

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ И ИСПЫТАНИЙ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

Авторами рассмотрены методы моделирования для разработки и испытаний устройств релейной защиты. Проведен анализ подлежащих решению задач при проектировании новых типов защит с качественно изменяемыми алгоритмами функционирования, проверке их работоспособности на этапе разработки и внедрения, а также при диагностике и испытаниях действующих защит в период их эксплуатации. Предложенные методы и средства цифрового моделирования являются наиболее эффективными инструментами для решения рассмотренных задач и позволяют проводить исследования методом вычислительного эксперимента.



Ф.А. РОМАНЮК,
член-корреспондент
НАН Беларуси, д.т.н.,
профессор БНТУ



И.В. НОВАШ,
к.т.н., доцент, заведующий
кафедрой «Электрические
станции» БНТУ



В.Ю. РУМЯНЦЕВ,
к.т.н., доцент, заместитель
декана по научной работе
энергетического факультета
БНТУ



М.А. ШЕВАЛДИН,
м.т.н., аспирант БНТУ, начальник
отдела РЗА ГПО «Белэнерго»

Annotation

The authors studied simulation methods for the development and test of microprocessor-based relays. The authors analyzed the required tasks in the cases of designing of the new types of relay protection devices with completely changed function algorithms, testing the performance on the development and implementation stage, also at the time of diagnosing and testing of the existing relay protection devices during the period of their operation. The proposed methods and facilities of the digital simulation are the most effective tools for solving the considered tasks and allow to study these issues using the computer experiment.

Статья поступила в редакцию 30 ноября 2016 года

Введение

На современном этапе в мировой энергетике активно создаются и внедряются в эксплуатацию микропроцессорные защиты оборудования с качественно изменяемыми алгоритмами функционирования. Цифровые устройства релейной защиты получают массовое распространение в распределительных сетях и на трансформаторных подстанциях. В Белорусской энергосистеме уже эксплуатируются микропроцессорные устройства релейной защиты линий электропередачи, силовых трансформаторов, сборных шин как зарубежных, так и отечественных производителей.

В настоящее время в республике освоен промышленный выпуск токовых микро-

процессорных защит для линий распределительных сетей и трансформаторных подстанций. На следующей стадии освоения этой продукции предстоит решить ряд задач по исследованию и испытанию релейных защит на этапах проектирования, разработки и эксплуатации. Эти задачи можно разделить на три группы:

- проектные и эксплуатационные задачи;
- научные и конструкторские задачи;
- задачи испытаний промышленных образцов.

Наиболее эффективными инструментами решения этих задач являются методы и средства цифрового моделирования. Их выбор, а также размер и сложность моделируемых энергосистем,

степень детализации исследуемых процессов определяются целью и содержанием решаемых задач в каждой группе.

В настоящей статье рассматриваются методы моделирования для решения задач исследования релейных защит, рабочих и аварийных режимов защищаемого электроэнергетического оборудования.

Проектные и эксплуатационные задачи

В содержание проектных и эксплуатационных задач входят расчет установившихся режимов энергосистемы, их нарушений, связанных с повреждениями, выбор параметров срабатывания защит и определение показателей их технического совершенства.

Подобные задачи решаются с помощью программных комплексов, позволяющих определять действующие значения соответствующих электрических сигналов (токов, напряжений и др.) в установившихся рабочих и аварийных режимах, по которым рассчитываются параметры срабатывания защит и показатели их технического совершенства. При этом в основе модели системы лежат известные схемы замещения для расчета токов короткого замыкания, а моделирование защиты не требуется.

Научные и конструкторские задачи

Предметом задач этой группы является исследование новых способов выполнения защит и алгоритмов их функционирования, выбор и оптимизация параметров элементов, проверка работоспособности на этапе подготовки к технической реализации.

