

АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание ученой степени доктора философии (PhD)
6D071800 – «Электроэнергетика»
Бектимирова Анур Талгатовича

**Тема диссертационной работы «Идентификация и демпфирование
низкочастотных колебаний по транзиту «Север-Юг» НЭС Казахстана с
использованием технологии Smart Grid»**

В диссертационной работе приведены результаты исследования по идентификации опасных низкочастотных колебаний для устойчивости энергосистемы Казахстана и разработке алгоритма по их демпфированию. Алгоритм направлен на расчет корректных параметров настройки системных стабилизаторов на электростанциях. Также разработана архитектура системы WADS для идентификации и демпфирования колебаний в темпе процесса, с использованием синхронизированных векторных измерений WAMS.

Актуальность темы исследования: в результате развития энергосистемы, с вводом новых источников генерации и протяженных линий электропередач, усложняются её динамические свойства, и вопросы по сохранению устойчивости становятся первоочередными. Одной - из основных проблем нарушения колебательной устойчивости - являются электромеханические колебания мощности в энергосистеме, имеющие малую частоту и называемые низкочастотными колебаниями (НЧК). Основными причинами являются: возникновение небаланса мощности в системах, связанных между собой протяженными линиями электропередач; механическими колебаниями масс; изменение синхронной работы генератора или электростанции в энергосистеме, вследствие некорректной настройки АРВ и системных стабилизаторов (PSS) системы возбуждения генераторов.

Многочисленными исследованиями определено, что НЧК разделяются на торсионные, локальные, межсистемные и инфранизкочастотные колебания. Анализ зафиксированных аварийных событий в энергосистемах разных стран показал, что наиболее опасными являются НЧК, имеющие собственные частоты колебаний от 0,1 до 2 Гц.

Идентификация НЧК с выявлением опасных мод колебаний является первостепенной задачей. Соответственно необходимо было создать эффективную систему мониторинга и идентификации НЧК в энергосистеме. Технология, синхронизированных векторных измерений – WAMS решает задачу с мониторингом квазидинамических и переходных процессов в энергосистеме, а также - с прогнозированием опасных режимов, приводящих к потере устойчивости.

Проведенные исследования колебательной устойчивости, с использованием системы WAMS в НЭС Казахстана, показали наличие недемпфируемых межсистемных НЧК с собственными частотами 0,3 – 0,4 Гц

и длительностью колебаний до 4-5 минут. Проведен анализ по нескольким зафиксированным событиям, где наибольшая амплитуда колебаний мощности по ВЛ-500кВ транзита «Север-Юг» НЭС Казахстана составляла ± 150 МВт.

Идентифицированные НЧК, значительно, ограничивают пропускную способность электрических сетей Казахстана, и могут привести к крупным системным авариям в послеаварийных режимах при работе транзита в максимально-допустимых перетоках мощности. Также увеличение доли ВИЭ приводит к ухудшению динамических свойств энергосистемы и соответственно - новым вызовам по сохранению устойчивости.

Слабое демпфирование НЧК в энергосистеме Казахстана, а также риск ухудшения ситуации при интеграции большого объема ВИЭ, выявило необходимость демпфирования опасных мод колебаний для повышения устойчивости системы. Основным и эффективным инструментом является применение системного стабилизатора PSS в составе системы возбуждения синхронного генератора. При этом необходимо корректно настроить параметры PSS, т.к. некорректные параметры настройки могут ухудшить реакцию генератора на электромеханические колебания мощности и дальнейшему риску нарушения устойчивости. На сегодняшний день существуют несколько аналитических и оптимизационных алгоритмов по настройке параметров PSS и автоматике системы возбуждения, а также исследуется применимость алгоритмов эвристических и искусственного интеллекта. Поэтому, в условиях протяженных электрических сетей в Казахстане, а также с учетом ожидаемого объема интеграции ВИЭ, необходимо разработать новый алгоритм адаптивной настройки PSS, который будет обеспечивать требуемый уровень демпфирования опасных мод НЧК.

Цель работы: Разработка метода, алгоритма адаптивной настройки PSS генератора для идентификации и эффективного демпфирования опасных мод межсистемных и локальных низкочастотных колебаний в условиях изменения сетевых параметров, в частности аварийных и послеаварийных режимов.

Для достижения поставленной цели требуется решение следующих задач:

- Произвести обзор существующих методов мониторинга и идентификации НЧК в энергосистемах других стран, анализ зафиксированных аварийных событий, вызванных НЧК;
- Выполнить идентификацию и анализ НЧК в энергосистеме Казахстана по данным системы мониторинга WAMS;
- Провести обзор существующих методов и алгоритмов по настройке параметров устройства PSS в мире. Определить эффективный метод настройки параметров PSS для демпфирования НЧК в энергосистеме Казахстана;
- Разработать цифровую модель, исследуемого энергоузла, для выполнения расчета переходных процессов и модального анализа;

- Разработать алгоритм настройки PSS и контроля колебательной устойчивости в реальном времени. Проверить корректность рассчитанных параметров PSS для демпфирования НЧК;
- Разработать архитектуру системы WADS по идентификации и демпфированию НЧК в темпе процесса с использованием технологий Smart Grid;
- Разработать рекомендации и требования по устройствам PSS в дополнение к существующим НПА в РК по системе возбуждения синхронных генераторов.

