

ACÁCIO MANUEL RAPOSO AMARAL

ELECTRÓNICA ANALÓGICA

Princípios, Análise e Projectos

EDIÇÕES SÍLABO

Electrónica Analógica

**Princípios, Análise
e Projectos**

ACÁCIO MANUEL RAPOSO AMARAL

EDIÇÕES SÍLABO

É expressamente proibido reproduzir, no todo ou em parte, sob qualquer forma ou meio, **NOMEADAMENTE FOTOCÓPIA**, esta obra. As transgressões serão passíveis das penalizações previstas na legislação em vigor.

Visite a Sílabo na rede

www.silabo.pt

Editor: Manuel Robalo

FICHA TÉCNICA:

Título: Electrónica Analógica – Princípios, Análise e Projectos

Autor: Acácio Manuel Raposo Amaral

© Edições Sílabo, Lda.

Capa: Pedro Mota

1ª Edição – Lisboa, Janeiro de 2017

Impressão e acabamentos: Cafílesa – Soluções Gráficas, Lda.

Depósito Legal: 420156/17

ISBN: 978-972-618-877-3

EDIÇÕES SÍLABO, LDA.

R. Cidade de Manchester, 2

1170-100 Lisboa

Tel.: 218130345

Fax: 218166719

e-mail: silabo@silabo.pt

www.silabo.pt

Índice

Prefácio	13
-----------------	----

Capítulo 1

Introdução

1.1. Grandezas eléctricas	17
1.1.1. Tensão eléctrica	18
1.1.2. Corrente eléctrica	20
1.1.3. Potência eléctrica	21
1.1.4. Resistência eléctrica	22
1.1.4.1. Lei de Ohm	24
1.1.4.2. Efeito de Joule	25
1.1.4.3. Supercondutores	25
1.2. Unidades de medida	26
1.3. Elementos básicos ideais	27
1.3.1. Fontes de tensão e corrente	28
1.3.2. Resistências	33
1.3.3. Condensadores	40
1.3.4. Indutores	45
1.4. Efeito da carga no comportamento das fontes	49
1.5. Exercícios	52
1.5.1. Resolução dos exercícios	54

Capítulo 2

Análise de circuitos

2.1. Terminologia utilizada na análise de circuitos	59
2.2. Leis de Kirchhoff	61
2.3. Montagem de circuitos em série	61
2.4. Divisor de tensão	64
2.5. Montagem de circuitos em paralelo	65
2.6. Divisor de corrente	68
2.7. Ligação de resistências em triângulo e estrela	70
2.8. Análise de circuitos	72
2.8.1. Análise de um circuito recorrendo às leis de Kirchhoff	72
2.8.2. Análise de um circuito através dos conceitos de divisor de tensão, divisor de corrente e de associação de resistências	73
2.9. Ponte de Wheatstone	76
2.10. Sistemas de primeira ordem	77
2.10.1. Circuito RC	79
2.10.2. Circuito RL	86
2.10.3. Energia armazenada nos sistemas de primeira ordem	91
2.10.4. Aplicações dos sistemas de primeira ordem	93
2.11. Exercícios	95
2.11.1. Resolução dos exercícios	98

Capítulo 3

Técnicas de análise, teoremas e simplificação de circuitos

3.1. Regra de Cramer	116
3.2. Método das tensões nodais	119
3.3. Método das correntes nas malhas	123
3.4. Casos especiais	125
3.4.1. <i>Supernó</i>	125
3.4.2. <i>Supermalha</i>	127

3.5. Comparação entre técnicas de análise	128
3.6. Fontes de corrente e tensão dependentes	129
3.7. Simplificação de circuitos através de transformação de fontes	132
3.8. Teoremas de Thevenin e de Norton	136
3.9. Teorema da sobreposição	141
3.10. Teorema da máxima transferência de potência	144
3.11. Exercícios	146
3.11.1. Resolução dos exercícios	148

