

УДК 621.373 (075)

ББК 32.88

Б19

Рецензенты: доктор техн. наук, профессор *А. Е. Дубинин*; доктор техн. наук, профессор *В. Ф. Дмитриков*

Бакалов В. П., Журавлева О. Б., Крук Б. И.

Б19 Основы анализа цепей: Учебное пособие для вузов.— 2-е изд., стереотип. — М.: Горячая линия—Телеком, 2014. — 592 с: ил.

ISBN 978-5-9912-0306-7.

Учебное пособие предназначено для самостоятельного изучения основных разделов теории цепей. В первой части пособия с единых позиций рассматриваются вопросы анализа линейных, нелинейных и дискретных цепей, находящихся под воздействием гармонических, периодических негармонических, непериодических и дискретных колебаний. Вторая часть пособия содержит материал об аналоговых и дискретных устройствах, входящих в состав радио- и проводной аппаратуры связи: электрических аналоговых и дискретных фильтрах, корректорах, генераторах, нелинейных преобразователях. Пособие может быть использовано как при традиционных, так и дистанционных технологиях обучения студентов.

Для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки 210700 — «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» квалификации (степени) «бакалавр» и квалификации (степени) «магистр», будет полезно для студентов вузов и колледжей, обучающихся по специальностям связи и информатики.

ББК 32.88

Адрес издательства в Интернет WWW.TECHBOOK.RU

Учебное издание

Бакалов Валерий Пантелеевич, **Журавлева** Ольга Борисовна,

Крук Борис Иванович

ОСНОВЫ АНАЛИЗА ЦЕПЕЙ

Учебное пособие

Обложка художника *В. Г. Ситникова*

Подписано к печати 05.12.2013. Формат 60×90 1/16., Усл. печ. л. 37. Изд. № 13306. Тираж 500 экз.

ISBN 978-5-9912-0306-7

© В. П. Бакалов, О. Б. Журавлева,

Б. И. Крук, 2012, 2014

© Издательство «Горячая линия—Телеком», 2012

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|------------|
| Предисловие | 3 |
| Вместо введения: задача анализа цепей | 5 |
| В.1 Элементы электрической цепи | 5 |
| В.2 Воздействие и реакция | 12 |
| В.3 Методы анализа цепей | 17 |
| ЧАСТЬ 1 Анализ реакции цепей на различные воздействия | 22 |
| Глава 1 Анализ реакции линейной цепи на постоянное воздействие .. | 22 |
| 1.1 Постановка задачи | 22 |
| 1.2 Расчет реакции линейной цепи с одним источником воздействия | 23 |
| 1.3 Расчет реакции линейной цепи с несколькими источниками воздействий | 35 |
| 1.4 Коэффициент передачи резистивной цепи | 54 |
| Вопросы и задания для самоконтроля | 60 |
| Глава 2 Анализ реакции линейной цепи на гармоническое воздействие | 63 |
| 2.1 Математическое описание гармонических колебаний | 63 |
| 2.2 Гармонические колебания в пассивных элементах электрической цепи | 86 |
| 2.3 Расчет реакции цепи в символической форме | 100 |
| 2.4 Комплексные передаточные функции | 110 |
| Вопросы и задания для самоконтроля | 115 |
| Глава 3 Анализ реакции линейной цепи на периодическое воздействие сложной формы | 117 |
| 3.1 Представление периодического воздействия рядом Фурье | 117 |
| 3.2 Спектры амплитуд и фаз периодических колебаний | 135 |
| 3.3 Анализ реакции линейной цепи методом суперпозиции (наложения) | 150 |
| 3.4 Расширение понятия комплексной передаточной функции. Спектральный анализ цепи | 156 |
| Вопросы и задания для самоконтроля | 165 |
| Глава 4 Анализ реакции линейной цепи на непериодическое воздействие сложной формы (спектральный метод) | 167 |
| 4.1 Представление непериодического воздействия интегралом Фурье | 167 |
| 4.2 Спектральные плотности амплитуд и фаз непериодических колебаний | 171 |
| 4.3 Еще раз о комплексных передаточных функциях и частотных характеристиках цепи | 192 |
| 4.4 Спектральный анализ цепей при непериодических воздействиях | 197 |
| Вопросы и задания для самоконтроля | 205 |

