

Newton C. Braga

MANUAL DE MECATRÔNICA

Editora Newton C. Braga
São Paulo - 2014



Instituto NCB

www.newtonbraga.com.br
leitor@newtonbraga.com.br

MANUAL DE MECATRÔNICA

Autor: Newton C. Braga

São Paulo - Brasil - 2014

Palavras-chave: Eletrônica - Engenharia Eletrônica - Mecatrônica - Robótica - Automação - Sensores - Atuadores - Controle - Química- SMA - Ponte H - Fórmulas - Mecânica - Engrenagens - Caixas de Redução

Copyright by
INSTITUTO NEWTON C BRAGA.
1ª edição

Todos os direitos reservados. Proibida a reprodução total ou parcial, por qualquer meio ou processo, especialmente por sistemas gráficos, microfilmicos, fotográficos, reprográficos, fonográficos, videográficos, atualmente existentes ou que venham a ser inventados. Vedada a memorização e/ou a recuperação total ou parcial em qualquer parte da obra em qualquer programa juscibernético atualmente em uso ou que venha a ser desenvolvido ou implantado no futuro. Essas proibições aplicam-se também às características gráficas da obra e à sua editoração. A violação dos direitos autorais é punível como crime (art. 184 e parágrafos, do Código Penal, cf. Lei nº 6.895, de 17/12/80) com pena de prisão e multa, conjuntamente com busca e apreensão e indenização diversas (artigos 122, 123, 124, 126 da Lei nº 5.988, de 14/12/73, Lei dos Direitos Autorais).

Diretor responsável: Newton C. Braga

Diagramação e Coordenação: Renato Paiotti

ÍNDICE

PARTE 1 - Fórmulas e Tabelas de Matemática, Física e Química.	12
Matemática.....	12
- Tabela - Logaritmos Importantes.....	12
- Tabela - Valores de n	13
- Conversão de Binário Para Decimal.....	14
- Tabela - Potências de 2.....	15
- Conversão de Byte para Decimal.....	16
- Tabela - Decimais Inteiros Para Binários Puros.....	16
- BCD Para Decimal.....	17
- Tabela - Potências Negativas de 2.....	19
- Conversão Hexadecimal para Decimal.....	19
- Tabela - Dígitos Hexadecimais e os Valores Decimais Correspondentes.....	20
- Tabela - Potências de 16.....	21
- Conversão de decimal para binário.....	21
- Conversão de Coordenadas Polares Tridimensionais em Coordenadas Cartesianas Tridimensionais.....	22
- Conversão de Coordenadas Cilíndricas Tridimensionais em Coordenadas Cartesianas Tridimensionais.....	23
- Conversão de Coordenadas Esféricas Tridimensionais em Coordenadas Cartesianas Tridimensionais.....	23
Física Geral.....	24
- Unidades.....	24
- Algumas conversões de unidades:.....	26
- Prefixos do SI	28
- Unidades do CGS	29
- Alfabeto Grego.....	29
- Conversão de Milímetros em Polegadas e Polegadas em Milímetros.....	31
- Tabela - Conversão de Polegadas Decimais para Milímetros	32
- Tabela - Conversão de Milímetros para Polegadas Decimais.	34
- Tempo - Relações importantes.....	35
- Constantes Físicas.....	35
- Conversões de Temperatura - Graus Celsius (C), Graus Fahrenheit (F), Graus Kelvin (K) e Graus Reamur (Re).....	35
- Tabela - Conversão de Graus Celsius em Graus Fahrenheit...39	
- Tabela - Conversão de Graus Fahrenheit em Graus Celsius	40

