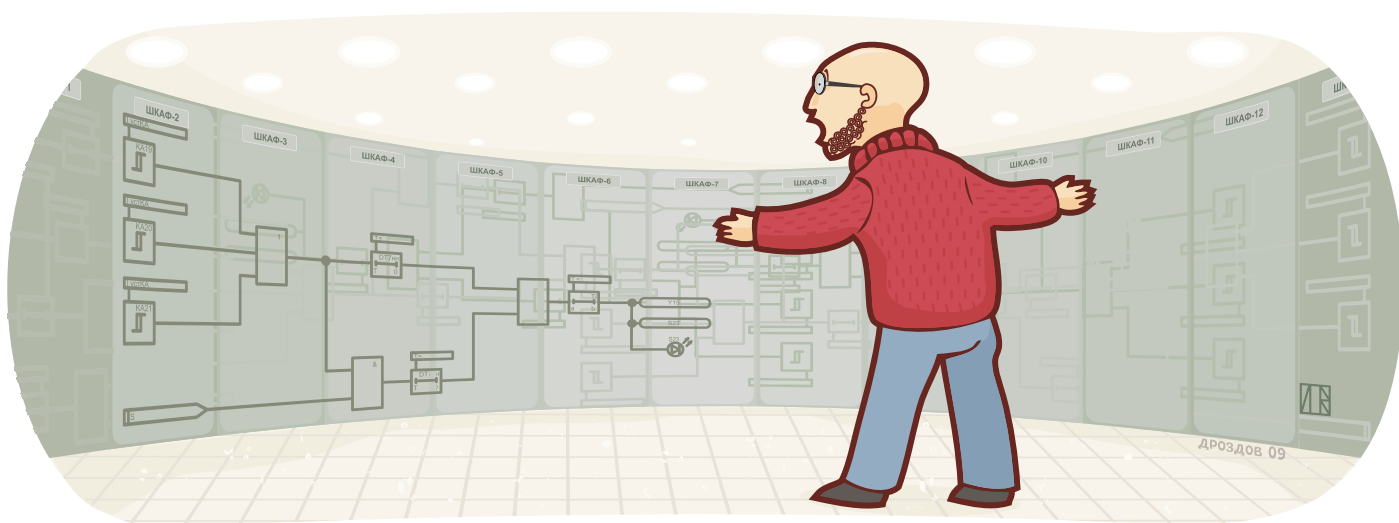


Проектирование и эксплуатация – ключевые вопросы современной релейной защиты

В данной статье вы найдете ответы на следующие вопросы:

- Каковы принципиальные особенности проверки цифровых устройств релейной защиты?
- Что представляет собой комплексная проверка устройств релейной защиты и автоматики и как ее выполнять?



Автор
Шнеерсон Э. М.

Уже штампом стало утверждение, что цифровые устройства релейной защиты и автоматики (ЦРЗА) имеют существенные преимущества перед предыдущими поколениями устройств (электромеханическими и микроэлектронными). И это действительно так, если рассматривать качество и возможности самих устройств – наряду с технологичностью они позволяют иметь при малых габаритах большое число различного рода защитных функций, а также программировать достаточно сложную логику защитных комплексов.

Однако статистика и практика показывают, что внедрение ЦРЗА **не повысило, а в ряде случаев даже снизило показатели правиль-**

ного действия релейной защиты и автоматики (РЗА) энергообъектов. Несмотря на высокую аппаратную надежность ЦРЗА, поток отказов возрос, и прежде всего вследствие ошибок, определяемых «человеческим фактором» – при проектировании и эксплуатации [1,4].

Находясь на новой или реконструируемой подстанции в окружении десятков шкафов с микропроцессорными терминалами, часто различных производителей, имеющих сотни программируемых параметров, генерирующих тысячи сообщений, содержащих сложные программируемые логическо-функциональные связи, понимаешь тяжесть положения часто немногочисленного эксплуатационного персонала, который

должен «освоить» в традиционном понимании всю эту технику. К этому следует добавить, что не всегда имеется достаточная и удобоваримая документация, в том числе и проектная, позволяющая понять и проследить взаимодействие многочисленных функций как внутри терминалов, так и во всем защитном комплексе объекта в целом.

В результате ошибки в проекте и при вводе в эксплуатацию частично выявляются в процессе последующего анализа действия и сообщений защит во время аварий, либо остаются невыявленными, потенциально являясь возможными источниками новых отказов РЗА.

Данная ситуация, обусловленная в том числе и организационными изменениями в энергетике, требует определенных изменений в подходе к проектированию и обслуживанию ЦРЗА, во многом определяющих надежное функционирование энергосистем.

Вопрос в части обслуживания сводится, по сути, к тому, какими средствами и мероприятиями обеспечить повышение показателей РЗА в существующей реальной ситуации, в том числе при имеющемся эксплуатационном персонале. Следует отметить, что нереальными и завышенными являются требования к эксплуатационному персоналу освоить «до нюансов» все особенности микропроцессорных терминалов различных назначений, версий и производителей. Как и в других областях применения сложной техники, для эксплуатационного персонала необходимо прежде всего знание всех требуемых от комплекса РЗА выходных функций, умение обеспечить его оперативное обслуживание и умение при наличии соответствующих технических средств проверить готовность комплекса РЗА правильно выполнить требуемые функции.

