

Oitava Edição

Introdução à Análise de Circuitos

Robert L. Boylestad

Tradução: **J. A. Souza**
Instituto de Física/UFF

Revisão Técnica: **Ronaldo Sérgio de Biasi**
Prof. Titular/Instituto Militar de Engenharia — IME



Prentice-Hall do Brasil

Título do original em inglês
Introductory Circuit Analysis
Original English language edition published by
Copyright © 1997 by Prentice-Hall, Inc.
All Rights Reserved.

Direitos exclusivos para a língua portuguesa
Copyright © 1998 by
EDITORA PRENTICE-HALL DO BRASIL LTDA.
Travessa do Ouvidor, 11
Rio de Janeiro, RJ — CEP 20040-040

Reservados todos os direitos. É proibida a duplicação ou reprodução
deste volume, no todo ou em parte, sob quaisquer formas ou por quaisquer
meios (eletrônico, mecânico, gravação, fotocópia ou outros),
sem permissão expressa da Editora.

*Para Else Marie
Alison, Mark, Kelcy e Morgan
Stacey e Douglas
e Eric*

Prefácio

Passaram-se trinta anos — três décadas — desde que foi assinado o primeiro contrato para a publicação de *Introductory Circuit Analysis* com a Charles E. Merrill Publishing Company — a única editora, entre as várias a que apresentei o projeto, que aceitou correr o risco. Lembro-me de que um professor encarregado de avaliar o original para outra editora comentou que o texto continha tantos exemplos e sugestões que ele se preocupava com o que iria fazer na sala de aula — o livro deixava muito pouco por conta dos professores. O resultado foi uma avaliação negativa da qual eu gostaria de ter conservado uma cópia.

O ciclo de produção continua a gerar, através dos anos, experiências para as quais é difícil estar preparado, mas, em geral, a resposta a estes fatos inesperados tem sido bastante satisfatória, principalmente devido à excelente equipe da Charles E. Merrill Publishing (atualmente Prentice Hall). A contribuição destas pessoas para a qualidade e a boa apresentação do texto tem sido sempre um fator importante para o sucesso deste livro.

Os estudantes continuam a ser os meus melhores críticos e também os mais informativos. As capas das pastas que utilizo em minhas aulas ficam tomadas pelas anotações dos seus comentários a respeito de tópicos que precisam de revisão e também sobre novas alternativas para a apresentação dos assuntos, além de problemas novos e interessantes. As cartas dos leitores são sempre bem-recebidas, e algumas foram bastante úteis na definição dos assuntos e também para orientar as correções. Os revisores de cada edição têm sido excelentes, com alguns deles indo além de suas obrigações, contribuindo para o conteúdo do texto. Quando as primeiras reedições eram enviadas para impressão, eu sempre achava que o texto finalmente chegara à sua forma definitiva. Tornou-se cada vez mais evidente, no entanto, com o passar dos anos, que sempre é possível introduzir aperfeiçoamentos e que sempre haverá novos tópicos a serem incluídos. Está se tornando cada vez mais difícil introduzir novos assuntos por causa da necessidade de evitar que o livro se torne excessivamente extenso, o que me coloca diante de difíceis decisões quanto aos tópicos a serem suprimidos. No momento em que a oitava edição está indo para o prelo, já me surpreendo planejando algumas mudanças para a nona edição. Acredito, por exemplo, que a versão do PSpice para o DOS estará totalmente em desuso em um ano ou dois. Quando encontrei a versão para Windows pela primeira vez, eu a recebi com bastante ceticismo, tendo imediatamente chamado a atenção de meus colegas para todas as tarefas que ela não podia realizar tão bem quanto a versão para DOS. No entanto, utilizando a versão 6.2 e após muitas horas de interação, cheguei à conclusão de que algumas das minhas suposições originais não estavam corretas, e atualmente utilizo apenas a versão para Windows. A versão para DOS aparece nesta edição somente como uma ponte para os usuários atuais. No que se refere ao PSpice, o

