

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Санкевич С. А., Петренко Ю. Н.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь, upetrenko@bntu.by.

Развитию возобновляемых источников энергии (ВИЭ) ныне уделяется пристальное внимание во всех странах мира и на всех континентах[1]. Среди всех видов ВИЭ особое место занимает энергия ветра, которая имеет свои специфические свойства - доступность с одной стороны, и непостоянство, обусловленное вероятностным характером прогноза. Существует множество решений по составу и режимам работы ветроэлектрических установок (ВЭУ), зависящих от разных факторов[2]. Естественно на первый план выступает проблема оптимизации режимов работы ВЭУ.

Широко применимы ВЭУ с переменной скоростью вращения генератора позволяющие получать больше энергии, чем установки с постоянной скоростью вращения. Это связано с тем, что ВЭУ с переменной скоростью вращения проектируются таким образом, чтобы обеспечить максимальное значение аэродинамической эффективности в возможно более широком диапазоне скорости ветра.

Задачей является непрерывная адаптация частоты вращения ротора ω , к переменной скорости ветра v_w . Это позволяет поддерживать оптимальное соотношение скоростей λ (быстроходности), что обеспечивает получение максимальной выходной мощности. Таким образом имеет место главное преимущество турбины с переменной скоростью вращения - извлечение большей мощности. Однако проблема не только в этом. необходимо также ограничить мощность при достижении некоторой граничной скорости ветра. Согласно принятой практике используется два вида торможения[3]: механическое(МТ) и электрическое(ЭТ1) или МТ и ЭТ2 (рис1).

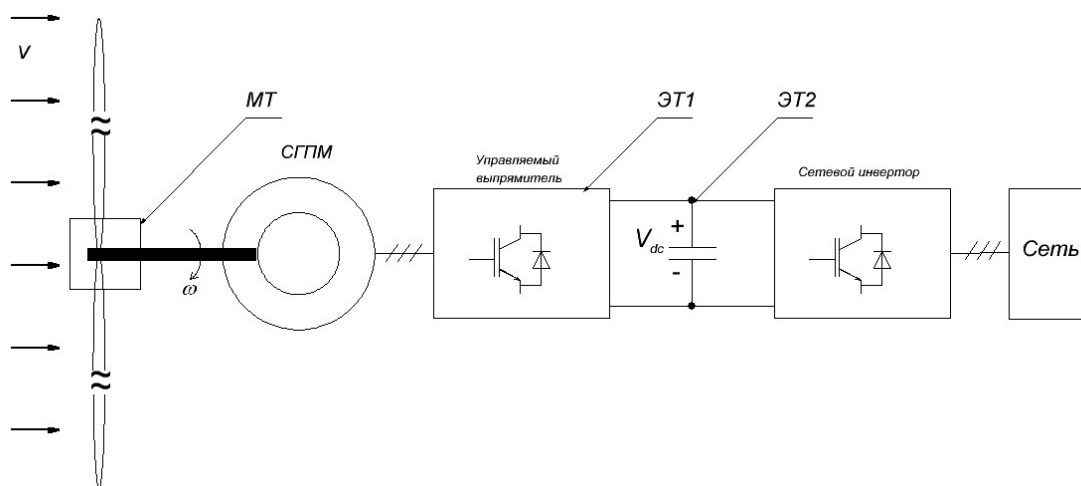


Рисунок 1 - Функциональный состав ВЭУ

Для конкретизации задачи далее рассмотрим ВЭУ (рис. 2) с синхронным генератором с постоянными магнитами (СГПМ), соединенный с потребителем и сетью через автономный инвертор напряжения (АИН), схему управления которым здесь не рассматриваем. В представленной на рисунке 2 схеме для ограничения мощности ВЭУ в её системе управления используются четыре различных подсистемы: система управления шагом лопастей; контроллер выходного напряжения генератора; контроллер торможения в звене постоянного тока; контроллер выходной мощности АИН.