Capítulo 4

Díodos

4.1. Semicondutores intrínsecos	169
4.2. Semicondutores extrínsecos	171
4.3. Junção $P-N$	172
4.4. Curva característica	175
4.5. Resistência interna	177
4.6. Circuito equivalente	178
4.7. Efeito da temperatura	180
4.8. Folha de especificações do fabricante	181
4.9. Outros tipos de díodos	182
4.9.1. Díodo Zener	182
4.9.2. Díodo Emissor de Luz (LED)	186
4.9.3. Foto-díodo	187
4.10. Tensão da rede	189

Capítulo 5

Aplicações do Díodo

5.1. Síntese de resistências não lineares	192
5.2. Geradores de funções	197

5.3. Limitadores	202
5.4. Rectificadores	206
5.5. Fontes de alimentação não reguladas	214
5.5.1. Cálculo do <i>ripple</i> e do valor médio da tensão de saída	216
5.5.2. Cálculo do factor <i>ripple</i>	218
5.5.3. Cálculo do valor médio, máximo e eficaz da corrente nos díodos	219
5.5.4. Cálculo do valor eficaz da corrente no condensador	223
5.5.5. Projecto de uma fonte de alimentação não regulada	225
5.6. Detector de pico	228
5.7. Grampeador	230
5.8. Multiplicador de tensão	232
5.9. Portas lógicas	234
5.10. <i>Multiplexer</i> analógico	237
5.11. Regulador de tensão com díodos Zener	241
5.12. Exercícios	244
5.12.1. Resolução dos exercícios	246

Capítulo 6

Análise de circuitos com díodos

6.1. Análise de circuitos constituídos por um díodo	258
6.1.1. Análise baseada no método das malhas	262
6.1.2. Análise baseada no teorema de Thevenin	264
6.1.3. Análise baseada no teorema da sobreposição	266
6.1.4. Análise de um circuito com um díodo Zener	269
6.2. Análise de circuitos com mais de um díodo	272
6.3. Análise de circuitos com um rectificador de onda completa	278
6.3.1. Rectificador de onda completa acoplado a uma carga não linear	281
6.3.2. Rectificador de onda completa com filtro capacitivo	292
6.4. Díodo como sensor de luz	294
6.5. Exercícios	297
6.5.1. Resolução dos exercícios	299

Capítulo 7

Transístores Bipolares de Junção (BJT)

7.1. Transístor <i>NPN</i> e <i>PNP</i>	318
7.1.1. Polarização do transístor	320
7.1.2. Funcionamento do transístor <i>BJT</i>	321
7.2. Configurações de circuitos com transístores	322
7.2.1. Amplificação de tensão	323
7.2.2. Amplificação de corrente	324
7.2.3. Casamento de impedâncias	325
7.3. Par Darlington	326
7.4. Ligação em Emissor-Comum	327
7.4.1. Terminologia utilizada em circuitos com transístores	327
7.4.2. Curva característica de entrada	329
7.4.3. Curva característica de saída	330
7.4.4. Limites de operação <i>versus</i> folha de especificações	333
7.5. Circuito inversor <i>versus</i> amplificador em emissor comum	334
7.6. Transístor como interruptor	339
7.7. Efeito da temperatura	340

Capítulo 8

Transístores bipolares – Polarização em corrente contínua

8.1. Ponto de funcionamento e repouso (<i>PFR</i>)	344
8.1.1. Cálculo do <i>PFR</i>	346
8.1.2. Ponto de máxima excursão simétrica (<i>PMES</i>)	350
8.1.3. Identificação da região de operação analiticamente	351
8.2. Circuito de polarização fixa	352
8.3. Circuito de polarização estável por realimentação do colector	354
8.4. Circuito de polarização estável por divisor de tensão na base	355
8.5. Circuito de polarização estável por realimentação do colector e do emissor	361
8.6. Projecto de um circuito de polarização por divisor de tensão	363

