

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Добротворский И. Н. Теория электрических цепей: Учебник для техникумов

Допущено Министерством связи СССР в качестве учебника

для учащихся электротехникумов связи, специальностей 2109, 2305, 2306, 2307

Москва "Радио и связь»

1989

Рецензенты: П. Н. Матханов, Л. К. Жадина

Редакция литературы по радиотехнике и электрической связи

Рассматриваются физические процессы и методы расчетов пассивных и активных электрических цепей. Подробно описываются временные и частотные характеристики различных цепей. Приводятся простейшие программы расчетов с использованием микроЭВМ. Большое внимание уделяется расчету и анализу активных цепей. Учебник иллюстрирован цветными графиками, схемами, диаграммами.

Для учащихся техникумов связи всех специальностей.

Добротворский И. Н. **Теория электрических цепей**: Учебник для техникумов. — М.: Радио и связь, 1989. - 472 с: ил.

Заведующий редакцией В. Н. Вяльцев.

Редактор В. К. Старикова.

Переплет художника Ю. В. Архангельского.

Художественный редактор А. В. Проценко.

Технический редактор Л. А. Горшкова. Корректор Т. С. Власкина

Содержание учебника Теория электрических цепей

Введение

Глава 1. Основы электростатики

- 1.1. Понятие об электрическом заряде
- 1.2. Взаимодействие зарядов
- 1.3. Электрическое поле
- 1.4. Потенциал. Напряжение
- 1.5. Электрическая емкость. Конденсаторы
- 1.6. Пробивное напряжение конденсатора
- 1.7. Энергия электрического поля

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

- 1.8. Соединение конденсаторов
- 1.9. Понятие о микросхемах
- Вопросы для самопроверки

Глава 2. Основные понятия

- 2.1. Источники электрических сигналов
- 2.2. Понятие о сигналах гармонической формы
- 2.3. Сигналы, неизменные во времени
- 2.4. Сигналы прямоугольной формы
- 2.5. Временные и спектральные представления сигналов
- 2.6. Смысл знаков "+" и "-" у источников
- 2.7. Электрический ток
- 2.8. Удельное сопротивление проводников
- 2.9. Резистивные сопротивления и проводимости
- 2.10. Внутреннее сопротивление источника
- 2.11. Электрическая цепь
- 2.12. Понятие о линейных и нелинейных резистивных сопротивлениях
- 2.13. Работа электрического тока
- 2.14. Мощность электрического тока
- 2.15. Действующие значения тока, напряжения, ЭДС
- Вопросы для самопроверки

Глава 3. Резистивные цепи

- 3.1. Неразветвленные электрические цепи
- 3.2. Расчет тока в неразветвленной цепи
- 3.3. Второй закон Кирхгофа
- 3.4. Примеры расчета неразветвленных цепей
- 3.5. Распределение потенциалов в цепи
- 3.6. Расчет токов на участке резистивной цепи с источником напряжения
- 3.7. Баланс мощностей
- 3.8. Разветвленные цепи
- 3.9. Параллельное соединение резисторов
- 3.10. Распределение токов в параллельных ветвях
- 3.11. Соединение резисторов треугольником и звездой
- 3.12. Понятие о топологических графах цепи
- 3.13. Первый закон Кирхгофа для сечений
- 3.14. Расчет цепей, содержащих резистивные сопротивления и источники напряжения с помощью законов Кирхгофа
- 3.15. Методика составления уравнений при расчете токов по законам Кирхгофа
- 3.16. Расчет системы уравнений с тремя неизвестными с помощью ПМК
- 3.17. Матричная форма записи уравнений электрического равновесия цепи
- 3.18. Проверки произведенных расчетов
- 3.19. Расчет цепей методом контурных токов
- 3.20. Метод узловых напряжений (узловых потенциалов)
- 3.21. Метод наложения
- 3.22. Метод двух узлов
- 3.23. Метод эквивалентного генератора (метод XX и K3)
- 3.24. Принцип взаимности (теорема взаимности)

