

# О г л а в л е н и е

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| Предисловие редактора . . . . .  | 5 |
| Из предисловия авторов . . . . . | 9 |

## Глава 1. Введение

|   |    |
|---|----|
| 1.1. Цепи, сигналы и системы . . . . .                  | 11 |
| 1.2. Прохождение сигналов и их преобразование . . . . . | 11 |
| 1.3. Эквивалентные схемы . . . . .                      | 12 |
| 1.4. Методы анализа . . . . .                           | 13 |
| Задачи . . . . .  | 14 |

## Глава 2. Матричный анализ цепей

|   |    |
|---|----|
| 2.1. Введение . . . . .   | 16 |
| 2.2. Матричные операции . . . . .   | 19 |
| 2.3. Матричное представление системы линейных уравнений . . . . .               | 23 |
| 2.4. Некоторые свойства определителей . . . . .                                 | 24 |
| 2.5. Составление обратной матрицы . . . . .                                     | 27 |
| 2.6. Матрицы узловых проводимостей электрических цепей . . . . .                | 30 |
| 2.7. Матрица узловых полных сопротивлений . . . . .                             | 34 |
| 2.8. Коэффициенты передачи напряжений и токов . . . . .                         | 36 |
| 2.9. Неопределенная матрица узловых проводимостей . . . . .                     | 38 |
| 2.10. Неопределенные матрицы проводимостей схем электронных устройств . . . . . | 42 |
| 2.11. Катодный повторитель . . . . .  | 47 |
| 2.12. Интегратор Миллера . . . . .  | 49 |
| 2.13. Матрицы других трехполюсных схем . . . . .                                | 50 |
| 2.14. Комплексная мощность . . . . .  | 52 |
| Задачи . . . . .  | 56 |

## Глава 3. Топологический анализ цепей

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 3.1. Введение . . . . .          | 64 |
| 3.2. Определитель цепи . . . . . | 65 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 3.3.  | Частичное разложение определителя на множители . . . . .    | 65 |
| 3.4.  | Топологический закон передачи цепи . . . . .                | 69 |
| 3.5.  | Контурная схема замещения общей линейной цепи . . . . .     | 72 |
| 3.6.  | Топологический закон передачи общей линейной цепи . . . . . | 76 |
| 3.7.  | Анализ схемы катодного повторителя . . . . .                | 78 |
| 3.8.  | Анализ схемы триодного усилителя . . . . .                  | 79 |
| 3.9.  | Анализ схемы транзисторного усилителя . . . . .             | 80 |
| 3.10. | Гиристор и гиратор . . . . .                                | 81 |
| 3.11. | Вывод топологического закона передачи . . . . .             | 86 |
| 3.12. | Исключение узла . . . . .                                   | 91 |
|       | Задачи . . . . .  | 94 |

#### **Глава 4. Линейные графы сигналов**

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 4.1.  | Введение . . . . .  | 103 |
| 4.2.  | Линейный граф сигналов . . . . .                                | 103 |
| 4.3.  | Простейшие эквивалентные элементы . . . . .                     | 106 |
| 4.4.  | Влияние петли . . . . .   | 107 |
| 4.5.  | Исключение узла . . . . .                                       | 108 |
| 4.6.  | Передача графа . . . . .  | 110 |
| 4.7.  | Общий граф . . . . .  | 111 |
| 4.8.  | Определение передачи графа с помощью путей и контуров . . . . . | 112 |
| 4.9.  | Расщепление узла . . . . .                                      | 116 |
| 4.10. | Контурные передачи узла или ветви . . . . .                     | 116 |
| 4.11. | Определитель графа . . . . .                                    | 117 |
| 4.12. | Разложение определителя по контурам . . . . .                   | 120 |
| 4.13. | Разложение определителя на множители . . . . .                  | 122 |
| 4.14. | Разложение по узлу или по ветви . . . . .                       | 122 |
| 4.15. | Вывод общего выражения передачи . . . . .                       | 125 |
| 4.16. | Инверсия пути или контура . . . . .                             | 126 |
| 4.17. | Нормирование передач ветвей . . . . .                           | 131 |
| 4.18. | Изменение направления графа . . . . .                           | 132 |
|       | Задачи . . . . .  | 135 |

