

РОЗДІЛ V. ЕНЕРГЕТИКА

УДК 621.311.24

Дмитрий Алексеевский, Ольга Панкова, Павел Щипанский

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КООРДИНАТ РАБОЧЕЙ ТОЧКИ НА ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛИ ВЭУ С АЭРОДИНАМИЧЕСКИМ МУЛЬТИПЛИЦИРОВАНИЕМ

Дмитро Алексієвський, Ольга Панкова, Павло Щіпанський

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КООРДИНАТ РОБОЧОЇ ТОЧКИ НА ПАРАМЕТРИ МОДЕЛІ ВЕУ З АЕРОДИНАМІЧНИМ МУЛЬТИПЛІКУВАННЯМ

Dmitriy Alekseevskiy, Olga Pankova, Pavel Shchipanskiy

RESEARCH OF OPERATING POINT COORDINATE INFLUENCE ON THE PARAMETERS OF A WIND TURBINE MODEL WITH AERODYNAMIC MULTIPLICATION

Рассмотрена передаточная функция звена аэродинамического преобразования ветроэнергетической установки с аэродинамическим мультиплицированием. Производится анализ изменения параметров линеаризованной модели звена аэродинамического мультиплицирования и параметров передаточной функции в зависимости от изменения координат рабочей точки на статической траектории регулирования. Показана необходимость коррекции параметров регулятора для электромеханической системы ВЭУ с аэродинамическим мультиплицированием.

Ключевые слова: ветроэнергетическая установка, генератор, коэффициент, передаточная функция, аэродинамическое мультиплицирование, ветротурбина.

Рис.: 3. Библ.: 4.

Розглянуто передавальну функцію ланки аеродинамічного перетворення вітроенергетичної установки з аеродинамічним мультиплікуванням. Проведено аналіз зміни параметрів линеаризованої моделі ланки аеродинамічного мультиплікування та параметрів передавальної функції залежно від зміни координат робочої точки на статичній траєкторії регулювання. Показана необхідність корекції параметрів регулятора для електромеханічної системи ВЕУ з аеродинамічним мультиплікуванням.

Ключові слова: вітроенергетична установка, генератор, коефіцієнт, передавальна функція, аеродинамічне мультиплікування, вітротурбіна.

Рис.: 3. Бібл.: 4.

Aerodynamic transform transmission function of wind power system with aerodynamic multiplication is considered in this article. Analysis of change of element linearized model of aerodynamic multiplication and transmission function parameters depended on the change of operation point coordinates on the regulator static trajectory is performed. The necessity of regulator parameters correction for electromechanical system of wind turbine with aerodynamic multiplication.

Key words: wind plant, generator, coefficient, transfer function, aerodynamical multiplication, wind turbine.

Fig.: 3. Bibl.: 4.

Постановка проблемы. В настоящее время одной из перспективных схем построения электромеханической системы ветроэнергетической установки является схема с аэродинамическим мультиплицированием [1]. Такая система имеет ряд преимуществ перед классической схемой. Она позволяет избавиться от механического мультипликатора при относительно высокой угловой скорости генератора. Однако наличие звена двойного аэромеханического преобразования повышает порядок системы, увеличивает число нелинейных элементов в структуре системы, усложняя закон регулирования по сравнению с классической ветроэнергетической установкой.

При синтезе регулятора используется передаточная функция. При определении параметров передаточной функции используется линеаризация [3]. Так как система имеет в своем составе несколько нелинейных элементов, в основном связанных с аэродинамическим преобразованием, то, естественно, что параметры передаточной функции будут иметь разные значения для различных рабочих точек. В свою очередь, координаты рабочей точки зависят от значения скорости ветрового потока. Поэтому возникает проблема определения параметров линеаризованной модели в зависимости от положения рабочей точки.

Анализ последних исследований и публикаций. Системе с аэродинамическим мультиплицированием были посвящены работы [1, 2, 3, 4] и другие работы этих же ав-

торов. В работах [2] и [4] рассматривается система управления данной ВЭУ. Вопросам определения передаточной функции звена аэродинамического мультиплицирования была посвящена работа [3]. В ней была рассмотрена исходная математическая модель звена, произведена линеаризация исходной модели, предложена методика определения коэффициентов передаточной функции.

Выделение не решенных ранее частей общей проблемы. Параметры передаточной функции зависят от координат рабочей точки на статической траектории регулирования. Это требует постоянного изменения параметров регулятора, когда ВЭУ работает при разных значениях ветрового потока. Исследование функции при изменении скорости ветра рассмотрено не было. В связи с этим актуализируется проблема определения значений параметров передаточной функции для различных точек статической траектории регулирования.

