

ЛИТЕРАТУРА

1. Евдокимов, Ф. Е. Теоретические основы электротехники / Ф. Е. Евдокимов. – М.: Высш. шк., 1971. – С. 437–439.
2. Validation of Mathematical Model of Differential Protection / F. Romanyuk [et al.] // *Przeegląd Electrotechniczny*. – 2014. – № 3. – P. 187–190.
3. Романюк, Ф. А. Формирование ортогональных составляющих контролируемых величин в микропроцессорной защите понижающего трансформатора / Ф. А. Романюк, М. С. Ломан // *Энергетика...* (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2012. – № 4. – С. 5–9.
4. Каштени, Б. Усовершенствованный алгоритм отстройки от бросков тока намагничивания / Б. Каштени, Л. Севов // *Релейщик*. – 2009. – № 1. – С. 31–41.
5. Циглер, Г. Цифровая дифференциальная защита. Принципы и область применения: пер. с англ. / Г. Циглер; под ред. А. Ф. Дьякова. – М.: Знак, 2008. – 216 с.

REFERENCES

1. Yevdokimov, F. E. (1971) *Theoretical Principles of Electrical Engineering*. Moscow: Vysshaya shkola.
2. Romanyuk, F., Novash, I., Loman, M., Węgierek, P., & Szrot M. (2014) Validation of Mathematical Model of Differential Protection. *Przeegląd Electrotechniczny*, 3, 187–190.
4. Romaniuk, F. A., & Loman, M. S. (2012) Formation of Orthogonal Controlled Value Components in Micro-Processor Protection of Power Reducing Transformer. *Izvestiia Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Ob'edinenii – Energetika [Proceedings of the Higher Education Institutions and Power Engineering Associations – Power Engineering]*, 4, 5–9.
5. Kаштени, B., & Sevov L. (2009) Modified Tuning-Out Algorithm for Magnetizing Inrush Current. *Releishchik [Protection Engineer]*, 1, 31–41.
6. Ziegler, G. (2008) *Digital Differential Protection. Principles and Fields of Application*. Moscow: Znakh.

Представлена кафедрой
электрических станций

Поступила 10.02.2014

УДК 621.311.24.01

АНАЛИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СХЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Канд. техн. наук, доц. ПЕТРЕНКО Ю. Н., асп. САНКЕВИЧ С. А.

Белорусский национальный технический университет

E-mail: sanches-korn@tut.by

ANALYSIS OF FUNCTIONAL ELECTRICAL ANNEX DIAGRAMS OF WIND ENERGY CONVERSION SYSTEMS

PETRENKO Yu. N., SANKEVICH S. A.

Belarusian National Technical University

Рассмотрены основные концепции в проектировании современных ветроэлектрических установок. Проведен анализ способов управления и систем, способных реализовывать режим работы с максимальной выходной мощностью. Приведены функциональные схемы систем для различных электрических генераторов, механических передач и комбинаций силовых преобразовательных устройств. Определены структуры ветроэлектрических установок, наиболее отвечающие условиям эксплуатации в Беларуси.

Ключевые слова: ветроэлектрические установки, способы управления, функциональные схемы.

Ил. 5. Табл. 1. Библиогр.: 15 назв.

The paper considers basic concepts in the design of modern wind energy conversion systems (WECS). The analysis of control methods and systems which are capable to realize operational mode with maximum output power has been presented in the paper. Functional diagrams of systems for different electric generators, mechanical gears and various combinations of electric power supply and control systems have been given in the paper. WECS structures that meet the operational requirements in Belarus have been determined in the paper.

Keywords: wind energy conversion systems, control methods, functional diagrams.

Fig. 5. Tab. 1. Ref.: 15 titles.

Введение. За последнее десятилетие ветроэлектрические установки (ВЭУ) демонстрируют быстрый рост генерируемой электроэнергии и наибольший – среди возобновляемых источников энергии. В конце 2012 г. суммарная мощность ВЭУ увеличилась до 282,43 МВт по сравнению с 23,90 МВт в 2002-м [1]. До недавнего времени основной электрической машиной для ВЭУ был асинхронный генератор с короткозамкнутым ротором (АГКЗР). В последние годы все чаще применяются установки с переменной скоростью вращения ветровой турбины. Это, в свою очередь, формирует спектр вопросов, связанных с управлением такими установками. В ВЭУ существенную роль играют силовые электронные преобразовательные устройства (СЭПУ), являющиеся составной частью системы с переменной скоростью вращения для достижения высоких энергетических показателей. Даже в системе «турбина – генератор» с постоянной скоростью вращения, где ВЭУ подключается непосредственно к сети, для мягкого пуска используются тиристорные пускатели. Силовые электронные преобразовательные устройства применяются для того, чтобы привести в соответствие характеристики ВЭУ с требованиями сети, включая частоту, напряжение, управление активной и реактивной мощностью, гармонический состав и т. д.

