

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ МУЛЬТИМОДУЛЬНОЙ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ СКОРОСТИ ВЕТРА И НАГРУЗКИ

Степанов С.Ф.¹, Павленко И.М.¹, Ербаев Е.Т.²

¹ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Саратов, Россия (410054, Саратов, Политехническая, д. 77), e-mail: irinkapavlenko@yandex.ru

²ГКП «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана», Уральск, Республика Казахстан (090000, Уральск, ул. Жангир хана, 51), e-mail: erbol.erbaev@mail.ru

Объектом исследования является мультимодульная ветроэлектростанция, позволяющая путем увеличения количества модулей получить любую необходимую мощность, а также повысить надежность и ремонтпригодность при транспортировке, монтаже и эксплуатации. Предметом исследования, содержащегося в статье, являются основные закономерности процессов получения максимальной мощности мультимодульной ветроэлектростанции. В статье проведен обзор методов поиска точки максимальной мощности ветроэлектрических установок локального применения. Для получения максимально возможной мощности от ветроустановок при любых скоростях ветра предложен алгоритм, основанный на поддержании частоты вращения ветроколеса в оптимальном значении за счет изменения величины зарядного тока. Предложены конфигурация модуля мультимодульной ветроэлектростанции на основе бесконтактного ветрогенератора с электромеханическим способом регулирования и стабилизации выходного напряжения, преобразователя частоты на основе инвертора тока, блока аккумуляторных батарей, зарядного устройства, импульсного регулятора зарядного тока.

Ключевые слова: ветроэнергетика, мультимодульная ветроэлектростанция, синхронный генератор на постоянных магнитах, система поиска максимума мощности.

ENSURE EFFICIENT OPERATION MULTI-MODULAR WIND POWER STATION WITH CHANGE WIND SPEED AND LOAD

Stepanov S.F.¹, Pavlenko I.M.¹, Erbaev E.T.²

¹Saratov State Technical University n.a. Gagarin U.A., Saratov, Russia (410054, Saratov, street Polytechnicheskaya, 77), e-mail: irinkapavlenko@yandex.ru

²Zhangir Khan West Kazakhstan Agro-Technical University, Uralsk, Kazakhstan (090000, Uralsk, st. Zhangir Khan, 51), e-mail: erbol.erbaev@mail.ru

The object of the study is multi-modular wind power station allowing by increasing the number of modules required to get any power, as well as improve the reliability and maintainability during transportation, installation and operation. The subject of the study contained in the article are the basic laws of the processes to maximize the power of multi-modular wind farm. The article provides an overview of methods to search for the point of maximum capacity of wind power plants of local application. To get the maximum output from wind turbines at wind speeds of any proposed algorithm based on maintaining the speed of the wind wheel at the optimum value by changing the value of the charging current. Proposed multi-modular setup of a wind farm on the basis of wind turbine with an electromechanical method for controlling and stabilizing the output voltage of the frequency converter based on current inverter, the battery pack, charger, charging current switching regulator.

Key words: wind energy, multi-modular wind power plant, permanent magnets synchronous generator, maximum power point tracking system.

В настоящее время существуют два направления развития ветроэнергетики, первое подразумевает конструирование одноагрегатных ветроэлектрических установок (ВЭУ) большой мощности, второе – развитие ВЭУ малой мощности, локального применения. Одним из возможных направлений развития ветроэнергетики является создание многомодульных ветроэлектрических станций, состоящих из 1-2 десятков небольших ветроколес диаметром до 2 м [2]. Мультимодульная ветроэлектростанция (ВЭС) – это

ветроэлектростанция, представляющая собой систему однотипных транспортабельных модулей небольшой мощности, конструктивно и функционально совместимых между собой, которыми управляет единая система управления. Модульный принцип построения ВЭС позволяет путем увеличения количества модулей получить любую необходимую мощность, а также повысить надежность и ремонтпригодность при транспортировке, монтаже и эксплуатации [2].

Каждый модуль мультимодульной ветроэлектростанции содержит (рис. 1):

1 - ветроколесо (ВК), установленное на неподвижном валу и расположенное в роторе электрического генератора,

2 - электротехнический комплекс, состоящий из:

- синхронного генератора с магнитоэлектрическим возбуждением от постоянных магнитов неодим-железо-бор (NdFeB),
- электромеханической системы перемещения ветроколеса,
- преобразователя частоты, выполненного по схеме инвертора тока,
- блока аккумуляторных батарей [2].

