

## РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОЙ ГИБРИДНОЙ МОДЕЛИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Разживин И.А., Суворов А.А., Рудник В.Е.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Нефтегазодобывающие предприятия являются значительными потребителями электроэнергии среди промышленных предприятий России. Специфика их электроснабжения обусловлена удаленностью от электроэнергетических систем, поэтому их называют децентрализованными. Некоторые объекты работают совместно с объединенной энергосистемой, но в большинстве своем нефте- и газопромислы работают в изолированном от энергосистем режиме [5]. Основой электроэнергии для таких объектов выступают газотурбинные, газопоршневые и дизельные установки. Предлагаемое сегодня внедрение генерации на основе возобновляемых источников энергии, ввиду развития и удешевления этой отрасли, ставит новые вызовы перед энергетиками и является достаточно перспективным решением проблемы удаленности от энергосистем.

При перспективном и рабочем проектировании систем электроснабжения, с целью анализа режимов их работы, в том числе аварийных преимущественно используются результаты математического моделирования, полученные в результате решения дифференциальных уравнений моделируемой энергосистемы в известных программно-вычислительных комплексах. Авторы предлагают в качестве средства для моделирования использовать собственную разработку, позволяющую воспроизводить весь значимый спектр квазиустановившихся и переходных процессов в энергосистеме в реальном времени с гарантированной приемлемой точностью – Всережимный моделирующий комплекс реального времени электроэнергетических систем [1, 4]. В данном комплексе реализованы все основные модели оборудования энергосистемы, в том числе в качестве объектов возобновляемой энергетики разработан прототип универсального специализированного гибридного процессора, позволяющий воспроизводить процессы в ветроэнергетических установках всех 4-ех типов. Согласно положениям «Institute of Electrical and Electronics Engineers» и международной электротехнической комиссии [6, 3] принято классифицировать ветроэнергетические установки следующим образом: 1 тип – на базе асинхронной машины с короткозамкнутым ротором; 2 тип – на базе асинхронной машины с фазным ротором; 3 тип – на базе асинхронной машины с двойным питанием; 4 тип – на базе синхронной машины с возбуждением от постоянных магнитов (в основном многополюсные генераторы, без редуктора в механической части).

На рисунке представлена структура универсального специализированного процессора ветроэнергетической установки, позволяющая всережимно моделировать любой из вышеуказанных ее типов.

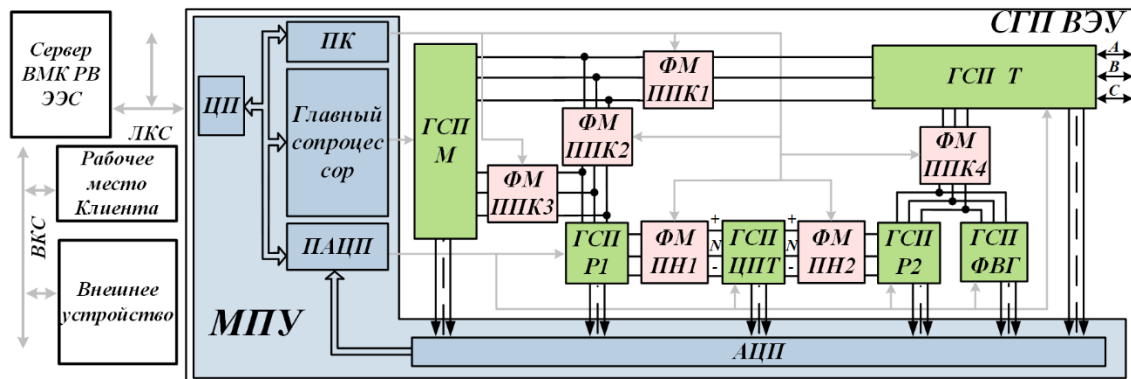


Рис. Структурная схема универсального СП ВЭУ

В данной структурной схеме:

1) «МПУ» – Микропроцессорный узел. Отвечает за функциональную работу всего специализированного процессора. Алгоритмы управления позволяют обмениваться данными с моделированием с другими специализированными процессорами, с рабочим местом пользователя, через связь по локальной сети, сетевой коммутатор, отправляя данные на Сервер моделирующего комплекса. Другими словами, данный узел принимает и обрабатывает данные моделирования, осуществляет работу запрограммированной системы автоматического управления ветроэнергетической установки. Через данный узел в специализированный процессор ветроэнергетической установки задаются ее параметры. Данный узел отвечает и за работу широтно-импульсной модуляции, т.е. определяет состояние цифруправляемых аналоговых ключей физической модели преобразователя напряжения («ФМ ПН 1-2»), а также через микропроцессорный узел управляются физические модели продольно-поперечных коммутаторов («ФМ ПНК 1-4»). Через «ВКС» – внешнюю компьютерную сеть, например, Internet, моделирующий комплекс может соединяться с внешними устройствами: устройствами регистрации режимов и процессов в энергосистеме.

2) «ЦП» – центральный процессор является связующим звеном между процессорами внутри специализированного процессора и Сервером моделирующего комплекса. Типы процессоров: «ПАЦП» – процессор аналого-цифрового преобразования, главный сопроцессор и «ПК» – процессор коммутации. Центральный процессор синхронизирует работу всех сопроцессоров, передает данные моделирования на Сервер моделирующего комплекса, также через него происходит задание параметров модели в соответствующие гибридные сопроцессоры.