Различие в распределении видов отказов в ЦРЗА и защитах предыдущих поколений

Правила технического обслуживания устройств РЗА [2] исходят из понятия «отказ» – события, заключающегося в постепенном или внезапном нарушении работоспособного состояния объекта или изменения его отдельных па-

раметров, вызванного механическими, физическими или химическими процессами в период его эксплуатации. Относительно времени возникновения отказы классифицируются как приработочные (в начальный период), отказы периода нормальной эксплуатации и деградационные отказы, связанные со старением, изнашиванием и коррозией элементов. Именно для выявления и устранения перечисленных отказов в [2] устанавливаются различные виды технического обслуживания, в том числе проверка при новом включении (Н), первый профилактический контроль

Нереальными и завышенными являются требования к эксплуатационному персоналу освоить «до нюансов» все особенности микропроцессорных терминалов различных назначений, версий и производителей

(К1), последующий контроль (К) и восстановление (В).

Рассматривая приведенные виды технического обслуживания применительно к ЦРЗА, следует отметить существенно меньшие вероятности отказов, вызванных механическими, физическими и химическими процессами, а также отказов, связанных со старением и изнашиванием отдельных элементов.

Указанное определяется принципиально более высокими параметрами надежности ЦРЗА, обусловленными новыми технологиями изготовления, значительно меньшим числом соединений, в том числе на основе пайки, существенно меньшим числом разъемных соединений. Более того, отбраковка изделий в соответствии с имеющимися стандартами осуществляется на этапе производства путем специального контроля, термоциклической обработки и испытаний каждого изделия. Все указанное в совокупности обеспечивает на порядок большую аппаратную надежность ЦРЗА и должно учитываться при выработке экономически обоснованных норм технического обслуживания. Вместе с тем остается существенной, как и в предыдущих поколениях устройств релейной защиты и автоматики (УРЗА), составляющая приработочных отказов, определяемая ошибками при монтаже и наладке, включая параметрирование ЦРЗА.

Принципиальные особенности проверки ЦРЗА

При реализации ЦРЗА используется имеющаяся возможность построения (программирования) отдельных функций, алгоритмов, логических связей, сообщений устройств защиты на одной общей конструктивной основе практически без увеличения объема физических компонентов. Помимо этого, ЦРЗА содержат, как правило, сравнительно большое число параметров и генерируют большое число сообщений. В частности, отдельные цифровые защиты объектов высоких напряжений имеют

сотни параметров и тысячи различного вида сообщений, что не всегда оправданно. Это существенно повысило функциональность ЦРЗА, но и привело во многих случаях к их существенному усложнению, что внесло определенные затруднения при проектировании и эксплуатации.

Формирование структуры ЦРЗА на основе общей программной основы, приводящее часто к трудности выделения функционально законченных блоков, во многих случаях затрудняет проверку выбранных уставок и параметров вследствие взаимного влияния и одновременного запуска других защитных функций. Это приводит к необходимости применения при проверке уставок дополнительных мер по исключению влияния непроверяемых функций в процессе проверки путем программирования изменения исходной конфигурации терминалов. Это, в свою очередь, требует объективной оценки корректности проводимых проверок.

Принципиальным моментом является и то, что не всегда проверку срабатывания отдельных функций ЦРЗА (по току, напряжению, сопротивлению) можно проводить в статическом режиме путем плавной подачи (изменения) входных величин переменного тока и напряжения (например, при использовании в ЦРЗА алгоритмов, реагирующих на скорость изменения сигналов).

ПРАКТИКА

В этих случаях при проверке уставок необходимо применять скачкообразные изменения величин. Следует отметить, что при проверке уставок, характеристик и логических функций ЦРЗА целесообразно применять преимущественно скачкообразное изменение входных величин от нагрузочного режима к аварийному, что в основном соответствует соотношениям между входными величинами УРЗА, возникающими при КЗ.

С учетом указанного, при наладочных проверках обычно производят ряд перепрограммирований микропроцессорных терминалов, что позволяет пу-

чит, прежде всего, большую достоверность и существенное уменьшение доли «ручных» испытаний в различных режимах проверки уставок и характеристик, что снизит ошибки вследствие «человеческого фактора», а также даст возможность контроля и протоколирования результатов и быстрого повторения проверки или определенных ее этапов после корректировок уставок и параметров.

Однако, как уже указывалось, только проверка уставок, характеристик и отдельных функциональных связей не обеспечивает полноценную провер-

■ Ошибки при параметрировании и конфигурировании в процессе ввода ЦРЗА в эксплуатацию.

В практике применения предыдущих поколений защит составляющие отказов, вызванные ошибками при проектировании, не имели существенного удельного веса в общем потоке отказов ввиду четко отработанной системы проектирования и использования в основном типовых проектных решений. Типовые решения координировались с разработкой УРЗА различных объектов (шкафы, панели, отдельные устройства), имеющих фиксированные функции, логику и параметры, необходимые для реализации концепций РЗА, заложенных в типовые проекты.

Таким образом, вопрос о контроле ошибок в проектах РЗА конкретных объектов практически не стоял, ввиду использования апробированных в эксплуатации и согласованных с применяемыми устройствами РЗА типовых решений.

С учетом этого стратегия ввода в эксплуатацию и обслуживания УРЗА сводилась в основном к выявлению отказов технического характера вследствие некачественного изготовления, старения и износа, а также ошибок при монтаже и наладке. Все указанное обеспечивало сравнительно высокие эксплуатационные показатели РЗА.

