

**Newton C. Braga**

# **FÓRMULAS E CÁLCULOS PARA ELETRICIDADE E ELETRÔNICA**

VOLUME 2

Editora Newton C. Braga  
São Paulo - 2013



**Instituto NCB**

[www.newtoncbraga.com.br](http://www.newtoncbraga.com.br)  
[leitor@newtoncbraga.com.br](mailto:leitor@newtoncbraga.com.br)

# FÓRMULAS E CÁLCULOS PARA ELETRICIDADE E ELETRÔNICA -V2

**Autor:** Newton C. Braga

São Paulo - Brasil - 2013

**Palavras-chave:** Eletrônica - Engenharia Eletrônica - Componentes - Reparação - Projetos - Circuitos práticos - Coletânea de circuitos - Matemática para Eletrônica - Cálculos - Tabelas - Eletricidade - Física - Eletrotécnica - Optoeletrônica - Óptica - Eletrônica Digital

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

<b>Pontes.....</b>	<b>11</b>
128. Ponte de Wheatstone.....	11
129. Ponte de Wien.....	12
130. Ponte de Ressonância.....	14
131. Ponte de Maxwell.....	15
132. Ponte de Schering.....	17
133. Ponte de Owen.....	18
134. Ponte de Hay.....	20
<b>Amplificadores Operacionais.....</b>	<b>21</b>
135. Amplificador não inversor.....	21
136. Amplificador Inversor.....	23
137. Seguidor de Tensão.....	23
138. Amplificador Somador.....	24
138. Amplificador Diferença (Subtração).....	25
139. Diferenciador .....	27
140. Integrador.....	28
141. Amplificador Logarítmico.....	29
142. Fonte de Tensão.....	30
143. Fonte de Corrente Constante (carga flutuante).....	32
144. Fonte de Corrente Constante (carga de alta corrente).....	33
145. Amplificador de Valor Absoluto.....	33
146. Voltímetro com Operacional.....	34
147. Oscilador Retangular.....	35
148. Oscilador por Ponte de Wien.....	38
149. Filtro Passa Faixa com Operacional (Passa Banda).....	39
150. Filtro Rejeitor (Bloqueador de Faixa).....	41
151. Filtro Passa-Baixas.....	42
152. Filtro Passa-Altas com Operacional.....	43
153. Filtro Butterworth de Segunda Ordem Passa- Baixas.....	44
154. Regulador de Tensão em Série com Transistor.....	45

155. Regulador de Tensão Paralelo.....	53
<b>Reguladores Integrados de Tensão.....</b>	<b>58</b>
156. Reguladores de tensão.....	58
157. Regulador de Corrente.....	61
<b>Circuitos Digitais.....</b>	<b>69</b>
159. Conversão Binário-para-Decimal.....	69
160. Conversão Byte para Decimal.....	72
161. Conversão BCD para Decimal.....	73
162. Conversão hexadecimal para decimal.....	74
163. Conversão de decimal para binário.....	75
<b>Funções Lógicas.....</b>	<b>77</b>
164. Porta E (AND).....	77
165. Porta Não-E (NAND).....	79
166. Porta OU (OR).....	81
167. Função Não-OU (NOR).....	82
168. Porta OU-Exclusivo (Exclusive-OR).....	84
169. Função Inversor (Inverter).....	85
170. Soma Binária (Adição Binária).....	86
171. Subtração Binária.....	87
172. Multiplicação Binária.....	87
173. Divisão Binária.....	87
<b>Postulados da Álgebra Booleana.....</b>	<b>88</b>
174. Leis da Tautologia.....	88
175. Leis da Comutação.....	88
176. Leis da Associação.....	89
177. Leis da Distribuição.....	91
178. Leis da Absorção.....	92
179. Leis da Classe Universo.....	93
180. Leis da Classe Nulo.....	93
181. Leis da Complementação.....	94
182. Leis da Contraposição.....	95
183. Leis da Dupla Negação.....	96
184. Leis da Expansão.....	97
185. Leis da Dualidade.....	98

