

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

На правах рукописи

УДК 65.011.56

Ярохович
Алексей Андреевич

Система управления турбогенераторной установкой

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1-40 80 01 Элементы и устройства вычислительной
техники и систем управления

Научный руководитель
Хаджинов Михаил Касьянович
кандидат технических наук, доцент

Минск 2019

ВВЕДЕНИЕ

В современной энергетике большую часть среди всех производителей электроэнергии занимают тепловые и атомные электростанции. Большинство из этих станций преобразуют тепловую энергию в электрическую посредством турбоагрегатов. Мощность турбогенераторных установок постоянно растет с ростом потребностей потребителя электроэнергии. А это значит, что агрегат становится сложнее, а за ним система управления турбогенератором.

Автоматические системы управления современных паровых турбогенераторных установок (ТГУ)- это сложные комплексы различных устройств регулирования и защиты установки. Паровая турбогенераторная установка (ТГУ) состоит из паровой турбины и генератора, которые установлены на общей раме и соединены эластичной пальцевой муфтой.

Структура системы управления турбогенераторной установкой зависит от типа, мощности и принципа работы турбины. Конструктивное исполнение узлов турбогенераторов и устройств этих систем у разных производителей также различно. Но в любой системе управления используются принципиально одинаковые способы решения поставленных задач. Однообразие САУ предписывается требованиями к САУ с точки зрения качества и надежности их работы, свойствами турбоагрегата как объекта управления и основами теории автоматического управления. Поэтому можно рассматривать некоторые общие принципы построения САУ паровых турбин, не разбирая подробно их конструктивного выполнения.

Система управления турбогенераторной установкой обеспечивает четкую и безотказную работу, автоматически поддерживает заданные режимы работы турбоагрегата, осуществляет измерение и отображение технологических параметров. Для генерации энергии должного качества необходимо следить за давлением пара в парогенераторе, частотой вращения вала турбины, уровнем возбуждения обмоток генератора и поддержание баланса мощности.

Не смотря на то, что потребитель постоянно ужесточает требования к качеству энергии, принцип работы систем управления турбогенератором остается прежним. Для управления скоростью вращения вала турбогенератора и поддержания постоянного баланса мощности генератора и энергосистемы используют регулятор скорости вращения(РСВ). Регулятор представляет собой систему из маятника, золотника и сервопривода, которые описываются апериодическим звеном и обладает статизмом. Ввиду того, что в контуре управления нет ни одного астатического звена, вся система является

статической и обладает типичными для статических систем недостатками. Существенный из этих недостатков – установившаяся статическая ошибка.

Чтобы справиться со статизмом системы управления турбогенератором и его недостатками в современных системах вводят интегральное звено в контур первичного регулирования или в контур вторичного регулирования, что приводит к возникновению ряда других проблем.

Целью настоящей работы является исследование математической модели автоматической системы управления турбогенератором в энергосистеме и улучшение работы данной системы управления. В работе цель будет достигаться построением математической модели работы автоматической системы управления турбогенератором в энергосистеме в среде MATLAB, синтезе модального регулятора и наблюдателем полного порядка на основе модального регулятора для данной системы управления и моделировании работы систем автоматического управления турбогенератором с синтезированным модальным регулятором и наблюдателем полного порядка на основе модального регулятора.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Количество электроэнергии, которую мы получаем от тепловых электростанций, где почти всегда используются паровые турбины, составляет около 80 – 85 %. Несмотря на то что турбогенераторные установки так широко распространены принцип работы систем управления для большинства одинаковый и со временем не менялся. Только исполнительные механизмы заменяются на более современные.

В последние годы по всей стране идет строительство новых электростанций разного типа. Для того чтобы увеличить производительность и срок службы турбогенератора, а также улучшения качества генерируемой энергии стоит рассмотреть другие возможные принципы управления турбогенераторной установкой.

Цель работы – улучшение работы автоматической системы управления турбогенератором.

Основные задачи исследования

1. Анализ и выявление недостатков систем автоматического управления турбогенераторной установкой.
2. Смоделировать систему управления турбогенератором и получить характеристики процессов.
3. Рассчитать модальный регулятор для системы автоматического управления турбогенераторной установки.
4. Смоделировать систему управления турбогенератором с модальным регулятором и посмотреть, как изменится поведение системы.
5. Сделать сравнительный анализ полученной системы с модальным регулятором и без.

Область исследования

Содержание диссертации соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-40 80 01 «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления».

Объект исследования – система управления турбогенераторной установкой.