Научные и конструкторские задачи решаются с помощью одного или нескольких программных комплексов, ориентированных на расчет электромагнитных переходных процессов, как в элементах энергосистемы, так и в цепях защиты. Наиболее рациональным представляется наличие двух комплексов (рис. 1), один из которых обеспечивает воспроизведение режимов работы энергосистемы, а второй – функционирование устройства релейной защиты. Указанные комплексы могут использоваться независимо друг от друга. Вначале с помощью программного комплекса, моделирующего элементы энергосистемы, рассчитываются интересующие исследователей режимы ее работы и формируются файлы контролируемых защитой



Рис. 1. Взаимодействие программных комплексов при цифровом моделировании защиты

электрических сигналов. После этого запускается программный комплекс, моделирующий функционирование защиты, поведение которой оценивается под воздействием ранее рассчитанных входных сигналов защиты.

Модели, положенные в основу двух указанных программных комплексов, могут отличаться различной степенью детализации содержащихся элементов. Наиболее высокую степень детализации элементов должны иметь модели устройства защиты защищаемого объекта и сопряженного с ним оборудования.

В Белорусском национальном техническом университете на кафедре «Электрические станции» имеется достаточный опыт разработки и реализации программных комплексов для решения задач данной группы [1, 2, 3]. В частности, аспирантами кафедры разработаны программные комплексы, моделирующие входные информационные аналоговые и цифровые элементы аппаратной части и функциональные свойства защит, реализуемые логикой программной части. Так, в диссертационной работе М.С. Ломана на соискание степени кандидата технических наук (руководитель профессор Ф.А. Романюк) [4] разработаны модель



Рис. 2. Устройство микропроцессорной защиты силового трансформатора MP 801

микропроцессорной защиты MP 801 (рис. 2) и ее программная реализация.

Для получения контролируемых защитой электрических сигналов (входных токов) на кафедре разрабатываются программные комплексы воспроизведения рабочих и аварийных режимов защищаемых объектов энергосистем. В результате выполнения подпрограммы «Энергобезопасность и надежность энергоснабжения» Государственной программы научных исследований (ГПНИ) «Энергобезопасность, энергоэффективность и энергосбережение, атомная энергетика» в 2013

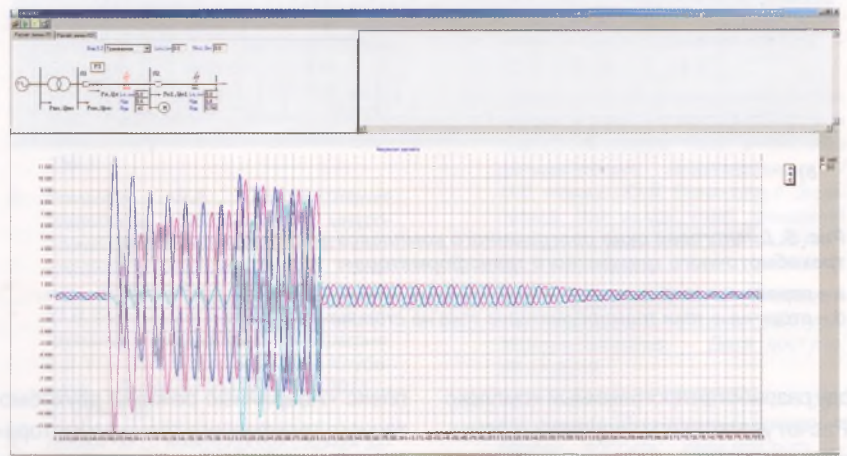


Рис. 3. Диалоговое окно программного комплекса «Расчет удаленных междуфазных замыканий и однофазных замыканий на землю в линиях 6(10)–35 кВ»

