

ражающие мировой, накопленный десятилетиями опыт ТО этих устройств. По форме они отличаются, но по существу у них много общего. И главное, что их объединяет, это обеспечение надежной работы УРЗА. По мере развития энергетики вводятся в работу новые УРЗА. В то же время продолжается эксплуатация и УРЗА предыдущих поколений. При ТО предыдущих поколений УРЗА применялась и соответствующая старая техника тестирования. Но даже при ее ограниченных возможностях философия тестирования предусматривала достаточно эффективные тесты, позволяющие относительно объективно оценивать состояние устройств. С вводом в эксплуатацию новых поколений УРЗА старые методы тестирования оказываются не достаточно эффективны. Часто вообще не возможно проверить некоторые функции, особенно сложные алгоритмы, заложенные в устройства, сложную логику схемных решений. Но старые методы тестирования широко применяются до сих пор при тестировании новых УРЗА. Это наблюдается в разных странах, философия тестирования меняется мало. Причины разные:

- Традиции, закрепленные в действующих правилах
- Необходимость продолжать ТО устаревших устройств
- Отсутствие современных тест инструментов
- Отсутствие квалифицированного персонала. Но главное - непонимания малой эффективности старых методов тестирования. Нельзя отбрасывать положительный (да и отрицательный) опыт, накопленный поколениями релейщиков. Именно на его базе пересматриваются методы тестирования. Но ситуация сегодня такова, что смена поколений УРЗА опережает процесс обновления философии технического обслуживания. При оценке надежности УРЗА, независимо от степени их новизны, критерии общие. Но технологии ТО отличаются.

Старые методы испытаний предусматривали главным образом статическое тестирование как основу техобслуживания. Возможности современного тестирования - использовать статические методы только для предварительных тестов. А основной упор делать на динамическое тестирование - как заключительный этап обслуживания.

В связи с усложнением техники и технологии требуется соответствующий персонал для их обслуживания, способный в сжатые сроки адаптироваться к изменяющимся условиям. Количество персонала по разным причинам лимитировано. Это становится ключевой проблемой. Требуются годы подготовки и переподготовки персонала служб РЗА. Назревает опасность, что существующий персонал служб РЗА не всегда готов справляться с возрастающими проблемами. В таких условиях целесообразно проанализировать процесс ТО УРЗА с целью упрощения, облегчения, рационализации труда персонала. В результате анализа, возможно, удастся найти пути оптимизации процесса ТО УРЗА. Рассмотрим вариант ТО при вводе в эксплуатацию новых УРЗА, анализируя операцию за операцией, предписываемые правилами технического обслуживания.

1. Расчет т.к.з., режимов работы энергосистемы и защищаемого оборудования. При этом вводятся необходимая для расчетов информация:

- 1.1. *Параметры и конфигурация энергосистемы и защищаемого объекта*
- 1.2. *Виды и места повреждений*
- 1.3. *Оценка правильности выбора типов РЗА.*

Рекомендуется: применение современных расчетных программ (3), создающих координированные во времени сценарии изменения конфигурации энергосистемы (каскадное отключение выключателей, переход одних видов к.з. в другие, АПВ и др.) и рассчитывающие параметры переходных процессов в формате COMTRADE, которые могут проигрываться (воспроизводиться) тест инструментами.

2. Расчет уставок осуществляется современными программами с высокой степенью автоматизации, которая включает:

2.1. Расчет уставок основных функций (блоков) защиты, следуя их алгоритмам и расчетам по п.1.

2.2. Выдача уставок в виде файлов для загрузки в защиты.

При выдаче уставок часто отсутствуют некоторые детали, кажущиеся второстепенными, но фактически играющие определенную роль и влияющие на работу защиты. Часто это происходит из-за того, что расчетчики не пользуются заводской информацией защиты, где приведены все необходимые детали. Таким образом персонал, выставляющий уставки, стоит перед выбором - запрашивать разъяснения (если есть у кого), или принимать самостоятельные собственные решения. В результате уставки - заданные и выставленные - отличаются, с соответствующими последствиями.

Рекомендуется: уставки (для загрузки их в защиту) выдавать в виде файлов, следуя рекомендациям завода-изготовителя и пользуясь его коммутационной программой.