conteúdo desta edição foi projetado para fornecer aos estudantes todos os detalhes necessários para a análise computacional, tanto nos capítulos sobre corrente contínua (dc) quanto nos relacionados a corrente alternada (ac). Em outras palavras, o nível de detalhamento é suficiente para eliminar a necessidade de um suplemento. Acredito que, realizando uma pequena sessão de treinamento com os estudantes em uma sala de computação no começo do curso e fornecendo-lhes um horário e um local para tirar dúvidas, teremos feito o suficiente para que eles entendam a maioria dos programas que aparecem no texto. É sempre uma surpresa agradável para mim observar que estudantes que começam nosso curso com deficiências de matemática ou redação se adaptam ao computador com extrema facilidade. Acredito que para muitos o computador representa uma forma de recuperar a confiança em si próprios e os faz se sentirem mais integrados ao resto da turma. A inclusão do C++ nesta edição é uma resposta a numerosos pedidos de usuários e também ao fato de que esta linguagem vem sendo usada em um número cada vez maior de programas. Os programas em C++ apresentados no texto, embora em número limitado, revelam algumas das características desta linguagem e pelo menos fazem com que o estudante tome conhecimento da existência desta linguagem. As razões para a inclusão do MathCAD são praticamente as mesmas. Incluímos, finalmente, vários exemplos que utilizam a calculadora TI-85 nas seções que lidam com corrente alternada, para mostrar como o seu uso pode facilitar as operações com números complexos. Para aqueles (como eu) que iniciaram suas carreiras utilizando uma régua de cálculo e tabelas para trabalhar com números complexos, esta calculadora foi muito bem-recebida. Existem assim numerosos exemplos do uso desta calculadora espalhados pelas seções em que analisamos circuito de ac, tendo sido dado a estes o mesmo destaque, que o utilizado para os pacotes de software.

Todos os títulos dos capítulos desta edição permanecem idênticos aos da anterior, tendo sido adicionadas somente nove seções novas. Este comentário não deve, no entanto, fazer com que o leitor pense que esta é a sétima edição com uma capa diferente. Houve mudanças em todos os capítulos, e o conteúdo foi reescrito, atualizado e expandido. Alguns dos novos tópicos envolvem Algarismos significativos, precisão e arredondamento; considerações de segurança; interruptores GFCI; aterramento; supermalhas e supernós; novos métodos experimentais; discos rígidos para computadores; sondas de efeito Hall; valores iniciais da tensão em capacitores e da corrente em indutores. Entre as áreas nas quais o conteúdo foi expandido, temos as seguintes: potênciômetros; regras dos divisores de tensão e de corrente; resistência interna; técnicas de medida; curto-circuitos e circuitos abertos; circuitos em série-paralelo; análise nodal; teorema de Thévenin; fontes dependentes; potência; ressonância em parale-

lo; pontas de prova compensadas e problemas. Quando examino o original corrigido deste texto, fico surpreso ao notar que a área que sempre parece necessitar de maior atenção é a introdução. É claro que é extremamente importante que os estudantes entendam claramente os conceitos fundamentais de modo a adquirirem uma base sólida para o estudo do assunto de cada capítulo. Uma importante modificação adotada ao longo de todo o texto é que agora todas as figuras possuem uma legenda para definir tanto o seu conteúdo quanto o seu objetivo. Nas edições anteriores, somente 20% das figuras possuíam legenda. Acredito que estas legendas auxiliarão os estudantes a compreender o texto e os exemplos.

Como aconteceu em todas as outras edições, há uma extensa lista de pessoas que contribuíram para o conteúdo, a qualidade e a precisão deste texto. Na minha própria instituição, os conselhos e sugestões oferecidos por Jerry Sitbon ajudaram a imprimir uma orientação mais prática a este livro. Agradeço à sua esposa, a Sra. Catherine Sitbon, nascida em Paris, França, por ter obtido na École Polytechnique as informações a respeito de Leon Thévenin que aparecem nesta edição. O professor James L. Antonakos, do Broome Community College, foi particularmente solícito no que se refere à linguagem C++, contribuindo com todos os seus anos de experiência com o programa e com o mundo editorial para a elaboração dos programas que aparecem nesta oitava edição. O professor William Boettcher, do Albuquerque Technical-Vocational Institute, amigo de longa data tanto do autor quanto deste livro, prestou um auxílio inestimável na elaboração dos programas em MathCAD que desempenham um papel importante nesta edição. Gostaria também de estender meus agradecimentos aos colaboradores, tanto da comunidade acadêmica quanto do setor industrial, cujos nomes aparecem a seguir. Suas contribuições, críticas e sugestões ajudaram a estabelecer as prioridades para esta edição do livro.

