ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ «ОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

61 12-5/2130 „

РЫСЕВ

ДМИТРИЙ ВАЛЕРЬЕВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО РЕЗОНАНСА

ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ БИФУРКАЦИЙ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА

В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Специальность 05Л4.02 - Электрические станции и электроэнергетические

системы

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель доктор технических наук, профессор Федоров Владимир Кузьмич

Омск - 2012

ВВЕДЕНИЕ 4

Елава 1 ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКИ. РЕЖИМЫ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО РЕЗОНАНСА В ЭНЕРГОСИСТЕМАХ 17

1.1 Динамическая система и ее математическая модель 17

1.2 Исследование свойств динамических систем 18

1.3 Фазовые портреты типовых колебательных систем 20

1.4 Бифуркационные режимы колебательных систем 25

1.4.1 Детерминированный хаос 26

1.4.2 Странные аттракторы 29

1.5 Математические модели энергосистем 30

1.5.1 Классическая модель 31

1.5.2 Модель энергосистемы на базе уравнений Парка - Горева в

координатах d, q 32

1.5.3 Возможные пути возникновения бифуркационных режимов в

энергосистемах 34

1.5.4 Бифуркации и неустойчивость 38

1.6 Режимы электромеханического резонанса в энергосистемах 42

1.6.1 Электромеханический резонанс 43

1.6.2 Математическая модель электромеханического резонанса 45

1.6.3 Мероприятия по борьбе с электромеханическим резонансом 52

1.7 Выводы 56

Глава 2 ВЛИЯНИЕ ДЕМПФЕРНЫХ ОБМОТОК ГЕНЕРАТОРА НА РЕЖИМЫ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО РЕЗОНАНСА 58

2.1 Описание модели 58

2.2 Система уравнений 59

2.3 Модель энергосистемы без учета влияния демпферных обмоток 63

2.4 Модель энергосистемы с учетом влияния демпферных обмоток 73

2.5 Выводы 92

Глава 3 ВЛИЯНИЕ НАСЫЩЕНИЯ СТАЛИ ГЕНЕРАТОРА НА РЕЖИМЫ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО РЕЗОНАНСА 94

З Л Описание модели 95

3.2 Система уравнений 95

3.3 Модель энергосистемы без учета насыщения стали генератора 98

3.4 Модель энергосистемы с учетом насыщения стали генератора 106

3.5 Выводы 111

Глава 4 УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМАМИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО РЕЗОНАНСА 113

4.1 Теоретические положения 113

4.2 Математическая модель энергосистемы с контроллером 115

4.3 Рабочие состояния энергосистемы и их устойчивость 117

4.4 Численное моделирование энергосистемы без контроллера 120

4.5 Численное моделирование энергосистемы с линейным контроллером 123

4.6 Численное моделирование энергосистемы с нелинейным контроллером 128

4.7 Выводы 130

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ 131

ЛИТЕРАТУРА 133

Приложение А 142

4.7 Выводы

1. Предложено введение линейного контроллера в систему автоматического регулятора возбуждения генератора для предотвращения ЭМР и увеличения области нормальной работы турбогенератора. Показано, что перемещение точки бифуркации Андронова-Хопфа к верхним значениям уровня продольной компенсации при использовании линейного контроллера сокращает область режимов ЭМР энергосистемы.

2. Определены по результатам компьютерного моделирования численные значения уровня продольной компенсации для отыскания коэффициента усиления и постоянной времени нелинейного контроллера в системе АРВ генератора, оптимальных для подавления амплитуд хаотических колебаний, приводящих к ЭМР.

3. Представлены результаты спектрального анализа бифуркационных

колебаний параметров режима энергосистемы, зависимости действительных и мнимых частей комплексно-сопряженных собственных значений матрицы Якоби системы дифференциальных уравнений, описывающей поведение энергосистемы, бифуркационные диаграммы, временные диаграммы

отклонений углов поворота роторов генераторов и отклонений угловой частоты и фазовые портреты для этих параметров режима при использовании линейного и нелинейного контроллеров.

Показано, что чем больше коэффициент усиления нелинейного контроллера, тем меньше амплитуда предельного цикла, возникающего после бифуркации Андронова-Хопфа. Увеличивая коэффициент усиления, можно подавить вторичную бифуркацию Андронова-Хопфа и, следовательно, предотвратить режим ЭМР в энергосистеме