

*Елисеева Анастасия Александровна,
старший преподаватель
кафедры «Физики, электротехники и электроэнергетики»
Институт сервиса, туризма и дизайна (филиал) СКФУ
Россия, г. Пятигорск*

**РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УСТРОЙСТВ
УПРАВЛЕНИЯ ВОЗБУЖДЕНИЕМ И СОСТОЯНИЕМ СИНХРОННОГО
ГЕНЕРАТОРА НА МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ БАЗЕ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ MATLAB SIMULINK И ARDUINO DUE**

***Аннотация:** Статья посвящена рассмотрению Степень подобия физических моделей энергосистем натурным энергосистемам зависит от качества моделирования устройств автоматического регулирования. Технология позволяет быстро получить исходный программный код, однозначно описывающий структуру управления и регулирования. Полученный исходный код вместе с разработанной автором программой позволяет создавать модели систем управления на микропроцессорной базе. Созданная система управления, функционирующая в режиме реального времени, может быть использована при управлении оборудованием физических моделей энергосистем ЦАФК.*

***Ключевые слова:** физическая модель энергосистем, микропроцессорное устройство, автоматическое управление, технология создания, реальное время, моделирование.*

***Annotation:** The article deals With the degree of similarity of physical models of power systems to natural power systems depends on the quality of modeling of automatic control devices. The technology allows you to quickly get the source code that uniquely describes the structure of management and regulation. The resulting source code together with the program developed by the author allows you to create models of control systems based on a microprocessor. The created control system,*

which functions in real time, can be used to control the equipment of physical models of the power systems of the CAFC.

Key words: *physical model of power systems, microprocessor device, automatic control, creation technology, real time, modeling.*

На сегодняшний день задача исследования энергосистем решается с применением ряда подходов. Немаловажную роль в этом вопросе играет применение моделирования. Известно, что при должном уровне обеспечения подобия моделирование позволяет воспроизводить интересующие исследователя явления с заданной точностью. В электроэнергетике для исследований энергосистем используются физические и математические модели. При этом аргументированной критике подвергаются оба указанных типа моделей в виду их естественного несовершенства.

Одним из главных достоинств физического моделирования энергосистем, часто ставящим его на первое место, является обеспечение возможности качественного воспроизведения всех натуральных процессов, протекающих в реальных энергосистемах. Кроме того, математическое описание исследуемых процессов нередко имеет ряд пренебрежений, которые иногда могут оказаться существенными и исключить из рассмотрения ряд натуральных явлений. В этом случае требуется применение специальных методов и приемов, позволяющих нивелировать указанный недостаток.

Однако ответ на вопрос, каков достаточный для моделирования набор свойств натурального объекта, не всегда очевиден.

С другой стороны, с помощью математического моделирования при условии совершенного математического описания можно максимально точно без видимых ограничений воспроизводить полностью изученные процессы, а также работу элементов, функционирующих за счет реализованного в них математического аппарата (например, устройств управления, регулирования и защиты).

С учетом сказанного, с точки зрения обеспечения подобия привлекательным выглядит сочетание достоинств физического и математического моделирования в едином комплексе устройств.

Первоначальной задачей при создании модели устройства является создание его адекватного математического описания и набора специальных функций, которые могут потребоваться в ходе исследований. Для наглядного создания математических моделей с возможностью их предварительного тестирования существует большое количество разнообразного программного обеспечения. Для разработки технологии создания моделей устройств наиболее привлекательным выглядит использование программного комплекса MATLAB SIMULINK.

Для работы моделей SIMULINK в режиме реального времени создано немало специализированных устройств, однако их высокая стоимость не позволяет полностью оснастить ими оборудование ЦАФК. С другой стороны, существует немало программно-аппаратных средств, имеющих низкую стоимость, но их использование осложняется требованием специализированных знаний, часто привязанных к особенностям конкретных моделей этих устройств.

