

УДК 621.314

Р.В. Колосов, А.В. Пученкин, В.В. Титов, В.Г. Титов

ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ МАЛОЙ ГЕНЕРАЦИИ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассматриваются особенности работы возобновляемых источников энергии. Выявлены основные факторы, усложняющие использование возобновляемых источников энергии для систем малой генерации. Проведен анализ существующих алгоритмов управления возобновляемыми источниками энергии и отражены их основные достоинства и недостатки.

Ключевые слова: солнечные батареи, ветрогенераторы, алгоритмы управления, энергоэффективность

В настоящее время одним из перспективных направлений развития малой электроэнергетики является использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Перечень их достаточно велик. В настоящей работе, выполняемой по государственному заказу ГК № 16.1526.12.6016 от 11 декабря 2011 г., анализированы источники на базе ветроустановок и солнечных батарей, работающих параллельно с энергосистемой малой генерации. Очевидно, что в этом случае необходимо максимально использовать возобновляемые источники во всех режимах работы энергосистемы, обеспечивая снижение нагрузки питающей линии [1]. При этом даже при малой мощности потребителей в узле нагрузки возобновляемые источники будут работать на аккумулятор энергии, емкость которого существенно меньше, чем при их работе на автономную сеть.

Основной отличительной особенностью энергогенерирующих комплексов на базе ВИЭ является стохастический характер параметров первичного источника энергии. В большей мере это относится к гелио- и ветроэнергетике.

В ветроэнергетических установках изменение энергии ветрового потока вызывает колебание выходного напряжения машинно-вентильного генератора (рис. 1). По полученным частотным характеристикам видно, что чем больше частота порывов ветра, тем меньше амплитуда колебаний выходных параметров машинно-вентильной системы.

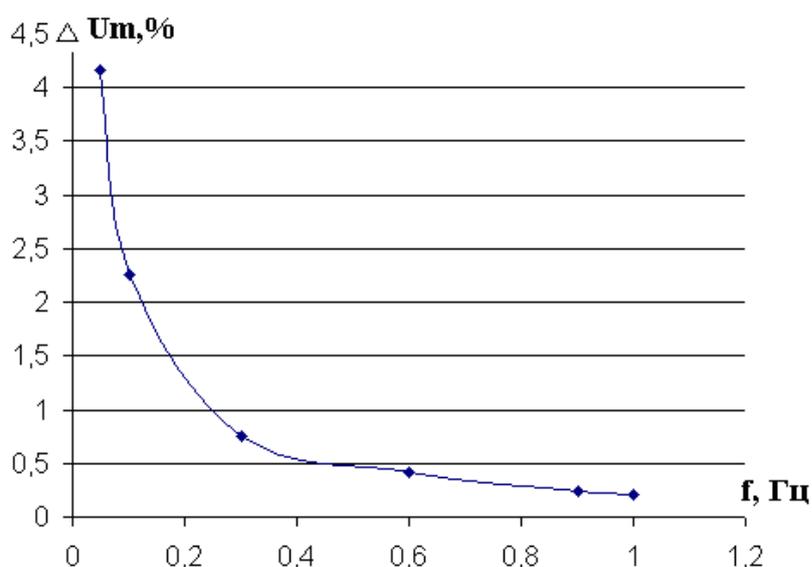


Рис. 1. Частотная характеристика напряжения с выхода выпрямителя

Второй особенностью рассматриваемых систем является наличие у характеристик первичных преобразователей энергии выраженного максимума коэффициента полезного действия, зависящего от комбинации параметров самого источника энергии, преобразователя и питаемых потребителей, что вызывает необходимость регулирования процессов преобразования для повышения их эффективности. Также следует отметить необходимость оценки состояния сети, то есть режима работы потребителей, состояния буферного накопителя, оценки запаса его мощности, необходимости зарядки.

Стабилизация выходного напряжения и частоты, обеспечение максимальной генерируемой мощности при изменяющемся потоке ветра может быть обеспечено в соответствии с блок-схемой, приведенной на рис. 2.

