

УДК.681.518.54

Д.Г. Алексеевский, доцент, канд. техн. наук,*ЗГИА, г. Запорожье**E-mail: peet@zgia.zp.ua***П.Д. Андриенко, д-р техн. наук, профессор,****В.П. Метельский, канд. техн. наук, профессор,****И.Ю. Немудрый, аспирант***Запорожский национальный технический университет имени В.Я. Чубаря, г. Запорожье**E-mail: andrpd@ukr.net, nikanto@mail.ru***АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ С
АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ МУЛЬТИПЛИКАЦИЕЙ**

Изложены результаты моделирования режимов работы ветроэлектрической установки с аэродинамической мультипликацией при переменной частоте вращения турбин. Предложены основные технические средства для повышения их эффективности работы.

Ключевые слова: ветроэлектрическая установка, турбина, мощность, эффективность.

Создание нового класса ветроэлектрических установок (ВЭУ) с аэродинамической мультипликацией требует детального анализа их характеристик.

Основные соотношения, определяющие характеристики ВЭУ с аэродинамической мультипликацией получены в [1].

В работе [2] методом математического моделирования было показано, что ВЭУ с аэродинамической мультипликацией при постоянных оборотах ветротурбин обладает эффектом автостабилизации электромеханической системы в оптимальном режиме при работе на сеть большой мощности с переменной скоростью вращения ветроколеса ВЭУ в относительно широком диапазоне изменения скорости ветрового потока. Вместе с тем, при скорости ветрового потока ($V_{вн}$) менее $0,5 \div 0,6$ ($V_{вн}$) наблюдается отклонение мощности ВЭУ от оптимальной.

Целью статьи является поиск технических решений позволяющих повысить эффективность ВЭУ при относительно низких скоростях ветрового потока.

Используя математическую модель работы [2] были проведены исследования поведения электромеханической системы при изменении скорости вращения турбин ветрогенераторов ВЭУ типа ТГ-750. Результаты моделирования представлены на рисунке 1 зависимостью относительной максимальной мощности от относительной скорости ветрового потока.

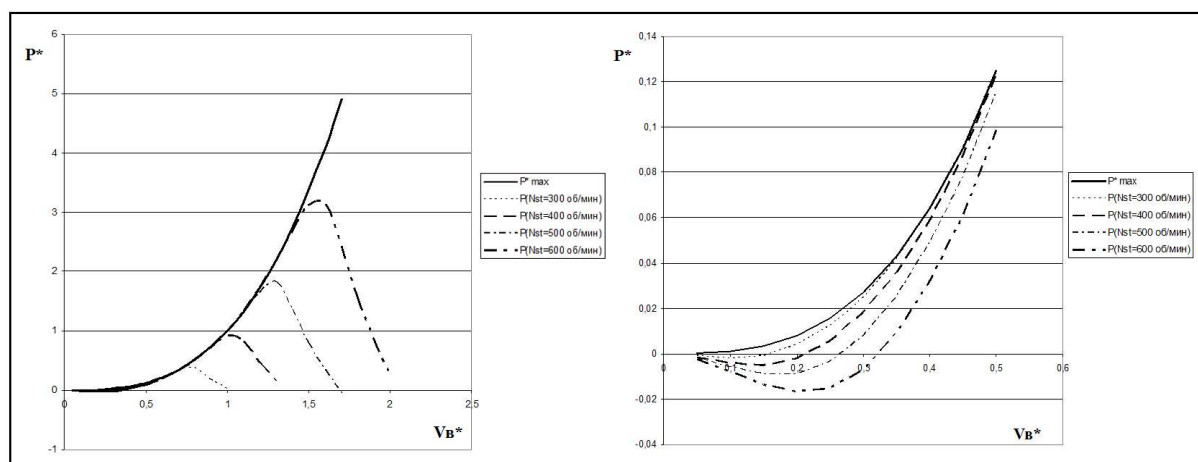


Рисунок 1 – Зависимость относительной максимальной мощности функции от относительной скорости ветрового потока

Из полученных зависимостей следует, что максимальный отбор мощности может быть получен при переменных скоростях вращения турбин ω_{21} и ветроколеса ω_{11} . При этом полностью исчезает «вентиляторный» эффект ВЭУ при малых ветровых потоках.

Реализация такого способа управления достаточно сложна, т.к. требует измерения большого количества параметров и учета нелинейностей уравнений динамики [4].

Анализ статической характеристики (рисунок 1) показывает, что работа ВЭУ при скоростях ветрового потока менее 2 м/с мало эффективна, так как, генерируемая мощность относительно мала и соизмерима с механическими потерями.

