

ОСОБЕННОСТИ ВЕТРОГЕНЕРАТОРНОЙ ЧАСТИ МУЛЬТИМОДУЛЬНЫХ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Павленко И.М.¹, Степанов С.Ф.¹

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

Предложена конструкция интегрированной ветрогенераторной части мультимодульной ветроэлектростанции, выполненная на основе регулируемого синхронного генератора на постоянных магнитах. Регулирование напряжения генератора осуществляется за счет изменения положения ротора относительно обмоток статора при скорости ветра от $v_{ном}$ до v_{max} . Для стабилизации и регулирования напряжения мультимодульной ветроэлектростанции в диапазоне скоростей ветра от v_{min} до v_{max} каждый модуль содержит преобразователь частоты на основе инвертора тока с индуктивно-тиристорным компенсатором. Разработана модель ветрогенераторной части мультимодульной ветроэлектростанции с помощью пакета прикладных программ Matlab+Simulink, которая позволяет исследовать динамические режимы работы с учетом мощности ветрового потока, частоты вращения ветроколеса, величины и характера нагрузки. Выявлена зависимость перемещения ротора относительно статора в зависимости от скорости ветра и значения потокосцепления.

Ключевые слова: ветроэнергетика, мультимодульная ветроэлектростанция, синхронный генератор на постоянных магнитах, регулирование напряжения, перемещение ротора.

FEATURES OF THE WIND GENERATOR PART MULTI-MODULAR WIND POWER PLANT

Pavlenko I.M.¹, Stepanov S.F.

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

A design of an integrated multi-modular wind generator of wind power, made on the basis of the controlled synchronous generator with permanent magnets. Generator voltage regulation is carried out by changing the position of the rotor relative to the stator windings with wind speeds of up to $V_n v_{max}$. To stabilize and regulate voltage multi-modular wind power in the range of wind speeds from v_{min} to v_{max} each module contains the inverter based on current inverter with inductively thyristor compensator. A model of the wind generator of wind power with the help of multi-modular software package Matlab + Simulink, which allows you to explore the dynamic modes, taking into account the power of the wind flow, the speed of the wind wheel, the size and nature of the load. The dependence of the displacement of the rotor relative to the stator depending on the wind speed and flux values.

Keywords: wind energy, multi-modular wind power plant, permanent magnets synchronous generator, voltage regulation, rotor moving.

Постоянно увеличивающаяся стоимость углеводородных видов топлива, использование которых негативно влияет на экологическую ситуацию и приводит к изменению климатических условий на планете, вынуждает разные страны пересмотреть свою энергетическую стратегию. В связи с этим мировое сообщество сделало выбор в пользу безопасной и устойчивой энергетики, основанной на экологически чистых технологиях. В этих условиях ветроэнергетика является наиболее привлекательным решением существующих энергетических проблем.

Ветроэнергетика является бурно развивающейся отраслью. Ежегодный прирост мощностей в ветроэнергетике составляет не менее 30%. На современном этапе развития

ветроэнергетики имеется два самостоятельных направления. Разработчики ветроэлектрических установок (ВЭУ) первого направления стремятся увеличить вырабатываемую ими мощность за счет увеличения их габаритов [1]. Сложность и дороговизна транспортировки, монтажа, ремонта ветроустановок первого направления привели к созданию и развитию альтернативного направления развития ветроэнергетики, основанного на развитии ВЭУ модульного типа. Мультимодульная ветроэлектростанция – 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 необходимую мощность, а также повысить надежность и ремонтпригодность при транспортировке, монтаже и эксплуатации [2]. В связи с ростом потребляемой мощности современных городов, увеличением протяженности распределительных электрических сетей в настоящее время развивается городская распределенная ветроэнергетика. Основная концепция городской ветроэнергетики заключается в том, что ветроэлектрическая установка располагается на крыше здания. Использование энергии ветра в городской среде требует изменения подходов к конструированию, размещению и формированию новых требований к ветроустановкам городского типа. Конструкция мультимодульной ветроэлектростанции позволяет с легкостью установить ее на крыше многоэтажного дома, не причинив вреда зданию.