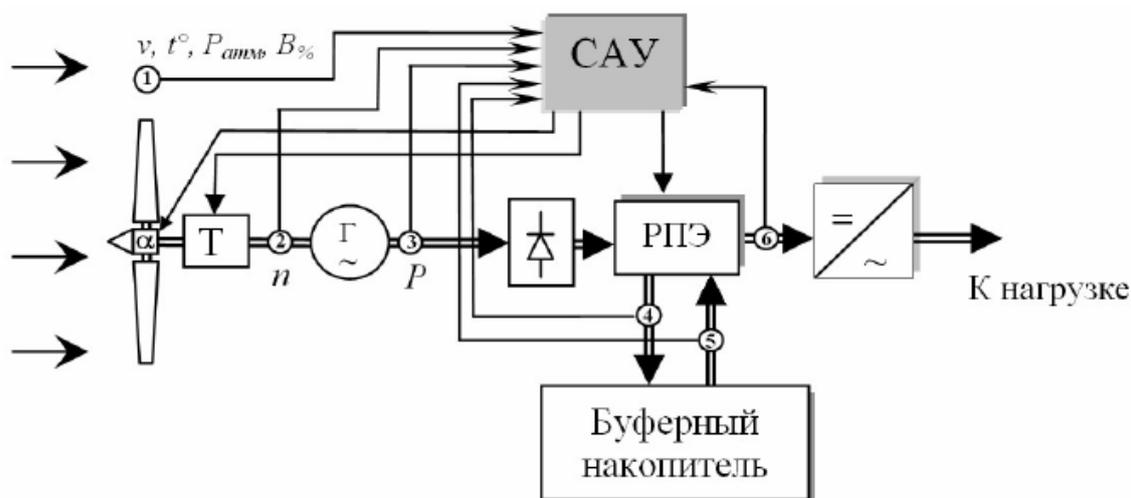


Рисунок 2 – Упрощённая блок-схема ВЭУ малой мощности крыльчатого типа, в которой реализуется оптимальное управление:

1 – контроль скорости ветра, температуры окружающей среды, атмосферного давления, относительной влажности; 2 – контроль частоты вращения ветроприёмника; 3 – контроль генерируемой электрической мощности; 4, 5 – контроль потоков мощности на буферном накопителе; 6 – контроль потребляемой электрической мощности; α – управление шагом лопасти; Т – трансмиссия (мультипликатор + тормоз); Г – генератор переменного тока; РПЭ – распределитель потоков энергии

В системах, использующих солнечную энергию для повышения эффективности работы солнечных батарей, вводят регулятор точки максимальной мощности (РТММ) [3]. РТММ постоянно определяет мгновенную мощность путём непрерывного измерения напряжения и тока, использует эту информацию для изменения параметров преобразователя. Таким образом, регулируется уровень зарядного тока демпфирующей системы и достигается максимальная выходная мощность, независимо от условий работы преобразователя (мощности нагрузки, уровня освещённости, температуры). Для управления РТММ существует ряд алгоритмов [4]:

- случайных возмущений;
- постоянного напряжения (тока);
- дополненной проводимости;
- нечеткая логика;
- искусственные нейронные сети.

Алгоритм случайных возмущений – наиболее общий и используемый в РТММ. Однако нельзя сказать, что он лучший. Для понимания поведения преобразователя под управлением различными алгоритмами необходим сравнительный анализ этих алгоритмов,

использующих оптимизированные параметры и управляющие стандартизированным преобразователем. Следует также отметить, что алгоритмы РТММ, основанные на цифровой обработке сигналов или нечеткой логике, получают большее внимание в последнее время. [5]

Однако реализация таких методов остается достаточно дорогой и на данный момент такие системы применяются мало, поэтому эти алгоритмы не были включены в данное исследование.

Алгоритм случайных возмущений наиболее часто встречается в практике, так как наиболее прост в реализации. Работает он следующим образом: предположим, что рабочая точка массива солнечных батарей находится в точке, не соответствующей точке максимальной мощности (ТММ). В алгоритме случайных возмущений рабочее напряжение массива солнечных батарей увеличивается или уменьшается на небольшое значение. Затем измеряется изменение в мощности, отбираемой преобразователем от солнечной батареи. Если изменение мощности положительное, тогда изменения напряжения в том же направлении будут сдвигать рабочую точку ближе к ТММ. Как только изменение напряжения приводит к снижению мощности, система начинает изменять его в противоположном направлении. Таким образом, при достижении точки максимальной мощности система приходит в состояние динамического равновесия.