Специфической особенностью ВЭУ является непостоянство развиваемой мощности во времени. Ветер по своей природе – явление непостоянное. Мощностную характеристику ВЭУ можно рассматривать в четырех ветровых зонах: 1-я охватывает диапазон изменения скорости от нулевой до начальной (рис. 1) (минимальной скорости ветра $u_{\text{мин}}$, при которой установка начинает выдавать электроэнергию в сеть); 2-я охватывает диапазон изменения скорости ветра ($u_{\text{мин}} - u_{\text{ном}}$), при котором ВЭУ работает в режиме выработки переменной мощности; 3-я – это диапазон изменения скорости ветра от расчетной номинальной $u_{\text{ном}}$ до максимальной рабочей скорости ветра $u_{\text{макс}}$ (режим поддержания выдачи в сеть номинальной мощности $P_{\text{ном}}$); 4-я – зона скоростей ветра, которая выше максимально допустимой рабочей [2]. Зависимость мощности P , вырабатываемой ВЭУ, от скорости ветра u представлена на рис. 1.

Общий подход при преобразовании механической энергии (при низкой скорости) в электрическую – это использование генератора со стандартной частотой вращения и мультипликатора. Основной (в плане электрической машины) в таких системах – это АГКЗР либо асинхронный генератор с фазным ротором (АГФР). Однако есть тенденция к применению многополюсных генераторов, которые позволяют свести к минимуму передаточное число мультипликатора либо вовсе избавиться от него. Перспективным

является применение многополюсного синхронного генератора с возбуждением от постоянных магнитов (СГПМ). Такие генераторы получают вращение напрямую от ветровой турбины и не могут быть включены непосредственно в сеть переменного тока, а требуют (для разделения генератора и сети) обязательного применения силовых преобразовательных устройств.

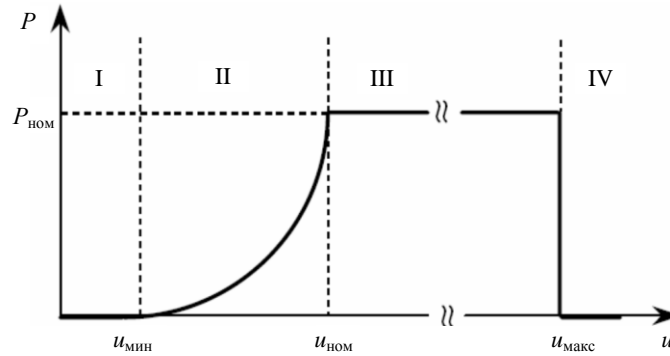


Рис. 1. Зависимость мощности, вырабатываемой ВЭУ, от скорости ветра

Силовая электроника претерпела значительные изменения последние 30 лет, сфера ее применения расширилась в основном благодаря совершенствованию силовых полупроводниковых устройств (что позволяет передавать большую мощность) и микропроцессорной техники, обеспечивающих реализацию сложных алгоритмов. Для увеличения надежности и снижения стоимости число компонентов уменьшается за счет высокого уровня интеграции.

Основным элементом СЭПУ современных ВЭУ являются автономные инверторы, позволяющие управлять передачей активной и реактивной мощности как в одном, так и в обоих направлениях. В ВЭУ применяются автономные инверторы с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) выходного напряжения, многоуровневые инверторы и матричные преобразователи. Высокочастотное преобразование с ШИМ генерирует гармоники, как правило, частотой в несколько кГц. Благодаря высокой частоте гармоники могут быть легко подавлены посредством фильтров небольших габаритов. Особенностью многоуровневых инверторов является возможность улучшения гармонического состава за счет способа формирования напряжения и, следовательно, уменьшения размеров выходного фильтра.

Технические решения. Рассмотрим некоторые технические решения из разнообразия возможных для СЭПУ, обеспечивающие динамические и статические показатели, способные управлять генератором ВЭУ в широком диапазоне скоростей. Наибольшее распространение получило решение, заключающееся в непосредственном соединении генератора турбины с сетью. Схема установки состоит из АКЗР, соединенного с сетью через теристорное пусковое устройство (ТПУ) и трансформатор и работающего с почти постоянной скоростью. При этом реактивная мощность, необходимая для возбуждения, поступает из сети или батареи конденсаторов, параллельно соединенных с зажимами генератора. Мощность такой ВЭУ обычно ограничивается на номинальном уровне аэродинамическим путем,

т. е. системой управления углом атаки лопастей воздушного потока. Концепция такого управления с постоянной скоростью приведена на рис. 2.



