

строительством и эксплуатацией дамбы предоставили финансовую и гуманитарную помощь, так же активно участвовали в ремонте повреждённой дымбы [7, 8].

Как видно из вышеперечисленных примеров, аварии на ГЭС могут привести к катастрофическим последствиям, на решение которых потребуются года и существенные капитальные вложения. Причинами таких крупных аварий могут послужить не только аномальные наводнения, но и плохая погода. Также необходим должный контроль и выполнение всех норм эксплуатации, чтобы избежать случаев как на Саяно-Шушенской ГЭС и Оровиллской плотине.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Renewables 2021 Global Status Report/ Murdock, Hannah E.; Gibb, Duncan; Andre, Thomas; Sawin, Janet L.; Brown, Adam; Ranalder, Lea; Andre, Thomas; Brown, Adam; Collier, Ute and others// REN21. – 2021. – P. 371.
2. Итоговый доклад парламентской комиссии по расследованию обстоятельств, связанных с возникновением чрезвычайной ситуации техногенного характера на Саяно-Шушенской ГЭС 17 августа 2009 года.
3. Слива И. В., Лапин Г. Г. Авария на водосбросных сооружениях гидроузла Оровилл // Гидротехническое строительство: журнал. – 2017. – № 11. – С. 44-51.
4. ANALYSIS-Brazil blackout a glitch, but shows investment need// Reuters. URL: <https://www.reuters.com/article/latestCrisis/idUSN11339425> (дата обращения 12.11.2009)
5. Power restored in Brazil after blackouts// CNN. URL: <http://edition.cnn.com/2009/WORLD/americas/11/11/brazil.blackout/index.html> (дата обращения 11.11.2009)
6. Precursory motion and deformation mechanism of the 2018 Xe Pian-Xe Namnoy dam Collapse, Laos: Insights from satellite radar interferometry// International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – 2022. – V. 109.
7. Several dead, hundreds missing after Lao dam collapses: report// Kyodo News. – 24.07.2018
8. After Laos Dam's Failure, Rescuers Scramble to Save the Stranded// The New York Times – 25.07.2018.

Научный руководитель: к.т.н. Р.А. Уфа, доцент ОЭЭ ИШЭ ТПУ.

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК РАЗНОГО ТИПА

А.А. Змиевский

Томский политехнический университет
ИШЭ, ОЭЭ, группа 5А13

Ветроэнергетическая установка (ВЭУ) – это устройство для преобразования движущей энергии ветра в механическую энергию вращения ротора с последующим ее преобразованием в электроэнергию.

Ветроэнергетические установки представляют собой целую совокупность оборудования, предназначенного для выработки, подготовки и снабжения потребителей электрическим током. Поскольку ветер является бесплатным источником энергии, все затраты на выработку тока сводятся к начальным вложениям на покупку (или создание) ветрогенератора и прилежащего оборудования, а также последующее обслуживание.

В настоящий момент существует четыре основных типа ветроэнергетических установок, которые широко используются или использовались в электроэнергетических системах.

ВЭУ первого типа (рисунок 1) реализована с помощью асинхронного генератора с короткозамкнутым ротором (АГ с КЗ) который напрямую подключен к повышающему трансформатору. Преимуществами являются экономическая эффективность, хорошая надежность, несложное применение и его надежность. Несмотря на некоторую изменчивость производительности в зависимости от скольжения машины, ВЭУ первого типа обычно работают на номинальной частоте вращения или очень близко к ней. Основным недостатком асинхронной машины является реактивная мощность, которую она потребляет для формирования магнитного поля и большие токи, которые машина может потреблять при прямом пуске. Для уменьшения этих эффектов в турбине обычно используется плавный пуск и дискретность при подключении конденсаторных батарей в рамках установки.