Ветрогенераторная часть модуля ВЭС (ветрогенератор) представляет собой многополюсный синхронный генератор, в роторе которого установлено ветроколесо.

В состав модуля ВЭС входит импульсный регулятор тока заряда аккумуляторных батарей (рис. 1), при этом синхронный генератор на постоянных магнитах рассчитан так, чтобы при минимальной рабочей скорости ветра амплитудное значение напряжения СГПМ было равно напряжению АБ.

Импульсный регулятор тока заряда содержит силовой полупроводниковый ключ VT1, переключающийся с определенной частотой из состояния насыщения в состояние отсечки. Величина выпрямленного напряжения определяется скважностью, которая определяется разностью между сигналом напряжения обратной связи и опорного пилообразного напряжения, и частотой управляющих импульсов. Управляющие импульсы переменной частоты формируются в блоке управления схемой широтно-импульсной модуляции.

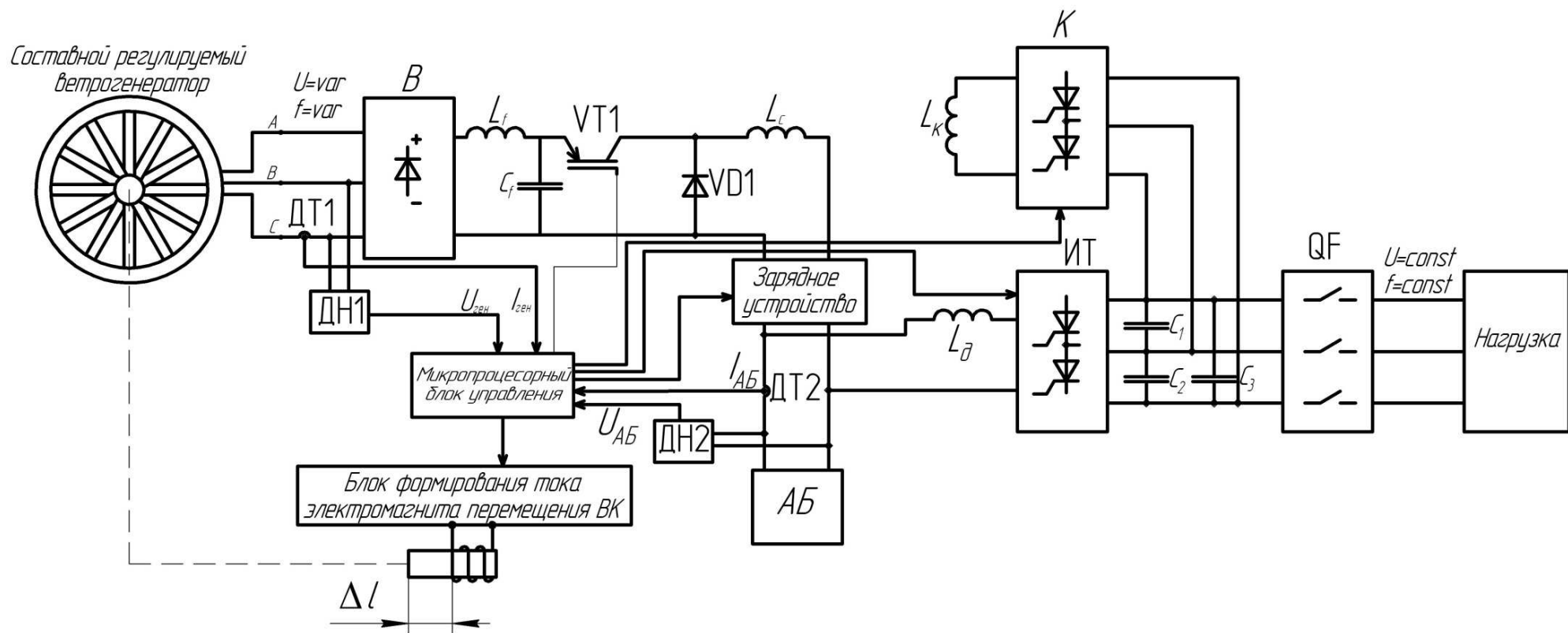


Рис. 1 – Блок-схема модуля МВЭС с системой поиска максимума при работе на заряд аккумуляторной батареи:

К – компенсирующее устройство; L_k – входной дроссель компенсатора; L_d – входной дроссель инвертора тока;

C_1 - C_3 – коммутирующие конденсаторы; QF – автоматический выключатель;