8.7. Exercícios	365
6.5.1. Resolução dos exercícios	367

Capítulo 9

Circuito amplificador – Análise em sinal

9.1. Análise da resposta <i>AC</i> do amplificador	378
9.1.1. Condensadores de acoplamento e de desvio	379
9.1.2. Formas de onda de tensão e corrente no transistor	380
9.1.3. Análise de um circuito amplificador para pequenos sinais	381
9.1.4. Recta de carga dinâmica	383
9.2. Modelo r_e do transistor bipolar	385
9.2.1. Configuração emissor-comum	386
9.2.2. Resistência de saída da configuração em emissor-comum	388
9.2.3. Efeito Early	389
9.3. Modelo Híbrido do transistor bipolar	390
9.3.1. Modelo híbrido	390
9.3.2. Modelo híbrido do transistor <i>BJT</i> para a configuração em emissor comum	392
9.4. Configuração em emissor-comum (<i>EC</i>) com um circuito de polarização por divisor de tensão	394
9.4.1. Remoção do condensador de desvio	398
9.4.2. Medir experimentalmente os valores da resistência de entrada e saída	399
9.4.3. Cálculo da capacidade dos condensadores de desvio e de acoplamento	402
9.4.4. Identificação da saturação e do corte do transistor <i>BJT</i> no âmbito do circuito amplificador	405
9.5. Configuração em colector-comum (<i>CC</i>) com um circuito de polarização por divisor de tensão	406
9.6. Configuração em base-comum (<i>BC</i>)	410
9.7. Comparação entre diferentes configurações	412
9.8. Amplificadores em cascata	414
9.8.1. Aumento do ganho de amplificadores em Cascata	419

9.9. Grandes sinais – amplificador <i>EC</i>	424
9.9.1. Tensão de saída	426
9.9.2. Tipos de distorção	427
9.10. Exercícios	431
9.10.1. Resolução dos exercícios	434
Bibliografia	455

Prefácio

Os grandes avanços tecnológicos ocorridos nos últimos anos, nomeadamente, nas áreas das telecomunicações e da computação, têm revolucionado o quotidiano do Homem, permitindo-nos interagir com outras pessoas ou presenciar um evento a milhares de quilómetros de distância. Este desenvolvimento deveu-se à evolução da electrónica, que permitiu criar dispositivos electrónicos cada vez mais poderosos, pequenos e baratos, tais como: câmaras digitais, telefones e relógios inteligentes, consolas de jogos, sistemas de navegação, memórias USB, *tablets*, diferentes tipos de computadores, entre outros dispositivos.

Desta forma, podemos concluir que a aquisição de conhecimentos de electrónica é hoje fundamental, pois permite-nos compreender o funcionamento da grande maioria dos dispositivos com que lidamos diariamente, o que se revela essencial durante o seu manuseamento.

A electrónica é um ramo da física aplicada, como tal, para compreender os seus princípios é essencial construir alguns circuitos electrónicos. Neste livro são apresentados vários projectos que ajudam o leitor a compreender melhor a importância desses conceitos. Por outro lado, os conceitos mais complexos são abordados com recurso, designadamente, a analogias a situações do dia-a-dia, o que permite ao leitor compreendê-los com maior facilidade.

Para que o leitor possa conceber circuitos electrónicos é necessário que compreenda as principais técnicas de análise de circuitos eléctricos, mas também, as características dos componentes que os compõem. Deste modo, nos primeiros capítulos deste livro são apresentados alguns conceitos base, mas também diversas técnicas de análise de circuitos. Posteriormente são introduzidos alguns componentes electrónicos, nomeadamente, o díodo e o transistor bipolar. Os capítulos referidos possuem as fundações para a compreensão dos restantes, os quais abordam o processo de análise e síntese de circuitos electrónicos.

Este manual destina-se a técnicos de electrónica, com experiência prática, mas sem bases teóricas; a alunos que frequentam cursos de Engenharia Electrotécnica, Engenharia Mecatrónica, Engenharia Física, Engenharia Electromecânica, Engenharias Renováveis, Engenharia e Arquitectura Naval, Engenharia Automóvel, Engenharia Aeronáutica, Engenharia Informática, Engenharia Mecânica, Engenharia Têxtil,

Engenharia e Gestão Industrial, Engenharia de Sistemas, Engenharia de Computação e Instrumentação Médica, Biomecânica, entre outros; assim como a alunos de cursos técnicos superiores profissionais ou cursos profissionais em áreas equivalentes. Importa, no entanto, referir que o público-alvo não se limita a estudantes e a técnicos, visto que a compreensão dos conceitos expostos não requer qualquer experiência na área de electrónica.