Однако алгоритм случайных возмущений имеет ряд недостатков, которые приводят к снижению эффективности РТММ. Один из таких недостатков связан со снижением уровня освещенности. При малых значениях освещения вольт-амперная характеристика сглаживается, что приводит к сложностям при определении точки максимальной мощности, так как изменения в мощности становятся малы по сравнению с изменением напряжения. Другой недостаток алгоритма случайных возмущений – он не может точно определить момент достижения регулятором ТММ.

Основа метода стабилизации напряжения – принятие допущения, что отношение напряжения ТММ к напряжению холостого хода практически неизменно:

$$\frac{U_{tmm}}{U_{oc}} \cong K < 1, \quad (1)$$

где K – коэффициент пропорциональности между U_{tmm} и U_{oc} .

Алгоритм работает следующим образом: массив фотоэлементов временно изолируется от РТММ и измеряется напряжение холостого хода, затем алгоритм вычисляет положение ТММ для текущего коэффициента $K(1)$. Напряжение в РТММ устанавливается до тех пор, пока вычисленное соотношение $\frac{U_{tmm}}{U_{oc}}$ не будет достигнуто. Эта процедура периодически повторяется.

Метод постоянного напряжения крайне прост, однако довольно трудно выбрать оптимальное значение коэффициента K . Значение этого коэффициента колеблется в пределах от 0,73–0,80. Метод постоянного напряжения может быть реализован на аналоговых компонентах, однако эффективность отслеживания ТММ при его использовании мала по сравнению с другими алгоритмами. Причины этого заложены в неточном определении коэффициента K , а также в необходимости временно прерывать работу солнечных батарей для измерения напряжения холостого хода. Значение K можно изменять динамически, но это потребует реализации поискового алгоритма, близкого к алгоритму случайных возмущений. Алгоритм дополненной проводимости (рис. 3) получается дифференцированием мощности массива солнечных батарей по напряжению и установлением результата, равного нулю.

$$\frac{\partial P}{\partial V} = \frac{\partial(VI)}{\partial V} = I + V \frac{\partial(I)}{\partial V}; \quad (\text{в ТММ } \frac{\partial P}{\partial V} = 0), \quad (2)$$

следовательно:

$$-\frac{I}{V} = \frac{\partial(I)}{\partial V}. \quad (3)$$

Заметим, что левая часть уравнения (3) представляет собой величину обратную мгновенной проводимости солнечной батареи, в то время как правая часть – приращение про-

димости. В точке максимальной мощности эти две величины должны быть эквивалентны по величине, но противоположны по знаку. В случае, когда рабочая точка находится за пределами ТММ из уравнения (3), может быть получен набор неравенств, определяющий рабочее напряжение выше или ниже напряжения ТММ:

$$\frac{\partial(I)}{\partial V} = -\frac{I}{V}, \left(\frac{\partial P}{\partial V}\right) = 0; \quad (4)$$

$$\frac{\partial(I)}{\partial V} > -\frac{I}{V}, \left(\frac{\partial P}{\partial V}\right) > 0; \quad (5)$$

$$\frac{\partial(I)}{\partial V} < -\frac{I}{V}, \left(\frac{\partial P}{\partial V}\right) < 0. \quad (6)$$

Уравнения (5), (6) используются для определения направления, в котором должно совершаться изменение, и изменения повторяются до тех пор, пока условие (4) не будет достигнуто. Как только ТММ достигнута, РТММ продолжает оставаться в этой точке, пока не будет изменений тока. Изменение тока означает изменение уровня освещенности солнечной батареи. С увеличением освещенности ТММ движется вправо по отношению к напряжению солнечной батареи. Для компенсации этого движения РТММ должен увеличить рабочее напряжение и наоборот.

Текущее и предыдущее значение напряжения и тока используются для вычисления приращений: если приращение тока и напряжения равны нулю, следовательно, атмосферные параметры не изменились, а рабочая точка РТММ остается в точке максимальной мощности. Если изменение напряжения равно нулю, а изменение тока больше нуля, следовательно, уровень освещенности увеличился, увеличивая напряжение ТММ. Это требует увеличения рабочего напряжения от РТММ. Наоборот, отрицательное изменение тока означает снижение уровня освещенности, что снижает напряжение ТММ и соответственно РТММ должен снизить рабочее напряжение. В случае, когда изменение напряжения не равно нулю, отношения (4), (5), (6) могут быть использованы для определения направления для последующих изменений.

