

Содержание

Предисловие	8
1. Основы описания и анализа систем с электрическими токами.....	11
Цепь – система с электрическими токами.....	12
Ток и напряжение.....	12
Электрическая цепь и электрическая схема	13
Цепи с сосредоточенными и с распределенными параметрами.....	14
Опорные, или условные положительные, направления	16
Мгновенная мощность	17
Активные и пассивные элементы цепей	18
Идеальные пассивные элементы.....	18
Реальные пассивные элементы цепей, схемы замещения	23
Индуктивно связанные катушки, трансформатор	27
Полупроводниковый диод как пример нелинейного двухполюсника	31
Источники тока и напряжения.....	33
Структура цепи, уравнения электрических процессов в цепях	39
Основные понятия структуры электрической цепи	39
Задачи анализа и задачи синтеза.....	41
Законы Кирхгофа — структурные законы теории цепей	42
Уравнения процессов в линейных цепях, принцип суперпозиции	46
Свойство взаимности, взаимные цепи, теорема взаимности	50
Стационарные состояния и переходные процессы в линейных цепях ..	51
Нелинейные цепи	54
Методы анализа цепей с постоянными токами	57
Метод контурных токов.....	57
Метод узловых потенциалов.....	60
Метод эквивалентного источника	62
Контрольные вопросы и практические задания	67
2. Гармонические колебания в линейных цепях	73
Основные характеристики гармонических токов и напряжений	74
Описание гармонических колебаний.....	74
О получении гармонических напряжений.....	77
Векторные диаграммы гармонических колебаний.....	78

Метод комплексных амплитуд	81
Комплексные числа (справочные сведения).....	82
Гармонические токи и напряжения в комплексной форме	84
Закон Ома в комплексной форме.....	86
Законы Кирхгофа в комплексной форме	91
Общая схема применения метода комплексных амплитуд.....	92
Преобразования комплексных сопротивлений (проводимостей)	93
Формы комплексных сопротивлений (проводимостей)	97
О методах решения задач для цепей с гармоническими токами.....	98
Энергетические характеристики процессов в цепях гармонического тока	100
Мгновенная и активная мощности, коэффициент мощности	100
Реактивная, полная и комплексная мощности.....	103
Уравнения баланса мощностей.....	104
О коэффициенте мощности и добротности	105
Условие передачи в нагрузку максимальной активной мощности, режим согласования	107
О вычислении коэффициента полезного действия.....	108
Трехфазные цепи.....	109
Основные сведения о системах трехфазных цепей	110
Симметричные режимы работы трехфазных цепей	113
Мощность в трехфазных системах электрических цепей	116
Трехфазные цепи при несимметричных нагрузках	117
Создание врачающегося магнитного поля с помощью системы трехфазных токов.....	120
Контрольные вопросы и практические задания	124
3. Свойства линейных цепей.....	130
Способы описания линейных цепей.....	131
Описание цепей в частотной области	132
Временные характеристики цепей.....	136
Анализ пассивных цепей в частотной и временной областях.....	142
Разновидности фильтрующих цепей	143
Частотные свойства простой RC -цепи	145
Переходные характеристики RC -цепи, импульсная характеристика....	149
Интегрирующие и дифференцирующие функции RC -цепи.....	151
Неискажающий делитель напряжения	154
Частотные свойства полосового RC -фильтра.....	156
Переходная характеристика полосового RC -фильтра	158

