

Ю. А. Крюков, И. В. Енютин

Интеллектуальная релейная защита

Для создания активно-адаптивных электрических сетей необходимы интеллектуальные цифровые устройства релейной защиты. В статье описывается разработка устройства интеллектуальной релейной защиты электрической сети, способной заменить совокупность традиционных терминалов релейной защиты. Созданы алгоритмы и математические модели релейной защиты, смоделированы аварийные режимы работы. Обработка токов и напряжений, реализация алгоритмов выполняется с помощью микроконтроллеров STM32F4. Описан макет устройства, который предполагается испытать на физической модели электрической сети.

Ключевые слова: релейная защита, электрическая сеть, алгоритм, устройство, аварийная ситуация, микроконтроллер, макет.

Об авторах

Крюков Юрий Алексеевич — кандидат технических наук, проректор по информатизации и инновационной деятельности Государственного университета «Дубна».

Енютин Игорь Валентинович — технический директор ООО «Турбозенергоремонт», г. Санкт-Петербург.

Одним из перспективных направлений современной электроэнергетики является развитие активно-адаптивных электрических сетей. В отличие от традиционных электрических сетей, они активно участвуют в процессе передачи и распределения электроэнергии: их конфигурация, параметры и характеристики изменяются в реальном времени в зависимости от требуемого режима работы [1; 2].

Необходимым условием создания активно-адаптивной электрической сети является использование интеллектуальных цифровых устройств релейной защиты (РЗ) от аварийных режимов работы сети. Интеллектуальные устройства РЗ не только выполняют основные защитные функции, как традиционные электромеханические реле, но и автоматически передают информацию о параметрах сети и произведенных действиях на верхние уровни управления сетью [3—6]. Кроме того, они позволяют реализовать дистанционные настройку, управление и диагностику.

В настоящее время система релейной защиты электрической сети представляет собой совокупность микропроцессорных терминалов РЗ, соединенных между собой

каналами связи. Каждый из терминалов защищает один объект сети (например, трансформатор подстанции), поэтому общее их количество и стоимость системы РЗ значительны. Представляет интерес разработка устройства интеллектуальной РЗ, объединяющего защитные функции нескольких терминалов и пригодного для использования в сетях различных классов напряжений. Такая разработка ведется университетом «Дубна» в рамках реализации прикладных научных исследований на тему: «Разработка интеллектуальной релейной защиты с характеристиками, не зависящими от режимов работы активно-адаптивной электрической сети».

В устройстве данные о режиме работы электрической сети (токи и напряжения) преобразовываются измерительными трансформаторами, оцифровываются и передаются в центральный вычислительный узел для обработки (рис. 1). Туда же поступает информация о реальном положении коммутационных аппаратов, что дает возможность анализа топологии и режима электрической сети в реальном времени, а также адаптивной настройки уставок в зависимости от текущей конфигурации сети [7]. Совокупность алгоритмов защиты для всех объектов сети обрабатывается центральным процессорным устройством, которое в случае необходимости выдает команды на отключение выключателей поврежденных элементов.

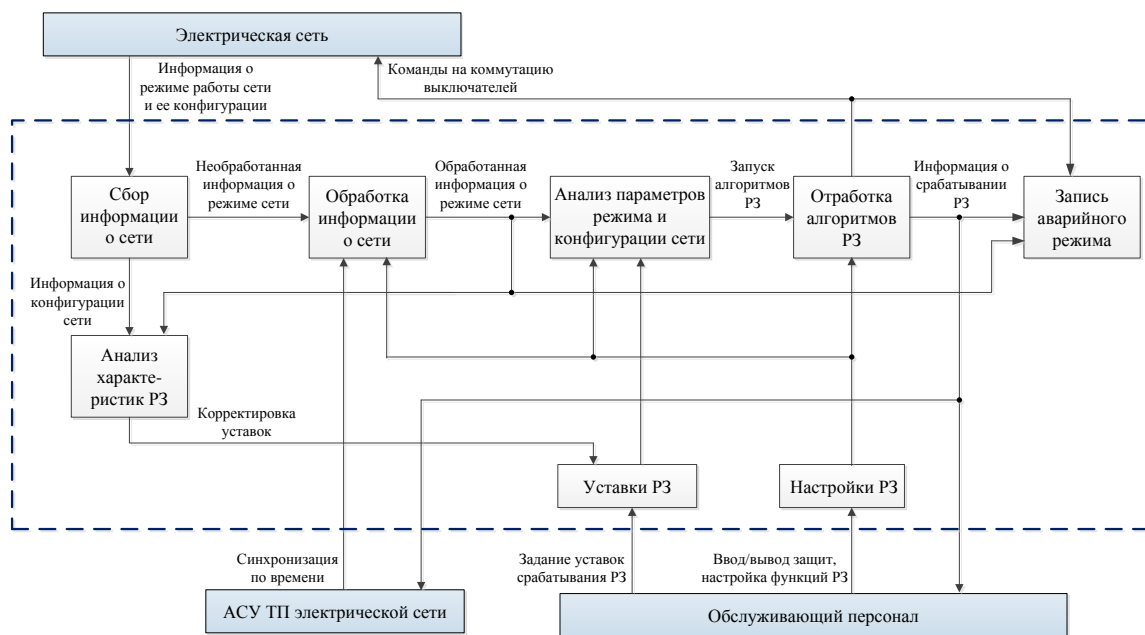


Рис. 1. Функциональная схема устройства релейной защиты электрической сети

К настоящему времени были разработаны алгоритмы и математические модели релейной защиты, которые позволяют реализовать все необходимые защитные функции. Как пример, на рис. 2 приведен график