3) Процессор аналого-цифрового преобразования реализует аналого-цифровое преобразование, получает и обрабатывает (преобразовывает) информацию, полученную от гибридного сопроцессора, обеспечивает управление параметрами для всех остальных гибридных процессоров оборудования и Главного сопроцессора. Обработанные данные моделирования используются в системе автоматического управления ветроэнергетической установки, в том числе и для формирования управляющих воздействий на цифрууправляемые аналоговые ключи с целью реализации широтно-импульсной модуляции.

4) Главный сопроцессор принимает данные от центрального процессора и процессора аналого-цифрового преобразования для решения модели первичного двигателя, т.е. ветротурбины, трансмиссии, реализует систему автоматического управления углом тангажа, контроллера оптимальной мощности, и транслирует выходные данные в гибридный сопроцессор электрической машины ветроэнергетической установки, который на рис. обозначен как «ГСП М».

5) Основная задача процессора коммутации – реализация широтно-импульсной модуляции, т.е. процессор коммутации формирует управляющие воздействия для цифрууправляемых аналоговых ключей физической модели преобразователя напряжения. Также к функционалу этого процессора относится реализация прочих коммутаций продольно-поперечных коммутаторов 1-4 и быстродействующей защиты преобразователя напряжения и ветроэнергетической установки в целом.

6) Каждый гибридный сопроцессор – это отдельная цифро-аналоговая структура. В них решаются системы дифференциальных уравнений математических моделей воспроизводимого оборудования. Для этого были разработаны и реализованы сопроцессоры каждого отдельного оборудования ветроэнергетической установки: «ГСП Р» – гибридный сопроцессор реакторов 1 и 2, «ГСП ФВГ» – гибридный сопроцессор фильтра высших гармоник, «ГСП ЦПТ» – гибридный сопроцессор цепи постоянного тока, «ГСП Т» – гибридный сопроцессор трансформатора (двух или трехобмоточный трансформатор). Одним из основных сопроцессоров выступает сопроцессор электрической машины, в котором воспроизводится модель электрической машины в зависимости от типа выбранной для работы ветроэнергетической установки, например, асинхронный генератор с фазным или короткозамкнутым ротором, синхронный генератор с возбуждением от постоянных магнитов. Решение математических моделей в сопроцессорах осуществляется методом точного непрерывного неявного интегрирования на неограниченном интервале [2].

Универсальность разработанного специализированного гибридного процессора достигается за счет возможности изменения параметров всех сопроцессоров и конечно же выбора типа ветроэнергетической установки путем управления физическими моделями продольно-поперечных коммутаторов 1-4, изменения состояния которых позволяет конфигурировать различные схемы ветроэнергетической установки:

- при включенном состоянии продольно-поперечного коммутатора 1, и отключенном состоянии продольно-поперечных коммутаторов 2, 3 и 4 возможно воспроизведение ветроэнергетической установки 1-го и 2-го типа;
- при включенном состоянии продольно-поперечных коммутаторов 1, 3 и 4, и отключенном состоянии продольно-поперечного коммутатора 2 возможно воспроизведение ветроэнергетической установки 3-го типа;
- при включенном состоянии продольно-поперечных коммутаторов 2 и 4, и отключенном состоянии продольно-поперечных коммутаторов 1 и 3 возможно воспроизведение ветроэнергетической установки 4-го типа.

Таким образом, применение в качестве инструмента Всережимного моделирующего комплекса и созданного универсального процессора ветроэнергетической установки позволит на стадии проектирования рассмотреть всевозможные режимы работы любых ветроэнергетических установок на объектах электроснабжения нефтегазодобывающих предприятий.

*Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, грант МК-3249.2021.4*

#### Литература

1. Аскарлов, А.Б. Применение всережимного моделирующего комплекса для энергосистем с распределенной генерацией [Текст] / А. Б. Аскарлов, А. А. Суворов, М. В. Андреев // Вестник Иркутского государственного технического университета. –2019. – Т. 23. – № 1. – С. 75. – 89. DOI: 10.21285/1814-3520-2019-1-75-89.
2. Всережимный моделирующий комплекс реального времени электроэнергетических систем [Текст] / А. С. Гусев Ю. В. Хрущев, С. В. Гурин, С. В. Свечкарев, И. Л. Плодистый // Электричество. – 2009. – № 12. С. 5–8.
3. ГОСТ Р 54418.27.1–2019 (МЭК 61400-27-1:2015) Установки ветроэнергетические. Часть 27–1. Общие имитационные модели ветроэнергетических установок, присоединенных к энергосистеме. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200170025>.
4. Концепция и базовая структура всережимного моделирующего комплекса [Текст] / М.В. Андреев, Ю.С. Боровиков, А. С. Гусев, А. О. Сулайманов, А. А. Суворов, Н. Ю. Рубан, Р. А. Уфа // Газовая промышленность. – 2017. – Т. 5 – № 752. С. 18–27.
5. Электроснабжение нефтегазовых комплексов и производств [Текст]: учеб. пособие / Новосибирский государственный технический университет (НГТУ); сост. Н. И. Щуров; сост. В.И. Сопов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. – 270 с.
6. Working group joint report. WECC working group on dynamic performance of wind power generation & IEEE Working group on dynamic performance of wind power generation. «Description and technical specifications for generic WTG models – A status report» IEEE PES power system Conference Expo. March 2011. – 8 с.