В настоящих условиях проектирование РЗА при реконструкции и строительстве новых объектов энергетики обычно содержит следующие основные этапы:

- Общее проектирование (концепция РЗА и требования ко всем функциям защиты и автоматики безотносительно фирмы-изготовителя) – перед конкурсом на поставку оборудования;
- Рабочее проектирование при выбранном изготовителе ЦРЗА, в том числе:
 - принципиальные и полные схемы РЗА всех объектов подстанций, включая задания на параметрирование, конфигурирование и выполнение функционально-логических связей в отдельных терминалах;
 - схемы и задание на параметрирование, определяющее связи между отдельными терминалами (шкафами) с учетом в необходимых случаях протокола МЭК 61850;
 - задание на изготовление шкафов ЦРЗА и другая необходимая документация.

Основные ошибки возникают обычно на стадии рабочего проектирования, когда необходима обработка большой, сложной и часто неполной информации о различных микропроцессорных терминалах ЦРЗА

тем блокирования отдельных функций и изменения логических параметров определить уставки и характеристики ЦРЗА. После завершения наладочных работ в терминал «загружается», с учетом произведенных корректировок, первоначальная заданная проектом конфигурация (программа), после чего в целях контроля правильности введенной конфигурации считываются и сверяются с заданными все уставки и параметры терминала.

К недостаткам данной методики наладки, которой, к сожалению, нет в настоящее время серьезной альтернативы, следует, прежде всего, отнести ее недостаточную полноту, так как проверяются в основном уставки и параметры ЦРЗА и, хотя и маловероятная, возможность ошибок при возврате к исходной конфигурации терминала по окончании проверки. При этом обычно не в полном объеме проверяются и логические связи в терминале, в том числе свободно-программируемая логика, задаваемая проектом, определяющая важнейшие связи внутри всего комплекса РЗА.

Определенное совершенствование наладочных испытаний может быть достигнуто использованием средств автоматизации на основе программно-управляемых устройств проверки [4] с программным обеспечением, соответствующим устройствам различных типов и изготовителей. Это обеспе-

ку функциональной готовности микропроцессорного терминала и, тем более, всего комплекса ЦРЗА объекта к правильным действиям при различных расчетных видах повреждений на защищаемом объекте ввиду возможности ошибок как на проектном уровне и при программировании логическо-функциональных связей, так и в процессе наладки.

Составляющие потока отказов ЦРЗА

Новые экономические отношения существенно изменили условия принятия решений по выбору новой техники РЗА, ее проектированию и вводу в эксплуатацию. Указанное обусловило рост ошибок, не связанных непосредственно с «аппаратной» неисправностью ЦРЗА. К ним в первую очередь следует отнести:

- Отказы, обусловленные неправильным применением защитных функций ЦРЗА, связанные с недостаточным знанием свойств и особенностей ЦРЗА данного изготовителя.
- Ошибки на проектном уровне при задании программируемых логическо-функциональных связей и параметрировании отдельных терминалов ЦРЗА.
- Ошибки на проектном уровне при задании логическо-функциональных связей, определяющих обмен командами и сигналами между отдельными ЦРЗА одного объекта, а также между ЦРЗА различных объектов подстанций, в том числе на основе протоколов обмена типа МЭК 61850.

Основные ошибки возникают обычно на стадии рабочего проектирования, когда необходима обработка большой, сложной и часто неполной информации о различных микропроцессорных терминалах ЦРЗА. Положение осложняется и тем, что, как отмечалось в [4], сложность и многофункциональность программируемых ЦРЗА не всегда позволяет графически описать все связи, определяющие взаимодействие отдельных функций, команд и сигналов. По той же причине не всегда возможно выделить законченные функциональные блоки, т.е. сам по себе микропроцессорный терминал ЦРЗА менее «прозрачен», чем предыдущие поколения устройств РЗА.

При отсутствии методик и типовых апробированных решений проектант вынужден становиться часто «творцом-художником», задающим на уровне своих знаний и понимания функций ЦРЗА необходимые конфигурацию, параметры и логическо-функциональные связи как внутри терминалов, так и между ними – важнейшие элементы, определяющие правильное функционирование всего комплекса РЗА.

Все указанное делает не всегда достаточным для проверки правильности проектирования лишь умозрительный анализ проекта. Для сложных проектов с программируемыми ЦРЗА гарантировать работоспособность комплекса РЗА объекта с высокой вероятностью можно, лишь произведя его проверку в условиях, максимально приближенных к реальным с имитацией основных расчетных повреждений на объекте, что позволяет выявить как ошибки проектирования, так и при параметрировании и конфигурировании ЦРЗА на этапе наладки оборудования (см. ниже – итоговые комплексные испытания).

Таким образом, реальные условия требуют определенных корректировок в стратегии технического обслуживания ЦРЗА [2,3].

Повышение эксплуатационной эффективности ЦРЗА

С учетом изложенного выше, можно сформулировать следующие положения в направлении повышения эксплуатационных показателей ЦРЗА.