Из зависимости $P_{\max}(V_{\text{в}}^*)$ (рисунок 1) следует, что технически наиболее целесообразно перейти на работу ветротурбин с постоянной частотой вращения $\approx 0,5\omega_{\text{н}}$. При этом ВЭУ снова приобретает свойства автостабилизации ее работы в оптимальном режиме, отбор мощности ветрового потока возрастает на величину $(0,01 \div 0,02) P_{\text{н}}$. Поскольку в этом режиме генератор работает с частотой ≈ 25 Гц, то для согласования с сетью необходим преобразователь, в качестве которого может быть использован двухзвенный преобразователь с автономным или ведомым сетью инвертором. При этом требуемая мощность преобразователя уменьшается примерно в 4 раза. Поддержание стабильной частоты вращения обеспечивается регулятором частоты. Вариант реализации такого алгоритма приведен в [3].

В [2, 4] показано, что для повышения эффективности ВЭУ ось турбины устанавливается на неповоротных частях лопасти ветроколеса, под некоторым оптимальным углом α в плоскости вращения ветроколеса.

При этом скорость набегающего на турбины потока V_2 определяется соотношением [4]

$$V_2 = \sqrt{V_{\text{в}}^2 + V_r^2} \cdot \cos(\alpha - \beta), \quad (1)$$

где $V_{\text{в}}$ – скорость ветрового потока; $V_r = \omega_1 R_2$; R_2 – радиус установки ветротурбин; α – угол установки ветротурбин; $\beta = \arctg(V_{\text{в}}/V_r)$.

Из (1) следует, что скорость ветрового потока зависит от двух параметров: V_r – определяемой скоростью вращения ветроколеса и угла β – определяемого отношением $\arctg(V_{\text{в}}/V_r)$. От изменения этих величин зависит модуль изменения вторичного ветрового потока. При номинальном режиме работы, когда параметры близки к номинальным, угол α , который определяется как [3] равен β и величина скорости ветрового потока V_2 принимает максимальное значение.

$$\alpha = \arctg\left(\frac{V_{\text{вн}}}{V_{2\text{н}}}\right), \quad (2)$$

При постоянном ветровом потоке относительно оси вращения ветрового колеса происходит изменение основного ветрового потока относительно центров расположения турбин из-за неравномерности ветрового потока относительно земли [5]. Указанное обстоятельство приводит к модуляции ветрового потока V_2 частотой вращения ветрового колеса при изменении скорости ветрового потока $V_{\text{в}}$ относительно расположения оси турбин. Эти колебания ветрового потока приводят к колебаниям мощности (момента) каждого генератора.

В силу пространственного сдвига лопастей ветроколеса и симметричном изменении скорости ветрового потока относительно оси ветроколеса (при высоте оси 100 и более метров) суммарная выходная мощность остается постоянной, что иллюстрируют результаты моделирования работы ВЭУ при постоянном ветровом потоке (рисунок 2) ($V_{\text{в1}}$, ω_1 , ω_{21} ; $M_{\text{г1}}$, $V_{\text{в1}}$, $P_{\text{н}}$ – скорости основного ветрового колеса, частоты вращения ветроколеса и турбины, момент генератора скорости набегающего потока турбины, выходная мощность ВЭУ) [2].

