

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |           |   |           |
|---|-----------|---|-----------|
| Предисловие .....   | 3         | рических цепей (метод комплексных амплитуд) .....   | 48        |
| Условные обозначения .....  | 5         | 3-1. Представление гармонических функций с помощью комплексных величин .....                                  | 48        |
| Введение .....  | 7         | 3-2. Законы Ома и Кирхгофа в комплексной форме .....  | 50        |
| <b>Г л а в а п е р в а я . Основные определения, законы, элементы и параметры электрических цепей .....</b> | <b>9</b>  | 3-3. Зависимость между сопротивлениями и проводимостями участка цепи .....                                    | 54        |
| 1-1. Электрическая цепь .....   | 9         | 3-4. Комплексная форма записи мощности .....  | 55        |
| 1-2. Положительные направления тока и напряжения .....  | 10        | 3-5. Условие передачи максимума средней мощности от источника к приемнику .....                               | 56        |
| 1-3. Мгновенная мощность и энергия .....  | 11        | 3-6. Условие передачи источником максимума мощности при заданном коэффициенте мощности приемника .....        | 57        |
| 1-4. Сопротивление .....  | 11        | 3-7. Баланс мощностей .....   | 57        |
| 1-5. Индуктивность .....  | 13        | 3-8. Потенциальная (топографическая) диаграмма .....  | 58        |
| 1-6. Емкость .....  | 15        | 3-9. Задачи и вопросы для самопроверки .....  | 59        |
| 1-7. Замещение физических устройств идеализированными элементами цепи .....                                 | 17        | <b>Г л а в а ч е т в е р т а я . Преобразование схем электрических цепей. Метод геометрических мест .....</b> | <b>60</b> |
| 1-8. Источник э. д. с. и источник тока .....  | 19        | 4-1. Последовательное и параллельное соединения .....   | 60        |
| 1-9. Линейные электрические цепи .....  | 21        | 4-2. Смешанное соединение .....   | 62        |
| 1-10. Основные определения, относящиеся к электрической схеме .....   | 22        | 4-3. Эквивалентные участки цепи с последовательным и параллельным соединениями .....                          | 63        |
| 1-11. Вольт-амперная характеристика участка цепи с источником .....   | 24        | 4-4. Преобразование треугольника в эквивалентную звезду .....   | 65        |
| 1-12. Распределение потенциала вдоль цепи с сопротивлениями и источниками напряжения .....                  | 25        | 4-5. Преобразование звезды в эквивалентный треугольник .....  | 66        |
| 1-13. Законы Кирхгофа .....   | 26        | 4-6. Эквивалентные источники напряжения и тока .....  | 67        |
| 1-14. Задачи и вопросы для самопроверки .....   | 27        | 4-7. Преобразование схем с двумя узлами .....   | 68        |
| <b>Г л а в а в т о р а я . Цепи гармонического тока .....</b>   | <b>28</b> | 4-8. Перенос источников в схеме .....   | 68        |
| 2-1. Гармонические колебания .....  | 28        | 4-9. Преобразование симметричных схем .....   | 70        |
| 2-2. Генерирование синусоидальной э. д. с. ....   | 29        | 4-10. Графическое изображение зависимостей комплексных величин от параметра .....                             | 71        |
| 2-3. Среднее и действующее значения функций .....   | 31        | 4-11. Преобразование вида $Y = \frac{1}{Z}$ .....   | 72        |
| 2-4. Представление гармонических колебаний в виде проекций вращающихся векторов .....                       | 33        | 4-12. Диаграммы сопротивлений и проводимостей простейших электрических цепей .....                            | 73        |
| 2-5. Гармонический ток в сопротивлении .....  | 35        | 4-13. Преобразование вида $W = \frac{A + Bk}{C + Dk}$ .....   | 76        |
| 2-6. Гармонический ток в индуктивности .....  | 36        | 4-14. Задачи и вопросы для самопроверки .....   | 79        |