- Увеличение объема типовых проектных решений с ЦРЗА основных фирм-производителей с минимизацией

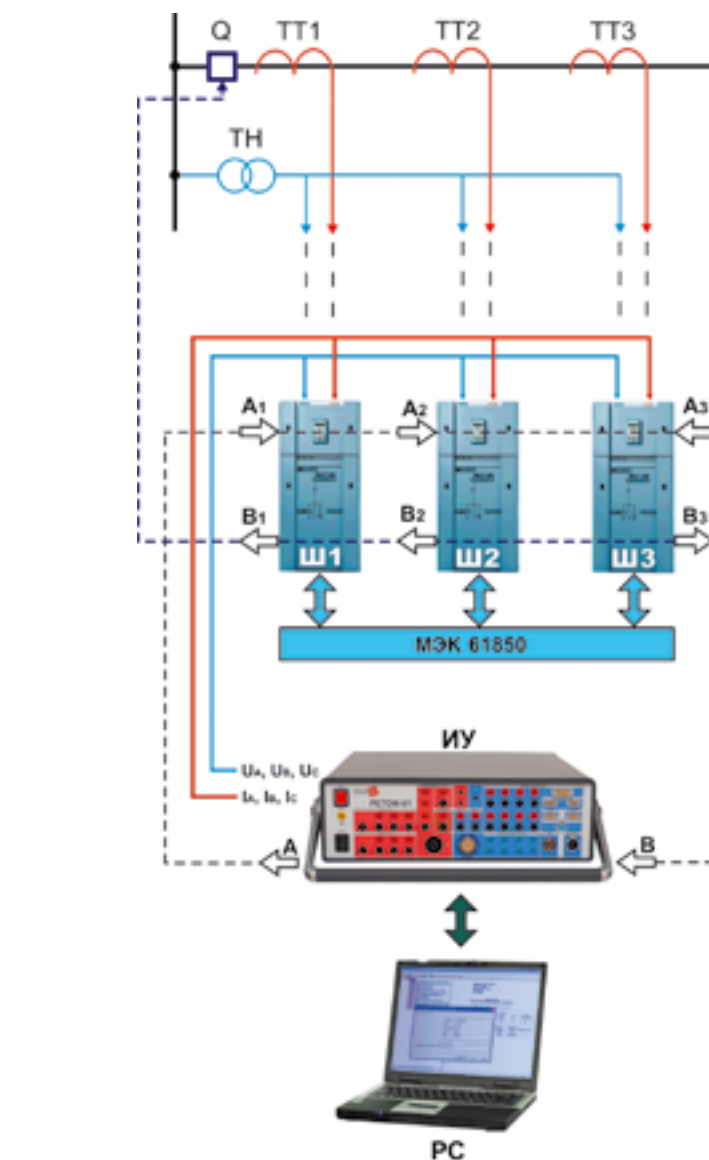


Рис. 1. Упрощенная структура итоговой комплексной проверки УРЗА объекта

«свободного» программирования функциональных связей. Контроль эксплуатационной апробации и последующая аттестация. Работы в данном направлении уже проводятся ОАО «ФСК ЕЭС».

- Разделение работ по вводу ЦРЗА на наладочные и приемные. Данная концепция отражена в документе ОАО «ФСК ЕЭС» «Регламент по приему новой техники РЗА в эксплуатацию», принятом в 2008 г. Принципиальным моментом при этом является то, что, помимо наладочных работ, требующих достаточно глубоких знаний специфики устройств РЗА данного изготовителя, проводимых специализированной организацией, вводятся приемные испытания РЗА с участием эксплуатационно-

го персонала, целью которых является подтверждение правильной работы всего комплекса РЗА объекта.

- Обучение эксплуатационного персонала. Учитывая сложность ЦРЗА, усугубляемую наличием сравнительно большого числа фирм-производителей (ЭКРА, Радиус, АBB, SIEMENS, AREVA, GE и др.) с отличающимися во многом концепциями построения и формирования защитных функций, необходимо требовать от эксплуатационного персонала, прежде всего, умения правильного «внешнего» обслуживания – оперативные переключения, изменение уставок, чтение сообщений и осциллограмм. При этом обязательно наличие эксплуатационной документации на

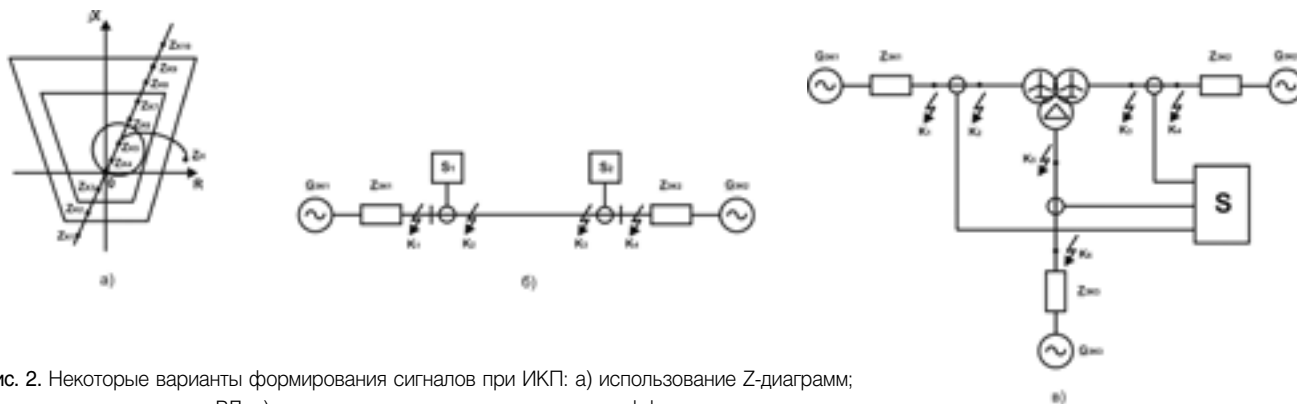
ПРАКТИКА 

Рис. 2. Некоторые варианты формирования сигналов при ИКП: а) использование Z-диаграмм; б) эквивалентная модель ВЛ; в) эквивалентная схема для проверки дифференциальных защит трансформаторов.

