

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СИНТЕТИЧЕСКОЙ ИНЕРЦИИ В ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКЕ ЧЕТВЕРТОГО ТИПА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПО ЧАСТОТЕ

П.П. Радько¹, А.В. Бахур², И.А. Разживин³
Томский политехнический университет^{1,2,3}
ИШЭ, доцент ОЭЭ^{1,2,3}, группа 5АМ21¹, группа 5АМ2Н²

Инерция от вращающихся масс генераторов на тепловых, атомных и гидроэлектростанциях представляет собой источник кинетической энергии, которая используется чтобы дать сети время отреагировать на возмущение в течение нескольких секунд. Именно инерция не позволяет частоте изменяться скачком, и чем больше значение постоянной инерции, тем проще системе поддерживать номинальное значение частоты [1].

Однако из-за глобальной тенденции перехода к возобновляемым источникам энергии (ВИЭ) общесистемное значение постоянной инерции уменьшается. Солнечные электростанции в принципе не имеют вращающихся частей, способных накопить кинетическую энергию, в то время как ветроэнергетические установки (ВЭУ) не могут напрямую использовать энергию вращающихся масс из-за того, что они отделены от сети силовыми преобразователями (рисунок 1) [2].

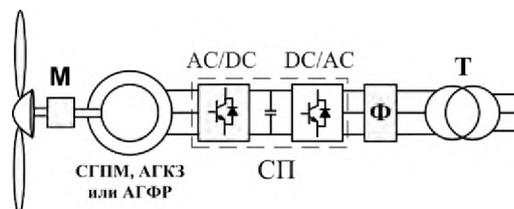


Рис. 1. Схема подключения ВЭУ посредством преобразователя полной мощности (ВЭУ 4-го типа): АГКЗ – асинхронный генератор с короткозамкнутым ротором; АГФР – асинхронный генератор с фазным ротором; СГПМ – синхронный генератор с постоянным магнитом; М – мультипликатор; Т – трансформатор

Одной из мер увеличения постоянной инерции в электрической сети является использование кинетической энергии вращающейся части ВЭУ (рисунок 2) с помощью специальных каналов управления (рисунок 3). Инерционный отклик в этом плане обеспечивается таким же образом, что и при традиционных генераторах, только если там значение инерции определяется непосредственно массой ротора, то при ветряных электроустановках инерция обеспечивается косвенно, через их систему управления. Соответственно блоки управления, с помощью которых достигается увеличение постоянной инерции, называются блоками синтетической инерции (СИ) [3].

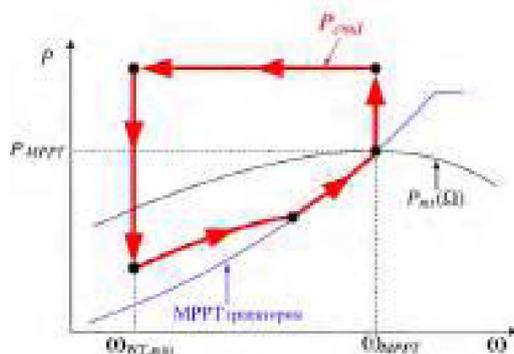


Рис. 2. Диаграмма процесса высвобождения кинетической энергии ветряного колеса

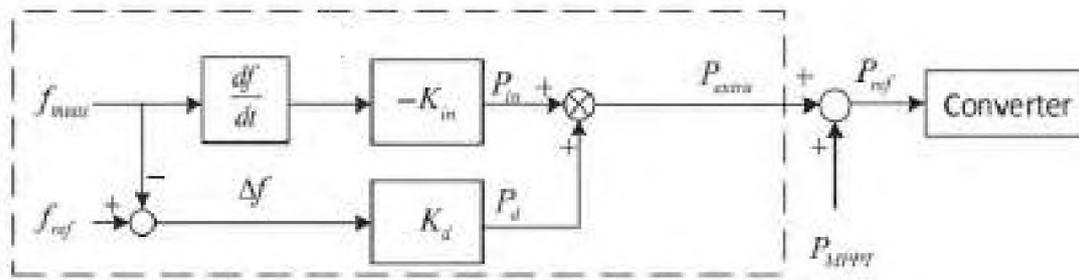


Рис. 3. Структурная схема модуля синтетической инерции

Анализу влияния синтетической инерции в ветроэнергетической установке 4-го типа на устойчивость по частоте и посвящена данная работа.

Для исследования частоты системы используется учебная тестовая модель ЭЭС 9 bus IEEE, представленная на рисунке 4. Объем мощности, вырабатываемый ветряной электростанцией (ВЭС), которую образуют ВЭУ 4-го типа, постепенно замещает объем мощности от синхронного генератора Г3. Опыты проводятся путем моделирования увеличения нагрузки для случаев 80 %, 50 % и 25 % замещения традиционной генерации на ВЭУ. Соответственно, в опыте без ВЭУ шина 7 была отключена при включении шины 6, а в опыте 80 %-ого замещения традиционной генерации на ВЭУ наоборот. При этом объем общей генерируемой мощности, как и величина наброса нагрузки, были одинаковыми во всех трех опытах. Модель реализована в программном комплексе «Eurostag».