ДН1, ДН2 – датчики напряжения; ДТ1, ДТ2 – датчики тока; В – выпрямитель; VT1 – силовой полупроводниковый ключ;

VD1 – диод импульсного регулятора зарядного тока (ИРЗТ); L_c – дроссель ИРЗТ; L_f , C_f – сглаживающий фильтр

Энергия ветра очень непостоянна, она непрерывно изменяется в течение дня. Суммарная величина электроэнергии, вырабатываемой ветроэлектрическими установками, зависит от точности слежения за точкой максимума мощности с помощью контроллеров системы управления. Особенностью ветроэлектрических установок с синхронными генераторами на постоянных магнитах является зависимость выходного напряжения ВЭУ от скорости ветра. Для стабилизации и регулирования выходного напряжения синхронного генератора на постоянных магнитах мультимодульной ВЭС при изменяющихся скорости ветра и нагрузке применяется электромеханический способ, основанный на изменении положения ротора относительно обмоток статора. Для осуществления способа регулирования напряжения СГПМ каждый модуль мультимодульной ВЭС содержит электромеханическую систему перемещения ветроколеса [3].

Однако независимо от конструкции ветроколеса и типа электрического генератора мощности ВЭУ зависят от скорости вращения ротора и скорости ветра. При этом для каждого значения скорости ветра ВЭУ имеет свой максимум мощности при определенной скорости вращения ротора. Для того чтобы получать максимально возможную мощность от ВЭУ при любых скоростях ветра, необходимо регулировать скорость вращения турбины так, чтобы она всегда соответствовала оптимальной скорости вращения при данной скорости ветра.

ВЭУ с генераторами на постоянных магнитах могут быть использованы в основном в трех различных применениях: как автономные системы, как работающие на централизованную сеть и в составе гибридных систем с дизельными или солнечными установками [4]. Для каждого применения ВЭС требуется свой контроллер управления, учитывающий особенности работы ВЭС в конкретных условиях. При этом не существует контроллеров, которые были бы универсальными и подходили для всех применений ВЭС.

Существует два типа алгоритмов отслеживания ТММ, а именно: методы, основанные на знании параметров и характеристик ветрогенератора (коэффициента использования энергии ветра C_p , быстроходности Z), и методы, которые позволяют выполнить поиск точек, соответствующих максимальной мощности, не зная характеристик ветрогенератора.

В рамках этих алгоритмов существует три метода поиска ТММ: метод обеспечения работы ветрогенератора с постоянной оптимальной величиной быстроходности Z ; метод на основе сигнала обратной связи и метод поиска экстремума.

В первом методе управления регулируется скорость вращения генератора в целях поддержания оптимального значения быстроходности Z , при котором мощность ветрогенератора является максимальной. Этот метод требует наличия датчиков скорости ветра для измерения скорости и частоты вращения ветрогенератора, а также знания

оптимального значения Z ветроколеса для того, чтобы система могла извлечь максимально возможную мощность. На рис. 2 показана блок-схема данного метода [4].

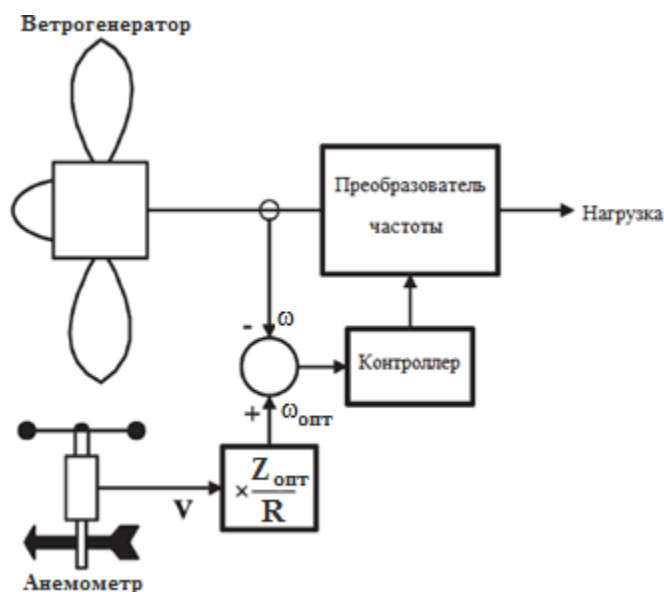


Рис. 2 - Система управления, основанная на поддержании оптимального значения быстроходности

Во втором методе управления требуется знать максимальную мощность ветровой турбины и отслеживать эту мощность через его механизмы контроля. Система управления [5] основана на зависимости оптимальной мощности P_d от частоты вращения ω , которая обычно хранится в памяти микроконтроллера. ТММ кривых могут быть получены с помощью моделирования или эксперимента, проведённого на отдельных ветроустановках. Система управления основана на измерении скорости вращения ветроколеса, вычислении выходной мощности и сравнении данных с фактическим значением выходной мощности. На рис. 3 показана блок-схема данного метода.

