

К.А. ОВСЯНИКОВ, бакалавр гр. БАЭ-22-01 (УГНТУ)
Д.З. ГАЛЕЕВ, бакалавр гр. БАЭ-22-01 (УГНТУ)
г. Уфа

МЕТОДЫ СТАБИЛИЗАЦИИ НАПРЯЖЕНИЯ НА ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ ПРИ ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ СКОРОСТИ ВЕТРА

Аннотация

В статье анализируются методы стабилизации напряжения в ветроустановках при изменении скорости ветра. Для компенсации колебаний рассматриваются решения: силовая электроника (инверторы, преобразователи), устройства компенсации реактивной мощности (STATCOM, SVC), системы регулировки возбуждения генератора и интеллектуальные системы управления (SCADA, EMS). Приведена их экономическая оценка, описаны принципы работы и роль в обеспечении стабильного электроснабжения.

Ключевые слова: ветроэнергетическая установка, стабилизация напряжения, изменяющаяся скорость ветра, устойчивость энергосистемы.

Ветроэнергетическая установка – устройство, которое преобразует энергию ветра в другие виды энергии, например, механическую или электрическую [1]. Современные ветроэнергетические установки (ВЭУ) сталкиваются с проблемой изменяющейся скорости ветра, из-за чего колеблется скорость вращения ротора, а значит – и частота, и амплитуда напряжения, вырабатываемого генератором. Технический результат, заключающийся в стабилизации частоты и напряжения генератора в широком диапазоне изменения ветровой нагрузки, достигается за счет того, что ветроэнергетическая установка содержит электромагнитную муфту с обмоткой управления, дополнительные конденсаторы, устройство стабилизации напряжения, формирователь импульсов, задающий генератор частоты, устройство синхронизации и усилитель, причем ветродвигатель через передающее устройство соединен с датчиком скорости и ведущим валом электромагнитной муфты, которая выходным валом соединена с ротором п-полюсного многоскоростного асинхронного генератора, обмотки которого соединены со входом блока коммутации, выход которого соединен с конденсаторами возбуждения, дополнительными конденсаторами, с выходными зажимами, устройством стабилизации напряжения и формирователем импульсов, который соединен с первым входом устройства синхронизации, а его второй вход соединен с задающим генератором частоты,

выход устройства синхронизации соединен со входом усилителя, а последний – с обмоткой управления электромагнитной муфты [2]. Для решения этой задачи в ВЭУ используется: силовая электроника (инверторы и преобразователи постоянного тока), регулировка возбуждения генератора, компенсация реактивной мощности (STATCOM, SVC), интеллектуальные системы управления (SCADA, EMS) [3].

Ниже представлена таблица 1 экономической оценки методов стабилизации напряжения на ВЭУ [4].

Таблица 1

Экономическая оценка методов стабилизации напряжения на ВЭУ [4]

№	Метод стабилизации	Капитальные затраты	Эксплуатационные затраты	Средняя окупаемость	Экономическая эффективность	Примечания
1	Силовая электроника (инверторы, преобразователи)	Высокие	Низкие	5–7 лет	Высокая	Необходима в современных ВЭУ; высокая точность и надёжность
2	Регулировка возбуждения генератора	Средние	Низкие	4–6 лет	Высокая	Дешевле, чем силовая электроника, но применимо не ко всем генераторам
3	Компенсация реактивной мощности (STATCOM, SVC)	Высокие	Низкие	4–6 лет	Высокая	Повышает качество энергии, повышает компенсацию реактивной мощности
4	Интеллектуальные системы управления (SCADA, EMS)	Средние	Средние	4–7 лет	Средняя/ Высокая	Повышает общую эффективность управления и снижает аварии

STATCOM – это полностью управляемое твердотельное устройство на основе IGBT или GTO, подключённое параллельно к сети через трансформатор [4]. Оно работает как управляемый источник реактивной мощности. При понижении напряжения STATCOM генерирует (впрыскивает) реактивную мощность в сеть, повышая напряжение, и наоборот.

Возбуждение генератора определяется током, подаваемым в его обмотку возбуждения. Изменяя этот ток, можно управлять магнитным потоком в машине и, следовательно, амплитудой генерируемого напряжения. Когда скорость ветра увеличивается, и генератор начинает вырабатывать больше активной мощности, напряжение имеет тенденцию к росту. В этом случае система автоматического регулирования возбуждения (АРВ) уменьшает ток возбуждения, снижая магнитное поле и, как следствие, напряжение до номинального уровня. Если же скорость ветра падает и напряжение генератора уменьшается, ток возбуждения увеличивается, что компенсирует снижение напряжения.

Переменная скорость ветра приводит к колебаниям активной мощности и, как следствие, напряжения на шинах ВЭУ и в точке подключения к сети (РСС). Системы SCADA и EMS не стабилизируют напряжение напрямую, но управляют оборудованием, обеспечивающим стабильность сети: анализируют данные, прогнозируют режимы и формируют команды для регуляторов напряжения, инверторов и устройств компенсации реактивной мощности [5].

Список литературы:

1. 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».

2. Патент на полезную модель № 219901 U1 Российская Федерация, МПК F03D 7/04, H02K 21/12. Ветрогенератор с коммутируемыми бифилярными фазными обмотками : № 2023110888 : заявл. 26.04.2023 : опубл. 11.08.2023 / Р. Р. Саттаров, А. В. Махиянов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет».

3. Саттаров, Р. Р. Моделирование ветроустановки на базе двух пятифазных магнитоэлектрических генераторов со стабилизацией напряжения при изменяющейся скорости ветра / Р. Р. Саттаров, А. В. Махиянов // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2025. – Т. 21, № 1. – С. 16-25. – DOI 10.17122/1999-5458-2025-21-1-16-25.

4. Лукутин, Б. В. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении / Б. В. Лукутин, О. А. Суржикова, Е. Б. Шандарова. – Москва : Энергоатомиздат, 2008. – 231 с. – ISBN 978-5-283-03272-9.

5. Патент на полезную модель № 217709 U1 Российская Федерация, МПК F03D 7/00. Ветроэнергетическая установка с девятифазным генера-

тором : № 2023102807 : заявл. 07.02.2023 : опубл. 13.04.2023 / Р. Р. Саттаров, А. В. Махиянов, И. И. Балгазин ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет».

Информация об авторах:

Овсяников Константин Андреевич, бакалавр гр. БАЭ-22-01, УГНТУ, 450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1, kostiaovsan0301@gmail.com

Галеев Данил Зинфирович, бакалавр гр. БАЭ-22-01, УГНТУ, 450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1, galeevdanil0309@gmail.com