Рис. 2. Концепция управления с постоянной скоростью

Преимущество ВЭУ с асинхронным генератором заключается в простоте конструкции и в отсутствии необходимости в синхронизирующем устройстве. В целом такое решение привлекает надежностью и малой стоимостью. Имеются и недостатки: 1) турбина должна работать с постоянной скоростью; 2) требуется сеть для обеспечения стабильной работы; 3) механическая конструкция должна выдерживать перегрузки, поскольку порывы ветра могут вызвать пульсации момента в передаче; 4) при использовании для возбуждения батарей конденсаторов в случае разрыва соединения с сетью возникает опасность самовозбуждения.

Подключение асинхронного генератора к силовой системе характеризуется переходными процессами, короткими по длительности, но с большими пусковыми токами, что вызывает колебания в сети и броски момента в приводной части турбины, соединенной непосредственно с генератором. Это обстоятельство ограничивает число размещаемых установок в одном районе и на одном участке электросети. Высокое действующее значение пускового тока в основном ограничивается ТПУ до уровня двукратной величины номинального значения тока генератора. Обычно пределом работы ТПУ является максимально допустимая температура. После подключения асинхронного генератора к сети пусковое устройство шунтируется контактором, который пропускает полный ток нагрузки. В добавление, для уменьшения влияния сети, ТПУ также эффективно демпфирует пики момента, связанные с пиками тока и, следовательно, уменьшает нагрузки на передаточный механизм.

Подавляющее большинство применяемых турбин – с горизонтальной осью вращения, а их лопасти приходят в движение при скорости 3–4 м/с, и оптимальная аэродинамическая отдача имеет место вплоть до номинальной скорости 15 м/с. Выходная мощность между скоростями 15–25 м/с ограничивается из-за возможности перегрузки ВЭУ. При некоторой максимальной скорости ветра ВЭУ останавливается из-за опасности выхода из строя.

СЭПУ в ВЭУ с переменной скоростью вращения позволяют реализовать режимы работы с переменной мощностью, доля энергии в которых весьма значительна. Так, при среднегодовой скорости ветра 4 м/с ветроагрегат, развивающий номинальную мощность при 8 м/с, вырабатывает

в режиме переменной мощности 60 % энергии. С ростом среднегодовой скорости ветра эта доля снижается, но и при ее значении 6 м/с ветроагрегат во второй зоне вырабатывает 45 % энергии [2]. Такие ВЭУ могут уменьшать или увеличивать скорость вращения ветроколеса при изменении скорости ветра и момента нагрузки. Это означает меньшие нагрузки на опорную башню, редуктор, систему регулирования угла установки лопастей и другие компоненты механической передачи. Кроме того, системы с переменной скоростью могут увеличивать выработку энергии и уменьшать колебание мощности, передаваемой в сеть. Но главное, что приобретают ВЭУ данного вида, – это возможность реализовывать алгоритм извлечения максимальной выходной мощности [3].

Мощность, вырабатываемая турбиной, может быть определена по формуле

$$P = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 u^3 C_p,$$

где ρ – плотность воздуха, кг/м³; R – радиус турбины, м; u – скорость ветра, м/с; C_p – коэффициент использования энергии ветра.

Коэффициент C_p является нелинейной функцией быстроходности турбины (ветроколеса) λ , а также угла установки лопастей β , если в ВЭУ присутствует данная система управления. Быстроходность λ можно найти по выражению

$$\lambda = \frac{R\omega}{u},$$

где ω – угловая частота вращения лопасти.

Теоретически значение C_p ограничено величиной $C_{p\text{макс}} = 16/27$. На практике этот коэффициент составляет 0,40–0,45 [4]. Из рис. 3 видно, что для каждого конкретного угла установки лопастей β имеется такая величина λ , для которой C_p является максимальным, а при $\beta = 0$ и $\lambda_{\text{ном}}$ коэффициент использования энергии ветра стремится к своему максимально возможному значению $C_{p\text{макс}}$.