| 2-7. Гармонический ток в емкости .....  | 37        | <b>Г л а в а п я т а я . Методы расчета сложных электрических цепей .....</b>                                 | <b>80</b> |
| 2-8. Последовательное соединение $r, L, C$ .....  | 39        |   |           |
| 2-9. Параллельное соединение $r, L, C$ .....  | 42        |   |           |
| 2-10. Мощность в цепи гармонического тока .....   | 44        |   |           |
| 2-11. Задачи и вопросы для самопроверки .....   | 47        |   |           |
| <b>Г л а в а т р е т ъ я . Применение комплексных чисел к расчету элект-</b>                                |           |   |           |

|   |     |  |     |
|---|-----|--|-----|
| 5-1. Применение законов Кирхгофа для расчета сложных цепей . . . . .  | 80  | 8-3. Векторные диаграммы . . . . .   | 143 |
| 5-2. Метод контурных токов . . . . .  | 82  | 8-4. Коэффициент связи . . . . .   | 144 |
| 5-3. Метод узловых напряжений . . . . .   | 85  | 8-5. Настройка связанных контуров. Энергетические соотношения . . . . .  | 145 |
| 5-4. Метод наложения . . . . .  | 88  | 8-6. Резонансные кривые связанных контуров. Полоса пропускания . . . . .   | 147 |
| 5-5. Входные и передаточные проводимости и сопротивления . . . . .  | 89  | 8-7. Задачи и вопросы для самопроверки . . . . .   | 149 |
| 5-6. Теорема обратимости (или взаимности) . . . . .   | 91  |  |     |
| 5-7. Теорема компенсации . . . . .  | 92  |  |     |
| 5-8. Теорема об изменении токов в электрической цепи при изменении сопротивления в одной ветви . . . . .                                    | 93  | <b>Г л а в а д е в я т а я . Ц е п и т р е х ф а з н о г о т о к а . . . . .</b>   | 149 |
| 5-9. Теорема об эквивалентном источнике . . . . .   | 95  | 9-1. Трехфазные электрические цепи . . . . .   | 149 |
| 5-10. Применение матриц к расчету электрических цепей . . . . .   | 97  | 9-2. Соединение звездой и треугольником . . . . .  | 151 |
| 5-11. Некоторые особенности расчета электрических цепей с емкостями . . . . .   | 100 | 9-3. Симметричный режим работы трехфазной цепи . . . . .   | 153 |
| 5-12. Дуальные цепи . . . . .   | 101 | 9-4. Несимметричный режим работы трехфазной цепи . . . . .   | 156 |
| 5-13. Электромеханические аналогии . . . . .  | 103 | 9-5. Мощность несимметричной трехфазной цепи . . . . .   | 158 |
| 5-14. Задачи и вопросы для самопроверки . . . . .   | 105 | 9-6. Вращающееся магнитное поле . . . . .  | 159 |
| <b>Г л а в а ш е с т а я . И н д у к т и в н о с в я з а н н ы е э л е к т р и ч е с к и е ц е п и . . . . .</b>                            | 106 | 9-7. Принцип действия асинхронного и синхронного двигателей . . . . .  | 162 |
| 6-1. Основные положения и определения . . . . .   | 106 | 9-8. Задачи и вопросы для самопроверки . . . . .   | 164 |
| 6-2. Полярности индуктивно связанных катушек; э. д. с. взаимной индукции . . . . .  | 107 |  |     |
| 6-3. Комплексная форма расчета цепи с взаимной индукцией . . . . .  | 109 | <b>Г л а в а д е с т а я . П е р и о д и ч е с к и е н е с и н у с о и д а л ь н ы е п р o c e s s y . . . . .</b>   | 165 |
| 6-4. Коэффициент индуктивной связи. Индуктивность рассеяния . . . . .   | 112 | 10-1. Тригонометрическая форма ряда Фурье . . . . .  | 165 |
| 6-5. Уравнения и схемы замещения трансформатора без ферромагнитного сердечника . . . . .  | 115 | 10-2. Случаи симметрии . . . . .   | 168 |
| 6-6. Энергия индуктивно связанных обмоток . . . . .   | 118 | 10-3. Перенос начала отсчета . . . . .   | 170 |
| 6-7. Входное сопротивление трансформатора . . . . .   | 118 | 10-4. Комплексная форма ряда Фурье . . . . .   | 171 |
| 6-8. Автотрансформатор . . . . .  | 120 | 10-5. Применение ряда Фурье к расчету периодического несинусоидального процесса . . . . .  | 172 |
| 6-9. Задачи и вопросы для самопроверки . . . . .  | 121 | 10-6. Действующее и среднее значения периодической несинусоидальной функции . . . . .  | 174 |