- Densidade de materiais.....	41
- Expansão Térmica de Sólidos	45
- Tabela - Coeficientes de expansão (dilatação) linear (α) de alguns sólidos (em 20oC).....	46
- Tabela - Coeficientes de Expansão Volumétrica (β) de alguns líquidos (18oC).....	47
Eletricidade Básica.....	48
- Resistividade Elétrica de Alguns Materiais.....	48
- Constante Dielétrica de Alguns Materiais:.....	53
- Lei de Ohm.....	55
- Lei de Joule.....	56
- Resistores - Resistores em Série.....	57
- Capacitores.....	60
- Capacitores em Série e Paralelo.....	62
- Indutancia.....	63
- Indutâncias em Série e Paralelo.....	64
- Fórmulas e Tabelas Para Corrente Alternada.....	66
- Transformadores.....	70
- Outras tabelas e informações.....	71
-Tabela - Correntes máximas de fios.....	72
- Tabela - Standard Annealed Copper Wire (AWG e B&S).....	73
Química.....	75
- Agentes Secantes.....	75
- Misturas Refrigerantes.....	75
- Indicadores Ácido-Base.....	76
- Massas atômicas relativas dos elementos químicos.....	76
Parte 2 - Mecânica Básica.....	81
2.1 - Alavancas.....	81
2.2 - Polias e Talhas.....	84
2.3 - Momento de uma Força.....	87
2.4 - O plano inclinado e a cunha.....	89
2.5 - O Parafuso.....	90
2.6 - Engrenagens.....	92
2.7 - Molas.....	101
2.8 - Trabalho.....	105
2.9 - Atrito.....	105
2.10 - Potência.....	107
2.11 - Conversão de Movimento.....	109

PARTE 3 - Hidrotrônica e Pneutrônica.....	113
Hidrotrônica.....	113
3.1 - Mecânica dos Líquidos.....	113
3.2 - Fluxo de líquidos de reservatórios.....	116
3.3 - Usando a pressão hidráulica.....	118
3.4 - Válvulas.....	119
3.5 - Dispositivos hidráulicos práticos.....	120
Pneutrônica.....	122
3.6 - Mecânica dos gases.....	122
3.7 - Músculos pneumáticos.....	124
PARTE 4 - Motores Elétricos.....	126
4.1. Motores DC.....	126
4.2 - Informação adicional.....	130
4.3 - Características Típicas.....	130
4.4 - Protegendo o circuito de acionamento.....	131
4.5 - Medindo o torque.....	132
4.6 - Medindo a velocidade.....	136
4.7 - Pontes H.....	139
4.8 - Controles Lineares e PWM.....	150
4.9 - Motores de passo.....	161
4.10 - Como usar motores de passo.....	165
4.11 - CIs Recomendados para o controle de motores de passo.....	172
4.12 - Motores Piezoelétricos.....	173
4.13 - Como funcionam.....	173
PARTE 5 - Relés.....	176
5.1 - O relé.....	176
5.2 - Como os relés são utilizados:.....	181
5.3 - Testando Relés e Descobrimdo Suas Características...	195
5.4 - Informações adicionais.....	203
Parte 6 - Solenóides.....	204
6.1 - O solenóide.....	204
6.2 - Excitando um Solenóide.....	214
6.3 - Características adicionais.....	216
Parte 7 - SERVOS.....	217

7.1 - O Servo-motor.....	217
7.2 - Tipos.....	219
7.3 - Características.....	220
7.4 - Construindo um servo experimental.....	223
7.5 - Vantagens dos servos em relação aos motores de passo	225
7.6. Circuitos de controle.....	226
7.7 - Tipos comerciais.....	229
7.8 - "Hacking" (pirateando) um Servo.....	229
PARTE 8 - SMA.....	231
8.1 - Ligas com Memória de Forma ou Shape Memory Alloys.....	231
8.2 - História.....	235
8.3 - Como Usar.....	237
8.6 - Usando SMAs.....	239
8.7 - Circuitos práticos.....	244
8.8 - Descobrimos as características de uma SMA.....	246
8.9 - Mais informações práticas para o uso de SMAs.....	247
PARTE 9 - Sensores.....	250
9.1 - Sensores Liga-Desliga (On-Off).....	250
9.2 - Condicionadores de contatos.....	255
9.3 - Chaves como sensores.....	257
9.4 - Sensores Resistivos.....	263
9.5 - Sensores de toque.....	271
9.6 - Sensores Piezoelétricos.....	273
9.7 - Umidade.....	274
9.8 - Sensores de Efeito Hall.....	274
9.9 - Som.....	275
9.10 - Sensores Inerciais.....	276
9.11 - Como Usar Sensores Resistivos.....	277
9.12 - Circuitos para sensores - Monoestáveis e Astáveis. .	278
Parte 10 - Eletrônica de Potência.....	284
10.1 - Transistores Bipolares de Potência.....	284
10.2 - Transistor Bipolares Darlington.....	303
10.3 - MOSFETs de Potência.....	306
10.4 - SCRs.....	315