Одним из примеров систем, обладающих невысокой стоимостью в сочетании с относительной простотой программирования, наличием интегрированных устройств АЦП, ЦАП, дискретных входов и выходов, а также сопровождаемых бесплатными средами разработки, являются устройства типа Arduino DUE (с использованием данной платы в качестве целевой системы выполнена апробация предложенного в настоящей работе подхода). Для работы устройств этого типа необходимо наличие программного кода на языке высокого уровня. Доступ к устройствам ввода/вывода платы не требует специфических знаний и может осуществляться с помощью API-функций среды разработки.

Таким образом, созданную с помощью SIMULINK модель необходимо перевести в программный код. Это можно сделать посредством использования программного пакета MATLAB Coder (MC), разработанного для такого преобразования.

Структуры создаваемых в SIMULINK моделей можно упростить, освободив их от ряда однотипных для различной модели операций. Такими операциями являются первичная обработка сигналов, отвечающих параметрам электрического режима, и получение на их основе различных интегральных величин (ИВ). Таким образом, код, созданный с помощью МС, будет описывать поведение модели на основе интегральных параметров, которые будут подготовлены с помощью кода получения и обработки сигналов объекта управления (далее – код обработки).

Как отмечалось ранее, типовые модели элементов генераторного узла, отвечающие АРВ или турбинам, обычно включают схожий набор исходных данных.

Обычно интегральными величинами являются напряжение и ток прямой последовательности генератора, ток возбуждения, активная и реактивная мощность, частота напряжения. Получение величин этого набора выделено в код обработки. Графически описанная структура приведена на рисунке 1.

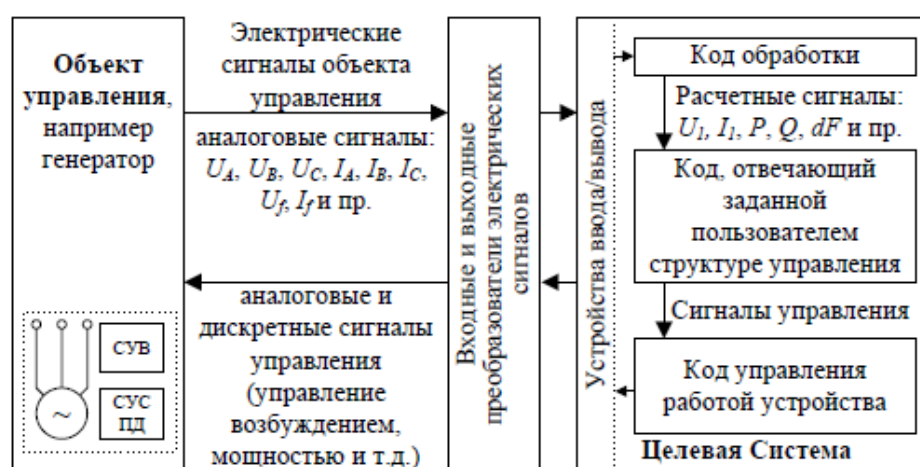


Рисунок 1. Структурная схема устройства

Исходная сложность реализуемой модели неизвестна, а значит, доподлинно неизвестно время выполнения одного расчетного цикла модели. Поэтому для обработки синусоидальных величин целесообразно использовать оконное преобразование Фурье с программно задаваемым шагом дискретизации, а частотой дискретизации управлять программными прерываниями, реализуемыми платой. Для снижения времени выполнения кода обработки

можно пользоваться методом, описанным ранее, который позволяет снизить количество операций по вычислению ИВ на каждом шаге в 4 раза за счет использования частичных интегральных сумм, полученных ранее. Частичные интегральные суммы формируются каждую четверть периода, а, следовательно, число точек на период промышленной частоты должно быть кратно четырем. Возможна дальнейшая модификация подхода, заключающаяся в использовании дополнительной памяти и позволяющего получать ИВ после каждого опроса АЦП.

С использованием полученных на фиксированном периоде ИВ (коэффициенты Фурье) может быть рассчитана частота напряжения [3]. Частотная погрешность вычисленных ИВ может быть ликвидирована с помощью метода компенсации частотной погрешности при цифровых измерениях параметров электрического тока промышленной частоты [4].

Таким образом, на выходе кода обработки будет типовой набор параметров электрического режима, который может быть использован в коде, полученном в МС на основе SIMULINK модели устройства.