| <b>Г л а в а с е д м ь м а я . О д и н о ч н ы й к о л е б а т е л ь н ы й к о н т у р . . . . .</b>  | 122 | 10-7. Мощность в цепи периодического несинусоидального тока . . . . .  | 175 |
| 7-1. Колебательные (резонансные) цепи . . . . .   | 122 | 10-8. Коэффициенты, характеризующие периодические несинусоидальные функции . . . . .   | 176 |
| 7-2. Последовательный колебательный контур. Резонанс напряжений . . . . .   | 122 | 10-9. Задачи и вопросы для самопроверки . . . . .  | 176 |
| 7-3. Частотные характеристики последовательного резонансного контура . . . . .  | 122 |  |     |
| 7-4. Параллельный колебательный контур. Резонанс токов . . . . .  | 126 | <b>Г л а в а о д и н а д ц а т а я . Ц е п и с ф е р о м а g n i t н ы ми с е р д е ч н и к а м и п р i п о с т о я н н о м м а g n i t н o m по т o k e . . . . .</b> | 178 |
| 7-5. Разновидности параллельного колебательного контура . . . . .   | 131 | 11-1. Назначение и типы магнитных цепей . . . . .  | 178 |
| 7-6. Элементы колебательного контура . . . . .  | 132 | 11-2. Основные законы магнитной цепи и свойства ферромагнитных материалов . . . . .  | 178 |
| 7-7. Задачи и вопросы для самопроверки . . . . .  | 138 | 11-3. Неразветвленная магнитная цепь . . . . .   | 182 |
| <b>Г л а в а в о с й м а я . С в я з а н н ы е к о л е б а т е л ь н ы й к o н т u r y . . . . .</b>  | 140 | 11-4. Разветвленная магнитная цепь . . . . .   | 184 |
| 8-1. Виды связи . . . . .   | 140 | 11-5. Задачи и вопросы для самопроверки . . . . .  | 186 |
| 8-2. Сопротивление связи и вносимые сопротивления . . . . .   | 141 |  |     |
| <b>Г л а в а д в е н а д ц а т а я . Ц е п i п e r e м e n n o г o т o k a с f e r r o m a g n i t н y ми э l e m e n t a m i . . . . .</b> |     | 187  |     |
| 12-1. Некоторые особенности це-   |     |  |     |

|   |            |   |            |
|---|------------|---|------------|
| пей переменного тока с ферромагнитными элементами .   | 187        | 15.1. Еременное и спектральное представление сигналов . . . . .   | 245        |
| 12-2. Основные свойства ферромагнитных материалов при переменных полях .....  | 188        | 15.2. Непериодические сигналы. Интеграл Фурье как предельный случай ряда Фурье . . . . .                                | 250        |
| 12-3. Катушка с ферромагнитным сердечником .....  | 191        | 15.3. Связь между дискретным и сплошным спектрами . . . . .   | 252        |
| 12-4. Трансформатор с ферромагнитным сердечником .....  | 195        | 15.4. Случаи симметрии непериодической функции . . . . .  | 254        |
| 12-5. Задачи и вопросы для самопроверки .....   | 198        | 15.5. Распределение энергии в спектре . . . . .   | 255        |
| <b>Г л а в а т р и н а д ц а т а я . Переходные процессы в линейных цепях с сосредоточенными параметрами (классический метод) .....</b> | <b>199</b> | 15.6. Связь между преобразованием Фурье и преобразованием Лапласа . . . . .   | 256        |
| 13-1. Возникновение переходных процессов .....  | 199        | 15.7. Свойства преобразования Фурье . . . . .   | 257        |
| 13-2. Законы коммутации и начальные условия .....   | 200        | 15.8. Спектры некоторых типовых непериодических сигналов ..   | 260        |
| 13-3. Принужденный и свободный режимы .....   | 202        | 15.9. Обобщенная форма интеграла Фурье . . . . .  | 266        |
| 13-4. Переходный процесс в цепи $r, L$ .....  | 203        | 15.10. Особые случаи . . . . .  | 269        |
| 13-5. Переходный процесс в цепи $r, C$ .....  | 206        | 15.11. Нахождение сигнала по заданным частотным характеристикам действительной и минимой составляющих спектра . . . . . | 272        |
| 13-6. Переходный процесс в цепи $r, L, C$ .....   | 209        | 15.12. Применение спектрального метода для расчета переходных процессов . . . . .                                       | 273        |
| 13-7. Расчет переходного процесса в разветвленной цепи ..   | 213        | 15.13. Условие неискаженной передачи сигнала через линейную систему . . . . .   | 277        |
