

где $x(t)$ – отклонение величины частоты от его установившегося значения после возмущения; t – момент начала переходного процесса; $t_{зад}$ – момент окончания переходного процесса; I – квадратичный интегральный показатель по квадрату времени и квадрату ошибки.

Таблица

Сравнение влияния ВСГ и ВСГ+СИ на переходный процесс

Плотность сети \ Система управления	$I(\text{ВСГ}), \text{о. е.}$	$I(\text{ВСГ+СИ}), \text{о. е.}$
		Улучшение относительно ВСГ, %
Сильная сеть	$8,99 \cdot 10^{-5}$	$7,49 \cdot 10^{-5}$
		16,68
Слабая сеть	$14,26 \cdot 10^{-5}$	$12,54 \cdot 10^{-5}$
		12,09

Выводы

Применение блока синтетической инерции в составе виртуального синхронного генератора благоприятно влияет на динамическую устойчивость энергосистемы, сокращая предельное отклонение частоты после возмущений как в сильной, так и в слабой сети. Однако неправильная или недостаточная настройка блока СИ может привести к ухудшению демпфирующих свойств СЭС и ее системы управления.

В дальнейшем планируется оптимизировать настройки блока СИ опытным путем, а также воссоздать математическую модель системы управления в пространстве состояний, что позволит находить влияние большего количества отдельных переменных (в том числе и коэффициентов ВСГ) на переходный процесс.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-29-00004.

Литература

1. Hatziairgiyriou N. et al. Definition and classification of power system stability–revisited & extended // IEEE Transactions on Power Systems. – 2020. – Т. 36. – № 4. – С. 3271-3281.
2. Yang D. et al. Adaptive reactive power control of PV power plants for improved power transfer capability under ultra-weak grid conditions // IEEE Transactions on Smart Grid. – 2017. – Т. 10. – № 2. – С. 1269-1279.
3. Бутузов, В. А. Возобновляемая энергетика России: результаты 2020 г / В. А. Бутузов // Энергия единой сети. – 2022. – № 1(62). – С. 42-51. – EDN TBYYQH.
4. Разживин И. А. и др. Исследование влияния синтетической инерции на динамическую устойчивость электроэнергетических систем // Электричество. – 2022. – № 8. – С. 16-26.
5. Суворов А. А. и др. Система автоматического управления силовым преобразователем на основе свободно конфигурируемой структуры виртуального синхронного генератора // Электричество. – 2022. – № 4. – С. 15-26.

МЕТОДИКА УПРАВЛЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТЬЮ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ПУТЕМ ИЗМЕНЕНИЯ БАЛАНСА РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ Рец В.В.

Научный руководитель доцент Прохоров А.В.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Надежная работа электроэнергетической системы (ЭЭС) обеспечивается за счет поддержания перетоков активной мощности внутри границ пропускной способности электрической сети [8]. Для этого назначаются группы линий - контролируемые сечения, для которых по специальной методике оцениваются максимально допустимые значения перетоков активной мощности (МДП) [5]. МДП зависят от топологии сети и других факторов, характеризующих схемно-режимную ситуацию (СРС) и степень значимости которых изменяется в процессе функционирования ЭЭС. Поэтому для обеспечения наиболее актуальной информации о значениях МДП в настоящее время применяется информационно-управляющая система «Система мониторинга запасов устойчивости (ИУС СМЗУ)» [3]. Это способствует более эффективному использованию существующей электросетевой инфраструктуры, так как зачастую фактический режим энергосистемы характеризуется меньшим числом отключенных в ремонт или аварий оборудования электрических станций и подстанций, что приводит к увеличению МДП в КС относительно значений, рассчитанных технологом вручную на этапе планирования электроэнергетического режима.

Переток активной мощности в КС является режимным параметром, который принято регулировать и ограничивать относительно МДП путем изменения баланса активной мощности [4, 9]. При этом возможно управлять не только значением перетока активной мощности, но и величиной МДП, используя регулировочный диапазон средств регулирования напряжения (СРН) на загрузку или разгрузку в зависимости от определяющего МДП критерия. Для этого в [6, 7] предложен метод управления напряжением и реактивной мощностью, максимизирующий пропускную способность КС. Он предполагает расчет управляющих воздействий (УВ) на СРН для достижения максимального значения пропускной способности электрической сети. Увеличение величины МДП при этом повышает эффективность работы рыночных механизмов торговли электроэнергией, а также снижает риски нарушения электроснабжения потребителей в послеаварийных режимах.

СЕКЦИЯ 9. ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Предлагаемая методика основана на использовании в качестве начальных условий для расчета УВ верифицированную расчетную модель ИУС СМЗУ, широкое внедрение которой открывает новые возможности для развития технологий планирования и управления электрическими режимами энергосистем (рис. 1).