Файлы с выданными уставками следует сохранять как эталон.

3. Ввод защиты в работу после монтажа (новое включение, реконструкция):

3.1. Оценка соответствия правильности монтажа существующим требованиям

3.2. Загрузка выданных уставок в защиту и их сохранение.

Рекомендуется: при всех видах ТО до начала тестирования - проверка правильности выставления уставок путем их импорта, сравнения их с выданными (эталонными).

4. Подготовка и проведение тестирования.

4.1. Предварительное СТАТИЧЕСКОЕ с элементами динамики тестирование, при котором поочередно проверяются отдельные функции защиты с выводом их выходов на специальные контакты «ТЕСТ».

При этом меняются:

- ИЛИ ток,
- ИЛИ напряжение,
- ИЛИ угол,
- ИЛИ частота

– линейно, линейно-импульсно или грубым «двойным поиском» с возможностью точного линейного или пульсирующего изменения параметров в конце этого поиска. Цель тестов - предварительно проверить состояние блока-функции - уставки срабатывания-возврата, характеристик импеданса, времени и др.

Основные условия тестирования, вводимые в испытательные таблицы:

• Информация по выбору конфигурации источников питания тест инструмента и их подключению к тестируемому устройству

- Стартовые параметры
- Скорость изменения параметров
- Предел изменения параметров
- Допускаемые отклонения и оценка теста «ПРОШЕЛ» или «НЕ ПРОШЕЛ»
- Условия построения характеристик (графика)
- Условия формирования отчета и др.

4.2. Заключительные ДИНАМИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ, при которых на защиту подаются координированные во времени параметры различных сценариев различных видов к.з. в разных точках энергосистемы:

- Предавварийного
- Аварийного
- Послеаварийного режима
- Переход одного вида к.з. в другой
- Циклы успешных или неуспешных АПВ и др.

При этом защита действует на выходные цепи отключения вы-

ключателя. Параметры импортируются в испытательные таблицы из РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ энергосистемы (две параллельные линии, из которых одна с трехсторонним питанием). Возможно использование программируемых логических выходов для имитации блок-контактов выключателей и др. информации для ввода в защиту в виде «сухих» контактов или «потенциальных» сигналов.

В статических и динамических тестах в основном используются тест-сигналы правильной синусоидальной формы, искажение которой контролируется (при искажении более 2% тест прекращается). Это является необходимым условием статических тестов и стабильности их результатов. Но также возможно использование аperiodических составляющих и высших гармоник.

4.3. Тестирование с использованием ПЕРЕХОДНЫХ процессов.

Применяется как продолжение динамического тестирования, но с применением условий, более близких к реальным. Их можно программировать или использовать предварительно записанные COMTRADE файлы. При этом можно генерировать, воспроизводить ВЫСШИЕ ГАРМОНИКИ (от постоянной составляющей до # 50), АПЕРИОДИЧЕСКИЕ составляющие, КАЧЕНИЯ.

4.4. Все предварительно подготовленные тесты по тестированию УРЗА составляют ТЕСТ-ПЛАН. Тест-планы хранятся в библиотеке. Процесс тестирования можно вести в двух режимах:

- запуск индивидуальных тестов поочередным нажатием кнопки «СТАРТ»
- запуск тестирования всех тестов, включенных в тест-план, нажатием кнопки «АВТОСТАРТ».

При этом можно при необходимости останавливать тестирование после проведения группы тестов и потом возобновлять процесс.

4.5. Динамические и тесты переходных процессов можно использовать для двусторонних (многосторонних) проверок защит с коммутационным каналом. При этом синхронизация старта испытаний осуществляется с помощью спутников (GPS).

