

Министерство образования и науки Российской Федерации  
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

---

А.П. ДОЛГОВ

# УСТОЙЧИВОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Утверждено Редакционно-издательским советом университета  
в качестве учебного пособия

НОВОСИБИРСК  
2010

УДК 621.311.016.35(075.8)

Д 64

Рецензенты:

д-р техн. наук, профессор *В.М. Чебан*,  
нач. отдела Сибтехэнерго *К.А. Баракин*

Работа подготовлена на кафедре АЭЭС

**Долгов А.П.**

Д 64 Устойчивость электрических систем : учеб. пособие /  
А.П. Долгов. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2010. – 176 с.

ISBN 978-5-7782-1320-3

Рассмотрены вопросы параллельной работы электрических систем. Приведено описание некоторых крупных системных аварий. Отражены особенности протекания электрохимического переходного процесса в электроэнергетической системе. Разобраны угловые характеристики мощности генераторов, статические характеристики асинхронных двигателей и комплексной нагрузки. Изложены основные методы анализа устойчивости электроэнергетических систем. Рассмотрен асинхронный режим. Даны сведения по противоаварийной автоматике, применяемой в современных условиях. Материал сопровождается достаточно объемными примерами.

Учебное пособие отвечает требованиям Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по подготовке бакалавров для направления 140200 – «Электроэнергетика», инженеров и магистров для специальности 140205 – «Электроэнергетические системы и сети». Пособие может быть полезно также аспирантам.

УДК 621.311.016.35(075.8)

ISBN 978-5-7782-1320-3

© Долгов А.П., 2010

© Новосибирский государственный  
технический университет, 2010

## Оглавление

Предисловие .....	5
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ .....	6
1.1. Проблема устойчивости .....	6
1.2. Переходный электромеханический процесс электроэнергетической системы .....	8
1.3. Условия существования послеаварийного установившегося режима .....	9
1.4. Нелинейности в электрических системах .....	12
1.5. Нормативные положения по устойчивости .....	13
1.6. Аварии в электроэнергетических системах .....	16
1.7. Назначение расчетов устойчивости .....	28
1.8. Математические модели основных элементов ЭЭС в расчетах устойчивости .....	29
2. СТАТИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ .....	31
2.1. Статистические характеристики турбоагрегата по частоте .....	32
2.2. Угловые характеристики мощности .....	34
2.2.1. Схема электропередачи .....	34
2.2.2. Векторная диаграмма электропередачи с неявнополусным генератором .....	36
2.2.3. Векторная диаграмма электропередачи с явнополусным генератором .....	38
2.2.4. Применение векторных диаграмм в анализе электромеханических переходных процессов .....	40
2.2.5. Мощность синхронной машины .....	41
2.2.5.1. Мощность электропередачи с неявнополусной машиной .....	42
2.2.5.2. Мощность электропередачи с явнополусной машиной .....	50
2.2.6. Угловые характеристики мощности в многомашинной системе .....	53
2.2.7. Представление о статической устойчивости электрической системы .....	61
2.3. Статические характеристики и устойчивость нагрузки .....	64
2.3.1. Статические характеристики нагрузки, представленной постоянным сопротивлением .....	64
2.3.2. Статические характеристики асинхронного двигателя .....	66
2.3.2.1. Активная мощность асинхронного двигателя .....	66
2.3.2.2. Активная мощность асинхронного двигателя с учетом внешнего сопротивления .....	70
2.3.2.3. Реактивная мощность асинхронного двигателя .....	71
2.3.3. Статические характеристики ламп накаливания .....	72
2.3.4. Статические характеристики комплексной нагрузки .....	73
2.3.5. Вторичные признаки устойчивости нагрузки .....	75
2.3.6. Применение критерия $dE/dU$ .....	76
3. ДИНАМИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ .....	78
3.1. Уравнение движения ротора .....	79
3.2. Виды записи уравнения движения ротора .....	83
3.3. Применение принципа постоянства потокосцепления обмотки возбуждения в расчетах динамической устойчивости .....	85

3.4. Динамическая устойчивость простейшей системы .....	88
3.5. Асинхронный режим .....	91
3.5.1. Процесс выпадения из синхронизма .....	91
3.5.2. Особенности асинхронного режима .....	93
3.5.3. Влияние асинхронного режима на генератор .....	96
3.5.4. Влияние асинхронного режима на систему .....	96
3.5.5. Прекращение асинхронного режима .....	97
4. МЕТОДЫ АНАЛИЗА УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ .....	101
4.1. Анализ устойчивости методом малых колебаний .....	101
4.2. Анализ устойчивости методом фазовой плоскости .....	113
4.3. Численное интегрирование дифференциальных уравнений .....	122
4.3.1. Метод последовательных интервалов .....	123
4.4. Анализ динамической устойчивости методом площадей .....	129
4.5. Критерии статической устойчивости .....	135
5. ПРОТИВОАВАРИЙНАЯ АВТОМАТИКА .....	138
5.1. Автоматика повторного включения .....	138
5.2. Автоматика предотвращения нарушения устойчивости (АПНУ) .....	140
5.2.1. Влияние регуляторов возбуждения на устойчивость ЭЭС .....	141
5.2.2. Повышение пропускной способности линий электропередачи .....	145
5.2.3. Разгрузка электропередачи при увеличении передаваемой мощности до критического значения .....	146
5.2.4. Влияние импульсной разгрузки турбин на динамическую ус- тойчивость .....	146
5.2.5. Влияние электрического торможения (ЭТ) на динамическую устойчивость .....	147
5.2.6. Влияние отключения части генераторов на динамическую ус- тойчивость .....	148
5.2.7. Изменение угла $\delta$ сдвига фаз напряжений по концам линии (фазовое управление) .....	149
5.3. Автоматика ликвидации асинхронного режима (АЛАР) .....	150
5.4. Автоматика предотвращения недопустимых изменений режимных параметров .....	152
5.4.1. Автоматика противоаварийных отключений и включений по изменениям напряжения .....	152
5.4.1.1. Автоматика ограничения снижений напряжения (АОСН) .....	152
5.4.1.2. Автоматика ограничения повышений напряжения (АОПН) .....	152
5.4.2. Автоматика частотной разгрузки и частотного повторного включения (АЧР и ЧАПВ) .....	153
5.4.3. Автоматика управления синхронными генераторами при изменениях частоты .....	154
5.4.3.1. Автоматика отключения синхронных генераторов .....	154
5.4.3.2. Автоматика частотного пуска и загрузки гидрогенераторов .....	155
5.5. Автоматический ввод резервного питания (АВР) .....	155
5.6. Факторы, влияющие на устойчивость .....	156
Приложения .....	160
Библиографический список .....	174