входит и время на обнаружение или выявление самой неисправности и определение мер по устранению.

С другой стороны, в соответствии с Приказом Минэнерго России от 08.02.2019 № 80 [11] оценка эксплуатационной надежности РЗА численно определяется R — показателем общей надежности устройств РЗА, который зависит только от числа правильных и неправильных срабатываний защиты. И этот показатель является уже фактом, величину которого нельзя оперативно определить и на нее повлиять.

Таким образом наблюдается две проблемы в надежности РЗА, которые требуют практического решения:

- повысить ее за счет сокращения длительности восстановления работы РЗА и планово-профилактических работ;
- объективно и своевременно ее оценивать.

Для этих целей предложено использовать технологию и систему автоматизированного мониторинга и анализа функционирования РЗА, которая обладает всеми необходимыми входными данными.

Первая проблема решается переходом на техническое обслуживание по состоянию с сокращением объемов проверок и, следовательно, временем вывода РЗА. Также непрерывный автоматический мониторинг исправности РЗА позволит своевременно обнаружить неисправность, скрытый дефект или ошибку работы, что в общем сократит время на обнаружение проблемы для начала восстановления работы защиты.

Для решения второй проблемы в рамках НИОКР в ПАО «Россети Московский регион» был впервые разработан алгоритм расчета индекса готовности для каждого устройства РЗА на основе результатов мониторинга и анализа функционирования. Индекс обобщает все факторы, влияющие на надежность МП РЗА, для оперативной оценки (рисунок 1).

В расчете индексе учитывается около 29 параметров, которые разделены по группам:

- 1) срок службы и текущая наработка;
- 2) действующие собственные неисправности;
- 3) история собственных закрытых неисправностей;
- 4) неисправности серии устройств;
- 5) факты неправильной работы, причины которых не устранены.

Каждый параметр в группе имеет свой весовой коэффициент влияния на индекс. Коэффициенты могут корректироваться в процессе использования.

Использование индекса позволяет компании оптимизировать и приоритизировать работы по техническому обслуживанию, ремонту и замене

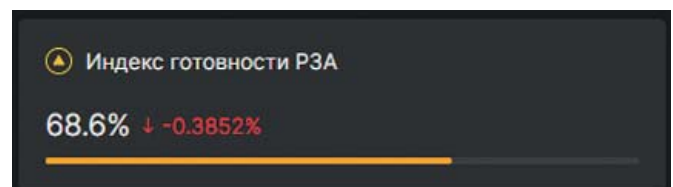


Рис. 1. Пример оперативного отображения оценки РЗА в системе мониторинга и анализа функционирования

устройств. Апробация алгоритмов расчета индекса на пилотных подстанциях позволит скорректировать методическую базу ПАО «Россети» при изменении стратегии технического обслуживания РЗА.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как показывает проведенный обзор, за последние несколько лет технология автоматизированного мониторинга РЗА становится все более востребованной. Развитие в этом направлении позволит повысить эффективность и надежность эксплуатации МП РЗА.

В дальнейшем промышленное внедрение и использование систем удаленного автоматизирован-

ного мониторинга устройств МП РЗА на объектах ПАО «Россети» и у других субъектов позволит повысить наблюдаемость за состоянием оборудования, осуществить переход на техническое обслуживание устройств РЗА по их фактическому состоянию, отказаться от ряда работ, что в итоге приведет к сокращению эксплуатационных затрат и позволит снизить нагрузку на персонал. Внедрение технологии автоматизированного мониторинга РЗА и использование методов объективной оценки состояния оборудования — это следующий необходимый шаг к цифровизации российской электроэнергетики и повышению ее надежности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шалин А.И. Надежность и диагностика релейной защиты. Новосибирск, : Изд-во НГТУ, 2002. 384 с.
2. Непомнящий В.А. Надежность оборудования энергосистем. М.: Издательство журнала «ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение», 2013. 196 с.
3. Александров В.Ф. Анализ эффективности систем технического обслуживания устройств РЗА и пути их совершенствования / Тезисы докладов всесоюзного совещания «Повышение надежности противоаварийного управления ОЭС». Рига: Изд-во РПИ, 1986. С. 14–16.
4. Смирнова Э.П. Влияние профилактического контроля на результирующую надежность релейной защиты // Электричество, 1968, № 4. С. 10–15.
5. СТО 34.01-4.1-008-2018. Микропроцессорные устройства релейной защиты и автоматики. Методические указания по расчету надежности. Стандарт организации ПАО «Россети». Дата введения: 28.04.2018. URL: <http://docs.cntd.ru/document/557649893>.
6. Under E.A. Protection System Maintenance Program Choices – TBM, CBM, and PBM. Quanta Technology, LLC, Pittsburgh. Western Protective Relay Conference – October 2014.
7. Приказ Министерства энергетики РФ от 13.07.2020 № 555 «Об утверждении Правил технического обслуживания устройств и комплексов релейной защиты и автоматики и внесении изменений в требования к обеспечению надежности электроэнергетических систем, надежности и безопасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок «Правила организации технического обслуживания и ремонта объектов электроэнергетики», утвержденные приказом Минэнерго России от 25 октября 2017 г. № 1013 (зарегистрировано в Минюсте России 23.10.2020 № 60538). URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202010230026>.
8. Отчет об исследовании рынка релейной защиты на сайте: URL: <https://www.transparencymarketresearch.com/protection-relays-market.html>.
9. Отчет о результатах внедрения системы SINAI на сайте, посвященном цифровой подстанции: http://digitalsubstation.com/wp-content/uploads/2017/10/09.-IEC-61850-Europe-2017-David-MacDonald_-lberdrola.pdf.