Agradecimentos

Professor Derek Abbot — University of Adelaide, Australia
 Professor G. Thomas Bellarmine — University of West Florida
 Bill Boettcher — Albuquerque Technical-Vocational Institute
 Professor Lester W. Cory — Southeastern Massachusetts University
 Professor Gerald L. Doult — DeVry Institute of Technology — Kansas City

John Dunbar — DeVry Institute of Technology — Atlanta
 Kenneth Frament — DeVry Institute of Technology — Phoenix
 Professor Bernard Guss — Pennsylvania State University
 Robert Herrick — Purdue University
 Ernest Joerg
 Karen Karger — Tektronix, Inc.
 Ms. Mary Kuykendall — Hall of History Foundation
 Professor M. David Luneau, Jr. — University of Arkansas at Little Rock
 Leei Mao — Greenville Technical College
 Professor Edward F. McBrien — Arizona State University
 Ms. Carol Parcels — Hewlett-Packard Corp.
 Vic Quiros — DeVry Institute of Technology — Phoenix
 Madame Martine Roudeix — Ecole Polytechnique, Palaiseau, France
 Monsieur Raymond Josue Seckel — Biblioteca Nacional da França
 Professor Paul T. Svatik — Owens Community College
 Mrs. Barbara Sweeney — Arquivos da AT&T
 Ms. Marie-Christine Thooris — Ecole Polytechnique, Palaiseau, France
 Ms. Kathy Truesdell — Texas Instruments
 Dr. Domingo L. Uy — Hampton University

Tive a felicidade de trabalhar com uma equipe muito talentosa no escritório de Ohio da Prentice Hall. Não imaginaria passar por todas as etapas do processo de publicação sem a presença de pessoas como Dave Garza para supervisionar o projeto, Rex Davidson para manter minha sanidade e controlar o andamento dos trabalhos, e Carol Robison para cuidar de uma infinidade de detalhes. Sem a sua ajuda, teria sido impossível completar três publicações nos últimos 18 meses. Marianne L' Abbate, editora de texto, foi uma excelente aquisição para a equipe e conseguiu fazer com que o processo transcorresse com o mínimo possível de problemas. O mesmo se pode dizer do excelente trabalho dos revisores Maggie Shaffer e Lois Porter. Além disso, gostaria de agradecer especificamente à chefe da editoração eletrônica, Linda Ludewig; à gerente de marketing, Debbie Yarnell; a Ruta K. Fiorino e Maureen Henry, do departamento de publicidade; e a Jayme Demsky, representante da editora, por seus esforços para fazer deste livro um sucesso.

Desejo a todos um ano letivo pleno de realizações e com muita saúde.

Sumário

1 Introdução, 1

- 1.1 A indústria eletroeletrônica, 1
- 1.2 Um pouco de história, 2
- 1.3 Unidades de medida, 5
- 1.4 Sistemas de unidades, 6
- 1.5 Algarismos significativos, precisão e arredondamento, 8
- 1.6 Potências de dez, 8
- 1.7 Conversão entre potências de dez, 11
- 1.8 Conversões dentro do mesmo sistema e entre sistemas de unidades, 12
- 1.9 Símbolos, 13
- 1.10 Tabelas de conversão, 13
- 1.11 Análise por computador, 14