Заграждающие <i>RC</i> -фильтры	160
Фазосдвигающие цепи, фазовый корректор	163
Контрольные вопросы и практические задания	166
4. Колебательные цепи, резонансные явления	171
Вынужденные колебания в последовательном контуре	172
Резонанс в последовательном колебательном контуре	172
Частотные характеристики последовательного контура.....	175
Последовательный контур как полосовой фильтр	179
Измерение параметров контура	182
Свойства колебательного контура во временнóм представлении ...	183
Переходные характеристики колебательного контура.....	183
Свободные колебания в последовательном контуре	186
Энергия собственных колебаний в колебательном контуре	189
Параллельный колебательный контур	190
Резонанс в параллельном колебательном контуре	191
Применение параллельного контура для полосовой фильтрации.....	194
Сложные колебательные контуры	197
Связанные колебательные контуры.....	201
Устройство связанных контуров, схемы замещения	201
Резонансные характеристики связанных контуров	203
Свободные колебания в связанных контурах	205
Контрольные вопросы и практические задания	208
5. Частотные спектры электрических колебаний, спектральный анализ.....	213
Основы анализа цепей при негармонических воздействиях.....	214
Диапазоны частот электромагнитных колебаний	214
Детерминированные и случайные сигналы, виды спектров	216
Измерение амплитудных спектров	219
Спектры периодических колебаний	221
Представление периодических колебаний рядами Фурье.....	221
Примеры частотных спектров периодических колебаний	225
Преобразование периодических колебаний линейными цепями.....	228
Распределение энергии по гармоникам, равенство Парсеваля	231
Сигналы с непрерывными спектрами.....	233
Непериодические сигналы и интегралы Фурье	233
Спектры одиночных импульсов	234
Свойства преобразования Фурье	238

Спектры радиоимпульса и затухающего гармонического колебания...	241
Применение дельта-функции для описания спектров	242
Спектральный метод анализа линейных цепей	244
Общая схема применения спектрального анализа	244
Частотные характеристики неискажающей цепи	246
Передаточная функция и временные характеристики	247
Модулированные и хаотические колебания	252
Понятие радиосигнала	252
Амплитудно-модулированный сигнал.....	253
Сигналы с угловой модуляцией, спектры ЧМ-колебания.....	255
Спектры хаотических (шумовых) колебаний	259
Контрольные вопросы и практические задания	262
6. Операторный метод анализа линейных цепей.....	268
Преобразование Лапласа и его свойства	269
Формула преобразования Лапласа, Лапласов образ.....	269
Свойства преобразования Лапласа, операторные изображения.....	271
Аналитичность операторных изображений	274
Сопоставление преобразований Лапласа и Фурье	275
Восстановление оригинала: таблицы, формула разложения.....	276
Анализ цепей на основе операторного метода	278
Схема применения операторного метода в задачах анализа.....	278
Компонентные соотношения, схемы замещения.....	279
Законы Кирхгофа в операторной форме.....	282
Примеры применения операторного метода	283
Операторный коэффициент передачи, передаточная функция.....	286
Связь передаточной функции с импульсной и переходной характеристиками	286
Свойства передаточных функций	287
Зависимость свойств цепи от положения нулей и полюсов передаточной функции	289
Контрольные вопросы и практические задания	291
7. Волновые процессы в длинных линиях	296
Основы теории длинных линий	297
Описание длинных линий	297
Дифференциальные уравнения длинной линии	299
Волны в длинной линии в режиме гармонических колебаний	303
Процессы в линиях без потерь при разных нагрузках.....	305

Уравнения передачи для фрагмента длинной линии.....	306
Входное сопротивление отрезка длинной линии	307
Коэффициент отражения	309
Распределение амплитуд напряжения и тока вдоль линии	310
Коэффициенты стоячей волны и бегущей волны.....	313
Режимы стоячих волн	314
Значения сопротивлений в сечениях линии, согласующие устройства	318
Измерение и вычисление входного сопротивления	318
Круговые диаграммы сопротивлений и проводимостей	320
Согласование длинной линии с нагрузкой	324
Волновые процессы в длинных линиях с малыми потерями	329
Уравнения гармонических колебаний в длинной линии с потерями....	330
Передача энергии, коэффициент полезного действия отрезка длинной линии.....	332
Колебательные контуры на отрезках длинных линий.....	333
Контрольные вопросы и практические задания	336
8. Компьютерное моделирование электрических цепей	338
Системы компьютерного моделирования.....	339
Среда моделирования Multisim.....	339
Выбор компонентов и настройка их значений	342
Виртуальная измерительная лаборатория.....	345
Имитация измерительной аппаратуры	345
Моделирование осциллографических измерений	346
Моделирование измерения частотных характеристик	349
Контрольные вопросы и практические задания	350
Литература	352
Ответы к задачам, рекомендации по выполнению заданий .	354
Алфавитный указатель.....	357

