

## АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ АВТОНОМНОЙ ВЕТРОЭЛЕКТРОГЕНЕРИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

Одним из путей снижения стоимости ветроэнергетической установки является использование схемы генерирования с неполным преобразованием генерируемой мощности в преобразователе частоты и применение жесткой конструкции ветротурбины. Основные аспекты использования этого направления для системной ветроэнергетики рассмотрены в [1, 2]. Однако потребности рынка ВЭУ не ограничиваются системными ветроагрегатами. Реализация этой же концепции для автономной ВЭУ требует применения структуры, которая отличается от структуры агрегата подключенного к сети. В работе рассматривается вариант такой системы. Для определения ее технико-экономических характеристик и разработки методик расчета необходимо выявление всех возможных рабочих режимов, характеризующихся постоянством структуры потоков мощности. На основе энергетических диаграмм в статье проведен анализ и классификация режимов работы системы, приведены основные выражения баланса активной мощности.

Схема автономной ветроэлектродгенерирующей системы приведена на рис.1. Генерирование активной мощности осуществляется по двум каналам: на зажимах статора генератора и на зажимах ротора. Мощность скольжения передается в цепь переменного тока через преобразователь частоты, который состоит из неуправляемого выпрямителя (НВ), импульсного преобразователя постоянного напряжения (ИППН) и автономного инвертора напряжения (АИН).

Управление режимом работы электрохимической системы осуществляется моментом генератора путем задания тока ротора [2]. Ток ротора задается с помощью регулирования противо-ЭДС ИППН, включенного на выходе НВ. Для обеспечения бесперебойного энергоснабжения, и утилизации избытка генерируемой мощности в структуру включена подсистема аккумулирования. Она состоит из зарядного устройства (ЗУ), аккумуляторной батареи (АБ), разрядного устройства (РУ) и неуправляемого выпрямителя (НВ). Заряд АБ осуществляется через ЗУ, подключенное через НВ к цепи переменного тока системы. Разряд АБ происходит через РУ, выход которого включен в цепь постоянного тока двухзвенного преобразователя частоты. Дополнительным требованием к автономной системе такого типа, по сравнению с системой, является необходимость наличия источника реактивной мощности (в системной ВЭУ источником реактивной мощности была электрическая сеть). В предложенной схеме роль источника реактивной мощности играет АИН. Кроме этого, в его задачу входит утилизация энергии скольжения и обеспечение бесперебойного режима энергоснабжения трехфазной нагрузки при отсутствии ветра или при недостатке генерируемой мощности.

К звену постоянного тока преобразователя частоты могут быть подключены другие источники электроэнергии, например, солнечная электроустановка (СЭУ).

Применение предложенной схемы, по сравнению со сквозной системой преобразования генерируемой мощности, позволяет снизить установленную мощность элементов системы, и, как следствие, уменьшить стоимость электрооборудования в целом. Снижение установленной мощности электрооборудования достигается за счет того, что часть мощности генератора поступает в нагрузку непосредственно, без преобразования в полупроводниковом преобразователе частоты.

В зависимости от комбинаций значений скорости ветрового потока и уровня энергопотребления может меняться структура передачи активной мощности в системе. При комбинаторном анализе был выявлен полный набор возможных видов рабочих режимов, и определены условия возникновения каждого из них.

Далее приведен анализ каждого из режимов с помощью энергетических диаграмм. На диаграммах обозначены:  $P_1$  - мощность статора;  $P_5$  - мощность скольжения;  $P_n$  - мощность, передаваемая в нагрузку;  $P_{зар}$  - мощность заряда АБ;  $P_{раз}$  - мощность разряда АБ;  $P_{мех}$  - электромагнитная мощность в двигательном режиме;  $\Delta P_{рот}$  - потери в роторе;  $\Delta P_{НВ1}$  - потери в НВ роторной цепи;  $\Delta P_{ИППН}$  - потери в ИППН;  $\Delta P_{АИН}$  - потери в АИН;  $\Delta P_{СТ}$  - потери в статоре генератора;  $\Delta P_{НВ2}$  - потери в НВ на входе ЗУ;  $\Delta P_{ЗУ}$  - потери в ЗУ;  $\Delta P_{АБ}$  - потери в АБ;  $\Delta P_{РУ}$  - потери в РУ.