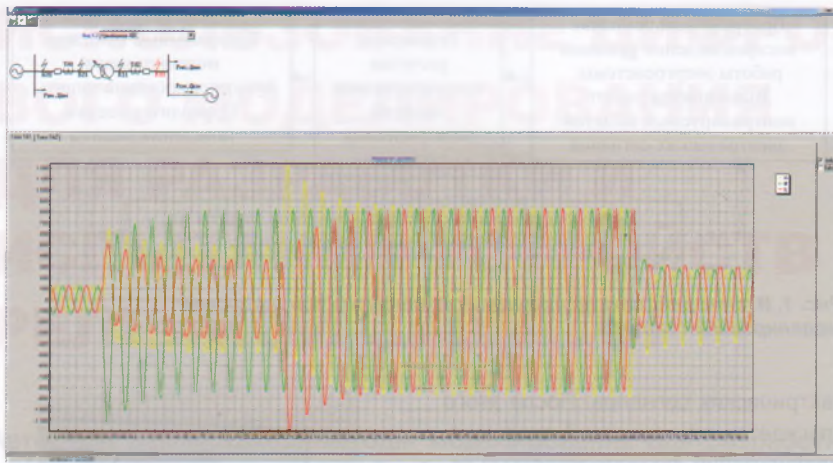
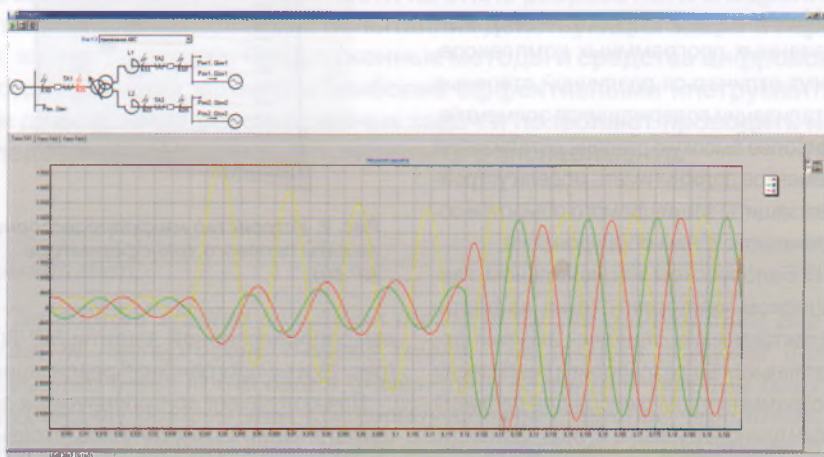
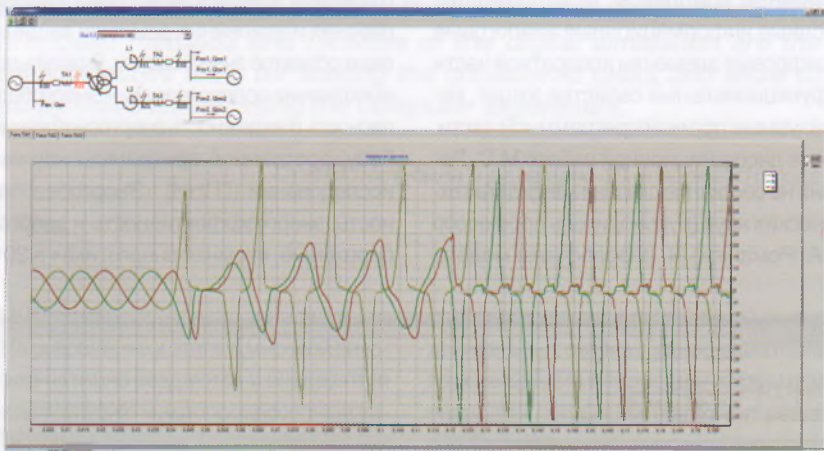


Рис. 4. Диалоговое окно программного комплекса «Аварийные режимы двухобмоточного трехфазного трансформатора»



а)



б)

Рис. 5. Диалоговое окно программного комплекса «Аварийные режимы трехобмоточного трехфазного трансформатора»:

а – первичные токи трансформаторов тока на стороне ВН;
б – вторичные токи трансформаторов тока на стороне ВН

году разработан программный комплекс «Расчет удаленных междуфазных замыканий и однофазных замыканий на землю в линиях 6 (10)–35 кВ» [5] (рис. 3).

В 2014 году в рамках этой же ГПНИ был разработан программный ком-

плекс «Аварийные режимы двухобмоточного трехфазного трансформатора» (рис. 4), а в 2015-м – программный комплекс «Аварийные режимы трехобмоточного трехфазного трансформатора» [6] (рис. 5).