Каждый модуль МВЭС состоит из ветрогенераторной части, преобразователя частоты на основе инвертора тока (ИТ), блока аккумуляторных батарей. Ветрогенераторная часть МВЭС состоит из горизонтально-осевого ветроколеса (ВК) и многополюсного синхронного генератора на постоянных магнитах (СППМ). Отсутствие мультипликатора или редуктора в составе МВЭС снижает стоимость и массу всей установки в целом, повышает ее надежность и упрощает эксплуатацию. Особенностью конструкции является то, что ветроколесо установлено в роторе электрического генератора, что обеспечивает бесконсольность ветрогенераторной части МВЭС, за счет чего достигается снижение веса ветродвигателя в несколько раз, по сравнению с существующими ВЭС горизонтального исполнения.

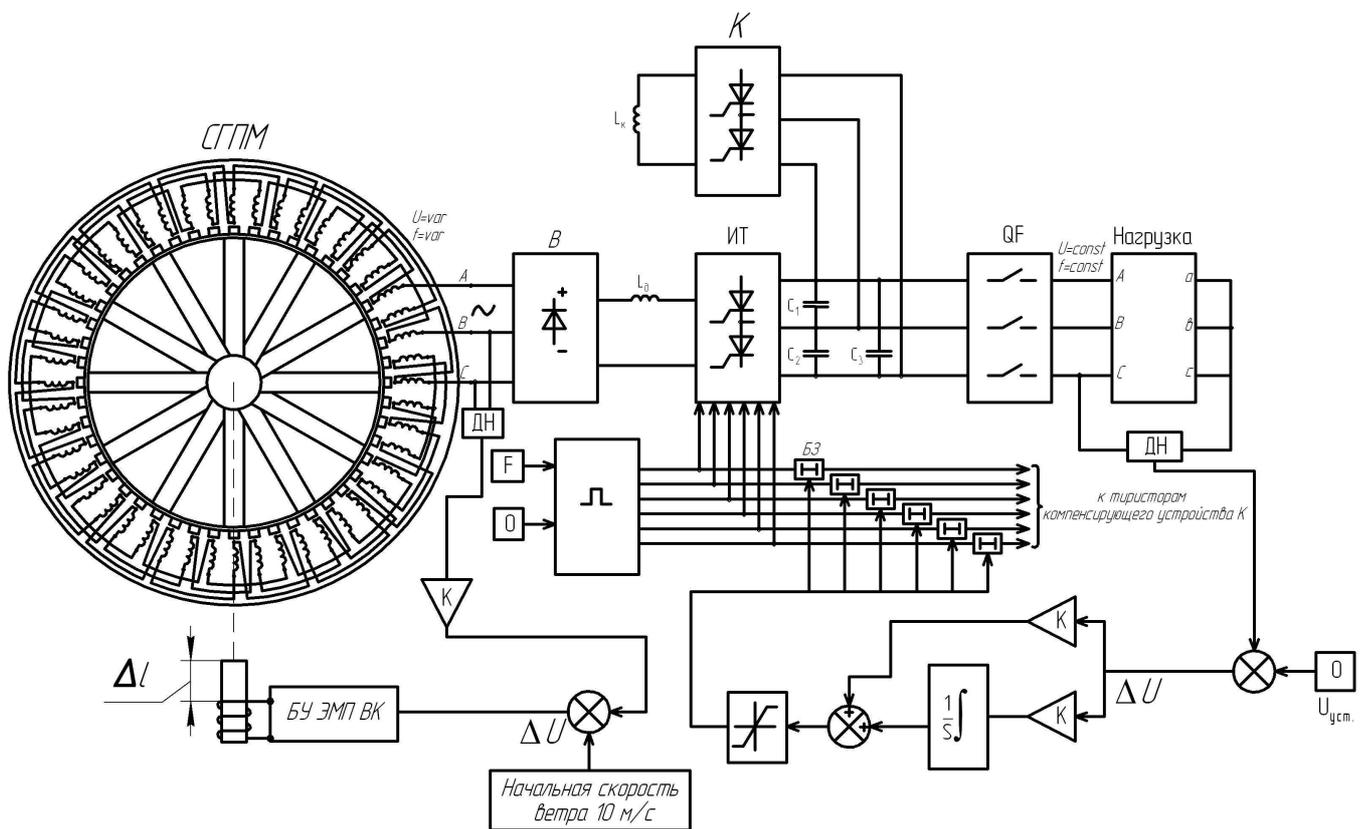


Рис. 1. Блок схема модуля мультимодульной ветроэлектростанции: В – выпрямитель, ИТ – инвертор тока, QF – автоматический выключатель, К – компенсирующее устройство, Lk – входной дроссель компенсатора; Ld – входной дроссель инвертора тока; C1-C3 –коммутирующие конденсаторы, QF – автоматический выключатель, БУ ЭМП ВК – блок управления электромеханической системой перемещения ветроколеса, БЗ – блок задержки, ДН – датчик напряжения

Синхронные генераторы на постоянных магнитах, применяемые в ветроэлектрических установках работают в широком диапазоне изменения частоты вращения ротора. Величина генерируемого напряжения СГПМ при работе в режиме холостого хода U_o прямо пропорционально зависит от скорости вращения ротора [4] и определяется по формуле (1):

$$U_o = \frac{\omega}{\pi\sqrt{2}} p^2 W B_0 S, \quad (1)$$

где: p – число пар полюсов; W – количество витков обмотки статора; S – площадь постоянного магнита; B_0 – максимальная индукция в воздушном зазоре; ω – угловая частота.

Если ВЭС спроектирована для работы в диапазоне скоростей ветра от 2 до 25 м/с, то напряжение на выходе нерегулируемого генератора будет изменяться в U_{\max}/U_{\min} раз, что приведёт к преждевременному старению изоляции и сокращению службы генератора. Для СГПМ мультимодульной ветроэлектростанции, в которых величина магнитного потока постоянна, регулировку выходного генерируемого напряжения осуществляют за счет изменения положения ротора, с расположенными на нем магнитами, относительно обмоток