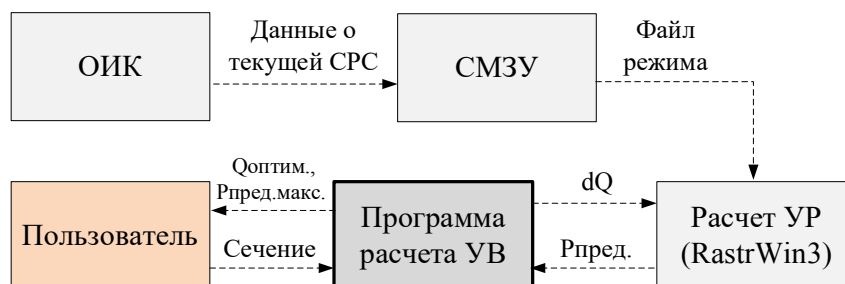


Рис. 1. Структурная схема автоматизации расчета управляющих воздействий на СРН

Далее приведены результаты вычислительных экспериментов, направленных на оценку эффективности предлагаемой методики для КС «Братск-Иркутск» (рис. 2), пропускной способности которого для покрытия дефицита в Юго-Восточной части Иркутской энергосистемы в ряде СРС уже недостаточно [1]. Эксперименты заключались в последовательном изменении нагрузки и эксплуатационного состояния СРН, оказывающих влияние на напряжение в узлах по концам связей, входящих в сечение. После изменения баланса реактивной мощности путем реализации УВ рассчитывались значения МДП в КС в соответствии с принятыми Правилами их определения [5]. В рамках экспериментов производился контроль значения напряжения в узлах схемы в контексте соблюдения его допустимых границ согласно требованиям стандарта [2].

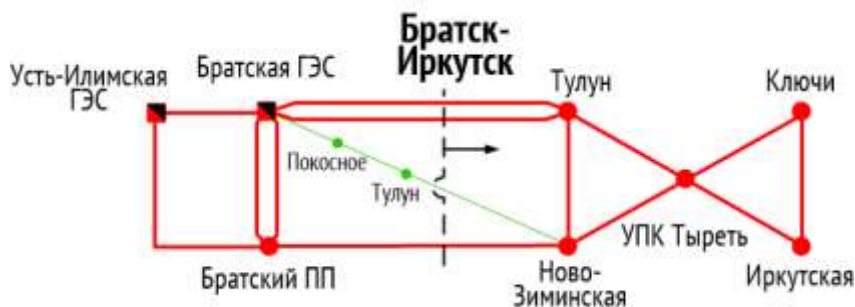


Рис. 2. Схема основных связей в энергорайоне, контролируемого сечения «Братск-Иркутск»

С учетом нахождения напряжения на шинах РУ станций и подстанций в пределах допустимых значений реализация принятых УВ позволяет повысить величину МДП на 6 % до величины 1680 МВт в ремонтной схеме (ремонт ВЛ 500 кВ Братский ПП — Ново-Зиминская) без учета действия противоаварийной автоматики (ПА) (рис. 3). Однако с учетом действия ПА пропускная способность КС за счет реализации УВ на существующие СРН повышается на 8 % до 1850 МВт. Об увеличении эффективности использования существующей электросетевой инфраструктуры также говорит снижение доли реактивной составляющей тока по связям, входящим в сечение за счет реализации выбранных УВ. Дополнительный эффект в повышении пропускной способности электрической сети составил 149 МВт или 8 % от значения МДП в исходном режиме.

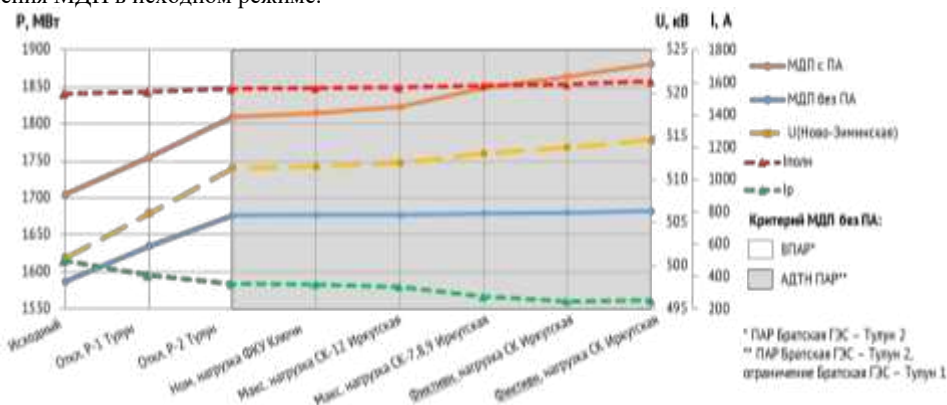


Рис. 3. Изменение электрических величин в ходе эксперимента

Полученные результаты показывают возможность и эффективность управления пропускной способностью электрической сети, выражаемой в значении величины МДП, путем изменения баланса реактивной мощности в энергорайоне рассматриваемого сечения. Кроме того, результаты демонстрируют необходимость в формализации

оптимизационной задачи выбора УВ из условия обеспечения максимума пропускной способности сечения с минимизацией задействованного резерва реактивной мощности средств регулирования. При этом ограничениями выступают значения допустимой токовой нагрузки линий электропередач, а также наибольшие рабочие напряжения в узлах сети, а к управляемым переменным следует отнести эксплуатационное состояние и нагрузка СРН. Остальные параметры принимаются фиксированными для конкретной СРС. Также следует учесть накопленный научный и практический опыт в части снижения электрических потерь.