10.5 - Triacs.....	322
10.6 - IGBTs.....	326
10.7 - Cis de Potência.....	329
10.8 - Tecnologia SMD.....	332
10.8 - PLLs.....	350
10.12 - Lâmpadas Neon.....	355
10.13 - Diacs.....	355
10.14 - SUS.....	356
10.15 - SBS.....	357
PARTE 11 - Fontes de Alimentação.....	358
11.1 - Considerações gerais.....	358
11.2 - Células químicas.....	358
11.3 - Células Solares.....	375
11.4 - Fontes Alternativas de Energia.....	377
11.5 - Fontes de Alimentação (Rede de Energia AC)	378
11.6 - Reguladores de Tensão.....	392
11.7 - Boosters de Potência.....	396
11.6 - Fontes Pneumáticas.....	399
11.7 - Motores a gás e gasolina.....	400
11.8 - Fontes Térmicas.....	401
11.9 - Molas e elásticos.....	401
PARTE 13 - Interfaceando com o Computador.....	402
13.1 - Controlando dispositivos.....	402
13.2 A Porta Serial.....	421
.....	431
PARTE 14 - Memórias.....	432
14.1 - Introdução.....	432
14.2 - Soluções simples.....	432
14.3 - Semicondutores.....	437
Parte 15 - Controles Programáveis.....	451
15.1 - Controles Programáveis ou Sequenciais Mecânicos ..	451
15.2 - Encoders.....	452
15.2.1 - Circuitos.....	454
15.3 - PLCs ou CLPs.....	456
15.4 - Calculando a Resolução de	

Conversor A/D de um CLP.....	462
15.5 – Entradas e Saídas	469
PARTE 16 - LÓGICA.....	471
16.1 - Introdução.....	471
16.2 - As famílias CMOS e TTL	478
16.3 – Características CMOS.....	481
16.4 – Características TTL.....	485
16.5 – Interfaceando.....	486
16.6 - EMI.....	487
16.7 – Circuitos Práticos de Interface.....	487
16.8 – Interfaceando.....	494
PARTE 17 - Segurança.....	497
17.1 - Trabalhando com Segurança.....	497
17.2 - Inteligência Artificial.....	502