A linguagem utilizada é simples e clara, não se tendo descurado o rigor técnico e científico que uma obra deste tipo exige. Para solidificar e compreender melhor os conceitos expostos apresenta-se, no final de cada capítulo, um conjunto de exercícios resolvidos que permitem ao leitor aplicar os conhecimentos apreendidos.

Capítulo 1

Introdução

A electrónica é um ramo da física aplicada cujo desígnio consiste no desenvolvimento de soluções que possibilitem processar energia e informação.

O processamento de energia eléctrica está associado à sua produção, distribuição e utilização. Os sistemas de produção, como as centrais termoeléctricas, eólicas, hidroeléctricas ou nucleares, representam a principal fonte primária de energia eléctrica, a qual representa a forma de energia mais utilizada actualmente pelo Homem. Os sistemas de distribuição, como os cabos eléctricos e os postos de transformação, permitem que essa energia seja conduzida até nossas casas. No entanto, a forma da energia eléctrica que chega às tomadas eléctricas é, na grande maioria dos casos, inadequada para alimentar os aparelhos electrónicos (televisores, computadores, rádios, etc.). Desta forma, são necessários circuitos electrónicos que permitam que a energia eléctrica possa ser utilizada, circuitos estes designados por fontes de alimentação, as quais permitem que os aparelhos electrónicos funcionem correctamente. As fontes de alimentação já vêm incorporadas nos aparelhos electrónicos e são dimensionadas para ser ligadas à rede eléctrica.

O desenvolvimento de dispositivos electrónicos que permitam o processamento de informação é igualmente fundamental nas sociedades modernas. Os principais sistemas de processamento de informação são os sistemas de comunicação, computação, controlo e de processamento de sinais, por exemplo:

- O telefone é um bom exemplo de um dispositivo electrónico fundamental nos sistemas de comunicação, pois foi concebido para transmitir sons (informação) por intermédio de sinais eléctricos. Este aparelho permite processar a energia acústica (som), transformando-a em energia eléctrica e vice-versa.

- O computador é um equipamento que pertence aos sistemas de computação, na medida em que utiliza sinais eléctricos para o tratamento, armazenamento e manipulação de informação.
- Os sistemas de controlo são utilizados para regular o funcionamento de outros sistemas, por exemplo, o sistema de injeção electrónica de combustível de um automóvel, o *cruise control*¹, o *ABS*², entre outros.
- Os sistemas de processamento de sinal manipulam sinais eléctricos que contêm informação, convertendo-a na forma mais apropriada. Por exemplo, um aparelho de ecografia utiliza o eco produzido pelo som para reproduzir o reflexo de órgãos do corpo humano, permitindo, desta forma, avaliar anomalias funcionais e morfológicas dos mesmos.

Os equipamentos referenciados nos parágrafos anteriores são imprescindíveis no quotidiano das sociedades modernas. Para simular o seu funcionamento utilizam-se circuitos eléctricos.

O circuito eléctrico consiste num modelo matemático capaz de prever, de forma aproximada, o comportamento real de um sistema electrónico, sendo composto por cinco elementos básicos ideais, os quais serão estudados neste capítulo: fontes de tensão, fontes de corrente, resistências, condensadores e indutores.

Um computador possui diversos componentes electrónicos como, por exemplo, transístores os quais podem ser descritos por um ou mais elementos básicos. Deste modo, um sistema electrónico pode ser representado por um conjunto de elementos básicos ideais interligados, cujo conjunto representa um circuito eléctrico. Este conjunto permite descrever de forma aproximada o comportamento real de todo o sistema.

