

Представленные материалы являются прототипом конечного программного решения, готового к апробации на оборудовании АСУТП различных организаций.

Разработанная СППР позволит уменьшить энергозатраты транспорта нефтепродуктов в крупных магистральных нефтепроводах и увеличить эффективность процесса транспорта нефти в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации // КонсультантПлюс. – URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=433554> (Дата обращения 12.11.2023).
2. Соснова С. Три кита энергоэффективности насосов: обследование. Оптимизация. Мониторинг // Строительство Технологии Организация. – 2018. – Т. 1. – № 58. – С. 48–51.
3. imread() // MathWorks. – URL: https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/imread.html#btnczv9-1_seealso (Дата обращения 12.11.2023).

ИНТЕГРАЦИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ СИСТЕМУ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ ПРЕОДОЛЕНИЯ

О.Д. Кулькова¹, Я.Ю. Малькова²

¹ *Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации,
факультет международных экономических отношений, гр. МеждЭБ23-2м*

² *Томский политехнический университет,
факультет инженерной школы энергетики, гр. АЗ-42*

Научный руководитель: Н.Л. Орлова, к.э.н., доцент

Увеличение использования ВИЭ с периодической генерацией приводит к неопределенности в работе энергетических систем. Одна из таких проблем – снижение инерции системы, которая является первой линией защиты от крупных возмущений. Инерция обусловлена сопротивлением объекта любому изменению его скорости. Чем выше инерция в энергетической системе, тем легче преодолеть системные нарушения и поддерживать работу энергосистемы. Системы с большей инерцией могут лучше справляться с потрясениями, т. к. имеют больше времени для реагирования и противодействия. В случае энергосистемы, в которой много больших и быстро вращающихся механизмов (роторов), инерция отражает то, насколько легко одновременно ускорить или замедлить все эти быстро движущиеся части. Однако, ВИЭ, например, солнечные фотоэлектрические установки, не имеют вращающейся массы, что означает, что система не имеет накопленной энергии. Исключение составляют ветровые турбины, которые имеют небольшую инерцию из-за своих механических частей. Поэтому инерция системы снижается по мере увеличения доли ВИЭ в энергосистеме. Снижение инерции ведет к увеличению скорости изменения частоты, что требует более быстрого реагирования для правильного управления частотой.

Частота является очень важным показателем в энергосистеме, и показывает, насколько система синхронизирована, а также состояние баланса спроса и предложения в режиме реального времени. Поэтому установленный целевой ориентир – работа на частоте 50 или 60 Гц в зависимости от рабочей частоты в конкретной стране. На рис. 1 показано, что частота балансирует значения спроса и предложения. Если спрос увеличился, а генерации стало

меньше, частота станет меньше 50 Гц, и наоборот. Если предложение больше, а спрос меньше, частота увеличивается и становится больше 50 Гц. Таким образом, риск здесь заключается в том, что по мере увеличения проникновения солнечной энергии и энергии ветра в сеть обычные синхронные генераторы будут вытеснены. Что имеет смысл, потому что конечная цель состоит в том, чтобы сократить выбросы CO₂ и получить чистый источник энергии. Таким образом, если исходить из того, что большая часть традиционных электростанций будет выведена из эксплуатации, система регулирования частоты станет сложной задачей.

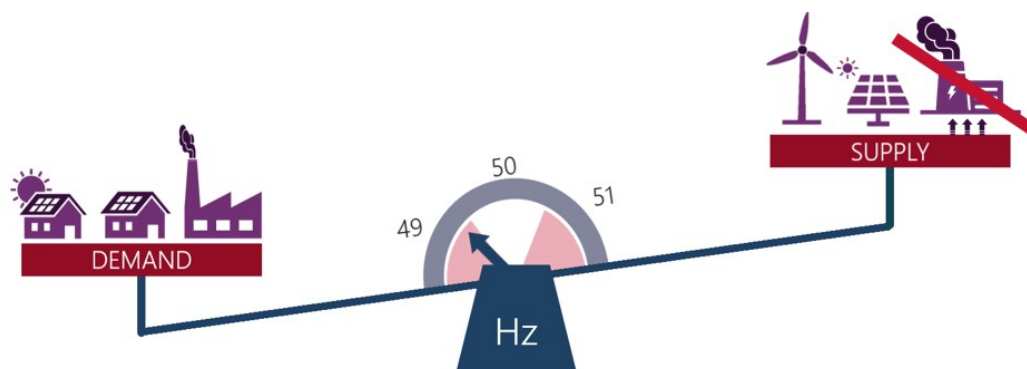


Рис. 1. Отклонение частоты энергосистемы от установленного значения

Источник: Energy Explained: Frequency Control [Electronic resource] // Australian Energy Market Operator (AEMO).