фазных токов в линии электропередачи при возникновении двухфазного короткого замыкания, полученный в ходе моделирования электрической сети.

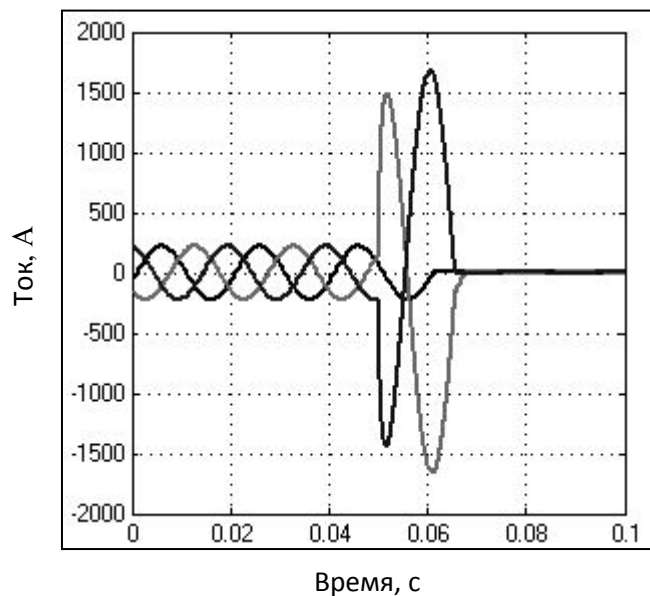


Рис. 2. График фазных токов линии электропередачи при моделировании двухфазного короткого замыкания

Как видно из рисунка, при аварии токи возросли приблизительно в 6 раз, затем сработала модель релейной защиты и отключи-

ла поврежденную линию, при этом полное время отключения составило 0,02 с.

Поскольку к устройству РЗ предъявляются повышенные требования по быстродействию (полное время срабатывания не должно превышать 0,03 с), алгоритмы были оптимизированы для достижения минимального времени расчета, в том числе с использованием встроенных функций микроконтроллеров, выполняющихся за один такт.

Для выполнения базовой обработки токов и напряжений (цифровая фильтрация, выделение гармонических составляющих), а также для реализации алгоритмов релейной

защиты были выбраны микроконтроллеры серии STM32F4. Они характеризуются очень широкими функциональными возможностями при сравнительно невысокой цене. В частности, весьма полезными особенностями микроконтроллеров этой серии для целей релейной защиты и обработки сигналов являются встроенные функции цифровой обработки сигналов (DSP) и аппаратная поддержка вычислений с плавающей точкой (FPU) (рис. 3).

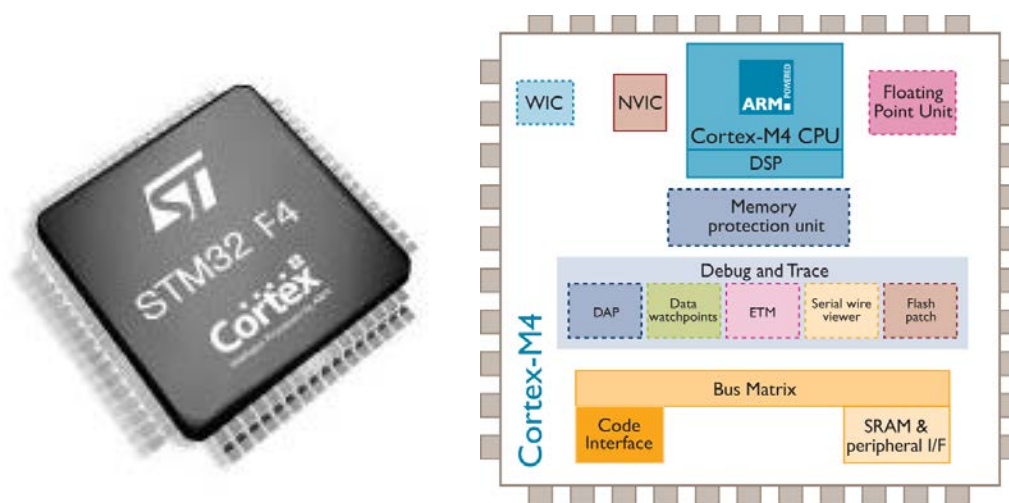


Рис. 3. Внешний вид (слева) и основные компоненты архитектуры ядра (справа) микроконтроллера STM32F4

На текущем этапе выполнения научных исследований изготавливается макет устройства релейной защиты (рис. 4).