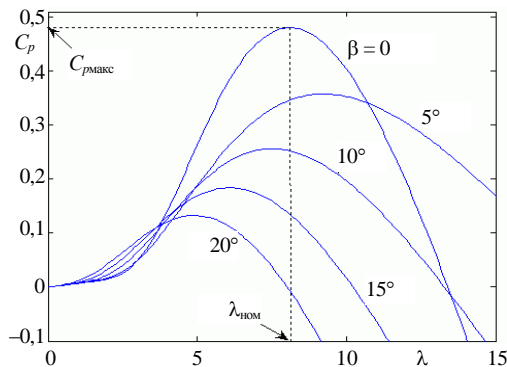


Рис. 3. Зависимость коэффициента C_p от быстроходности ветроколеса λ и угла установки лопастей β

Таким образом, ВЭУ имеет на выходе максимальную мощность для данной скорости ветра. Благодаря зависимости C_p и λ для каждой скоро-

сти ветра имеется скорость турбины, которая обеспечивает режим работы с максимальной выходной мощностью (РМВМ). В нормальных условиях система управления турбиной с переменной скоростью вращения следит за поддержанием максимального значения $C_{p\text{макс}}$, тем самым удерживая максимальное значение мощности вплоть до достижения номинальной скорости. За счет изменения скорости вращения ротора достигается оптимальное значение быстроходности $\lambda_{\text{опт}}$.

В режиме переменной мощности генератор настраивается на слежение за точкой максимальной мощности. Известны несколько способов управления ВЭУ для реализации режима РМВМ [5]:

1. Управление быстроходностью турбины. Основой контроллера для РМВМ является прибор для измерения скорости ветра – анемометр. Контроллер регулирует скорость вращения турбины для поддержания оптимального значения быстроходности $\lambda_{\text{опт}}$. Однако измерение скорости ветра представляет некоторую проблему и увеличивает сложность системы. Функциональное решение такой системы представлено на рис. 4а.

2. Управление с помощью сигнала обратной связи по мощности. В данном случае необходимо знание кривой максимальной мощности турбины, что может быть получено путем математического моделирования или экспериментальных исследований. Скорость турбины используется для выбора оптимального значения мощности. Во многих случаях эта кривая мощности может быть заменена «предсказателем» или наблюдателем скорости ветра как функции мощности и скорости турбины. Функциональное решение такой системы представлено на рис. 4б.

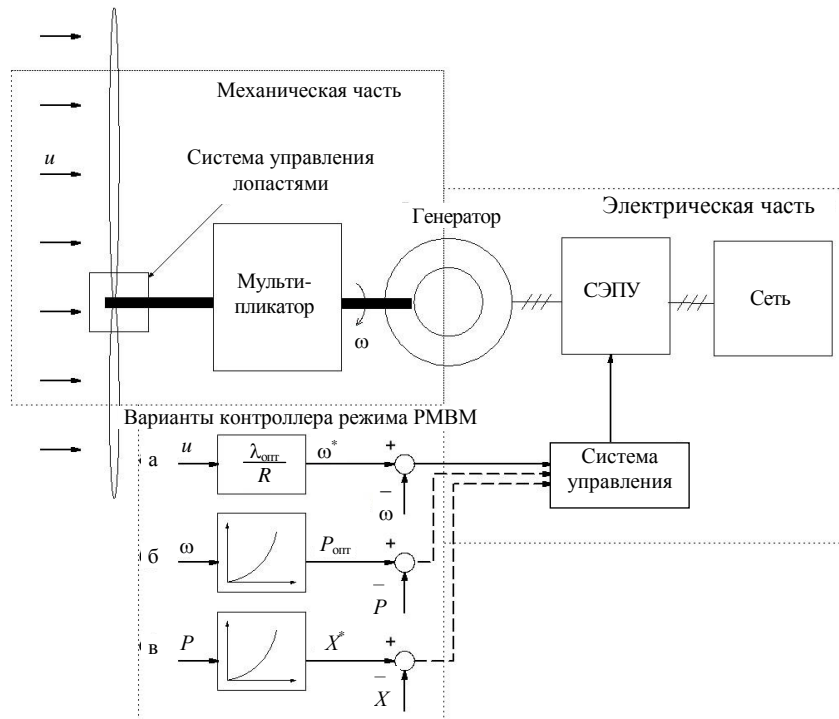


Рис. 4. Функциональные решения системы управления ВЭУ для обеспечения режима работы с максимальной выходной мощностью: а – управление быстроходностью турбины; б – управление с помощью сигнала обратной связи по мощности; в – управление путем поискового слежения

3. Управление путем поискового слежения [6]. Здесь действует следующий принцип: при росте скорости турбины выходная мощность должна увеличиваться, в противном случае скорость должна уменьшаться. Однако этот метод может оказаться неэффективным для больших турбин, поскольку из-за высокого момента инерции механической части скорость вращения не может быть изменена достаточно быстро. Функциональное решение такой системы представлено на рис. 4в.