Имеется несколько подходов к управлению аэродинамическими усилиями ротора турбины с целью ограничения мощности при высоких скоростях ветра с целью

предотвращения поломки турбины. Самый простой и дешевый способ - пассивное управление. При таком методе ограничения лопасти жестко крепятся к ступице ветроколеса, а ограничений выходной мощности осуществляется за счет аэродинамической формы самих лопастей. Второй подход - это активное управление углом поворота лопастей при изменении скорости ветра. Преимуществом этого метода является хорошее управление мощностью, возможности плавного пуска и аварийной остановки. Особенностью данного способа является возможность получения мощности близкой по величине к номинальной мощности генератора при высокой скорости ветра. недостатком является усложнение механизма регулирования, а также колебания мощности при высокой скорости ветра.

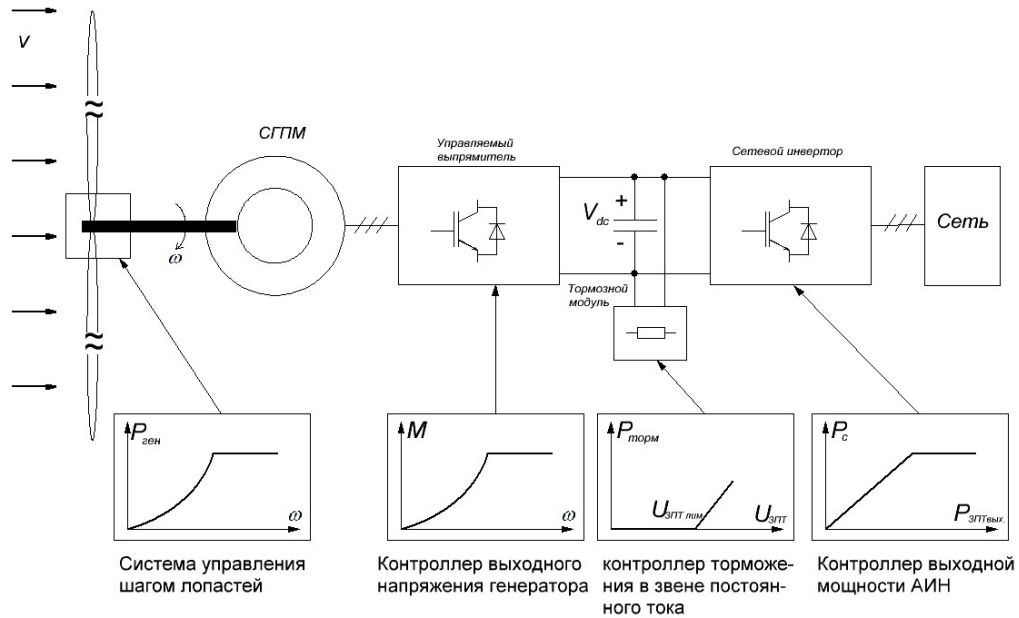


Рисунок 2 - Структура системы управления ВЭУ

В данной работе рассматривается ВЭУ с активным управлением углом поворота лопастей. Управление углом осуществляется по изменению выходной мощности. структура такой системы представлена на рисунке 3, где: РМ - регулятор мощности; ИМ - исполнительный механизм, в качестве которого может применяться гидро- или электропривод.

