

В отличие от кислорода водород практически не встречается на земле в чистом виде и поэтому извлекается из других соединений с помощью различных химических методов. Он может производиться из природного газа, а вредные отходы улавливаются для вторичного использования. Также, когда нефть поднимается из пласта вместе с водой, можно было бы отделять нефть и расщеплять воду на водород и кислород.

При использовании в топливных элементах водородная энергия оставляет минимальные потери, а после использования в качестве побочного продукта остается только вода, из которой снова можно добывать водород.

Водород содержит почти в три раза больше энергии, чем ископаемое топливо, поэтому для выполнения какой-либо работы его требуется гораздо меньше. Например, по сравнению с электростанцией, работающей на сжигании топлива с КПД от 33 до 35 %, водородные топливные элементы выполняют ту же функцию с КПД до 65 %. Для примера, у солнечных элементов КПД — 20 %, а у ветряных — 40 %. [2]

Можно сказать, что использование водородной энергетики в электроснабжении удаленных потребителей нефтегазовой отрасли представляет собой перспективное и инновационное решение, способное решить множество проблем, с которыми сталкиваются такие объекты. От длинных линий с большой реактивной мощностью до необходимости постоянной работы насосов и генерации мощности, водородная энергетика предлагает эффективное и экологически чистое решение.

Производство водорода на нефтеперерабатывающих заводах уже является хорошо известной технологией, которая может быть успешно применена для удовлетворения растущего спроса на экологически чистое топливо и увеличения конверсии нефтяных фракций. Водород играет ключевую роль в преобразовании нефти, обеспечивая более эффективное производство и улучшение процессов удаления вредных примесей.

Благодаря своей высокой энергетической плотности и минимальным потерям при использовании, водородная энергия представляет собой значительно более эффективный и экологически чистый источник энергии по сравнению с традиционными методами. Таким образом, внедрение водородной энергетики может значительно повысить энергетическую безопасность и устойчивость производства в нефтегазовой отрасли, обеспечивая инновационное и перспективное решение для решения множества проблем, с которыми сталкиваются удаленные объекты этой отрасли.

Литература

1. Rana Alkady Green Hydrogen: The Integration in The Oil, Gas Field. – Текст: электронный // EOG – 2024. – URL: <https://egyptoil-gas.com/features/green-hydrogen-the-integration-in-the-oil-gas-field/> (дата обращения 15.03.2024).
2. Кизимов В. Перспективы и недостатки водородной энергетики. – Текст: электронный // АО «Тинькофф Банк» – 2024. – URL: <https://journal.tinkoff.ru/news/review-vodorod/> (дата обращения 15.03.2024).

ПОВЫШЕНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК 4-ГО ТИПА ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ СУБСИНХРОННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ДЕМПФИРОВАНИЯ **Шароян А.Б., Улугбашев А.В.**

Научный руководитель доцент А.А. Суворов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Как чистый и возобновляемый источник энергии, энергия ветра широко используется в последние несколько лет. Ветроэнергетические установки (ВЭУ) с регулируемой частотой вращения, в том числе индукционные генераторы с двойным питанием (ИГДП) и с постоянным магнитным синхронным генератором (ПМСГ), широко используются благодаря своим превосходным свойствам управления.

При подключении к сети через полностью управляемые преобразователи напряжения ПМСГ обладает отличительными характеристиками работы в сети, такими как высокая эффективность работы, плавная интеграция в сеть в широком диапазоне скоростей и хорошая способность преодолевать неисправности. Поэтому она занимает все большую долю в недавно введенных в эксплуатацию ветряных электростанциях.

Однако в последнее время субсинхронный резонанс (ССР), связанный с подключенными к сети ВЭУ, вызывает большую озабоченность в научных кругах и промышленности. В октябре 2009 года в Техасе, США, состоялось аварийная ситуация, связанное с ВЭУ. Это было вызвано взаимодействием между управлением ИГДП и фиксированной последовательной компенсацией, приводящим к выходу из строя многих ВЭУ и повреждению их электрических цепей. Аналогичные инциденты с ССР были зафиксированы на ветряных электростанциях в Северо-Китайской энергосистеме. Этот возникающий тип ССР также называют субсинхронным управляющим взаимодействием (ССУВ) или субсинхронным взаимодействием (ССВ) из-за активного участия управления ВЭУ в формировании неустойчивых субсинхронных колебаний мощности.

Эти колебания исходили от ветряных электростанций с ПМСГ и распространялись далеко во внешние электросети. Амплитуда колебательной мощности иногда даже превышала амплитуду сети. В случае серьезного происшествия такие колебания даже стимулировали интенсивную крутильную вибрацию в близлежащих турбогенераторах, что приводило к отключению всех генераторов на электростанции из-за ее системы защиты от кручения.