Предисловие

В книге представлены начальные, базовые разделы дисциплин электротехнического, электронного профиля – те именно, применительно к которым позволительно использовать термин *классика*. Действительно, собранные здесь сведения формировались как результаты научных изысканий вплоть до середины двадцатого столетия, и к нынешнему времени они сложились в стройную систему научных знаний, подкрепленных передовыми инженерными решениями. Учебные дисциплины, которые базируются на материале, собранном в книге, являются обязательными для многих направлений подготовки, предусмотренных государственными образовательными стандартами высшего профессионального образования. Среди них в особый ряд попадают те, на которые в первую очередь ориентирована книга. Это: *Техническая физика, Физика, Электроника и наноэлектроника, Радиотехника, Инфокоммуникационные технологии и системы связи, Информатика и вычислительная техника, Приборостроение*. Студентам, выбравшим для себя профессии такого рода, предстоит создавать, разрабатывать или профессионально использовать высокотехнологичное электронное оборудование. Будь это установки физических экспериментов, компьютерные устройства, телекоммуникационная аппаратура, или электронные приборы специального назначения — в любом случае будущие исследователи, естествоиспытатели, электронщики, компьютерщики обязаны получить фундаментальное образование по основам *электротехники, электроники, схемотехники*. Логично, что в базовой (обязательной) профессиональной части циклов учебных дисциплин федеральных государственных образовательных стандартов (ФГОС) высшего профессионального образования представлены соответствующие дисциплины. В частности, в ФГОС *Техническая физика* это – *Электроника и схемотехника*. В образовательных стандартах других направлений подготовки названия дисциплин могут быть иными, но разделы по теории цепей и методам анализа электрических процессов в сложных цепях, в них непременно присутствуют.

Следует отметить, что существуют хорошие учебники (названия некоторых представлены в списке рекомендуемой литературы), в которых подробно изложены различные аспекты теории цепей и преобразования

сигналов электрическими цепями. Но книг так много, и материал в них столь обширен, что, пытаясь «объять необъятное», немудрено утонуть в массе полезных, однако непомерно обильных сведений. Поэтому при подготовке данного учебного пособия решалась непростая задача высокой меры ответственности — собрать в последовательное, логично связанное повествование именно то, что на сегодняшний день и применительно к обозримому будущему относится к сведениям первостепенного значения. Для образовательных программ, на которые главным образом ориентирована книга, а именно, — относящихся к интенсивно развивающимся сферам науки и техники, профессиональный труд в которых соединен с созданием, разработкой и использованием высокотехнологичной аппаратуры, эта задача особенно актуальна, и приходится прикладывать немалые усилия в попытке решить ее лучшим образом.

В последние годы методика обучения дисциплинам электронной тематики развивается под влиянием двух противоборствующих тенденций. С одной стороны, содержание этих дисциплин пополняется идеально новыми разделами, отражающими прогрессивные изменения элементной базы и способов обработки сигналов. С другой стороны, неуклонно сужаются временные рамки, отводимые изучению данных учебных курсов в сетке аудиторных часов. В результате возникает непростая задача — дать больший набор знаний за меньшее время. Реально ли ее решить без ущерба для уровня подготовки? Ответ найти непросто. Однако можно к этому стремиться. Как? — Тщательно отбирая материал, отвечающий современному уровню развития науки, техники, технологий; изобретая способы компактного изложения сложных вопросов электронной тематики; выверяя «глубину погружения» в проблему; продуманно детализируя изложение; аккумулируя проблемы в форме контрольных вопросов и задач; вводя разделы, помогающие освоить новые методы исследований и разработок. К таковым, в частности, относится компьютерное моделирование, которому в данной книге посвящена специальная глава.