В практическом применении имеются контроллеры, которые являются комбинацией всех трех приведенных выше.

Варианты возможных решений для ВЭУ с применением силовых преобразовательных устройств для реализации режима работы с максимальной выходной мощностью приведены на рис. 5. Структура на рис. 5а включает в себя мультипликатор, АГКЗР с преобразовательным устройством на полную передаваемую мощность (СЭПУ–ППМ). Использование АГКЗР имеет свои плюсы, такие как малая стоимость самой электрической машины и ее низкие эксплуатационные требования. Данная система требует двунаправленного потока передачи энергии, так как АГКЗР необходима реактивная энергия из сети для возбуждения. Эта задача решается применением СЭПУ–ППМ с двусторонней проводимостью, которое и позволяет реализовать алгоритмы РМВМ. Недостаток АГКЗР и СГПМ в том, что они требуют СЭПУ на полную передаваемую мощность, что, в свою очередь, также сказывается на мощности фильтров и делает их более сложными и дорогими. Данной концепции придерживается немецкая компания Siemens [7] для ВЭУ мощностью до 3,6 МВт (табл. 1). При использовании в качестве электрической машины АГФР (рис. 5б), СЭПУ с двусторонней проводимостью включается в цепь ротора и составляет около 25 % от полной мощности ВЭУ что, в свою очередь, положительно сказывается на стоимости всей установки. При таком соотношении мощностей ВЭУ и СЭПУ в роторной цепи диапазон регулирования за счет изменения скорости вращения ротора электрогенератора расширяется приблизительно на 33 % в обе стороны. Данной концепции (табл. 1) придерживается как компания-лидер Vestas (Дания), так и менее крупные – Nordex, Repower, Fuhrlander (Германия); Gamesa (Испания), Suzlon (Индия) [8–12]. Это объясняется наилучшим соотношением «цена – качество» таких ВЭУ. Структурные схемы установок с многополосными СГПМ, представленные на рис. 5в–д, отличаются от указанных выше отсутствием мультипликатора, тем самым значительно повышая надежность работы всей ВЭУ. Каждый из приведенных вариантов позволяет применить один из трех алгоритмов РМВМ. Все они имеют практически идентичные характеристики с точки зрения управления, поскольку генератор разьединен с сетью преобразователем постоянного тока. Та часть преобразователя, которая соединена с сетью, позволяет управлять активной и реактивной мощностью с большим быстродействием. Недостатком является более сложная система с чувствительной электронной частью. Такого пути придерживается ведущий поставщик на рынок ВЭУ Enercon (Германия) [13] и фирма Siemens для турбин «мультимегаваттного» класса [14]. Мировой лидер компания Vestas также направляет свои усилия на переход к использова-

нию СГПМ. Так, ВЭУ серии GridStreamer [15] отличаются от более ранних моделей меньшим повышающим числом мультипликатора и использованием СГПМ (табл. 1).