2 Corrente e tensão, 19

- 2.1 Os átomos e sua estrutura, 19
- 2.2 Corrente, 21
- 2.3 Tensão, 23
- 2.4 Fontes de corrente contínua (cc), 24
- 2.5 Condutores e isolantes, 30
- 2.6 Semicondutores, 31
- 2.7 Amperímetros e voltímetros, 31
- 2.8 Análise computacional, 32

3 Resistência, 36

- 3.1 Introdução, 36
- 3.2 Resistência: fios circulares, 37
- 3.3 Tabelas de fios, 39
- 3.4 Resistência: unidades métricas, 41
- 3.5 Efeitos da temperatura, 42
- 3.6 Supercondutores, 45
- 3.7 Tipos de resistores, 48
- 3.8 Código de cores e valores dos resistores, 51
- 3.9 Condutância, 53
- 3.10 Medidores de resistência (ohmímetros), 53
- 3.11 Termistores, 54
- 3.12 Célula fotocondutora, 54
- 3.13 Varistores, 55
- 3.14 Análise computacional, 55

4 Lei de Ohm, potência e energia, 60

- 4.1 Lei de Ohm, 60
- 4.2 Gráficos $V-I$, 62
- 4.3 Potência, 64
- 4.4 Medidores de potência, 66

- 4.5 Eficiência, 66
- 4.6 Energia, 68
- 4.7 Disjuntores, ICFA e fusíveis, 71
- 4.8 Análise computacional, 72

5 Circuitos em série, 80

- 5.1 Introdução, 80
- 5.2 Circuitos em série, 81
- 5.3 Fontes de tensão em série, 83
- 5.4 Lei de Kirchhoff para tensões, 83
- 5.5 Intercambiando elementos em série, 86
- 5.6 Regra dos divisores de tensão, 87
- 5.7 Notação, 89
- 5.8 Resistência interna das fontes de tensão, 93
- 5.9 Regulação de tensão, 95
- 5.10 Técnicas de medida, 95
- 5.11 Análise computacional, 96

6 Circuitos com elementos em paralelo, 109

- 6.1 Introdução, 109
- 6.2 Elementos em paralelo, 109
- 6.3 Condutância e resistência totais, 110
- 6.4 Circuitos em paralelo, 115
- 6.5 Lei de Kirchhoff para a corrente, 116
- 6.6 Regra do divisor de corrente, 118
- 6.7 Fontes de tensão em paralelo, 121
- 6.8 Circuitos abertos e curtos-circuitos, 121
- 6.9 Efeito da ligação de um voltímetro, 124
- 6.10 Técnicas para pesquisar defeitos, 125
- 6.11 Análise computacional, 126

7 Circuitos em série-paralelo, 135

- 7.1 Circuitos em série-paralelo, 135
- 7.2 Exemplos descritivos, 139
- 7.3 Circuitos em cascata, 143
- 7.4 Fonte com divisor de tensão (com carga e sem carga), 145
- 7.5 Ligação de uma carga a um potenciômetro, 146
- 7.6 Projeto de amperímetros, voltímetros e ohmímetros, 148
- 7.7 Aterramento, 150
- 7.8 Análise computacional, 152

8 Métodos de análise e tópicos selecionados (corrente contínua), 163

- 8.1 Introdução, 163
- 8.2 Fontes de corrente, 163

- 8.3 Conversões de fontes, 165
- 8.4 Fontes de corrente em paralelo, 166
- 8.5 Fontes de corrente em série, 167
- 8.6 Análise das correntes nos ramos, 168
- 8.7 Método das malhas (abordagem geral), 171
- 8.8 Método das malhas (abordagem padronizada), 175
- 8.9 Método dos nós (abordagem geral), 177
- 8.10 Método dos nós (abordagem padronizada), 181
- 8.11 Circuitos em ponte, 184
- 8.12 Conversões $Y-\Delta(T-\pi)$ e $\Delta-Y(\pi-T)$, 187
- 8.13 Análise computacional, 191