При выборе методического подхода, используемого в книге, учитывались современные условия реализации профессиональных компетенций. Речь о том, что с течением времени меняется оценка важности различного рода умений и навыков, востребованных в конкретной области знаний. Если в прежние годы многие усилия сторон — преподавателей и студентов — тратились на выработку и шлифовку навыков выполнения сложных расчетов «вручную», то компьютер, превратившийся в подручное средство, снимает с этих умений флер «высокого искусства». Зато на первые позиции выходит понимание физической сути происходящих в электрических и электронных цепях процессов, а также умение анализировать, каким образом такие цепи преобразуют сложные сигналы. Но для этого необходимо на хорошем уровне освоить многие разделы высшей математики. Ведь классика теории цепей и сигналов сложилась в стройную, взаимосвязанную и, хочется сказать, красивую систему постольку,

поскольку базируется на весьма сложном и разнообразном математическом аппарате. Здесь используются: высшая алгебра, функциональные ряды, интегральные преобразования, теория обыкновенных дифференциальных уравнений, теория функций комплексной переменной, теория случайных процессов. Обычно в полном объеме эти разделы математики студенты заканчивают изучать к концу третьего, а иногда и к середине четвертого курса. Но базовые дисциплины электротехнической, электронной тематики преподают сегодня на младших курсах – такова реальная практика расписаний аудиторных занятий в высших учебных заведениях. Поэтому по ходу изложения приходится выверять меру сложности рассматриваемых тем, осторожно ее углубляя, с учетом того, что параллельными курсами идет накопление знаний по соответствующим разделам высшей математики, информатики.

В настоящее время курс лекций по представленным в книге темам читается в Санкт-Петербургском государственном политехническом университете на физико-техническом факультете. Многолетнее общение с коллегами-преподавателями и со студентами-политехниками в процессе лекционных занятий, на семинарах и в лаборатории в значительной мере помогло выстроить систему изучения базовых разделов электротехники, электроники, схемотехники в том виде, который отражен на страницах книги. На протяжении нескольких последних лет в качестве основного пособия по дисциплине студенты физико-технического факультета и других физических факультетов Политехнического университета использовали книгу «Ю. Н. Новиков. Электротехника и электроника. Теория цепей и сигналов, методы анализа», изданную в 2005 году [17]. Ее апробация в ходе учебного процесса побудила скорректировать изложение некоторых тем, к тому же тираж книги уже распродан, а спрос по-прежнему высок. Новая книга должна занять ее место как основного учебного пособия по разделам «Основы теории электрических и электронных цепей», «Методы анализа процессов в сложных цепях» дисциплин электронной тематики.

Хочется надеяться, что предлагаемая к изучению книга сложилась в уравновешенное по содержанию и объему учебное пособие, вполне доступное студентам, подготовленным по математике и физике на том уровне, который характерен для младших курсов общетехнических вузов. Обращение к ней облегчит понимание материалов лекций, поможет выполнять расчетные задания и лабораторные работы, а также самостоятельно изучать отдельные темы представленных в книге разделов. Достижению этой цели способствуют многочисленные контрольные вопросы и практические задания, приведенные в конце каждой главы. Некоторые из них имеют характер тестовых вопросов, другие могут быть использованы в качестве курсовых расчетных заданий.

1. Основы описания и анализа систем с электрическими токами

Цепь – система с электрическими токами

Ток и напряжение. Электрическая цепь и электрическая схема. Цепи с сосредоточенными и с распределенными параметрами. Опорные, или условные положительные, направления. Мгновенная мощность.

Активные и пассивные элементы цепей

Идеальные пассивные элементы. Реальные пассивные элементы цепей, схемы замещения. Индуктивно связанные катушки, трансформатор. Полупроводниковый диод как пример нелинейного двухполюсника. Источники тока и напряжения

Структура цепи, уравнения электрических процессов в цепях

Основные понятия структуры электрической цепи. Задачи анализа и задачи синтеза. Законы Кирхгофа — структурные законы теории цепей. Уравнения процессов в линейных цепях, принцип суперпозиции. Свойство взаимности, взаимные цепи, теорема взаимности. Стационарные состояния и переходные процессы в линейных цепях. Нелинейные цепи.