#### **Глава 5. Анализ цепей с помощью графов**

|      |  |     |
|------|--|-----|
| 5.1. | Введение . . . . .   | 137 |
| 5.2. | Схемы четырехполюсников . . . . .                                  | 139 |
| 5.3. | Каскадное соединение четырехполюсников . . . . .                   | 147 |
| 5.4. | Основной граф контурной схемы . . . . .                            | 150 |
| 5.5. | Анализ методом узловых напряжений и контурных токов . . . . .      | 155 |
| 5.6. | Вынужденная односторонняя проводимость . . . . .                   | 162 |
| 5.7. | Граф узловых напряжений для унитарной схемы . . . . .              | 164 |
| 5.8. | Основные схемы замещения транзисторов и электронных ламп . . . . . | 167 |
| 5.9. | Усилительный каскад с катодной связью . . . . .                    | 179 |

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| 5.10. Каскод . . . . .              | 180 |
| 5.11. Пентодный усилитель . . . . . | 182 |
| З а д а ч и . . . . .               | 185 |

## Глава 6. Анализ сигналов

|  |     |
|--|-----|
| 6.1. Введение . . . . .  | 188 |
| 6.2. Импульсные сигналы . . . . .  | 190 |
| 6.3. Периодические сигналы . . . . .                                       | 192 |
| 6.4. Почти периодические сигналы . . . . .                                 | 194 |
| 6.5. Случайные сигналы . . . . .   | 195 |
| 6.6. Стационарные случайные процессы . . . . .                             | 199 |
| 6.7. Постоянная и переменная составляющие . . . . .                        | 200 |
| 6.8. Четная и нечетная составляющие . . . . .                              | 203 |
| 6.9. Действительная и мнимая составляющие . . . . .                        | 205 |
| 6.10. Сравнение векторов . . . . .   | 206 |
| 6.11. Сравнение сигналов . . . . .   | 207 |
| 6.12. Корреляционная функция . . . . .                                     | 216 |
| 6.13. Тригонометрический ряд Фурье для периодического сигнала . . . . .    | 231 |
| 6.14. Экспоненциальный ряд Фурье . . . . .                                 | 235 |
| 6.15. Некоторые основные свойства рядов Фурье . . . . .                    | 239 |
| 6.16. Переход к интегралу Фурье для импульсного сигнала . . . . .          | 240 |
| 6.17. Некоторые основные свойства преобразований Фурье . . . . .           | 244 |
| 6.18. Границы спектра . . . . .  | 246 |
| 6.19. Ряд Фурье как предельная форма интеграла Фурье . . . . .             | 251 |
| 6.20. Сопоставление спектров . . . . .                                     | 256 |
| 6.21. Полнота представления с помощью выражений Фурье . . . . .            | 258 |
| 6.22. Некоторые импульсные сигналы и их спектры . . . . .                  | 260 |
| 6.23. Некоторые периодические сигналы и их спектры . . . . .               | 271 |
| 6.24. Некоторые случайные сигналы конечной мощности и их спектры . . . . . | 279 |
| 6.25. Несколько слов о случайных импульсных сигналах . . . . .             | 288 |
| 6.26. Взаимная корреляция спектров . . . . .                               | 288 |
| 6.27. Теорема о дискретных выборках . . . . .                              | 290 |
| 6.28. Дополнительные замечания о сочетаниях сигналов . . . . .             | 291 |
| З а д а ч и . . . . .  | 297 |

## Глава 7. Передача сигналов через линейные системы

|  |     |
|--|-----|
| 7.1. Введение . . . . .  | 318 |
| 7.2. Сингулярные сигналы . . . . .   | 318 |
| 7.3. Импульсная характеристика линейной передающей системы . . . . .               | 326 |
| 7.4. Интеграл суперпозиции . . . . .   | 328 |
| 7.5. Представление интеграла суперпозиции в виде корреляционной операции . . . . . | 332 |
| 7.6. Алгебра свертки . . . . .   | 334 |