ОСНОВНЫЕ рекомендуемые условия:

- Тестирование должно проводиться на рабочих уставках (БЕЗ ИЗМЕНЕНИЯ УСТАВОК) проверяемых устройств.
- Использование автоматизированных тест инструментов под управлением их программного обеспечения. Приведенные операции производятся при использовании «Имитатора-модели энергосистемы F6150» производства Doble Engineering Co., USA.
- Перед началом испытаний рекомендуется проверить правильность сборки испытательной схемы и конфигурации защиты. Для этого следует подать на защиту номинальные параметры и, пользуясь измерительной функцией защиты, сравнить подаваемые от тест инструмента и принимаемые защитой напряжения, токи, углы. Проведение указанных операций предотвращает потери времени на анализ и поиск причин получения неудовлетворительных результатов тестов, если изначально испытательная схема собрана неверно, или реле неверно запрограммировано.
- При проведении ТО следует исключать любые действия, могущие изменить заданные уставки. Такой вывод базируется на опыте проведения таких операций, когда выставлялись неверные уставки. Следует запретить изменение уставок без последующего тестирования.

5. Уровень автоматизации процесса тестирования.

Имеющийся опыт использования описываемой поэтапной системы ТО УРЗА отработан и непрерывно совершенствуется. В целом его можно оценить положительно, т.к. охватываются все этапы ТО, необ-

ходимые для надежной работы УРЗА. Но идеи сделать лучше и проще «бродят» по миру. В результате появились методы ТО, объединяющие некоторые этапы ТО в одну программу. Начинается тестирование нажатием кнопки «СТАРТ». Затем следует:

- 5.1. *Импорт уставок тестируемого УРЗА. При этом в основном используется коммутационная программа завода-изготовителя (если заводская программа способна это делать). Если - версия коммуникационной программы и версия защиты не изменялись с момента составления программы, первый шаг сделан. Если были изменения, процесс останавливается. Нужен аналитик, знакомый с алгоритмами защиты, тонкостями коммутационной программы для поиска и устранения причин сбоев.*
- 5.2. *Пересчет импортированных уставок в тест параметры. Относительно надежно обрабатываются простые функции, с более сложными возможны сбои. Полученные параметры предназначены только для ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ тестов. Рассчитанные параметры экспортируются в тест-таблицы сразу по завершении пересчета, исправлять их можно уже только в этих таблицах. Если не проверить таблицы до тестирования, то труднее анализировать результаты тестов (при наличии ошибок в этих таблицах). Подготовительная часть программы закончена.*
- 5.3. *Нажимается кнопка «АВТОСТАРТ». Если тест-таблицы были доведены до удовлетворительного состояния, тестирование идет без остановок. В процессе тестирования сравниваются полученные результаты с допустимыми отклонениями и производится оценка «Прошел» или «Не прошел». А если не прошел - опять требуются анализ.*
- 5.4. *В процессе эксплуатации этой программы выявился целый ряд слабых мест и недостатков:*

Правильность выставленных уставок перед тестированием не контролируется. Оказывается доверие тем, кто их выставлял. Большая ошибка. Известно много случаев, когда УРЗА находятся в эксплуатации в течение многих лет - с неправильно выставленными уставками.

При наличии десятков вариантов функций, а также сотен вариантов уставок вероятность ошибок велика. Можно анализировать проделанную работу, если оператор квалифицирован. К прежним квалификационным требованиям добавляется знание Имитатора-модели энергосистемы и его программного обеспечения. Без этих познаний ошибки не найти и не исправить. Кроме того, часть сложных функций защиты (по разным причинам, включая пробелы в знаниях составителя программы) не попала в список. Их нужно добавить, составить новые таблицы. Таким образом, нужен опытный оператор-релейщик с познаниями элементов программирования и системы тестирования.

После ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ СТАТИЧЕСКИХ тестов требуется провести ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОЕ ДИНАМИЧЕСКОЕ тестирование. Программой пока это не предусматривается. И понятно почему. Требуется более инженерный подход - с элементами системного мышления. Нужно использовать параметры источников, защищаемого оборудования, расчетную модель энергосистемы.

Как видим, отдельные этапы ТО отработаны, но как только пытаются их объединить, возникает целый ряд проблем. Перспективно ли это?

Следует иметь в виду, что разрекламированные мнимые преимущества так называемого «полного автоматического тестирования УРЗА» вводят в заблуждение некоторых менеджеров, имеющих проблемы с персоналом РЗА. Их ожидания сокращения персонала, подбора менее квалифицированных специалистов не оправдываются. Это дискредитирует идею автоматизации и разочаровывает некоторых, кто глубоко не посвящен в детали технологии тестирования. А правда такова - не следует создавать систему ТО, которая не надежна, не прошла проверку

временем и серьезной эксплуатацией.