Цель статьи. Целью работы было исследование изменения параметров линеаризованной модели и коэффициентов передаточной функции в зависимости от положения рабочей точки на статической траектории регулирования.

Изложение основного материала. Анализ изменения координат рабочей точки проводился для участка оптимального отбора мощности статической траектории регулирования.

Модель звена аэродинамического преобразования описывается системой уравнений (1).

$$\left\{ \begin{array}{l} J_1 \frac{d\omega_1}{dt} = M_{WT1} - M_T \\ J_2 \frac{d\omega_2}{dt} = M_{WT2} - M_g \\ M_{WT1} = f_1(\omega_1, V_1) \\ M_{WT2} = f_2(\omega_2, V_2) \\ V_2 = R_z \cdot \omega_1 \\ M_T = \frac{3P_{WT2}}{\omega_1} \\ P_{WT2} = M_{WT2} \cdot \omega_2 \end{array} \right. , \quad (1)$$

где $f_1(\omega_1, V_1)$, $f_2(\omega_2, V_2)$ – описание семейства механических характеристик первичной и вторичной ветротурбины;

ω_1, ω_2 – угловая скорость вращения первичной и вторичной ветротурбины в рабочей точке;

M_T – момент торможения первичной аэромеханической подсистемы;

P_{WT2} – мощность вторичной ветротурбины;

V_2 – скорость вторичного воздушного потока в рабочей точке;

M_{WT2}, M_{WT1} – момент первичной и вторичной ветротурбины;

J_1^*, J_2^* – момент инерции первичной и вторичной аэромеханических подсистем в относительных единицах;

R_z – радиус закрепления вторичной ветротурбины.

Решение поставленной задачи производилось в три этапа [3]:

1. Определения координат рабочих точек.
2. Определение коэффициентов линеаризации.
3. Определение коэффициентов передаточной функции.

Определение координат рабочих точек проводилось с помощью методики, изложенной в [3], для различных значений скорости ветра. Полученные рабочие точки, на статической траектории регулирования, позволили определить значения параметров $\omega_2, M_{WT2}, P_{WT2}, V_2$, необходимых для определения коэффициентов линеаризации.

Для нахождения коэффициентов линеаризации была использована линеаризованная блок-схема модели звена аэродинамического преобразования (рис. 1). Блок-схема линеаризованной модели определена в [3]. В данной работе она приведена без изменения (для наглядности изложения).

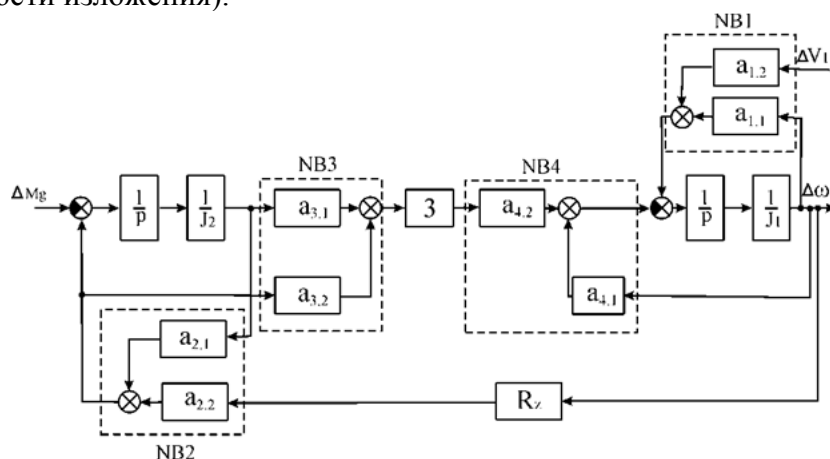


Рис. 1. Блок-схема модели звена аэродинамического преобразования после линеаризации

Коэффициенты линеаризации ($a_{1,1} - a_{4,2}$) зависят от положения рабочей точки на статической траектории регулирования. Они определяются по входным параметрам нелинейных блоков с помощью стандартной процедуры линеаризации [3].

Полученные зависимости коэффициентов линеаризации в виде графиков представлены на рис. 2.

Из графиков зависимости можно видеть, что коэффициенты $a_{1,2}, a_{2,1}, a_{2,2}, a_{3,2}, a_{4,1}$ имеют линейно возрастающую и убывающую зависимость, а коэффициенты $a_{3,1}$ и $a_{4,2}$ — квадратичную и обратную зависимость соответственно.