Теоретическая и методологическая основа исследования

В основу диссертации легли работы белорусских и зарубежных ученых в области исследования систем подчиненного управления. Информационная база исследования сформирована на основе литературы, открытой информации, технических нормативно-правовых актов, сведений из электронных ресурсов, а также материалов научных конференций и семинаров. Теоретической основой исследований, проведенных в работе, являются общенаучные методы сравнительного анализа, методы оценки количественных и качественных показателей переходных процессов систем

управления.

Информационная база

Исследования сформирована на основе открытой информации, предоставляемой производителями систем обеспечения безопасности, нормативно-правовых документов органов государственной власти Республики Беларусь, сведений из ресурсов Интернет, а также материалов научных изданий, конференций и семинаров.

Инструментальная база

Исследований является пакет прикладных программ Matlab.

Положения теоретического характера, выносимые на защиту:

1. Систему автоматического управления турбогенератором в энергосистеме следует оборудовать модальным регулятором для увеличения быстродействия и качества регулирования.

2. Система автоматического управления турбогенератором в энергосистеме с модальным регулятором обеспечивает увеличение быстродействия по сравнению с традиционными регуляторами без расширения амплитудно-частотной характеристика на высоких частотах.

3. Модальный регулятор позволяет практически избавиться от статизма в системе автоматического управления турбогенератором в энергосистеме.

4. Применение наблюдателей состояния для восстановления не измеряемых координат объекта регулирования позволит построить более эффективную систему автоматического управления турбогенератором в энергосистеме.

Положения прикладного характера, выносимые на защиту:

1. Контур вторичного регулирования системы автоматического управления турбогенератором в энергосистеме можно заменить модальным регулятором.

2. Модальное регулирование турбогенератором в энергосистеме можно на той же базе, что и вторичное регулирование, если оно реализована на программируемом логическом контроллере (ПЛК).

3. Ввод модального регулятора в контур управления частотой вращения позволяет не вводить интегрирующее звено в прямую цепь регулятора. Это означает, что в режиме холостого хода (при отключении турбоагрегата от энергосети) в системе будет только одно интегральное звено генератора, а не два звена в генераторе и регуляторе, как в современных системах.

Публикации

Основные положения работы и результаты диссертации изложены в трех опубликованных работах общим объемом 5 страницы (авторский объем 5 страницы).

Апробация и внедрение результатов исследования

По теме магистерской диссертации проведен доклад на Международная научная конференция «Информационные технологии и системы-2018», 54-ой и 55-ой юбилейной научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР в секции систем управления. Опубликованы тезисы в материалах международной научной конференции Информационные технологии и системы 2018 (ИТС 2018)(БГУИР, Минск, Беларусь, 25 октября 2018) в секции систем управления стр. 80-81, в сборнике посвященном 54-ой научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР (в секции систем управления) и в сборнике посвященном 55-ой научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР (в печати).

Структура и объем работы

Объем пояснительной записки – 58 страниц. Работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы. Пояснительная записка содержит 22 рисунка. Библиографический список включает 36 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В работе был произведен обзор существующих систем автоматического управления турбогенераторной установкой, освещены основные особенности данных систем, выделены проблемы возникающие при эксплуатации системы.

При моделировании работы современной системы автоматического регулирования скорости турбогенератора использовали параметры системы для математической модели были взяты из диссертации на соискание степени магистра Филимонова Н.Ю. " Разработка математической модели цифрового автоматического регулятора возбуждения АРВ-РЭМ 700 и оптимизация его параметров для Запорожской АЭС" (СПбПУ, Санкт-Петербург 2016 г) в которой представлены параметры работающей на Запорожской АЭС турбогенераторной установки.

По результатам моделирования работы современной системы управления турбогенераторной установкой были выявлены следующие основные проблемы этих систем:

1. Автоматические регуляторы скорости (АСР) турбины обладают зоной нечувствительности, величина которой характеризует регулятора. Для регуляторов паровых турбин зона нечувствительности составляет не более 0,3 %, для регуляторов гидравлических турбин не более 0,06 %. АРС обладает статизмом (неравномерностью) регулирования. Статизм выбирают в пределах 3-7 %.

2. Долгое время отклика генераторной установки на возмущающее воздействие. В процессе работы система автоматического управления турбогенератором в энергосистеме должна оперативно срабатывать на все изменения в системе, потому что подключение новых и отключение работающих от сети потребителей спонтанно и практически моментально. Чем выше будет быстродействие системы управления, тем выше будет качество вырабатываемой энергии. По результатам моделирования время входа в 5 % трубку для управления по возмущению равняется 6,3 с. Большое время отклика системы управления на возмущение в системе управления турбогенератором является существенным недостатком этой системы.

