

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>	<b>4. LEI DE OHM, POTÊNCIA E ENERGIA ....</b>	<b>84</b>
1.1 A indústria eletroeletrônica.....	1	4.1 Introdução.....	84
1.2 Um breve histórico.....	2	4.2 Lei de Ohm.....	84
1.3 Unidades de medida.....	6	4.3 Gráfico da lei de Ohm.....	86
1.4 Sistemas de unidades.....	7	4.4 Potência.....	89
1.5 Algarismos significativos, precisão e arredondamento.....	9	4.5 Energia.....	91
1.6 Potências de dez.....	10	4.6 Eficiência.....	93
1.7 Notações de ponto fixo, de ponto flutuante, científica e de engenharia.....	12	4.7 Disjuntores, ICFA's e fusíveis.....	96
1.8 Conversão entre potências de dez....	13	4.8 Aplicações.....	97
1.9 Conversões dentro do mesmo sistema e entre sistemas de unidades.....	14	4.9 Análise computacional.....	103
1.10 Símbolos.....	16	<b>5. CIRCUITOS EM SÉRIE.....</b>	<b>112</b>
1.11 Tabelas de conversão.....	16	5.1 Introdução.....	112
1.12 Calculadoras.....	17	5.2 Resistores em série.....	113
1.13 Análise computacional.....	19	5.3 Circuitos em série.....	115
<b>2. TENSÃO E CORRENTE.....</b>	<b>24</b>	5.4 Distribuição de potência em um circuito em série.....	119
2.1 Introdução.....	24	5.5 Fontes de tensão em série.....	121
2.2 Os átomos e sua estrutura.....	24	5.6 Lei de Kirchhoff para tensões.....	122
2.3 Tensão.....	26	5.7 Divisão de tensão em um circuito em série.....	126
2.4 Corrente.....	28	5.8 Intercâmbio de elementos em série.....	129
2.5 Fontes de tensão.....	31	5.9 Notação.....	130
2.6 Especificação ampère-hora.....	38	5.10 Regulação de tensão e resistência interna das fontes de tensão.....	135
2.7 Fatores da vida da bateria.....	39	5.11 Efeitos de carga dos instrumentos..	138
2.8 Condutores e isolantes.....	40	5.12 Montagens experimentais (Protoboards/Breadboards).....	140
2.9 Semicondutores.....	41	5.13 Aplicações.....	141
2.10 Amperímetros e voltímetros.....	42	5.14 Análise computacional.....	145
2.11 Aplicações.....	43	<b>6. CIRCUITOS EM PARALELO.....</b>	<b>159</b>
2.12 Análise computacional.....	48	6.1 Introdução.....	159
<b>3. RESISTÊNCIA.....</b>	<b>51</b>	6.2 Resistores em paralelo.....	159
3.1 Introdução.....	51	6.3 Circuitos em paralelo.....	166
3.2 Resistência: fios circulares.....	51	6.4 Distribuição de potência em um circuito em paralelo.....	169
3.3 Tabelas de fios.....	54	6.5 Lei de Kirchhoff para corrente.....	171
3.4 Efeitos da temperatura.....	57	6.6 Regra do divisor de corrente.....	175
3.5 Tipos de resistores.....	59	6.7 Fontes de tensão em paralelo.....	178
3.6 Código de cores e valores padronizados de resistores.....	64	6.8 Circuitos abertos e curtos-circuitos..	179
3.7 Condutância.....	67	6.9 Efeitos de carga do voltímetro.....	183
3.8 Ohmímetros.....	68	6.10 Tabela de resumo.....	185
3.9 Resistência: unidades métricas.....	69	6.11 Técnicas de análise de defeitos.....	186
3.10 O quarto elemento — O memristor..	71	6.12 Montagens experimentais (Protoboards/Breadboards).....	187
3.11 Supercondutores.....	72	6.13 Aplicações.....	188
3.12 Termistores.....	74	6.14 Análise computacional.....	193
3.13 Célula fotocondutora.....	74		
3.14 Varistores.....	75		
3.15 Aplicações.....	75		

<b>7. CIRCUITOS EM SÉRIE-PARALELO .....</b>	<b>205</b>
7.1 Introdução .....	205
7.2 Circuitos em série-paralelo .....	205
7.3 Método de redução e retorno .....	206
7.4 Método do diagrama em blocos .....	209
7.5 Exemplos descritivos .....	211
7.6 Circuitos em cascata .....	217
7.7 Fonte com divisor de tensão (com carga e sem carga).....	219
7.8 Conexão de uma carga a um potenciômetro .....	220
7.9 Projeto de amperímetros, voltímetros e ohmímetros .....	222
7.10 Aplicações.....	225
7.11 Análise computacional .....	228
<b>8. MÉTODOS DE ANÁLISE E TÓPICOS SELECIONADOS (CC) .....</b>	<b>237</b>