9 Teoremas da análise de circuitos, 202

- 9.1 Introdução, 202
- 9.2 Teorema da superposição, 202
- 9.3 Teorema de Thévenin, 208
- 9.4 Teorema de Norton, 216
- 9.5 Teorema da transferência máxima de potência, 219
- 9.6 Teorema de Millman, 226
- 9.7 Teorema da substituição, 229
- 9.8 Teorema da reciprocidade, 230
- 9.9 Análise computacional, 231

10 Capacitores, 245

- 10.1 Introdução, 245
- 10.2 O campo elétrico, 245
- 10.3 Capacitância, 246
- 10.4 Rigidez dielétrica, 250
- 10.5 Corrente de fuga, 250
- 10.6 Tipos de capacitores, 251
- 10.7 Circuitos capacitivos: fase de carga, 256
- 10.8 Circuitos capacitivos: fase de descarga, 260
- 10.9 Valores iniciais, 263
- 10.10 Valores instantâneos, 264
- 10.11 $\tau = R_{Th}C$, 265
- 10.12 A corrente i_c , 267
- 10.13 Capacitores em série e em paralelo, 268
- 10.14 Energia armazenada em um capacitor, 271
- 10.15 Capacitâncias parasitas, 271
- 10.16 Análise computacional, 272

11 Circuitos magnéticos, 282

- 11.1 Introdução, 282
- 11.2 Campos magnéticos, 282
- 11.3 Densidade de fluxo magnético, 284
- 11.4 Permeabilidade magnética, 286
- 11.5 Relutância, 286
- 11.6 Equivalente da definição de resistência para circuitos magnéticos, 286
- 11.7 Força magnetizante, 287
- 11.8 Histerese, 287
- 11.9 Lei de Ampère para circuitos magnéticos, 291
- 11.10 O fluxo Φ , 292
- 11.11 Circuitos magnéticos em série: determinação do produto NI , 292
- 11.12 Entreferrós, 295
- 11.13 Circuitos magnéticos em série-paralelo, 296
- 11.14 Determinação de Φ , 297
- 11.15 Aplicações, 299

12 Indutores, 309

- 12.1 Introdução, 309
- 12.2 A lei de Faraday para a indução eletromagnética, 309
- 12.3 A lei de Lenz, 310
- 12.4 Auto-indutância, 310
- 12.5 Tipos de indutores, 311
- 12.6 Tensão induzida, 312
- 12.7 Transientes em circuitos $R-L$: fase de armazenamento, 314
- 12.8 Transientes em circuitos $R-L$: fase de decaimento, 317
- 12.9 Valores iniciais, 319
- 12.10 Valores instantâneos, 320
- 12.11 $\tau = L/R_{Th}$, 321
- 12.12 Indutores em série e em paralelo, 322
- 12.13 Circuitos $R-L$ e $R-L-C$ no estado estacionário, 323
- 12.14 Energia armazenada por um indutor, 324
- 12.15 Análise computacional, 325

13 Correntes e tensões alternadas senoidais, 334

- 13.1 Introdução, 334
- 13.2 Tensão alternada senoidal: características e definições, 335
- 13.3 A senóide, 339
- 13.4 Expressão geral para tensões ou correntes senoidais, 342
- 13.5 Relações de fase, 344
- 13.6 Valor médio, 347
- 13.7 Valor eficaz, 352
- 13.8 Medidores e instrumentos de corrente alternada, 355
- 13.9 Análise computacional, 357

14 Os elementos básicos e os fasores, 366

- 14.1 Introdução, 366
- 14.2 A derivada, 366
- 14.3 Resposta dos elementos básicos R , L e C a uma tensão ou corrente senoidal, 367
- 14.4 Respostas de frequência dos elementos básicos, 374
- 14.5 Potência média e fator de potência, 377
- 14.6 Números complexos, 379
- 14.7 Forma retangular, 380
- 14.8 Forma polar, 381
- 14.9 Conversão entre as duas formas, 381
- 14.10 Operações matemáticas com números complexos, 383
- 14.11 Operações com números complexos utilizando calculadoras e computadores, 387
- 14.12 Fasores, 389
- 14.13 Análise computacional, 393

