

# РАЗРАБОТКА НАБЛЮДАТЕЛЯ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА ДЛЯ ВЕТРОГЕНЕРАТОРА ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

Т. Е. Мамонова, к.т.н., доц.,  
З. Ш. Нгуен, студент гр. 8ТМ01  
Томский политехнический университет  
E-mail: zuyshang1@tpu.ru

## Введение

В настоящее время запасы органического топлива истощаются, и его использование во все возрастающих объемах ведет к загрязнению окружающей среды. В будущем неизбежно сокращение потребления органического топлива и его замена другими источниками энергии. Ветроэнергетика является одним из основных игроков в этом контексте, и сегодня она является самой распространённой частью среди других методов возобновляемой энергии. Для улучшения эффективности работы ветрогенератора и повышения устойчивости системы необходима системы управления ветрогенератором. Для этого, целью представленной работы является разработка наблюдателя крутящего момента ветрогенератора.

## Описание системы

Структурная схема ветрогенератора с использованием постоянного магнита синхронного генератора представлена на рисунке 1.

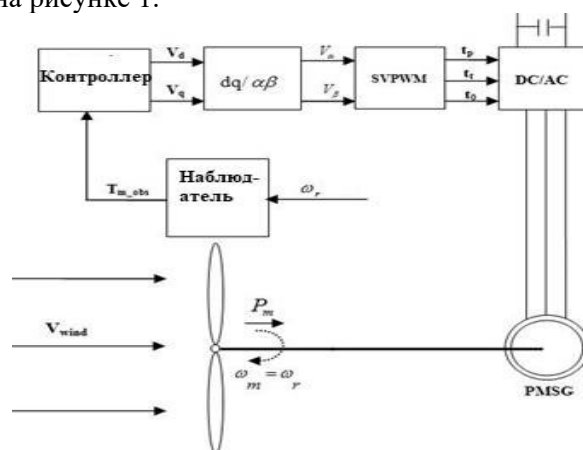


Рис. 1. Структурная схема ветрогенератора.

Система состоит из турбины, контроллера, наблюдателя, генератора. Блок турбины дает параметры механической мощности (ветровой мощности), вкладываемой в генератор. Ветровой момент от наблюдателя поступает на контроллер, сигнал управления проходит через инвертор, подключенный к генератору.

На основе анализа и построения математической модели аэродинамической ветротурбины, математической модели генератора, теории ПИД-регулятора, теории наблюдателя Луенбергера, а также теории наблюдателя Калмана, были построены ПИ-регулятор тока и наблюдатель момента.

Кинематические уравнение генератора имеет вид:

$$\begin{aligned} \dot{i}_{ds} &= \frac{1}{L_d} V_{ds} - \frac{R_s}{L_d} i_{ds} + p \frac{L_q}{L_d} \omega i_{qs} \\ \dot{i}_{qs} &= \frac{1}{L_q} V_{qs} - \frac{R_s}{L_q} i_{qs} - p \frac{L_d}{L_q} \omega - p \frac{\lambda}{L_q} \omega i_{ds} \\ \dot{\omega} &= \frac{\lambda n^2}{2J} i_{qs} - \frac{B}{J} \omega - \frac{1}{J} T_m \quad (1) \end{aligned}$$

где:  $L_d, L_q$  – индуктивность d, q статора (Гн);  $i_{ds}, i_{qs}$  – ток d, q статора (А);  $\lambda$  – магнитный поток (В.с/рад);  $\omega_s$  – угловая частота цепи статора (рад/с);  $R_s$  – сопротивление статора;  $J$  – момент инерции (Кг.м<sup>2</sup>);  $B$  – коэффициент трения, безразмерная величина;  $T_L$  – механический момент (Н.м);  $\omega$  – скорость ротора (рад/с). На основе уравнения (1) построен наблюдатель момента рассматриваемого устройства.