8.1 Introdução .....	237
8.2 Fontes de corrente .....	237
8.3 Conversões de fonte .....	239
8.4 Fontes de corrente em paralelo .....	241
8.5 Fontes de corrente em série .....	242
8.6 Análise das correntes nos ramos.....	242
8.7 Método das malhas (abordagem geral).....	246
8.8 Método das malhas (abordagem padronizada) .....	251
8.9 Método dos nós (abordagem geral).....	254
8.10 Método dos nós (abordagem padronizada) .....	259
8.11 Circuitos em ponte .....	262
8.12 Conversões Y- $\Delta$ (T- $\pi$ ) e $\Delta$ -Y ( $\pi$ -T).....	265
8.13 Aplicações.....	270
8.14 Análise computacional .....	274
<b>9. TEOREMAS PARA ANÁLISE DE CIRCUITO.....</b>	<b>286</b>
9.1 Introdução .....	286
9.2 Teorema da superposição.....	286
9.3 Teorema de Thévenin.....	293
9.4 Teorema de Norton .....	303
9.5 Teorema da máxima transferência de potência.....	307
9.6 Teorema de Millman .....	315
9.7 Teorema da substituição .....	318
9.8 Teorema da reciprocidade.....	319
9.9 Análise computacional .....	321
<b>10. CAPACITORES.....</b>	<b>334</b>
10.1 Introdução .....	334
10.2 O campo elétrico .....	334
10.3 Capacitância .....	335
10.4 Capacitores.....	339
10.5 Transitórios em circuitos capacitivos: fase de carga.....	348
10.6 Transitórios em circuitos capacitivos: fase de descarga.....	354
10.7 Valores iniciais.....	359
10.8 Valores instantâneos.....	361
10.9 Equivalente de Thévenin: $\tau = R_{Th}C$ .....	361
10.10 A corrente $i_C$ .....	363
10.11 Capacitores em série e em paralelo.....	365
10.12 Energia armazenada em um capacitor.....	368
10.13 Capacitâncias parasitas .....	368
10.14 Aplicações.....	369
10.15 Análise computacional .....	377
<b>11. INDUTORES.....</b>	<b>388</b>
11.1 Introdução .....	388
11.2 Campo magnético .....	388
11.3 Indutância.....	393
11.4 Tensão induzida $v_L$ .....	399
11.5 Transitórios em circuitos R-L: fase de armazenamento .....	401
11.6 Valores iniciais.....	403
11.7 Transitórios em circuitos R-L: fase de decaimento.....	405
11.8 Equivalente de Thévenin: $\tau = L/R_{Th}$ .....	407
11.9 Valores instantâneos.....	409
11.10 Tensão induzida média: $v_{L_{av}}$ .....	410
11.11 Indutores em série e em paralelo.....	411
11.12 Condições em estado estacionário .....	412
11.13 Energia armazenada por um indutor .....	413
11.14 Aplicações.....	414
11.15 Análise computacional .....	417
<b>12. CIRCUITOS MAGNÉTICOS.....</b>	<b>429</b>
12.1 Introdução .....	429
12.2 Campo magnético .....	429
12.3 Relutância .....	430
12.4 Lei de Ohm para circuitos magnéticos .....	430
12.5 Força magnetizante .....	430
12.6 Histerese .....	431
12.7 Lei circuital de Ampère.....	435
12.8 O fluxo $\Phi$ .....	436
12.9 Circuitos magnéticos em série: determinação do produto $NI$ .....	436

12.10	Entreferros .....	439	15.5	Resposta em frequência de circuitos de corrente alternada em série .....	546
12.11	Circuitos magnéticos em série-paralelo .....	440	15.6	Circuitos CA em série — resumo .....	552
12.12	Determinação de $\Phi$ .....	442	15.7	Admitância e susceptância .....	553
12.13	Aplicações .....	443	15.8	Circuitos CA em paralelo .....	556
<b>13.</b>	<b>FORMAS DE ONDAS ALTERNADAS SENOIDAIS .....</b>	<b>452</b>	15.9	Regra dos divisores de corrente .....	561
13.1	Introdução .....	452	15.10	Resposta em frequência de elementos em paralelo .....	562
13.2	Tensão alternada senoidal: características e definições .....	453	15.11	Circuitos CA em paralelo — resumo .....	567
13.3	Espectro de frequência .....	456	15.12	Circuitos equivalentes .....	567
13.4	A senoide .....	458	15.13	Medidas de fase .....	571
13.5	Expressão geral para tensões ou correntes senoidais .....	461	15.14	Aplicações .....	573
13.6	Relações de fase .....	464	15.15	Análise computacional .....	579