статора. Перемещение ротора относительно обмоток статора в предлагаемой конструкции осуществляется магнитоэлектрическим способом путем взаимодействия кольцевого постоянного магнита, закрепленного на роторе (ветроколесе), с электромагнитом, закрепленным неподвижно относительно статора. Перемещение ротора относительно обмоток статора происходит за счет изменения величины тока электромагнита в зависимости от скорости ветра, тем самым регулируя величину выходного генерируемого напряжения [3].

Для стабилизации напряжения в диапазоне скоростей ветра от v_{min} до v_{max} каждый модуль МВЭС содержит преобразователь частоты на основе инвертора тока, состоящий из неуправляемого выпрямителя, входного дросселя ИТ, инвертора тока, индуктивно-тиристорного компенсатора и коммутирующих конденсаторов (рис. 1).

На рис. 2 представлена имитационная математическая модель ветрогенераторной части модуля МВЭС с регулируемым синхронным генератором на постоянных магнитах. Электромагнитная часть синхронного генератора на постоянных магнитах описывается системой дифференциальных уравнений (2) во вращающейся системе координат [5], которые обозначены через d и q:

$$\begin{aligned} \frac{di_d}{dt} &= \frac{1}{L_q} u_d - \frac{R}{L_d} i_d + \frac{L_q}{L_d} p \omega_r i_q, \\ \frac{di_q}{dt} &= \frac{1}{L_q} u_q - \frac{R}{L_q} i_q + \frac{L_d}{L_q} p \omega_r i_q - \frac{\psi \omega_r p}{L_q}, \\ T_e &= 1,5 p (i_q \psi + (L_d - L_q) i_d i_q) \end{aligned} \quad (2)$$

где i_d , i_q , u_d , u_q - амплитуды тока и напряжения статора по осям d, q, ψ - амплитуда потока постоянного магнита ротора, сцепленного с обмоткой статора, T_e - электромагнитный момент, ω_r - угловая скорость вращения ротора, L_d , L_q - индуктивности по осям d,q, R – сопротивление статора, p - число пар полюсов.