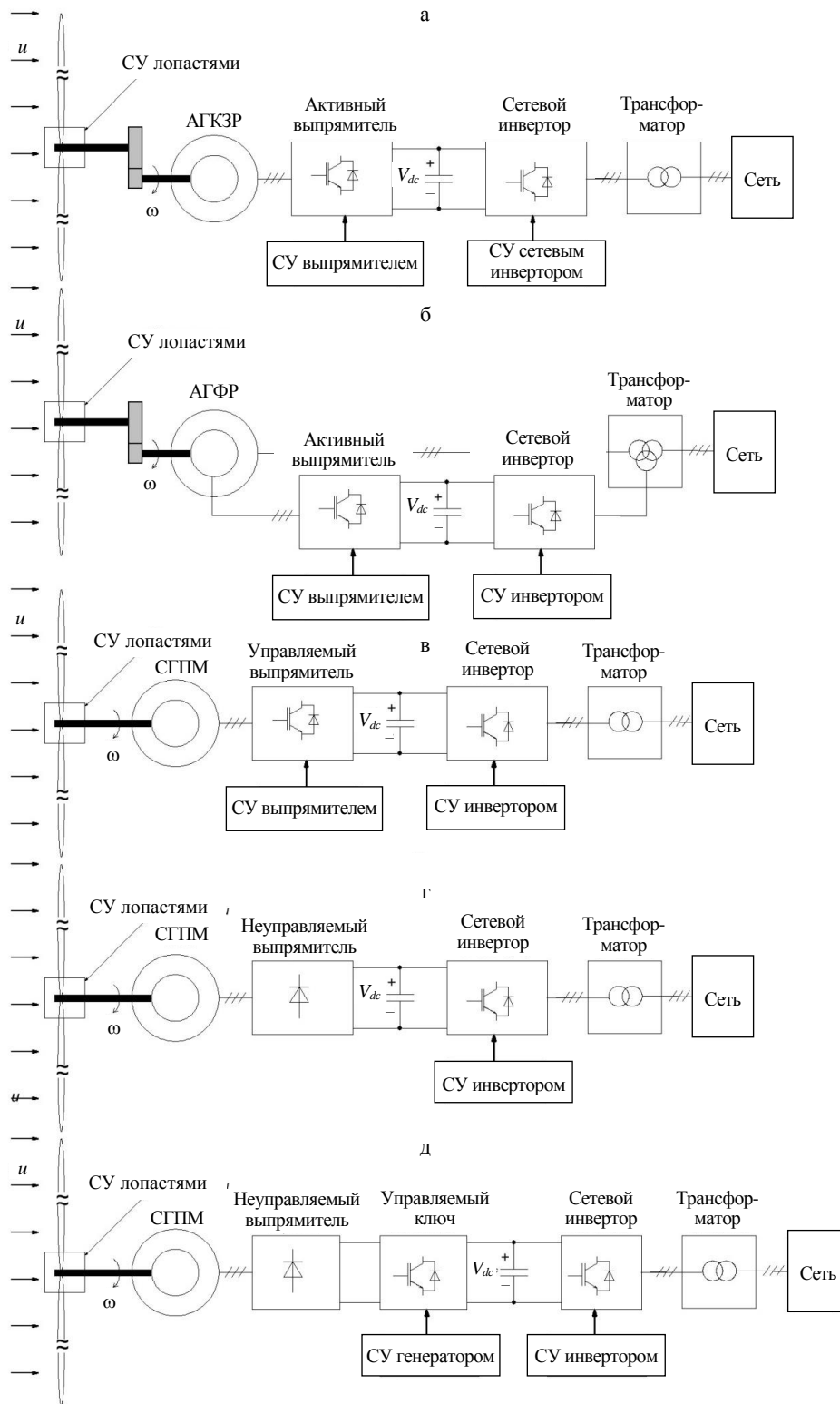


Рис. 5. Структурные схемы ВЭУ для реализации РМВМ: СУ – система управления

Таблица 1

Технические характеристики ВЭУ мировых производителей

Фирма-производитель	Страна-производитель	Модель ВЭУ	Номинальная мощность ВЭУ, кВт	Наличие/отсутствие мультипликатора	Тип применяемого генератора	Возможность работы с переменной скоростью	Рабочий диапазон, м/с	Номинальная скорость ветра, м/с
Enercon	Германия	E-E2 82/2000kW	2000	Отсутствует	Многополюсный СГПМ	Да	6–31	17,5
Repower	Германия	MM100	2000	Есть	АГФР	Да, 12,5 % за счет возбуждения	3–22	11
Suzlon	Индия	S97	2100	Есть	АГФР	Да	3,5–25	11
Nordex	Германия	N117	2400	Есть	АГФР	Да, 27,5 % за счет возбуждения	3–20	
Fuhrlaender	Германия	FL 2000	2050	Есть	АГФР	Да	3,5–25	12,5
Gamesa	Испания	G97	2000	Есть, 1:106,8	АГФР	Да, 30 % за счет возбуждения		
Siemens	Германия	SWT–2,3–82 VS	2300	Есть, 1:91	АГКЗР	Да	4–25	13,5
Siemens	Германия	SWT–6,0–154	6000	Отсутствует	Многополюсный СГПМ	Да	4–25 (max 70)	12–14
Vestas	Дания	V80	2000	Есть	СГПМ	Да	3,5–25	14,5
Vestas	Дания	V110	2000	Есть	АГФР	Да	20	11,5