Introdução

Formalmente os cursos que envolvem o ensino de mecatrônica, robótica, automação e controle recebem a denominação de “Automação Industrial” com opções para Automação Predial e Automação de Processos. Automação pneumática, etc. O profissional desta área estuda diversos ramos da física e da tecnologia, sendo preparado para trabalhar com robôs, sistemas de integração e automação industrial, instalação de sistemas e muito mais, atuando numa ampla gama de setores do comércio e da indústria. A procura por cursos nesta área tem crescido muito nestes últimos anos, aumentando a necessidade por informações, obras especializadas e conhecimentos específicos. Este manual visa justamente atender a todos que trabalham com algum setor da automação, seja ele envolvendo Rob[ótica industrial, recreativa, educacional, automação de processos em todos os níveis, controle de equipamentos e circuitos. Este livro é fruto de um trabalho que já fizemos anteriormente, publicando numa versão anterior nos Estrados Unidos com grande sucesso. Reunimos assim muito do que fizemos naquela época e atualizações importantes, tornando este livro uma fonte inestimável de informações sobre tudo que se relaciona com as tecnologias e a física envolvida na automação, robótica, controle e até mesmo a eletrônica convencional. O livro é ideal para estudantes da área, que podem precisar de informações para seus estudos, professores que, durante uma aula precisam acessar o valor de uma constante ou da característica de um determinado material e, principalmente para os profissionais que num trabalho de projeto ou de manutenção precisam de acesso rápido a informações que nem sempre são fáceis de obter numa busca pela internet. O livro é específico com as informações organizadas e isso facilita a busca de informações. Muitas das informações deste livro podem ser também encontradas de forma esparsa em outros livros do autor como o “Fórmulas e Cálculos Para Eletrônica” ou ainda na série “Como Testar Componentes”. Também pode ser obtida muita informação adicional em seu site www.newtoncbraga.com.br. Enfim, acreditamos que este livro se torne mais uma de nossas

publicações importantes para consulta como a série "Banco de Circuitos" ajudando assim todos que precisam de informações rápidas para seu estudo ou trabalho.

Newton C. Braga

Nota Importante:

Todo o cuidado foi tomado na elaboração do conteúdo deste livro como, por exemplo, na obtenção de valores de propriedades físicas de materiais e outras informações numéricas relacionadas com materiais. No entanto, dependendo da fonte podem ocorrer pequenas variações nos valores, dadas tanto pela metodologia usada na sua obtenção como também na pureza dos materiais envolvidos e nas condições físicas em que foram obtidos os valores.

PARTE 1 - Fórmulas e Tabelas de Matemática, Física e Química

Obs.: Muitas dessas fórmulas podem ser encontradas nos livros de física, matemática e na Internet assim como as tabelas. Algumas pequenas diferenças de valores em alguns casos devem-se a origem da tabela que pode ter sido elaborada a partir de dados com tolerâncias e metodologias diferentes.

Matemática

Nos trabalhos de automação, controle, mecatrônica e robótica, os cálculos matemáticos são sempre necessários. A seguir, o leitor encontrará uma grande quantidade de informações úteis sobre matemática aplicada aos projetos de automação e controle, incluindo fórmulas, tabelas, valores comuns de constantes, mudanças de coordenadas, números binários e muito mais.

- Tabela - Logaritmos Importantes

<i>Log</i>	<i>Valor</i>
<i>lg 1</i>	<i>0</i>
<i>lg 10</i>	<i>1</i>
<i>lg 100</i>	<i>2</i>
<i>lg 1000</i>	<i>3</i>
<i>lg 0.1</i>	<i>-1</i>
<i>lg 0.01</i>	<i>-2</i>
<i>lg 0.001</i>	<i>-3</i>
<i>ln a</i>	<i>2.3026 x lg a</i>
<i>ln 10</i>	<i>2.3026</i>
<i>lg a</i>	<i>0,4343 x ln a</i>
<i>lg e</i>	<i>0.03443</i>

- Tabela - Valores de π

π	3.141592
2π	6.283185
3π	9.424779
4π	12.566379
5π	15.707963
6π	18.849556
7π	21.991486
8π	25.132741
9π	28.274334
10π	31.415926
$1/\pi$	0.318310
$1/2\pi$	0.159155
$\pi/2$	1.570796
$\pi/3$	1.047197
$\pi/4$	0.785398
$\pi/5$	0.628318
$4\pi/3$	4.188790
$4/\pi$	1.273239
$3/\pi$	0.954929
π^2	9.869604
$3 \sqrt{\pi}$	1.464592
$\lg \pi$	0.497715
$\lg \pi$	0.798180

Obs.: Lembramos que na notação inglesa, é utilizado o ponto decimal e lugar da vírgula decimal.