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

- 3.25. Общий случай определения входных и взаимных сопротивлений (проводимостей) цепей
 - 3.26. Взаимные сопротивления (проводимости) цепей
 - 3.27. Исследование цепи с переменным сопротивлением
 - 3.28. Определение внутреннего сопротивления цепи в общем случае
 - 3.29. Понятие о четырехполюсниках. Коэффициент передачи
 - 3.30. Коэффициент передачи в мостовой схеме
 - 3.31. Делитель напряжения сплавной регулировкой
 - 3.32. Источники тока
 - 3.33. Расщепление источников
 - 3.34. Расчет цепей, содержащих источника тока
 - 3.35. Преобразование треугольника сопротивлений с источником напряжения в эквивалентную звезду
 - 3.36. Зависимые (управляемые) источники напряжения и тока
 - 3.37. Расчеты цепей с зависимыми источниками
 - 3.38. Расчет токов в цепях с зависимыми источниками методом наложения
 - 3.39. Понятие об активных элементах
 - 3.40. Понятие об операционных усилителях
 - 3.41. Эквивалентная схема ОУ
 - 3.42. Понятие об отрицательной обратной связи
 - 3.43. Преобразование сигналов синусоидальной формы в сигналы прямоугольной формы
 - 3.44. Сумматоры
 - 3.45. Конверторы отрицательных сопротивлений (КОС)
- Вопросы для самопроверки

Глава 4. Электромагнетизм и электромагнитная индукция

- 4.1. Понятие о магнитном поле
 - 4.2. Магнитное поле проводника с током
 - 4.3. Магнитное поле катушки с током
 - 4.4. Магнитная проницаемость
 - 4.5. Связь между магнитной индукцией и напряженностью магнитного поля
 - 4.6. Зависимость относительной магнитной проницаемости от напряженности поля
 - 4.7. Гистерезис
 - 4.8. Действие магнитного поля на проводник с током
 - 4.9. Взаимодействие параллельных проводников с током
 - 4.10. Электромагниты
 - 4.11. Электромагнитная индукция
 - 4.12. Закон Ленца
 - 4.13. Вихревые токи
 - 4.14. Работа по перемещению проводника с током в магнитном поле
 - 4.15. Индуктивность
 - 4.16. Индуктивность катушек с незамкнутым сердечником
 - 4.17. Связь между мгновенными напряжениями и токами в индуктивности
 - 4.18. Энергия магнитного поля
 - 4.19. Бифилярная обмотка
- Вопросы для самопроверки

Глава 5. Цепи с накопителями энергии при произвольных воздействиях

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Вопросы для самопроверки

Глава 6. Цепи при гармоническом воздействии

- 6.1. Общие положения
 - 6.2. Параметры переменного напряжения (тока) гармонической формы
 - 6.3. Графическое изображение синусоидальных величин
 - 6.4. Операции с векторами символическим методом
 - 6.5. Три формы записи комплексных чисел
 - 6.6. Математические операции с комплексными числами
 - 6.7. Запись комплексных изображений по их временным оригиналам
 - 6.8. Производная и интеграл от комплексного выражения
 - 6.9. Расчеты простейших электрических цепей с помощью комплексных выражений
 - 6.10. Комплексная проводимость
 - 6.11. Расчеты параллельных RL- и RC-цепей
 - 6.12. Мощность
 - 6.13. Эквивалентные двухполюсники
 - 6.14. Треугольники резистивных, реактивных и полных величин
 - 6.15. Общий случай расчета цепей при гармоническом воздействии
 - 6.16. Расчеты комплексных чисел с помощью программируемого микрокалькулятора
 - 6.17. Расчеты с помощью ПМК цепей, требующих решения системы комплексных уравнений
 - 6.18. Пассивные фазосдвигающие цепи
 - 6.19. Активный фазовращатель
- Вопросы для самопроверки

Глава 7. Цепи RL- и RC- при гармоническом воздействии на переменной частоте

- 7.1. Входные амплитудно-частотные и фазочастотные характеристики
 - 7.2. Неразветвленные RL- и RC-цепи
 - 7.3. Входные АЧХ и ФЧХ разветвленных цепей с одним накопителем энергии
 - 7.4. Передаточные функции
 - 7.5. Построение кривых передаточных ФЧХ
 - 7.6. Расчеты частотных характеристик сложных цепей
 - 7.7. Некоторые сведения о топологии цепей. Составление матрицы главных сечений
 - 7.8. Ввод в машину исходных данных
- Вопросы для самопроверки

