

# Содержание

Предисловие . . . . .	9
Введение. . . . .	11
<b>ЧАСТЬ I. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ЗАКОНЫ ТЕОРИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ И ТЕОРИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ЦЕПЕЙ</b>	
Глава 1. Обобщение понятий и законов электромагнитного поля . . . . .	17
1.1. Общая физическая основа задач теории электромагнитного поля и теории электрических и магнитных цепей . . . . .	17
1.2. Заряженные элементарные частицы и электромагнитное поле как особые виды материи . . . . .	18
1.3. Связь между электрическими и магнитными явлениями. Электрическое и магнитное поля как две стороны единого электромагнитного поля . . . . .	21
1.4. Связь заряда частиц и тел с их электрическим полем. Теорема Гаусса . . . . .	26
1.5. Поляризация веществ. Электрическое смещение. Постулат Максвелла . . . . .	29
1.6. Электрические токи проводимости, переноса и смещения . . . . .	35
1.7. Принцип непрерывности электрического тока. . . . .	42
1.8. Электрическое напряжение. Разность электрических потенциалов. Электродвижущая сила . . . . .	44
1.9. Магнитный поток. Принцип непрерывности магнитного потока. . . . .	52
1.10. Закон электромагнитной индукции . . . . .	55
1.11. Потокосцепление. ЭДС самоиндукции и взаимной индукции. Принцип электромагнитной инерции . . . . .	59
1.12. Потенциальное и вихревое электрические поля . . . . .	62
1.13. Связь магнитного поля с электрическим током . . . . .	65
1.14. Намагниченность вещества и напряженность магнитного поля . . . . .	69
1.15. Закон полного тока . . . . .	73
1.16. Основные уравнения электромагнитного поля . . . . .	74
Глава 2. Энергия и механические проявления электрического и магнитного полей. . . . .	76
2.1. Энергия системы заряженных тел. Распределение энергии в электрическом поле . . . . .	76
2.2. Энергия системы контуров с электрическими токами. Распределение энергии в магнитном поле . . . . .	79
2.3. Силы, действующие на заряженные тела . . . . .	83
2.4. Электромагнитная сила . . . . .	87
Глава 3. Основные понятия и законы теории электрических цепей. . . . .	95
3.1. Электрические и магнитные цепи. . . . .	95
3.2. Элементы электрических цепей. Активные и пассивные части электрических цепей . . . . .	96
3.3. Физические явления в электрических цепях. Цепи с распределенными параметрами. . . . .	98

3.4. Научные абстракции, принимаемые в теории электрических цепей, их практическое значение и границы применимости. Цепи с сосредоточенными параметрами . . . . .	101
3.5. Параметры электрических цепей. Линейные и нелинейные электрические и магнитные цепи . . . . .	104
3.6. Связи между напряжением и током в основных элементах электрической цепи. . . . .	108
3.7. Условные положительны́е направления тока и ЭДС в элементах цепи и напряжения на их зажимах . . . . .	110
3.8. Источники ЭДС и источники тока . . . . .	112
3.9. Схемы электрических цепей . . . . .	115
3.10. Топологические понятия схемы электрической цепи. Граф схемы . . . . .	119
3.11. Матрица узловых соединений . . . . .	121
3.12. Законы электрических цепей . . . . .	123
3.13. Узловые уравнения для токов в цепи . . . . .	126
3.14. Контурные уравнения цепи. Матрица контуров . . . . .	129
3.15. Уравнения для токов в сечениях цепи. Матрица сечений . . . . .	131
3.16. Связи между матрицами соединений, контуров и сечений . . . . .	134
3.17. Полная система уравнений электрических цепей. Дифференциальные уравнения процессов в цепях с сосредоточенными параметрами . . . . .	137
3.18. Анализ и синтез — две основные задачи теории электрических цепей . . . . .	140

## ЧАСТЬ II. ТЕОРИЯ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Глава 4. Основные свойства и эквивалентные параметры электрических цепей при синусоидальных токах . . . . .	143
4.1. Синусоидальные ЭДС, напряжения и токи. Источники синусоидальных ЭДС и токов . . . . .	143
4.2. Действующие и средние значения периодических ЭДС, напряжений и токов. . .	146
4.3. Изображение синусоидальных ЭДС, напряжений и токов с помощью вращающихся векторов. Векторные диаграммы . . . . .	148
4.4. Установившийся синусоидальный ток в цепи с последовательным соединением участков $r$ , $L$ и $C$ . . . . .	149
4.5. Установившийся синусоидальный ток в цепи с параллельным соединением участков $g$ , $L$ и $C$ . . . . .	153
4.6. Активная, реактивная и полная мощности . . . . .	155
4.7. Мгновенная мощность и колебания энергии в цепи синусоидального тока. . . .	158
4.8. Эквивалентные параметры сложной цепи переменного тока, рассматриваемой в целом как двухполюсник . . . . .	161
4.9. Схемы замещения двухполюсника при заданной частоте . . . . .	164
4.10. Влияние различных факторов на эквивалентные параметры цепи. . . . .	166
Глава 5. Методы расчета электрических цепей при установившихся синусоидальном и постоянном токах . . . . .	168
5.1. Комплексный метод . . . . .	168
5.2. Комплексные сопротивление и проводимость. . . . .	172

5.3. Выражения законов Ома и Кирхгофа в комплексной форме . . . . .	173
5.4. Расчет мощности по комплексным напряжению и току . . . . .	174
5.5. Расчет при последовательном соединении участков цепи . . . . .	175
5.6. Расчет при параллельном соединении участков цепи . . . . .	175
5.7. Расчет при смешанном соединении участков цепи . . . . .	176
5.8. О расчете сложных электрических цепей . . . . .	177
5.9. Расчет цепи, основанный на преобразовании соединения треугольником в эквивалентное соединение звездой. . . . .	182
5.10. Преобразование источников ЭДС и тока . . . . .	184
5.11. Метод контурных токов . . . . .	186
5.12. Метод узловых напряжений . . . . .	193
5.13. Метод сечений . . . . .	199
5.14. Метод смешанных величин . . . . .	202
5.15. Принцип наложения и основанный на нем метод расчета цепи . . . . .	207
5.16. Принцип взаимности и основанный на нем метод расчета цепи. . . . .	209
5.17. Метод эквивалентного генератора . . . . .	210
5.18. Расчет цепей при наличии взаимной индукции . . . . .	214
5.19. Трансформаторы с линейными характеристиками. Идеальный трансформатор . . . . .	219
5.20. Цепи, связанные через электрическое поле . . . . .	223
5.21. Баланс мощностей в сложной цепи . . . . .	224
5.22. Расчет сложных цепей при постоянном токе . . . . .	225
5.23. Проблемы расчета установившихся режимов сложных электрических цепей . . . . .	226
5.24. Топологические методы расчета цепей . . . . .	227
<b>Глава 6. Резонансные явления и частотные характеристики . . . . .</b>	<b>232</b>
6.1. Понятие о резонансе и о частотных характеристиках в электрических цепях. . .	232
6.2. Резонанс в случае последовательного соединения участков $r, L, C$ . . . . .	232
6.3. Частотные характеристики цепи с последовательным соединением участков $r, L, C$ . . . . .	234
6.4. Резонанс при параллельном соединении участков $g, L, C$ . . . . .	237
6.5. Частотные характеристики цепи с параллельным соединением участков $g, L, C$ . . . . .	239
6.6. Частотные характеристики цепей, содержащих только реактивные элементы . . . . .	241
6.7. Частотные характеристики цепей в общем случае. . . . .	244
6.8. Резонанс в индуктивно-связанных контурах . . . . .	247
6.9. Практическое значение явления резонанса в электрических цепях . . . . .	248
<b>Глава 7. Расчет трехфазных цепей . . . . .</b>	<b>251</b>
7.1. Многофазные цепи и системы и их классификация . . . . .	251
7.2. Расчет трехфазной цепи в общем случае несимметрии ЭДС и несимметрии цепи . . . . .	255
7.3. Получение вращающегося магнитного поля . . . . .	257

