

ВЛИЯНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ НА РАБОТУ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Викторович Н.В.*, **Седлиска К.****, **Татарчак Я.****

*Учреждение образования «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Республика Беларусь, Люблинский Политехнический Университет (Lublin University of Technology), г. Люблин, Республика Польша, viknadya@mail.ru.

** Люблинский университет естественных наук (Lublin university of life science), г. Люблин, Республика Польша, karolina.siedliska@gmail.com.

This paper is the review of the impact renewable energy sources such as wind farms, solar power plants and hydro power on the work of the power system. Analyzed the problems associated with the activation of each of these forms generate of energy in the grid and proposes possible solutions in order to optimize their co-operation with the power system.

Введение

В связи с растущей необходимостью защиты окружающей среды от дальнейшего загрязнения и сокращения выбросов CO₂ в атмосферу, следует отметить ускорение роста доли возобновляемых источников энергии в производстве электроэнергии во всем мире.

Электроснабжение потребителей осуществляется через энергосистемы. Энергосистема состоит из генерирующего, передающего, распределительного и приемного оборудования, которое предназначено для обеспечения непрерывной поставки электроэнергии соответствующих качественных параметров. Для того чтобы такая система могла функционировать должным образом, необходимо на несколько дней вперед планировать нагрузку генерирующих источников, т.е. энергоснабжение. В конвенциональных источниках энергии, выработка электроэнергии осуществляется на постоянном уровне (постоянная генерируемая мощность). В случае резкого спроса на электроэнергию (часы пиковых нагрузок) производятся подключения резервных источников энергии, например, запуск дополнительных газовых блоков на электростанциях.

Однако, с развитием возобновляемых источников энергии появляются проблемы связанные не только с прогнозированием производимой мощности и работой генерирующих источников, но и с поддержанием в энергосистеме соответствующих параметров качества электроэнергии.

Возобновляемая энергетика относится к системам распределенного производства энергии (децентрализованная система, состоящая из нескольких источников энергии, которые производят тепловую и электрическую энергию для собственных нужд, а излишки энергии направляют в общую сеть, их мощность составляет менее 500–1000 МВт). Внедрение распределенного производства энергии в существующие электроэнергетические системы оказывает существенное влияние на планирование и функционирование системы. Способность системы объединить эти формы генерации характеризуется рядом

непостоянных факторов, поэтому влияние распределенных источников должно быть принято во внимание при оценке характеристик энергосистемы так, чтобы её работа и безопасность не были нарушены. Распределенная генерация усложняет управление, безопасность и функционирование распределенных систем. Например, избирательность системы безопасности должна быть модифицирована, так как распределенные источники могут изменить значение, продолжительность и растекание токов короткого замыкания. Кроме того, каждый раз при подключении нового источника необходимо проверить работу системы защиты и ее настройки для предотвращения нежелательных помех.

Качество электроэнергии – это достаточно широкое понятие, которое включает в себя ряд параметров, влияющих на ценность поставляемой продукции. В настоящее время обеспечение желаемого качества электроэнергии становится все более трудной задачей, с которой сталкиваются энергоснабжающие компании. В первую очередь, негативное влияние на работу системы электроснабжения оказывают высшие гармоники напряжения и тока, возникающие в сети. Источниками этих гармоник являются электроприемники с нелинейными нагрузками, т.е. вольтамперная характеристика которых имеет нелинейную форму.

Основными параметрами, определяющими условия работы энергосистемы и качество электроэнергии, поставляемой потребителям, являются напряжение и частота. Для достижения этой цели необходимо:

- свести к минимуму потери мощности и энергии в сети (что связано с оптимизацией реактивной мощности);
- обеспечить максимальную гарантию работы и пропускной способности системы.

Для условий Республики Беларусь наиболее актуальными из возобновляемых источников энергии являются ветряные, солнечные и гидроэлектростанции. Существуют сложности, связанные с подключением каждого из этих источников энергии в общую электроэнергетическую систему.

Влияние ветроэлектростанции на энергосистему

На качество энергии, произведенной ветроэлектростанцией и переданной в электрическую сеть, влияют следующие факторы [1]:

- зависимость количества произведенной энергии от скорости ветра;
- проблемы с регулированием напряжения и реактивной мощности;
- контроль мощности короткого замыкания сети и стабильности системы.

