

## С Е К Ц И Я 11

### ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

#### НАСТРОЙКА СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ГЕНЕРИРУЮЩИХ УСТАНОВОК С ПРИМЕНЕНИЕМ КОНЦЕПЦИИ ГИБРИДНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**Аскарлов А.Б., Мицкевич Р.В., Андреев М.В.**

Научный руководитель - доцент М.В. Андреев

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

Обеспечение нормального функционирования различных объектов нефтегазовой промышленности напрямую зависит от надежной работы систем электроснабжения. Под надежностью систем электроснабжения в целом можно понимать устойчивость их работы в нормальном режиме и при аварийных возмущениях. Сохранение устойчивости определяется совокупными возможностями генерирующих установок обеспечивать бесперебойное электроснабжение потребителей электрической энергией нормированного качества и в необходимом количестве. При этом в России электроснабжение большей части объектов нефтегазовой промышленности осуществляется с применением газотурбинных и парогазовых установок различной мощности на базе традиционных синхронных генераторов [3]. Для подобных генерирующих установок основным устройством, которое обеспечивает их устойчивое функционирование как в нормальных, так и в послеаварийных режимах, являются системы автоматического регулирования возбуждения – автоматические регуляторы возбуждения. Адекватная настройка регуляторов возбуждения позволяет поддерживать напряжение в точке регулирования с заданной точностью и статизмом, обеспечивать устойчивость регулирования в различных режимах работы генератора, в том числе при возникновении различных возмущений, а также эффективно демпфировать послеаварийные колебания при переходных процессах. При этом наиболее оптимальной настройкой автоматических регуляторов возбуждения могут быть увеличены запасы как статической, так и динамической устойчивости в рамках рассматриваемого энергорайона, и, соответственно, увеличена надежность электроснабжения потребителей в нормальных и переходных режимах [6].

В настоящее время основным способом настройки регуляторов возбуждения различных типов и структур является математическое моделирование, что обуславливается известной спецификой и сложностью любых реальных энергосистем, которые априори исключают возможность получения всей необходимой информации, в особенности аварийного характера, натурным путем. Однако зачастую размер рассматриваемого энергорайона, а также уровень детализации моделей при классическом подходе к настройке регуляторов возбуждения весьма ограничен, что сильно сказывается на полноте и достоверности получаемой информации. Данный факт связан с необходимостью улучшения условий применимости методов численного интегрирования и подходов к решению совокупной математической модели, используемых в различных программных комплексах для моделирования энергосистем [1]. Наиболее существенными допущениями при использовании данных комплексов для настройки устройств автоматического регулирования возбуждения являются:

- упрощение математических моделей основного оборудования, их систем регулирования и управления:
  - неучет насыщения электрических машин и других элементов,
  - значительное упрощение моделей систем регулирования возбуждения и мощности генераторов для снижения жесткости системы дифференциальных уравнений, образующих исследуемую математическую модель, поскольку постоянные времени в различных каналах самих систем автоматического регулирования могут отличаться на несколько порядков,
- значительное эквивалентирование элементов и частей энергосистемы, заключающееся в объединении нескольких электрических машин в один эквивалент в узле подключения, упрощении топологии сети и представлении внешних связей в виде шин бесконечной мощности и др.;
- декомпозиция реально единого и непрерывного спектра квазиустановившихся и переходных процессов в энергосистеме, заключающаяся в раздельном расчете установившихся режимов, электромагнитных и электромеханических переходных процессов.

В то же время при исследовании энергорайонов с различными объектами нефтегазовой промышленности особое внимание должно уделяться составу и, соответственно, моделированию нагрузок, которые в целом следует рассматривать в виде динамической комплексной модели нагрузки, состоящей из комбинации синхронных и асинхронных двигателей, а также статической нагрузки [4]. Необходимость детального воспроизведения нагрузки связана с ее значительным влиянием не только на протекание переходных процессов в подобных энергорайонах, но и на запасы как статической, так и динамической устойчивости. Осуществление такого моделирования с помощью программных комплексов, во-первых, сильно замедляет сам процесс моделирования, а, во-вторых, при некоторых

видах тестовых возмущений может возникать проблема отсутствия сходимости численного решения [7]. В связи с чем при использовании программных комплексов для достаточно детального моделирования энергосистем становится необходимым увеличение шага интегрирования, ограничение интервала воспроизведения процессов, а также уменьшение степени точности, что в целом может приводить к малодостоверным результатам моделирования при осуществлении настройки автоматических регуляторов возбуждения синхронных генераторов.