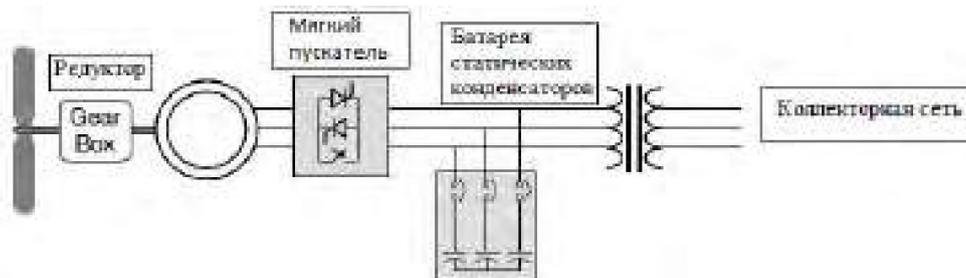


Рис. 1. Типовая структура ВЭУ первого типа

ВЭУ второго типа (рисунок 2) реализована за счет применения асинхронного генератора с фазным ротором (АГ с ФР). ВЭУ подключаются непосредственно к повышающему трансформатору способом, аналогичным для ВЭУ первого типа в отношении схемы статора электрической машины, но также подразумевается включение переменного резистора в цепь ротора. Это может быть достигнуто с помощью применения резисторов и силовой электроники, установленных отдельно по отношению к ротору генератора с токами, протекающими между резисторами и ротором, через контактные кольца. В качестве альтернативы, резисторы и силовые ключи могут быть установлены непосредственно на роторе без применения контактных колец. Переменные резисторы подключены к ротору и могут довольно быстро регулировать токи ротора, чтобы поддерживать постоянную мощность даже при порывах ветра, а также могут влиять на динамическую реакцию машины во время сбоев в электросети.

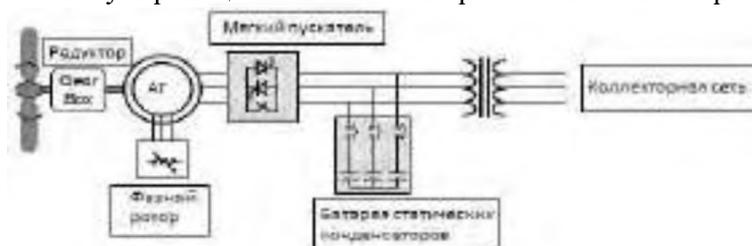


Рис. 2. Типовая структура ВЭУ второго типа

ВЭУ третьего типа реализована за счет асинхронного генератора двойного питания (АГДП), структурная схема которой приведена на рисунке 3. Этот генератор по конструкции аналогичен асинхронному генератору с фазным ротором. На роторе, как и на статоре, имеется трехфазная обмотка, концы которой выведены на кольца, расположенные на валу генератора. Таким образом, обмотка ротора подразумевает возможность внешнего подключения. В результате становится возможным использование отдельного независимого питания обмоток ротора и статора, что определяет «двойное питание» электрической машины. Ротор подключен к сети не напрямую, а через силовой преобразователь. При использовании преобразователя можно гибко управлять питанием ротора. Подобные свойства АГДП позволяют работать ВЭУ в широком диапазоне скоростей ветра, тем самым ВЭУ третьего типа классифицируются как установки с переменной скоростью вращения в отличие от ВЭУ первого и второго типов, которые являются установками с постоянной скоростью вращения.

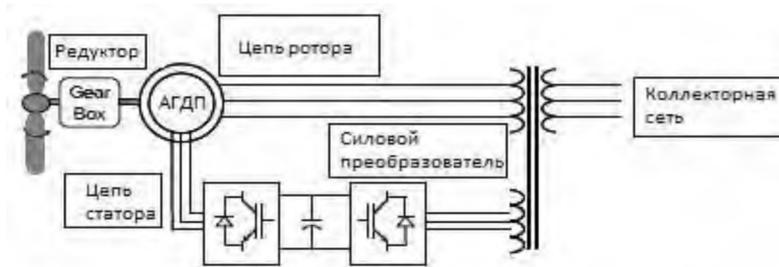


Рис. 3. Типовая структура ВЭУ третьего типа

ВЭУ четвертого типа (рисунок 4) реализована за счет применения синхронного генератора с постоянными магнитами (СППМ). Синхронный генератор с постоянными магнитами создает поле возбуждения с помощью постоянного магнита. Установка четвертого типа очень эффективна при работе с частичной нагрузкой от энергии ветра по сравнению с установкой второго типа. Кроме того, СППМ более мощный и требует меньшего технического обслуживания, так как имеет меньше движущихся частей. Кроме того, СППМ с полным преобразователем является одним из лучших вариантов для ВЭУ с переменной скоростью вращения из-за более высокой эффективности преобразования энергии и более длительного срока службы, несмотря на высокие капитальные затраты.