O modelo matemático que representa o circuito eléctrico traduz-se na forma de equações matemáticas. Estas equações são, por sua vez, escritas em termos de grandezas mensuráveis como a tensão e a corrente. A medição da tensão e da corrente permite verificar se o modelo descrito representa de forma satisfatória o comportamento real do sistema. Esta última tarefa é essencial no projecto de sistemas electrónicos, pois permite verificar se o sistema desenvolvido respeita as especificações iniciais.

(1) *Cruise control* – Sistema que permite manter a velocidade do veículo constante.

(2) *ABS (Anti-lock Breaking System)* – Sistema de travagem que impede que as rodas do automóvel bloqueiem.

1.1. Grandezas eléctricas

O movimento dos corpos, desde a matéria subatómica até aos planetas, pode resultar de uma das seguintes forças: gravitacional, nuclear forte, nuclear fraca e electromagnética.^[1]

- A força gravitacional manifesta-se, por exemplo, pelo movimento planetário (movimento dos planetas em redor do sol) sendo das quatro a mais fraca, e só é perceptível na presença de corpos com uma enorme quantidade de massa.
- A força nuclear forte permite explicar a estabilidade do núcleo de um átomo e impede que os protões (cargas positivas) que fazem parte do núcleo do átomo se separem, mantendo-os confinados no núcleo juntamente com os neutrões. Esta é a força mais forte das quatro.
- A força nuclear fraca apesar de ser bastante mais forte que a gravitacional é mais fraca do que a nuclear forte e do que a electromagnética, e explica a degradação radiactiva de certos núcleos, originando a desintegração *beta*.^[1]
- Finalmente, a força electromagnética explica a interacção eléctrica entre partículas com carga, e entre estas e o campo magnético, sendo responsável pela coesão dos átomos e moléculas.

A matéria caracteriza-se por duas propriedades fundamentais: a massa e a carga eléctrica. A massa é uma propriedade dos corpos relacionada com a força gravitacional, já a carga eléctrica é uma propriedade associada aos fenómenos electromagnéticos. A interacção electromagnética pode ser subdividida em interacção eléctrica e magnética.

Os fenómenos eléctricos podem ser evidenciados através de experiências bastante simples. Por exemplo, fricciona uma caneta de plástico num pano de algodão e, em seguida aproxime-a de um pedaço de papel. Observará que o papel será atraído pela caneta, fenómeno este que sucede pelo facto de a caneta ter adquirido electricidade (uma carga eléctrica).

Existem dois tipos de cargas eléctricas: as cargas positivas e as cargas negativas. A grande maioria dos corpos é electricamente neutro, ou seja, possui igual número de cargas positivas e negativas, por esse motivo a interacção eléctrica total entre dois corpos macroscópicos é residual. No entanto, se o valor da carga e da massa forem equivalentes a força eléctrica entre dois corpos macroscópicos será muito superior à força gravitacional.

A carga eléctrica possui um conjunto de propriedades^[1]:

- As cargas com o mesmo sinal repelem-se, ao contrário de cargas com sinais contrários que tendem a atrair-se!
- A carga é conservada, ou seja, pode ser transferida entre corpos, mas não pode ser criada ou eliminada.
- A carga de um corpo é múltipla da carga elementar ($e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$), ou seja, é igual a $N \times e$, sendo N um número inteiro.

A força, F , que duas cargas eléctricas exercem entre si, no vazio, é proporcional ao produto das cargas (Q_1 e Q_2) e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre estas, R (lei de Coulomb). A direcção da força coincide com a linha que une a posição de ambas as cargas²

$$F = \frac{Q_1 \times Q_2}{4 \times \pi \times \epsilon_0 \times R^2} \quad (1.1)$$

em que ϵ_0 representa a permitividade eléctrica do vácuo ($\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{C}^2$), cujo valor é bastante próximo da permitividade eléctrica do ar, razão pela qual não se faz distinção.