| 13-8. Задачи и вопросы для самопроверки .....   | 218        | 15.14. Прохождение сигнала через линейную систему с ограниченной полосой пропускания . . . . .                          | 278        |
| <b>Г л а в а ч е ты р и н д ц а т а я . Применение преобразования Лапласа к расчету переходных процессов. . . . .</b>                   | <b>219</b> | 15.15. Задачи и вопросы для самопроверки .....  | 281        |
| 14-1. Общие сведения .....  | 220        | <b>Г л а в а ш е с т н а д ц а т а я . Цепи с распределенными параметрами ..</b>  | <b>282</b> |
| 14-2. Прямое преобразование Лапласа. Оригинал и изображение .....   | 221        | 16-1. Первичные параметры однородной линии .....  | 282        |
| 14-3. Изображения некоторых простейших функций .....  | 221        | 16-2. Дифференциальные уравнения однородной линии . . . . .   | 284        |
| 14-4. Основные свойства преобразования Лапласа .....  | 226        | 16-3. Периодический режим в однородной линии .....  | 285        |
| 14-5. Нахождение оригинала по изображению с помощью обратного преобразования Лапласа . . . . .  | 226        | 16-4. Вторичные параметры однородной линии .....  | 289        |
| 14-6. Теорема разложения .....  | 226        | 16-5. Линия без искажений . . . . .   | 292        |
| 14-7. Таблицы оригиналов и изображений .....  | 229        | 16-6. Линия без потерь .....  | 294        |
| 14-8. Применение преобразования Лапласа к решению дифференциальных уравнений электрических цепей .....                                  | 229        | 16-7. Режимы работы линии без потерь. Стоячие волны . . . . .   | 295        |
| 14-9. Учет неизуемых начальных условий методом эквивалентного источника .....   | 235        | 16-8. Входное сопротивление линии .....   | 298        |
| 14-10. Формулы включения .....  | 235        | 16-9. Мощность в линии без потерь .....   | 301        |
| 14-11. Расчет переходного процесса с помощью формул наложения .....   | 237        | 16-10. Линия как согласующий трансформатор .....  | 302        |
| 14-12. Нахождение в замкнутой форме установившейся реакции цепи на периодическую несинусоидальную воздействующую функцию .....          | 238        | 16-11. Согласование сопротивлений посредством параллельного присоединения отрезков линии .....                          | 303        |
| 14-13. Задачи и вопросы для самопроверки .....  | 241        | 16-12. Круговые диаграммы для линии без потерь .....  | 305        |
| <b>Г л а в а п ятнадцатая . Спектральный метод .....</b>  | <b>243</b> | 16-13. Линия как элемент резонансной цепи .....   | 307        |
|   | 245        | 16-14. Переходные процессы в цепях с распределенными параметрами .....  | 307        |
|   |            | 16-15. Исследование переходных процессов в цепях с распре-  |            |

|  |     |  |     |
|--|-----|--|-----|
| вонаполюсников в единичной форме   | 31  | глава восьмнадцатая. Четырехполюсники  | 347 |
| деленными параметрами с помощью преобразования Лапласа .....   | 310 | 18-1. Основные определения и классификация четырехполюсников .....   | 347 |
| 16-16. Задачи и вопросы для самопроверки .....   | 311 | 18-2. Системы уравнений четырехполюсника .....   | 347 |
| <b>Г л а в а с е м н а д ц а т а я . Двухполюсники</b> .....   | 312 | 18-3. Уравнения четырехполюсника в форме $\ A\ $ .....   | 350 |
| 17-1. Определение и классификация двухполюсников .....   | 312 | 18-4. Параметры холостого хода и короткого замыкания .....   | 353 |
| 17-2. Одноэлементные реактивные двухполюсники .....  | 313 | 18-5. Схемы замещения четырехполюсника .....   | 353 |
| 17-3. Двухэлементные реактивные двухполюсники .....  | 314 | 18-6. Входное сопротивление четырехполюсника при произвольной нагрузке .....                                     | 355 |
| 17-4. Многоэлементные реактивные двухполюсники .....   | 315 | 18-7. Характеристические параметры четырехполюсника .....  | 356 |