6. Динамическое тестирование - основной метод техобслуживания

- 6.1. *При вводе в работу новых или реконструкции старых УРЗА после предварительных статических тестов требуется провести Заключительное Динамическое тестирование. При его проведении на защиту подаются различные виды внешних и внутренних повреждений и ненормальных режимов, что не является большой проблемой, и анализируются результаты, извлекая из защиты нужную информацию. Но что интересно, эта часть тестирования относительно проще, чем та, что уже заложена в программу статических тестов. Потому что не нужно думать об отдельных функциях, алгоритмах. Нужно просто подавать на защиту реальные, хорошо известные различные предаварийные и аварийные параметры, которые относительно легко отрабатываются и вводятся в испытательные таблицы.*

Проблема в том, что эта информация часто не доступна местному персоналу служб РЗА. Моделируются также скоординированные во времени различные сценарии аварийных событий, включая изменение конфигурации энергосистемы по ходу событий, качания, токи намагничивания и др. Возможно использование программируемых логических выходов для имитации работы выключателей, посылки сигналов и т.д. Очень важно иметь гибкую, программируемую конфигурацию источников питания (до 12 источников, включая 6 напряжений и 6 токов и др. конфигурации). Это позволяет тестировать, например, схему сборки транзита линии с 2 выключателями на присоединение при успешных АПВ (особенно ОАПВ).

Применение высокоточных тест сигналов позволяет производить калибровку локаторов повреждений с высокой точностью. Применение источников тока высокой, достаточной мощности позволяет тестировать электромеханические защиты.

- 6.2. *При проведении периодических проверок Динамическое тестирование может быть ГЛАВНЫМ и ЕДИНСТВЕННЫМ видом испытаний. По времени оно занимает 20-25 % Статического тестирования, необходимость которого при периодических проверках отпадает.*

Статические испытания дают предварительное представление о калибровке узлов защиты, статических характеристиках и рекомендуются при новом включении или реконструкции. При периодических проверках на них снова и снова затрачивается львиная доля времени и усилий без особой необходимости. Если при ТО электромеханических защит необходимость статических тестов при периодических проверках еще можно как-то обосновывать, то при ТО современных защит это напрасная трата ресурсов. Кроме того, при проведении многочисленных статических тестов вероятность внесения ошибок при ТО значительно возрастает. Таким образом, с одной стороны - дефицит ресурсов, людей, с другой стороны - необоснованное расходование ресурсов. Последним доводом в пользу перехода только на Динамическое тестирование при периодических проверках является то, что даже при появлении неисправности она будет выявлена более эффективными Динамическими тестами.

С целью оптимизации процесса техобслуживания УРЗА (упрощение, удешевление, удобство, надежность, культура производства, применение передовой техники и технологии и др.) предлагается рассмотреть приводимые доводы, отражающие опыт эксплуатации УРЗА в разных странах.

Многие энергосистемы используют информацию современных защит для мониторинга и анализа их поведения при внешних и внутренних повреждениях (в зоне и вне зоны действия). Правильное действие

УРЗА учитывается как очередное периодическое ТО.

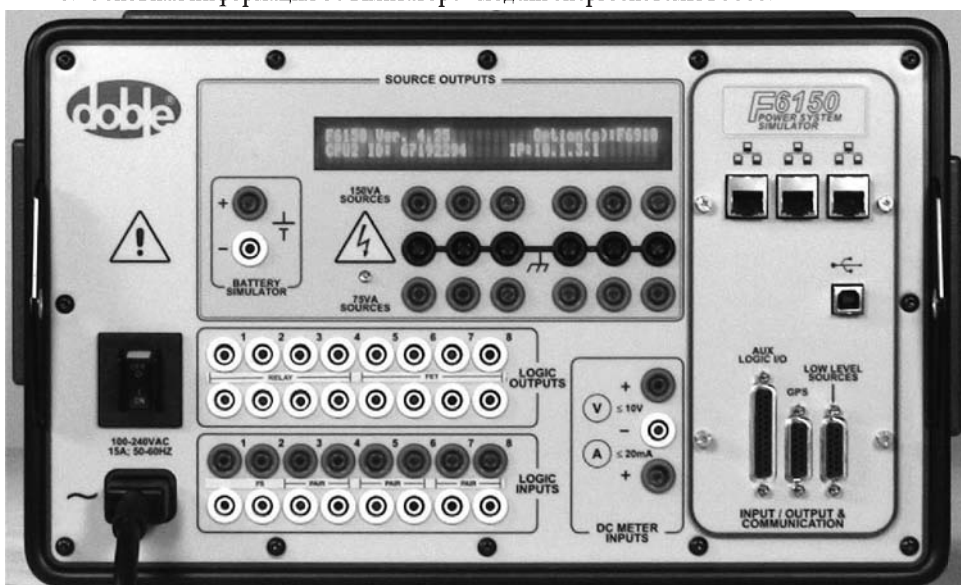
Мощным инструментом в процессе послеварийных расследований является возможность воспроизводства файлов аварийных осциллограмм путем проигрывания их записей, записанных в формате COMTRADE. При тестировании защит с коммуникационным каналом, синхронизация старта испытаний производится с помощью спутников.

