

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК 1-ГО И 2-ГО ТИПОВ НА РЕЖИМ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ.

И.А. Разживин, В.Е. Рудник, Н.Ю. Рубан

Научный руководитель - доцент Н.Ю. Рубан

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Статистика показывает, что мощность, получаемая при использовании возобновляемых источников энергии (ВИЭ) более чем удвоилась за десятилетие 2007-2017 гг. В целом, на ВИЭ приходится примерно 70% чистого прироста мощности в мире в 2017 году. Лидирующие позиции в области электроэнергетики среди ВИЭ занимают ветроэлектрические установки (ВЭУ), объединенные в ветроэлектростанции (ВЭС), общая вырабатываемая мощность которых на конец 2017 года составила 539 ГВт (рисунок 1).



Рис. 1 Мощность вырабатываемая ВЭС.

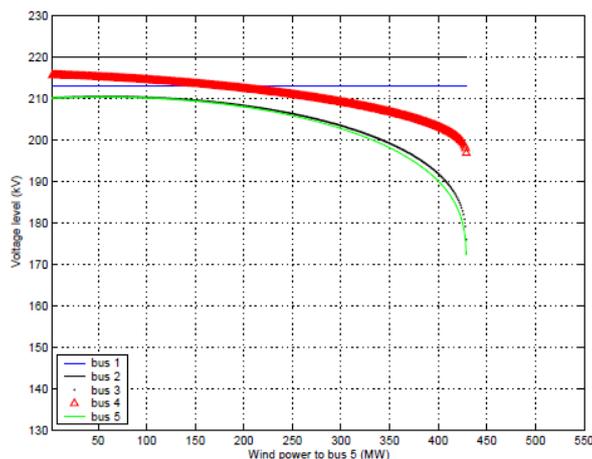
Проблемы совместной работы маломощных ветроэлектрических установок (ВЭУ) с сетью хорошо изучены, имеется множество инструментов для анализа взаимодействия ВЭУ и ЭЭС. Проблемы подключения небольшого количества ВЭУ к ЭЭС связаны в основном с качеством напряжения и термической стойкостью линий и кабелей. Внедрение мощных ВЭУ в работу ЭЭС является актуальной проблемой и широко изучается за рубежом. Единственным возможным способом оценки влияния работы мощных ВЭС на ЭЭС в различных режимах работы, является математическое моделирование таких ВЭС, соответственно к моделирующим комплексам и математическим моделям применяются высокие требования.

Схемы ВЭУ 1-го и 2-го типа являются устаревшими конструкциями, применяемыми с начала 80-ых годов. В силу низкого КПД по сравнению с 3-им и 4-ым типами, ВЭУ 1-го и 2-го типа все меньше встречаются на рынке и активно заменяются на действующих ВЭС. Однако их доля в общем количестве ВЭУ все еще достаточно велика, в связи с чем их особенности необходимо учитывать при анализе режима работы ЭЭС.

В ЭЭС с ВЭУ 1-го и 2-го типов без системы компенсации реактивной мощности (РМ) аварийный режим характеризуется колебаниями напряжения, резкой просадкой напряжения в коллекторной сети и в точке подключения ВЭС к ЭЭС. Ротор ВЭУ начинает ускоряться, (увеличивается скольжение) ввиду неравенства между электрическим и механическим моментом. При коротких замыканиях (КЗ) на шинах ВЭУ 1-го и 2-го типа пиковые токи будут значительно выше номинальных и в 5-8 раз могут превышать номинальные [1].