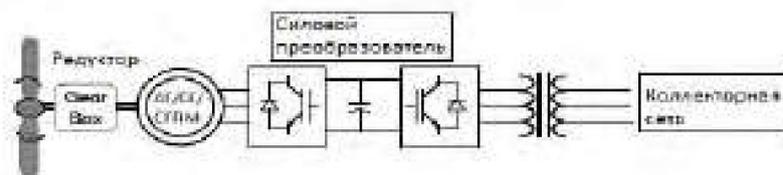


Рис. 4. Типовая структура ВЭУ четвертого типа

В настоящее время широкую популярность набирают ВЭУ третьего и четвертого типа. Рассматривая ВЭУ третьего типа, небольшое количество энергии, вводимой в цепь ротора, может значительно расширить диапазон регулирования мощности в цепи статора. Это главное преимущество АГДП – благодаря наличию силового преобразователя в цепи ротора, который обычно рассчитывается всего на 30% от номинальной мощности машины можно гибко контролировать выходную мощность. ВЭУ четвертого типа обладает большой гибкостью в конструкции и эксплуатации, поскольку вся мощность от генератора передается в сеть через силовой преобразователь.

С растущей потребностью в надежности системы и генератора с возможностью устранения неисправностей, система прямого привода с полномасштабным преобразователем и СППМ привлекает больше внимания в качестве ветрогенератора. Для надежной работы системы преобразования энергии ветра (СПЭВ) необходима эффективная система накопления энергии (СНЭ) и, следовательно, разработка простой и экономичной процедуры для нее. Перед установкой СНЭ следует провести надлежащую оценку коммерческой целесообразности технологии хранения. Прерывистый характер ветра ставит сложную задачу перед методами управления в СПЭВ для получения надежного и стабильного энергоснабжения.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Безруких П.П. Ветроэнергетика. Справочное и методическое пособие. – Москва, ИД «Энергия», 2010. – 315 с.
2. Ефимцева Т.В., Дьяконова А.А., Михайлова Е.С., Рахматуллина О.В., Салиева Р.Н. Возобновляемая энергетика в России и в других государствах ЕАЭС и СНГ: проблемы и перспективы правового регулирования // Вопросы российского и международного

- права. 2019. – Том 9. – № 12А. – С. 90-110. URL: <http://www.publishing-vak.ru/file/archive-law-2019-12/11-efimtseva.pdf> (дата обращения 06.10.2022).
3. Ланьшина Т. Ветроэнергетический рынок России: потенциал развития новой экономики, 2021. URL: http://library.fes.de/pdf_files/bueros/moskau/17579-20210408.pdf (дата обращения 20.10.2022).
 4. Лукутин Б.В. Возобновляемые источники электроэнергии: учебное пособие / Б.В. Лукутин. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 187 с.
 5. Обзор главных энергетических вызовов и приоритетов. / Опубликовано Мировым энергетическим советом, январь 2022. URL: https://www.worldenergy.org/assets/downloads/WEIM2022__Global_%28Russian%29.pdf (дата обращения 30.10.2022).
 6. Развитие возобновляемой энергетики на фоне энергетических кризисов // Энергетические тренды. Выпуск № 104, январь 2022. URL: https://ac.gov.ru/uploads/2-Publications/energo/2022/energo_104.pdf (дата обращения 16.10.2022).
 7. Рынок возобновляемой энергетики России: текущий статус и перспективы развития / Информационный бюллетень, АРВЭ, июль 2022. URL: https://novawind.ru/bitrix/images/Vyulleten_Interaktivny_2022_1.pdf (дата обращения 26.10.2022).
 8. Янсон Р.А. Ветроустановки: учебное пособие / под. ред. М.И. Осипова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 36 с.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, Государственное задание "Наука" № FSWW-2020-0017.

Научный руководитель: А.Б. Аскарлов, ассистент ОЭЭ ИШЭ ТПУ.