

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный
технический университет»

На правах рукописи

Ильина Сергея Сергеевич

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ НА
ОСНОВЕ ВЕТРОГЕНЕРАТОРА

Направление подготовки

27.04.04 «Управление в технических системах»

АВТОРЕФЕРАТ

МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

2017



Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре
Государственный технический университет»

Научный руководитель

кандидат технических наук,
доцент Суздорф Виктор Иванович

Рецензент

Защита состоится «15» июня 2017 года в 9 часов 00 мин на заседании государственной экзаменационной комиссии по направлению подготовки 27.04.04 «Управление в технических системах» в Комсомольском-на-Амуре государственном техническом университете по адресу: 681013, г.Комсомольск-на-Амуре, пр.Ленина, 27, ауд. 321/3.

Автореферат разослан 13 июня 2017 г.

Секретарь ГЭК

С.И. Сухоруков

Актуальность:

Ветроэнергетика за последние несколько десятилетий выделилась в ряде стран в отдельные отрасли энергетических хозяйств, успешно конкурирующих с традиционной энергетикой.

Основное внимание уделяется ветроэнергетическим установкам (ВЭУ) средней и большой мощности в составе сетей распределения и передачи электроэнергии. Однако в настоящее время мировой рынок малых ВЭУ также динамично развивается за счет массовых потребителей, к которым относятся объекты малоэтажного строительства, фермерские хозяйства, рыболовные артели и охотничьи угодья, системы удаленного мониторинга, дорожные осветительные системы, телекоммуникационное оборудование и другие автономные потребители электрической энергии.

В связи с этим актуальной научно-технической задачей является эффективное использование ветрового потенциала, которая заключается не только в улучшении аэродинамических характеристик ВЭУ, но и в увеличении производительности ВЭУ в целом. Основной характеристикой, от которой зависит производительность ветроэнергетической установки, является коэффициент использования энергии ветра (КИЭВ) – отношение механической мощности ветроколеса к полной мощности набегающего потока ветра, проходящего через ометаемую площадь ветроколеса ВЭУ. Таким образом, повышение КИЭВ во всех режимах эксплуатации ВЭУ путем совершенствования различных способов управления мощностью является актуальным, и этому вопросу посвящена предлагаемая работа.

Объект исследования – электротехнический комплекс на основе ветроэнергетической установки.

Предмет исследования – влияние способов и алгоритмов управления ветроэнергетической установки, работающей в условиях переменной скорости ветра, на её производительность.

Цель работы: Разработка алгоритма управления контроллера ветроэнергетической установки с вертикальной осью вращения.

Основываясь на цели исследования, сформулированы следующие задачи:

1. Разработать имитационную компьютерную модель ВЭУ с возможностью задания произвольных алгоритмов управления для исследования производительности ВЭУ в зависимости от различных способов управления и проверить ее адекватность численными экспериментами.

2. С помощью численных экспериментов над разработанной моделью ВЭУ исследовать производительность ВЭУ при применении различных способов и алгоритмов управления ветроэнергетической установкой. На основе результатов численных экспериментов разработать алгоритм управления мощностью ветроэнергетической установки, обеспечивающий высокую производительность ВЭУ при работе в широком диапазоне скоростей ветра.

3. Разработать контроллер ветроэнергетической установки с возможностью задания алгоритма управления мощностью ВЭУ.

Методы исследования. При решении поставленных задач использованы математический аппарат теории автоматического управления, методы математического моделирования, программный пакет MATLAB/Simulink.

Научная новизна работы. Предложена имитационная компьютерная модель ветроэнергетической установки, отличающаяся наличием модуля управляющего контроллера изменяемой конфигурации, и предназначенная для исследования особенностей алгоритмов и способов управления ВЭУ при различных внешних воздействиях.

Предложена методика определения производительности ВЭУ, отличающаяся применением редуцированного наблюдателя и обеспечивающая определение КИЭВ при непрерывно изменяющейся скорости ветра.

Практическая ценность представлены результаты исследований влияния способов управления мощностью ВЭУ на производительность, полученные модельными экспериментами и продемонстрировавшие особенности работы каждого способа.

Разработан контроллер ветроэнергетической установки, обеспечивающий эффективное использование ветрового потенциала при работе в широком диапазоне скоростей.

Структура и объем работы . Работа состоит из введения, трёх глав и заключения содержащих 117 страниц основного текста, 2 таблицы, 63 рисунка, и списка литературы из 18 наименований.

Апробация работы. Основные положения работы были представлены на 45-й и 47-й научно-технической конференции студентов и аспирантов в г. Комсомольск-на-Амуре, 2015-2017 г.

По теме диссертационного исследования опубликована статья, рекомендованная ВАК РФ

Содержание диссертации

Во введении приведена краткая характеристика работы, показаны актуальность и степень разработанности темы исследования. Обозначены объект и предмет исследования, цель диссертационной работы, задачи и методы исследований. Представлены основные положения, выносимые на защиту, научная новизна и практическая значимость диссертационной работы.

В первом разделе проведен исторический обзор развития ветроэнергетики, обозначены основные направления развития, определены ключевые вопросы и задачи, возникающие при проектировании и эксплуатации ветроэнергетических установок.

Необходимость регулирования мощности в ветроэнергетической установке можно объяснить рабочими характеристиками ВЭУ, представляющими собой зависимость выходной мощности ВЭУ от частоты вращения для ряда постоянных скоростей вращения. На рисунке 1 показана типичная зависимость механической мощности ветроколеса, где видно, что

для каждой скорости ветра существует определенная частота вращения, на которой мощность ветроколеса максимальна.



Рис. 1 – Зависимость генерируемой мощности от частоты вращения ветроколеса для разных скоростей ветра.

Наибольшее распространение среди ВЭУ малой мощности получили следующие способы управления мощностью ветроэнергетической установки:

1. Работа при постоянной частоте вращения ветроколеса.
2. Работа при нескольких фиксированных частотах вращения ветроколеса переключением обмоток генератора либо изменением передаточного отношения механической трансмиссии.
3. Работа при переменной частоте вращения ветроколеса с изменением установочного угла лопастей ветроколеса или изменением геометрических размеров ветроколеса.
4. Работа при переменной частоте вращения ветроколеса с использованием электрического преобразователя с регулятором мощности.

Анализируя эти способы управления мощностью ВЭУ было определено что наиболее простым и распространенным способом управления является работа при постоянной частоте вращения ветроколеса. В то же время ветроэнергетические установки, работающие при таком управлении, не могут обеспечить эффективное функционирование в широком диапазоне скоростей

ветра. Наиболее эффективным способом в таких условиях является работа при переменной частоте вращения ветроколеса по заданному алгоритму, при котором с изменением скорости ветра происходит изменение частоты вращения ветроколеса, обеспечивая работу ветроколеса с наибольшей производительностью. Для синтеза такого алгоритма эффективного управления мощностью ВЭУ было принято решение о разработке компьютерной модели ветроэнергетической установки, реализующей различные способы управления.

Во втором разделе приводится описание разработанной математической модели ветроэнергетической установки, предназначенной для исследования производительности ВЭУ при использовании различных способов и алгоритмов регулирования мощности. Модель ветроэнергетической установки разработана с заранее заданным КИЭВ ветроколеса и контроллером ВЭУ с возможностью задания алгоритма управления программным путем, функциональная схема модели приведена на рисунке 2, где V — скорость ветра;

M — крутящий момент ветроколеса, ω — угловая скорость ветроколеса; u_g — напряжение на выходе генератора; i_g — ток на выходе генератора; u_b — напряжение аккумуляторной батареи; i_b — ток аккумуляторной батареи.

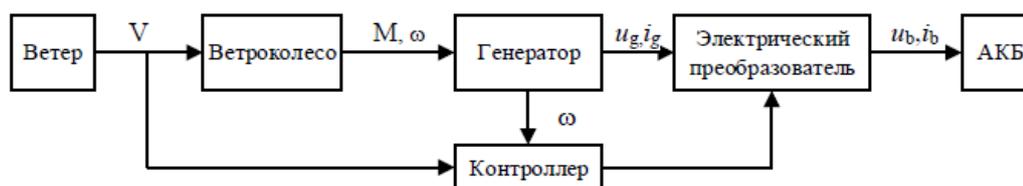


Рис. 2 – Функциональная схема имитационной модели ветроэнергетической установки

Компьютерная модель контроллера ВЭУ была реализована с помощью блока «S-Function» MATLAB/Simulink, позволяющего задавать алгоритм работы блока на языке высокого уровня. Применение такого подхода позволило создать универсальную модель изменяемой конфигурации с

возможностью переноса программного кода на микропроцессорную систему управления прототипа, существенно сократив время разработки и отладки программного обеспечения опытного образца.

Третий раздел посвящен разработке методики определения производительности ВЭУ при непрерывно изменяющейся скорости ветра и алгоритма управления ветроэнергетической установкой с вертикальной осью вращения.

Для реализации алгоритма управления мощностью ВЭУ необходима методика определения производительности ВЭУ в процессе работы. Основной мерой производительности ВЭУ является КИЭВ. Прямое измерение КИЭВ в процессе работы ВЭУ не подходит, т.к. предполагает использование данных, измеренных в установившемся режиме работы, поэтому было принято решение о разработке методики определения производительности ВЭУ когда скорость ветра непрерывно меняется в широких пределах за достаточно короткий промежуток времени. В работе рассмотрены два способа определения КИЭВ с помощью статистической обработки измеренных мгновенных значений скорости ветра и генерируемой электрической мощности. Первый способ — нахождение среднего арифметического мгновенных значений КИЭВ за определенный промежуток времени. Вторым способом предложено осреднение с помощью численного интегрирования с учетом весового коэффициента, где в качестве весового коэффициента выбрана аэродинамическая мощность.

Для обеспечения необходимого управления предложена система адаптивного регулирования мощности ветроэнергетической установки, функциональная схема которой приведена на рисунке 3. Система управления содержит два контура: контур регулирования и контур адаптации. Контур адаптации предназначен для определения оптимального значения задаваемой быстроходности в зависимости от текущей скорости ветра для регулирования.

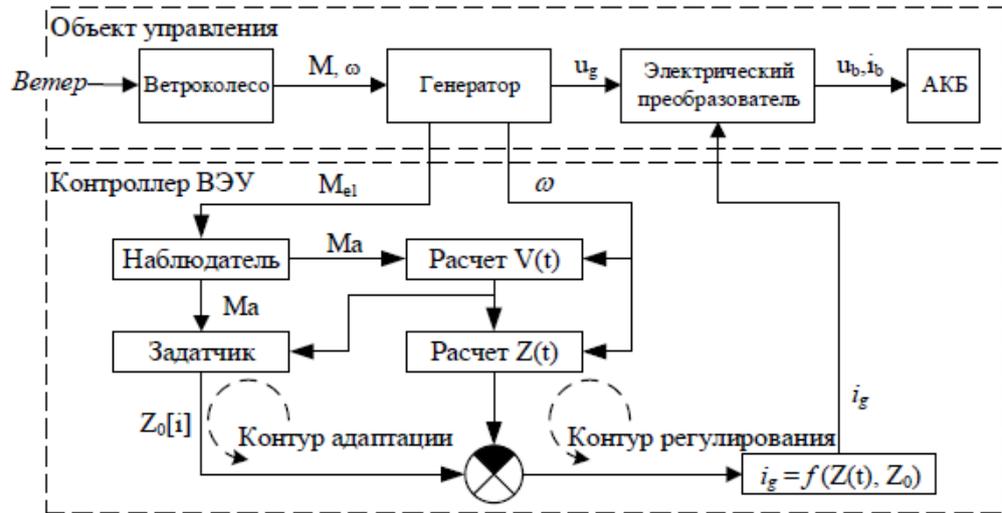


Рис. 3 – Функциональная схема системы адаптивного регулирования мощности ВЭУ

Для реализации системы управления был разработан соответствующий алгоритм управления, блок-схема которого представлена на рисунке 4. Алгоритм содержит процедуры инициализации, основной цикл и два обработчика прерываний, вызываемых по таймеру.

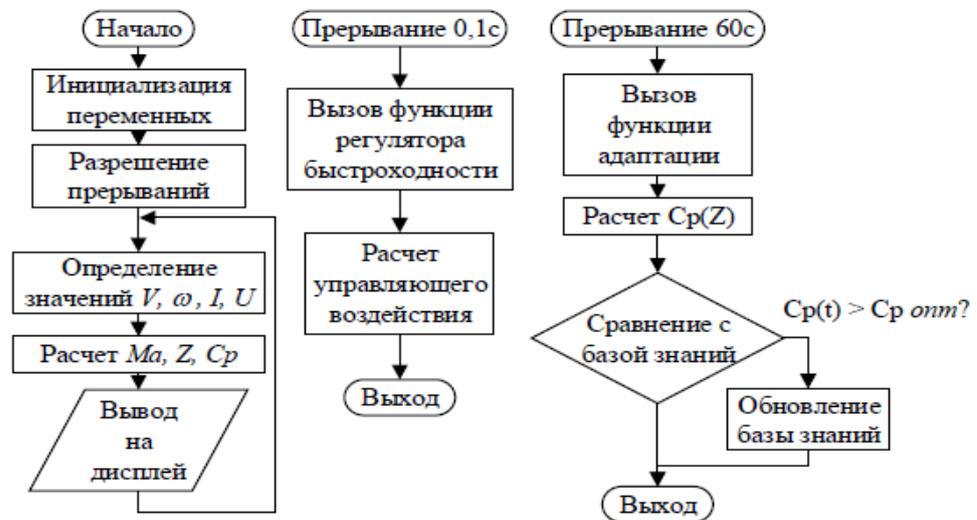


Рис. 4 – Блок-схема алгоритма адаптивного управления

В основном цикле происходит измерение скорости ветра, частоты вращения ветроколеса, а также напряжений и токов в цепи зарядки аккумуляторной батареи для расчета мгновенных значений электрической мощности ВЭУ. Прерывание с периодом 0,1с вызывается по срабатыванию таймера, в обработчике прерывания находится функция регулятора быстроходности Z , который осуществляет расчет и задание требуемого

значения тока генератора. Прерывание с периодом 60с вызывается по срабатыванию таймера, в обработчике прерывания находится функция адаптации задающего воздействия.

Приведено описание конструкции разработанного контроллера ВЭУ, показаны результаты его испытаний.

Для верификации модельных экспериментов был разработан, контроллер ветроэнергетической установки. Структурная схема контроллера ВЭУ представлена на рисунке 5.

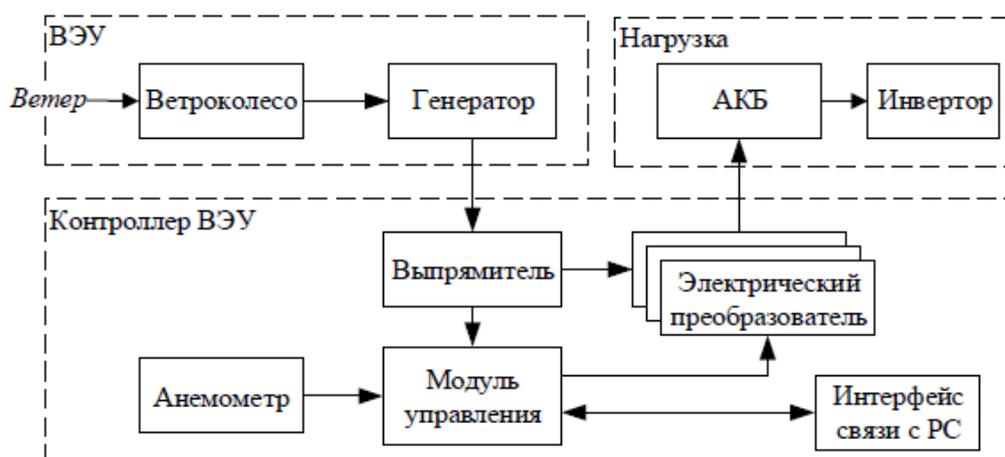


Рис. 5 – Структурная схема контроллера ВЭУ

Разработанный контроллер ВЭУ является модульным и содержит:

- трехфазный выпрямитель, предназначенный для преобразования переменного тока синхронного генератора в постоянный;
- три управляемых электрических преобразователя по 1кВт, выполненных по схеме импульсного понижающего преобразователя и работающих параллельно на общую нагрузку;
- модуль управления, реализованный на базе 32-разрядного микроконтроллера STM32F103 с богатым набором периферийных устройств.
- анемометр, предназначенный для проведения измерений скорости ветра при проведении сравнительных испытаний.

Подробное описание схемы электрической контроллера ВЭУ приведено в диссертационной работе.

Выводы

1. Разработана имитационная математическая модель ВЭУ с управляющим контроллером изменяемой конфигурации, отличающаяся возможностью задания алгоритмов управления на языке высокого уровня и предназначенная для исследования различных алгоритмов и способов управления ВЭУ при изменении внешних воздействий.

2. Методом компьютерного моделирования исследованы известные способы управления мощностью ветроэнергетической установки. Установлено, что способ управления мощностью путем поддержания заданной быстроходности ветроколеса обеспечивает наибольшую производительность ВЭУ в широком диапазоне скоростей ветра. По результатам исследования имитационной модели ветроэнергетической установки разработан алгоритм адаптивного управления мощностью ВЭУ с использованием наблюдателя пониженного порядка и позволяющий обеспечить управление ВЭУ по быстроходности без использования анемометра.

3. Предложена методика измерения производительности ветроэнергетической установки, отличающаяся использованием наблюдателя пониженного порядка для определения аэродинамического момента ветроколеса, и позволяющая определять коэффициент использования энергии ветра ВЭУ при непрерывно изменяющейся скорости ветра.

4. Разработан контроллер ветроэнергетической установки вертикальной осью вращения, обеспечивающий работу ВЭУ по разработанному алгоритму с высокой производительностью в широком диапазоне скоростей ветра.

Список использованных источников

- 1 Безруких, П. П. Использование энергии ветра / П.П. Безруких. – М.:Колос, 2008.–158 с.
- 2 Ганджа, С. А. Применение асинхронизированных синхронных генераторов для автономных и сетевых ветроэнергетических установок / С. А. Ганджа. – М.:НИИЭС, 2010 – №1. – С.25-28.
- 3 Грахов, Ю.В. Программно-математическая модель ветроэнергетической установки с вертикальной осью вращения / Ю.В. Грахов, И.М. Кирпичникова, Е.В.Соломин //Материалы V Международной научно-практической конференции «Возобновляемые источники энергии. Ресурсы. Системы энергогенерирования на возобновляемых источниках энергии. –М., 2008. – 49 с.
- 4 Дьяконов В. П. Matlab 6. Учебный курс / В.П. Дьяконов. – СПб., 2001. – 592 с.
- 5 Андриевский, Б.Р. Избранные главы теории автоматического управления с примерами на языке Matlab / Б.Р. Андриевский, А.Л. Фрадков. – СПб. : Наука, 2000. – 475 с.
- 6 Первозванский, А.А. Курс теории автоматического управления / А.А. Первозванский. – М. : Наука, 1986. – 540с.
- 7 Ильин, С.С. Ветрогенераторы малой мощности / С.С. Ильин, В.И. Суздорф // материалы 45-й научно-технической конференции студентов и аспирантов, Комсомольск – на – Амуре , 01-14 апреля 2015 г. – Комсомольск – на – Амуре : ФГБОУ ВО «КнАГТУ», 2015. – С. 320.
- 8 Ильин, С.С. Исследование различных способов регулирования мощности ветроэнергетической установки при разных частотах вращения ветроколеса / С.С. Ильин, В.И. Суздорф // материалы 47-й научно-технической конференции студентов и аспирантов, Комсомольск – на – Амуре , 14-15

апреля 2017 г. – Комсомольск – на – Амуре : ФГБОУ ВО «КНАГТУ», 2017. – С. 210.