Onde: Dn é o número decimal
 b1 é o bit menos significativo (LSB) do número binário
 b2, b3...são os bits seguintes do número binário
 bn é o bit mais significativo (MSB) do número binário

Exemplo de Aplicação:

Converter o número binário puro 1010100 para decimal:

Aplicado a fórmula f1.1: (LSB= 1 e MSB =1)

$$Dn = 0 \times 2^0 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^4 + 0 \times 2^5 + 1 \times 2^6$$

$$Dn = 0 \times 1 + 0 \times 2 + 1 \times 4 + 0 \times 8 + 1 \times 16 + 0 \times 32 + 1 \times 64$$

$$Dn = 4 + 16 + 64$$

$$Dn = 80$$

– Tabela - Potências de 2

Abaixo uma tabela com as potências de 2, até o expoente 32. Os valores encontrados nessa tabela são comumente usados em muitos cálculos envolvendo eletrônica digital.

<i>Potência de 2</i>	<i>Decimal</i>		<i>Potência de 2</i>	<i>Decimal</i>
2^0	1		2^{16}	65 536
2^1	2		2^{17}	131 072
2^2	4		2^{18}	262 144
2^3	8		2^{19}	524 288
2^4	16		2^{20}	1 048 576
2^5	32		2^{21}	2 097 152
2^6	64		2^{22}	4 194 304
2^7	128		2^{23}	8 388 608
2^8	256		2^{24}	16 777 216
2^9	512		2^{25}	33 554 432
2^{10}	1 024		2^{26}	67 108 864
2^{11}	2 048		2^{27}	134 217 728
2^{12}	4 096		2^{28}	268 435 456
2^{13}	8 192		2^{29}	536 870 912
2^{14}	16 384		2^{30}	1 073 741 824
2^{15}	32 768		2^{31}	2 147 483 648

- Conversão de Byte para Decimal

O byte é um número binário de 8 bits. A fórmula dada a seguir possibilita a conversão de um byte no número decimal equivalente.

Fórmula

$$D_n = b_1 \times 2^0 + b_2 \times 2^1 + b_3 \times 2^2 + b_4 \times 2^3 + b_5 \times 2^4 + b_6 \times 2^5 + b_7 \times 2^6 \text{ (f1.2)}$$

Onde:

D_n é o número decimal convertida

b_1 a b_8 são os bits do byte

b_1 é o LSB – bit menos significativo

b_8 é o MSB – bit mais significativo

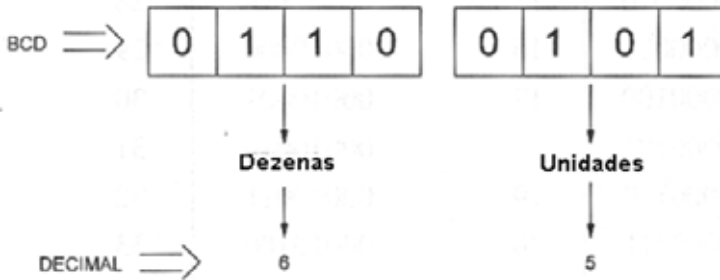
- Tabela - Decimais Inteiros Para Binários Puros

<i>Inteiro Decimal</i>	<i>Binário</i>		<i>Inteiro Decimal</i>	<i>Binário</i>
00	00000000		35	00100011
01	00000001		36	00100100
02	00000010		37	00100101
03	00000011		38	00100110
04	00000100		39	00100111
05	00000101		40	00101000
06	00000110		41	00101001
07	00000111		42	00101010
08	00001000		43	00101011
09	00001001		44	00101100
10	00001010		45	00101101
11	00001011		46	00101110
12	00001100		47	00100111
13	00001101		48	00110000