Методы анализа цепей с постоянными токами

Метод контурных токов. Метод узловых потенциалов. Метод эквивалентного источника

Контрольные вопросы и практические задания

Цепь – система с электрическими токами

Понятия, термины, рассмотренные в этой главе, составляют основу данной дисциплины. При изложении материала учтено, что физические основы теории электромагнетизма подробно изучаются по программе дисциплины «Общая физика».

Ток и напряжение

Электрическим током называют движение носителей электрических зарядов (электронов, ионов, дырок). За направление тока принимают то направление, в котором под действием поля должны двигаться положительные заряды. Ток характеризуют *силой тока* — количеством электричества, которое протекает через рассматриваемое сечение за единицу времени. Отметим, что термин *ток* используют и как *физическое понятие*, и как *сионим силы тока*. Ток бывает неизменным во времени (*постоянным*) и может зависеть от времени: принимать разные значения, в том числе, менять знак при изменении времени. Если за промежуток времени Δt через рассматриваемое сечение переносится количество электричества Δq , *мгновенное значение тока* (его значение в фиксированный момент времени) определяется формулой

$$i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt}.$$

Таким образом, сила тока равна скорости изменения заряда.

Ток, порожденный движением носителей электрических зарядов в проводящей среде (в частности, по проводам), называют *током проводимости*. В теории электромагнетизма при рассмотрении переменных во времени электромагнитных полей в вакууме и диэлектрических средах используют также понятие *тока смещения*. Ток смещения пропорционален скорости изменения *электрической индукции*. В вакууме он возникает при изменении напряженности электрического поля и не сопровождается движением каких-либо зарядов. В диэлектриках ток смещения дополнительно отражает смещение зарядов, связанных с молекулами диэлектрика. Ток смещения замыкает путь протекания переменного тока через вакуум или диэлектрик. В теории электромагнетизма используют также понятие *полного тока*. Он складывается из тока проводимости и тока смещения. Согласно теории электромагнетизма *полный ток через любую замкнутую поверхность равен нулю*.

Все цепи, рассматриваемые далее, обладают важной особенностью — при описании протекающих в них процессов удается обходиться *током проводимости*. Эффекты, связанные с наличием в каких-либо участках цепи токов смещения, учитываются только через количественное описание свойств отдельных элементов, входящих в состав цепи.

Напряжение (падение напряжения) между двумя точками 1 и 2 есть разность электрических потенциалов в этих точках:

$$u_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 \text{ или } u_{21} = \varphi_2 - \varphi_1 = -u_{12}.$$

Напряжение равно работе, совершающейся при переносе единичного положительного заряда из точки 1 в точку 2. Напряжение является скалярной величиной положительного или отрицательного знака.

Электрическая цепь и электрическая схема

Электрическая цепь — совокупность соединенных определенным образом элементов, устройств и объектов, образующих путь для прохождения электрического тока. Состояние электромагнитных процессов в цепи однозначно определяется в любой момент времени значениями токов в проводах и напряжениями на выводах элементов, из которых цепь составлена.

Отдельные элементы (или *компоненты*) выполняют в цепи разные функции — выступают например, источниками, потребителями или накопителями электрической энергии. Это отображается специфическими, зависящими от природы конкретных элементов, соотношениями между током и напряжением на их *полюсах*. (Так называют выводы, клеммы, зажимы, которые используют для подключения элементов к цепи. Элемент с двумя полюсами называют *двуухполюсником*.) Физические явления, протекающие внутри отдельных элементов, «заключены» в пространство между полюсами, и вовне отображаются только через *компонентные соотношения* [28] — формулы, связывающие токи и напряжения.

Для токов в соединительных проводниках и напряжений на различных элементах цепи составляют уравнения, описывающие процессы в электрической цепи *заданной структуры*. Уравнения такого вида называют *структурными* [28].

ПРИМЕЧАНИЕ

Вообще говоря, любой фрагмент цепи, состоящий из многих элементов, можно представить в виде двухполюсника. Соотношение компонентного типа — связь тока и напряжения на выделенных полюсах — для такого двухполюсника является следствием структурных уравнений, а также компонентных соотношений, описывающих отдельные двухполюсники, из которых составлен фрагмент цепи.