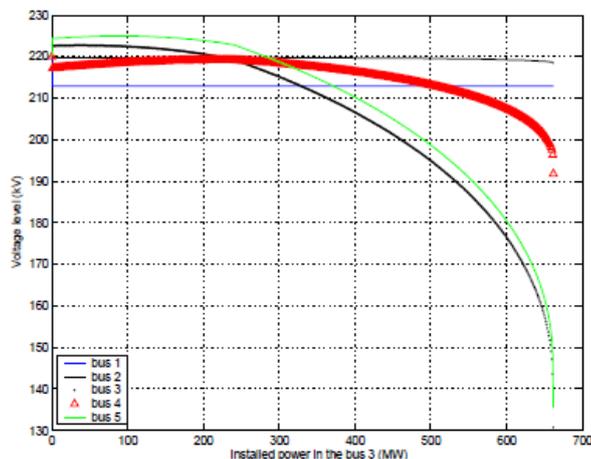
После устранения КЗ ВЭУ 1-го и 2-го типа начинают потреблять РМ из сети, для создания магнитного потока, что приводит к еще большему снижению напряжения в точке подключения. Проблема компенсации РМ в таком случае может быть решена установкой компенсирующих устройств РМ (УКРМ), таких как: управляемые шунтирующих реакторы, СТАТКОМы или конденсаторные батареи; в данном ключе следует также рассматривать воздействие этих устройств на режим работы ЭЭС [2-4]. К примеру, использование устройств компенсации РМ может привести к самовозбуждению асинхронных генераторов, в аварийных режимах. Следующей проблемой аварийных режимов ВЭУ 1-го и 2-го типа являются перенапряжения в сети [5,6]. Перенапряжения могут возникнуть при отключении ВЭУ, вследствие возникновения избытка РМ. Следовательно, для нормальной работы ЭЭС с ВЭУ 1-го и 2-го типа устройства регулирования РМ должны содержать как емкостные, так и индуктивные компоненты.

В [7], рассматривается вопрос значительного уменьшения напряжения на шинах при внедрении большой мощности от ВЭУ 1-го и 2-го типа в ЭЭС. Это связано с тем, что потребление РМ ВЭУ в составе ВЭС перераспределяет перетоки РМ в сети. На рисунке 2 показана зависимость уровня напряжения на шинах в ЭЭС от увеличения мощности ВЭС.



**Рис. 2 Снижение напряжения в ЭЭС в зависимости от мощности ВЭС (ВЭУ 1 типа)**

Также исследования показали, что при аналогичной конфигурации сети с использованием ВЭУ 4 типа, пределы по статической устойчивости в сети значительно выше (рисунок 3), что позволяет использовать ВЭУ в большем количестве.



**Рис. 3 Снижение напряжения в ЭЭС в зависимости от мощности ВЭС (ВЭУ 4 типа)**

Ряд обозначенных технических ограничений ВЭУ 1-го и 2-го типов (потребление реактивной мощности, узкий диапазон изменения скорости вращения и т.д.) обусловил предел наращивания их единичной мощности, что привело к необходимости разработки новых технических решений – ВЭУ 3-го и 4-го типов, что позволило существенно снизить воздействие ВЭУ и ВЭС на ряд показателей качества электрической энергии, таких как: доза фликера, колебания напряжения и РМ [8].

Сегодня в связи с вышеописанными недостатками зарубежные операторы активно модернизируют ВЭС и заменяют устаревшие ВЭУ 1-го и 2-го типа на ВЭУ 3-го и 4-го типа.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, грант №МК-1675.2019.8

#### Литература

1. Bradt M., Behnke M.R., Bloethe W.G. and other. Wind Plant Collector System Fault protection and Coordination IEEE PES Wind Plant Collector System Design Working Group.
2. Zhou F.Q., Joos G., Abbey C. Voltage Stability in Weak Connection Wind Farms, Power Engineering Society General Meeting, 2005. IEEE. Volume 2, 12-16 June 2005 Page(s): 1483-1488.]
3. Ha L.T., Saha T.K., Investigation of Power Loss and Voltage Stability Limits for Large Wind Farm Connections to a Sub-transmission Network, Power Engineering Society General Meeting, 2004. IEEE, 6- 10 June 2004 Page(s):2251-2256 Vol.2.]
4. Ackermann T. Wind Power in Power Systems. - Wiley (2005)
5. Akhmatov V. and Børre Eriksen P. A Large Wind Power System in Almost Island Operation—A Danish Case Study/ IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 22, NO. 3, AUGUST 2007]
6. Akhmatov V. and Søbrink K. Static Synchronous Compensator (Statcom) for Dynamic Reactive-Compensation of Wind Turbines WIND ENGINEERING VOLUME 30, NO. 1, 2006]
7. Rosas, P. Dynamic Influences of Wind Power on the Power System : Ph.D. thesis, - Orsted.: Riso National Laboratory, - 2003, 150 p.
8. Larsson, A. The Power Quality of Wind Turbines: PhD thesis, - Goteborg. : Chalmers University of Technology.: Department of Electrical Power Engineering, 2000. - 166 P.