

# ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

## Цыпкин Я. З. Релейные автоматические системы

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА» ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ  
ЛИТЕРАТУРЫ

Москва 1974

Широко применяющиеся в разных областях техники релейные автоматические системы существенно нелинейны. Тем не менее их теория может быть основана на хорошо известных понятиях теории линейных систем, таких, как временные и частотные характеристики, передаточная функция.

Изложенная в книге теория позволяет простым и физически прозрачным путем исследовать разнообразные режимы работы релейных систем (устойчивость, автоколебания, вынужденные колебания, субгармонические колебания, скользящие движения и т. п.). Наряду с типичными релейными системами рассмотрены релейные системы с несколькими релейными элементами, частотно-импульсные системы и релейные экстремальные системы. Основное внимание уделено изучению общих свойств релейных автоматических систем. Большое место занимают примеры исследования конкретных релейных систем.

**Релейные автоматические системы**, Я. З. Цыпкин. Главная редакция физико-математической литературы, изд-во «Наука», М., 1974, 576 стр.

### Содержание книги Релейные автоматические системы

Предисловие  
Введение

#### **Глава I. Релейные автоматические системы и их классификация**

- § 1.1. Примеры релейных систем
- § 1.2. Линейная часть системы и релейные элементы
- § 1.3. Классификация релейных систем

#### **Глава II. Уравнения релейных автоматических систем**

- § 2.1. Уравнения и передаточные функции линейной части системы
- § 2.2. Временные и частотные характеристики линейной части системы
- § 2.3. Уравнения релейных элементов
- § 2.4. Уравнения релейных систем
- § 2.5. Примеры

#### **Глава III. Процессы в релейных автоматических системах**

- § 3.1. Особенности релейных систем
- § 3.2. Переходные процессы в релейных системах
- § 3.3. Переходные процессы в релейных системах с гистерезисом
- § 3.4. Переходные процессы в релейных системах с зоной нечувствительности
- § 3.5. Примеры

# ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

---

## § 3.6. Режимы работы релейных систем

### **Глава IV. Устойчивость релейных автоматических систем**

- § 4.1. О положении равновесия
- § 4.2. Понятие устойчивости
- § 4.3. Условия устойчивости в малом
- § 4.4. Критерии устойчивости в малом
- § 4.5. Условия устойчивости в целом
- § 4.6. Критерий устойчивости в целом
- § 4.7. Частные случаи
- § 4.8. Примеры

### **Глава V. Автоколебания в релейных автоматических системах**

- § 5.1. Особенности периодических режимов
- § 5.2. Поведение разомкнутой релейной системы при периодическом воздействии
- § 5.3. Условия существования автоколебаний
- § 5.4. Условия существования автоколебаний
- § 5.5. О сложных видах автоколебаний
- § 5.6. О несимметричных автоколебаниях
- § 5.7. Автоколебания в связных релейных системах

### **Глава VI. Исследование автоколебаний в релейных автоматических системах**

- § 6.1. Годографы релейной системы
- § 6.2. Годографы релейных систем без зоны нечувствительности
- § 6.3. Годографы релейных систем с зоной нечувствительности
- § 6.4. Годографы релейных систем с несимметрией
- § 6.5. Годографы связных релейных систем
- § 6.6. Способы повышения частоты автоколебаний
- § 6.7. Примеры

### **Глава VII. Вынужденные колебания в релейных автоматических системах**

- § 7.1. Понятие о вынужденных колебаниях
- § 7.2. Условия существования вынужденных колебаний
- § 7.3. О сложных видах вынужденных колебаний
- § 7.4. О несимметричных вынужденных колебаниях
- § 7.5. О вынужденных колебаниях в связных релейных системах
- § 7.6. Условия существования субгармонических колебаний

### **Глава VIII. Исследование вынужденных колебаний в релейных автоматических системах**

- § 8.1. Релейные системы без зоны нечувствительности
- § 8.2. Релейные системы с зоной нечувствительности
- § 8.3. Релейные системы с несимметрией
- § 8.4. Связные релейные системы
- § 8.5. Субгармонические колебания
- § 8.6. Примеры

### **Глава IX. Устойчивость периодических режимов в релейных автоматических**

# ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

---

## **системах**

- § 9.1. Понятие устойчивости периодических режимов
- § 9.2. Уравнения в вариациях
- § 9.3. Уравнения в вариациях при отсутствии зоны нечувствительности
- § 9.4. Уравнение в вариациях при наличии зоны нечувствительности
- § 9.5. Уравнение в вариациях для сложных режимов
- § 9.6. Уравнение в вариациях для несимметричных режимов
- § 9.7. Уравнение в вариациях связанных релейных систем
- § 9.8. Различные представления  $W^*(p, \pm y)$
- § 9.9. Условия устойчивости периодических режимов

## **Глава X. Критерии устойчивости периодических режимов в релейных автоматических системах**

- § 10.1. Частотный критерий устойчивости
- § 10.2. Алгебраический критерий устойчивости
- § 10.3. Релейные системы без зоны нечувствительности
- § 10.4. Релейные системы с зоной нечувствительности
- § 10.5. Релейные системы с несимметрией
- § 10.6. О влиянии случайных воздействий на периодические режимы
- § 10.7. Примеры