<b>Relações Booleanas.....</b>	<b>100</b>
186. Ponto Identidade.....	100
187. Comutativa.....	100
188. Associativa.....	100
189. Distributiva.....	101
190. Absorção.....	101
191. Teoremas de Demorgan.....	101
<b>Fórmulas Diversas.....</b>	<b>103</b>
192. Valores instantâneos Para Sinais Senoidais.....	103
193. Conversão de milímetros em polegadas.....	106
194. Conversão de polegadas em milímetros.....	107
<b>Conversões de Temperatura.....</b>	<b>111</b>
195. Graus Celsius (C), Graus Fahrenheit (F), Graus Kelvin (K) e Graus Reamur (Re).....	111
Fórmula 195.1.....	111
<b>Som.....</b>	<b>118</b>
197. Frequência e Comprimento de Onda (som).....	118
199. Intervalo de um som.....	122
200. Pressão Sonora.....	122
Fórmula 200.1.....	123
201. Nível de pressão sonora.....	124
202. Intensidade Sonora.....	124
203. Interferência (batimento).....	126
204. Efeito Doppler.....	127
Fórmula 204.1.....	128
<b>.Redes Divisoras de Frequência Para Alto Falantes.....</b>	<b>129</b>
205. Simples divisor para Tweeter (6 dB/oitava).....	129
206. Divisor para tweeter de 6 dB por oitava (2).....	131
207. Divisor de dois canais com 12 dB por oitava.....	132
208. Divisor em PI de dois canais com 18 dB/oitava de separação.....	133
209. Divisor em T de dois canais com separação de 18 dB por oitava.....	135
210. Fórmulas para Divisores de frequência de 3 canais ...	137
211. Divisor de 3 canais com 6 dB de separação tipo série..	139

212. Divisor de 3 canais com 6 dB oitava tipo paralelo.....	141
213. Divisor de 3 canais com 12 dB por oitava tipo série.....	142
215. A fórmula de Wheeler.....	147
<b>Optoeletrônica.....</b>	<b>151</b>
216. Comprimento de onda e frequência para radiação óptica .....	152
217. Intensidade e Fluxo Luminoso.....	154
218. Densidade luminosa.....	156
219. Refração.....	159
220. LEDs.....	161
221. Circuitos com LEDs.....	162
222 – Fotocélulas.....	165
223 – LDR ou foto-resistor.....	167
224. Fotodiodo.....	170
225. Foto-Transistor.....	171
<b>Colorimetria.....</b>	<b>173</b>
226. Lei de Stefan-Boltzmann.....	173
<b>Matemática.....</b>	<b>175</b>
227. Fórmulas para diferenciação (derivadas).....	175
228. Fórmulas para integração.....	177
229. Tolerância.....	181
230. Transformadas de Fourier.....	186
<b>ANEXOS.....</b>	<b>190</b>
CALCULANDO ETAPAS CLASSE A COM TRANSISTORES.....	190
PROJETANDO UM ASTÁVEL DE POTÊNCIA.....	198
CALCULANDO UMA ETAPA CLASSE B (Push-Pull).....	207

## **.Apresentação**

Este manual foi preparado para todos os que trabalham com eletricidade e eletrônica. Engenheiros, técnicos, estudantes, professores e mesmo amadores terão neste livro um rico conteúdo para seu trabalho de projeto, determinação de características e dimensionamento de componentes e circuitos. Assim, durante sua vida profissional o autor, que projetou centenas de circuitos elétricos e eletrônicos, colecionou uma enorme quantidade de fórmulas e informações técnicas que podem ser de grande utilidade para todos que fazem este tipo de trabalho.

Na prática, todos que realizam um projeto, devam fazer um trabalho para a escola ou ainda precisam determinar as características de um componente ou um circuito para uma aplicação, encontram como dificuldade principal encontrar a informação necessária.

Atualmente, a grande fonte de informação para isso é a Internet. No entanto, ela apresenta um problema básico que dificulta o trabalho de todos.

Além dela estar dispersa, é comum o uso de unidades diferentes, o esquecimento do valor de uma constante, um fator de multiplicação ou mesmo um expoente.

Colocando as principais fórmulas, tabelas num único lugar, o projetista, estudante ou professor podem encontrar a informação que precisa com muito mais facilidade e, mais do que isso, pode carregá-la para onde for, quer no seu tablet ou smartphone, se for a versão E-book como na sua maleta de trabalho, se for a versão impressa.

