

# Parâmetros Híbridos — Equações de Conversão (Exatas e Aproximadas)

# A

## A.1 EXATAS

### Configuração Emissor-Comum

$$h_{ie} = \frac{h_{ib}}{(1 + h_{fb})(1 - h_{rb}) + h_{ob}h_{ib}} = h_{ic}$$

$$h_{re} = \frac{h_{ib}h_{ob} - h_{rb}(1 + h_{fb})}{(1 + h_{fb})(1 - h_{rb}) + h_{ob}h_{ib}} = 1 - h_{rc}$$

$$h_{fe} = \frac{-h_{fb}(1 - h_{rb}) - h_{ob}h_{ib}}{(1 + h_{fb})(1 - h_{rb}) + h_{ob}h_{ib}} = -(1 + h_{fc})$$

$$h_{oe} = \frac{h_{ob}}{(1 + h_{fb})(1 - h_{rb}) + h_{ob}h_{ib}} = h_{oc}$$

### Configuração Base-Comum

$$h_{ib} = \frac{h_{ie}}{(1 + h_{fe})(1 - h_{re}) + h_{ie}h_{oe}} = \frac{h_{ic}}{h_{ic}h_{oc} - h_{fc}h_{rc}}$$

$$h_{rb} = \frac{h_{ie}h_{oe} - h_{re}(1 + h_{fe})}{(1 + h_{fe})(1 - h_{re}) + h_{ie}h_{oe}} = \frac{h_{fc}(1 - h_{rc}) + h_{ic}h_{oc}}{h_{ic}h_{oc} - h_{fc}h_{rc}}$$

$$h_{fb} = \frac{-h_{fe}(1 - h_{re}) - h_{ie}h_{oe}}{(1 + h_{fe})(1 - h_{re}) + h_{ie}h_{oe}} = \frac{h_{rc}(1 + h_{fc}) - h_{ic}h_{oc}}{h_{ic}h_{oc} - h_{fc}h_{rc}}$$

$$h_{ob} = \frac{h_{oe}}{(1 + h_{fe})(1 - h_{re}) + h_{ie}h_{oe}} = \frac{h_{oc}}{h_{ic}h_{oc} - h_{fc}h_{rc}}$$

### Configuração Coletor-Comum

$$h_{ic} = \frac{h_{ib}}{(1 + h_{fb})(1 - h_{rb}) + h_{ob}h_{ib}} = h_{ie}$$

$$h_{rc} = \frac{1 + h_{fb}}{(1 + h_{fb})(1 - h_{rb}) + h_{ob}h_{ib}} = 1 - h_{re}$$

$$h_{fc} = \frac{h_{rb} - 1}{(1 + h_{fb})(1 - h_{rb}) + h_{ob}h_{ib}} = -(1 + h_{fe})$$

$$h_{oc} = \frac{h_{ob}}{(1 + h_{fb})(1 - h_{rb}) + h_{ob}h_{ib}} = h_{oe}$$

## A.2 APROXIMADAS

### Configuração Emissor-Comum

$$h_{ie} \cong \frac{h_{ib}}{1 + h_{fb}} \cong \beta r_e$$

$$h_{re} \cong \frac{h_{ib}h_{ob}}{1 + h_{fb}} \cong -h_{rb}$$

$$h_{fe} \cong \frac{-h_{fb}}{1 + h_{fb}} \cong \beta$$

$$h_{oe} \cong \frac{h_{ob}}{1 + h_{fb}}$$

### Configuração Base-Comum

$$h_{ib} \cong \frac{h_{ie}}{1 + h_{fe}} \cong \frac{-h_{ic}}{h_{fc}} \cong r_e$$

$$h_{rb} \cong \frac{h_{ie}h_{oe}}{1 + h_{fe}} - h_{re} \cong h_{rc} - 1 - \frac{h_{ic}h_{oc}}{h_{fc}}$$

