

**УДК 621.311**

А.В. МАХИЯНОВ, аспирант гр. А2773/16-21-01 (УГНТУ)  
Научный руководитель Р.Р. САТТАРОВ, проф., д.т.н., доцент (УГНТУ)  
г. Уфа

## **УСТРОЙСТВО ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАСШИРЕННОМ ДИАПАЗОНЕ ВЕТРОВЫХ СКОРОСТЕЙ**

**Аннотация.** Ветроэнергетика - это сфера энергетики, которая использует энергию ветра для производства электроэнергии. Возобновляемая энергия, такая как ветер, играет все большую роль в современном мире, и ветряные электростанции становятся все более популярными и широко распространенными. Преимущества ветроэнергетики включают ее низкую экологическую нагрузку, отсутствие выбросов парниковых газов и других загрязнений в процессе производства электроэнергии. Она также является дешевым источником энергии в сравнении с традиционными источниками, такими как нефть или уголь, и позволяет снизить зависимость от импорта энергии. Основной проблемой многих ветроэнергетических установок является сложность стабильного генерирования переменного напряжения из-за постоянно изменяющейся скорости ветра. В данной статье дано описание нового технического решения – ветроэнергетического двухгенераторного устройства для выработки электроэнергии в расширенном диапазоне ветровых скоростей. Задача, на решение которой направлено данное техническое решение является обеспечение ступенчатого и плавного регулирования напряжения при коммутации цепей постоянного напряжения для сохранения высокой эффективности в расширенном диапазоне: как при нормальных, так и при малых ветровых скоростях.

**Ключевые слова:** ветроэнергетическое устройство, синхронный генератор с постоянными магнитами, зеленая энергетика, коммутация обмоток.

Ветровая энергия полностью зависит от интенсивности и постоянства ветра. Если скорость ветра низкая или переменчивая, то производство энергии снижается. Это делает ветроэнергетические установки менее надежными и менее конкурентоспособными по сравнению с другими источниками энергии [1]. Многие известные ветроэнергетические установки при малых скоростях ветра попросту останавливают, так как нет возможности индуцировать ЭДС в обмотках

электрогенераторов из-за малой скорости вращения ротора. Известны технические решения и математические расчеты, которые решают данную проблему [2].

Известна ветроэнергетическая двухгенераторная установка, содержащая ветроколесо, которое при помощи муфты валом соединено с ротором синхронного генератора с постоянными магнитами. В свою очередь, синхронный генератор с постоянными магнитами последовательно с помощью муфты соединен с синхронным генератором с постоянными магнитами иного исполнения. Выводы одноименных фазных обмоток каждого синхронного генератора с постоянными магнитами присоединены к силовым ключам, выходы которых присоединены к выпрямителю, который присоединен к аккумулятору и инвертору, на выход которого подключается нагрузка. Силовые ключи коммутируются системой управления, которая состоит из измерителя напряжения, компаратора, обмотки реле [3]. Недостатком установки являются сложность эксплуатации и невысокая надежность электрооборудования вследствие возможности только ступенчатого регулирования напряжения и необходимости синхронизации напряжения в коммутируемых обмотках.

Обеспечение ступенчатого и плавного регулирования напряжения при коммутации цепей постоянного напряжения для сохранения высокой эффективности в расширенном диапазоне: как при нормальных, так и при малых ветровых скоростях, реализуется в ветроэнергетическом двухгенераторном устройстве для выработки электроэнергии в расширенном диапазоне ветровых скоростей, схема которого показана на рисунке 1 [4].