15 Circuitos de corrente alternada em série e em paralelo, 404

- 15.1 Introdução, 404
- 15.2 Impedância e o diagrama de fasores, 404
- 15.3 Configuração em série, 409
- 15.4 Regra dos divisores de tensão, 415
- 15.5 Resposta de frequência de um circuito $R-C$, 417
- 15.6 Circuito ac em série — resumo, 421
- 15.7 Admitância e susceptância, 422
- 15.8 Circuitos ac em paralelo, 425

- 15.9 Regra dos divisores de corrente, 430
- 15.10 Resposta de frequência do circuito R - L paralelo, 430
- 15.11 Circuitos ac em paralelo — resumo, 434
- 15.12 Circuitos equivalentes, 434
- 15.13 Medidas de fase utilizando um osciloscópio de traço duplo, 438
- 15.14 Análise computacional, 439

16 Circuitos ac com elementos em série e em paralelo, 457

- 16.1 Introdução, 457
- 16.2 Exemplos ilustrativos, 458
- 16.3 Circuitos em cascata, 464
- 16.4 Análise computacional, 464

17 Métodos de análise e tópicos selecionados (ac), 473

- 17.1 Introdução, 473
- 17.2 Fontes independentes e fontes dependentes (controladas), 473
- 17.3 Conversões de fontes, 474
- 17.4 Análise de malhas, 476
- 17.5 Análise nodal, 480
- 17.6 Circuitos em ponte (ac), 487
- 17.7 Conversões Δ - Y e Y - Δ , 490
- 17.8 Análise computacional, 493

18 Teorema sobre circuitos (corrente alternada), 504

- 18.1 Introdução, 504
- 18.2 Teorema da superposição, 504
- 18.3 Teorema de Thévenin, 509
- 18.4 Teorema de Norton, 518
- 18.5 Teorema da transferência máxima de potência, 522
- 18.6 Teoremas da substituição, da reciprocidade e de Millman, 525
- 18.7 Análise computacional, 525

19 Potência (ac), 540

- 19.1 Introdução, 540
- 19.2 Circuitos resistivos, 541
- 19.3 Potência aparente, 541
- 19.4 Circuitos indutivos e potência reativa, 542
- 19.5 Circuitos capacitivos, 544
- 19.6 O triângulo de potências, 545
- 19.7 P , Q e S totais, 546
- 19.8 Correção do fator de potência, 549
- 19.9 Wattímetros e medidores de fator de potência, 552
- 19.10 Resistência efetiva, 552
- 19.11 Análise computacional, 554

20 Ressonância, 563

- 20.1 Introdução, 563
- 20.2 Circuito ressonante em série, 564

- 20.3 Fator de qualidade (Q), 565
- 20.4 Z_T em função da frequência, 567
- 20.5 Seletividade, 568
- 20.6 V_R , V_L e V_C , 570
- 20.7 Exemplos (ressonância em série), 571
- 20.8 Circuito ressonante em paralelo, 572
- 20.9 Curva de seletividade para circuitos ressonantes em paralelo, 575
- 20.10 Comportamento do circuito ressonante em paralelo para $Q_i \geq 10$, 577
- 20.11 Tabela de resultados, 579
- 20.12 Exemplos (ressonância em paralelo), 579
- 20.13 Análise computacional, 583

21 Decibéis, filtros e gráficos de Bode, 590

- 21.1 O logaritmo, 590
- 21.2 Propriedades dos logaritmos, 592
- 21.3 O decibel, 593
- 21.4 Filtros, 595
- 21.5 Filtro R - C passa-baixos, 596
- 21.6 Filtro R - C passa-altos, 599
- 21.7 Filtros de banda de transmissão, 601
- 21.8 Filtros de banda de atenuação, 604
- 21.9 Filtros de banda dupla, 605
- 21.10 Gráficos de Bode, 606
- 21.11 Traçado do gráfico de Bode, 611
- 21.12 Filtro passa-baixos com atenuação limitada, 614
- 21.13 Filtro passa-altos com atenuação limitada, 617
- 21.14 Outras propriedades e um resumo em forma de tabela, 621
- 21.15 Circuitos de desvio, 625
- 21.16 Análise computacional, 627