Учитывая вышесказанное, в данной работе альтернативным решением является применение гибридного подхода [2] к моделированию энергорайонов с объектами нефтегазовой промышленности. Гибридный подход объединяет в себе основные существующих подходы к моделированию энергосистем: (1) аналоговый, (2) физический и (3) цифровой, что в целом дает возможность моделировать любые элементы с высоким уровнем детализации без каких-либо ограничений на размер совокупной математической модели рассматриваемой энергосистемы. Данный факт позволяет полностью исключить все причины, препятствующие решению проблемы получения наиболее полной и достоверной информации о процессах в исследуемом энергорайоне, которая затем может быть использована для наиболее оптимальной настройки регуляторов возбуждения. Основным этапом успешного проведения настройки данных регуляторов с применением гибридного подхода является разработка специализированных средств моделирования. Данные средства должны включать в себя следующие основные элементы:

- 1) наиболее полную математическую модель генератора, которой является полная система уравнений Парка-Горева, совместно с уравнениями взаимного преобразования переменных систем  $dq0$  и  $abc$ ;
- 2) детальную и максимально универсальную модель системы возбуждения;
- 3) возможность учета мультимассности вала при расчете уравнения движения электрической машины;
- 4) библиотеку полных математических моделей регуляторов различных типов и видов.

Предлагаемые в данной работе подход и средства гибридного моделирования позволяют детально и в полной мере осуществлять определение адекватных реальным условиям настроек регуляторов возбуждения различного типа, обеспечивающих их наиболее эффективное функционирование в различных сценно-режимных ситуациях для сохранения устойчивости работы энергорайонов с объектами нефтегазовой промышленности и, соответственно, повышения надежности их электроснабжения. Подобное становится особенно актуальным в связи с постепенной интеграцией в такие энергорайоны объектов распределенной генерации на базе ветроэнергетических и фотоэлектрических установок, которые подключаются к сети с помощью устройств силовой полупроводниковой техники. Данные установки обладают совершенно иными динамическими свойствами по сравнению с традиционными источниками генерации и быстродействующими системами автоматического управления, что оказывает значительное влияние на скорость протекания процессов в сети, амплитуду и частоту возникающих послеаварийных колебаний и приводит к необходимости осуществления согласованной настройки их систем управления с другими для обеспечения устойчивости в установившихся режимах, а также эффективного демпфирования колебаний. При этом для наиболее достоверного и полного анализа возникающих процессов следует детально воспроизводить модели ветроэнергетических и фотоэлектрических установок, что приводит к необходимости ввода допущений и упрощений, обозначенных ранее, при использовании программных комплексов. Использование гибридного подхода в таком случае требует только разработки специализированных гибридных средств моделирования, воспроизводящих данные установки с их особенностями в топологии и разнообразными системами управления [5].

Исходя из вышесказанного, применение гибридного моделирования энергосистем позволяет универсализировать подход к настройке автоматических регуляторов возбуждения синхронных генераторов, обеспечивающих электроснабжение объектов нефтегазовой промышленности, относительно состава и размеров математической модели рассматриваемой энергосистемы, поскольку такое моделирование позволяет получить наиболее адекватную и достоверную информацию об едином и непрерывном спектре протекания режимов и процессов.

*Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, Госзадание "Наука" № FSWW-2020-0017.*

#### Литература

1. Аскаров А. Б., Суворов А. А., Андреев М. В. Применение всережимного моделирующего комплекса для энергосистем с распределенной генерацией // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2019. – Т. 23. – №. 1 (144).
2. Гусев А. С. и др. Всережимный моделирующий комплекс реального времени электроэнергетических систем // Электричество. – 2009. – №. 12. – С. 5а-8.
3. Иноземцев А. А. Использование перспективных технологий авиационных газотурбинных двигателей для создания энергетических ГТУ большой мощности // Электрические станции. – 2020. – №. 1. – С. 29-35.
4. Гуревич Ю. Е., Либова Л. Е. Применение математических моделей электрической нагрузки в расчетах устойчивости энергосистем и надежности электроснабжения промышленных потребителей. – 2008.
5. Разживин И. А. и др. Гибридное моделирование распределенной генерации в электроэнергетических системах // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2020. – Т. 20. – №. 2.
6. Филимонов Н. Ю., Юрганов А. А. Метод выбора параметров и настройки каналов автоматических регуляторов возбуждения // Известия НТЦ Единой энергетической системы. – 2019. – №. 2. – С. 43-52.
7. Chakraborty, S. New Numerical Integration Methods for Simulation of Electromagnetic Transients [Text] / S. Chakraborty, R. Ramanujam // International Journal of Emerging Electric Power Systems. – 2018. – Vol. 19. – No. 4. – 20180122