

**АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЕ ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ ПРОВЕРКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЦИФРОВЫХ ТОКОВЫХ ЗАЩИТ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК**

**Романюк Ф.А., Новаш И.В., Румянцев Ю.В., Румянцев В.Ю.**

*БНТУ, г. Минск, Беларусь, E-mail: faromanuk@bntu.by, novashiv@tut.by*

Рост генерирующих мощностей, усложнение топологии сети передачи и распределения электрической энергии является причиной возникновения новых, ранее не характерных, режимов работы энергетической системы (ЭС). Данное обстоятельство требует от производителей цифровых устройств релейной защиты (ЦУРЗ) предварительного их испытания в условиях, максимально приближенных к реальным. Наиболее рациональным и эффективным способом данных испытаний является метод математического моделирования. Для этого создаются аппаратно-программные испытательные комплексы (АПИК), в программной части которых на персональном компьютере (ПК) реализуются комплексные математические модели ЭС и измерительных трансформаторов, а аппаратная часть – содержит проверочное устройство и испытуемое ЦУРЗ.

Поскольку полную математическую модель всей ЭС, по которой рассчитывались бы входные сигналы релейной защиты, составить невозможно, то из ЭС выделяется фрагмент в виде т. н. обобщенного электроэнергетического объекта (ОЭО). Расчетная схема ОЭО должна содержать все элементы, которые оказывают заметное количественное и качественное влияние на входные сигналы (вторичные токи трансформаторов тока), подводимые к устройству защиты.

В настоящей работе моделирование ОЭО проводится в системе динамического моделирования (СДМ) Matlab-Simulink, в состав которой входит пакет расширения SimPowerSystems (SPS), ориентированный на имитационное моделирование электротехнических устройств. В СДМ Matlab-Simulink принципиально изменен характер требований к математическому обеспечению и управлению всем ходом вычислительного процесса. Модель ОЭО представляется в виде структурной схемы и не требует написания кода программы из-за наличия библиотеки готовых программ, используемых для решения отдельных прикладных задач [1]. Это особенно важно для задач инженерной направленности, когда требуется самостоятельно смоделировать фрагмент энергосистемы, не углубляясь в тонкости математического моделирования самих элементов.

Однако в стандартных библиотеках SPS присутствуют не все необходимые модели электрооборудования. Например, отсутствует модель трансформатора тока (ТТ), а для модели силового трансформатора и некоторых других блоков не указаны методики расчета их параметров. При этом, именно моделированию трансформаторов тока, как элементов, сигналы которых непосредственно воздействуют на входные цепи защиты, следует уделять особое внимание [2]. Неточное задание параметров в любом блоке структурной схемы приводит к снижению достоверности результатов моделирования, несмотря на то, что все модели, входящие в данный пакет, проверены в лабораториях канадского производителя электроэнергии – компании Hydro-Québec, где подтверждена адекватность их реализации и математического описания [3].

Поэтому, результаты, получаемые от испытательных комплексов, реализованных в СДМ Simulink-SimPowerSystems, необходимо сопоставить с результатами полученными от других компьютерных программных комплексов (КПК), принятых за эталонные [4], а также с натурными испытаниями [5]. При высоком совпадении результатов моделирования в СДМ с результатами КПК, принятых за эталонные, можно считать, что модели отдельных элементов системы, созданные в Simulink-SimPowerSystems адекватно функционируют, и могут быть использованы для построения моделей других аналогичных систем, структура которых отличается от эталонной.

В результате проведенных исследований установлено, что при правильном выборе параметров блоков, из которых строятся модели электрооборудования, результаты моделирования отличаются не более чем на 3% от результатов, полученных в эталонных компьютерных программах, которые, в свою очередь, не более чем на 10% отличаются от результатов натурального эксперимента [6].

Структурная схема АПИК представлена на рисунке 1. ПК подключается к проверочному устройству и используется как управляющий компьютер, с помощью которого также осуществляется и моделирование в СДМ Simulink-SimPowerSystems режимов работы ОЭО.

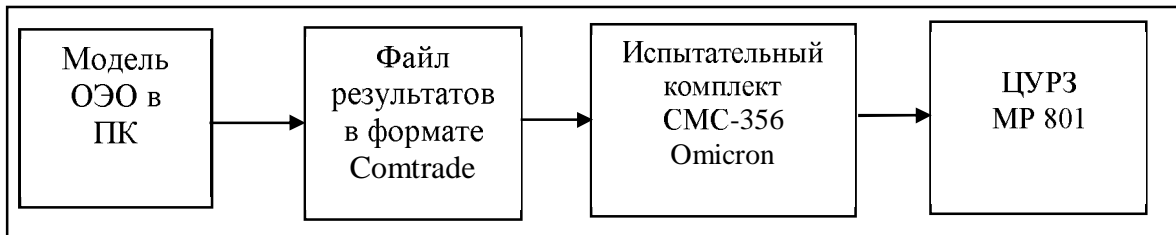


Рисунок 1 – Структура аппаратно-программного испытательного комплекса

Проверочное устройство Omicron CMC 356 – это испытательный комплект 6-фазного тока и 4-фазного напряжения, которое имеет мощные токовые выходы (трехфазный режим работы: до 64 А/860 ВА на фазу).