Электрическая схема — графическое изображение электрической цепи. Схема показывает, из каких элементов составлена цепь и как они между собой соединены. Соединительные линии на схеме — аналог идеально проводящих проводов. Элементы, из которых цепь составлена, представляют на схеме идеализированными моделями (элементами схемы). Таковыми являются: для *резистора* — *сопротивление*, для *конденсатора* — *емкость*, для *катушки индуктивности* — *индуктивность*. Для

разных элементов схемы предусмотрены соответствующие условные графические обозначения.

В электротехнике и электронике встречаются разные виды схем, в том числе: *принципиальные* — на них показывают функциональные элементы цепи и связи между ними; *монтажные* — это чертежи расположения деталей и соединительных проводов на монтажных платах; *расчетные* — их используют для анализа процессов в цепях. К расчетным схемам относятся также *эквивалентные схемы*, или *схемы замещения*. На них представляют модели отдельных элементов, устройств и функциональные связи, отвечающие применяемому методу анализа.

Довольно часто цепи, содержащие диоды, транзисторы, интегральные микросхемы и прочие подобные элементы, называют *электронными цепями*, а соответствующие им схемы — *электронными схемами*. Принципиального различия в этих наименованиях для рассматриваемого в учебнике круга вопросов по существу нет, и поэтому везде далее по тексту понятия *электрические цепи* и *электронные цепи*, а также *электрические схемы* и *электронные схемы* используются как синонимы.

Цепи с сосредоточенными и с распределенными параметрами

В *цепях с сосредоточенными параметрами* для двухполюсных элементов применительно к любому моменту времени справедливы положения:

- ток, втекающий в один полюс, равен току, вытекающему из другого полюса;
- напряжение на элементе однозначно определяется разностью потенциалов полюсов, оно не зависит от пути переноса заряда.

Строго говоря, данные утверждения справедливы только при условии, что электрические заряды и токи в цепи постоянны во времени. При этом будут постоянными и создаваемые ими электрические и магнитные поля. Для изменяющихся во времени полей нужно учитывать конечную скорость распространения электромагнитного поля по цепи, и тогда ток в разных сечениях провода из-за *токов смещения* не будет одинаковым. Далее — если электрические поля изменяются во времени, то они не являются *потенциальными*, и следовательно, работа по переносу заряда из одной точки в другую зависит от пути переноса заряда. Отсюда вытекает, что для цепей с переменными токами при вычислении напряжения между двумя точками следует указывать путь переноса заряда. Ясно, что в этих условиях введение понятий *ток* и *напряжение* не принесло бы особой пользы — пришлось бы иметь дело непосредственно с электрическими и магнитными полями.

Однако теория электромагнетизма позволяет описывать процессы в цепях именно через токи и напряжения, но должно выполняться определение

ленное условие. А именно: размеры элементов или фрагментов цепи должны быть существенно меньше длин волн, соответствующих частотам изменения токов и напряжений. Дело в том, что для таких цепей выполняется *условие квазистационарности электромагнитного поля*: $D/c \ll T$. Здесь c — скорость света, D — максимальный размер устройства, T — характерное время, за которое токи и напряжения заметно меняются. При выполнении этого условия токи и напряжения можно считать неизменными в течение интервала времени, за который возмущение поля распространяется между разными частями устройства. Несложная трансформация условия $D/c \ll T$ приводит к соотношению $D \ll \lambda$ (размер устройства много меньше длины волны), которое обуславливает принадлежность устройства к цепям с сосредоточенными параметрами. В электродинамике законы, связывающие токи и напряжения в цепи, выводятся из уравнений Максвелла в *квазистационарном приближении*. Это означает, что теория цепей, удовлетворяющих *условию квазистационарности* $D \ll \lambda$, является строго обоснованной.