7.4. Разложение несимметричных трехфазных систем на симметричные составляющие . . . . .	259
7.5. О применении метода симметричных составляющих к расчету трехфазных цепей . . . . .	261
Глава 8. Расчет электрических цепей при несинусоидальных периодических ЭДС, напряжениях и токах . . . . .	265
8.1. Метод расчета мгновенных установившихся напряжений и токов в линейных электрических цепях при действии периодических несинусоидальных ЭДС . . . . .	265
8.2. Зависимость формы кривой тока от характера цепи при несинусоидальном напряжении . . . . .	268
8.3. Действующие периодические несинусоидальные токи, напряжения и ЭДС . . . . .	270
8.4. Активная мощность при периодических несинусоидальных токах и напряжениях . . . . .	271
8.5. Особенности поведения высших гармоник в трехфазных цепях. . . . .	273
8.6. О составе высших гармоник при наличии симметрии форм кривых тока или напряжения . . . . .	274
8.7. Представление ряда Фурье в комплексной форме. . . . .	276
8.8. Биения колебаний . . . . .	278
8.9. Модулированные колебания . . . . .	280
Глава 9. Расчет переходных процессов в электрических цепях с сосредоточенными параметрами классическим методом . . . . .	282
9.1. О переходных процессах в линейных электрических цепях . . . . .	282
9.2. Общий путь расчета переходных процессов в линейных электрических цепях. . . . .	283
9.3. Метод переменных состояния. . . . .	284
9.4. Определение постоянных интегрирования из начальных условий . . . . .	286
9.5. Переходные процессы в цепи с последовательно соединенными участками $r$ и $L$ . . . . .	288
9.6. Переходные процессы в цепи с последовательно соединенными участками $r$ и $C$ . . . . .	293
9.7. Переходные процессы в цепи с последовательно соединенными участками $r$ , $L$ и $C$ . . . . .	298
9.8. Разряд конденсатора на цепь $r$ , $L$ . . . . .	301
9.9. Включение цепи $r$ , $L$ , $C$ под постоянное напряжение. . . . .	307
9.10. Включение цепи $r$ , $L$ , $C$ под синусоидальное напряжение . . . . .	308
9.11. Переходные процессы при мгновенном изменении параметров участков цепи . . . . .	311
9.12. Расчет переходных процессов в сложной цепи . . . . .	316
9.13. Расчет переходных процессов методом переменных состояния . . . . .	320
9.14. Численное интегрирование уравнений состояния . . . . .	332
9.15. Устойчивость методов численного интегрирования . . . . .	336
9.16. Жесткость систем дифференциальных уравнений электрических цепей . . . . .	341
9.17. Системные методы численного решения уравнений состояния электрических цепей . . . . .	346
9.18. Расчет переходных процессов в электрических цепях методом синтетических схем . . . . .	351

Глава 10. Расчет переходных процессов в цепях с сосредоточенными параметрами операторным методом . . . . .	358
10.1. Операторное изображение функций, их производных и интегралов . . . . .	358
10.2. Примеры изображений функций . . . . .	361
10.3. Законы Кирхгофа и Ома в операторной форме . . . . .	363
10.4. Расчет переходных процессов в электрических цепях операторным методом . . . . .	366
10.5. Переход от изображений к оригиналу. Теорема разложения . . . . .	369
10.6. Свойства корней характеристического уравнения . . . . .	373
Глава 11. Спектральное представление непериодических функций — интегральное преобразование Фурье. Расчет переходных процессов методом частотных характеристик . . . . .	375
11.1. Представление непериодических функций времени с помощью интеграла Фурье . . . . .	375
11.2. Частотные характеристики . . . . .	377
11.3. Получение частотных характеристик заданной функции времени . . . . .	378
11.4. Расчет переходных процессов при помощи частотных характеристик . . . . .	381
11.5. Связь преобразования Фурье с преобразованием Лапласа. Понятие о комплексной частоте . . . . .	384
Глава 12. Расчет электрических цепей при воздействии импульсных ЭДС и ЭДС произвольной формы . . . . .	386
12.1. Понятие об импульсных ЭДС, токах и импульсных системах . . . . .	386
12.2. Переходные и импульсные характеристики электрической цепи и расчет цепи при воздействии импульсных ЭДС и токов . . . . .	387
12.3. Расчет цепи при воздействии ЭДС произвольной формы — интеграл Дюамеля . . . . .	391
12.4. Расчет установившихся режимов при помощи интеграла Дюамеля и правого преобразования Лапласа . . . . .	393
12.5. Расчет переходных процессов в сложных цепях при помощи правого преобразования Лапласа . . . . .	397
12.6. Расчет электрических цепей при воздействии импульсных ЭДС методом правого преобразования Лапласа . . . . .	399
12.7. Расчет цепи при действии последовательности импульсов путем решения разностных уравнений цепи. . . . .	404
12.8. Метод z-преобразования . . . . .	410
12.9. Расчет переходных процессов в электрических цепях методом z-преобразования . . . . .	413
12.10. О случайных процессах в электрических цепях . . . . .	416
Глава 13. Анализ общих свойств четырехполюсников . . . . .	418
13.1. Различные виды уравнений четырехполюсника . . . . .	418
13.2. Эквивалентные схемы четырехполюсника . . . . .	422
13.3. Экспериментальное определение параметров четырехполюсника . . . . .	423
13.4. Соединения четырехполюсников и матричная запись уравнений четырехполюсника . . . . .	424