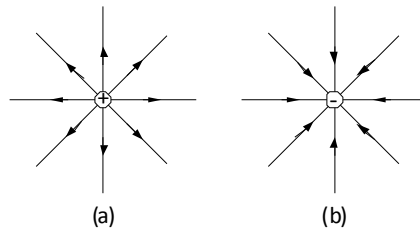
1.1.1. Tensão eléctrica

Uma carga eléctrica produz um campo eléctrico, que traduz o efeito que esta exerce sobre o meio em seu redor. Assim, quando se aproxima uma outra carga, é o campo eléctrico que vai interagir com esta. O campo eléctrico é radial em relação à carga que o produz e aponta no sentido da carga, se esta for negativa, ou para fora, se esta for positiva (Figura 1.1).

(1) A força gravitacional é sempre atractiva.

(2) A lei de Coulomb foi descoberta por *Charles* Coulomb, sendo a unidade SI da carga eléctrica o Coulomb, tendo sido atribuída esta designação em sua homenagem.

**Figura 1.1. Linhas de campo de um campo eléctrico criado por uma carga:
(a) positiva e (b) negativa**



A intensidade do campo eléctrico, E , representa o valor da força que uma carga exerce sobre outra por unidade de carga.

$$E = \frac{F}{Q} = \frac{Q}{4 \times \pi \times \epsilon_0 \times R^2} \quad (1.2)$$

Quando se afastam duas cargas de sinais contrários, estas adquirem uma energia potencial que aumenta à medida que são afastadas, pois houve a necessidade de realizar trabalho para as afastar. Assim, uma carga, Q_1 , situada a uma distância R de uma carga Q , que cria um campo eléctrico E , possui uma energia potencial, E_p , de:

$$E_p = (Q_1 \times R) \times E = \frac{Q_1 \times Q}{4 \times \pi \times \epsilon_0 \times R} \quad (1.3)$$

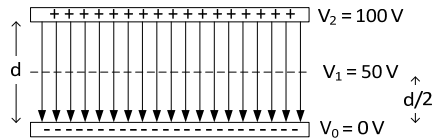
O potencial eléctrico (tensão eléctrica), no mesmo ponto, V , representa a energia potencial por unidade de carga.

$$V = \frac{E_p}{Q_1} = E \times R = \frac{Q}{4 \times \pi \times \epsilon_0 \times R} \quad (1.4)$$

O campo eléctrico aponta no sentido dos potenciais decrescentes. Se considerarmos um campo eléctrico uniforme criado por duas placas metálicas com cargas contrárias é possível concluir que o campo, E , é sempre o mesmo entre as placas. No entanto, o potencial, V , diminui à medida que nos aproximamos da placa com carga negativa, pois a energia potencial de uma carga positiva diminui. Este facto pode ser corroborado através da equação anterior (1.4). Se for colocada uma carga positiva entre as placas, verifica-se que esta será atraída para V_0 (placa com poten-

cial negativo), transformando a sua energia potencial eléctrica em energia cinética que permite o seu movimento.¹

Figura 1.2. Campo eléctrico uniforme criado por duas placas metálicas



Quando a tensão num ponto é constante designa-se por tensão contínua, V , se pelo contrário, o seu valor variar com o tempo passará a designar-se por tensão alternada, caso em que o símbolo utilizado na sua identificação é minúsculo, v .

1.1.2. Corrente eléctrica

Os corpos são compostos por matéria, sendo que esta possui partículas muito pequenas designadas por átomos. Os átomos possuem partículas ainda mais pequenas: os electrões, os protões e os neutrões.

Os electrões possuem carga negativa, enquanto os protões carga positiva, cujo valor em módulo é igual em ambos (carga elementar, e). Como cargas de sinal oposto atraem-se, e cargas do mesmo sinal repelem-se, os electrões repelem-se entre si, assim como os protões. No entanto, os protões e os electrões atraem-se.

Os electrões percorrem trajectórias concêntricas (órbitas) em torno do núcleo, do qual fazem parte os protões² e os neutrões. Os electrões que percorrem a órbita mais afastada do núcleo (órbita de valência) sofrem uma menor força de atracção por parte deste³, logo, são mais susceptíveis a forças externas, podendo adquirir energia suficiente para se libertarem. Se tal acontecer tornam-se electrões livres sendo responsáveis pela corrente eléctrica.