Будем считать, что для рассматриваемых далее цепей, состоящих из резисторов, конденсаторов, катушек индуктивности, трансформаторов, диодов и прочих элементов «малой протяженности», условие квазистационарности выполняется. Это означает, что протяженность каждого элемента в пространстве не влияет на функции, выполняемые устройством. Значение имеют только электрические характеристики каждого конкретного элемента, а размер его можно считать «точечным». Природа электрических процессов такова, что по мере увеличения частоты колебаний размеры устройств, обрабатывающих такие сигналы, в основном уменьшаются. И поэтому, если речь не идет о процессах (например, в антennaх), для которых существенны явления излучения, и если не рассматривается передача энергии на расстояния, превосходящие длину волны, вполне допустимо оставаться в рамках понятий, справедливых для цепей с сосредоточенными параметрами.

Цепи, для которых условие квазистационарности не выполняется, называют *цепями с распределенными параметрами*. Слово «цепь» применительно к таким объектам означает, что для описания протекающих в них процессов, в том числе характеризующихся волновыми явлениями, удается использовать понятия, присущие квазистационарным полям — имеются в виду *напряжение и ток*. В данной дисциплине речь в основном идет о цепях с сосредоточенными параметрами. Но не только о них. В отдельной главе рассматриваются *длинные линии* — цепи, размеры которых в одном направлении (продольном) сравнимы с длиной волны λ и могут заметно ее превосходить. Важно, что в поперечном сечении расстояние между проводами длинных линий много меньше λ . При этом условии допустимо описывать электрические процессы в длинных линиях через *токи и напряжения*.

ПРИМЕРЫ

Электронный блок, умещающийся на столе и обрабатывающий сигналы в диапазоне частот 100 МГц (на таких частотах работают FM-радиостанции), следует относить к цепям с сосредоточенными параметрами. Действительно, характерная длина волны составляет в данном случае три метра: $\lambda = c/f = 3 \cdot 10^8 / 10^8 = 3$ м. Размеры отдельных узлов блока заметно меньше этого значения, и данную цепь вполне можно считать сосредоточенной. Однако кабели, передающие сигнал данной частоты на устройства, находящиеся на расстоянии в несколько метров, нужно рассматривать как цепи с распределенными параметрами. Это типичные представители длинных линий. Так, длина телевизионного кабеля, соединяющего ТВ-приемник с выносной антенной, соразмерна с длинами волн сигналов (метры, дециметры), а диаметр кабеля (он меньше сантиметра) мал по сравнению с λ .

Может случиться, что в составе цепи с сосредоточенными параметрами окажется элемент, для которого условие квазистационарности не выполняется, например, антenna. Хотя электромагнитные явления в самой антенне описываются через уравнения электродинамики, для анализа процессов во внешней по отношению к ней цепи антенну можно представить эквивалентным двухполюсником. Если сформулированы компонентные соотношения, связывающие ток и напряжение на его полюсах, этот элемент органично впишется в структуру цепи с сосредоточенными параметрами.

Опорные, или условные положительные, направления

В теории цепей ток рассматривают как скалярную величину, которая имеет знак, указывающий направление протекания тока. При анализе процессов в электрических цепях знак тока связывают с *опорным направлением* — заранее выбранным направлением отсчета. Его указывают на схемах цепей стрелкой (рис. 1.1) и условно считают *положительным*. Условно — вот в каком смысле. Если при решении задачи получилось, что в некий момент времени значение тока положительно, это означает,

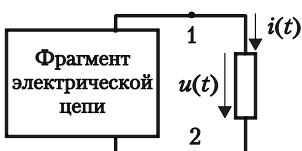


Рис. 1.1. Опорные направления для тока и напряжения

что *действительное направление тока* (направление движения положительных зарядов) в данный момент времени совпадает с указанным направлением отсчета. Если значение тока оказалось отрицательным, значит, истинное направление тока в данный момент времени противоположно *опорному* или (синоним) *условному положительному направлению*, указанному стрелкой.

Знак напряжения также определяется по отношению к заранее выбранному *условному направлению отсчета*. Стрелку *условного положительного направления* для напряжения чертят между какими-либо точка-

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru