

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, доцента,

Велькина Владимира Ивановича на диссертационную работу

Ибрагима Ахмеда Амера Ибрагимаа

«Управление мощностью ветроэлектрической установки при возмущениях сети», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Коэффициент мощности является величиной нестабильной и зависящей от ряда статических факторов – формы и особенностей ротора и лопастей ВЭУ, а также текущих динамических переменных – быстроходности, питч-угла установки лопастей, угла ориентации. Одним из эффективных способов регулирования мощности и повышения C_p является MPPT-управление или отслеживание точки максимальной мощности (Maximum Power Point Tracking). Данный подход хорошо известен и достаточно универсален, может применяться на основе целого ряда методов: метод восхождения, метод оптимального управления крутящим моментом, метод усилителя сигнала обратной связи, метод нечеткой логики и т.д. Однако применение всех известных методов ограничено режимами равномерной выработки электроэнергии, т.е. они применимы только когда ВЭУ находится в стационарном установившемся рабочем состоянии. При переходных процессах или в нештатных ситуациях известные методы работают некорректно или вообще неприменимы. Представленная работа частично решает обозначенную проблему за счет оригинального подхода к управлению токами и напряжением ротора и статора ВЭУ.

В нестационарном состоянии (во время переходных процессов) MPPT-управление может дать сбой или вообще выйти из строя. Особую опасность для системы управления представляют критические изменения параметров сети, в частности, глубокое падение напряжения, при котором обмотки

статора фактически шунтируются. В этом случае при нормальной работе ВЭУ за счет кинетической энергии набегающего потока ветра создается механический крутящий момент на валу генератора ВЭУ и, соответственно, индуцируется ЭДС в обмотках ротора, что приводит к росту напряжения на стороне ротора. С учетом того, что обмотки статора закорочены и создают тормозящий электромагнитный момент, во-первых, сеть может оставаться под напряжением статора, а во-вторых, механические компоненты ВЭУ (ротор, мультипликатор, валы) будут испытывать нештатные перегрузки, а система управления (контроллер) на стороне ротора может выйти из строя. Таким образом, предотвращение нештатных ситуаций и повышение эффективности работы ВЭУ в части ускорения выхода из аварийных режимов с восстановлением МРРТ-регулирования после окончания переходных процессов в сети является весьма актуальной областью исследований.

АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка из 129 наименований, 4 приложений, содержит 205 страницу, включая 104 рисунков и 12 таблиц.

Во введении дано общее описание работы, обоснована ее актуальность, цели, задачи, выносимые на защиту, представлена научная новизна и практическая значимость результатов.

В первой главе определены системная конструкция и работа ветроэнергетических установок. Необходимость регулирования мощности ВЭУ, подключенной к сети, обусловлена различной производительностью ветроустановки при изменении многочисленных внешних возмущений, основным из которых являются динамично изменяющаяся скорость ветра и возможные провалы напряжения сети. Целевым показателем в части оптимизации производительности является переменный коэффициент использования энергии ветра (КИЭВ) или коэффициент мощности ветроэлектрической установки C_p , который представляет собой отношение

механической мощности на валу генератора к аэродинамической мощности потока ветра через ометаемую площадь ротора, с учетом частоты его вращения. Частота вращения ротора может регулироваться как изменением электрической нагрузки, так и аэродинамическим питч-контролем (изменением угла установки лопастей ВЭУ).

Во второй главе дана новая промышленная классификация ВЭУ по выходной мощности. Представлены исходные данные, использованные для моделирования и управления ГДП в условиях непрерывно изменяющихся режимов работы. Определены граничные условия имитационной модели. На платформе MATLAB/SIMULINK разработана полномасштабная модель ветроэнергетической установки.

В третьей главе Данна новая классификация систем управления ВЭУ в части отбора мощности для различных диапазонов ветров. С помощью алгоритма отслеживания максимальной мощности (MPPT) для каждой скорости ветра угловая скорость вращения ротора ветроустановки регулируется для обеспечения выдачи максимальной мощности (режим работы с максимальной аэродинамической эффективностью). Таким образом, в режиме работы с переменной скоростью можно постоянно регулировать скорость вращения ротора в соответствии с изменением скорости ветра так, чтобы быстродействие λ оставалось фиксированной с целью достижения максимального значения коэффициента мощности C_p в соответствующем диапазоне и, таким образом, максимальной мощности, производимой ветроустановкой.

В четвертой главе описывается разработанный метод контроллера ветроустановки. Данный контроллер ветроэнергетической установки разработан с использованием программного обеспечения MATLAB/SIMULINK.

В заключении дано заключение и обобщены результаты.

Приложения служат для пояснения полноты исследования, обоснования будущих исследований, приложен АКТ внедрения, список рисунков и список таблиц.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При решении поставленных задач использованы методы математического моделирования в программном комплексе MATLAB/Simulink.

ДОСТОВЕРНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ И СТЕПЕНЬ ОБОСНОВАННОСТИ ПОЛОЖЕНИЙ

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и результатов базируется на использовании известных положений механики, аэродинамики, электромеханики, теории автоматического управления и методов моделирования с применением ЭВМ.

Результаты не противоречат исследованиям, выполненными другими авторами, а также подтверждаются их апробацией на 5 научно-технических конференциях российского и международного уровней.

НОВИЗНА НАУЧНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ И ВЫВОДОВ

Новизна представленной на отзыв диссертационной работы определяется в первую очередь тем, что разработана новая имитационная компьютерная модель ветроэлектрической установки, характеризующаяся наличием модуля гибкого виртуального контроллера, описанного на языке высокого уровня, и предназначенная для исследования характеристик ветроэлектрической установки в зависимости от применяемых алгоритмов управления. Таким образом, впервые работа контроллера вынесена в виртуальное пространство, что может значительно улучшить конструкцию системы управления, упростив ее аппаратную часть, перенеся исполнительные функции в область программирования. Такой подход также повышает надежность работы

системы управления за счет минимизации присутствия микроконтроллеров, являющихся «узким местом» в системах управления ветроэнергоустановками.

Наиболее значимыми новыми результатами, полученными в диссертационной работе, являются:

- Разработан новый оригинальный алгоритм управления отбором мощности ветроэлектрической установки, предназначенный для защиты элементов ГОВЭУ от недопустимых выбросов токов и напряжений во время провалов напряжения;
- Разработана новая схема устройства защиты генератора ГОВЭУ с шунтированием обмотки ротора для быстрого и безопасного восстановления электротехнического комплекса до устойчивого состояния после глубоких провалов напряжения.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

В диссертационной работе был проведен синтез алгоритмов управления преобразователем на стороне ротора ПСР и преобразователем на стороне статора ПСС, обеспечивающих безопасное восстановление ГОВЭУ до устойчивого состояния после глубоких провалов напряжения. Предложены новые схема и алгоритм работы устройства защиты генератора ГОВЭУ с шунтированием обмотки ротора для безопасного вывода ветроэнергоустановки из аварийного состояния в нормальный режим. Кроме того, созданная автором универсальная компьютерная модель системы ветроэнергетической установки может быть использована разработчиками на этапе проектирования для оценки эффективности и оптимизации разрабатываемой системы.

ПУБЛИКАЦИЯ ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

По теме диссертации опубликовано 13 работ в рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных ВАК и Аттестационным советом УрФУ, из них 9 статей индексируется научометрическими базами Scopus и Web of Science, получено 1 свидетельство на программу ЭВМ.

ВОПРОСЫ И ЗАМЕЧАНИЯ ПО СОДЕРЖАНИЮ РАБОТЫ

1. На представленных моделях приведена работа системы управления ВЭУ с сетью. Какой тип соединения используется для контакта с сетью?
2. В работе приведен анализ короткого замыкания шунтом для предотвращения выхода из строя ротора. Какая мощность выделяется при коротком замыкании? На каком из компонентов ВЭУ выделяется эта мощность?
3. Из диссертационной работы непонятно, чем разработанная методика управления МРРТ отличается от существующих аналогов. Не приведены качественные и количественные различия и преимущества.
4. Применима ли предлагаемая система слежения за точкой максимальной мощности также к ВЭУ с вертикальной осью?

СООТВЕТСТВИЕ ДИССЕРТАЦИИ КРИТЕРИЯМ ПОЛОЖЕНИЯ О ПРИСУЖДЕНИИ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ В УРФУ

Содержание диссертации полностью соответствует поставленным задачам и подробно отражает последовательность их решения. Диссертация написана логичным, понятным языком, выводы и рекомендации изложены аргументировано. Она в полном объеме отвечает критериям, которые установлены Положением о присуждении ученых степеней в ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа Ибрагима Ахмеда Амера Ибрагима «Управление мощностью ветроэлектрической установки при возмущениях сети» является самостоятельной, законченной, актуальной научно-квалификационной работой, обладающей научной новизной и практической значимостью.

Диссертационная работа полностью соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, а соискатель Ибрагим Ахмед Амер Ибрагим заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы.

Официальный оппонент:

профессор кафедры атомных станций и возобновляемых источников энергии ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,

доктор технических наук,

доцент

Велькин Владимир Иванович

12.05.2022г.

Сведения:

Полное наименование организации:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Адрес: Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира 19

Телефон: +7 (343) 375-47-78

Электронная почта: v.i.velkin@urfu.ru

Подпись Велькина В.И. заверяю

«____» 2022 г.



ДОКУМЕНТОВЕД УДИОВ
ГАФУРОВА А. А.