Производство электроэнергии в ветроэлектростанциях зависит от многих факторов, тем не менее, наибольшее значение имеют атмосферные условия, в основном скорость ветра v , которая также зависит от положения высоты гондолы ветряной турбины. Зависимость количества произведенной электроэнергии от скорости ветра выглядит следующим образом [2]:

$$E = \begin{cases} \frac{1}{2} \int_0^t C_e \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot s dt & \text{для } v \in [v_a, v_b) \\ \int_0^t P_{\max} \cdot s dt & \text{для } v \in [v_b, v_c) \\ 0 & \text{для } v \in [0, v_a) \cup [v_c, \infty) \end{cases}, \quad (1)$$

где: C_e – электрический КПД ветротурбины (%), с учетом аэродинамической эффективности турбины и КПД генератора; ρ – плотность воздуха (зависит от давления и температуры воздуха), кг/м^3 ; A – площадь, ометаемая ветроколесом, м^2 ; u – скорость ветра, м/с ; P_{max} – максимальная мощность ветряной турбины при номинальной скорости ветра, кВт; s – коэффициент потерь; u_a – минимальная начальная скорость ветра, необходимая для запуска турбины, м/с ; u_b – номинальная скорость ветра, позволяющая получить максимальную мощность, м/с ; u_c – порог скорости ветра, при которой турбина останавливается (функция стоп), м/с ; t – время работы ветряной турбины, с.

Зависимость количества производимой электроэнергии от скорости ветра связана с трудностями при планировании баланса мощности и энергии в связи с непредсказуемым характером ветра. Могут возникать проблемы и с регулированием напряжения и реактивной мощности, что снижает качество электроэнергии. Решить данную проблемы можно используя соответствующее оборудование на ветроэлектростанциях, предназначенное для регуляции параметров в широком диапазоне.

Среди факторов, ухудшающих качество электроэнергии в энергосистеме, связанных с работой ветряных турбин, можно выделить [3]:

- колебания мощности;
- колебания напряжения;
- мерцания;
- высшие гармоники.

Колебания активной мощности происходит на электростанциях в связи с изменчивостью скорости ветра (хаотичный характер ветра), что является причиной скачковых включений и выключений электростанций (нерегулярные периоды подачи электроэнергии в сеть). Это приводит к более сложной работе энергосистемы, например, из-за резких спадов нагрузки и изменения направления потока энергии в сети (в случае реактивной мощности). При регулировании реактивной мощности системы могут возникать некоторые трудности, т.к. асинхронные двигатели (индукционные генераторы с двухсторонним питанием) потребляют до 60-70% всей реактивной мощности нагрузок энергосистемы [3]. В результате чего происходят изменения в генерировании активной мощности экспортируемой в сеть (дистрибуция активной мощности системы зависит от величины реактивной мощности и её передачи в сеть).

Одной из основных проблем, связанных с длительными ветренными периодами (преобладают ветра высоких скоростей), является избыточное производство мощности, что может привести к возникновению т.н. вихревых токов, которые являются причиной больших потерь в энергосистеме.

При высоких скоростях ветра может произойти неожиданное отключение ветроэлектростанции, что приводит к дефициту энергии в сети, который необходимо быстро скомпенсировать. Если нет такой возможности, происходит перегрузка энергосистемы, что в свою очередь может вызвать, так называемый, *blackout* (отключение всей энергосистемы).

Ветер имеет нестабильную частоту, из этого следует, что генерируемая мощность также не будет иметь постоянную величину частоты, поэтому, необходимо использовать частотные преобразователи (рис. 1) с целью преобразования частоты экспортируемой энергии до частоты сети (50 Гц). Изменения напряжения могут возникать как следствие медленных изменений электро-

энергии, вырабатываемой генераторами. Колебания напряжения также могут быть связаны и с изменчивостью в реактивной мощности, потребляемой индукционными генераторами с двухсторонним питанием [3].