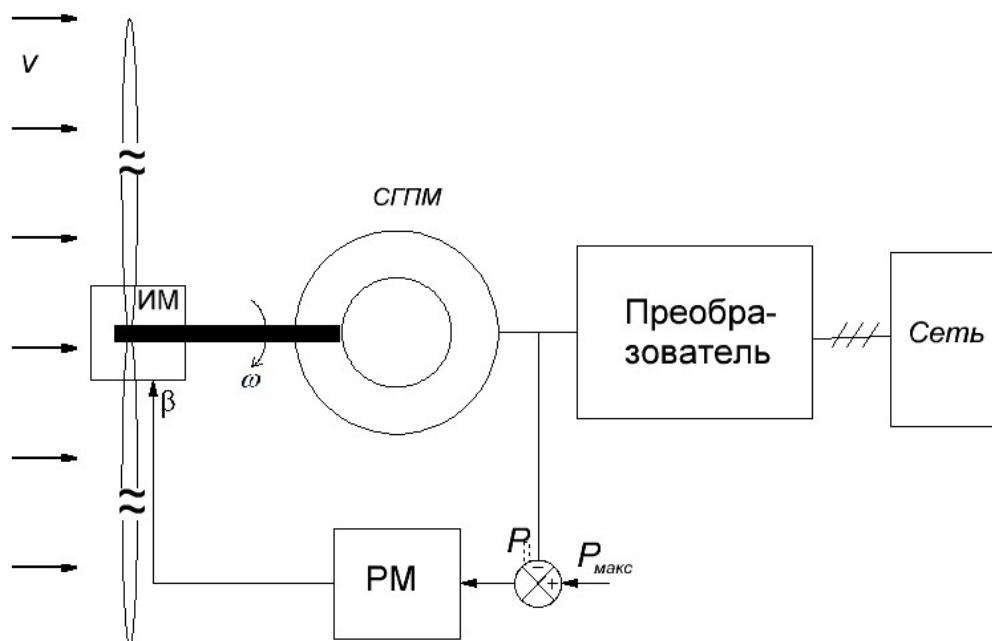


Рисунок 3 -Функциональная схема регулятора угла поворота лопастей.

Естественными значениями ограничений являются максимальное и минимальное значение угла β_{\max} , β_{\min} и его производной. Таким образом, контур регулирования содержит нелинейность типа "насыщение" по переменной β и ее производной. Передаточную функцию ИМ можно представить в виде рис. 4, где K_1 - коэффициент усиления системы. Пренебрегая насыщением ИМ может быть представлен как система первого порядка:

$$W_{\text{им}}(p) = \frac{K_{\text{им}}}{K_{\text{им}} + p}; \quad (1)$$

$$K_{\text{им}} = 1/T_{\beta} \quad (2)$$

где T_{β} - постоянная времени системы.

Торможение в звене постоянного тока.

СГПМ позволяет перегрузки в определенные интервалы времени. При таком условии можно обеспечить торможение турбины посредством тормозного модуля в звене постоянного тока. Силовая схема преобразователя ВЭУ представленная на рис. 5.

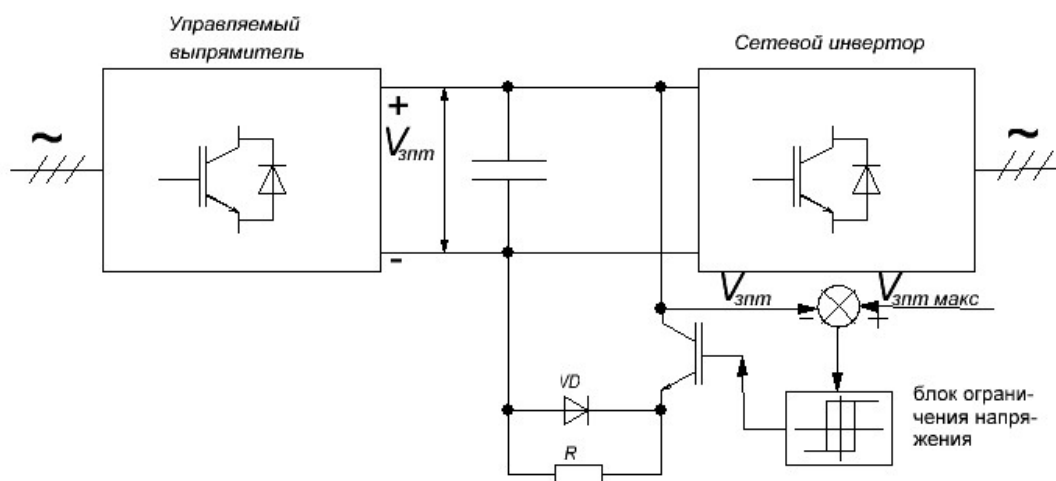


Рисунок 5 - Силовая схема преобразователя ВЭУ

Результаты моделирования.