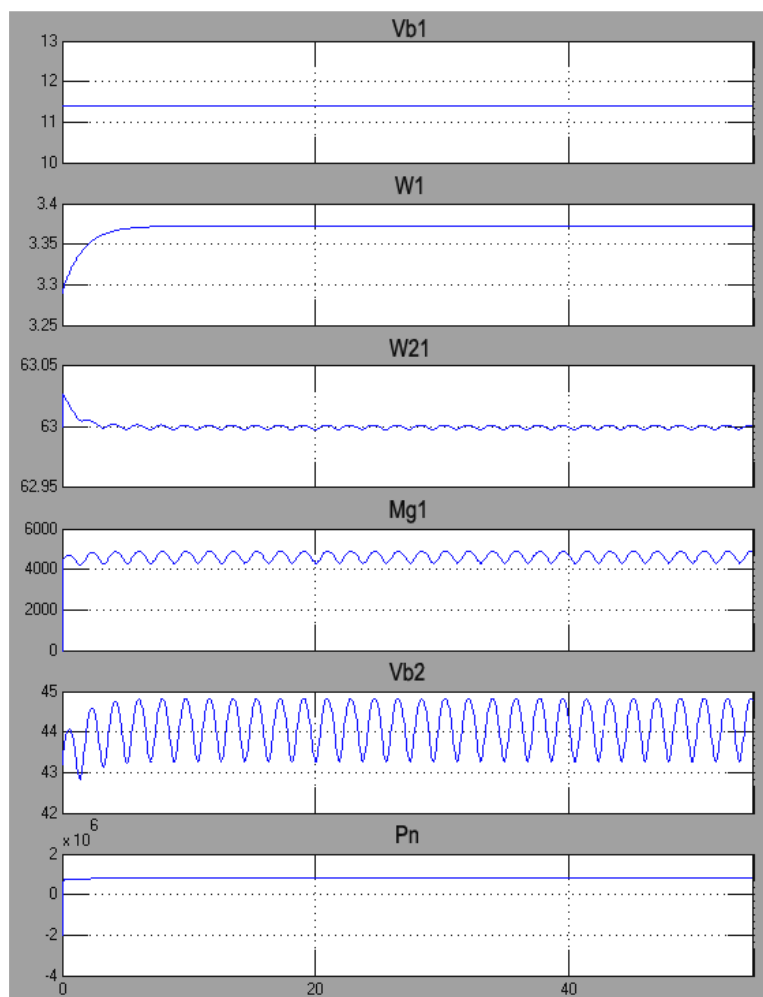


Рисунок 2 – Осциллограмма работы ВЭУ при постоянном потоке

Однако наличие несимметрии ветрового потока при расположении оси ветроколеса на высоте 50÷60 м приводит к заметной асимметрии ветровых потоков в секторах расположения турбин, что вызывает модуляцию выходной мощности ВЭУ частотой вращения ветроколеса.

Так как при работе ВЭУ вращающие моменты турбин всегда модулированы частотой вращения ветроколеса, то это необходимо учитывать при расчете усталостной прочности ветроколеса.

Устранение колебаний генерируемой мощности (или связанных с нею выходного напряжения или тока) возможно введением соответствующих каналов регулирования системы возбуждения генераторами либо установкой накопителей или резисторных поглотителей электроэнергии с установленной мощностью до $0,1 P_n$.

Выводы. Выявленные особенности режимов работы ВЭУ с аэродинамической мультипликацией позволяют обосновано использовать технические средства для повышения эффективности их работы.

Библиографический список использованной литературы

1. Голубенко Н.С. Аэродинамические особенности безмультипликаторной турбогенераторной схемы ветроэлектрической установки большой мощности / Н.С. Голубенко // Нетрадиционная энергетика XXI века: материалы IV междунар. конф., Крым, 2003 г. — С. 115–132.
2. Голубенко Н.С. Моделирование электромеханической системы ВЭУ с аэродинамической мультипликацией в режиме стабилизации скорости ветровых турбин/ Н.С. Голубенко, П.Д. Андриенко, И.Ю. Немудрый // Электротехника и электроэнергетика. — 2011. — № 1. — С. 13–20.
3. Повышение эффективности ветроэлектрической установки ТГ-750 / П.Д. Андриенко, В.П. Метельский, И.Ю. Немудрый, А.А. Никонова // Вісник Сев НТУ. Сер. Механіка, енергетика, екологія: зб. наук. пр. — Севастополь, 2011. — Вип. 119. — С. 109–111.
4. Миргород В.Ф. Управление ветроэнергетической установкой большой мощности по запасам аэродинамической устойчивости / В.Ф. Миргород // Вестник двигателестроения. — 2009. — № 3. — С. 67–70.
5. Жовнір М.М. До питання про доцільність будівництва вітрових електростанцій в Україні / М.М. Жовнір, С.В. Шульга // Енергетика Електрифікація. — 2000. — № 4. — С. 36–40.

Поступила в редакцию 19.10.2011 г.

Олексіївський Д.Г., Андрієнко П.Д., Метельський В.П., Немудрий І.Ю. Аналіз режимів роботи вітроелектричної установки з аеродинамічною мультиплікацією

Викладено результат моделювання режимів роботи вітроелектричної установки з аеродинамічною мультиплікацією за змінної частоти обертання турбін. Запропоновано основні технічні засоби для підвищення ефективності їхньої роботи.

Ключові слова: вітроелектрична установка, турбіна, потужність, ефективність.

Alexeevskiy D.G., Andrienko P.D., Metelskiy V.P., Nemudriy I.Y. Analysis the operation of a wind power plant with aerodynamic multiplication

The results of simulation of a wind power plant with of aerodynamic multiplication at variable speed turbines are presented. Proposed are the basic technical means to improve the efficiency of wind turbines.

Keywords: wind power plant, the turbine, power, efficiency.