Методы исследования:

- Анализ существующих и исследуемых в научной и практической среде классических, эвристических и адаптивных методов настройки PSS, системы возбуждения генераторов.
- Экспериментальные исследования переходных режимов в электрических сетях 500-220кВ на базе синхронизированных векторных измерений системы WAMS.
- Модальный анализ исследуемого энергорайона, построение диаграммы Боде, поиск параметров PSS на основе доработанного фазо-компенсационного метода, проверка устойчивости в специализированных программных комплексах DigSilent Power Factory и MATLAB Simulink.

Объект исследования: Межсистемные электрические сети 500-220 кВ и электростанции в Единой энергосистеме Казахстана.

Предмет исследования: Режимы работы межсистемных электрических сетей в нормальных и переходных процессах. Система возбуждения и PSS генераторов электрических станций. Адаптивные алгоритмы настройки параметров PSS генераторов.

Научная новизна:

1. Проведенный анализ по мониторингу и идентификации НЧК показал существование значительных колебаний в энергосистеме Казахстана, в частности по транзиту 500 кВ «Север-Юг»;
2. Получены качественные характеристики НЧК по межсистемным электрическим сетям 500-220 кВ НЭС Казахстана по системе WAMS и путем модального анализа в разработанной модели;
3. Разработан алгоритм адаптивной настройки PSS на основе доработанного фазо-компенсационного метода для сложнзамкнутой энергосистемы Казахстана при изменении схемы сети и интеграции ВИЭ;
4. Выполнены расчеты параметров PSS для генераторов Мойнакской ГЭС, на основании разработанной модели по реальным данным системы регулирования, генератора и прилегающего оборудования;

5. Разработана архитектура новой системы WADS для НЭС Казахстана, по адаптивной настройке параметров PSS для демпфирования опасных межсистемных НЧК.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Результаты идентификации НЧК в НЭС Казахстана по данным синхронизированных векторных измерений WAMS;
2. Разработка алгоритма адаптивной настройки параметров PSS, использующей режимные и сетевые параметры в темпе процесса;
3. Разработка цифровой модели Алматинского энергоузла в программной среде Power Factory DigSilent;
4. Результаты моделирования по демпфированию НЧК с учетом обновленных параметров настройки PSS на примере Мойнакской ГЭС;
5. Архитектура построения системы WADS для адаптивной настройки параметров PSS путем идентификации и демпфирования опасных мод НЧК.

Личный вклад автора заключается в следующем:

- Проведен анализ влияния низкочастотных колебаний на устойчивость энергосистемы Казахстана;
- Разработан алгоритм адаптивной настройки PSS и контроля колебательной устойчивости в реальном времени;
- Разработана архитектура WADS для идентификации и демпфирования межсистемных НЧК.

Теоретическая и практическая значимость работы:

- Разработанный способ и модель адаптивной настройки PSS позволят настраивать электрическим станциям работу системы возбуждения генераторов для повышения пропускной способности в нормальных режимах и устойчивости межсистемных электрических сетей при возникновении аварийных небалансов мощности.
- Результаты диссертации были применены для разработки рекомендаций и требований СО НДЦ АО «KEGOC» для электрических станций в части настроек APB и PSS, что подтверждается полученным письмом АО «KEGOC» о согласовании отчета НИР.

Апробация работы

Основные результаты и положения диссертации докладывались и обсуждались на следующих научных конференциях:

1. Professional Workshop on Ultra High Voltage Transmission and Smart Grid, 2018г., г. Гонконг, доклад «Condition and prospects of development of Kazakhstan's power electrical industry»;

2. 54th International Universities Power Engineering Conference (UPEC), г. Бухарест, 2019г., доклад «*Analysis of the Kazakhstan's Grid Oscillation Instability by using WAMS System and PSCAD Program*»;

3. Казанский Международный форум, онлайн, 2022г., доклад «*Оптимизация режимов работы цифровых Smart Grid систем*»;

4. Международный энергетический саммит ENSO, г.Алматы, 2023г., доклад «*Необходимость настройки параметров системных стабилизаторов (PSS) синхронных генераторов для повышения устойчивости ЕЭС Казахстана*»;

5. Международная научно-практическая конференция, АУЭС, г.Алматы, 2024г., доклад «*Идентификация низкочастотных колебаний по транзиту «Север-юг» единой энергосистемы Казахстана*».

В рамках работы также было проведено обследование Мойнакской ГЭС и Алматинской ТЭЦ-2, и обсуждения с техническим персоналом по вопросам функционирования системы возбуждения и PSS. Полученные данные в ходе обследования были применены при разработке модели Алматинского энергоузла.

Публикации: По материалам диссертации имеются 9 публикаций, в том числе 1 статьи в журнале, входящий в базу данных Scopus и имеющих не нулевой импакт-фактор, 5 статей в журналах из перечня ВАК, 3 доклада в сборниках трудов конференций Scopus, а также 1 Патент на полезную модель.

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, 4 разделов, заключения, списка использованных источников. Диссертация изложена на 126 страницах, содержит 14 таблиц, 67 рисунков, 34 формулы и 7 приложений. Список литературы содержит 78 источников.