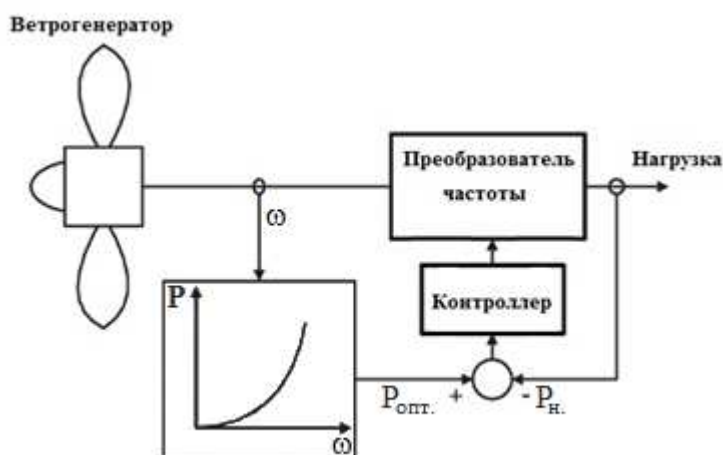


Рис. 3 - Мощность сигнала управления с обратной связью

Существует система управления, состоящая из двух контуров: внутреннего (контроль текущих значений тока и частоты вращения) и внешнего контуров электрохимической мощности. Синхронный генератор на постоянных магнитах соединен с ветроколесом напрямую [5].

Недостатком двух вышеописанных методов управления является то, что они основаны на знании оптимальной мощности и быстроходности ветрогенератора в зависимости от частоты вращения ветроколеса, которая обычно не известна с высокой степенью точности.

В третьем методе алгоритм управления непрерывно ищет ТММ ветрового колеса. Это позволяет преодолеть некоторые из общих проблем, которые обычно присущи двум другим методам.

Принцип поиска точки максимальной мощности ВЭС представлен на рис. 4. При значении производной $dP/d\omega=0$ значение мощности находится в точке максимума. При значении производной $dP/d\omega<0$ точка на мощностной характеристике смещена вправо от точки максимума. Для возврата этой точки в ТММ необходимо уменьшить частоту вращения ротора генератора. При значении производной $dP/d\omega>0$ точка на мощностной характеристике смещена влево от точки максимума. Для возврата этой точки в ТММ необходимо увеличить частоту вращения ротора генератора.

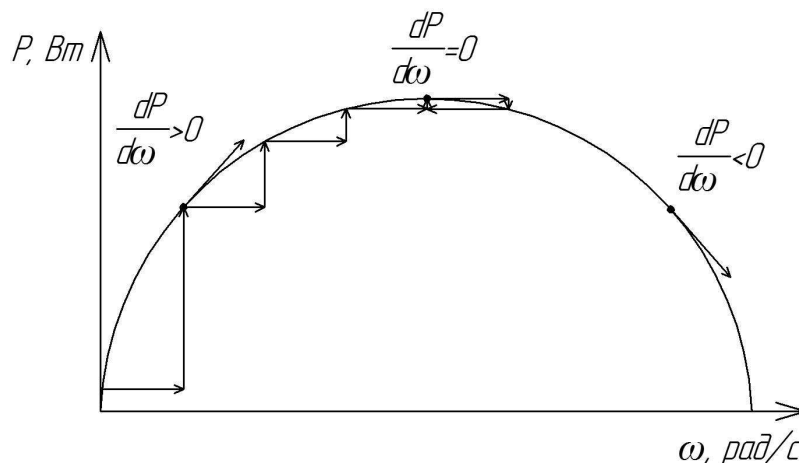


Рис. 4 - Принцип поиска максимума мощности без знаний C_p и Z

Непостоянство мощности ветрового потока и необходимость автономной работы ветроэлектрической станции вызывают включение в состав модуля МВЭС аккумуляторных батарей (АБ). Особенностью данной структуры модуля является непостоянство напряжения на выходе неуправляемого выпрямителя, вызванное прямо пропорциональной зависимостью выходного напряжения ветрогенератора от скорости вращения ротора ВК, а, следовательно, и скорости ветра.