Целесообразно отказаться от проведения статического тестирования при всех видах периодических проверок (за исключением некоторых типов электромеханических защит). Применять вместо них: * Динамическое тестирование * Мониторинг, анализ поведения УРЗА в процессе их эксплуатации. Защищать правильную работу УРЗА как периодическую проверку.

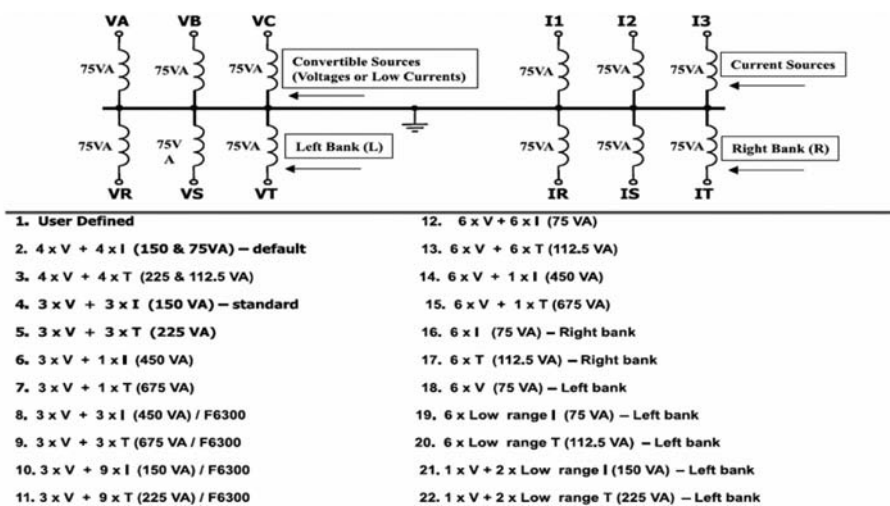
7. Краткие выводы:

С целью оптимизации процесса техобслуживания УРЗА предлагается рассмотреть приводимые выше доводы и предложения (смотрите выводы по параграфам 1-6), отражающие современный опыт эксплуатации УРЗА в разных странах. С технической точки зрения, эти предложения можно считать в какой-то степени обоснованными. Но с законодательной, юридической точки зрения они должны быть безусловно узаконены руководством энергосистем, если предлагаемые изменения правил ТО будут признаны целесообразными.

8. Основная информация об Имитаторе - модели энергосистемы F6000.



Фиг.1. F6150. Имитатор-модель энергосистемы. Вид спереди.



Фиг.2. Варианты применяемых схем тестирования

- Предварительно запрограммированные
- Программируемые оператором

9. Используемая информация:

1. Правила технического обслуживания устройств релейной защиты, электроавтоматики, дистанционного управления и сигнализации электростанций и подстанций 110-750 кВ. РД 34.35.617-89
2. IEEE C37.233. Power System Protection Testing 3. PSCAD/RELAY. Dynamic Transient Testing. The Professional's Tool for Protection System Testing. Manitoba HVDC Research Centre Inc. Winnipeg, Manitoba, Canada
4. F6150 Power System Simulator

Doble Engineering Company, USA.
www.doble.com