Модель состояния объекта:

$$\begin{pmatrix} \dot{\omega} \\ \dot{T}_L \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{B}{J} & -\frac{1}{J} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \omega \\ T_L \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{3p^2}{2J} \\ 0 \end{pmatrix} i_{qs} \quad \text{или} \quad \dot{x} = Ax + Bu; y = Cx$$

где

$$x = \begin{pmatrix} \omega \\ T_L \end{pmatrix}; A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{B}{J} & -\frac{1}{J} \end{pmatrix}; B = \begin{pmatrix} \frac{3p^2}{2J} \\ 0 \end{pmatrix}; u = i_{qs}; y = \omega; c = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}^T$$

Уравнение наблюдателя:

$$\begin{cases} \frac{d\hat{x}}{dt} = A\hat{x} + Bu + L(y - \hat{y} - Du) \\ \hat{y} = C\hat{x} \end{cases} \quad \text{и} \quad \hat{x} = \begin{pmatrix} \hat{\omega} \\ \hat{T}_L \end{pmatrix}; e = x - \hat{x}; L = \begin{pmatrix} L_1 \\ L_2 \end{pmatrix}.$$

Структурная схема наблюдателя имеет вид:

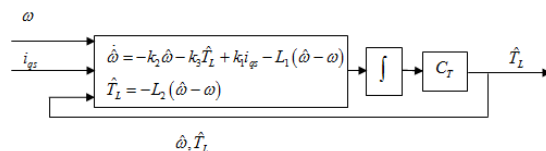


Рис. 2. Структурная схема наблюдателя.

Выполняем расчеты с конкретными параметрами системы, взятыми из [2]. Тогда параметры наблюдателя примут вид:

$$L = \begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ -34000 \end{bmatrix}.$$

На основании полученных математических моделей и параметров было выполнено моделирование системы с помощью программы Matlab-Simulink. Результаты представлены на рисунке 2.

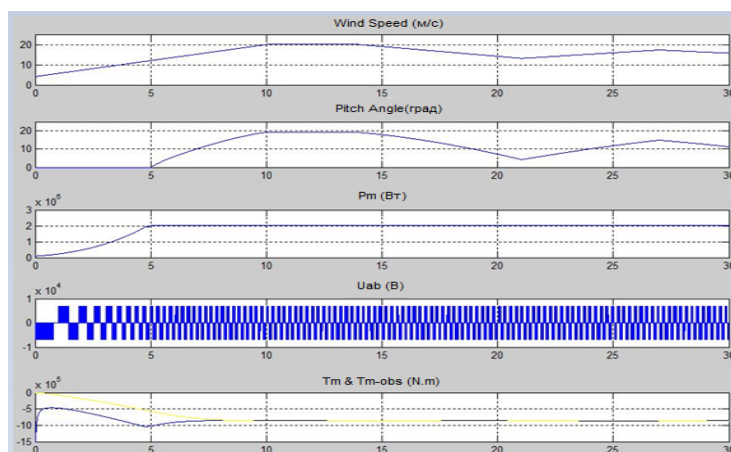


Рис. 3. Результаты моделирования.

## Заключение

По результатам моделирования видно, что наблюдатель крутящего момента ветрогенератора хорошо работает в области, превышающей номинальную скорость ветра ( $> 11,8$  м/с). Однако, время

отклика наблюдателя имеет большое значение для области скорости ветра ниже указанной номинальной скорости, когда скорость ветра изменяется быстро.

#### **Список использованных источников**

1. S. Vijayalakshmi. Modelling and control of a Wind Turbine using Permanent Magnet Synchronous Generator / Vijayalakshmi.s S. Saikumar // International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST). – 2011. – Vol. 3. – pp. 2377–2384.
2. Nicholas P. W. Strachan. Dynamic Modelling, Simulation and Analysis of an Offshore Variable-Speed Directly-Driven Permanent-Magnet Wind Energy Conversion and Storage System (WECSS)/, Nicholas P. W. Strachan, Dragan Jovicic// IEEE Trans. Energy Conversion – 2007. – pp. 1–6
3. N.T.-T. Vu. Robust speed control method for permanent magnet synchronous motor/ Vu N.T.-T, H.H. Choi, R.-Y. Kim, J.-W. Jung // IET Elec. Power Appl., 2012, Vol. 6. – pp. 399–411.