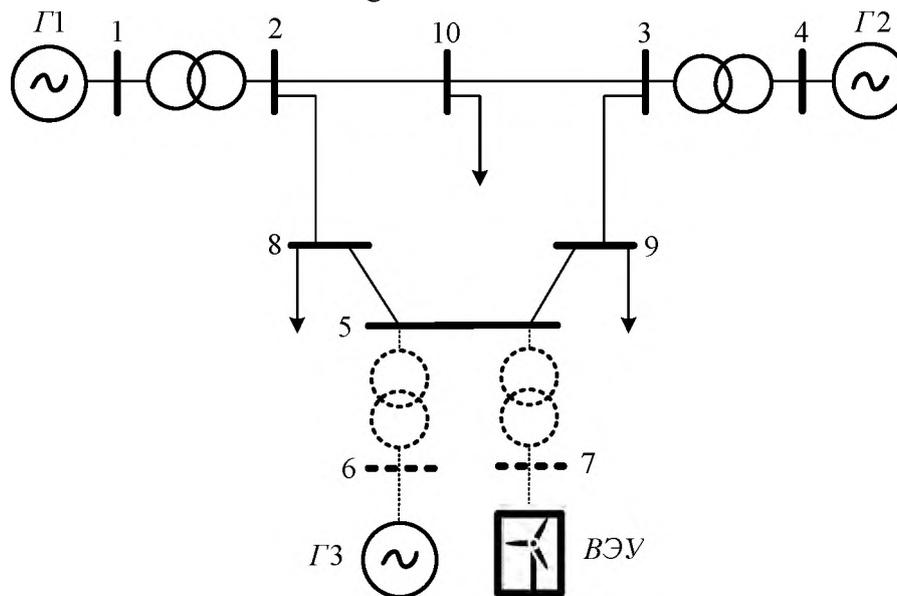


Рис. 4. Схема сети 9 bus IEEE

1. Оценка влияния на частоту при 80 % замещения ВЭУ

Из результатов первого эксперимента, приведенных на рисунке 5, можно сделать два вывода. Во-первых, при значительной доле ВЭУ в энергосистеме из-за уменьшения постоянной инерции скорость изменения частоты действительно увеличивается (сравнение красной и зеленой осциллограммы). Во-вторых, применение синтетической инерции позволяет значительно сократить максимальное отклонение частоты и длительность переходного процесса (сравнение красной и синей осциллограммы). Второй и третий опыты посвящены исследованию настроек управления синтетической инерцией.

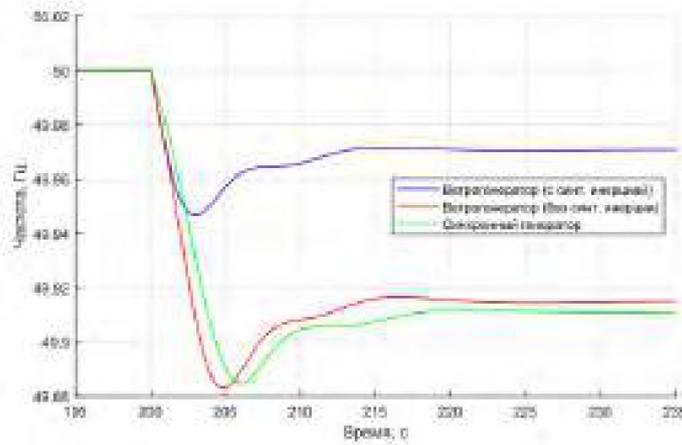


Рис. 5. Осциллограммы частоты при 80% замещения

2. Оценка влияния на частоту при 50 % замещения ВЭУ

Из графика на рисунке 6 видно, как значение коэффициентов влияет на поведение частоты в энергосистеме. Если увеличить коэффициент K_i , отвечающий за скорость изменения частоты, можно достичь более плавного изменения параметра. Однако с увеличением данного коэффициента частота будет увеличивать величину падения, что может негативно сказаться на энергосистеме. Поэтому сильно замедлить падение частоты не получится.

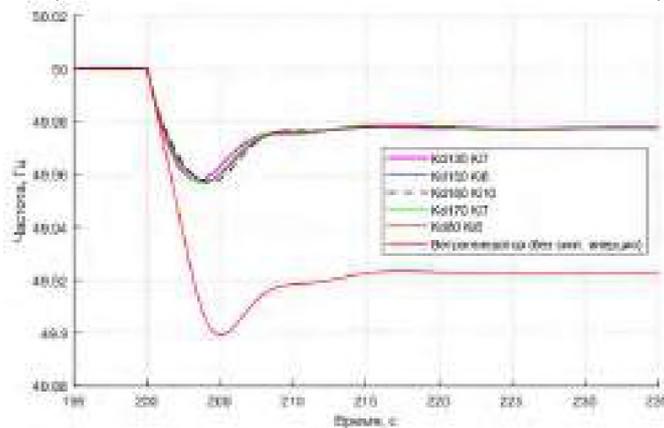


Рис. 6. Осциллограммы частоты при 50% замещения

3. Оценка влияния на частоту при 25 % замещения ВЭУ

Как видно на графике, приведенном на рисунке 7, при неправильно выбранных значениях коэффициентов (пунктирная осциллограмма) система становится нестабильной и долго не может перейти в установившейся режим.

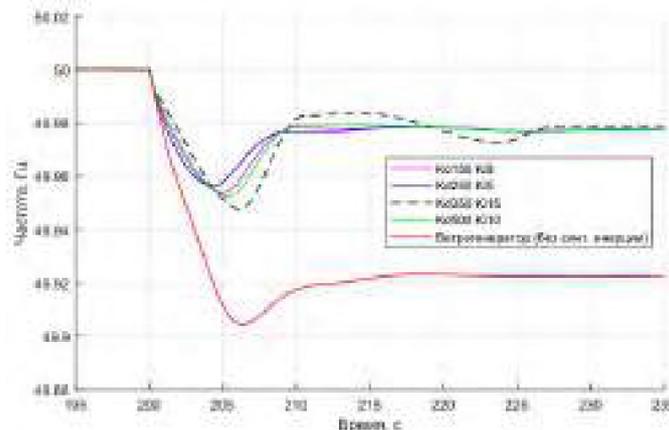


Рис. 7. Осциллограммы частоты при 25% замещения

Применение метода высвобождения кинетической энергии ветряного колеса ВЭУ 4-го типа в связке с модулем СИ может привести к нарушению устойчивой работы ВЭУ. Стабильная работа обеспечивается лишь в некотором диапазоне коэффициентов модуля СИ.

Наблюдаемая неустойчивость работы ВЭС 4-го типа обуславливается реактивным набором скорости ветрового колеса свыше номинальной после торможения ротора.

Исследование показало, что внедрение в энергосистему возобновляемых источников энергии, в частности, ветроэнергетических установок 4-го типа, влечет за собой более резкое изменение частоты после возмущений. Однако применение блоков синтетической инерции улучшает устойчивость системы, значительно сокращая предельное отклонение частоты. В свою очередь неправильная настройка параметров управления может привести к тому, что даже при относительно небольшой доле внедрения ВИЭ переходный процесс будет длиться значительно дольше и опаснее.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Xiong, Liansong, Yujun Li, Yixin Zhu, Ping Yang, "Coordinated Control Schemes of Super-Capacitor and Kinetic Energy of DFIG for System Frequency Support" *Energies* 11, no. 1: 103. 2018 <https://doi.org/10.3390/en11010103>.
2. Teodorescu, R. *Grid converters for photovoltaic and wind power systems* / R. Teodorescu, M. Liserre, P. Rodriguez // Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2011.
3. P. Tielens and D. Van Hertem, "Grid inertia and frequency control in power systems with high penetration of renewables," in *Young Researcher Symposium Delft*, April 2012, pp. 1- 6.

Научный руководитель: к.т.н. Рубан Н. Ю., доцент ОЭЭ ИШЭ ТПУ.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ УЗЛОВ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ПО КРИТЕРИЮ МИНИМИЗАЦИИ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ

Ю.Д. Бай, Б.Д. Малюта, П.П. Радько
Томский политехнический университет
ИШЭ, ОЭЭ

Введение

В связи с наблюдающейся в последние 15–20 лет тенденцией роста электропотребления актуальной задачей является устойчивое развитие электроэнергетических систем (ЭЭС). Учитывая стремление ведущих стран к энергетической независимости, в настоящее время активно внедряется низкоуглеродная энергетика на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) [1]. Одной из основных задач при внедрении ВИЭ в существующие электроэнергетические системы без дополнительных изменений в сети является максимизация выработки электроэнергии с наименьшими потерями мощности и соблюдение требований сети.

В случае использования метаэвристических алгоритмов оптимизации нахождение глобального оптимума в общем случае не может быть гарантировано. В статье предложен метод повышения достоверности расчета вероятностных характеристик потерь мощности для оптимальной мощности ветроэнергетических установок (ВЭУ) и их размещения.

Используемый метод определения вероятностных параметров

В первую очередь, реализуется алгоритм определения вероятностных параметров установившихся режимов [3] для предварительного определения возможных мест присоединения ветроэнергетической установки (ВЭУ). Для данной цели была отобрана тестовая схема