13.5. Передаточные функции четырехполюсников . . . . .	426
13.6. Дифференцирующие и интегрирующие цепи . . . . .	431
13.7. Обратные связи . . . . .	433
13.8. Активный четырехполюсник . . . . .	435
13.9. Чувствительность характеристик электрических цепей к изменению параметров элементов . . . . .	437
Глава 14. Цепные схемы. Электрические фильтры. Структурные схемы . . . . .	440
14.1. Характеристические параметры четырехполюсника . . . . .	440
14.2. Передаточные функции согласованных цепных схем . . . . .	443
14.3. Электрические фильтры . . . . .	444
14.4. Электрические фильтры нижних частот типа $k$ . . . . .	447
14.5. Электрические фильтры нижних частот типа $m$ . . . . .	449
14.6. Метод преобразования частоты. Электрические фильтры верхних частот. Полосовые электрические фильтры . . . . .	451
14.7. Структурные схемы . . . . .	453
14.8. К вопросу об устойчивости в электрических цепях . . . . .	456
Глава 15. Синтез электрических цепей . . . . .	460
15.1. Задача синтеза электрических цепей . . . . .	460
15.2. Свойства входных функций пассивных электрических цепей . . . . .	461
15.3. Представление входных функций в виде простых дробей . . . . .	463
15.4. Реализация входных функций двухполюсника, имеющих вещественные и мнимые корни знаменателя, при помощи разложения этих функций на простые дроби . . . . .	464
15.5. Реализация входных функций двухполюсника, имеющих только мнимые корни знаменателя, при помощи представления этих функций в виде цепных дробей . . . . .	468
15.6. Синтез входной функции двухполюсника в общем случае. Проверка отсутствия нулей и полюсов в правой полуплоскости . . . . .	474
15.7. Синтез входной функции двухполюсника в общем случае. Проверка условия положительности функции $\text{Re} [F(p)] \geq 0$ при $\text{Re} (p) = \sigma \geq 0$ . . . . .	476
15.8. Синтез входной функции двухполюсника в общем случае. Реализация заданных функций, имеющих вещественные, мнимые и комплексные корни . . . . .	479
15.9. О синтезе передаточных функций четырехполюсника . . . . .	483
Глава 16. Диагностика электрических цепей . . . . .	486
16.1. Задачи и методы диагностики электрических цепей . . . . .	486
16.2. Диагностика пассивных цепей методом узловых сопротивлений . . . . .	488
16.3. Диагностика пассивных цепей обобщенным методом узловых сопротивлений . . . . .	494
16.4. Использование метода узловых сопротивлений для диагностики активных электрических цепей . . . . .	496
16.5. Диагностика электрических цепей в условиях неполноты и противоречивости исходных данных . . . . .	497
16.6. Диагностики электрических цепей, обладающих жесткими математическими моделями . . . . .	499
Алфавитный указатель . . . . .	507