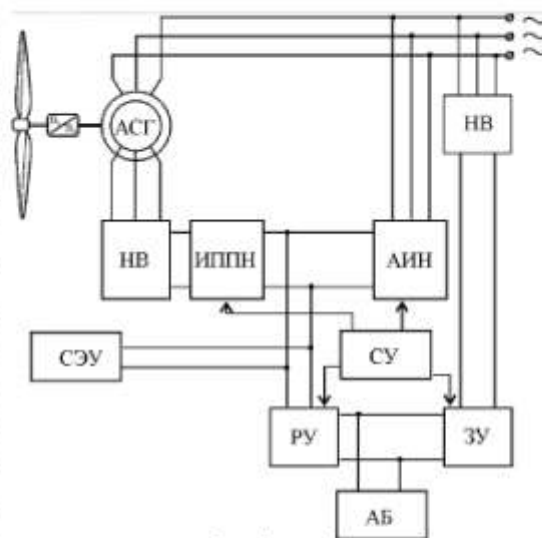


Рис. 1

Режим А. Соответствует балансу генерируемой и потребляемой мощности. Мощность, снимаемая с зажимов статора и ротора генератора, с учетом потерь равна мощности, которую потребляет нагрузка. Уравнение баланса активной мощности:

$$(P_1 - \Delta P_{CT}) + (P_S - \Delta P_{РОТ} - \Delta P_{НВ1} - \Delta P_{ИППН} - \Delta P_{АИН}) = P_H$$

Энергетическая диаграмма представлена на рис. 2.

Режим В. Соответствует избытку генерируемой мощности. Режим возникает при низком уровне потребления или при большой скорости ветра, либо при сочетании этих условий. Избыток мощности поступает на заряд АБ. Уравнение баланса активной мощности:

$$(P_1 - \Delta P_{CT}) + (P_S - \Delta P_{РОТ} - \Delta P_{НВ1} - \Delta P_{ИППН} - \Delta P_{АИН}) = P_H + (P_{ЗАР} + \Delta P_{НВ2} + \Delta P_{ЗУ} + \Delta P_{АБ})$$

Энергетическая диаграмма представлена на рис. 3.

Режим С. Соответствует недостатку генерируемой мощности. Режим возникает при слабом ветре в сочетании с высоким уровнем потребления. Недостаток мощности покрывается из аккумулятора. Уравнение баланса активной мощности:

$$(P_1 - \Delta P_{CT}) + (P_S - \Delta P_{РОТ} - \Delta P_{НВ1} - \Delta P_{ИППН}) + (P_{РАЗ} - \Delta P_{АБ} - \Delta P_{РУ}) - \Delta P_{АИН} = P_H$$

Энергетическая диаграмма представлена на рис. 4.

Режим D. Режим возникает при отсутствии энергопотребления. Вся генерируемая мощность поступает на заряд АБ. Уравнение баланса активной мощности:

$$(P_1 - \Delta P_{CT}) + (P_S - \Delta P_{РОТ} - \Delta P_{НВ1} - \Delta P_{ИППН} - \Delta P_{АИН}) = P_{ЗАР} + \Delta P_{НВ2} + \Delta P_{ЗУ} + \Delta P_{АБ}$$

Энергетическая диаграмма представлена на рис. 5.

Режим E. Режим возникает при отсутствии ветра. Система работает как источник бесперебойного энергоснабжения при отсутствии напряжения в сети. Уравнение баланса активной мощности:

$$P_{РАЗ} - \Delta P_{АБ} - \Delta P_{РУ} - \Delta P_{АИН} = P_H$$

Энергетическая диаграмма представлена на рис. 6.

Режим F. Режим возникает во время пуска ветротурбины при наличии энергопотребления. Система работает как источник бесперебойного энергоснабжения при отсутствии напряжения в сети. Уравнение баланса активной мощности:

$$P_{РАЗ} - \Delta P_{АБ} - \Delta P_{РУ} - \Delta P_{АИН} = P_H + P_{МЕХ} + \Delta P_{РОТ} + \Delta P_{CT} + \Delta P_{НВ1} + \Delta P_{ИППН}$$

Энергетическая диаграмма представлена на рис. 7.

Режим G. Также пусковой режим, но без энергопотребления. Уравнение баланса активной мощности:

$$P_{РАЗ} - \Delta P_{АБ} - \Delta P_{РУ} - \Delta P_{АИН} = P_{МЕХ} + \Delta P_{РОТ} + \Delta P_{CT} + \Delta P_{НВ1} + \Delta P_{ИППН}$$

Энергетическая диаграмма представлена на рис. 8.