Глава 8. Резонансные явления в одиночных колебательных контурах

- 8.1. Понятие о свободных колебаниях в LC-цепи
- 8.2. Последовательная RLC-цепь при периодическом гармоническом воздействии
- 8.3. Добротность
- 8.4. Замена параллельной RC-цепи эквивалентной последовательной
- 8.5. Добротность нагруженного контура
- 8.6. Резонансная частота нагруженного контура
- 8.7. Расстройки
- 8.8. Входные характеристики пассивного последовательного контура
- 8.9. Входной ток в контуре
- 8.10. Передаточные характеристики пассивного последовательного контура
- 8.11. Напряжение на индуктивности и резистивном сопротивлении
- 8.12. Полоса пропускания

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

- 8.13. Избирательность контура
 - 8.14. Избирательность контура на граничной частоте
 - 8.15. Технические примеры диапазонов частот различных источников сигналов
 - 8.16. Прохождение через колебательный контур сигналов негармонической формы
 - 8.17. Настройка пассивных контуров
 - 8.18. Определение резонансной частоты и добротности цепи в общем случае
 - 8.19. Электронный аналог колебательного контура
 - 8.20. Пассивный параллельный колебательный контур
 - 8.21. Входные характеристики параллельного контура
 - 8.22. Идеальный параллельный контур
 - 8.23. Токи в ветвях
 - 8.24. Избирательные свойства параллельного контура
 - 8.25. Контур с автотрансформаторным (неполным) включением
 - 8.26. Элементы колебательного контура. Границы применимости колебательных систем
 - 8.27. Избирательные цепи с "электронной индуктивностью"
 - 8.28. Реактивные двухполюсники
 - 8.29. Стандартная форма записи входных сопротивлений реактивных двухполюсников
 - 8.30. Программы для нахождения нулевых и полюсных частот с помощью ПМК
- Вопросы для самопроверки

Глава 9. Связанные системы

- 9.1. Понятие о взаимной индуктивности
 - 9.2. Последовательная цепь с взаимной индуктивностью
 - 9.3. Экспериментальное определение параметров M и K
 - 9.4. Параллельное соединение катушек с взаимной индуктивностью
 - 9.5. Воздушный трансформатор
 - 9.6. Расчет баланса мощностей в цепях с взаимной индуктивностью
 - 9.7. Экспериментальное определение вносимых сопротивлений
 - 9.8. T-образная схема замещения воздушного трансформатора
 - 9.9. Коэффициент связи
 - 9.10. Резонансы в связанных системах
 - 9.11. Критическая связь
 - 9.12. Параметр связи
 - 9.13. Вносимые сопротивления в функции
 - 9.14. Входные характеристики связанной системы
 - 9.15. Коэффициент передачи связанной цепи при резонансе в зависимости от значения параметра связи
 - 9.16. Передаточные характеристики связанных систем
 - 9.17. Передаточная функция при критической связи
 - 9.18. Максимальные значения коэффициента передачи у связанных систем
 - 9.19. Полоса пропускания связанных систем
 - 9.20. Характерные значения параметра связи в связанных системах
 - 9.21. Передаточная фазочастотная характеристика
- Вопросы для самопроверки

Глава 10. Цепи при негармонических воздействиях

- 10.1. Основные понятия. Разложение периодических функций на гармонические составляющие

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

- 10.2. Виды симметрии периодических негармонических кривых
 - 10.3. Графическое определение гармонических составляющих
 - 10.4. Спектральное представление сигналов
 - 10.5. Спектры сигналов с прямоугольной последовательностью
 - 10.6. Спектры при изменении длительности импульса и периода сигнала
 - 10.7. Практическая ширина спектров сигналов
 - 10.8. Иерархический ряд сигналов
 - 10.9. Коэффициент искажений
 - 10.10. Форма тока в RL- и LC-цепях при воздействии напряжений прямоугольной формы
 - 10.11. Действующее значение напряжений (токов) при негармонических воздействиях
 - 10.12. Среднее за период значение сигналов негармонической формы
 - 10.13. Цепи с открытым и закрытым входами
 - 10.14. Максимальные значения сигналов негармонической формы
 - 10.15. Расчеты цепей при негармонических воздействиях
 - 10.16. Мощность при негармонических воздействиях
 - 10.17. Коэффициент амплитуды
- Вопросы для самопроверки