As tabelas, por outro lado, contém uma grande quantidade de informações importantes, tais como valores de constantes, propriedades físicas de circuitos e materiais, e mesmo valores já calculados para serem usados em procedimentos de projeto, economizando tempo e também evitando a possibilidade de um erro.

Finalmente, encontramos neste livro leis e teoremas descrevendo as propriedades de certos circuitos e dispositivos, além de procedimentos que devem ser adotados quando se faz um trabalho prático. Uma boa parcela das fórmulas apresentadas

é acompanhada de exemplos de aplicação, Estes exemplos são muito importantes para mostrar como os cálculos são feitos usando a informação dada. Para se evitar problemas de obtenção de resultados incorretos, todas as fórmulas possuem a indicação das unidades usadas, e nos casos em que se julgar necessário, informações sobre sua conversão são dadas.

Como os leitores que irão utilizar este manual possuem todos os níveis de formação, as fórmulas que encontramos vão das mais simples, onde a operações aritméticas elementares são usadas, tais como a soma, subtração, multiplicação e divisão são usadas, passando pelas intermediárias em que já temos o uso das funções trigonométricas, expoentes e raízes, e chegando as mais avanças onde o cálculo integral e diferencial é encontrado.

Sabemos que a matemática é uma ciência exata e isso é importante quando fazemos seu uso na maioria das aplicações.

No entanto, na eletrônica "do mundo real", componentes e circuitos trabalham com uma boa margem de tolerância, o que significa que os resultados práticos que obtemos ao fazer um projeto partindo de fórmulas e procedimentos de cálculos podem ser bem diferentes dos esperados.

Até comum que se diga nos meios técnicos que para a eletrônica "na prática a teoria é outra".

Assim, ao utilizar as fórmulas e procedimentos dados neste livro para se fazer um projeto, ou para se conferir o funcionamento de um circuito, é comum que se necessite de "ajustes", que são pequenas alterações de valores de componentes que levem aos resultados esperados.

Também deve ser levado em conta que muitas fórmulas dadas neste livro são empíricas.

O que ocorre é que em muitos casos, as fórmulas exatas para uma aplicação são extremamente longas, complexas e até utilizam procedimentos não comuns para as pessoas que tenham uma formação básica ou média em matemática.

Cortando estas fórmulas ou adotando certas constantes, ou ainda limitando o uso da fórmula a uma faixa de condições, a fórmula pode ser simplificada, levando a resultados próximos do desejado com um procedimento de cálculo muito menos trabalhoso. Estas são as fórmulas empíricas que encontraremos em muitos casos neste livro.

Também devemos fazer algumas observações sobre o uso das unidades.

Neste trabalho daremos preferência ao uso das unidades no sistema internacional de unidades ou SI, em que os valores são expressos em sua maioria em valores decimais. Seguiremos as recomendações dadas pelo INMETRO e ABNT que normaliza o uso das unidades em nosso país.

Em alguns casos, visando facilitar o uso das fórmulas pelos leitores menos experientes com o trato da matemática, poderemos em utilizar notações "não convencionais".

Para as multiplicações, por exemplo, teremos o símbolo preferencial usado o "X", mas em alguns casos poderemos encontrar o "\*" ou mesmo o ".".

As tabelas foram obtidas de diferentes fontes, das quais destacamos os manuais de física, livros de engenharia, manuais de fabricantes de componentes, Internet, livros de matemática, normas da ABNT, e muito mais.

Na maioria dos casos a confiabilidade dessas informações é grande e quando em dúvida conferimos com outras fontes, pois podem ocorrer pequenas discrepâncias, principalmente em relação a características de componentes e materiais. Algumas fórmulas também foram elaboradas pelo próprio autor, utilizando programas que ele criou para esta finalidade.

Essa é a idéia deste livro que, na verdade, teve uma edição feita por nós em 1999 nos Estados Unidos, mas que não teve uma versão em português.

A edição original está esgotada, mas muito de seu conteúdo é atual, bastante que certas modificações em relação às formas de expressar certas grandezas sejam feitas.

Coletamos então o material básico daquela edição e acrescentamos outros, relacionados com tecnologias mais modernas e, além disso, damos exemplos práticos de sua utilização. Esta é, portanto, a finalidade deste livro: ajudar todos que precisam de fórmulas específicas para a realização de projetos ou de trabalhos, colocando-as de uma forma organizada e dando exemplos práticos.

