

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

**ГОРИЗОНТАЛЬНО-ТУРБИННАЯ ДЕВЯТИФАЗНАЯ
ВЕТРОУСТАНОВКА ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ
В РАСШИРЕННОМ ДИАПАЗОНЕ ВЕТРОВЫХ СКОРОСТЕЙ**

Аннотация. Ветроэнергетика – одна из ведущих отраслей энергетики, опирающаяся на использовании кинетической энергии ветра для выработки электроэнергии с помощью ветроэнергетических установок. Актуальность использования ветроэнергетических установок связана с неисчерпаемостью источника ветровой энергии, экологической безопасностью и возможностью применения на отдалённых и труднодоступных территориях. Развитие ветроэнергетики приводит к снижению затрат на добычу и использование ресурсов, сокращению потребления воды и уменьшению выбросов вредных веществ в атмосферу. Одной из основных проблем многих ветроэнергетических установок является сложность стабильного генерирования переменного напряжения из-за постоянно изменяющейся скорости ветра. В данной статье дано описание нового технического решения - горизонтально-турбинной девятифазной ветроустановки 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 высоких ветровых скоростях.

Ключевые слова: горизонтально-турбинная ветроэнергетическая установка, синхронный генератор с постоянными магнитами, зеленая энергетика, коммутация обмоток, энергоэффективность.

Выработка электроэнергии в ветроустановках прямо пропорционально зависит от скорости ветрового потока. Высокие скорости ветров представляют значительную опасность для ветрогенераторов (обычно от 20-25 м/с и выше), так как они могут привести к повреждениям оборудования и даже его разрушению [1]. Ветер, превышающий проектные параметры генератора, может вызвать неравномерное распределение нагрузки на лопасти, что увеличивает риск их поломки или разрушения. Кроме того, мощные порывы ветра способны привести к перегреву механизмов, таким

как редукторы и электродвигатели, что может спровоцировать их выход из строя. Ветрогенераторы оснащаются системами управления, которые должны оперативно реагировать на изменения ветрового потока, включая автоматическое отключение при достижении критической скорости. Однако, при штатных условиях эксплуатации важно учитывать местные климатические особенности и тщательно выбирать места установки для минимизации рисков. Таким образом, адекватное проектирование, регулярное техническое обслуживание и мониторинг состояния оборудования являются ключевыми факторами для обеспечения безопасности и надежности работы ветрогенераторов в условиях высокоскоростных ветров. Известны технические решения и математические расчеты, решающие данные проблемы [2].

Известно аэростатно-ветроэнергетическое устройство, содержащее воздухоплавательный модуль с подвешенными снизу ветросиловыми блоками, в составе гондол, в корпусах которых находятся планетарные мультипликаторы, синхронные генераторы с постоянными магнитами и выпрямители, подвешенные к блоку измерений напряжений и коммутаций, состоящему из коммутирующего устройства, преобразователя постоянного тока, измерителя напряжения и формирователя сигналов. Блок измерения напряжения и коммутаций соединен тросом-кабелем с наземным причально-поворотным узлом для последующего заряда аккумулятора и/или через инвертор для обеспечения питания нагрузки. В свою очередь наземный причально-поворотный узел оборудован дополнительными тросами для закрепления аэростатно-ветроэнергетического устройства [3]. Недостатком устройства является невысокая надежность из-за работы на большой высоте над уровнем земли.

Обеспечение ступенчатого и плавного регулирования напряжения при коммутации цепей постоянного напряжения для сохранения высокой эффективности в расширенном диапазоне: как при нормальных, так и при высоких ветровых скоростях, реализуется в горизонтально-турбинной девятифазной ветроустановке, схема которой показана на рисунке 1 [4].