13.7	Valor médio .....	469	<b>16.</b>	<b>CIRCUITOS DE CORRENTE ALTERNADA EM SÉRIE-PARALELO .....</b>	<b>592</b>
13.8	Valores eficazes (rms) .....	474	16.1	Introdução .....	592
13.9	Medidores e instrumentos de corrente alternada .....	479	16.2	Exemplos ilustrativos .....	593
13.10	Aplicações .....	481	16.3	Circuitos em cascata .....	600
13.11	Análise computacional .....	484	16.4	Aterramento .....	600
<b>14.</b>	<b>OS DISPOSITIVOS BÁSICOS E OS FASORES .....</b>	<b>493</b>	16.5	Aplicações .....	603
14.1	Introdução .....	493	16.6	Análise computacional .....	604
14.2	A derivada .....	493	<b>17.</b>	<b>MÉTODOS DE ANÁLISE E TÓPICOS SELECIONADOS (CORRENTE ALTERNADA) .....</b>	<b>616</b>
14.3	Resposta dos dispositivos básicos $R$ , $L$ e $C$ a uma tensão ou a uma corrente senoidal .....	494	17.1	Introdução .....	616
14.4	Respostas em frequência dos dispositivos básicos .....	500	17.2	Fontes independentes e fontes dependentes (controladas) .....	616
14.5	Potência média e fator de potência .....	506	17.3	Conversões de fontes .....	617
14.6	Números complexos .....	510	17.4	Análise de malhas .....	619
14.7	Forma retangular .....	510	17.5	Análise nodal .....	624
14.8	Forma polar .....	511	17.6	Circuitos em ponte (CA) .....	631
14.9	Conversão entre as duas formas .....	512	17.7	Conversões $\Delta$ - $Y$ e $Y$ - $\Delta$ .....	634
14.10	Operações matemáticas com números complexos .....	513	17.8	Análise computacional .....	638
14.11	Uso de calculadoras e métodos computacionais nas operações com números complexos .....	518	<b>18.</b>	<b>TEOREMAS SOBRE CIRCUITOS (CORRENTE ALTERNADA) .....</b>	<b>647</b>
14.12	Fasores .....	520	18.1	Introdução .....	647
14.13	Análise computacional .....	524	18.2	Teorema da superposição .....	647
<b>15.</b>	<b>CIRCUITOS DE CORRENTES ALTERNADAS EM SÉRIE E EM PARALELO .....</b>	<b>532</b>	18.3	Teorema de Thévenin .....	653
15.1	Introdução .....	532	18.4	Teorema de Norton .....	662
15.2	Impedância e o diagrama de fasores .....	532	18.5	Teorema da máxima transferência de potência .....	668
15.3	Configuração em série .....	537	18.6	Teoremas da substituição, da reciprocidade e de Millman .....	671
15.4	Regra dos divisores de tensão .....	543	18.7	Aplicações .....	671
			18.8	Análise computacional .....	672
			<b>19.</b>	<b>POTÊNCIA (CA) .....</b>	<b>684</b>
			19.1	Introdução .....	684
			19.2	Equação geral .....	684

19.3	Circuitos resistivos.....	685	21.15	Circuitos de desvio.....	786
19.4	Potência aparente .....	686	21.16	Aplicações.....	789
19.5	Circuitos indutivos e potência reativa.....	687	21.17	Análise computacional .....	793
19.6	Circuitos capacitivos.....	690	<b>22. TRANSFORMADORES .....</b>	<b>802</b>	
19.7	O triângulo de potências.....	691	22.1	Introdução.....	802
19.8	As potências P, Q e S totais .....	693	22.2	Indutância mútua .....	802
19.9	Correção do fator de potência .....	696	22.3	O transformador de núcleo de ferro.....	804
19.10	Wattímetros e medidores de fator de potência .....	699	22.4	Impedância refletida e potência .....	807
19.11	Resistência efetiva .....	699	22.5	Uso de transformadores para casamento de impedâncias, isolamento elétrico e medidas de posição .....	808
19.12	Aplicações.....	702	22.6	Circuito equivalente do transformador de núcleo de ferro...811	
19.13	Análise computacional .....	704	22.7	Efeito da frequência .....	814
<b>20. RESSONÂNCIA .....</b>	<b>712</b>		22.8	Conexão em série de indutores mutuamente acoplados .....	815
20.1	Introdução.....	712	22.9	O transformador de núcleo de ar .....	818
20.2	Circuito ressonante em série .....	713	22.10	Dados fornecidos pelos fabricantes .....	819
20.3	Fator de qualidade (Q).....	715	22.11	Tipos de transformadores.....	820
20.4	$Z_T$ em função da frequência .....	716	22.12	Transformadores com derivação e com mais de uma carga .....	822