URL: <https://aemo.com.au/learn/energy-explained/energy-101/energy-explained-frequency-control>

(дата обращения: 19.11.2023)

Современные проекты ветровой и солнечной генерации в основном представляют собой электрические системы с подключением силовой электроники (например, преобразователей/инверторов) к электросети. Этот тип устройств силовой электроники, как правило, включает быстрое управление активным и реактивным током и должен быть синхронизирован с напряжением сети. Для надежной и стабильной работы источников силовой электроники с регулируемым током требуется мощность сети. Рассмотрим, что произойдет, при интеграции ветряных или солнечных электростанций в единую энергосистему. Для количественной оценки надежности сети применяют коэффициент короткого замыкания, который является показателем, используемым для оценки прочности системы для подключения источников силовой электроники. Коэффициент короткого замыкания в любой точке системы – это уровень неисправности в точке, деленный на мощность установки (МВт или МВ·А), подключенной к той же точке. Отсюда следует вывод, что меньше коэффициент короткого замыкания, тем слабее система. Таким образом, цель состоит в том, чтобы приложить все усилия для оценки коэффициента короткого замыкания, чтобы выявить риск и снизить его. В дополнение к этому производитель электронного источника питания должен предоставить четкое указание относительно минимального уровня короткого замыкания, при котором их оборудование может надежно работать. Таким образом, риск здесь заключается в том, что при низком уровне короткого замыкания состояние сети становится более сложным, и, следовательно, необходимо проведение детального моделирования энергосистемы и анализа электромагнитных переходных процессов. На рис. 2 представлено две формы волн напряжения. Левая часть рисунка представляет волну напряжения для систем с большой силой во время и после сбоя, правая – волну напряжения для непрочных систем во время и после сбоя. Можно заметить, что левая форма волны напряжения во время сбоя довольно стабильна, но для системы с низкой прочностью форма волны напряжения существенно искажена. Таким образом, существует высокая вероятность того, что энергосистема с низкой прочностью не сможет работать должным образом во время сбоев, и это может привести к отключению.

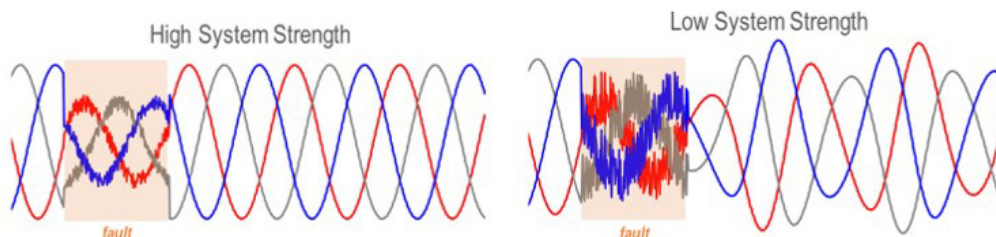


Рис. 2. Разница в форме сигналов напряжения во время и после сбоя для систем с высокой и низкой надежностью системы

Источник: Energy Explained: System Strength [Electronic resource] // Australian Energy Market Operator (AEMO).

URL: <https://aemo.com.au/learn/energy-explained/energy-101/energy-explained-system-strength>
(дата обращения: 19.11.2023)

Еще одной проблемой является качество энергоснабжения, потому что, как уже было упомянуто, объекты ветровой и солнечной генерации состоят из силовых электронных устройств и сопряжения их с сетью. Таким образом, все силовые электронные устройства представляют собой нелинейные нагрузки, и они определенно являются источником гармонических колебаний – искажений синусоидальной формы напряжения и тока. Они считаются серьезной проблемой в энергосистеме и вызывают множество сопутствующих проблем, таких как перегрев, перепады напряжения, низкий коэффициент мощности и возможность резонанса системы. Основная проблема здесь заключается в том, как сохранить индивидуальные гармонические искажения, а также общее гармоническое искажение в любой точке сети ниже стандартных пределов. Гармоники – это синусоидальные волны суммирующиеся с фундаментальной. На рис. 3 зеленая форма сигнала является чистой синусоидальной волной, и, поскольку есть синяя форма для третьей гармоники, а желтая – для пятой гармоники, то в целом форма зеленого сигнала искажается и приобретает вид красного сигнала, который вызывает все вышеперечисленные проблемы в системе.

Некоторые из возможных решений, которые могли бы помочь избавиться от проблем или, по крайней мере, свести к минимуму степень риска, могут быть следующими.

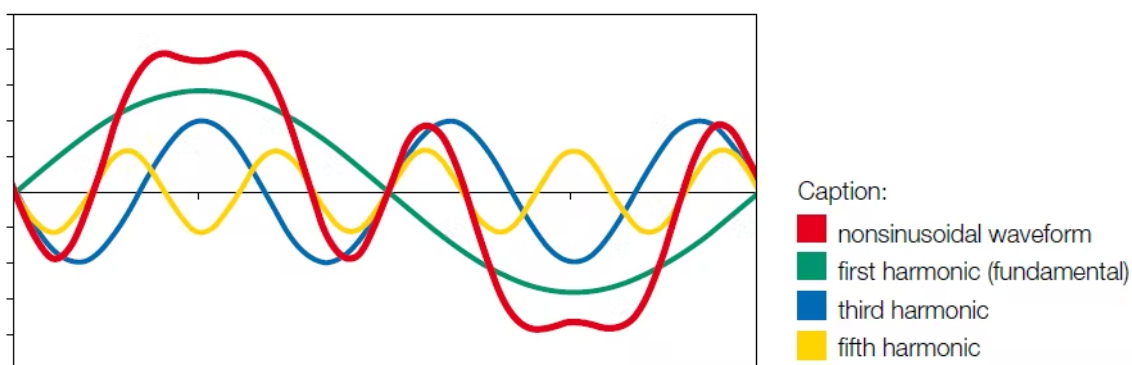


Рис. 3. Гармонические колебания в сети

Источник: Smart Energy Meter With Ubidots and Blues Wireless [Electronic resource] // Ubidots Blog.

URL: <https://ubidots.com/blog/smart-energy-meter-with-ubidots-and-blues-wireless/amp/> (дата обращения: 19.11.2023)

Для управления риском от непостоянного характера ВИЭ-генерации и обеспечения стабильного энергоснабжения:

- выбор мест, не совпадающих друг с другом – межсистемные соединения большей площади;
- баланс видов ВИЭ в зависимости от типа энергии – ветра, солнца и т. д.;
- использование систем хранения – гидроаккумулирующие насосы, аккумуляторы;
- баланс с диспетчеризируемыми ВИЭ – гидроэнергия, геотермальная энергия;

- баланс с диспетчеризируемыми генерирующими станциями – природный газ, комбинированный цикл.

Для решения проблем низкой мощности системы:

- строительство новых линий электропередачи или трансформаторов с более низкими значениями импеданса;
- реконфигурация существующих сетей;
- установка синхронных конденсаторов, которые помогут увеличить мощность системы, обеспечить инерцию, а также обеспечить динамическое регулирование напряжения;
- установка статических компенсаторов реактивной мощности и статических синхронных компенсаторов, которые улучшат динамическое регулирование напряжения, а также задачи управления;
- сокращение зарегистрированной мощности электростанции.

Для управления частотой:

- обеспечение узкополосной частотной характеристики всех генераторов для управления рисками системы в ближайшие годы;
- разработка рабочих планов по регулированию частоты.

Для решения проблемы гармонических искажений:

- установка гармонических фильтров.

Прежде всего, для того, чтобы корректно сравнивать стоимость энергии от различных типов генерации, надо привести её качество к одинаковому стандарту. В качестве основных рекомендаций для преодоления проблем внедрения ВИЭ в энергосистемы можно выделить следующие действия. В качестве первого шага необходимо выполнить оценку коэффициента короткого замыкания, что поможет оценить заявку на подключение и снизить риск. Второй момент – это моделирование энергосистемы и исследования, которые очень важны и должны проводиться квалифицированными инженерами. Раньше основным видом исследований были программы устойчивости переходных процессов, но сегодня из-за инвертированной технологии в дополнение к программам устойчивости переходных процессов необходимо проводить исследования электромагнитных переходных процессов. Третий шаг – это модификация и добавление некоторых функций управления для улучшения работы генератора, и это возможно с производителем оригинального оборудования. Также немаловажную роль играет сотрудничество между разработчиками системного планирования, операторами и производителями оригинального оборудования. Кроме того, необходимо больше инвестиций в НИОКР в области ВИЭ и технологий хранения энергии, чтобы стало возможным хранить больше электроэнергии и использовать ее во время пиковых нагрузок. И последняя рекомендация – государственная политика должна обеспечить необходимую поддержку и дать больше стимулов коммунальным предприятиям и поставщикам сетевых услуг для инвестиций в ВИЭ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кашина М.П. Проблемы внедрения возобновляемой энергии в энергосистемы // Наука и просвещение: актуальные вопросы, достижения. – 2020. – С. 31.
2. Сидорович В.В. Интеграция ВИЭ в энергосистему: практика, мифы и легенды [Электронный ресурс] // Информационный портал «RenEn». – URL: <https://renen.ru/integration-of-res-into-the-energy-system-practice-myths-and-legends/> (дата обращения: 19.11.2023).
3. Смирнова С.В., Шишулин О.Ю. Проблемы интеграции возобновляемых источников энергии // Электроэнергетика глазами молодежи. – 2019. – С. 111–114.
4. Шескин Е.Б. Проблемы использования потенциала возобновляемых источников энергии для регулирования частоты в электрических системах // Известия НТЦ Единой энергетической системы. – 2019. – №. 1 (80). – С. 97.
5. Tielens P., Van Hertem D. Grid inertia and frequency control in power systems with high penetration of renewables // Young Researchers Symposium in Electrical Power Engineering, Date: 2012/04/16-2012/04/17, Location: Delft, The Netherlands. – 2012.