Глава 11. Нелинейные цепи

- 11.1. Линейные и нелинейные резистивные сопротивления
 - 11.2. Форма тока в нелинейной цепи при гармоническом воздействии
 - 11.3. Экспериментальное определение ВАХ
 - 11.4. Определение коэффициентов ряда ВАХ по спектральным характеристикам
 - 11.5. Типовые ВАХ
 - 11.6. Нелинейные элементы с управляемой ВАХ
 - 11.7. Умножители частоты
 - 11.8. Графические методы анализа нелинейных резистивных цепей
 - 11.9. Определение рабочих точек нелинейных резистивных элементов
 - 11.10. Понятие аппроксимации характеристик нелинейных элементов
 - 11.11. Катушка с ферромагнитным сердечником. Режимы работы
 - 11.12. Потоки рассеяния
 - 11.13. Индуктивность катушки с замкнутым сердечником
 - 11.14. Трансформатор с ферромагнитным сердечником
 - 11.15. Передаточные амплитудно-частотные характеристики трансформатора
 - 11.16. Автотрансформатор
- Вопросы для самопроверки

Глава 12. Переходные процессы

- 12.1. Понятие о переходном режиме
- 12.2. Непрерывность энергии. Законы коммутации
- 12.3. Понятия: $f = -0$ и $f = +0$
- 12.4. Составление уравнений электрического равновесия цепи при коммутациях
- 12.5. Практическое время переходного процесса. Постоянная времени цепи
- 12.6. Напряжения на резистивном сопротивлении и индуктивности
- 12.7. Сопротивление индуктивного элемента при переходном процессе
- 12.8. Характер свободной составляющей в цепях первого порядка
- 12.9. Включение LC-цепи на постоянное напряжение
- 12.10. Противоречие между выборами параметров цепи для установившегося и переходного

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

режимов

- 12.11. Разряд конденсатора на резистивное сопротивление
 - 12.12. Отключение источников от цепи
 - 12.13. Трансформация импульсов тока с помощью LC-цепи
 - 12.14. Переходные процессы в цепях второго порядка
 - 12.15. Свободные процессы в цепи с малым затуханием
 - 12.16. Переходные процессы в RLC-контуре при воздействиях прямоугольной формы
 - 12.17. Выходное напряжение на индуктивном элементе
 - 12.18. Колебательный контур с источником напряжения гармонической формы
 - 12.19. Понятие об операторном методе расчета переходных процессов
 - 12.20. Нахождение временных функций (оригиналов) по операторным изображениям с помощью формулы разложения
 - 12.21. Составление операторных уравнений в цепях с ненулевыми начальными условиями
 - 12.22. Операции дифференцирования и интегрирования в операторной форме
 - 12.23. Достоинства операторного метода расчетов цепей в переходных режимах
 - 12.24. Физический смысл корней знаменателя операторного уравнения
 - 12.25. Единичная функция
 - 12.26. Импульсная функция
 - 12.27. Переходная и импульсная характеристики цепей
 - 12.28. Спектры непериодических сигналов
 - 12.29. Спектр переходной характеристики
- Вопросы для самопроверки

Глава 13. Дифференцирующие и интегрирующие цепи

- 13.1. Дифференцирующие цепи при периодических воздействиях
 - 13.2. Дифференцирующие цепи при непериодических воздействиях
 - 13.3. Активные дифференцирующие цепи
 - 13.4. Пассивные интегрирующие цепи
 - 13.5. Интегрирование непериодических сигналов
- Вопросы для самопроверки

Глава 14. Краткие сведения о четырехполюсниках

Вопросы для самопроверки

Глава 15. Электрические фильтры

- 15.1. Основные понятия
- 15.2. Пассивные LC-фильтры
- 15.3. Расчет фильтров по характеристическим параметрам
- 15.4. Полосовой фильтр
- 15.5. Пассивные LC-фильтры типов к и т
- 15.6. Понятие о синтезировании фильтрующих четырехполюсников
- 15.7. Фильтры с характеристиками Баттерворта, Чебышева, Золотарева
- 15.8. Исходные данные для расчета фильтров
- 15.9. Расчет ФНЧ с характеристиками Баттерворта
- 15.10. Расчет фильтров ФВЧ с характеристиками Баттерворта
- 15.11. Расчет полосовых фильтров с характеристиками Баттерворта
- 15.12. Фильтры Чебышева
- 15.13. Понятие о фильтрах Золотарева