Передаточная функция звена аэродинамического мультиплицирования имеет вид выражения для колебательного звена:

$$W(p) = \frac{Ky}{T^2 \cdot p^2 + 2 \cdot \xi \cdot T \cdot p + 1} \tag{2}$$

Расчет значений коэффициентов передаточной функции при изменении скорости ветра был произведен по методике, предложенной в [3], с помощью следующих выражений:

$$Ky = \frac{(a_{3,1} \cdot a_{4,2} + a_{2,1} \cdot a_{3,2} \cdot a_{4,2})}{\left(\frac{1}{3} \cdot a_{1,1} \cdot a_{2,1} - \frac{1}{3} \cdot a_{2,1} \cdot a_{4,1} + R_z^* \cdot a_{2,2} \cdot a_{3,1} \cdot a_{4,2}\right)},$$

$$T = \sqrt{\frac{\left(\frac{1}{3} \cdot J_1^* \cdot J_2^*\right)}{\left(\frac{1}{3} \cdot a_{1,1} \cdot a_{2,1} - \frac{1}{3} \cdot a_{2,1} \cdot a_{4,1} + R_z^* \cdot a_{2,2} \cdot a_{3,1} \cdot a_{4,2}\right)}},$$

$$\xi = \frac{\left(\frac{1}{3} \cdot J_2^* \cdot a_{1,1} - \frac{1}{3} \cdot J_2^* \cdot a_{2,1} + \frac{1}{3} \cdot J_2^* \cdot a_{4,1} + J_2^* \cdot R_z^* \cdot a_{2,2} \cdot a_{3,2} \cdot a_{4,2}\right)}{2 \cdot T \cdot \left(\frac{1}{3} \cdot a_{1,1} \cdot a_{2,1} - \frac{1}{3} \cdot a_{2,1} \cdot a_{4,1} + R_z^* \cdot a_{2,2} \cdot a_{3,1} \cdot a_{4,2}\right)} \tag{3}$$