Исследования системы показывают, что поблизости нет последовательной компенсации. А колебания субсинхронной мощности не согласуются с теми ранее описанными, которые индуцируются постоянными силовыми нагрузками, связью фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) или резонансными цепями. Это новый тип

субсинхронного взаимодействия между ВЭУ 4-го типа и подключенными к ним слаботочным сетям переменного тока. Поэтому существующих исследований недостаточно для объяснения его основного механизма. Дальнейшая работа должна быть проведена для выяснения его ключевых характеристик и доминирующих влияющих факторов.

Для решения этой новой проблемы ССВ представлена и обсуждается простая, но эффективная схема смягчения последствий, основанная на дополнительном субсинхронном управлении демпфированием (ДСУП). Как показано на рисунке 1, предлагаемый ДСУП подключается к сетевому преобразователю ПМСГ.

Он состоит из фильтра верхних частот, коэффициента усиления и фазовращателя. Фильтр высоких частот используется для выделения соответствующего субсинхронного сигнала и предотвращения помех нормальной функции управления сетевого преобразователя. Усиление и фазовращатель позволяют гибко регулировать амплитуду и фазу сигнала для достижения лучших характеристик управления.

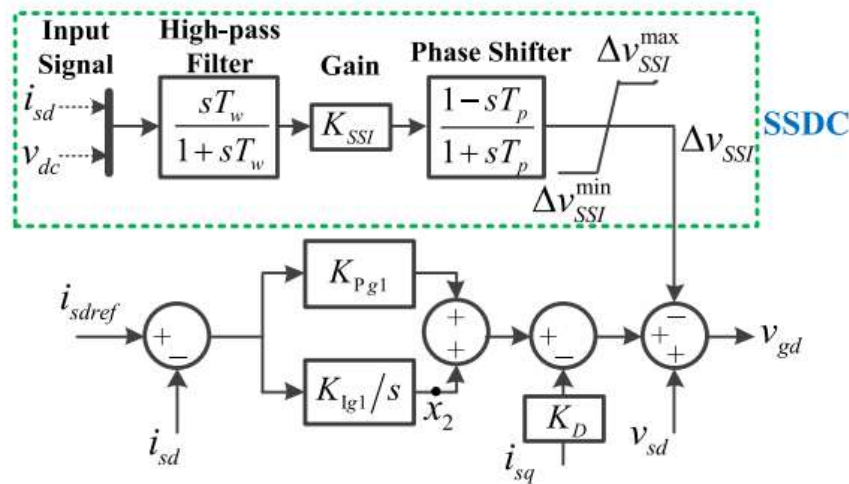


Рис. 1. Схема ДСУП в сетевом преобразователе [1]

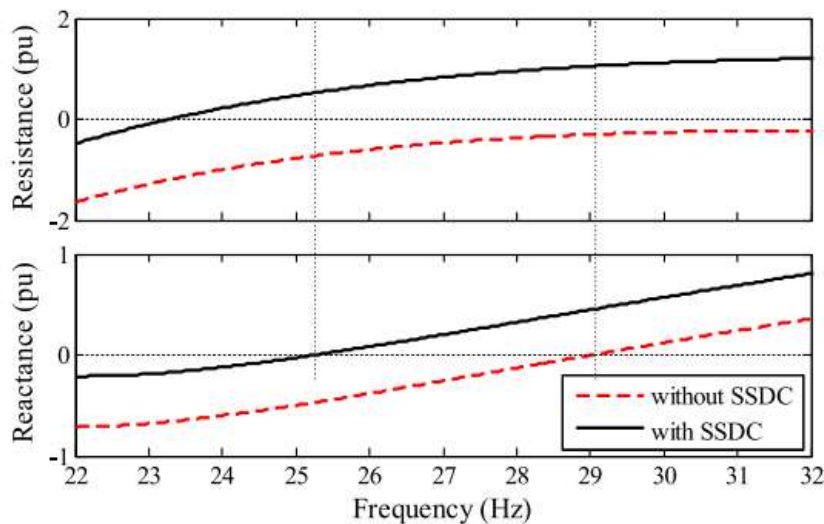


Рис. 2. Частотно-импедансные кривые $D(s)$ с/без ДСУП ($KK3 = 1,17$) [1]

Здесь в качестве входного сигнала выбирается i_{sd} . После тщательной настройки параметров ДСУП, его способность снижать ССВ проверяется с помощью анализа импеданса, а также нелинейного моделирования. Когда ДСУП подключен к сетевому преобразователю, кривая импеданс-частота $Z_{ПМСГ}(s)$ показана пунктирной линией на рис.2, из которых условные обозначения $KK3 = 1.17$ с ДСУП. Очевидно, что ДСУП может значительно увеличить сопротивление Z_{dd} , в то время как он мало влияет на Z_{dq} , Z_{qd} и Z_{qq} .

Для проверки влияния ДСУП на субсинхронные характеристики всей системы на рис.2 изображены импедансно-частотные кривые детерминанта $D(s)$ при $KK3$, равном 1,17. Без ДСУП частота пересечения нуля составляет 29,03 Гц, где сопротивление отрицательное, что указывает на нестабильный ССВ. При вводе в эксплуатацию SSDC частота пересечения нуля снижается до 25,15 Гц. В этот момент сопротивление достаточно

положительное, что означает, что ССВ хорошо стабилизирован. Таким образом, демонстрируется способность ДСУП увеличивать сопротивление или демпфирование.