20.5	Seletividade .....	717	22.13	Circuitos com indutores magneticamente acoplados .....	823
20.6	$V_R$ , $V_L$ e $V_C$ .....	719	22.14	Aplicações.....	824
20.7	Exemplos (ressonância em série) ....	720	22.15	Análise computacional .....	829
20.8	Circuito ressonante em paralelo .....	722	<b>23. SISTEMAS POLIFÁSICOS .....</b>	<b>836</b>	
20.9	Curva de seletividade para circuitos ressonantes em paralelo.....	724	23.1	Introdução.....	836
20.10	Efeito de $Q_i \geq 10$ .....	726	23.2	O gerador trifásico .....	837
20.11	Tabela de resultados.....	729	23.3	O gerador conectado em Y.....	838
20.12	Exemplos (ressonância em paralelo) .....	729	23.4	Sequência de fase no gerador conectado em Y.....	840
20.13	Aplicações.....	733	23.5	Gerador conectado em Y com uma carga conectada em Y.....	840
20.14	Análise computacional .....	736	23.6	O sistema Y- $\Delta$ .....	842
<b>21. DECIBÉIS, FILTROS E GRÁFICOS DE BODE.....</b>	<b>746</b>		23.7	O gerador conectado em $\Delta$ .....	844
21.1	Introdução.....	746	23.8	Sequência de fase no gerador conectado em $\Delta$ .....	845
21.2	Propriedades dos logaritmos .....	748	23.9	Os sistemas trifásicos $\Delta$ - $\Delta$ e $\Delta$ -Y.....	845
21.3	O decibel .....	749	23.10	Potência.....	846
21.4	Filtros.....	753	23.11	O método dos três wattímetros.....	850
21.5	Filtro R-C passa-baixa .....	754	23.12	O método dos dois wattímetros.....	850
21.6	Filtro R-C passa-alta .....	757	23.13	Carga trifásica de quatro fios, não equilibrada e conectada em Y .....	853
21.7	Filtros passa-faixa .....	760	23.14	Carga trifásica de três fios, não equilibrada e conectada em Y .....	853
21.8	Filtros rejeita-faixa .....	763			
21.9	Filtro de banda dupla.....	764			
21.10	Gráficos de Bode.....	765			
21.11	Traçado do gráfico de Bode .....	771			
21.12	Filtro passa-baixa com atenuação limitada.....	775			
21.13	Filtro passa-alta com atenuação limitada .....	778			
21.14	Outras propriedades dos gráficos de Bode .....	782			

<b>24. FORMAS DE ONDAS PULSADAS E A RESPOSTA DE CIRCUITOS R-C ..... 863</b>	
24.1 Introdução.....863	
24.2 Pulsos ideais e pulsos reais .....863	
24.3 Taxa de repetição e ciclo de trabalho .....866	
24.4 Valor médio .....868	
24.5 Transitórios em circuitos R-C.....869	
24.6 Resposta de um circuito R-C a uma onda quadrada.....871	
24.7 Ponta de prova atenuadora compensada .....875	
24.8 Aplicações.....877	
24.9 Análise computacional .....879	
<b>25. CIRCUITOS NÃO SENOIDAIS ..... 885</b>	
25.1 Introdução .....885	
25.2 Séries de Fourier.....886	
25.3 Resposta de um circuito a um sinal não senoidal .....892	
25.4 Adição e subtração de formas de onda não senoidais .....897	
25.5 Análise computacional .....897	
<b>26. ANÁLISE DE SISTEMAS: UMA INTRODUÇÃO ..... 903</b>	
26.1 Introdução .....903	
26.2 Os parâmetros de impedância $Z_i$ e $Z_o$ .....905	
26.3 Os ganhos de tensão $A_{v_{NL}}$ , $A_v$ e $A_{v_T}$ .....908	
26.4 Os ganhos de corrente $A_i$ e $A_{i_T}$ e o ganho de potência $A_G$ .....910	
26.5 Sistemas em cascata.....912	
26.6 Parâmetros de impedância ( $Z$ ) .....914	
26.7 Parâmetros de admitância ( $y$ ).....918	
26.8 Parâmetros híbridos ( $h$ ).....920	
26.9 Impedâncias de entrada e de saída .....922	
26.10 Conversão entre parâmetros .....924	
<b>Apêndice A</b>	
Fatores de conversão .....930	
<b>Apêndice B</b>	
PSpice e Multisim.....933	
<b>Apêndice C</b>	
Determinantes .....934	
<b>Apêndice D</b>	
Alfabeto grego .....939	
<b>Apêndice E</b>	
Conversões entre parâmetros magnéticos .....940	
<b>Apêndice F</b>	
Condições para a máxima transferência de potência .....941	
<b>Apêndice G</b>	
Respostas dos problemas ímpares selecionados .....942	
<b>ÍNDICE REMISSIVO ..... 950</b>	