(1) O potencial eléctrico, ou tensão eléctrica, é uma medida de quanta energia é necessária para deslocar uma carga entre dois pontos.

(2) Os protões mantêm-se unidos no núcleo, apesar da força de repulsão que exercem entre si, devido à força nuclear forte mencionada no início desta secção.

(3) O nível energético da camada correspondente à órbita mais afastada é o menor de todas as camadas, o que torna o electrão mais susceptível.

Se ligarmos uma fonte de tensão¹ a um condutor verifica-se a criação de um campo eléctrico com o sentido do terminal positivo para o terminal negativo da fonte. Como existem cargas livres no condutor, estas irão sofrer uma força por via do campo eléctrico criado, se forem cargas positivas deslocar-se-ão no sentido dos potenciais decrescentes, se forem cargas negativas serão atraídas pelo terminal positivo da fonte, logo terão sentido contrário ao do campo. O fluxo de cargas designa-se por corrente eléctrica, e o valor da sua intensidade, I , é definido como a quantidade de carga eléctrica, Q , que atravessa a secção de um material por unidade de tempo.

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1.5)$$

O sentido da corrente corresponde ao movimento das cargas positivas, estando de acordo com o sentido do campo eléctrico. O sentido mencionado, designado por sentido convencional, pode não corresponder ao sentido real da corrente, designado por sentido electrónico. Esta situação sucede nos condutores sólidos, em que os portadores da corrente são os electrões (cargas negativas).

Importa referir que a corrente eléctrica pode ser perigosa, em particular, quando assume valores superiores 0.1 Amperes²

Quando a corrente flui num só sentido designa-se por corrente contínua, I , se pelo contrário, o seu sentido variar com o tempo passará a designar-se por corrente alternada, caso em que o símbolo utilizado na sua identificação é minúsculo, i .

1.1.3. Potência eléctrica

A corrente eléctrica resulta de uma força eléctrica que requer energia, de forma manter o movimento das cargas. A energia instantânea necessária para manter o fluxo de corrente designa-se por potência eléctrica, e o seu valor pode ser calculado recorrendo às equações (1.2) e (1.4).

$$E = \frac{V}{R} \quad \text{e} \quad E = \frac{F}{Q} \quad \Rightarrow \quad \frac{V}{R} = \frac{F}{Q} \quad \Rightarrow \quad F \times R = V \times Q \quad (1.6)$$

(1) Fonte de tensão – dispositivo electrónico capaz de gerar uma diferença de tensão constante.

(2) Ampere – unidade SI da corrente eléctrica, a sua designação pretende homenagear o físico Andre Ampere, que demonstrou que condutores percorridos por correntes se podem comportar como ímanes.

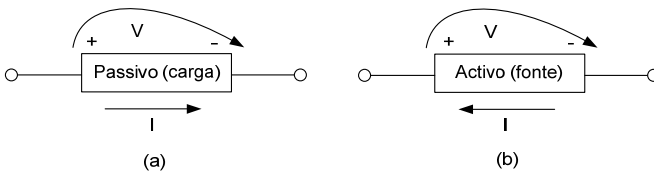
Como o trabalho, W , é igual ao produto do deslocamento, R , pela força, F , e a potência, P , representa o trabalho realizado por unidade de tempo,¹ Δt , é possível escrever a equação:

$$F \times R = V \times Q \Rightarrow W = V \times Q \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta W}{\Delta t} = V \times \frac{\Delta Q}{\Delta t} \Rightarrow P = V \times I \quad (1.7)$$

Quando o sentido da corrente e tensão num componente são iguais, a potência é positiva, ou seja, o componente está a consumir energia (componente passivo²). Se pelo contrário, os sentidos da corrente e tensão forem opostos, então a potência é negativa, neste caso, o componente está a fornecer energia (componente activo), será portanto uma fonte.