Объектом исследования выбрана максимальная токовая защита (МТЗ) мгновенного действия, входящая в состав цифрового устройства типа МР 801 производства ОАО «Белэлектромонтажналадка».

В качестве входных воздействий использовались сигналы вторичного тока ТТ. Такой выбор входных сигналов объясняется тем, что основными повреждениями в энергосистеме являются короткие замыкания (КЗ), токи которых не являются периодическими сигналами из-за наличия в них экспоненциально затухающей апериодической составляющей. Информация о токах повреждения передается к ЦУРЗ через электромагнитные измерительные ТТ, магнитопроводы которых входят в насыщение от апериодической составляющей тока КЗ, в результате чего происходит искажение формы вторичного тока ТТ.

Полученные в результате моделирования сигналы вторичного тока ТТ преобразовывались в унифицированный формат COMTRADE и далее подавались с помощью проверочной установки Omicron CMC 356 на аналоговые входы тока испытуемого ЦУРЗ. Управление проверочной установкой осуществлялось при помощи ПК с установленным на нем специальным программным обеспечением TransPlay, обеспечивающим выбор и воспроизведение заранее подготовленных осциллограмм аварийных процессов в формате COMTRADE.

После подачи в устройство МР 801 каждого тестового воздействия осуществлялось сохранение записей его аварийного регистратора, в которых фиксировались время срабатывания испытуемой токовой защиты и форма подводимых тестовых воздействий (рис. 2).

Было сформировано 18 тестовых воздействий, которые отражали наиболее характерные формы вторичного тока ТТ при КЗ в ЭС.

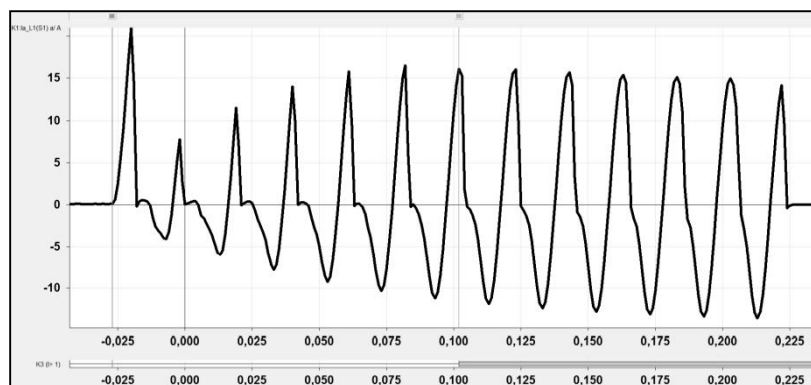


Рисунок 2 – Визуальная интерпретация файла аварийной осциллограммы ЦУРЗ МР801

Проведенные расчеты позволили выявить некоторые особенности работы МТЗ в составе реле МР801, которые не проявлялись при гармонических тестовых

воздействиях. Так, при наличии в аварийном сигнале аperiodической составляющей, когда ТТ входит в глубокое насыщение, его вторичный ток снижается по амплитуде в сравнении с идеально трансформируемым током. Это приводит к тому, что процесс выделения цифровым фильтром Фурье действующего значения контролируемого сигнала чрезмерно затягивается (до 3-4 периодов промышленной частоты), а форма сигнала приобретает колебательный характер.

Таким образом, использование системы динамического моделирования Matlab-Simulink в качестве программного обеспечения АПИК для испытания цифровых токовых защит электроустановок позволяет при минимальных затратах времени формировать достоверные тестовые воздействия на проверяемые защиты, отличающиеся от реальных сигналов не более чем на 10-15%.

### Список литературы:

1. Дэбни, Дж. Simulink 4. Секреты мастерства / Дж. Б. Дэбни, Т.Л. Харман; Пер.с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2003.-403 с.
2. Новаш, И. В. Упрощенная модель трехфазной группы трансформаторов тока в системе динамического моделирования / И. В. Новаш, Ю. В. Румянцев // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2015. – № 5. – С. 23–38.
3. SimPowerSystems.User'sGuide. TheMathWorks, Inc. –2012. -411p.
4. 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.
5. Ломан, М.С Микропроцессорная защита силовых понижающих трансформаторов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.14.02 / М.С. Ломан; Белорусский нац. техн. у-нт. – Минск, 2015. – 25 с.
6. Romanyuk, F. Validation of mathematical model of differential protection / F. Romanyuk, I. Novash, M. Loman, P. Węgierek, M. Szrot // Przegląd elektrotechniczny. – 2014. – № 3. – P. 187–190.