$$h_{fb} \cong \frac{-h_{fe}}{1 + h_{fe}} \cong \frac{-(1 + h_{fc})}{h_{fc}} \cong -\alpha$$

$$h_{ob} \cong \frac{h_{oe}}{1 + h_{fe}} \cong \frac{-h_{oc}}{h_{fc}}$$

### Configuração Coletor-Comum

$$h_{ic} \cong \frac{h_{ib}}{1 + h_{fb}} \cong \beta r_e$$

$$h_{rc} \cong 1$$

$$h_{fc} \cong \frac{-1}{1 + h_{fb}} \cong -\beta$$

$$h_{oc} \cong \frac{h_{ob}}{1 + h_{fb}}$$

# Fator de Ripple e Cálculos de Tensão

# B

## B.1 FATOR DE RIPPLE DO RETIFICADOR

O fator de ripple de uma tensão é definido por

$$r \equiv \frac{\text{valor rms da componente ac do sinal}}{\text{valor médio do sinal}}$$

que pode ser expressa por

$$r = \frac{V_r(\text{rms})}{V_{dc}}$$

Como a componente ac de um sinal contendo um nível dc é

$$v_{ac} = v - V_{dc}$$

o valor rms da componente ac é

$$\begin{aligned} V_r(\text{rms}) &= \left[ \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} v_{ac}^2 d\theta \right]^{1/2} \\ &= \left[ \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (v - V_{dc})^2 d\theta \right]^{1/2} \\ &= \left[ \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (v^2 - 2vV_{dc} + V_{dc}^2) d\theta \right]^{1/2} \\ &= [V^2(\text{rms}) - 2V_{dc} + V_{dc}^2]^{1/2} \\ &= [V^2(\text{rms}) - V_{dc}^2]^{1/2} \end{aligned}$$

onde  $V(\text{rms})$  é o valor rms da tensão total. Para o sinal retificado de meia-onda,

$$\begin{aligned} V_r(\text{rms}) &= [V^2(\text{rms}) - V_{dc}^2]^{1/2} \\ &= \left[ \left( \frac{V_m}{2} \right)^2 - \left( \frac{V_m}{\pi} \right)^2 \right]^{1/2} \\ &= V_m \left[ \left( \frac{1}{2} \right)^2 - \left( \frac{1}{\pi} \right)^2 \right]^{1/2} \end{aligned}$$

$$V_r(\text{rms}) = 0,385 V_m \quad (\text{meia-onda})$$

(B.1)

Para o sinal retificado de onda-completa,

$$\begin{aligned} V_r(\text{rms}) &= [V^2(\text{rms}) - V_{dc}^2]^{1/2} \\ &= \left[ \left( \frac{V_m}{\sqrt{2}} \right)^2 - \left( \frac{2V_m}{\pi} \right)^2 \right]^{1/2} \\ &= V_m \left( \frac{1}{2} - \frac{4}{\pi^2} \right)^{1/2} \end{aligned}$$

$$V_r(\text{rms}) = 0,308 V_m \quad (\text{onda-completa})$$

(B.2)

## B.2 TENSÃO DE RIPPLE DO CAPACITOR DE FILTRAGEM

Assumindo uma tensão de ripple triangular, como mostrado na Fig. B.1, podemos escrever (ver Fig. B.2)

$$V_{dc} = V_m - \frac{V_r(p-p)}{2} \quad (\text{B.3})$$

Durante a descarga do capacitor, a variação da tensão através deste é

$$V_r(p-p) = \frac{I_{dc} T_2}{C} \quad (\text{B.4})$$

Da forma da onda triangular na Fig. B.1

$$V_r(\text{rms}) = \frac{V_r(p-p)}{2\sqrt{3}} \quad (\text{B.5})$$

(obtido de cálculos, não mostrados).

Analisando a forma de onda da Fig. B.1, podemos escrever

$$\begin{aligned} \frac{V_r(p-p)}{T_1} &= \frac{V_m}{T/4} \\ T_1 &= \frac{V_r(p-p)(T/4)}{V_m} \end{aligned}$$

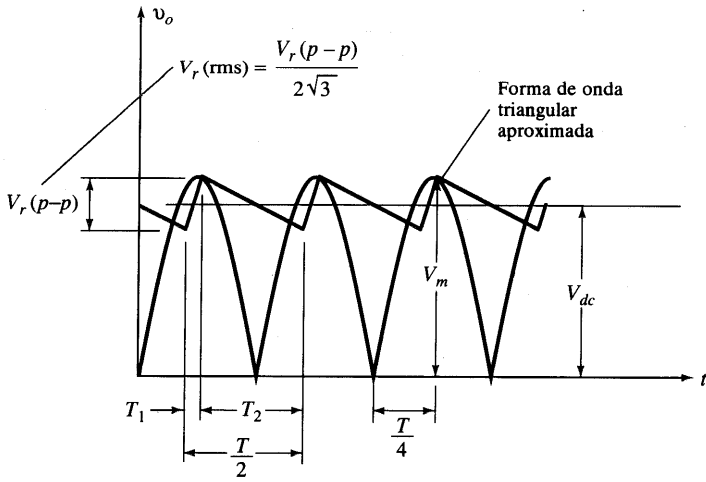


Fig. B.1 Tensão de ripple triangular aproximada para o capacitor de filtragem.

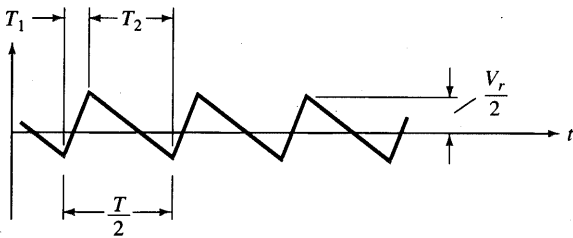


Fig. B.2 Tensão de ripple.

Também,  $T_2 = \frac{T}{2} - T_1 = \frac{T}{2} - \frac{V_r(p-p)(T/4)}{V_m} =$

$$T_2 = \frac{2TV_m - V_r(p-p)T}{4V_m}$$

$$T_2 = \frac{2V_m - V_r(p-p)}{V_m} \frac{T}{4}$$

Escrevendo a Eq. (B.3) da forma

$$V_{dc} = \frac{2V_m - V_r(p-p)}{2}$$

podemos combinar a última equação com a Eq. (B.6):

$$T_2 = \frac{V_{dc}}{V_m} \frac{T}{2}$$

que, substituída na Eq. (B.4), resulta

$$V_r(p-p) = \frac{I_{dc}}{C} \left( \frac{V_{dc}}{V_m} \frac{T}{2} \right)$$

$$T = \frac{1}{f}$$

$$V_r(p-p) = \frac{I_{dc}}{2fC} \frac{V_{dc}}{V_m} \tag{B.7}$$

Combinando as Eqs. (B.5) e (B.7), solucionamos para  $V_r(rms)$ :

$$V_r(rms) = \frac{V_r(p-p)}{2\sqrt{3}} = \frac{I_{dc}}{4\sqrt{3}fC} \frac{V_{dc}}{V_m} \tag{B.8}$$

### B.3 RELAÇÃO DE $V_{dc}$ E $V_m$ COM O RIPPLE, $r$

A tensão sobre um capacitor de filtragem originada de um transformador com uma tensão de pico igual a  $V_m$ , relaciona-se com o ripple da seguinte forma:

$$r = \frac{V_r(rms)}{V_{dc}} = \frac{V_r(p-p)}{2\sqrt{3}V_{dc}}$$

$$V_{dc} = \frac{V_r(p-p)}{2\sqrt{3}r} = \frac{V_r(p-p)/2}{\sqrt{3}r} = \frac{V_r(p)}{\sqrt{3}r} = \frac{V_m - V_{dc}}{\sqrt{3}r}$$