каждое устройство ЦРЗА, где описаны и фиксированы возможные режимы (состояния) устройства, учитывающие конкретную реализацию проекта и необходимые действия эксплуатационного персонала в различных случаях.

■ Широкое применение средств автоматизации при наладочных и приемных испытаниях на основе компьютерно-управляемых испытательных комплексов с возможностью генерирования программ автоматической проверки, учитывающих специфику РЗА объекта [4]. Указанное обеспечит снижение ошибок при проверке и объективную фиксацию результатов с выдачей соответствующих протоколов. Важным является также возможность запоминания хода проверки на носителе информации и удобство анализа после проведения изменений в проекте (корректировки параметров, конфигурации и уставок), а также быстрого повторения проверки в автоматическом режиме после изменения параметров или при последующем техническом обслуживании.

■ Введение итоговых комплексных проверок в приемные испытания.

В данном случае при приемных испытаниях используется концепция проверки [4], когда при вводе в эксплуатацию производится наряду с другими действиями проверка всего комплекса РЗА объекта путем имитации повреждений на объекте с соответствующими сигналами, подводимыми к входам комплекса РЗА (см. ниже).

Основной задачей данной проверки является подтверждение правильной работы всего комплекса РЗА объекта. При этом ход проведения проверки мало зависит от типа применяемых устройств ЦРЗА, так как контролируется

реакция всего комплекса РЗА на различные внешние и внутренние повреждения на объекте, в том числе успешные и неуспешные АПВ и ОАПВ, действие УРОВ и др. с учетом взаимодействия с РЗА других объектов.

Таким образом, что особенно важно, контролируются не только ошибки при монтаже и наладке, но и возможные ошибки в проекте, так как проверяется в режиме, приближенном к реальному, реакция комплекса ЦРЗА на возможные аварийные ситуации.

Итоговая комплексная проверка как объективный критерий функциональной готовности РЗА

Итоговой комплексной проверкой (ИКП) [4] назовем совокупность испытаний устройств РЗА, которые характеризуются следующими условиями (на примере комплекса ЦРЗА, состоящего из 3 комплексов устройств – шкафов Ш1, Ш2, Ш3. Рис.1).

■ Конфигурация, параметры и уставки проверяемого ЦРЗА (рис.1) полностью соответствуют рабочему состоянию отдельных терминалов и всего комплекса ЦРЗА объекта, предусмотренному проектом.

■ Входные цепи переменного тока и напряжения отсоединены от измерительных трансформаторов и подсоединены к входам испытательного устройства (ИУ), генерирующего трехфазные системы токов и напряжений, заданное количество выходных сигналов А, подводимых в данном случае к шкафам Ш1, Ш2, Ш3 (А1, А2, А3) и контролирующего заданное количество выходных сигналов ЦРЗА (В), определяемых выходными сигналами В1, В2, В3 отдельных шкафов комплекса. Схемы подключения входных сигналов варьируются в

зависимости от конкретных условий. В отдельных случаях устройство ИУ может генерировать и контролировать команды и сообщения в формате протокола МЭК 61850.

■ Программно-управляемое от РС (ПК) испытательное устройство (ИУ) генерирует сигналы переменного тока и напряжения, соответствующие различным видам КЗ внутри и вне защищаемого объекта (определяется специальной программой) и синхронно с необходимыми сдвигами по времени генерирует дискретные сигналы А, соответствующие действию (командам) от РЗА других объектов, если они в данном случае предусмотрены и обусловлены принципом действия комплекса ЦРЗА. Одновременно контролируются и выходные сигналы комплекса В (В1, В2, В3), подаваемые от комплекса на вход устройства. Программно-управляемое устройство, часто содержащие приставки с множителями входных и выходных сигналов, выпускаются в России (например, РЕТОМ) и за рубежом (Omicron, Doble Engineering и др.).

■ Тестовые модели и сигналы.

Принципиальным моментом при использовании тестовых программ расчета КЗ и других возможных неисправностей является то, что модели для расчета должны быть максимально простыми, по возможности стандартизированными и служить только для проверки правильности реализации проекта комплекса РЗА и прежде всего выполнения, как уже указывалось, программируемых логическо-функциональных связей и других видов соединений и обмена сигналами, полноценный умозрительный анализ которых не всегда возможен.

Поэтому речь не идет об испытаниях (исследованиях) в энергосистеме пользо-

Исп.	1	2	3	4
Исп.	Нагрузочный режим	КЗАО	Безопасная работа	КЗАО (безопасная работа)
Ua	0.2A 0.8° 50.0% 2.0A -45.36° 50.0% 2.0A 0.0° 50.0% 2.0A -45.36° 50.0% 0.3A 0.8° 50.0%			
Ia	0.2A -43.61° 50.0% 2.0A 134.03° 50.0% 2.0A 0.0° 50.0% 2.0A 134.03° 50.0% 0.3A 0.8° 50.0%			
Ic	0.2A 120.8° 50.0% 0.3A 84.03° 50.0% 2.0A 0.0° 50.0% 2.0A 44.81° 50.0% 0.3A 0.8° 50.0%			
Ua	57.75V 0.8° 50.0% 57.75V 0.8° 50.0% 57.75V 0.0° 50.0% 57.75V -45.36° 50.0% 0.3A 0.8° 50.0%			
Ia	57.75V -43.61° 50.0% 57.75V 134.03° 50.0% 57.75V 0.0° 50.0% 57.75V 134.03° 50.0% 0.3A -43.61° 50.0%			
Ic	57.75V 120.8° 50.0% 57.75V 84.03° 50.0% 57.75V 0.0° 50.0% 57.75V 44.81° 50.0% 0.3A 120.8° 50.0%			
Тестер	Проект: 0.5C 1	Время: 0.5C 2	Проект: 1.0C 3	Проект: 2.5C 4
	Время: 2.8C 4			