Разработанная технология требует масштабной процедуры тестирования, учитывающей множество особенностей решаемых задач. В настоящей работе приводится только краткое описание первичной процедуры апробации использования предложенной технологии.

Первичная процедура апробации выполнялась с использованием цифрового программно-аппаратного комплекса моделирования энергосистем в режиме реального времени Real Time Digital Simulator (RTDS).

Для первичной апробации технологии целевой системе была реализована математическая модель АРВ. Структурная схема модели представлена на рисунке 2.

Данная модель в дальнейшем вместе с целевой системой и кодом обработки может быть верифицирована согласно методике получения экспериментальных частотных характеристик устройств управления и/или сравнительных экспериментов с промышленным образцом АРВ. Согласно

технологии, был получен код модели, который был состыкован с кодом обработки и выполнена прошивка целевой системы. Целевая система была подключена к интерфейсным блокам RTDS. В RTDS была создана простейшая схема «генератор – трансформатор – линия – шины бесконечной мощности». По команде на шины высшего напряжения трансформатора подключалась батарея статических конденсаторов (БСК).

Было выполнено ряд экспериментов, включающих различные возмущения. Пример осциллограммы, полученной при подключении и отключении БСК, приведен на рисунке 3. Как видно из рисунка, после включения БСК регулятор обрабатывает воздействие, что свидетельствует о работоспособности технологии.