$$V_m - V_{dc} = \sqrt{3}rV_{dc}$$

$$V_m = (1 + \sqrt{3}r)V_{dc}$$

$$\frac{V_m}{V_{dc}} = 1 + \sqrt{3}r \tag{B.19}$$

A relação da Eq. (B.9) aplica-se aos circuitos de filtro e retificador de meia-onda e onda-completa. Por exemplo, em um ripple de 5% a tensão dc é de  $V_{dc} = 0,92 V_m$ , ou mais de 90% da tensão

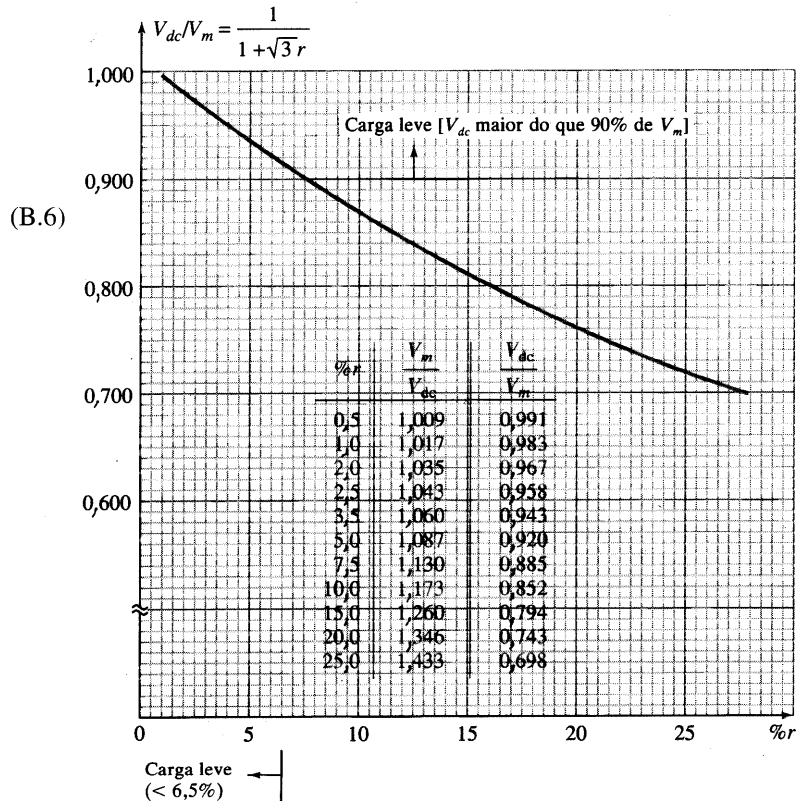


Fig. B.3 Traçado de  $V_{dc}/V_m$  como função de % r.

de pico; e para um ripple de 20%, a tensão dc é apenas 0,74  $V_m$ , inferior a 75% da tensão do pico. Observe que  $V_{dc}$  é mais de 90% da tensão de pico para um ripple menor do que 6,5%. Esta quantidade de ripple representa o limite para a condição de carga leve.

### B.4 RELAÇÃO DE $V_r$ (RMS) E $V_m$ COM O RIPPLE, $r$

Podemos também obter uma relação entre  $V_r$ (rms),  $V_m$ , e a quantidade de ripple para os circuitos de filtragem com retificador de meia-onda e onda-completa:

$$\frac{V_r(p-p)}{2} = V_m - V_{dc}$$

$$\frac{V_r(p-p)/2}{V_m} = \frac{V_m - V_{dc}}{V_m} = 1 - \frac{V_{dc}}{V_m}$$

$$\frac{\sqrt{3}V_r(rms)}{V_m} = 1 - \frac{V_{dc}}{V_m}$$

Utilizando a Eq. (B.9), ficamos com

$$\frac{\sqrt{3}V_r(rms)}{V_m} = 1 - \frac{1}{1 + \sqrt{3}r}$$

$$\frac{V_r(rms)}{V_m} = \frac{1}{\sqrt{3}} \left( 1 - \frac{1}{1 + \sqrt{3}r} \right) = \frac{1}{\sqrt{3}} \left( \frac{1 + \sqrt{3}r - 1}{1 + \sqrt{3}r} \right)$$

