

**ПРОГРАММНО-АППАРАТНАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ
ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК**

Н.Ю. Рубан, В.Е. Рудник, С.В. Ткаченко

Научный руководитель - доцент Н.Ю. Рубан

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г.Томск, Россия

Электроснабжение промышленных объектов нефтегазового сектора России зачастую осуществляется децентрализованно, что характерно прежде всего для северных районов нашей страны. Для электроснабжения потребителей изолированных районов во всем мире все чаще используют возобновляемые источники энергии, в том числе ветроэнергетические установки. Между тем известно, что именно северные районы России обладают наибольшим ветропотенциалом. Таким образом, использование ветроэнергетических установок позволяет в значительной степени решить проблему децентрализованного электроснабжения изолированных районов [1].

Оценить эффективность функционирования ветроэнергетической установки конкретного типа в конкретном районе электроснабжения возможно посредством математического моделирования. Одним из вариантов моделирования, обеспечивающим наиболее адекватное воспроизведение процессов в оборудовании и электрической сети, является гибридное моделирование [2]. В рамках данного подхода разработана программно-аппаратная платформа, позволяющая проводить всестороннее исследование моделей ветроэнергетических установок. Структурная схема указанной платформы представлена на рис. 1.

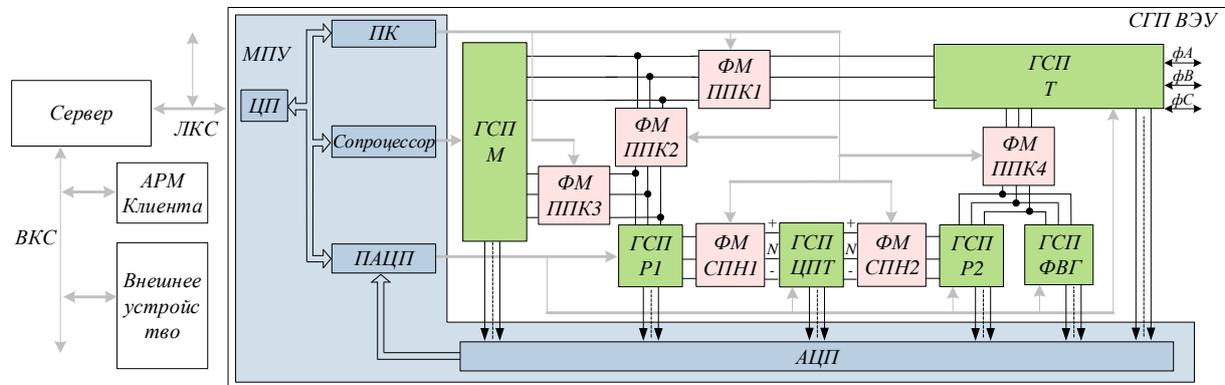


Рис. 1. Структурная схема программно-аппаратной платформы: МПУ – микропроцессорный узел, ПК – процессор коммутации, ЦП – центральный процессор, ПАЦП – процессор аналого-цифрового преобразования, СПП ВЭУ – специализированный гибридный процессор ветроэнергетической установки, ГСПМ (Т, Р, ФВГ) – гибридный специализированный электрической машины (трансформатора, реактора, фильтра высших гармоник), ФМ СПН (ППК) – физическая модель статического преобразователя напряжения (продольно-поперечного коммутатора), ЛКС (ВКС) – локальная (внешняя) компьютерная сеть

В данной структурной схеме микропроцессорный узел обеспечивает все информационно-управляющие функции специализированного гибридного процессора ветроэнергетической установки: коммуникации с сервером платформы, прием и обработка данных моделирования, реализация систем автоматического управления, управление параметрами моделируемого оборудования, в том числе состоянием цифруемых аналоговых ключей физической модели статического преобразователя напряжения и продольно-поперечного коммутатора.

Центральный процессор предназначен для обеспечения взаимодействия посредством локальной компьютерной сети между сервером платформы и процессором аналого-цифрового преобразования, сопроцессором и процессорами коммутации, и выполняет функции приема от сервера платформы режимных данных и задание их в соответствующие гибридные сопроцессоры, передачу данных моделирования на Сервер платформы, синхронизации работы всех процессоров микропроцессорного узла.

Посредством процессора аналого-цифрового преобразования обеспечивается аналого-цифровое преобразование, чтение и обработка данных моделирования гибридных сопроцессоров, а также функциональное управление, включая динамическое, задаваемыми в соответствующие гибридные сопроцессоры параметрами моделируемого оборудования, в частности электрической машины, трансформатора связи и др., а также передачу необходимых режимных данных и параметров в сопроцессор. Кроме этого в процессоре аналого-цифрового преобразования осуществляется оцифровка и функциональная обработка данных моделирования для реализации алгоритмов системы автоматического управления статического преобразователя напряжения: преобразование координат, формирование управляющих воздействий для широтно-импульсной модуляции и др.