а) ↑

б) →

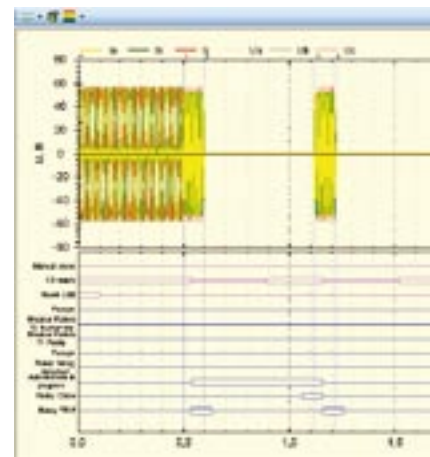


Рис. 3. Формирование сигналов в испытательном устройстве в виде последовательности единичных тестов: а) задание последовательности тестов; б) аналоговые и дискретные сигналы при ИКП.

вателя, требующих подробных данных о конфигурации энергосистемы, испытаниях поведения в динамических режимах с учетом переходных процессов и т.п., представляющих специальные достаточно сложные задачи [4]. Эти качества и характеристики ЦРЗА должны быть подтверждены изготовителем и аттестационными испытаниями.

Концепция ИКП исходит из минимально необходимых затрат времени и средств и доступности проведения испытаний эксплуатационному персоналу.

Примеры простейших опытных моделей при проведении ИКП приведены на рис. 2. В простейших случаях для ЦРЗА с многоступенчатой дистанционной защитой ВЛ достаточно имитировать различные КЗ в зонах и вне зон действия с учетом режимов АПВ, ОАПВ, УРОВ и др. (рис. 2, а). При этом обеспечивается скачок \underline{Z} от нормального режима \underline{Z}_n к сопротивлению $\underline{Z}_к$.

Более оптимальным является простейшая модель ВЛ с эквивалентными сопротивлениями, соответствующими параметрам энергосистемы (рис. 2, б), или простейшая модель для проверки защит трансформатора при внутренних и внешних КЗ (рис. 2, в). Для упрощения достаточно иметь только статические расчеты доаварийных, аварийных и послеаварийных величин, т.е. использовать скачкообразно изменяющиеся синусоидальные сигналы.

Итоговая комплексная проверка обязательно должна включать в себя не только внешние и внутренние повреждения на объекте, но и более сложные аварийные режимы, в которых должно быть обеспечено правильное функционирование комплекса ЦРЗА, в том числе:

- успешное и неуспешное АПВ и ОАПВ, если эти функции предусмотрены;

- функционирование при возникновении КЗ в цикле ОАПВ;
- отказ выключателя при КЗ и функционирование УРОВ;
- функционирование при приходе различного вида ВЧ-команд с противоположного конца ВЛ;
- включение при опробовании линии на КЗ и др.

При всех тестах ИКП целесообразно исходить из того, что проверяемое

переходом от режима проверки к рабочему режиму, также минимизируется тем, что этот переход определяется в основном переключениями в цепях переменного тока и выходных сигналов комплекса и не затрагивает операции с микропроцессорными терминалами. Правильность восстановления цепей переменного тока и напряжения проверяется обычным методом контроля «под нагрузкой».

Основной задачей ИКП является проверка правильности выполнения проекта в целом, в том числе концепции РЗА и готовности комплекса ЦРЗА выполнять заданные функции при возникновении аварийных ситуаций

ЦРЗА удовлетворяет гарантируемым изготовителем техническим требованиям и наладочные работы по отдельным терминалам проведены в основном правильно (подтверждается списком установленных в соответствии с проектом параметров и уставок). Поэтому основной задачей ИКП является проверка правильности выполнения проекта в целом, в том числе концепции РЗА и готовности комплекса ЦРЗА выполнять заданные функции при возникновении аварийных ситуаций.

Отметим, что концепция ИКП основана на принципе «черного ящика» — на входах комплекса ЦРЗА создаются сигналы, соответствующие различным повреждениям в энергосистеме и контролируется правильность генерируемых комплексом команд и сообщений. Поэтому необходимость специальных знаний, связанных с особенностями ЦРЗА отдельных производителей минимизируется. Ошибки, связанные с

Основные этапы итоговой комплексной проверки

1. Анализ полноты протоколов наладочных испытаний и их правильности, включая файлы параметрирования и конфигурирования отдельных ЦРЗА.

2. Определение эквивалентных параметров упрощенных схем моделирования повреждений (по типу рис. 2).

3. Определение на основе анализа проекта РЗА объекта объема испытаний ИКП (места и виды повреждений, в том числе с учетом успешных и неуспешных АПВ, ОАПВ, отказов выключателей, ускорения отключения и т.п.).

4. Разработка на основе имеющейся базовой программы отдельных тестовых программ для реализации объема испытаний ИКП в соответствии с п. 3.