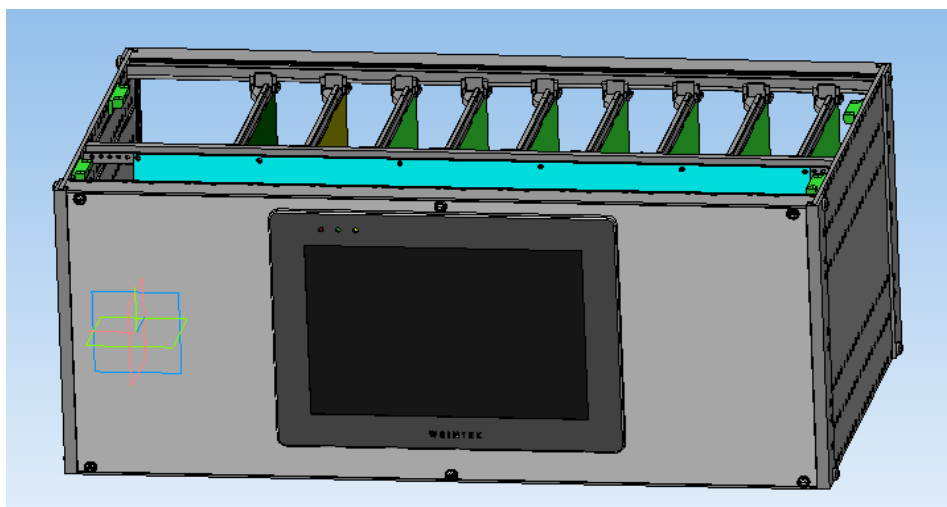


Рис. 4. 3D модель макета устройства релейной защиты (верхняя и задняя крышки сняты)

Корпус изготовлен с использованием комплектующих Rittal и может быть смонтирован в стандартный 19-дюймовый крейт либо устанавливаться в качестве отдельного устройства на любой ровной поверхности.

Кабели для подключения к измерительным трансформаторам электрической сети, а также кабели связи присоединяются к печатным платам с тыльной стороны. Для реализации человеко-машинного интерфейса на передней стороне закреплена промышленная панель оператора *Weintek MT8071iE*, с помощью которой можно просматривать параметры текущего режима сети, контролировать и изменять уставки релейной защиты, а также просматривать осциллограммы аварийных режимов.

Для экспериментальной проверки разработанных алгоритмов и моделей планируется подключение макета устройства интеллектуальной РЗ к модельной физической электрической сети, в которой задаются различные виды аварийных ситуаций. Совпадение результатов работы устройства, подтвержденных осциллограммами, с заложенной логикой срабатывания подтвердит корректность его функционирования.

Прикладные научные исследования по данной тематике выполняются при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации согласно Соглашению о предоставлении субсидии № 14.607.21.0078 от 20.10.2014 г. Уникальный идентификатор проекта RFMEFI60714X0078.

Заключение

Устройство релейной защиты электрической сети способно объединить защитные функции нескольких терминалов и может быть использовано в сетях различных

классов напряжений. Для этого устройства разработаны алгоритмы и математические модели защиты, оптимизированные для достижения минимального времени расчета. Для обработки токов и напряжений, а также для реализации алгоритмов РЗ использованы микроконтроллеры серии *STM32F4*. Изготавливается макет устройства релейной защиты, который в дальнейшем будет испытываться на модельной физической электрической сети.

Библиографический список

1. Основные положения Концепции интеллектуальной энергосистемы с активно-адаптивной сетью. — Электрон. дан. — URL: http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/ies_aas.pdf.
2. Smart Grids: Infrastructure, Technology, and Solutions (Electric Power and Energy Engineering) / edited by Stuart Borlase. — CRC Press, 2012. — 607 p.
3. Дьяков, А. Ф. Микропроцессорная автоматика и релейная защита электроэнергетических систем / А.Ф. Дьяков, Н.И. Овчаренко. — 2-е изд., стер. — Москва : Изд. дом МЭИ, 2010. — 336 с.
4. Нудельман, Г. С. Релейная защита следующего десятилетия // Электроэнергия. Проблема и распределение. — 2011. — № 2.
5. Ransom, D. L. Upgrading Relay Protection: Be Prepared for the Next Replacement or Upgrade Project // IEEE Industry Applications Magazine. — 2014. — V. 20, issue 5. — P. 71—79.
6. Modern Solutions for Protection, Control and Monitoring of Electric Power Systems / edited by Hector J. Altuve Ferrer, Edmund O. Schweitzer. — Quality Books, Inc., 2010. — 361 p.
7. Шнеерсон, Э. М. Цифровая релейная защита / Э.М. Шнеерсон. — Москва : Энергоатомиздат, 2007. — 549 с.

Поступила в редакцию
22.12.15