## **Глава XI. Определение формы периодических режимов**

- § 11.1. Форма периодических режимов
- § 11.2. Определение формы периодического режима по частотной и переходной характеристикам
- § 11.3. Определение формы периодического режима по передаточной функции
- § 11.4. Реакция линейной части на периодическое воздействие
- § 11.5. Примеры
- § 11.6. Оценка формы периодического режима
- § 11.7. Частотные характеристики релейных систем
- § 11.8. Сопоставление результатов точного и приближенного методов

## **Глава XII. Линеаризация релейных автоматических систем**

- § 12.1. Физические основы линеаризации релейного элемента
- § 12.2. Линеаризация вынужденными колебаниями
- § 12.3. Линеаризация автоколебаниями
- § 12.4. Линеаризация при помощи скользящего режима
- § 12.5. Сопоставление способов линеаризации

## **Глава XIII. Частотно-импульсные автоматические системы**

- § 13.1. Понятие о частотно-импульсных автоматических системах
- § 13.2. Представление частотно-импульсной системы в виде релейной автоматической системы
- § 13.3. Критерий устойчивости в целом
- § 13.4. Частные случаи
- § 13.5. О периодических режимах

## **Глава XIV. Релейные экстремальные автоматические системы**

# ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

---

§ 14.1. Структурная схема

§ 14.2. Поведение разомкнутой релейной экстремальной системы при периодическом воздействии

§ 14.3. Условия существования периодических режимов

§ 14.4. Годограф релейной экстремальной системы

§ 14.5. Исследование периодических режимов

§ 14.6. О сложных периодических режимах

§ 14.7. Пример

Приложения

1. Преобразование Лапласа

2. Ряды Фурье

3. Импульсивные функции

4. Годографы типовых релейных автоматических систем

Обзор работ по теории релейных автоматических систем

Литература

Именной указатель

Предметный указатель

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Релейные автоматические системы широко применяются в самых разнообразных областях техники, отличаясь простотой, а в ряде случаев и лучшими динамическими свойствами, чем иные типы систем управления. Они используются как в стационарных системах управления промышленного назначения, так и в системах управления подвижными объектами, предназначенных, например, для космических исследований.

Появление разнообразных возможностей создания релейных элементов на новых принципах, не требующих контактных устройств и допускающих изменение параметров релейного элемента, позволяет придать релейным системам новые свойства.

По своему принципу работы релейные системы существенно нелинейны. Поэтому рассмотрение их непосредственно при помощи хорошо известных в теории автоматического управления линейных методов невозможно.

Тем не менее, специфическая особенность релейных автоматических систем, состоящая в том, что форма выходной величины релейного элемента не зависит существенно от формы его входной величины, позволяет произвести исследование их сравнительно простыми средствами, не прибегая к сложному математическому аппарату, мало знакомому широкому кругу специалистов. Более того, эта особенность дает возможность развить методы расчета релейных автоматических систем, в некотором смысле аналогичные методам расчета линейных систем.

Подобная аналогия приводит не только к упрощению расчетов, но и сохраняет привычные понятия, представления и терминологию линейной теории автоматического управления.

К числу важных понятий линейной теории автоматического управления относятся

# ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

---

передаточная функция. Частотная характеристика, временные характеристики, включающие импульсную и переходную характеристики. Цель настоящей книги состоит в изложении на основе этих понятий теории релейных автоматических систем, позволяющей наиболее простым и физически ясным путем исследовать релейные системы.

Основное внимание в книге уделено методу исследования и изучению общих свойств релейных автоматических систем. Большое место занимают также примеры исследования и расчета конкретных и релейных автоматических систем.

Все этапы анализа и расчета релейных автоматических систем проводятся как по передаточной функции, так и по частотной характеристике, либо по временным характеристикам линейной части системы. Частотные и временные характеристики линейной части системы могут быть заданы в виде графиков или таблиц, составленных по экспериментальным данным.

Основу этой книги составляет теория, изложенная в книге автора «Теория релейных систем автоматического регулирования», Гостехиздат, М., 1955 г. За прошедшее время теорию релейных автоматических систем удалось развить и дополнить. Эти дополнения касаются устойчивости релейных автоматических систем, анализа субгармонических колебаний, влияния на периодические колебания случайных воздействий, исследования частотно-импульсных систем как разновидности релейных автоматических систем, исследования влияния отрицательного гистерезиса на динамику релейных автоматических систем, анализа многомерных релейных систем и релейных экстремальных систем.

В настоящей книге учтены также исправления и дополнения из немецкого, японского, французского и испанского переводов первого издания, появившиеся в период 1958—1969 гг.

Книга рассчитана на читателя, знакомого с элементами линейной теории автоматического управления, и, следовательно, имеющего понятие о рядах Фурье и операционном исчислении. Впрочем, отметим, что большая часть необходимых математических сведений, а также графики, необходимые при расчете релейных автоматических систем, приводятся в приложениях, помещенных в конце книги.

[Скачать книгу Цыпкин Я. З. Релейные автоматические системы.](#) Главная редакция физико-математической литературы, издательство «Наука», Москва, 1974