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

- 15.14. Влияние потерь
 - 15.15. Понятие о кварцевых фильтрах
 - 15.16. Понятие о магнитострикционных фильтрах
 - 15.17. Линии задержки
 - 15.18. Задерживающие свойства фильтров иных типов
 - 15.19. Активные фильтры
 - 15.20. Звенья фильтра первого порядка
 - 15.21. Звенья второго порядка
 - 15.22. Определение порядка активного фильтра
 - 15.23. Расчет фазовых характеристик звеньев фильтра
 - 15.24. Переходные характеристики фильтров
 - 15.25. Некоторые замечания к фильтрам Золотарева
 - 15.26. Схемная реализация активного звена первого порядка
 - 15.27. Реализация активного звена второго порядка
 - 15.28. Звенья фильтров с различной добротностью
 - 15.29. Активные фильтры верхних частот
 - 15.30. Активные полосовые фильтры
 - 15.31. Понятие о цепях с переключаемыми конденсаторами
- Вопросы для самопроверки

Список литературы

Предметный указатель

ВВЕДЕНИЕ

Жизнь современного общества практически невозможна без хорошо развитой электрической связи. Телефон, телеграф, телетайп, радиовещание, телевидение, радиоэлектроника, обработка и передача данных, газетных полос, связь с подвижными объектами, управление работой устройств, находящихся на различных (порой, весьма значительных) расстояниях, электронное моделирование, радиоастрономия и т. д. — далеко не полный перечень электронных устройств и систем, широко используемых в нашей жизни. В передаче и приеме самой разнообразной информации нуждаются промышленность, транспорт, координационные и управленческие органы, предприятия культуры и образования, без связи невозможно организовать оборону страны, обеспечить необходимое общение населения друг с другом. О связи часто говорят, что это нерв страны. Без четко действующей связи деятельность практически любого учреждения или предприятия либо крайне затрудняется, либо становится просто невозможной.

Но современная связь обеспечивается совокупностью электротехнических и электронных устройств различной сложности, состоящих из элементов, к которым приложены электрические напряжения или протекают электрические токи. Сколь угодно сложные электронные устройства, в конечном счете, состоят из разнообразных электрических цепей, обладающих вполне определенными свойствами. Таким образом, чтобы разрабатывать, изготавливать или эксплуатировать различную аппаратуру связи, следует, прежде всего, знать процессы, происходящие в электрических цепях при различных условиях, а также законы, которым подчиняются эти процессы.

Многие из этих законов изучаются в дисциплине "Теория электрических цепей",

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

сокращенно ТЭЦ. Как самостоятельная дисциплина, ТЭЦ возникла в учебных заведениях в 60-е годы. До этого общие свойства цепей изучались в дисциплинах "Электротехника" или "Теоретические основы электротехники". К 60-м годам стало ясно, что сведения, которыми необходимо располагать инженерам и техникам, занимающимся передачей информации, значительно отличаются от сведений, которые необходимы для лиц, занимающихся энергетикой, электромеханикой и рядом смежных с ними отраслей техники.

Энергетика базируется, прежде всего, на постоянном или периодическом переменном токе гармонической формы промышленной частоты. С помощью таких токов удобно передавать энергию, но в принципе невозможно передать какую-либо информацию. Именно поэтому еще в прошлом веке для передачи сообщений с помощью телеграфа был разработан специальный код, представляющий совокупность сигналов прямоугольной формы с различными длительностями. Заметим, что подобный код в усовершенствованном виде используется до настоящего времени. Имеется целый ряд вопросов, которые для специалистов энергетического профиля не представляют большого интереса, например спектральные свойства сигналов, для связистов же эти вопросы являются весьма существенными. При передаче энергии главную роль играют мощность и КПД системы, при передаче информации - отсутствие искажений и т. д.