Основным достоинством разработанных программных комплексов является то, что они позволяют выполнять расчеты вторичных токов трансформаторов тока с учетом их несинусоидальных форм, обусловленных наличием в энергосистеме нелинейных элементов, и насыщения магнитопроводов трансформаторов (рис. 5, б). Результаты расчетов программных комплексов (массивы мгновенных значений вторичных токов трансформаторов тока) сохраняются во внешнем файле результатов и могут быть использованы в качестве исходных данных для программных комплексов моделирования защит.

Применение системы динамического моделирования MATLAB позволяет создавать программные комплексы, совместно моделирующие защищаемый объект и исследуемую защиту. Так, в результате выполнения задания упомянутой выше ГПНИ в 2016 году разработан программный комплекс для исследования микропроцессорной дифференциальной защиты трехфазного силового трансформатора.

Программный комплекс [7] разработан в среде MATLAB-Simulink с использованием пакета расширения SimPowerSystems и включает в себя модели питающей системы, трехфазного силового трансформатора, трехфазной группы трансформаторов тока и модели цифровой дифференциальной защиты трансформатора. Использование библиотечных моделей пакета SimPowerSystems [8], разработанных моделей трехфазной группы трансформаторов тока [9] и цифровой дифференциальной защиты трансформатора [10] позволяет создавать комплексные модели достаточно сложных систем со значительно меньшими трудозатратами по сравнению с традиционными методами математического моделирования.

Задачи испытаний промышленных образцов защиты

В содержание задач данной группы входит проведение всесторонних испытаний новых образцов защиты, получение первого опыта эксплуатации, а при необходимости – и оценка влияния их действия на режимы работы энергосистемы.

Для решения указанных задач требуются программно-аппаратные комплексы моделирования процессов в режиме реального времени с включением в состав этих комплексов реального устройства защиты.

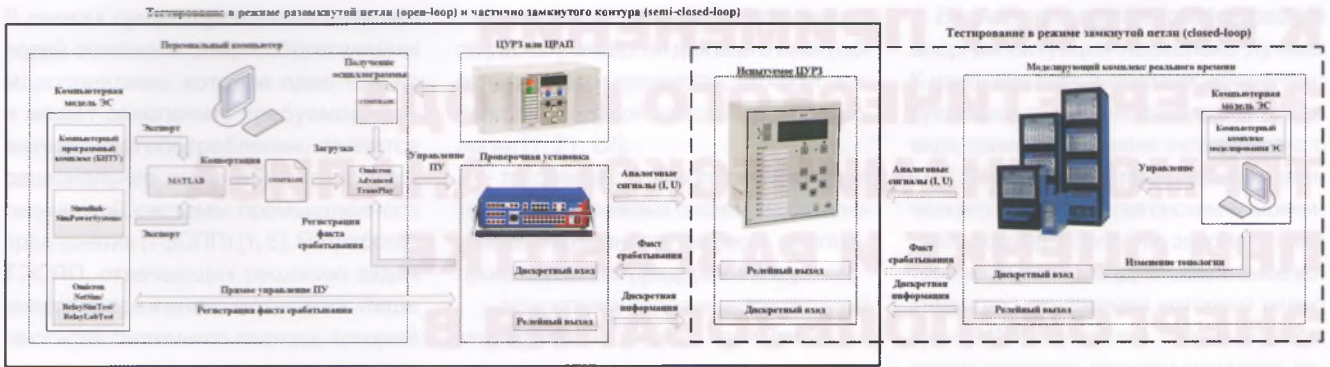


Рис. 6. Способы организации проведения тестирования защит

Компоненты моделирующего комплекса и присоединенное к нему устройство защиты образуют систему, функционирующую в режиме так называемого жесткого реального времени (время реакции на событие со стороны модели минимально).

Программно-аппаратный комплекс содержит вычислительную подсистему, которая обеспечивает решение уравнений моделей элементов энергосистемы в темпе исследуемого процесса.

В зависимости от целей решаемых задач может быть по-разному организовано функционирование моделирующего комплекса. Это могут быть комплексы с разомкнутым циклом и комплексы с замкнутым циклом проведения тестирования защит (рис. 6).