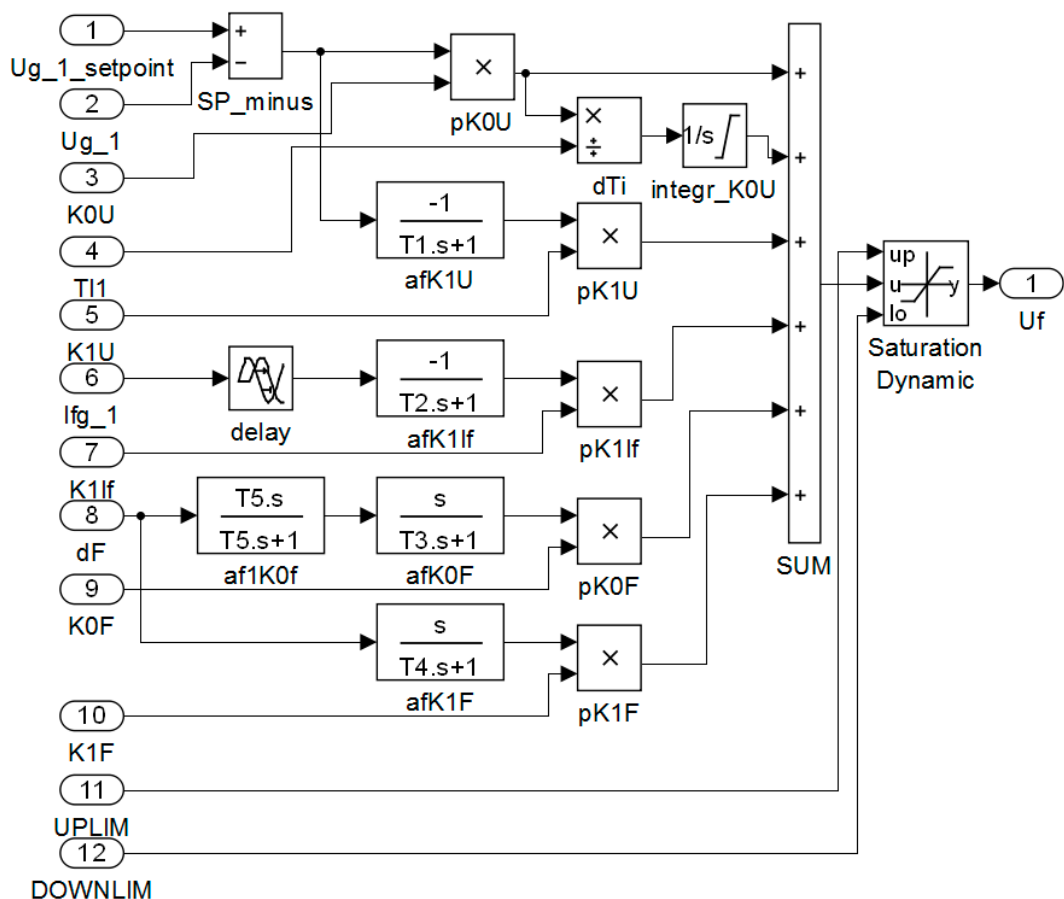


Рисунок 2. Реализованная математическая модель

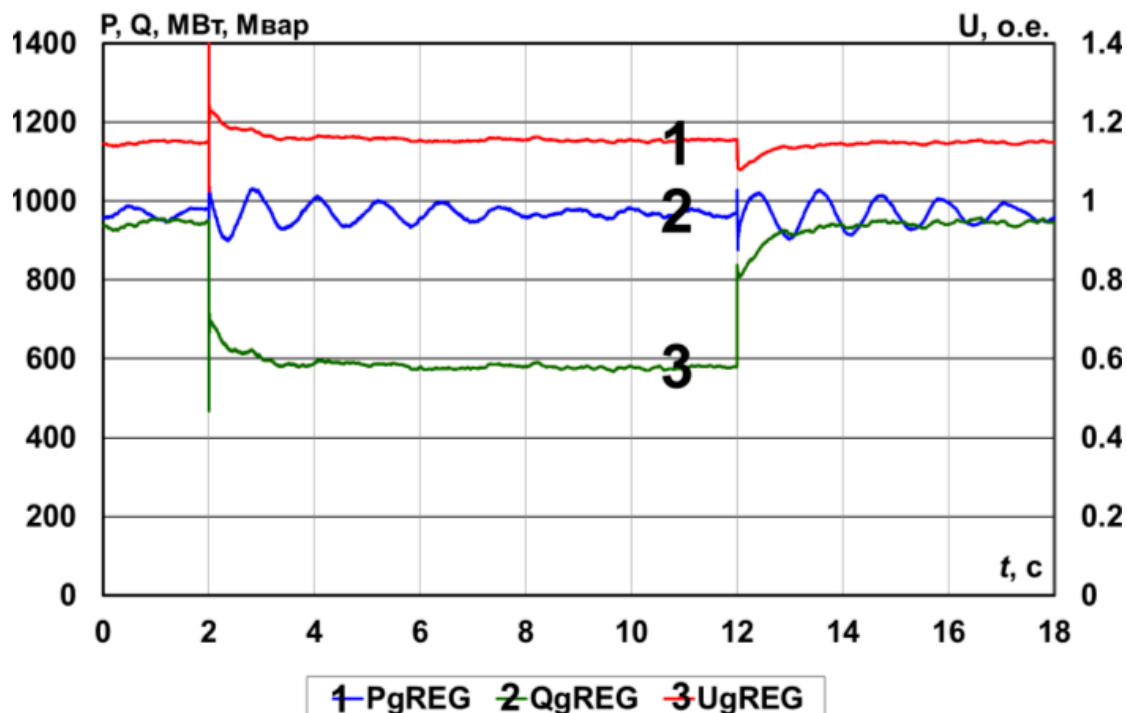


Рисунок 3. Включение БСК в модели.

Для повышения достоверности и точности моделирования энергосистем целесообразно объединять достоинства физического и математического моделирования.

Использованные источники:

1. Марченко Е.А. Электродинамическое моделирование автоматизированных электроэнергетических систем. Учебное пособие. Л.: изд-во ЛПИ, 1984, 80 с.

2. Зеленин А.С., Шескин Е.Б., Штефка Й., Программно-технический комплекс для формирования и реализации цифровых моделей регуляторов возбуждения и мощности энергоблоков // Электроэнергетика глазами молодежи: научные труды III международной научно-технической конференции: сборник статей. В 2 т. Екатеринбург: УрФу, 2012 – С. 238 – 243.

3. Зеленин А.С., Штефка Й.. Расчет частоты по коэффициентам разложения Фурье в трехфазной сети // Известия НТЦ Единой энергетической системы, 2013. 2. №69. С. 32-35.