Типичный случай проиллюстрирован на рисунке 3, где приняты те же условия эксплуатации, что и в случае 2 в разделе III–С. Очевидно, что без ДСУП устойчивые колебания мощности возникают, когда количество подключенных к сети ВЭУ достигает 700, 800 или 900. Однако при включении ДСУП колебания быстро гаснут, как показано на увеличенном графике на рис. Эти результаты подтверждают, что ДСУП может эффективно стабилизировать ССВ, не влияя на нормальную работу ДСУП [1].

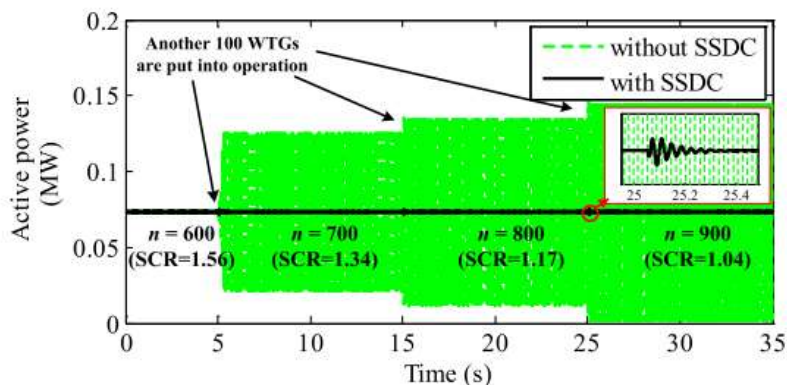


Рис. 3. Верификация схемы ДСУП с помощью моделирования во временной области [1]

Литература

1. Liu H. et al. Subsynchronous interaction between direct-drive PMSG based wind farms and weak AC networks // IEEE Transactions on Power Systems. – 2017. – Т. 32. – № 6. – С. 4708-4720.

**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ УСТРОЙСТВ
РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ НА БАЗЕ ТЕРМИНАЛА БМРЗ-51 ПРОИЗВОДСТВА НТЦ
«МЕХАНОТРОНИКА»**

Шахнович Д.И.

Научный руководитель старший преподаватель Аскаров А.Б.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Короткие замыкания возникают из-за нарушений изоляции электроустановок, обрывов проводов и ошибок персонала, таких как включение заземленного оборудования под напряжением или отключение разъединителя при нагрузке. Эти виды повреждений считаются наиболее опасными [5].

Чтобы предотвратить аварийные ситуации, используются специальные автоматические устройства, известные как релейная защита (РЗ). Они могут отключать выключатели поврежденных участков сети, выполнять необходимые операции для восстановления нормального режима работы или предупреждать дежурный персонал [1].

Микропроцессорная релейная защита – это система, используемая для защиты электрических сетей и оборудования. Она основана на применении микропроцессоров для обработки и анализа электрических параметров, таких как напряжение, ток и частота, с целью обеспечения надежной и точной реакции на возникающие неполадки или аварийные ситуации в электрических системах [9]. Микропроцессорная релейная защита обеспечивает более гибкие настройки и возможности обеспечения множества функций защиты, что делает её более эффективной по сравнению с традиционными методами релейной защиты [2].

В данной работе будет рассматриваться блок микропроцессорной релейной защиты БМРЗ-51 производства НТЦ «Механотроника», г. Санкт-Петербург [6].

Комплекс выполняет ряд функций в области защиты, автоматики и управления выключателем, включая: токовую защиту (ТО), максимальную токовую защиту (МТЗ), ускорение МТЗ (УМТЗ), логическую защиту шин (ЛЗШ), дуговую защиту (ДгЗ), защиту от однофазных замыканий на землю (ОЗЗ), защиту от несимметрии и обрыва фазы (ЗОФ), устройства резервирования при отказе выключателя (УРОВ), автоматическое повторное включение (АПВ) и другие функции управления выключателем. Блок обеспечивает отключение и включение выключателя по командам от защиты, автоматики, дискретных входов и интерфейсов коммуникаций. Он также осуществляет функции сигнализации и вспомогательные функции [6].

В работе будут проверяться следующие функции защиты: Токовая отсечка (ТО); Максимальная токовая защита (МТЗ); Логическая защита шин (ЛЗШ); Защита от однофазных замыканий на землю (ОЗЗ); Защита от несимметрии и обрыва фазы (ЗОФ); Автоматическое повторное включение (АПВ).

Схемы функционирования защит БМРЗ-51 работают по общему принципу:

1. Измерение тока – происходит под действием механизма выбора максимального значения.
2. Следующим этапом происходит сравнение значения с заданным в уставке, максимальным пороговым элементов с гистерезисом;