Описанный выше принцип регулирования напряжения СГПМ основан на изменении значения потокосцепления ψ при увеличении напряжения выше номинального $U_{ном}$. Значение напряжения на выходе неуправляемого выпрямителя сравнивается с заданным значением напряжения. Разность подается на вход усилителя, а на выходе сравнивается с заданным значением потокосцепления. При увеличении сверх заданного значения напряжения система управления уменьшит потокосцепление синхронного генератора так, чтобы напряжение на его выходе было равно заданному значению.

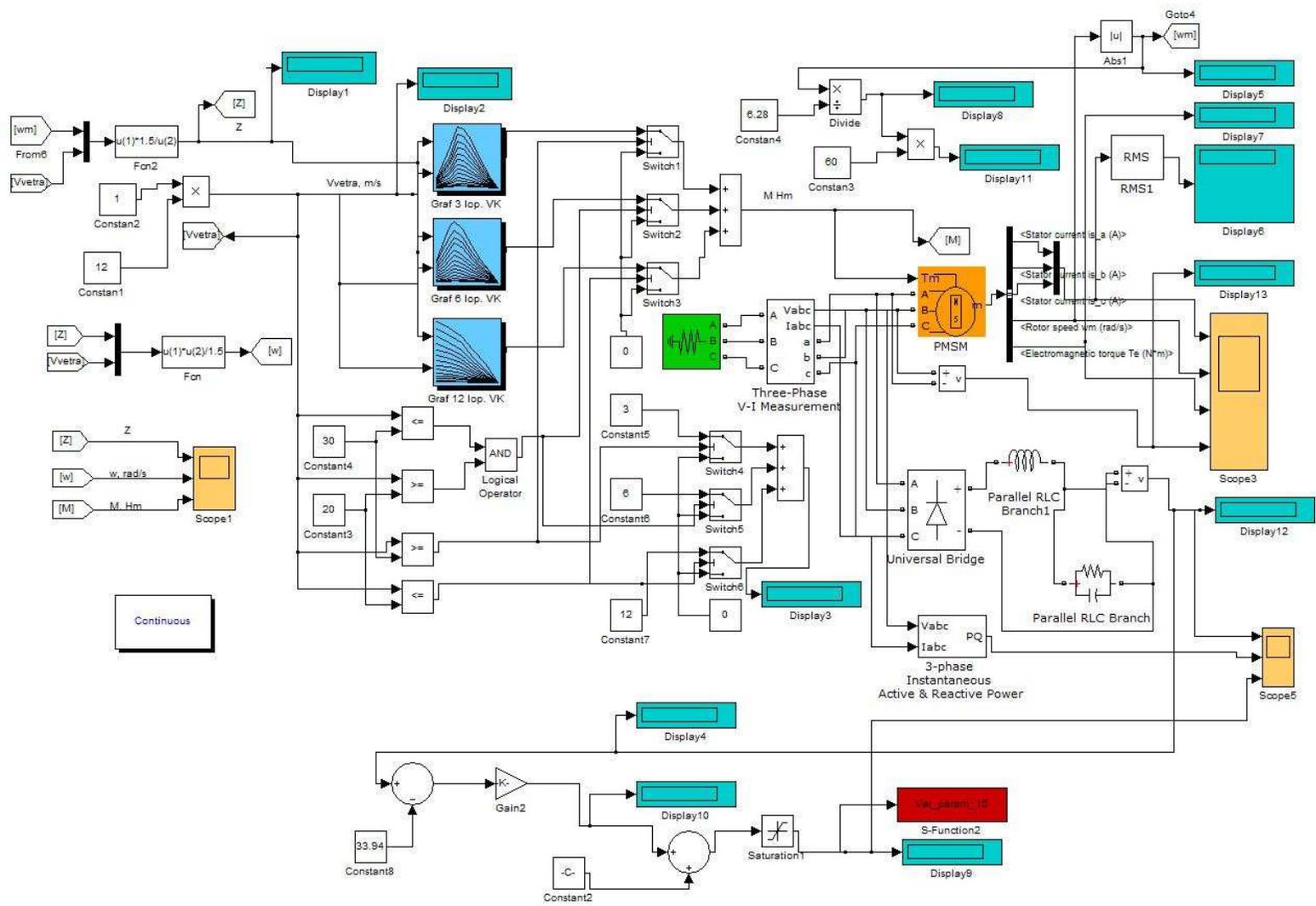


Рис. 2. Имитационная математическая модель ветрогенераторной части МВЭС

Потокосцепление поля, создаваемого постоянными магнитами ротора, с обмоткой статора определяется по формуле (3):

$$\psi = B_0 b_m l_m W, \quad (3)$$

где B_0 – индукция в воздушном зазоре СГПМ, $S_m = b_m l_m$ – площадь постоянных магнитов ротора, W – число витков обмотки статора.