Моделирование производилось с помощью программы Matlab в среде Simulink ode23tb с переменным шагом. Общий вид модели ВЭУ представлен на рис. 6. В качестве объекта моделирования была взята ВЭУ малого класса с номинальной мощностью 4 кВт, при номинальной скорости ветра 6,5 м/с. Тип ветроколеса - трехлопастное с горизонтальной осью вращения, радиусом 5 м, профиль лопасти "эксперо". Максимальный коэффициент использования энергии ветра (КИЭФ) 0,476, при значении быстроходности $\lambda_{\text{ном}}=8,1$ и $\beta_{\text{ном}}=0^\circ$. Ветроколесо снабжено системой управления шагом, при значении угла $\beta_{\max}=90^\circ$ колесо флюгируется. Передаточное число мультипликатора 20. Генератор синхронный с постоянными магнитами трехфазный с номинальным моментом 24 Нм, с номинальной частотой вращения 2300 об/мин. Выпрямитель трехфазный мостовой неуправляемый. Емкость конденсаторов в звене постоянного тока 0,3 мФ. В качестве силового ключа для тормозного модуля использован IGBT транзистор. Значение тормозного сопротивления 2,5 Ома. Максимальное значение напряжения в звене постоянного тока 300 В.

Динамическая модель ветра представлена на рис. 7, основанная на описании турбулентности Девенпортом[4].

На рисунках 8-11 приведены результаты моделирования. Следует отметить что на участки времени от 10 до 17 секунды когда скорость ветра выше номинального значения 6,5 м/с. вступает в работу система управления углом, дабы не допустить перенапряжения на генераторе. На участке времени от 19 до 30 секунды моделирования происходит просадка скорости ветра ниже номинальной, но при этом КИЭФ стремится к своему максимальному значению 0,476 для данного ветроколеса, $\beta=0^\circ$. Это означает что ВЭУ работает с максимально возможным КПД для данного ветра. Скорость, а следовательно напряжение

генератора при этом должны быть уменьшены до значений меньше номинальных, путём сброса излишка энергии через тормозной модуль и тормозной резистор. Однако в качестве тормозного резистора могут выступить различные накопители энергии, способные эффективно утилизировать энергию.