22 Formas de onda propulsadas e a resposta de circuitos R - C , 639

- 22.1 Introdução, 639
- 22.2 Pulsos ideais e pulsos reais, 639
- 22.3 Taxa de repetição e ciclo de operação, 642
- 22.4 Valor médio, 643
- 22.5 Transientes em circuitos R - C , 644
- 22.6 Resposta de um circuito R - C a uma onda quadrada, 646
- 22.7 Ponta de prova atenuadora compensada, 650
- 22.8 Análise computacional, 653

23 Sistemas polifásicos, 658

- 23.1 Introdução, 658
- 23.2 O gerador trifásico, 659
- 23.3 O gerador tipo Y , 660
- 23.4 Seqüência de fases nos geradores tipo Y , 661
- 23.5 Os geradores tipo Y ligados a cargas tipo Y , 662
- 23.6 O sistema Y - Δ , 663
- 23.7 O gerador tipo Δ , 665
- 23.8 Seqüência de fases nos geradores tipo Δ , 666
- 23.9 Os sistemas trifásicos Δ - Δ e Δ - Y , 666
- 23.10 Potência em circuitos trifásicos, 667
- 23.11 O método dos três wattímetros, 670
- 23.12 O método dos dois wattímetros, 670

- 23.13 Cargas não-equilibradas em sistemas tipo Y de quatro fios, 672
- 23.14 Cargas não-equilibradas em sistemas tipo Y de três fios, 673
- 23.15 Análise computacional, 674

24 Circuitos não-senoidais, 685

- 24.1 Introdução, 685
- 24.2 Séries de Fourier, 686
- 24.3 Resposta de um circuito a um sinal não-senoidal, 692
- 24.4 Adição e subtração de formas de onda não-senoidais, 696
- 24.5 Análise computacional, 696

25 Transformadores, 702

- 25.1 Introdução, 702
- 25.2 Indutância mútua, 702
- 25.3 Ligação em série de indutores mutuamente acoplados, 704
- 25.4 O transformador de núcleo de ferro, 706
- 25.5 Impedância refletida e potência, 708
- 25.6 Circuito equivalente do transformador de núcleo de ferro, 709
- 25.7 Efeito da frequência, 711
- 25.8 O transformador de núcleo de ar, 712
- 25.9 Uso de transformadores para casamento de impedâncias, isolamento elétrico e medidas de posição, 713
- 25.10 Dados fornecidos pelos fabricantes, 716
- 25.11 Tipos de transformadores, 717
- 25.12 Transformadores com derivação e com mais de uma carga, 718
- 25.13 Circuitos com indutores magneticamente acoplados, 719
- 25.14 Análise computacional, 720

26 Análise de sistemas — uma introdução, 727

- 26.1 Introdução, 727
- 26.2 Os parâmetros de impedância Z_e e Z_s , 728
- 26.3 Os ganhos de tensão A_{vNL} , A_v e A_{vT} , 730
- 26.4 Os ganhos de corrente A_i e A_{iT} e o ganho de potência A_G , 732
- 26.5 Sistemas em cascata, 734
- 26.6 Parâmetros de impedância (z), 736
- 26.7 Parâmetros de admitância (y), 739

- 26.8 Parâmetros híbridos (h), 741
- 26.9 Impedâncias de entrada e de saída, 743
- 26.10 Conversão de parâmetros, 745
- 26.11 Análise computacional, 746

Apêndices

Apêndice A

PSpice, C++, MathCAD, 754

Apêndice B

Fatores de conversão, 756

Apêndice C

Determinantes, 759

Apêndice D

Código de cores de capacitores de mica (picofarads), 766

Apêndice E

Código de cores para capacitores cilíndricos (picofarads), 767

Apêndice F

O alfabeto grego, 768

Apêndice G

Conversões entre parâmetros magnéticos, 769

Apêndice H

Condições para a máxima transferência de potência, 770

Apêndice I

Respostas de alguns problemas selecionados com numeração ímpar, 772

Índice, 781