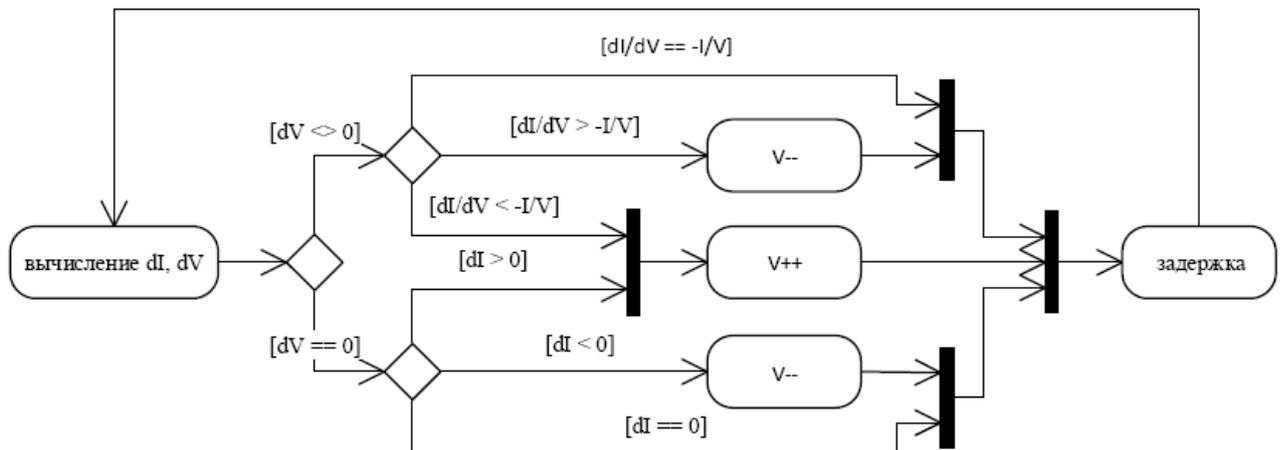


Рис. 3. Диаграмма работы алгоритма приращения проводимости

Основное преимущество метода дополненной проводимости над алгоритмом случайных возмущений в том, что он может вычислить направление, в котором будут совершаться изменения рабочей точки для достижения ТММ, и определить, в какой момент достигается ТММ. Поэтому при резком изменении освещенности работа такого алгоритма не приведет к ошибочному выбору направления изменений, а также будут отсутствовать колебания вокруг ТММ в момент, когда она достигается алгоритмом.

Библиографический список

1. **Соснина, Е.Н.** Вопросы эффективного использования возобновляемых источников энергии в локальной системе электроснабжения потребителей / Е.Н. Соснина, А.В. Шалухо // Электрические станции. 2012. №9. С. 13–16.
2. **Колосов, Р.В.** Моделирование ветроэнергетических установок / Р.В. Колосов, В.Г. Титов, Г.М. Мирясов // Актуальные проблемы электроэнергетики: материалы науч. - технич. конф. – Н. Новгород, 2012. С. 103–111.
3. **Ropp, M.E.** Comparative study of maximum power point tracking algorithms / M.E. Ropp, D. P. Hohm // Progress in Photovoltaics: research and Applications. 2003.
4. **Пученкин, А.В.** Регулятор точки максимальной мощности для солнечных батарей // Состояние и перспективы развития электротехнологии: сб. науч. тр. – Иваново: ИГЭУ, 2011.

*Дата поступления
в редакцию 06.08.2013*

R.V. Kolosov, A.V. Puchenkin, V.V. Titov, V.G. Titov

RENEWABLE ENERGY IN THE SYSTEMS OF SMALL GENERATION

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Purpose: Assessment of features of work of renewable.

Design / methodology / approach: Studying of possibility of increase in efficiency at the expense of change of algorithms of management of renewable sources in systems of small generation.

Results: Major factors complicating use of renewables in systems of small generation are revealed.

Restrictions/values of research: The analysis of existing algorithms of management is made by renewables and their main merits and demerits are reflected.

Novelty/value: Only modern methods and prospects of their application are considered.

Key words: Solar batteries, wind generators, algorithms of management, energy efficiency.