Горизонтально-турбинная девятифазная ветроустановка содержит в горизонтальной плоскости жесткий диск 1 с треугольными сквозными отверстиями 2, выполненными по меньшей мере в двух концентрических рядах с равномерным шагом. Над и под упомянутыми отверстиями в разных концентрических рядах установлены идентичные пирамидно-парусные элементы 3. В свою очередь жесткий диск 1 посредством ротора 4 соединен с девятифазным синхронным генератором с постоянными магнитами 5, который фланцем 6 путем сборочной операции свинчивания соединен с блоком измерений напряжений и коммутаций 7, состоящим из выпрямителей 8, коммутирующего устройства 9, преобразователя постоянного тока

10, измерителя напряжения 11 и формирователя сигналов 12. При этом девятифазный синхронный генератор с постоянными магнитами 5 с помощью выводов трех трехфазных обмоток $A_1A_2A_3$, $B_1B_2B_3$, $C_1C_2C_3$ электрически связан с выпрямителями 8. Блок измерений напряжений и коммутаций 7 электрическим кабелем 13, находящимся в опорной мачте 14, соединен с аккумулятором 15 для последующего заряда и через инвертор 16 для обеспечения питания нагрузки 17. Все выводы элементов электрической части ветроустановки с девятифазным генератором в виде проводов соединены между собой с помощью операции пайки.

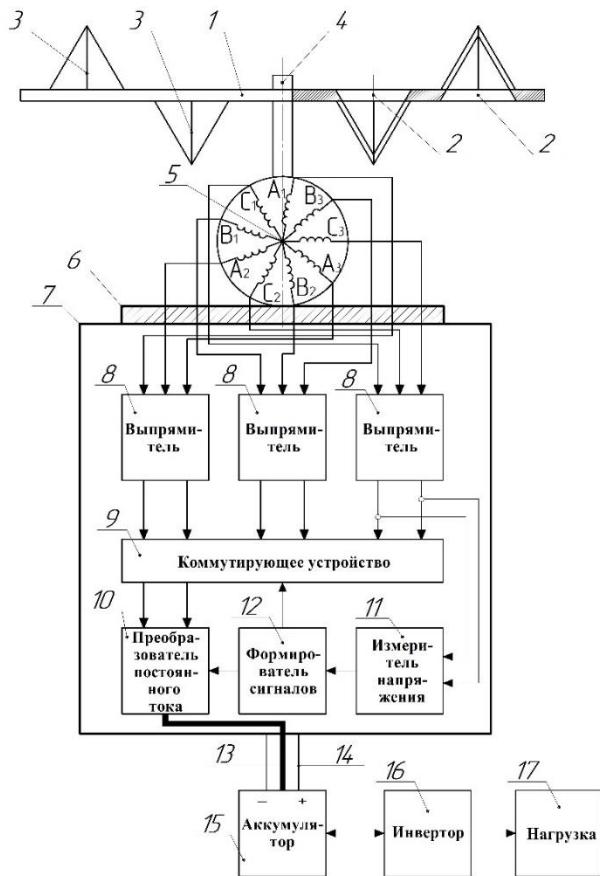


Рис. 1. Горизонтально-турбинная девятифазная ветроустановка для выработки электроэнергии в расширенном диапазоне ветровых скоростей: 1 – жесткий диск; 2 – треугольные сквозные отверстия; 3 – пирамидно-парусные элементы; 4 – ротор; 5 – синхронный генератор с постоянными магнитами; 6 – фланец; 7 – блок измерений напряжений и коммутаций; 8 - выпрямитель; 9 – коммутирующее устройство, 10 – преобразователь постоянного тока; 11 – измеритель напряжения; 12 – формирователь сигналов, 13 – электрический кабель; 14 – опорная мачта; 15 – аккумулятор; 16 – инвертор; 17 – нагрузка

Горизонтально-турбинная девятифазная ветроустановка работает следующим образом.

Под напором ветра и в результате разницы в аэродинамических показателях диаметрально расположенных парусных элементов 3 по фронту

воздушного потока возникает результирующая движущая сила, создающая крутящий момент на вертикальном роторе 4 девятифазного синхронного генератора с постоянными магнитами 5. Ротор 4 приводится во вращение, девятифазный синхронный генератор с постоянными магнитами 5 начинает вырабатывать электрическую энергию.