| | |
|--|------------|
| Глава 5 Анализ реакции линейной цепи на непериодическое воздействие сложной формы (операторный метод) | 207 |
| 5.1 Представление непериодического воздействия интегралом Лапласа | 207 |
| 5.2 Законы Ома и Кирхгофа в операторной форме | 223 |
| 5.3 Операторный метод расчета реакции цепи | 230 |
| 5.4 Операторные передаточные функции | 236 |
| 5.5 Связь со спектральным методом | 241 |
| Вопросы и задания для самоконтроля | 242 |
| Глава 6 Анализ реакции линейной цепи на непериодическое воздействие сложной формы (временной метод) | 245 |
| 6.1 Испытательные сигналы | 245 |
| 6.2 Импульсная характеристика цепи | 248 |
| 6.3 Анализ реакции цепи с помощью интеграла наложения | 254 |
| 6.4 Переходная характеристика цепи | 259 |
| 6.5 Анализ реакции цепи с помощью интеграла Дюамеля | 264 |
| Вопросы и задания для самоконтроля | 272 |
| Глава 7 Анализ реакции линейной цепи при коммутациях (переходные процессы) | 275 |
| 7.1 Законы коммутации | 275 |
| 7.2 Расчет начальных условий в моменты коммутации | 277 |
| 7.3 Расчет установившихся реакций в цепи | 281 |
| 7.4 Расчет переходных реакций в цепях первого порядка | 287 |
| 7.5 Расчет переходных реакций в цепях второго порядка | 312 |
| Вопросы и задания для самоконтроля | 334 |
| Глава 8 Анализ реакции нелинейной резистивной цепи на постоянное и гармоническое воздействия | 336 |
| 8.1 Нелинейные резистивные элементы и их сопротивления постоянному и переменному токам | 336 |
| 8.2 Расчет реакции нелинейной цепи на постоянное воздействие | 338 |
| 8.3 Аппроксимация вольт-амперных характеристик нелинейных резистивных элементов | 348 |
| 8.4 Расчет спектрального состава тока в резистивном нелинейном элементе при гармоническом воздействии | 355 |
| Вопросы и задания для самоконтроля | 367 |
| Глава 9 Анализ реакции линейной дискретной цепи на дискретные воздействия | 368 |
| 9.1 Дискретные сигналы | 368 |
| 9.2 Спектры дискретных сигналов | 373 |
| 9.3 Z-преобразование дискретного сигнала | 382 |
| 9.4 Нерекурсивная дискретная цепь и ее реакция на дискретное воздействие | 395 |
| 9.5 Рекурсивная дискретная цепь и ее реакция на дискретное воздействие | 407 |

| | |
|--|------------|
| 9.6 Типовые звенья дискретных цепей | 419 |
| Вопросы и задания для самоконтроля | 424 |
| ЧАСТЬ 2 Анализ и расчет узлов аппаратуры связи | 427 |
| Глава 10 Анализ поведения линейных четырехполюсников на комплексной плоскости | 427 |
| 10.1 Комплексные и операторные передаточные функции нагруженного четырехполюсника. Условия их физической реализуемости | 427 |
| 10.2 Расчет передаточных функций цепей с обратной связью. Устойчивость цепей | 436 |
| Вопросы и задания для самоконтроля | 447 |
| Глава 11 Анализ и расчет электрических фильтров | 449 |
| 11.1 Типы и характеристики фильтров | 449 |
| 11.2 Анализ фильтров нижних частот Баттерворта, Чебышева и Золотарева | 454 |
| 11.3 Расчет и построение схем электрических фильтров нижних частот | 465 |
| 11.4 Переход к фильтрам верхних частот, полосовым и заграждающим | 473 |
| 11.5 Анализ фильтров с механическими резонаторами | 479 |
| Вопросы и задания для самоконтроля | 481 |
| Глава 12 Анализ и расчет амплитудных корректоров | 483 |
| 12.1 Амплитудно-частотные искажения сигнала и их коррекция | 483 |
| 12.2 Анализ схем амплитудных корректоров | 486 |
| 12.3 Расчет пассивных амплитудных корректоров | 498 |
| Вопросы и задания для самоконтроля | 502 |
| Глава 13 Анализ и расчет фазовых корректоров | 503 |
| 13.1 Фазо-частотные искажения сигнала и их коррекция | 503 |
| 13.2 Анализ схем фазовых корректоров | 506 |
| 13.3 Принципы расчета фазовых корректоров | 516 |
| Вопросы и задания для самоконтроля | 518 |
| Глава 14 Анализ нелинейных преобразователей сигнала | 519 |
| 14.1 Стабилизаторы постоянного напряжения | 519 |
| 14.2 Резонансные усилители и умножители частоты | 520 |
| 14.3 Ограничители мгновенных и амплитудных значений сигнала | 524 |
| 14.4 Выпрямители переменного тока | 527 |
| 14.5 Преобразователи частоты | 530 |
| Вопросы и задания для самоконтроля | 533 |
| Глава 15 Анализ генераторов гармонических колебаний | 534 |
| 15.1 Физические процессы в генераторах гармонических колебаний | 534 |
| 15.2 Типы генераторов гармонических колебаний | 537 |

| | |
|--|------------|
| 15.3 Анализ условий возникновения колебаний в генераторе | 540 |
| 15.4 Анализ работы генератора в стационарном режиме | 553 |
| 15.5 Мягкий и жесткий режимы самовозбуждения | 559 |
| Вопросы и задания для самоконтроля | 562 |
| Глава 16 Анализ и расчет дискретных фильтров | 564 |
| 16.1 Расчет параметров и реализация рекурсивных дискретных фильтров нижних частот | 564 |
| 16.2 Расчет параметров и реализация нерекурсивных дискретных фильтров нижних частот | 570 |
| 16.3 Переход к дискретным фильтрам верхних частот, полосовых и заграждающих | 573 |
| 16.4 Особенности реализации дискретных фильтров с помощью цифровых схем | 576 |
| Вопросы и задания для самоконтроля | 577 |
| Предметный указатель | 579 |
| Список литературы | 582 |
| Ответы | 583 |