Определяя значение потокосцепления, определяется длина ротора, находящаяся под обмоткой статора, при постоянном напряжении генератора, но изменяющейся скорости вращения ротора.

На рисунке 3 представлена зависимость смещения ротора относительно статора от скорости ветра в диапазоне 12–25 м/с для ветрогенератора с диаметром ВК, равным 1,2 м, номинальной скоростью ветра $V_{ном}=10$ м/с, номинальной мощностью $P_{ном}=150$ Вт.

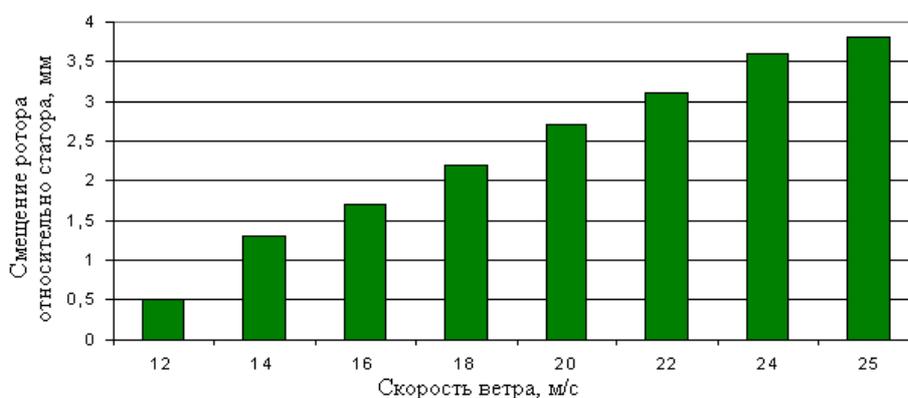


Рис. 3. Смещение ротора Δl в зависимости от скорости ветра при $U_{ген}=24$ В

Разработанная новая конструкция ветроэлектрического генератора на постоянных магнитах с магнитоэлектрической системой регулирования генерируемого напряжения позволяет поддерживать напряжение на выходе СГПМ равным номинальному при изменениях скорости ветра в пределах $V_{ном} - V_{max}$. Модульный принцип построения ветроэлектрических станций обеспечивает повышенную надежность, ремонтпригодность, удобство обслуживания, а также работу МВЭС в широком диапазоне скоростей ветра.

Список литературы

1. Ветроэлектростанция : пат. 2062353 РФ № 93025791/06; заявл. 28.04.1993; опубл. 20.06.1996. - 5 с.

2. Павленко И.М., Соломенкова О.Б., Степанов С.Ф. Мультимодульные ветроэлектростанции – одно из перспективных направлений использования ветровой энергии // Энергосбережение в Саратовской области. - 2011. - № 2 (44). – С. 42-43.
3. Павленко И.М., Соломенкова О.Б., Степанов С.Ф. Electric power generating system for wind power station based on axial flux permanent magnets generator and converter frequency based on current inverter // Молодые ученые за инновации: создавая будущее : матер. Международной науч.-практич. интернет-конф. в рамках Междунар. интернет-фестиваля молодых ученых / СГТУ. – Саратов, 2011. – С. 141-144.
4. Павленко И.М., Соломенкова О.Б., Степанов С.Ф. Способ регулирования напряжения мультимодульной ВЭС // Новые технологии и технические средства в АПК : матер. Междунар. конф. / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». - Саратов, 2013. - С. 137-139.
5. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в Matlab, SimPowerSystems и Simulink. - М. : ДМК Пресс, 2008. - 288 с.

Рецензенты:

Артюхов Иван Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А., г. Саратов.

Митяшин Никита Петрович, доктор технических наук, профессор кафедры «Системотехника» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А., г. Саратов.