Применение той или иной типовой схемы ВЭУ обусловлено в первую очередь условиями эксплуатации установки. Под условиями эксплуатации подразумеваются: географическое расположение установки, наличие либо отсутствие постоянного ветра, энергетические характеристики сети электроснабжения, характер потребителей генерируемой энергии и др. Так, упомянутая выше модель ветроэлектрической установки с АГКЗР, работающей напрямую с сетью, наиболее эффективна применительно к морским шлейфовым и прибрежным ВЭУ, а также для установок, расположенных в каньонах и ущельях предгорья, на берегах крупных водоемов. Такие установки работают с постоянными годовыми и сезонными или постоянными по времени суток ветрами. Обобщая сказанное, можно утверждать, что данные ВЭУ не требуют широкого диапазона регулирования и оптимизированы под преобладающую скорость ветра. В случае же внутриконтинентального базирования, в том числе и в Республике Беларусь, ветер зачастую не обладает определенной направленностью и более «размыт» в диапазоне скоростей. В таких условиях ВЭУ с непосредственным соединением генератора турбины с сетью будет работать с частыми остановками и последующими вводами в работу. Этот режим скажется на качестве генерируемой энергии из-за наличия разрывов в ее выработке и высоких пусковых токов при возвращении системы в работу. Кроме того, пусковые режимы заметно снижают срок службы как механического, так и электри-

ческого оборудования установки. ВЭУ внутриконтинентального базирования должны работать при переменной скорости ветра, т. е. обладать более широким рабочим диапазоном, поддерживать режим РМВМ, а это возможно только при применении современных СЭПУ. Следует также учитывать, что номинальные скорости ветра для ВЭУ с многополостными СГПМ несколько выше (табл. 1), чем для ВЭУ с АГФР. Этот факт может сыграть определяющую роль при выборе ВЭУ для конкретной площадки.

ВЫВОД

Рассмотрены концепции проектирования электрооборудования современных ветроэлектрических установок, проведен анализ способов их управления и применяемых для этих целей силовых электронных преобразовательных устройств. Выполнен сравнительный анализ оборудования ведущих мировых производителей. Приведены функциональные схемы систем для различных электрических генераторов, механических передач и разных комбинаций силовых электронных преобразовательных устройств. Определены структуры ветроэлектрических установок с преобразовательными устройствами, наиболее полно отвечающими условиям эксплуатации в Беларуси.

ЛИТЕРАТУРА

1. G l o b a l 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. Х а р и т о н о в, В. П. Автономные ветроэлектрические установки / В. П. Харитонов. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2006. – 280 с.
3. П е т р е н к о, Ю. Н. Разработка алгоритма управления, обеспечивающего максимально высокую выходную мощность ветроэнергетической установки с накопителями энергии / Ю. Н. Петренко, С. А. Санкевич // Электроника, автоматика и измерительная техника: межвуз. сб. науч. тр. / Уфимский гос. авиационный техн. ун-т; под науч. ред. Г. В. Миловзоров. – Уфа, 2011. – С. 47–52.
4. К р и в ц о в, В. С. Неисчерпаемая энергия. Кн. 1: Ветроэлектрогенераторы / В. С. Кривцов, А. М. Олейников, А. И. Яковлев. – Харьков: ХАИ, 2003. – 400 с.
5. Т h a n g a m, S. MPPT Control Methods in Wind Energy Conversion Systems / S. Thangam, M. Ouhrouche // Fundamental and Advanced Topics in Wind Power / InTech; Edited by Rupp Carriveau. – Rijeka, 2011. – P. 339–361.
6. С а н к е в и ч, С. А. Применение контроллера нечеткой логики для управления ветроэлектрической установкой / С. А. Санкевич, Ю. Н. Петренко // Информационные технологии и системы 2012: материалы Междунар. науч. конф., Минск, 24 окт. 2012 г. / БГУИР; редкол.: Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск, 2012. – С. 66–67.
7. S i e m e n s company // Wind Power [Electronic resource]. – Erlangen, 2013. – Mode of access: http://www.energy.siemens.com/hq/pool/hq/power-generation/wind-power/E50001-W310-A123-X-4A00_WS_SWT-2.3-82%20VS_US.pdf. – Date of access: 21.05.2013.
8. N o r d e x company // Products & Servic [Electronic resource]. – Hamburg, 2013. – Mode of access: http://www.nordex-online.com/fileadmin/MEDIA/Gamma/Nordex_Gamma_en.pdf. – Date of access: 21.05.2013.
9. R e p o w e r company // Wind Turbines [Electronic resource]. – Hamburg, 2013. – Mode of access: http://www.repower.de/fileadmin/download/produkte/PP_MM100_uk.pdf. – Date of access: 21.05.2013.
10. F u h r l a e n d e r company // Technik [Electronic resource]. – Liebenscheid, 2013. – Mode of access: <http://www.fuhrlander.de/?id=252>. – Date of access: 21.05.2013.
11. G a m e s a company // Products & Service [Electronic resource]. – Madrid, 2013. – Mode of access: <http://www.gamesacorp.com/recursos/doc/productos-servicios/aerogeneradores/catalogo-g9x-20-mw-eng.pdf>. – Date of access: 21.05.2013.