|  |     |
|--|-----|
| 7.7. Решение некоторых уравнений свертки . . . . .   | 338 |
| 7.8. Комплексные экспоненциальные сигналы . . . . .  | 342 |
| 7.9. Передаточная функция . . . . .  | 348 |
| 7.10. Корреляция входных и выходных сигналов . . . . .   | 350 |
| 7.11. Согласование сигналов и систем . . . . .   | 353 |
| 7.12. Действительная и мнимая части реализуемой частотной ха-<br>рактеристики устойчивой системы . . . . . | 358 |
| 7.13. Интеграл действительной части . . . . .  | 362 |
| 7.14. Усиление и фаза . . . . .  | 365 |
| 7.15. Задержка несущего колебания и задержка огибающей . . . . .   | 375 |
| 7.16. Экспоненциальные преобразования . . . . .  | 376 |
| 7.17. Некоторые основные свойства экспоненциальных преобразо-<br>ваний . . . . .                           | 382 |
| 7.18. Интегрирование по контуру . . . . .  | 384 |
| 7.19. Однополюсные системы передачи . . . . .  | 393 |
| 7.20. Круговые диаграммы . . . . .   | 399 |
| 7.21. Пример интегратора с обратной связью . . . . .   | 403 |
| 7.22. Двухполюсные системы передачи . . . . .  | 407 |
| 7.23. Резонансные двухполюсные системы передачи . . . . .  | 414 |
| 7.24. «Резонанс» в реостатно-емкостной схеме с обратной связью . . . . .                                   | 424 |
| 7.25. Основное определение добротности $Q$ через энергию . . . . .   | 425 |
| 7.26. Системы с плоской характеристикой на низких частотах . . . . .                                       | 427 |
| 7.27. Системы с плоской полосовой характеристикой передачи . . . . .                                       | 433 |
| 7.28. Передаточные рациональные функции . . . . .  | 437 |
| 7.29. Однополюсные системы полного пропускания . . . . .   | 440 |
| 7.30. Экспоненциальная передаточная функция с идеальной за-<br>держкой . . . . .                           | 445 |
| 7.31. Отражение волн . . . . .   | 449 |
| 7.32. Возбуждение волн . . . . .   | 453 |
| 7.33. Атенуатор с сосредоточенными элементами . . . . .  | 454 |
| 7.34. Скачки волнового сопротивления . . . . .   | 456 |
| 7.35. Волновые коэффициенты . . . . .  | 459 |
| 7.36. Система, содержащая участки со случайными задержками . . . . .                                       | 462 |
| 7.37. Линия, формирующая импульсы . . . . .  | 464 |
| 7.38. Потенциально неустойчивая линия передачи . . . . .   | 466 |
| 7.39. Общие замечания о системах, содержащих элементы идеальной<br>задержки . . . . .                      | 469 |
| 7.40. «Биномная» система задержки . . . . .  | 470 |
| Задачи . . . . .   | 476 |

## **Глава 8. Нелинейные и нестационарные линейные системы**

|   |     |
|---|-----|
| 8.1. Введение . . . . .                                   | 505 |
| 8.2. Перемножение сигналов в нелинейной системе . . . . . | 508 |
| 8.3. Пентод как модулятор . . . . .                       | 509 |

|   |     |
|---|-----|
| 8.4. Элементарные системы, содержащие перемножители . . . . .                                 | 510 |
| 8.5. Усиление мощности в нестационарной системе . . . . .                                     | 512 |
| 8.6. Общее представление нестационарной линейной системы . . . . .                            | 515 |
| 8.7. Амплитудная модуляция . . . . .  | 517 |
| 8.8. Модуляция с подавлением несущей . . . . .  | 521 |
| 8.9. Двухканальная система модуляции . . . . .  | 525 |
| 8.10. Представление различных типов модуляции при помощи двух-<br>канальной системы . . . . . | 528 |
| 8.11. Фазовая и частотная модуляции . . . . .   | 531 |
| 8.12. Многоканальная передача с разделением по частоте . . . . .                              | 535 |
| 8.13. Амплитудно-импульсная модуляция . . . . .   | 536 |
| 8.14. Многоканальная передача с разделением во времени . . . . .                              | 539 |
| 8.15. Кодово-импульсная модуляция . . . . .   | 544 |
| 8.16. Некоторые общие замечания о нелинейных системах . . . . .                               | 550 |
| Задачи . . . . .  | 557 |
| <br>  |     |
| <b>Глава 9. Принцип обратной связи</b>  |     |
| 9.1. Введение . . . . .   | 565 |
| 9.2. Автоматическое регулирование при помощи отрицательной<br>обратной связи . . . . .        | 566 |
| 9.3. Регулирование нелинейной системы передачи . . . . .                                      | 569 |
| 9.4. Регулирование линейной передаточной функции, зависящей от<br>частоты . . . . .           | 572 |
| 9.5. Регулирование нелинейной передаточной функции, зависящей<br>от частоты . . . . .         | 575 |
| 9.6. Уменьшение шума и искажений . . . . .  | 577 |
| 9.7. Чувствительность . . . . .   | 579 |
| 9.8. Регулирование сопротивления . . . . .  | 582 |
| 9.9. Условия устойчивости . . . . .   | 584 |
| 9.10. Устойчивость произвольного графа . . . . .  | 591 |
| 9.11. Примеры применения обратной связи в электронных цепях . . . . .                         | 594 |
| Задачи . . . . .  | 606 |
| <br>  |     |
| <b>Приложение. Функции Бесселя первого рода</b>   | 611 |
| Предметный указатель . . . . .  | 612 |