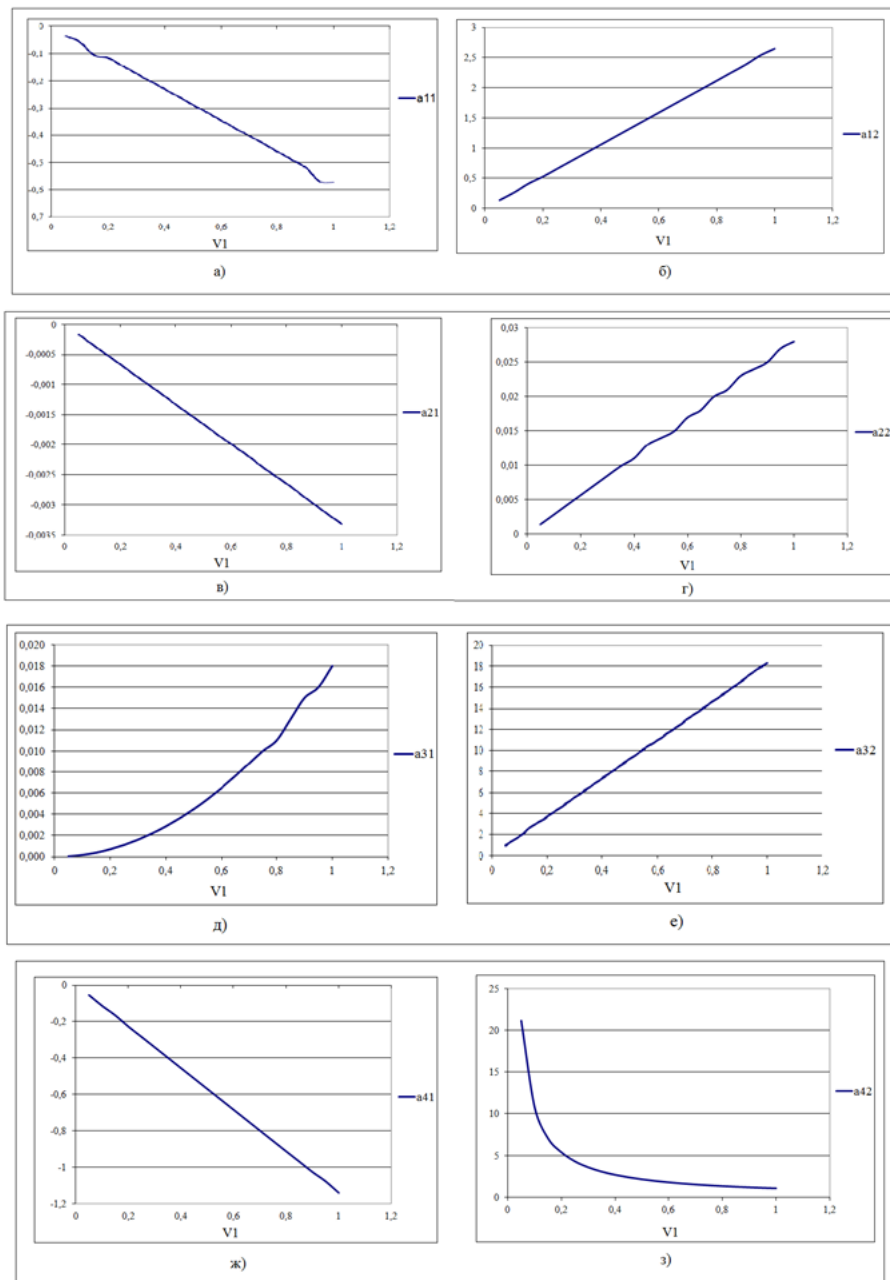


Рис. 2. Графики зависимости коэффициентов линеаризации от скорости первичного ветрового потока

Полученные зависимости коэффициентов передаточной функции при изменении скорости ветра представлены в виде графиков на рис. 3.

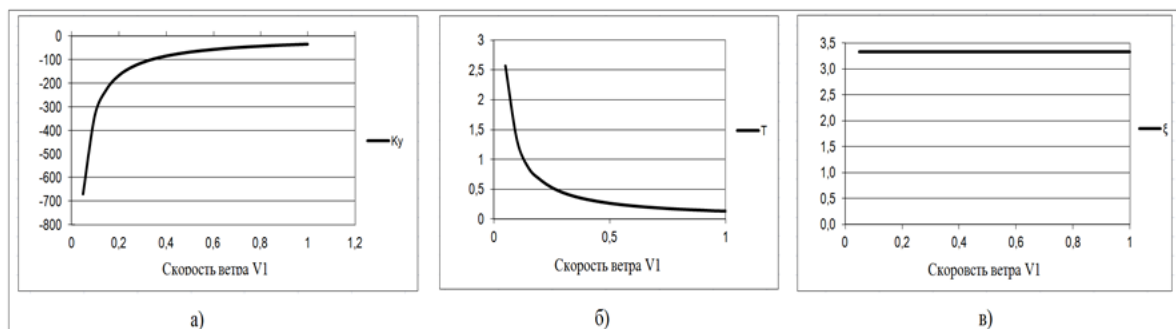


Рис. 3. Графики зависимости коэффициентов передаточной функции от скорости ветра

На графике видно, что коэффициент усиления K_u и постоянная времени T зависят от изменения скорости первичного ветрового потока и имеют вид убывающей по модулю зависимости, коэффициент ξ остается постоянным с изменением скорости ветрового потока. Как видно из графиков K_u и T , эти значения существенно изменяются в зависимости от положения рабочей точки. Это изменение заметно влияют на частотные свойства системы, что требует соответствующей коррекции параметров регулятора для электромеханической системы ВЭУ с аэродинамическим мультиплицированием.

Выводы и предложения. В результате исследования были получены зависимости коэффициентов линеаризованной модели и коэффициентов передаточной функции от положения рабочей точки.

Полученные зависимости коэффициентов линеаризованной модели позволяют осуществлять коррекцию параметров регулятора ветроэнергетической установки с аэродинамическим мультиплицированием в зависимости от значений скорости ветрового потока.

Параметр передаточной функции ξ не зависит от положения рабочей точки.

Параметры K_u и T существенно зависят от положения рабочей точки, что должно быть учтено при синтезе регулятора.

В статье было рассмотрено изменение параметров передаточной функции только на участке статической траектории регулирования – участке оптимального отбора мощности, который является общим для большинства статических траекторий регулирования. В дальнейшем авторами планируется проведение анализа изменения коэффициентов линеаризованной модели на участке ограничения мощности для различных статических траекторий регулирования.