O autor - 2013

**Neste volume:**

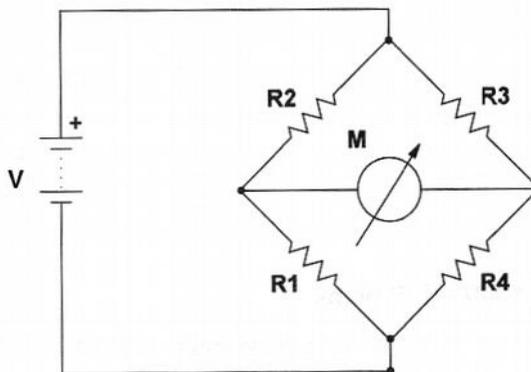
- Pontes
- Operacionais
- Digital
- Reguladores de Tensão
- Digital
- Funções Lógicas
- Temperatura
- Som
- Alto-Falantes
- Optoeletrônica
- Colorimetria
- Matemática

## Pontes

Uma ponte de medida é um circuito formado por quatro braços conectados e arrumados de modo que, quando um sinal (AC ou DC) é aplicado a um par de junções opostas, a resposta de um sistema de detecção (indicador DC ou AC) conectado ao outro par de junções pode ser zerada por um ajuste de um ou mais elementos dos braços da ponte.

### 128. Ponte de Wheatstone

A ponte de Wheatstone é formada por resistores, sendo usada para a medida de resistências. O circuito de uma ponte de Wheatstone é mostrado na figura. O dispositivo sensor de equilíbrio pode ser um galvanômetro se a ponte for alimentada por tensão contínua. No entanto, a ponte pode ser alimentada por um sinal de áudio caso em que o dispositivo sensor pode ser um fone de ouvido de alta impedância ou ainda um transdutor piezoelétrico.



Quando utilizada para medidas de resistências, uma das resistências é desconhecida ( $R_4 = R_x$ , por exemplo) e outra é variável para encontrar o ponto de equilíbrio da ponte ( $R_3$ , por exemplo)

**Fórmula 128.1**

Quando no equilíbrio:

$$R4 = \frac{R1}{R2} \times R3$$

Onde: R1, R2, R3, R4 são as resistências nos braços da ponte em ohms ( $\Omega$ )

**Exemplo de Aplicação:**

Qual é o valor de R4 na ponte mostrada na figura 1 quando na condição de equilíbrio é encontrada sendo R1 = 100 ohms, R2 = 200 ohms e R3 = 300 ohms?

Dados:

$$R1 = 100 \text{ ohms}$$

$$R2 = 200 \text{ ohms}$$

$$R3 = 300 \text{ ohms}$$

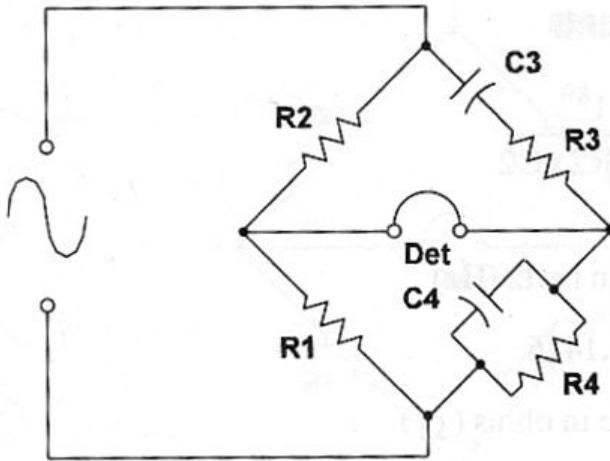
$$R4 = ?$$

Usando a fórmula 128.1:

$$R4 = \frac{100}{200} \times 300 = 150 \text{ ohms}$$

## **129. Ponte de Wien**

Esta ponte é usada para medidas de capacitância e indutância. A figura mostra a configuração básica desta ponte. O indicador de equilíbrio é escolhido de acordo com a frequência da fonte de sinal. Esta frequência, por outro lado, é escolhida de acordo com o valor da capacitância ou indutância que estão sendo medidas.