Figura 1.3. Convenção passiva: (a) Elemento passivo ($P > 0$) e (b) Elemento activo ($P < 0$)



A energia eléctrica representa a quantidade que os consumidores compram aos fornecedores. Em Portugal o fornecedor de energia eléctrica é a Electricidade de Portugal e a unidade de medida utilizada é o KiloWatt-hora ($kWh \Rightarrow E = P \times t$).

1.1.4. Resistência eléctrica

As cargas eléctricas não se encontram no vazio³ mas sim em meios materiais que possuem átomos que, por sua vez, são compostos por cargas eléctricas (prótons e electrões). Quando a corrente atravessa um determinado material, este cria

(1) Quanto mais potência tiver um motor eléctrico mais energia eléctrica pode ser convertida em mecânica por unidade de tempo. A unidade SI da potência eléctrica é o Watt que corresponde ao Joule/Segundo.

(2) Convenção passiva.

(3) Mesmo no espaço existem algumas partículas.

Acácio Manuel Raposo Amaral é Doutorado em Engenharia Electrotécnica (2010), Mestre em Engenharia Electrotécnica e de Computadores (2005) e Licenciado em Engenharia Electrotécnica (1998), pela Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. É Professor no Departamento de Engenharia Informática e Sistemas (DEIS) do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra onde lecciona, desde 1998, diversas unidades curriculares pertencentes às áreas da Electrónica Analógica e Digital. Possui mais de 40 artigos científicos publicados em conferências nacionais e internacionais, assim como em revistas científicas internacionais. É autor de dois livros intitulados *Análise de Circuitos e Dispositivos de Electrónica* (2013) e *Sistemas Digitais – Princípios, Análise e Projectos* (2014). Actualmente, a par das funções de docente, exerce o cargo de Director do Curso de Especialização Tecnológica em Instalação e Manutenção de Redes e Sistemas Informáticos do DEIS.

O presente manual introduz os principais fundamentos da área da Electrónica analógica, recorrendo a uma linguagem simples e clara, sem descurar simultaneamente o rigor técnico e científico que um livro deste tipo exige. No final de cada capítulo apresenta-se um conjunto de exercícios resolvidos que permitem ao leitor aplicar os conhecimentos adquiridos. De salientar que nas secções relativas à resolução de exercícios não se apresentam apenas as soluções finais, mas sim todos os passos que permitem chegar ao resultado final.

Este livro é composta por nove capítulos, interdependentes, que abordam os principais conteúdos da Electrónica Analógica, nomeadamente:

- Alguns conceitos base, tais como, a definição de grandezas eléctricas, quais as unidades de medida e os elementos fundamentais ideais que compõem um circuito eléctrico.
- As principais técnicas de análise e teoremas de simplificação de circuitos.
- Alguns dos principais componentes electrónicos, nomeadamente, os díodos, os transístores, as resistências, as bobinas, os condensadores e os transformadores.
- A descrição de alguns dos fenómenos físicos fundamentais que permitem compreender o funcionamento de díodos e transístores.
- As principais aplicações dos díodos e sua análise.
- As metodologias de análise e projecto de circuitos com díodo.
- O circuito amplificador: análise em corrente contínua e em sinal.
- O projecto de circuitos amplificadores.

Os conceitos apresentados são leccionados em diversas unidades curriculares de diferentes cursos do ensino superior, nomeadamente nas áreas da Engenharia Electrotécnica, Engenharia Mecatrónica, Engenharia Física, Engenharia Electromecânica, Engenharias Renováveis, Engenharia e Arquitectura Naval, Engenharia Automóvel, Engenharia Informática, Engenharia Mecânica, Engenharia Têxtil, Engenharia e Gestão industrial, Engenharia de Sistemas, Engenharia da Computação e Instrumentação Médica, Biomecânica, entre outras.

Este livro, para além de manual de apoio ao ensino, será também consultado com vantagens por engenheiros e outros profissionais que trabalhem em áreas afins.

ELECTRÓNICA ANALÓGICA

Princípios, Análise e Projectos

540