Ветроэнергетическое устройство для выработки электроэнергии в расширенном диапазоне ветровых скоростей содержит ветроколесо 1, которое при помощи муфты 2 валом 3 соединено с ротором 4 синхронного генератора с постоянными магнитами 5. В свою очередь синхронный генератор с постоянными магнитами 5 последовательно с помощью муфты 6 соединен с синхронным генератором с постоянными магнитами 7 однофазного исполнения. К трехфазным обмоткам синхронных генераторов с постоянными магнитами 5 и 7, соединенных звездой, подсоединены два выпрямителя 8, выходы которых через коммутирующее устройство 9 присоединены к входу преобразователя постоянного напряжения 10, подзаряжающего аккумулятор 11 и/или через инвертор 12 обеспечивающего питание нагрузки 13. Коммутирующее устройство 9 и преобразователь постоянного тока 10 регулируются системой управления 14 посредством измерителя напряжения 15.

Ветроэнергетическое устройство для выработки электроэнергии в расширенном диапазоне ветровых скоростей работает следующим образом.

При нормальной скорости ветра ветроколесо 1 вращается с нормальной скоростью и в трехфазных обмотках синхронных генераторов с постоянными магнитами 5 и 7 вырабатывается переменное напряжение, которое преобразуется в постоянное посредством выпрямителей 8. В данном режиме коммутирующее устройство 9, при соответствующем сигнале от системы управления 14, соединяет выводы выпрямителей 8 так, что они оказываются подключенными параллельно, при этом выходное напряжение имеет нормальное значение, а полный ток равен удвоенному нормальному току одного выпрямителя. Преобразователь постоянного тока 10, к которому подключены выводы коммутирующего устройства 9, стабилизирует величину постоянного напряжения до номинального уровня при незначительных отклонениях. Стабилизированное напряжение используется для заряда аккумулятора 11 и/или через инвертор 12 для питания нагрузки 13. При таком режиме обеспечивается максимальная мощность ветроэнергетического устройства при сохранении нормального значения напряжения. Устройство работает в нормальном режиме максимальной мощности.

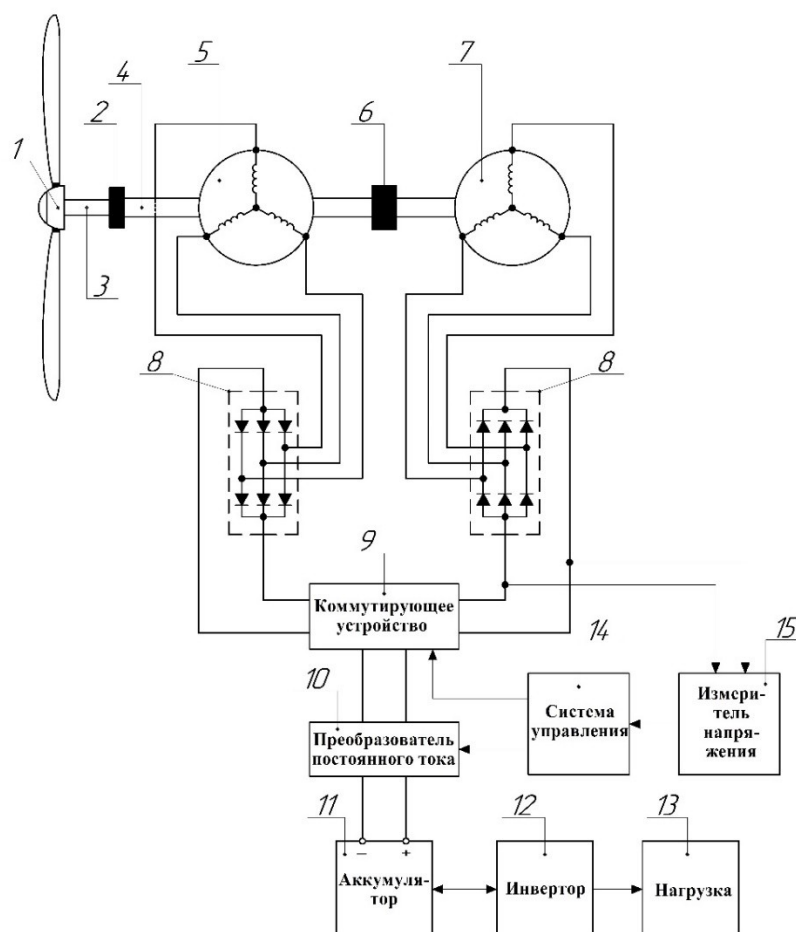


Рис. 1. Ветроэнергетическое устройство для выработки электроэнергии в расширенном диапазоне ветровых скоростей.