Базовая тестовая программа, входящая в программное обеспечение испытательного устройства (ИУ) должна обеспечивать возможность программирования каждого испытания как по-

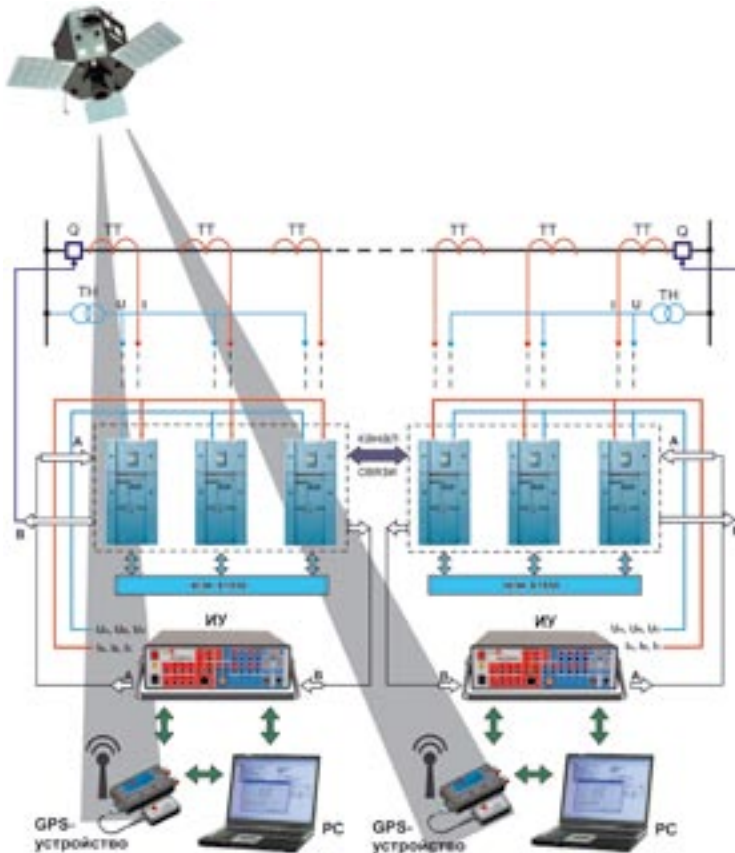


Рис. 4. Структура комплексной проверки дифференциальной защиты ВЛ

следовательности (совокупности) единичных тестов, характеризующихся заданными на определенный промежуток времени комбинациями входных сигналов переменного тока и напряжения ($U_A \dots U_C, I_A \dots I_C$) и дискретных сигналов A – рис. 1. При этом сигналы переменного тока и напряжения генерируются программой моделирования поврежденных в упрощенной эквивалентной схеме замещения (например, рис. 2), которая является частью базовой тестовой программы. Сигналы A моделируют необходимые при проверке команды от других УРЗА. В результате испытательное устройство ИУ генерирует во времени при каждом проверяемом повреждении последовательность единичных тестов, соответствующих протеканию заданного в ИКП режима повреждения. В качестве примера на рис. 3 а в упрощенном виде показана последовательность единичных тестов (нагрузочный режим, КЗ, бестоковая пауза, включение на КЗ, отключение), генерируемая испытательным устройством при проверке комплек-

са ЦРЗА с учетом параметров принятой эквивалентной модели ВЛ (рис.2, б) при КЗ АВ и неуспешном АПВ.

Смена единичных тестов зависит и от команд B (логических сигналов), генерируемых проверяемым комплексом УРЗА и подводимых к испытательному устройству ИУ (например, переход к единичному тесту бестокового режима после команды отключения выключателя). На рис. 3 б показан в качестве примера фрагмент базовой программы, характеризующий входные и выходные сигналы переменного тока и дискретные сигналы, соответствующие одной из проверок, входящих в ИКП.

Одновременно при программировании тестов задаются с помощью базовой программы для каждого единичного теста ожидаемые комбинации выходных сигналов УРЗА ($B_{зад}$), которые должны возникнуть в определенные диапазоны времени при правильном функционировании защитного комплекса.

5. В процессе ИКП при каждом тесте, определяющем конкретное поврежде-

ние K_n , испытательное устройство генерирует соответствующие сигналы переменного тока и напряжения и дискретные сигналы A , подводимые к входам проверяемого комплекса УРЗА. Одновременно с помощью специальной программы производится сравнение во времени последовательности выходных сигналов B с заданной последовательностью $B_{зад}$, характеризующей правильное функционирование при данном виде повреждения K_n . Это позволяет фиксировать в автоматическом режиме в процессе проверки возникающие несоответствия сигналов, характеризующие ошибки, возникшие при проектировании или в процессе наладочных работ.

6. В ходе проверки проводится запись и протоколирование всех промежуточных результатов (сигналов переменного тока и напряжения), дискретных входных и выходных сигналов ЦРЗА, сообщений генерируемых ЦРЗА и текущих результатов отдельных тестов, в том числе и единичных. Указанное обеспечивает не только контроль результатов, но и анализ и выявление ошибок на любом этапе ИКП.

7. Программа ИКП должна быть доступна по сложности эксплуатационному персоналу и должна обеспечить возможность быстрого повторения проверки или отдельных тестов при новом контроле или после корректировки и устранения выявленных ошибок, что обеспечивается записью хода проверки УРЗА данного объекта на носитель информации.

Особенности проверки защит абсолютной селективности

Рассмотренные выше принципы ИКП могут быть распространены на защиты ВЛ абсолютной селективности, в частности дифференциальные защиты, состоящие из двух или нескольких расположенных по концам ВЛ полукомплектов (рис. 4).

В данном случае моделирование КЗ также проводится на основе упрощенной эквивалентной схемы (рис. 2 б) либо для протяженных ВЛ на основе более усложненных схем с учетом емкостной проводимости ВЛ.

Моделирование КЗ производится одновременно в обоих испытательных устройствах, расположенных по концам ВЛ, причем запуск испытательных

устройств при тестах синхронизируется с помощью спутниковой связи.