При благоприятной скорости ветра в нормальном диапазоне скоростей для работы горизонтально-турбинной девятифазной ветроустановки, жесткий диск 1 посредством ротора 4 вращает с нормальной скоростью девятифазный синхронный генератор с постоянными магнитами 5, в трех трехфазных обмотках $A_1A_2A_3$, $B_1B_2B_3$, $C_1C_2C_3$ которого вырабатывается переменное напряжение, преобразуемое далее в постоянное в блоке измерений напряжений и коммутаций 7 при помощи выпрямителей 8. При данном режиме в блоке измерений напряжений и коммутаций 7, коммутирующее устройство 9, при соответствующем сигнале от формирователя сигналов 12, соединяет выводы выпрямителей 8 так, что они оказываются подключенными последовательно, при этом выходное напряжение имеет нормальное утроенное значение, а полный ток равен 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 15 и через инвертор 16 для питания нагрузки 17 на поверхности земли. При таком режиме обеспечивается соответствующий ветровой скорости уровень мощности ветроустановки с девятифазным генератором при сохранении нормального значения напряжения и тока. Установка работает в нормальном режиме.

При повышении скорости ветра выше благоприятной, соответственно увеличится скорость вращения жесткого диска 1 и напряжение девятифазного синхронного генератора с постоянными магнитами 5 в обмотках $A_1A_2A_3$, $B_1B_2B_3$, $C_1C_2C_3$. Напряжение после выпрямителей 8 будет увеличиваться, что определится в блоке измерений напряжений и коммутаций 7 измерителем напряжения 11, подключенным к одному из выпрямителей. При достижении максимального порога напряжения, формирователь сигналов 12 подаст сигнал на переключение коммутирующего устройства 9, которое соединит выводы выпрямителей 8 параллельно. Это приведет к уравниванию напряжений выпрямителей 8, и выходное напряжение будет иметь нормальное значение, а полный ток будет в три раза выше тока одного выпрямителя. Преобразователь постоянного тока 10 стабилизирует выходное напряжение до нормального уровня. При этом ток и мощность ветроустановки увеличится по сравнению с нормальным режимом до соответствующей повышенной ветровой скорости уровня.

При обратном понижении скорости ветра до благоприятной для нормальной работы ветроустановки с девятифазным генератором, формирователь сигналов 12 обеспечит обратное переключение выводов выпрямителей 8 в коммутирующем устройстве 9 на последовательную работу. Ветроустановка окажется в нормальном режиме работы с соответствующим уровнем мощности.

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

Таким образом, данная установка обеспечивает возможность стабилизировать напряжение и сохранять высокую эффективность на приемлемом уровне в более широком диапазоне высоких и нормальных скоростей ветра.

Список литературы:

1. FAQ (часто задаваемые вопросы) 2024 [Электронный ресурс] - URL: <https://rawi.ru/services/faq/> (дата обращения: 26.09.2024).
2. Патент № 2705796 С1 Российская Федерация, МПК H01N 51/06, H01M 10/44, H02J 7/00. Электромагнитное реле для переключения аккумуляторных батарей с параллельной на попарно-параллельную зарядку : № 2019115522 : заявл. 21.05.2019 : опубл. 12.11.2019 / В. А. Алексеенко, В. А. Халюткин ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Ставропольский государственный аграрный университет".
3. Патент на полезную модель № 227868 У1 Российская Федерация, МПК H02P 9/10, F03D 9/30. Аэростатно-ветроэнергетическое устройство : № 2024104806 : заявл. 26.02.2024 : опубл. 07.08.2024 / Р. Р. Саттаров, А. В. Махиянов, И. И. Балгазин ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет".
4. Патент на полезную модель № 228169 У1 Российская Федерация, МПК F03D 9/25, F03D 7/06, F03D 3/06. Горизонтально-турбинный девятифазный ветрогенератор: № 2024104806 : заявл. 26.03.2024 : опубл. 16.08.2024 / Р. Р. Саттаров, А. В. Махиянов, Д. Н. Крылов; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательно учреждение высшего образования "Уфимский университет науки и технологий".

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