14	00011110		49	00110001
15	00001111		50	00110010
16	00010000		51	00110011
17	00010001		52	00110100
18	00010010		53	00110101
19	00010011		54	00110110
20	00010100		55	00110111
21	00010101		56	00111000
22	00010110		57	00111001
23	00010111		58	00111010
24	00011000		59	00111011
25	00011001		60	00111100
26	00011010		61	00111101
27	00011011		62	00111110
28	00011100		63	00111111
29	00011101		64	01000000
30	00011110		65	01000001
31	00011111		66	01000010
32	00100000		67	01000011
33	00100001		68	01000100
34	00100010		69	01000101

- BCD Para Decimal

BCD ou Decimal Codificado em Binário consiste numa representação para os algarismos de 0 a 9 usando 4 bits. Abaixo temos a conversão e as fórmulas a seguir possibilitam seu cálculo.

**Fórmula:**

$$Dd = b1 \times 2^0 + b2 \times 2^1 + b3 \times 2^2 + b4 \times 2^3 \text{ (f1.3)}$$

Onde:

Dd é o dígito decimal de 0 a 9

b1, b2, b3, b4 são os valores dos dígitos binários

b1 é o LSB

b2 é o MSB

Exemplo de aplicação:

Converter para decimal o BCD 1001 0100

Resolvendo:

- a) Calculando o dígito decimal das unidades:

$$Ddu = 0 \times 2^0 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^3$$

$$Ddu = 0 + 0 + 6 + 0$$

$$Ddu = 8$$

- b) Calculando o dígito decimal das dezenas:

$$Ddt = 1 \times 2^0 + 0 \times 2^1 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^3$$

$$Ddt = 1 + 8$$

$$Ddt = 9$$

O número decimal é 98 ou 98_{10} .

Tabela - Potências Negativas de 2

<i>Potência negativa de 2</i>	<i>Decimal</i>
2^0	1
2^{-1}	0.5
2^{-2}	0.25
2^{-3}	0.125
2^{-4}	0.062 5
2^{-5}	0.031 25
2^{-6}	0.015 625
2^{-7}	0.007 812 5
2^{-8}	0.003 906 25
2^{-9}	0.001 953 125
2^{-10}	0.000 976 562 5
2^{-11}	0.000 488 281 25
2^{-12}	0.000 244 140 625
2^{-13}	0.000 122 070 312 5
2^{-14}	0.000 061 035 156 25
2^{-15}	0.000 030 517 578 125
2^{-16}	0.000 015 258 789 062 5

– Conversão Hexadecimal para Decimal

Neste sistema de numeração são usados os dígitos de 0 a 9 e mais as letras de A até F representando os valores de 10 a 15. A base é 16 e para converter valores do hexadecimal para o decimal, deve ser usada a seguinte fórmula:

Fórmula

$$D_n = h_1 \times 16^0 + h_2 \times 16^1 + h_3 \times 16^2 + \dots + h_n \times 16^{n-1}$$

(f1.4)

Onde: D_n é o valor decimal da conversão
 $h_1, h_2, h_3, \dots, h_n$ são os dígitos hexadecimais
 h_1 é o LSB
 h_2 é o MSB

Exemplo de aplicação:

Converter para decimal o valor hexadecimal F5A2

Dados: $h_1 = 2$
 $h_2 = A$ (10)
 $h_3 = 5$
 $h_4 = F$ (15)

Aplicando a fórmula:

$$D_n = 2 \times 16^0 + 10 \times 16^1 + 5 \times 16^2 + 15 \times 16^3$$

$$D_n = 2 \times 1 + 10 \times 16 + 5 \times 256 + 15 \times 4096$$

$$D_n = 2 + 160 + 1280 + 61.440$$

$$D_n = 62.882$$

– Tabela - Dígitos Hexadecimais e os Valores Decimais Correspondentes

<i>Hexadecimal</i>	<i>Decimal</i>		<i>Hexadecimal</i>	<i>Decimal</i>
0	0		8	8
1	1		9	9
2	2		A	10
3	3		B	11
4	4		C	12
5	5		D	13
6	6		E	14
7	7		F	15