| 17-5. Общее выражение сопротивления пассивного многоэлементного реактивного двухполюсника .....  | 320 | 18-8. Вносимое затухание четырехполюсника .....  | 359 |
| 17-6. Канонические схемы реактивных двухполюсников .....   | 323 | 18-9. Передаточная функция .....   | 361 |
| 17-7. Знак производной по частоте от сопротивления или проводимости реактивного двухполюсника .....  | 327 | 18-10. Каскадное соединение четырехполюсников, основанное на согласовании характеристических сопротивлений ..... | 362 |
| 17-8. Цепные схемы реактивных двухполюсников .....   | 328 | 18-11. Уравнения сложных четырехполюсников в матричной форме .....   | 363 |
| 17-9. Потенциально - эквивалентные двухполюсники и условия их эквивалентности .....  | 331 | 18-12. Одноэлементные четырехполюсники .....   | 364 |
| 17-10. Потенциально - обратные двухполюсники и условия их взаимной обратности .....  | 333 | 18-13. Г-образный четырехполюсник .....  | 365 |
| 17-11. Многоэлементные двухполюсники с потерями, содержащие элементы двух типов .....  | 334 | 18-14. Т-образный и П-образный четырехполюсники .....  | 366 |
| 17-12. Четность активной и нечетность реактивной составляющих сопротивления относительно частоты. Знак активного сопротивления и активной проводимости ..... | 339 | 18-15. Симметричный мостовой четырехполюсник .....   | 367 |
| 17-13. Связь между частотными характеристиками активной и реактивной составляющих сопротивления или проводимости двухполюсника .....                         | 341 | 18-16. Идеальный трансформатор как четырехполюсник .....   | 367 |
| 17-14. Задачи и вопросы для самопроверки .....   | 347 | 18-17. Обратная связь .....  | 368 |
| <b>Г л а в а в о с е м н а д ц а т а я . Четырехполюсники</b> .....  | 347 | 18-18. Задачи и вопросы для самопроверки .....   | 369 |
| 18-1. Основные определения и классификация четырехполюсников .....   | 347 | <b>Г л а в а д в а д ц а т а я . Электрические фильтры</b> .....   | 370 |
| 18-2. Системы уравнений четырехполюсника .....   | 350 | 19-1. Основные определения и классификация электрических фильтров .....  | 370 |
| 18-3. Уравнения четырехполюсника в форме четырехполюсника .....  | 351 | 19-2. Условие пропускания реактивного фильтра .....  | 371 |
| 18-4. Параметры холостого хода и короткого замыкания .....   | 353 | 19-3. Фильтры типа $k$ .....   | 374 |
| 18-5. Схемы замещения четырехполюсника .....   | 353 | 19-4. Фильтры типа $m$ .....   | 379 |
| 18-6. Входное сопротивление четырехполюсника при произвольной нагрузке .....   | 355 | 19-5. Индуктивно связанные контуры как фильтрующая система .....   | 384 |
| 18-7. Характеристические параметры четырехполюсника .....  | 356 | 19-6. Мостовые фильтры, пьезоэлектрические резонаторы .....  | 385 |
| 18-8. Вносимое затухание четырехполюсника .....  | 359 | 19-7. Безындукционные фильтры .....  | 387 |
| <b>Приложения:</b>   |     | 19-8. Задачи и вопросы для самопроверки .....  | 390 |
| I. Метод сигнальных графов .....   | 353 | <b>Г л а в а д в а д ц а т а я . Синтез линейных электрических цепей</b> .....                                   | 391 |
| II. Соотношения между коэффициентами четырехполюсника .....  | 353 | 20-1. Характеристика задач синтеза .....   | 391 |
| III. Определители, выраженные через коэффициенты четырехполюсника .....  | 355 | 20-2. Исследование двухполюсника при комплексной частоте .....   | 392 |
| IV. Оригиналы и изображения по Лапласу .....   | 356 | 20-3. Сопротивление и проводимость как положительная действительная функция .....                                | 394 |
| Литература .....   | 359 | 20-4. Условия физической реализуемости функции .....   | 396 |
| Алфавитный указатель .....   | 359 | 20-5. Методы построения двухполюсника по заданной частотной характеристике .....                                 | 397 |
|  |     | 20-6. Исследование четырехполюсника при комплексной частоте .....  | 402 |
|  |     | 20-7. Задачи и вопросы для самопроверки .....  | 403 |