Таким образом, в развитии данной работы следует формализовать задачу оптимального выбора УВ, выбрать метод оптимизации, автоматизировать вычисления и проверить разработанный алгоритм решения оптимизационной задачи для других КС в Единой энергосистеме России.

Литература

1. Воронов И. В. О возможных способах покрытия дефицита электроэнергии и мощности в юго-восточной части энергосистемы иркутской области // Материалы XIII Международной научно-технической конференции: в 2 томах. Том 1. – 2023. – С. 23-26.
2. ГОСТ Р 57382-2017. Электроэнергетические системы. Стандартный ряд номинальных и наибольших рабочих напряжений. – Введ. 2017-01-16. – М.: Стандартинформ, 2017. – 12 с.
3. Неуймин В. Г., Останин А. Ю., Томалев А. А. Внедрение системы мониторинга запасов устойчивости при планировании и управлении электроэнергетическим режимом ОЭС Сибири // Энергия единой сети. – 2019. – № 6. – С. 32.
4. Положение по управлению режимами работы энергосистем в операционной зоне Филиала АО «СО ЕЭС» ОДУ Сибири.
5. Правила определения максимально допустимых и аварийно допустимых перетоков активной мощности в контролируемых сечениях: СТО 59012820.27.010.004-2020: утв. АО «СО ЕЭС» 09.07.2020: введ. в действие 09.07.2020. – М.: Официальный интернет-портал www.so-ups.ru, 2020. – 24 с.
6. Рец В. В. Управление напряжением и реактивной мощностью для максимизации пропускной способности сечения по активной мощности // Проблемы геологии и освоения недр : Труды XXVII Международного молодежного научного симпозиума имени академика М.А. Усова, посвященного 160-летию со дня рождения академика В.А. Обручева и 140-летию академика М.А. Усова, основателям Сибирской горно-геологической школы, Томск, 03–07 апреля 2023 года. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2023. – С. 230-232.
7. Рец В. В., Прохоров А. В., Останин А. Ю. Разработка метода управления напряжением и реактивной мощностью для максимизации пропускной способности контролируемого сечения по активной мощности // Материалы XIII Международной научно-технической конференции: в 2 томах. Том 1. – 2023. – С. 114-117.
8. Требования к обеспечению надежности электроэнергетических систем, надежности и безопасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок «Методические указания по устойчивости энергосистем». Утверждены приказом Минэнерго России от 03.08.2018 №630.
9. Требования к обеспечению надежности электроэнергетических систем, надежности и безопасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок «Правила предотвращения развития и ликвидации нарушений нормального режима электрической части энергосистем и объектов электроэнергетики». Утверждены приказом Минэнерго России от 12.06.2018 №548.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНО РАБОТАЮЩИХ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ «РЕПЕАТ»

Самсонов Д.П.^{1,2}, В.Е. Рудник^{1,2}

Научный руководитель ассистент Б.Д. Малюта^{1,2}

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

²ООО «ДЖЭТ ЛАБ», г. Москва, Россия

В настоящее время наблюдаются значительный рост и расширение нефтегазодобычи, а также соответствующий рост электроэнергетических систем (ЭЭС), снабжающих её электроэнергией. В связи с этим становится всё более актуальным вопрос обеспечения устойчивой и эффективной работы. Одним из современных средств решения обозначенной выше проблемы является математическое моделирование.

В данной работе рассматриваются возможности российского программного комплекса REPEAT в области моделирования электрических систем

REPEAT – модельно-ориентированная среда проектирования и математического моделирования [1]. Данный программный комплекс позволяет пользователю разрабатывать различные модели энергообъектов, силового оборудования, релейной защиты и автоматики, создавать цифровые двойники, повышать эффективность ЭЭС, снижать затраты производственных процессов и т.д. В рамках демонстрации возможностей данного программного комплекса проведен анализ параллельно работающих синхронных генераторов [2].

Для исследования была использована топология ЭЭС, реализация которой в программном комплексе REPEAT приведена на рисунке 1. Для реализации модели были использованы следующие функциональные блоки: «Постоянно-кусочная функция», «Узел», «Нулевой потенциал», «Константа», «Синхронная машина (упрощенная модель)», «Трёхфазное последовательное сопротивление», «Трёхфазный источник напряжения», «Датчик», «блок RMS».