12. S u z l o n company // Products [Electronic resource]. – Pune, 2013. – Mode of access: <http://www.suzlon.com/pdf/Suzlon-S9X-product-brochure.pdf>. – Date of access: 21.05.2013.
13. E n e r k o n company // Products & Servic [Electronic resource]. – Bremen, 2013. – Mode of access: <http://www.enercon.de/de-de/62.htm>. – Date of access: 21.05.2013.
14. S i e m e n s company // Wind Power [Electronic resource]. – Erlangen, 2013. – Mode of access: http://www.energy.siemens.com/hq/pool/hq/power-generation/renewables/wind-power/6_MW_Brochure_Jan.2012.pdf. – Date of access: 21.05.2013.
15. V e s t a s company // Procurement [Electronic resource]. – Aarhus, 2013. – Mode of access: <http://www.vestas.com/en/wind-power-plants/procurement/turbine-overview/v80-2.0-mw-gridstreamer%E2%84%A2.aspx#/vestas-univers>. – Date of access: 21.05.2013.

R E F E R E N C E S

1. G l o b a l Wind Energy Council. *Global Wind Statistics 2012*. Available at: http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2012/06/glob_cum_inst_wind_cap_1996-2012.jpg (accessed 4 April 2013).
2. K h a r i t o n o v, V. P. (2006) *Autonomic Wind Power Plants*. Moscow: GNU VIESH.
3. P e t r e n k o, Yu. N., & Sankevich, S. A. (2011) Development of Control Algorithm Ensuring Maximum Output Power of Wind Power Plant with Energy Storage Systems. *Electronics, Automatics and Measuring Equipment. Interuniversity Collection of Scientific Papers*. Ufa: Ufa State Aviation Technical University, 47–52.
4. K r i v t s o v, V. S., Oleynikov, A. M., & Yakovlev, A. I. (2003) *Inexhaustible Energy. Book. 1. Wind Ectrical Generators*. Kharkov: KhAI.
5. T h o n g a m, S., & Ouhrouche, M. (2011) MPPT Control Methods in Wind Energy Conversion Systems. *Fundamental and Advanced Topics in Wind Power*. Rijeka, 339–361.
6. S a n k e v i c h, S. A., & Petrenko, Yu. N. (2012) Application of Fuzzy-Logic Controller for Operation of Wind Power Plant. *Information Technologies and Systems – 2012: Proceedings of International Scientific Conference [Informacionnye Tehnologii i Sistemy – 2012: Materialy Mezhdunarodnoj Nauchnoj Konferencii]*. Minsk: BSUIR, 66–67.
7. S i e m e n s company. *Wind Power*. Available at: http://www.energy.siemens.com/hq/pool/hq/power-generation/wind-power/E50001-W310-A123-X-4A00_WS_SWT-2.3-82%20VS_US.pdf (accessed 21 May 2013).
8. N o r d e x company. *Products & Servic*. Available at: http://www.nordex-online.com/fileadmin/MEDIA/Gamma/Nordex_Gamma_en.pdf (accessed 21 May 2013).
9. R e p o w e r company. *Wind Turbines*. Available at: http://www.repower.de/fileadmin/download/produkte/PP_MM100_uk.pdf (accessed 21 May 2013).
10. F u h r l a e n d e r company. *Technik*. Available at: <http://www.fuhrlaender.de/?id=252> – (accessed 21 May 2013).
11. G a m e s a company. *Products & Service*. Available at: <http://www.gamesacorp.com/recursos/doc/productos-servicios/aerogeneradores/catalogo-g9x-20-mw-eng.pdf> (accessed 21 May 2013).
12. S u z l o n company. *Products*. Available at: <http://www.suzlon.com/pdf/Suzlon-S9X-product-brochure.pdf> (accessed 21 May 2013).
13. E n e r k o n company. *Products & Servic*. Available at: <http://www.enercon.de/de-de/62.htm> (accessed 21 May 2013).
14. S i e m e n s company. *Wind Power*. Available at: http://www.energy.siemens.com/hq/pool/hq/power-generation/renewables/wind-power/6_MW_Brochure_Jan.2012.pdf (accessed 21 May 2013).
15. V e s t a s company. *Procurement*. Available at: <http://www.vestas.com/en/wind-power-plants/procurement/turbine-overview/v80-2.0-mw-gridstreamer%E2%84%A2.aspx#/vestas-univers> (accessed 21 May 2013).

Представлена кафедрой ЭАПУ и ТК

Поступила 20.06.2013