**Fórmula 129.1**

No equilíbrio:

$$\omega^2 = \frac{1}{R4 \times R3 \times C4 \times C3}$$

e

$$\frac{C4}{C3} = \frac{R2}{R1} = \frac{R3}{R4}$$

Onde:

 $\omega$  é  $2 \times \Pi \times f$  ( $f$  é a frequência do gerador em hertz - Hz)R1, R2, R3 e R4 são as resistências em ohms ( $\Omega$ )

C1, C2, C3 e C4 são as capacitâncias (F)

**Obs.:** A ponte também pode ser usada em medidas de frequências. Neste caso, selecione os capacitores da seguinte maneira:

$$R3 = 2 \times R4 \text{ e } C1 = C2$$

A fórmula 2 pode então ser utilizada para determinar a frequência de uma fonte de sinal.

**Fórmula 129.2**

Para medidas de frequência:

$$f = \frac{1}{2 \times \pi \times R2 \times C2}$$

Onde:

f é a frequência em hertz (Hz)

$\Pi$  é a constante 3.1416

R2 é a resistência em ohms ( $\Omega$ )

C2 é a capacitância em farads (F)

**Fórmula 129.3**

Quando no equilíbrio também é válido:

$$C4^2 = \frac{R2 \times R4 - R1 \times R3}{R1 \times R4^2 \times R3 \times \omega^2}$$

e

$$C3^2 = \frac{R1}{(R2 \times R4 - R1 \times R3) \times R3 \times \omega^2}$$

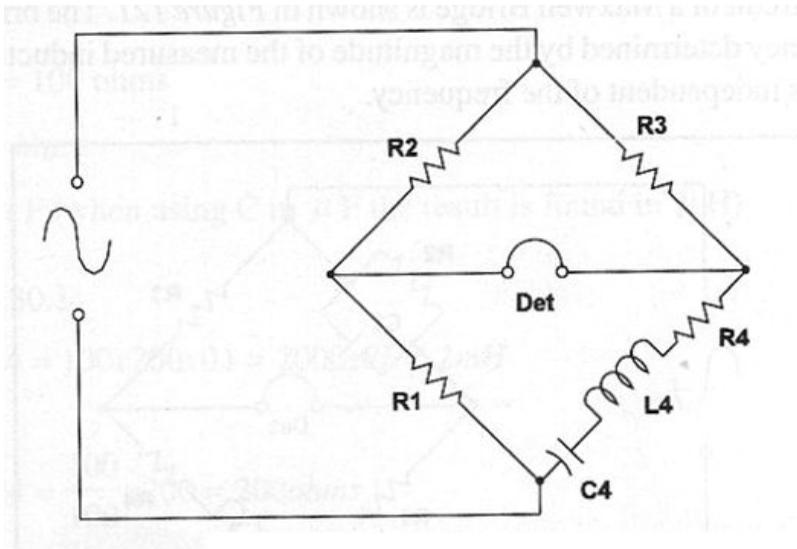
Onde:  $\omega = 2 \times \Pi \times f$  (f é a frequência em hertz - Hz)

R1, R2, R3 e R4 são as resistências em ohms ( $\Omega$ )

C1, C2, C3 e C4 são as capacitâncias em farads (F)

### **130. Ponte de Ressonância**

A Ponte de Ressonância é usada para medidas de indutância, precisando de uma fonte de sinal cuja frequência depende do valor da indutância que está sendo medida. O circuito é mostrado na figura existindo dois elementos para serem ajustados no equilíbrio: C e R3. C4 e R4 são a capacitância e a resistência associadas a indutância que está sendo medida.

**Formula 130.1**

Condição para equilíbrio:

$$L = \frac{1}{\omega^2 \times C}$$

e

$$R4 = \frac{R1}{R2} \times R3$$

Onde:

$\omega = 2 \times \Pi \times f$  (f é a frequência em hertz - Hz)

R1, R2, R3 e R4 são as resistências em ohms ( $\Omega$ )

C é a capacitância em farads (F)

L é a indutância em henrys (H)

**131. Ponte de Maxwell**

Esta ponte é destinada à medida de indutâncias, mas usa como referência ou padrão uma capacitância. Isso a torna ideal