1 – ветроколесо; 2 - муфта; 3 - вал ветроколеса; 4 - ротор синхронного генератора с постоянными магнитами двухвального исполнения; 5 - синхронного генератора с постоянными магнитами двухвального исполнения; 6 - муфта; 7 - синхронного генератора с постоянными магнитами одновального исполнения; 8 - выпрямители, 9 - коммутирующее устройство; 10 - преобразователь постоянного тока; 11 - аккумулятор, 12 - инвертор, 13 - нагрузка, 14 - система управления, 15 - измеритель напряжения.

При снижении скорости ветра, снижается скорость вращения ветроколеса 1, и напряжение синхронных генераторов с постоянными магнитами 5 и 7 также будет снижаться. Поэтому напряжение после выпрямителей 8 будет снижаться, что определяется измерителем напряжения 15, подключенным к одному из выпрямителей 8. При достижении заданного порога снижения напряжения  $U_{\text{порог}}$ , система управления 14 подаст сигнал на переключение коммутирующего устройства 9, которое соединит выходы выпрямителей 8 последовательно. Это приведет к сложению напряжений выпрямителей 8 и ступенчатому

повышению выходного напряжения до величины  $2 U_{\text{порог}}$ , которое станет выше нормального значения, а ток при этом уменьшится и окажется равным току одного из выпрямителей 8. Преобразователь постоянного тока 10 снизит выходное напряжение до нормального уровня. При этом ток и мощность ветроэнергетического устройства несколько снижаются по сравнению с нормальным режимом, но являются максимально возможными при данной сниженной скорости ветра. Устройство работает в режиме пониженной мощности.

При обратном повышении скорости ветра и ветроколеса 1 до нормальных значений, система управления 14 обеспечивает обратное переключение выводов выпрямителей 8 на параллельную работу. Устройство окажется в нормальном режиме работы.

При этом во всех режимах ветроэнергетическое устройство сохраняет нормальный уровень напряжения и выдает максимально возможную мощность при данной скорости ветра.

Таким образом, заявляемое устройство обеспечивает сохранение высокой эффективности в расширенном диапазоне: как при нормальных, как и при малых ветровых скоростях.

#### Список литературы:

1. RENWEX 2024 [Электронный ресурс] - URL: <https://www.renwex.ru/ru/ii/vetroehnergetika/> / (дата обращения: 09.10.2023).
2. Расчет магнитной системы магнитоэлектрических генераторов мощностью до 10 кВА для ветроэнергетических установок / А. А. Евдокимов, В. И. Чарыков, Р. Р. Саттаров [и др.] // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2018. – Т. 14, № 1. – С. 27-33. – EDN XXSEOL.
3. Патент на полезную модель № 212697 U1 Российская Федерация, МПК F03D 7/04, H02P 9/00. Ветроэнергетическая двухгенераторная установка : № 2022104815 : заявл. 22.02.2022 : опубл. 03.08.2022 / Р. Р. Саттаров, А. В. Махиянов, И. Р. Саттаров ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет". – EDN BSPWEE.
4. Патент на полезную модель № 219734 U1 Российская Федерация, МПК H02P 9/00. Ветроэнергетическое двухгенераторное устройство для выработки электроэнергии в расширенном диапазоне ветровых скоростей : № 2023105593 : заявл. 09.03.2023 : опубл. 02.08.2023 / Р. Р. Саттаров, А. В. Махиянов, А. А. Евдокимов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет". – EDN GIJDJS.

Информация об авторах:

Махиянов Артур Валерьевич, аспирант гр. А2773/16-21-01, УГНТУ, 450064, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1, [artur.makhiyanov.sems510@mail.ru](mailto:artur.makhiyanov.sems510@mail.ru)