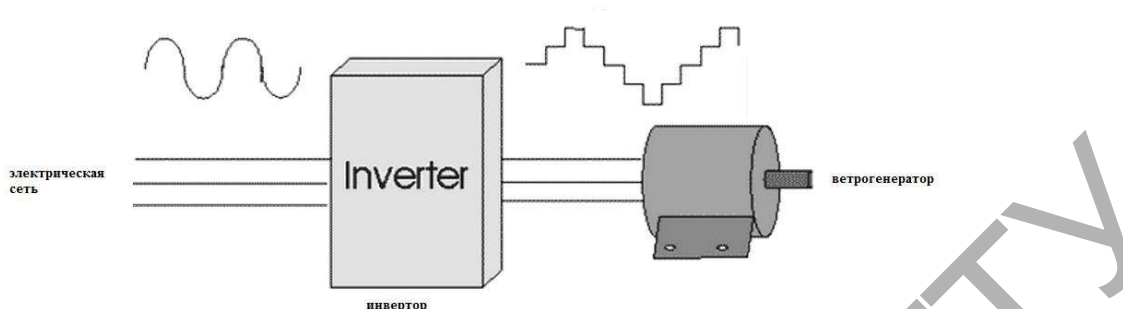


Рисунок 1 – Преобразование частоты ветра до частоты сети

Резкие изменения значения мощности на выходе генератора ветряной турбины, а также включение генератора и подключение батареи конденсаторов вызывают изменения в действующем значении напряжения (RMS напряжения). Выше определенного уровня такие изменения вызывают мерцание электрического освещения.

Наличие высших гармоник, возникающих в результате работы ветрогенераторов, может создавать помехи в работе автоматизации и безопасности электроэнергетических систем. Причиной возникновения гармоник, прежде всего, является использование преобразователей частоты (инверторов). Тем не менее, современные ветрогенераторы большой мощности (более 1 МВт) не вносят своей доли в генерацию гармоник выше допустимых норм [1].

В целях улучшения качества электроэнергии, колебаний напряжения и дистрибуции реактивной мощности используются различные регулирующие устройства, из которых основными являются оборудование типа SVC (статический переменный компенсатор) и STATCOM (статический синхронный компенсатор). Последний является более современным, время реакции его быстрее, чем у аналогичных устройств.

Влияние солнечных электростанций на энергосистему

В солнечных электростанциях энергия солнечного излучения преобразовывается в процессе фотоэлектрической конверсии в электрическую энергию. Произведенная в солнечных батареях электроэнергия связана с образованием в полупроводниковом слое разницы потенциалов, в результате чего вырабатывается постоянный ток, для преобразования которого используют инверторы. Благодаря применению инвертора параметры электроэнергии, входящей в сеть, непрерывно регулируются в соответствии со стандартами. В случае солнечных модулей в сеть отдается только активная мощность, в результате чего сокращаются потери при передаче электрической энергии.

Важным аспектом работы солнечных электростанций является прогноз производства энергии, который может быть рассчитан по следующей формуле:

$$P_c = t \cdot P_z, \quad (2)$$

где: t – количество солнечных часов в день, час.; P_z – установленная мощность фотоэлектрических панелей при заданной интенсивности солнечного излучения, кВт.

Эти значения с большим приближением можно предсказать на основе явного движения солнца и многолетних климатических данных [4], исходя из анализа соответствующих прогностических моделей [5]. Следует также принимать во внимание непредсказуемость повышенной облачности и периодических погодных аномалий, таких как, более длительная зима или уменьшение количества солнечных дней в году. Это будет особенно важно при работе электростанций высокой мощности, т.к. необходимо вовремя синхронизировать другой источник мощности с системой в течение короткого времени пуска и высокой чувствительности к изменениям мощности, чтобы иметь возможность быстрого сбалансирования недобора энергии.

Опубликованные в литературе результаты моделирования показывают, что в среднем на каждые 75 МВт установленной мощности фотоэлектрических источников необходимы дополнительные 3 МВт из конвенционального источника энергии, а также возможность регулирования со скоростью изменения порядка 1 МВт/мин [6].

Переменное производство энергии в солнечных электростанциях, связанное с временными погодными условиями, может вызвать эффект мерцания (временный дефицит мощности в сети). Проявляется он, например, в виде тусклого освещения у потребителей электроэнергии. Большим преимуществом этого вида энергии является то, что ежедневная выработка, в значительной степени, соответствует спросу на электроэнергию в течение дня, особенно утром и в полдень. Таким образом, можно быстро предоставить энергию потребителям, локализованным вблизи электростанции, и тем самым, снизить потери при передаче электроэнергии на большие расстояния. Кроме того, возможность подключения этих систем к сети низкого и среднего напряжения значительно снижает потери при передаче, а также вероятность крупных перегрузок линий передач. Большое количество мелких фотоэлектрических систем позволяет быстро реагировать на изменение нагрузки в сети через включение и выключение отдельных установок.