Комплексы первого типа (open loop) позволяют исследовать реакции и поведение защиты при возникновении повреждений в энергосистеме. Комплексы с замкнутым циклом (closed loop) предоставляют возможность не только оценки действия защиты при повреждениях, но и анализа ее влияния на возникающие в энергосистеме процессы.

В настоящее время для решения задач третьей группы в мировой практике используются установки RTDS Simulator (real time power system simulation) производства компании RTDS Technologies Inc., Канада [11, 12]. RTDS – достаточно дорогостоящее оборудование, и его использование только в виде комплексов с разомкнутым циклом экономически не оправдано, в то же время применение RTDS в режиме с замкнутым циклом является практически безальтернативным.

Комплексы с разомкнутым циклом и использованием автономного моделирования режимов энергосистемы могут быть реализованы на основе персональных компьютеров и испытательных

комплектов, например таких, как СМС 356 компании «Омикрон». Работы в этом направлении активно проводятся в БНТУ на кафедре «Электрические станции».

Вывод

Метод цифрового моделирования позволяет решать научные и конструкторские задачи при исследовании новых способов выполнения защит и алгоритмов их функционирования, выборе и оптимизации параметров элементов, проверке работоспособности на этапе подготовки к технической реализации. Метод может быть применен при проведении всесторонних испытаний новых образцов защиты, получении первого опыта эксплуатации, а также при оценке влияния действия защиты на режимы работы энергосистемы.

Список литературы

1. Романюк, Ф.А. Информационное обеспечение вычислительного эксперимента в релейной защите и автоматике энергосистем / Ф.А. Романюк, В.И. Новаш. – Минск: ВУЗ-ЮНИТИ, 1998. – 174 с.
2. Новаш, И.В. Математическое моделирование коммутационных режимов в электроустановках с трансформаторами / И.В. Новаш, Ф.А. Романюк. – Минск: БНТУ, 2013. – 226 с. – ISBN 978-985-550-236-5.
3. Романюк, Ф.А. Перспективные технологии реализации микропроцессорных защит линий распределительных сетей / Ф.А. Романюк, И.В. Новаш, В.Ю. Румянцев, Ю.В. Румянцев // Перспективные материалы и технологии: монография: в 2 т. – Т. 1 / под ред. В.В. Клубовича. – Витебск: УО «ВГТУ», 2015. – С. 115–139.
4. Ломан, М.С. Микропроцессорная защита силовых понижающих трансформаторов: дис. ... канд. техн.

наук: 05.14.02 / М.С. Ломан. – Минск, 2015. – 156 л.

5. Совершенствование математических моделей элементов распределительных сетей для исследования новых принципов выполнения микропроцессорных защит: отчет о НИР (заключительный по ГБ 11-05) / БНТУ; рук. темы И.В. Новаш. – Минск, 2013. – 116 с. – № ГР 20110998.
6. Совершенствование математических моделей элементов трансформаторных подстанций для исследования новых принципов выполнения микропроцессорных защит: отчет о НИР (заключительный по ГБ 14-18) / БНТУ; рук. темы И.В. Новаш. – Минск, 2015. – 105 с. – № ГР 20141049.
7. Румянцев, Ю.В. Комплексная модель для исследования функционирования цифровой дифференциальной защиты силового трансформатора / Ю.В. Румянцев // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2016. – № 3. – С. 203–224.
8. Дьяконов, В.П. MATLAB и Simulink для радиоинженеров / В.П. Дьяконов – М.: ДМК–Пресс, 2011. – 975 с.
9. Новаш, И.В. Расчет параметров модели трехфазного трансформатора из библиотеки MATLAB-Simulink с учетом насыщения магнитопровода / И.В. Новаш, Ю.В. Румянцев // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2015. – № 1. – С. 12–24.
10. Новаш, И.В. Реализация математической модели трехфазной группы трансформаторов тока в системе динамического моделирования / И.В. Новаш, Ю.В. Румянцев // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2014. – № 3. – С. 19–28.
11. Сайт компании EnnLAB [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ennlab.ru/rus>. – Дата доступа: 26.11.2016.
12. Сайт компании RTDS Technologies Inc. Canada [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.rtds.com. – Дата доступа: 26.11.2016.