Бурное развитие микроэлектронной техники дало возможность создать элементную базу, позволившую получать цепи с совершенно новыми, в ряде случаев весьма необыкновенными свойствами. С помощью операционных усилителей можно собирать цепи с характеристиками, которые невозможно получить на пассивных элементах. Микросхемы имеют малые габариты и массу, большую плотность заполнения устройства, высокую надежность. Современная вычислительная техника позволяет рассчитывать весьма сложные цепи и определять оптимальные параметры и режимы работы электронных устройств.

Следует, однако, иметь в виду, что новая техника требует и новых знаний, которые в ряде случаев значительно отличаются от традиционных. Например, при машинных методах расчета цепей записывают не уравнения равновесия цепи в классическом виде, а топологию цепи и т. д. Чтобы изучать любые устройства связи, необходимо сначала изучить разнообразные свойства цепей, входящих в эти устройства, т. е. освоить теорию электрических цепей. В данном учебнике разбираются временные и спектральные свойства цепей, состоящих из сопротивлений R , емкостей C , активных элементов A (в основном операционных усилителей), индуктивностей L при различных воздействиях. Цепи, геометрические размеры которых соизмеримы с длиной волны, в данной книге не рассматриваются.

Таким образом, для того чтобы успешно изучать специальные дисциплины, следует прежде всего овладеть теорией электрических цепей, т. е. дисциплиной, изучающей свойства ЛЯСХ-цепей, как их сокращенно называют. Обратим внимание, что в данном сокращении элемент A всегда записывают на первом месте из-за необычайной его влажности.

Теория электрических цепей включает разделы, которые разрабатывались в различных дисциплинах, в том числе — электротехнике, радиотехнике, теории связи и некоторых других. Эта теория не имела бы современного вида, если бы многочисленные исследователи не внесли свой вклад в науку о свойствах электрических цепей и их техническом

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

применении. Перечислим имена некоторых ученых, сыгравших видную роль в становлении теории электрических цепей.

В 1831 г. замечательный английский физик М. Фарадей открыл явление электромагнитной индукции. В 1832 г. русский ученый и изобретатель П. Л. Шиллинг создал первый электромагнитный телеграф. В 1833 г. русский физик Э. Х. Ленд сформулировал закон, с помощью которого определяют направление индукционного тока. Важнейшим этапом развития средств электрической связи явилось в 1895 г. гениальное изобретение проф. А. С. Поповым беспроводной связи. В 1907 г. проф. Б. Л. Розинг создал электронную трубку, а в 1911 г. осуществил первую в мире передачу изображений с помощью этой трубки.

Чл.-кор. АН СССР М. А. Бонч-Бруевич был одним из первых советских ученых-радиотехников, им было организовано отечественное производство мощных электронных ламп. Чл.-кор. АН СССР К. А. Круг является автором крупнейших работ по теоретической электротехнике. Чл.-кор. АН СССР В. И. Сифоров - автор известных работ по проблемам передачи информации. Вице-президент АН СССР В. А. Котельников внес большой вклад в теорию помехоустойчивости радиоприема, радиолокации планет Солнечной системы. Одним из основоположников дисциплины теории электрических цепей был академик АН СССР А. А. Харкевич. Крупнейшим электротехником страны является академик АН СССР К. С. Демирчян. Большой вклад в развитие теории связи внесли профессора П. К. Акупышин Н. А. Баев, Э. В. Зелях, И. А. Кощев, К. Е. Кульбацкий и многие другие.

Благодаря усилиям большого отряда связистов достигнуты значительные успехи в деле создания Единой автоматизированной системы связи (ЕАСС) страны, включающей передачу информации по кабельным, радиорелейным, спутниковым системам связи. Началось внедрение электронных АТС с широким использованием ЭВМ, разрабатываются волоконно-оптические, лазерные системы связи, кабельное телевидение и многое другое.

Специалистам в области связи в своей практической работе придется заниматься устройствами, которые в настоящее время находятся еще в стадии разработки или проектирования. Будущие специалисты должны быть к этому готовы.

[Скачать учебник Добротворский И. Н. Теория электрических цепей.](#) Москва, Издательство Радио и связь, 1989