УДК 665.63.004.12

А.В.КУДРЯВЦЕВ
Горно-электромеханический факультет,
группа ЭР-02-1, ассистент профессора

ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Ветер является одним из важнейших альтернативных источников энергии, отличительные особенности которого – нулевая стоимость и отсутствие негативного влияния на экологическую обстановку. Ввиду все более обостряющегося топливно-энергетического кризиса интерес к использованию энергии ветра значительно вырос за последние несколько лет.

Приведены данные о структуре ветроэнергетической установки. В качестве генератора рассмотрена асинхронная машина с короткозамкнутым ротором. Построена модель автономного асинхронного генератора с учетом нелинейности магнитного контура. Также представлена модель для автоматического построения механической характеристики асинхронной машины. Моделирование произведено в среде MatLab Simulink.

Nowadays wind is considered as one of the most important alternative sources of energy. It's featured as being practically free and having no negative impact on environment. Because of increasing of the fuel-energy crisis an accent in using wind energy has quickened recently.

An article given includes information about the structure of a wind turbine. The squirrel cage induction machine is considered as a generator. The model of an autonomous asynchronous generator has been built taking into account the nonlinearity of a magnetic circuit. Also it's presented the model for plotting speed-torque characteristic of an asynchronous machine. Simulation has been made in Matlab Simulink.

По прогнозам иностранных специалистов, к 2060 г. более половины всей мировой энергии будет получено от возобновляемых источников, в том числе и от ветра [3]. Согласно региональному отчету по России ветропотенциал России превышает 17240 ТВт·ч/год. На Дальнем Востоке, в северной части Красноярского края и на Кольском п-ове имеются благоприятные условия для крупномасштабного использования энергии ветра: превосходные ветровые условия, инфраструктура, состоящая из традиционных электростанций и сетей, и крупномасштабные промышленные потребители. Очевидно, что ветроэнергетическая станция может использоваться и в целях электроснабжения предприятий горной промышленности.

Ветроэнергетическая установка представляет собой комплекс технических устройств для преобразования кинетической энергии ветрового потока в электроэнергию. Конструктивно она состоит из ветротурбинного механизма, мультипликатора, генератора электрической энергии, а также блока силовой электроники для стабилизации генерируемого напряжения по уровню и частоте. В качестве генераторов в настоящее время используются синхронные машины, асинхронные машины с короткозамкнутым и фазным ротором, а также асинхронные машины двойного питания. Данная работа посвящена построению модели асинхронного генератора с учетом нелинейности кривой намагничивания.

Информацию о режиме работы генераторной установки (механическая характеристика электрической машины, емкость конденсаторной батареи самовозбуждения, скорость вращения ротора машины, рабочая точка на кривой насыщения магнитопровода, уровень и частота генерируемого напряжения) можно получить с помощью математической модели. В среде MatLab

Simulink построена модель автономного асинхронного генератора с короткозамкнутым ротором (рис.1).

При разработке модели использованы стандартные уравнения асинхронной машины в неподвижных координатах αβ [1], дополненные уравнениями внешней цепи – конденсаторной батареи возбуждения. Для фазы A внешняя цепь

$$u_a = -u_{Ca};\ \ i_{Ca} = C\frac{du_{Ca}}{dt}, \qquad (1)$$

где u_a – напряжение на статорной обмотке фазы A; u_{Ca} и i_{Ca} – напряжение на конденсаторе фазы A и проходящий через него ток; C – емкость конденсатора.

В целях корректного моделирования процесса самовозбуждения учитывается нелинейность магнитного контура, что обеспечивается вводом в Simulink-модель величины, обратной статической индуктивности L_m. Полученная функция $1/L_m(\psi)$, выраженная математически из аппроксимированной полиномом седьмой степени функции намагничивания, используется в уравнениях связи потокосцеплений и токов

$$i_{s\alpha} = \frac{\psi_{\delta\alpha}}{L_m(\psi)} - i_{r\alpha};\quad i_{s\beta} = \frac{\psi_{\delta\beta}}{L_m(\psi)} - i_{r\beta}, \qquad (2)$$

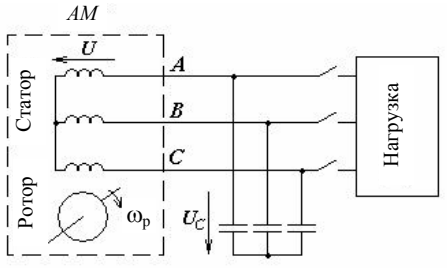


Рис.1. Принципиальная схема автономного асинхронного генератора

где $i_{s\alpha}$, $i_{s\beta}$, $i_{r\alpha}$, $i_{r\beta}$ – токи статора и ротора; $\psi_{\delta\alpha}$, $\psi_{\delta\beta}$ – основное потокосцепление в координатах αβ; $\psi = \sqrt{\psi_{\delta\alpha}^2 + \psi_{\delta\beta}^2}$ – модуль вектора основного потокосцепления.

В качестве объекта исследования была выбрана машина 4А355S4У3 (250 кВт). Результаты моделирования в виде осциллограмм скорости вращения и выходного напряжения представлены на рис.2.