Список использованных источников

1. *Алексеевский Д. Г.* Динамика ветроэлектрической установки с аэродинамической мультипликацией / Д. Г. Алексеевский, В. П. Метельский, И. Ю. Немудрый // *Электротехника та комп'ютерні системи*. – 2011. – № 3 (79). – С. 253–254.
2. *Алексеевский Д. Г.* Моментное управление ВЭУ с аэродинамическим мультиплицированием / Д. Г. Алексеевский // *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. Серія «Технічні науки». – 2015. – № 5 (90). – С. 32–37.
3. *Алексеевский Д. Г.* Определение передаточной функции звена аэродинамического преобразования электромеханической системы ВЭУ с аэродинамическим мультиплицированием / Д. Г. Алексеевский // *Вестник Нац. техн. ун-та «ХПИ»*. Темат. вып.: Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика. – Х. : НТУ «ХПИ», 2015. – № 12 (1121). – С. 168–172.
4. *Миргород В. Ф.* Управление ветроэнергетической установкой большой мощности по запасам аэродинамической устойчивости / В. Ф. Миргород // *Вестник двигателестроения*. – 2009. – № 3. – С. 67–70.

References

1. Alekseevskiy, D.G., Metelskiy, V.P., Nemudryy, I.Yu. (2011). Dinamika vetroelektricheskoi ustanovki s aerodinamicheskoi multiplikatsiei [The dynamics of a wind power plant with aerodynamic animation]. *Elektrotehnika ta kompiuterni systemy – Electrotechnic and computer systems*, no. 3 (79), pp. 253–254 (in Russian).
2. Alekseevskiy, D.G. (2015). Momentnoe upravlenie VEU s aerodinamicheskimi multiplitsirovaniem [Torque control with aerodynamics multiplication]. *Visnik Kyivskoho natsionalnoho universitetu tekhnologii ta dizainu. Seriya «Tekhnichni nauky» – Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design. Ser. Technical Sciences*, no. 5 (90), pp. 32–37 (in Russian).
3. Alekseevskiy, D.G. (2015). Opredelenie peredatochnoy funktsii zvena aerodinamicheskogo preobrazovaniya elektromekhanicheskoy sistemy VEU s aerodinamicheskimi multiplitsirovaniem [Determination of the transfer function of the aerodynamic conversion unit of electromechanical system for wind power plant with aerodynamic multiplication]. *Vestnik Nats. tekhn. un-ta «KhPI». Temat. vyp.: Problemy avtomatizirovannogo elektroprivoda. Teoriya i praktika – Bulletin of National Tech-*

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

nical University "KhPI". Ser. Problems of automated electric. Theory and practice, no. 12 (1121), pp. 168–172 (in Russian).

4. Mirgorod, V.F. (2009). Upravlenie vetroenergeticheskoy ustanovkoy bol'shoy moshchnosti po zapasam aerodinamicheskoy ustoychivosti [Control wind energy installation great power by aerodynamic reserve stability]. *Vestnik dvigatelestroeniia – Bulletin of propulsion engineering*, no. 3, pp. 67–70 (in Russian).

Алексеевский Дмитрий Геннадиевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные системы», Запорожская государственная инженерная академия (просп. Соборный 226, г. Запорожье, 69006, Украина).

Алексієвський Дмитро Геннадійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Електронні системи», Запорізька державна інженерна академія (просп. Соборний, 226, м. Запоріжжя, 69006, Україна).

Alekseevskiy Dmitriy – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Chair of Electronic Systems, Zaporozhe State Engineering Academy (226 Soborny Av., 69006 Zaporozhye, Ukraine).

E-mail: signal@mail.ru

Панкова Ольга Олеговна – аспирант кафедры «Электронные системы», Запорожская государственная инженерная академия (просп. Соборный 226, г. Запорожье, 69006, Украина).

Панкова Ольга Олегівна – аспірант кафедри «Електронні системи», Запорізька державна інженерна академія (просп. Соборний, 226, м. Запоріжжя, 69006, Україна).

Pankova Olga - PhD student of Chair of Electronic Systems, Zaporozhe State Engineering Academy (226 Soborny Av., 69006 Zaporozhye, Ukraine).

E-mail: bloxa2007@ukr.net

Щипанский Павел Андреевич – студент, Запорожская государственная инженерная академия (просп. Соборный 226, г. Запорожье, 69006, Украина).

Щіпанський Павло Андрійович – студент, Запорізька державна інженерна академія (просп. Соборний, 226, м. Запоріжжя, 69006, Україна).

Shchipanskiy Pavel – student, Zaporozhe State Engineering Academy (226 Soborny Av., 69006 Zaporozhye, Ukraine).

E-mail: schipanskiy@mail.ru