Микропроцессорный блок управления, входящий в состав модуля МВЭС, выполняет следующие функции:

- 1) Формирование величины тока электромагнита электромеханической системы перемещения ветроколеса. При превышении напряжения ветрогенератора МВЭС величины номинального значения (при соединении всех секций обмотки параллельно) контроллер подает сигнал (положительный или отрицательный ток) на обмотку электромагнита электромеханической системы перемещения ветроколеса, за счет чего осуществляется перемещение ротора СГПМ относительно обмоток статора.
- 2) Заряд АБ непрерывным током, заряд АБ при постоянном напряжении, хранение (компенсация тока саморазряда аккумулятора).
- 3) Слежение за точкой максимальной мощности ветрогенератора при изменяющихся скорости ветра и нагрузке.

Контроль точки максимальной мощности при переменной скорости вращения ротора ветрогенератора позволяет максимально преобразовать энергию ветра в электроэнергию. Целевая функция при этом может быть записана как максимальная мощность генератора при наличии импульсного регулятора зарядного тока и системы поиска ТММ [1]:

$$P_{ген} = \frac{\pi}{6} (1 - \alpha_{opt})^2 R_L \frac{(k \psi_0 (1 - \Delta l / l) \omega_{opt})^2}{\left[\frac{\pi}{18} (1 - \alpha_{opt})^2 R_L + R_S \right]^2 + X_S^2}, \quad (1)$$

где R_L – сопротивление нагрузки; X_S и R_S – индуктивное и активное внутренние сопротивления генератора; α_{opt} – коэффициент заполнения импульсов.

Коэффициент заполнения импульсов определяется по формуле:

$$\alpha_{opt} = 1 - \frac{3}{\pi} \sqrt{\frac{2\sqrt{R_S^2 + X_S^2}}{R_L}}. \quad (2)$$

Выводы:

1. Модульный принцип построения ветроэлектростанций позволяет получить необходимую мощность мультимодульной ВЭС за счет набора необходимого количества однотипных модулей. Данный принцип позволяет максимально снизить затраты на производство и техническое обслуживание МВЭС.
2. Электромеханическая система перемещения ветроколеса позволяет стабилизировать величину генерируемого напряжения в зоне больших скоростей ветра. В зоне малых и средних скоростей ветра стабилизация выходного напряжения обеспечивается за счет преобразователя частоты на основе инвертора тока.

3. Для получения максимальной генерируемой мощности МВЭС в диапазоне скоростей ветра от 2,5 до 10 м/с предложена структура модуля с импульсным регулятором зарядного тока и экстремальной системой настройки на режим максимальной генерируемой мощности.

Список литературы

1. Павленко И.М. Совершенствование системы генерирования электроэнергии на основе мультимодульной ветроэлектростанции: Автореф. дис. канд. техн. наук. — Саратов, 2013. —20 с.
2. Павленко И.М. Особенности ветрогенераторной части мультимодульных ветроэлектростанций / И.М. Павленко, С.Ф. Степанов // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 4 (Электронный журнал) URL: <http://www.science-education.ru/110-9843>.
3. Патент на полезную модель № 128674 Российская Федерация, МПК⁷ F 03 D 3/02, F 03 D 9/00. Мультимодульная ветроэлектростанция / Павленко И.М., Степанов С.Ф. , Коваленко В.В.; заявитель и патентообладатель СГТУ имени Гагарина Ю.А. – №2012153363/06; заявл. 10.12.2012 ; опубл. 27.05.13.– 9 с.: ил.
4. Hilmy, M. Modeling and Control of Direct Drive Variable Speed Stand-Alone Wind Energy Conversion Systems / H. Mohamed, E. Ahmed Mahrous, M.Orabi / Proceedings of the 14th International Middle East Power Systems Conference (MEPCON'10) / Cairo University. – Egypt, 2010. – P. 742-744.
5. Messaoud, M. Comparative Study of a Small Size Wind Generation System Efficiency for Battery Charging / M. Messaoud, A. Rachid // SERBIAN JOURNAL OF ELECTRICAL ENGINEERING, 2013 - №. 2. - P. 261-274.

Рецензенты:

Артюхов И.И., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Электроснабжение промышленных предприятий» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А., г. Саратов.

Томашевский Ю.Б., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Системотехника» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А., г.Саратов.