Значительное увеличение доли установленной мощности фотоэлектрических источников приведет к снижению загрузки конвенциональных электростанций, и тем самым, изменит нагрузку сети в течение дня. Это может привести к изменению объема резервных источников. Кроме того, избыточная мощность, генерируемая фотоэлектрическими системами в течение дня, может быть сохранена в виде механической энергии на гидроаккумулирующих электростанциях.

Влияние гидроэлектростанций на энергосистему

Гидроэлектростанции с большими водоемами способны покрыть внезапную нехватку мощности в энергосистеме, что является отличительной чертой от других возобновляемых источников энергии. Данная особенность в сочетании с быстрым временем отклика на спрос электрической энергии повышает надежность и стабильность энергосистемы.

Способ получения электроэнергии в гидроэлектростанциях очень похож на производство энергии в конвенциональных электростанциях. Отличается он только источником, приводящим в движение лопатки турбины. Регулирова-

ние мощности происходит плавно при отсутствии проблем, связанных с хаотическими изменениями напряжения или падениями (проседаниями) мощности. Кроме того, оптимизируют работу целой энергосистемы путем проведения быстрой и постоянной корректировки активной и реактивной мощности, поставляемой в систему [7].

Особенным примером гидроэлектростанций является гидроаккумулирующая станция. Принцип действия ГАЭС состоит в том, что в часы пиковых нагрузок, т.е. когда увеличивается спрос на энергию, вода, опускаясь в нижний резервуар, приводит в действие турбину. И как следствие, вырабатывается электроэнергия. А в ночное время, когда электричество дешевле, чем в течение дня, вода закачивается в верхний резервуар. Это настолько важно, что влияет на устойчивость ежедневного графика нагрузки энергосистемы, и, кроме того, может рассматриваться в качестве резерва мощности для других источников энергии.

Вывод

В связи с тем, что возобновляемые источники энергии оказывают значительное влияние на работу целой энергосистемы, необходимо:

- при проектировании предвидеть, какими будут последствия их включения в сеть;
- разработать гибкие системы управления электроэнергетической сетью (интеллектуальная сеть), системы регулирования расхода энергии и быстрого реагирования на изменение спроса на электроэнергию в целях стабилизации системы;
- предусмотреть системы хранения избыточной энергии, например ГАЭС или производство водорода, используемого для генерации электроэнергии в топливных элементах;
- индивидуальная адаптация к каждому из видов источников энергии автоматизированных систем защиты против генерирования помех в сеть.

Список литературы

1. Jarzyna, W. Technological development of wind energy and compliance with the requirements for sustainable development / W. Jarzyna, A. Pawłowski, N. Viktorovich/, *Problemy Ekorozwoju*, 2014, № 9, p. 167-177.
2. Burton, T. Wind energy / T. Burton, D. Sharpe, N. Jenkins, E. Bossanyi / *Handbook*, John Wiley & Sons, Ltd, 2001.
3. Jain Pramod, *Wind Energy Engineering*, The McGraw-Hill Companies, Inc., 2011.
4. Dmowski, A. Nowoczesne elektrownie fotowoltaiczne z zasobnikami energii połączone z systemem elektroenergetycznym / A. Dmowski, K. Koma, Ł. Rośliniec, B. Szymański / *Acta Energetica*, 01/2010, p. 81-89.
5. Wasilewski, J. Krótkoterminowe prognozowanie produkcji energii elektrycznej w systemach fotowoltaicznych / J. Wasilewski, D. Baczyński / *Rynek Energii* 10/2011.
6. Majchrzak H., Wpływ PV na bilansowanie KSE, *Czysta Energia* 6/2013.
7. Saleh A. Aboukhres, Ali S. Zayed, Hisham A. Ayad, S. Ganesan, *A Renewable Source of Hydroelectricity*, *Applied Mechanics and Materials* (Volume 310), 2013, 399-402.