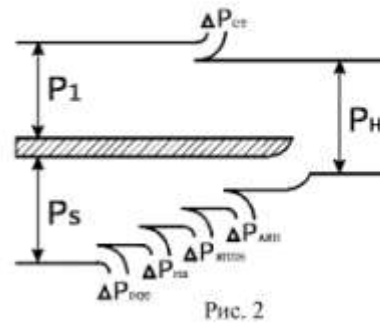


Рис. 2

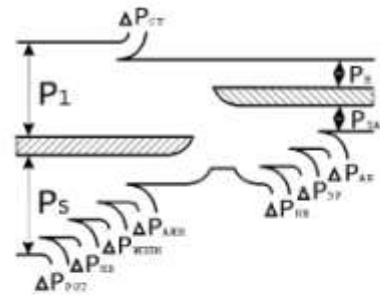


Рис. 3

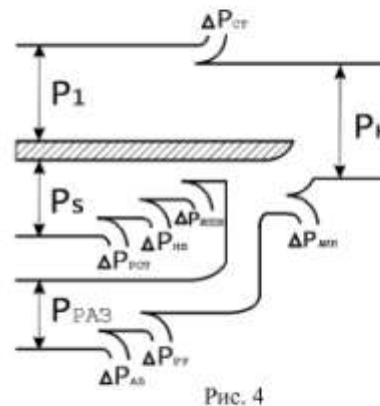


Рис. 4

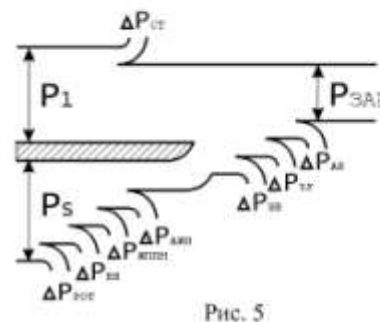


Рис. 5

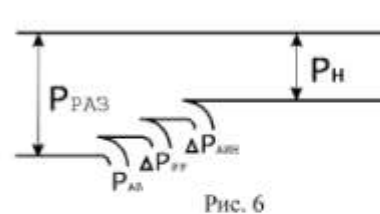


Рис. 6

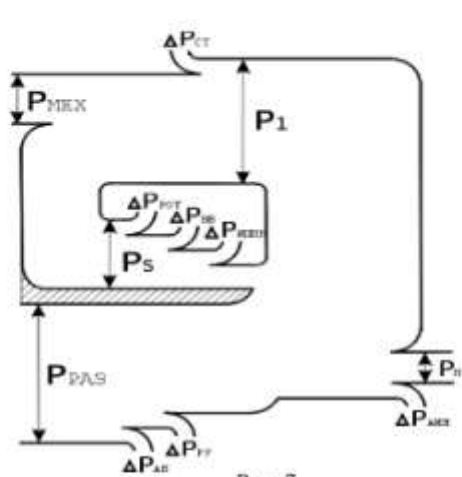


Рис. 7

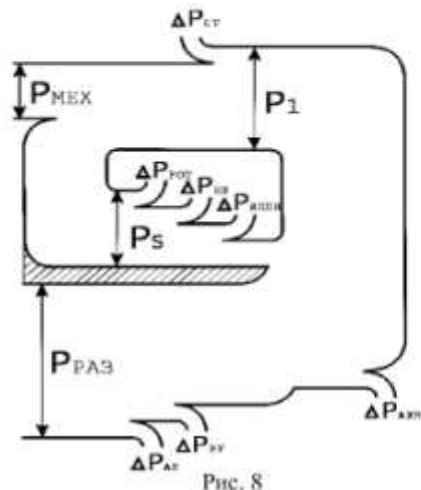


Рис. 8

Рассмотренная выше классификация режимов работы позволяет получить методику анализа эффективности данной системы по сравнению с одноканальной структурой. Одним из основных критериев анализа может быть коэффициент использования установленной мощности электрооборудования.

Задача сравнительного расчета не может быть однозначно решена для всех случаев применения, так как эффективность рассмотренной системы зависит от условий ее использования и от технических требований к системе.

Как показали предварительные оценки, эффективность применения рассмотренной системы увеличивается при условии, что нагрузка при сильном ветре может потреблять мощность выше номинальной (например, если в составе группы потребителей находится насосная станция с накопительным резервуаром или ТЭН).

Сама методика расчета эффективности предложенной системы выходит за рамки настоящей работы и будет рассмотрена в следующих публикациях.

[1] Семенов В. В., Алексеевский Д. Г. Оценка эффективности системных ветроэнергетических установок.// Электрический журнал. – 1998. - №2 – с.27 – 31.

[2] Семенов В.В., Алексеевский Д.Г. Особенности применения сверхсинхронного вентильного каскада в ветроэнергетических установках без регулирования углом установки лопастей. - Техническая электродинамика, том 2, 1998 г.