Посредством сопроцессора осуществляется прием данных от центрального процессора и процессора аналого-цифрового преобразования для решения модели ветротурбины, трансмиссии, систем возбуждения и реализации системы автоматического управления, а также для формирования и трансляции параметров в гибридный сопроцессор электрической машины ветроустановки.

В процессоре коммутации реализуются широтно-импульсная модуляция и формирование управляющих воздействий для цифруправляемых аналоговых ключей, а также быстродействующей защиты статического преобразователя напряжения и ветроэнергетической установки в целом.

Каждый гибридный сопроцессор представляет собой специализированные параллельные цифро-аналоговые структуры методически точного непрерывного неявного интегрирования в реальном времени и на неограниченном интервале систем дифференциальных уравнений математических моделей моделируемого оборудования с цифровым управлением, в том числе функциональным, параметрами данных математических моделей, осуществляемого путем цифро-аналогового преобразования, и преобразованием представленных мгновенными значениями напряжений непрерывных математических переменных входных-выходных токов в соответствующие им модельные физические токи.

Универсальность схемы достигается за счет следующих аспектов:

С помощью управления физической моделью продольно-поперечного коммутатора можно конфигурировать различные схемы ветроэнергетической установки:

- при включенном состоянии физической модели продольно-поперечного коммутатора №1, №3 и №4, и отключенном состоянии физической модели продольно-поперечного коммутатора №2 возможно воспроизведение ветроэнергетической установки 3-го типа;

- при включенном состоянии физической модели продольно-поперечного коммутатора №2 и №4, и отключенном состоянии физической модели продольно-поперечного коммутатора №1 и №3 возможно воспроизведение ветроэнергетической установки 4-го типа.

Каждый гибридный сопроцессор может реализовывать различные типы моделируемого оборудования (например, различные виды электрических машин, двух или трехобмоточный трансформатор, различные схемы фильтров высших гармоник).

Специфика построения физической модели позволяет воспроизводить различные топологии статического преобразователя напряжения.

Для обеспечения адекватности воспроизводимых коммутационных процессов в силовых полупроводниковых ключах, в частности обеспечения вольтамперной характеристики каждого моделируемого ключа, разработанная физическая модель статического преобразователя напряжения дополняется соответствующими моделируемыми коммутациям RC-схемами замещения.

Для оценки свойств и возможностей разработанного гибридного сопроцессора электрической машины в составе платформы на примере модели синхронного генератора на постоянных магнитах, а также для подтверждения адекватности воспроизведения моделью нормальных и аномальных квазиустановившихся и переходных процессов, протекающих в машинах на постоянных магнитах, проведен комплекс экспериментальных исследований. В качестве эталонной модели, с которой производились сравнения полученных экспериментальных данных, принята модель, реализованная в программно-аппаратном комплексе Real Time Digital Power System Simulator [3]. В частности, на рис. 2 представлены результаты проверки адекватности воспроизведения переходных процессов при моделировании короткого замыкания.

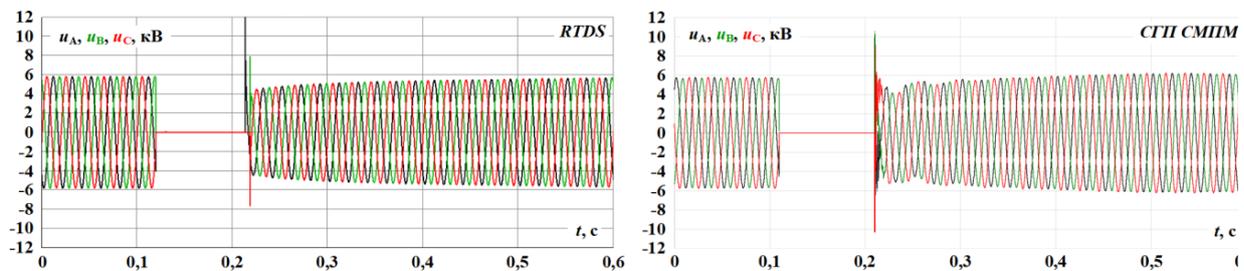


Рис. 2. Результирующие осциллограммы напряжения на выводах электрической машины при возникновении трехфазного короткого замыкания

Результаты экспериментов подтвердили высокую адекватность разработанной модели ветроэнергетической установки, при этом расхождения полученных значений оказались незначительны (менее 1%), что объясняется инструментальной погрешностью интегральных микроэлектронных элементов, используемых при разработке специализированного гибридного процессора ветроэнергетической установки.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, грант МК-1675.2019.8.

Литература

1. Башмаков И.А. Повышение эффективности энергоснабжения в северных регионах России // ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ. – 2017. – № 2, С. 46 – 52.
2. Гусев А.С. Концепция и средства всережимного моделирования в реальном времени электроэнергетических систем // Известия Вузов. Проблемы энергетики. – 2008. № 9.10/1. – С. 164 – 170
3. Законьшек Я. Краткая история моделирования в реальном времени электроэнергетических систем // Релейщик. – 2014. – № 2 (18). – С. 20 – 23