3. Серьезный недостаток системы автоматического управления турбогенератором - колебательный характер САУ в режиме холостого хода. Если частота генерируемой энергии не попадает в допустимый диапазон дольше допустимого времени, то турбогенератор отключается от энергосистемы автоматически. В режиме холостого избыточный момент расходуется на разгон ротора турбины, и генератор является уже

интегрирующим элементом системы. С появлением в системе интегрирующего элемента система приобретает явно выраженный колебательный характер (особенно это заметно при больших коэффициентах усиления).

Далее этой работе выявленные проблем решаются путем изменения закона регулирования. Качество генерируемой энергии улучшается помощью введения модального регулятора, который охватывает всю систему, не изменяет полосу пропускания и не форсирует процессы управления. Путем выбора частоты масштабирования желаемого характеристического полинома достигается совпадение с высокочастотной частью объекта управления с имеющимся регулятором. Можно заметить, что с помощью метода модального управления получили желаемый вид переходного процесса с необходимым перерегулированием и временем переходного процесса, используя стандартные распределения нормированных коэффициентов, что свидетельствует о высокой точности расчетов по данному методу.

Начало переходного процесса системы управления с модальным регулятором совпадает с переходным процессом системы без модального регулятора, но окончание наступает в 2-3 раза быстрее с меньшим перерегулированием около 0.02 %. Из переходной характеристики видно, что исчез статизм контура регулирования частоты. Также в автоматической системе управления турбогенераторной установкой с модальным регулятором отсутствует контуре управления интегрирующее звено что не сказывается на его управлении, а в режиме холостого хода в контур управления не превратится в колебательное звено.

Модель системы с наблюдателем дает такой же результат, что и система с модальным регулятором, но является выигрышной с точки зрения надежности и экономии.

Применение модального регулирования или введения наблюдателя в контур управления позволит заметно улучшить качество генерируемой энергии, а также увеличит надежность и срок службы турбоагрегата.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе был проведен анализ существующих систем автоматического управления турбогенераторных установок в энергосистеме, выявлены проблемы современных систем управления турбогенератором, а также исследована возможность применения модального регулятора и наблюдателя на основе модального регулятора в качестве способа управления турбогенератором.

В результате исследования, были получены следующие результаты:

1. Систему автоматического управления турбогенератором в энергосистеме следует оборудовать модальным регулятором для увеличения быстродействия и качества регулирования.

2. Система автоматического управления турбогенератором в энергосистеме с модальным регулятором обеспечивает увеличение быстродействия по сравнению с традиционными регуляторами без расширения амплитудо-частотной характеристика на высоких частотах.

3. Модальный регулятор позволяет практически избавиться от статизма в системе автоматического управления турбогенератором в энергосистеме.

4. Применение наблюдателей состояния для восстановления не измеряемых координат объекта регулирования позволит построить более эффективную систему автоматического управления турбогенератором в энергосистеме.

5. Контур вторичного регулирования системы автоматического управления турбогенератором в энергосистеме можно заменить модальным регулятором.

6. Модальное регулирование турбогенератором в энергосистеме можно на той же базе, что и вторичное регулирование, если оно реализована на ПЛК.

7. Ввод модального регулятора в контур управления частотой вращения позволяет не вводить интегрирующее звено в прямую цепь регулятора. Это означает, что в режиме холостого хода (при отключении турбоагрегата от энергосети) в системе будет только одно интегральное звено генератора, а не два звена в генераторе и регуляторе, как в современных системах.

Данные для модели исследования были взяты из диссертации на соискание степени магистра Филимонова Н.Ю. " Разработка математической модели цифрового автоматического регулятора возбуждения АРВ-РЭМ 700 и оптимизация его параметров для Запорожской АЭС " СПбПУ, Санкт-Петербург 2016 г [29]. По результатам работы видно, что системы автоматического управления турбогенератором с модальным регулятором в 2-3 раза быстрее современных систем управления, а системы с наблюдателем

позволит реализовать модальное управление без знания всех состояний системы.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

Ярохович А.А., Хаджинов М. К. Анализ существующих систем управления турбогенераторной установкой / А. А. Ярохович, М. К. Хаджинов // Материалы работы 54-й научной конференции ас-пирантов, магистрантов и студентов БГУИР. – Минск: БГУИР, 23-27 апреля 2018.

Ярохович А.А., Хаджинов М. К. Проблемы систем управления турбогенераторной установкой / А. А. Ярохович, М. К. Хаджинов // Материалы международной научной конференции Информационные технологии и системы 2018 (ИТС 2018). – Минск: БГУИР, 25 октября 2018.

Ярохович А.А., Хаджинов М. К. Система автоматического управления турбогенератором с модальным регулятором / А. А. Ярохович, М. К. Хаджинов // Материалы работы 55-й научной конференции ас-пирантов, магистрантов и студентов БГУИР. – Минск: БГУИР, 22-27 апреля 2019 (в печати).