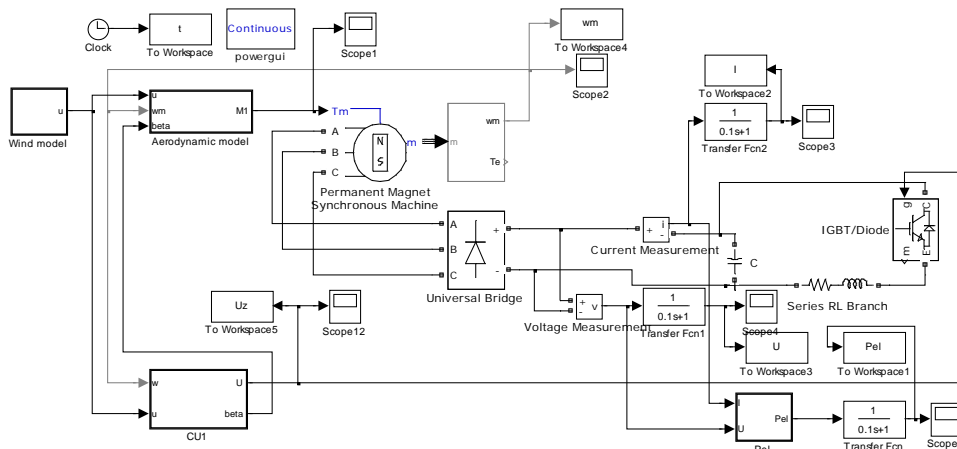


Рисунок 6 - Общий вид модели ВЭУ

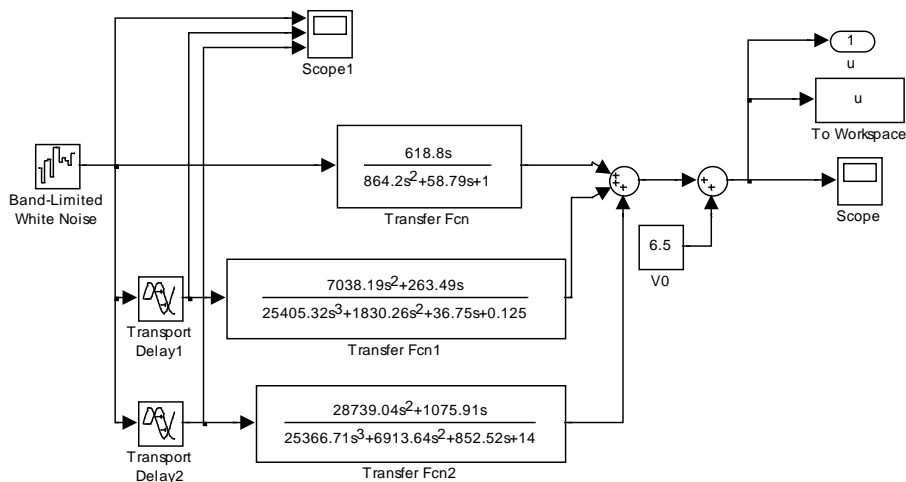


Рисунок 7 - Динамическая модель ветра

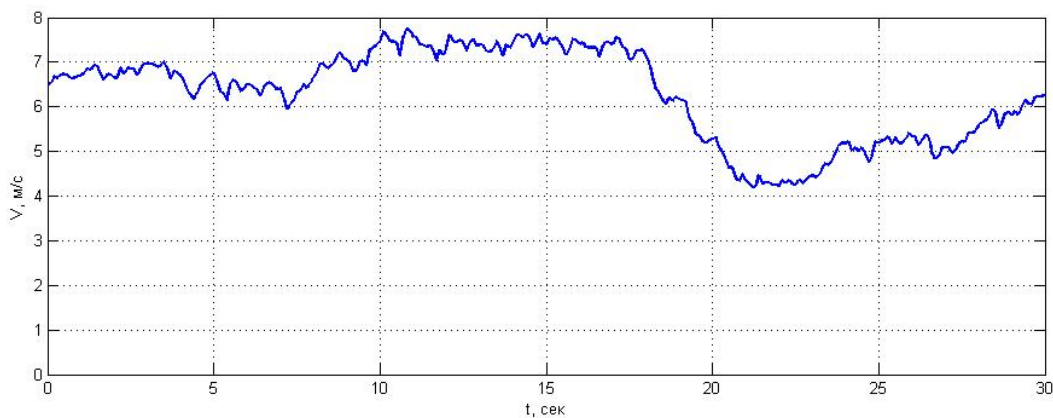


Рисунок 8 - Скорость ветра

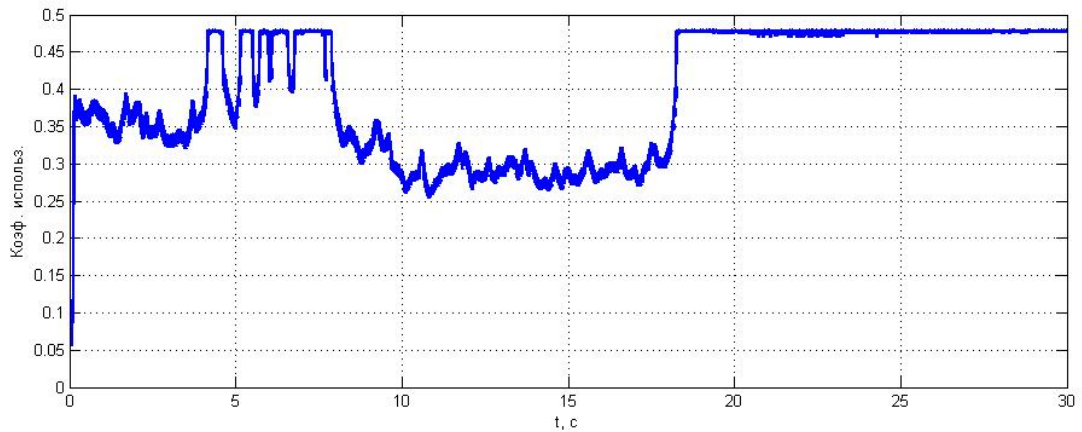


Рисунок 9 - коэффициент использования энергии ветра

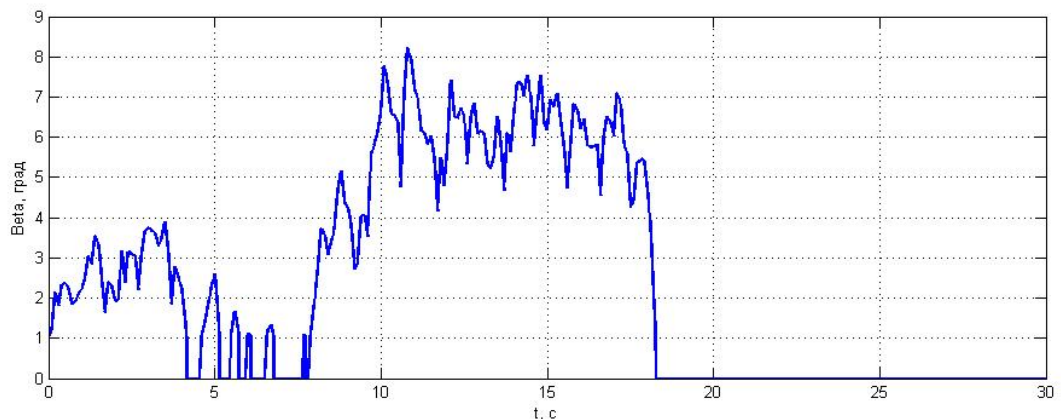


Рисунок 10 - Значения угла установки лопастей β

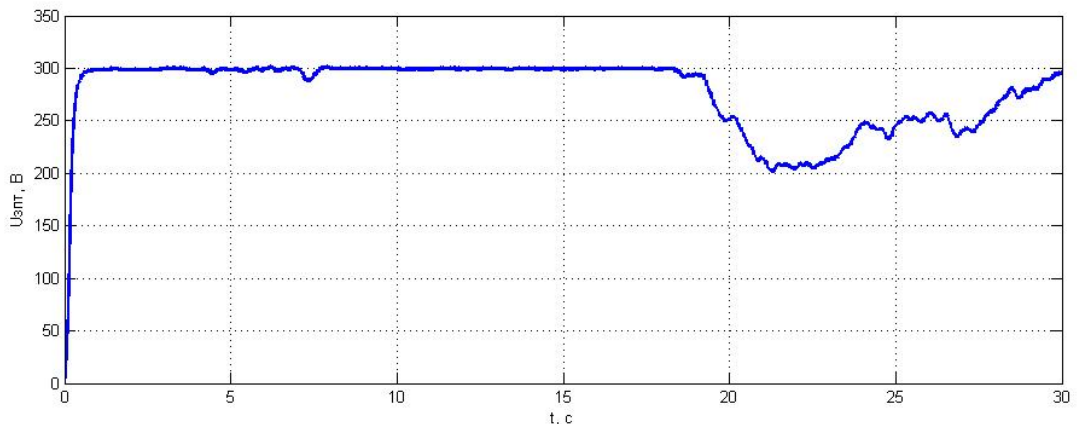


Рисунок 11 - Напряжение в звене постоянного тока

Заключение

В данной работе, приведены результаты моделирования, которые показывают преимущество управления по средством комбинации управления шагом ветроколеса и ограничением энергии на уровне звена постоянного тока с помощью тормозного модуля. Представленная модель позволяет исследовать системы с большим количеством параметров, нежели стандартная модель ВЭУ в Simulink.

Список литературы

1. **Global** Wind Energy Council // Global Wind Statistics 2012 [Electronic resource]. – Brussels, 2013. – Mode of access: http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2012/06/glob_cum_inst_wind-cap_1996-2012.jpg. – Date of access: 04.04.2013.

2. Санкевич С.А. Анализ функциональных схем электрической части ветроэлектрических установок / Петренко Ю.Н., Санкевич С.А. // Энергетика – Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2014. – № 2. – С. 10–20.

3. Петренко Ю.Н., Санкевич С.А. Разработка алгоритма управления, обеспечивающего максимально высокую выходную мощность ветроэнергетической установки с накопителями энергии // Электроника, автоматика и измерительная техника: межвузовский сборник научных трудов с международным участием / Уфимский гос. авиационный тех. ун-т; под науч. ред.: Г. В. Миловзоров. – Уфа, 2011. – с. 47-52.

4. Санкевич, С. А. Петренко Ю.Н. Применение контролера нечеткой логики для управления ветроэлектрической установкой / С. А. Санкевич // Информационные технологии и системы 2012: материалы междунар. науч. конф., Минск, 24 октября 2012 г. / БГУИР; редкол.: Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск, 2012. – с. 66-67.