Работа электрической машины в составе ветроэнергетической установки возможна только при наличии устойчивости. Устойчивость определяется по механическим характеристикам электрической машины и ветротурбинного механизма, преобразующего скорость ветра в аэродинамический момент. Точка пересечения этих характеристик является рабочей точкой установки, а ее координаты используются при формиро-

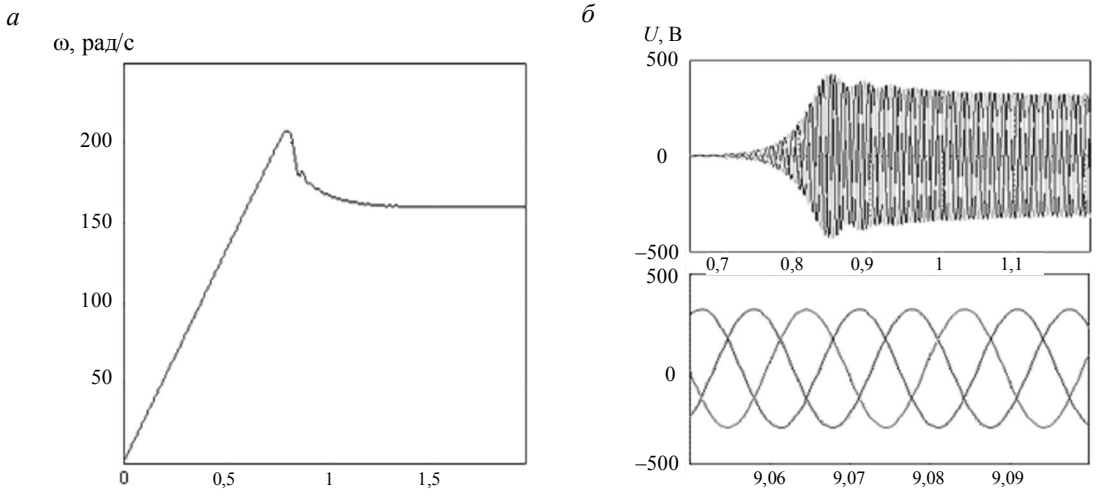


Рис.2. Результаты моделирования скорости вращения (*а*) и выходного напряжения (*б*)

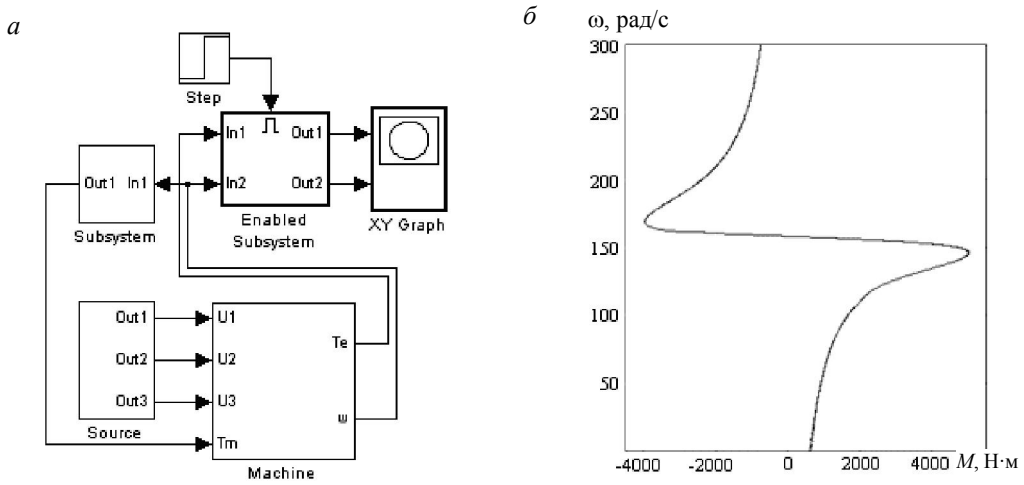


Рис.3. Построение механической характеристики: *а* – Simulink-модель; *б* – результат построения

вании сигналов управления режимом работы установки из условия обеспечения ее максимальной эффективности.

Для автоматического построения механической характеристики асинхронной машины с короткозамкнутым ротором разработана Simulink-модель, апробированная на стандартной линейной модели SimPowerSystem [2] и представленной нелинейной модели.

Данный подход основан на следующем. Известно, что машина работает устойчиво, когда жесткость ее механической характеристики в точке статического равновесия меньше жесткости нагрузки:

$$\frac{dM}{d\omega} < \frac{dM_C}{d\omega}, \qquad (3)$$

где M – электромагнитный момент машины; M_C – нагрузочный момент; ω – скорость вращения ротора машины.

В полученной модели используется линейная нагрузка вида

$$M_C = a(\omega - b), \qquad (4)$$

где a – жесткость нагрузки; b – смещение ее по оси ω. Жесткость нагрузки a выбрана таким образом, чтобы обеспечить условие (3) для каждой точки механической характеристики электрической машины, а изменение величины b позволит получить характеристику для требуемого диапазона скоростей.

На рис.3 представлена схема Simulink-модели и построенная с ее помощью механическая характеристика электрической машины. Результат согласуется с характеристикой, построенной по формуле Клосса.

Таким образом, описанная в статье методика моделирования в совокупности с другими средствами компьютерного моделирования и вычисления может служить основой для исследования работы ветроэнергетического комплекса.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Копылов И.П.* Математическое моделирование электрических машин. М.: Высшая школа, 2001. 327 с.

2. *Лукичев Д.В.* Моделирование статических характеристик асинхронного двигателя // Exponenta Pro. 2004. № 3-4 (7-8). С.86-92.

3. *Lars Gertmar.* Power Electronics and Wind Power // ABB, Corporate Research, Vasteras, Sweden.2002.

Научный руководитель д.т.н. проф. О.Б.Шонин