Подготовка комплексов УРЗА к испытаниям производится по описанной выше методике (рис. 1) путем переключения цепей переменного тока к входам испытательных устройств. При проведении ИКП путем имитации внешних и внутренних КЗ на ВЛ проверяются функционирование обоих полуккомплектов защит по концам ВЛ одновременно с каналами связи, остающимися в рабочем состоянии (рис. 4). Основное отличие испытаний от реальных КЗ в этом случае заключается лишь в других источниках сигналов переменного тока и напряжения, подводимых к УРЗА.

Эксплуатационное обслуживание защит предыдущих поколений

К настоящему времени около 90 % всего парка защит ВЛ 110–750 кВ и прежде защит ВЛ 110–220 кВ представляют собой электромеханические и микроэлектронные УРЗА, процент неправильных действий которых непрерывно возрастает прежде всего вследствие ускоряющихся процессов старения и износа их компонентов. В условиях дефицита квалифицированного персонала во многих случаях затруднительно обеспечить их полноценное техническое обслуживание. Основная опасность заключается в невыявленных уже имеющихся отказах элементов этих УРЗА, когда объекты эксплуатируются незащищенными. В этих случаях важно, прежде всего, фиксировать исправность УРЗА. Во многом положение можно улучшить, применив для оценки работоспособности этих комплексов УРЗА, состоящих в основном из типовых шкафов и панелей, упрощенные итоговые комплексные проверки при внутренних и внешних КЗ («экспресс-проверки»), что позволяет, по крайней мере, оценить реальную защищенность объектов.

Совершенствование испытаний и аттестации нового оборудования

В настоящее время имеется многообразие устройств ЦРЗА примерно одинакового назначения различных фирм-изготовителей с наличием мно-

гочисленных перманентно вводимых версий устройств. В этих условиях целесообразно упорядочить порядок аттестационных испытаний устройств и, возможно, проверки типовых решений на основе комплектных устройств с микропроцессорными терминалами, прежде всего для объективной оценки возможностей этих устройств. Для этой цели может быть использована структура ИКП (рис. 1) с фиксированными для отдельных типов проверяемых устройств упрощенными моделями энергосистемы. Подобные проверки при различных видах внешних и внутренних повреждений с учетом действия АПВ, УРОВ, ускорения защит, переходов одного вида КЗ в другой и т.п., проводимые при одинаковых фиксированных условиях для устройств различных изготовителей и последующих версий этих устройств позволят объективно оценить их свойства и области дальнейшего использования.

Заключение

1. С переходом к цифровым устройствам РЗА преобладающими стали отказы, определяемые ошибками при проектировании ЦРЗА, их параметрировании и конфигурировании на этапе ввода в эксплуатацию. Составляющая отказов, вызванная старением и износом устройств РЗА, существенно уменьшилась.

2. Ошибки при проектировании вызваны существенным усложнением функций программируемых ЦРЗА, наличием различных производителей с отличающимися концепциями, что существенно затрудняет создание типовых решений по РЗА объектов энергосистем. Это приводит как к усложнению проектов, так и к проблемам в эксплуатации, увеличивая вероятность ошибок, ведущих к неправильным действиям цифровых УРЗА.

3. Все указанное делает часто недостаточным для оценки правильности проектирования лишь умозрительный анализ проекта. **Для сложных проектов с программируемыми ЦРЗА гарантировать работоспособность комплекса РЗА объекта с высокой вероятностью можно, лишь произведя его проверку в условиях, максимально приближен-**

ных к реальным, на основе комплексных испытаний с имитацией основных расчетных повреждений на объекте, что позволяет выявить как ошибки проектирования, так и при параметрировании и конфигурировании ЦРЗА на этапе наладки оборудования.

Проведение итоговых комплексных испытаний на основе компьютерно-управляемых средств проверки позволит эксплуатационному персоналу осуществлять полноценный контроль работоспособности УРЗА как при вводе в эксплуатацию, так и при дальнейшем техническом обслуживании.

4. Представляется обоснованным принятое разделение работ по вводу новой техники на наладочные, требующие достаточно глубокой специализации по изделиям различных изготовителей, и приемные, проводимые с участием эксплуатационного персонала, задачей которых является проверка готовности вводимых комплексов ЦРЗА выполнять свои функции при различных повреждениях в энергосистеме.

5. Рассмотренные методы комплексные проверки могут стать эффективным средством оценки состояния преобладающего в настоящее время парка защит электромеханических; на этом же принципе целесообразно производить оценку функциональных возможностей отдельных ЦРЗА различных изготовителей и проверку комплектных устройств РЗА при аттестационных испытаниях. □

Список литературы

1. Шнейерсон Э.М. Эксплуатационная эффективность устройств релейной защиты: реальность и возможности. Энергоэксперт, № 4–5, 2007.
2. Правила технического обслуживания устройств релейной защиты, электроавтоматики, дистанционного управления и сигнализации электростанций и подстанций 110–750 кВ. РД 153-34.0-35.617-2001.
3. Инструкция по организации и производству работ в устройствах релейной защиты и электроавтоматики электростанций и подстанций. СО34.35.302-2006.
4. Шнейерсон Э.М. Цифровая релейная защита. М.: Энергоатомиздат, 2007.

МАТЕРИАЛЫ ПО ТЕМЕ

В журнале «Релейщик»: Кнобель Я. Оптимизация технического обслуживания устройств релейной защиты и автоматики (2008, № 1. С. 48–50)