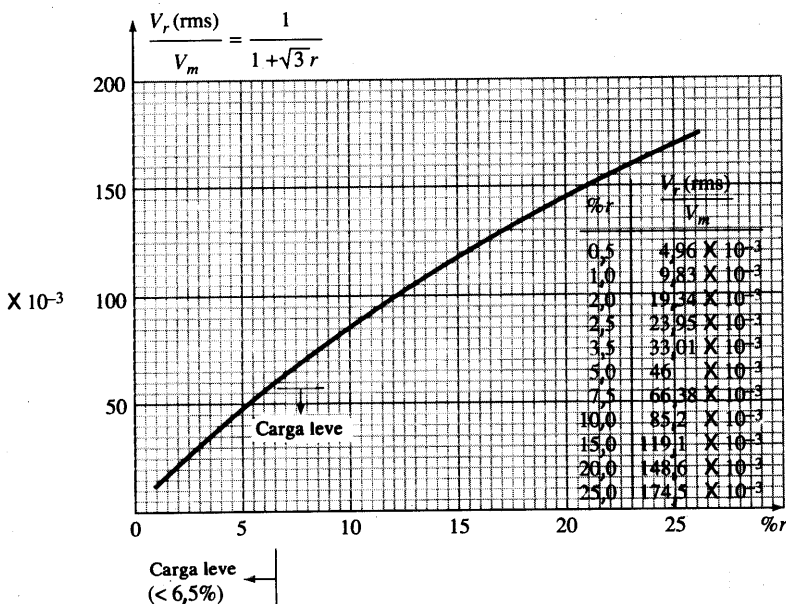
$$\frac{V_r(rms)}{V_m} = \frac{r}{1 + \sqrt{3}r} \quad (B.10)$$

A Equação (B.10) é traçada na Fig. B.4.

Como  $V_{dc}$  é maior do que 90% de  $V_m$  para um ripple  $\leq 6,5\%$ ,

$$\frac{V_r(rms)}{V_m} \cong \frac{V_r(rms)}{V_{dc}} = r \quad (\text{carga leve})$$

e podemos usar  $V_r(rms)/V_m = r$  para ripple  $\leq 6,5\%$ .



### B.5 RELAÇÃO ENTRE ÂNGULO DE CONDUÇÃO, % RIPPLE, E $I_{pico}/I_{dc}$ PARA OS CIRCUITOS DE FILTRAGEM E RETIFICADOR DE MEIA-ONDA E ONDA-COMPLETA

Na Fig. B.1, podemos determinar o ângulo  $\theta$  no qual o diodo começa a conduzir da seguinte forma: Como

$$v = V_m \sin \theta = V_m - V_r(p-p) \quad \text{para} \quad \theta = \theta_1$$

$$\theta_1 = \sin^{-1} \left[ 1 - \frac{V_r(p-p)}{V_m} \right]$$

Usando a Eq. (B.10) e  $V_r(rms) = V_r(p-p)/2\sqrt{3}$  resulta

$$\frac{V_r(p-p)}{V_m} = \frac{2\sqrt{3}V_r(rms)}{V_m}$$

tal que  $1 - \frac{V_r(p-p)}{V_m} = 1 - \frac{2\sqrt{3}V_r(rms)}{V_m} =$

$$= 1 - 2\sqrt{3} \left( \frac{r}{1 + \sqrt{3}r} \right)$$

$$= \frac{1 - \sqrt{3}r}{1 + \sqrt{3}r}$$

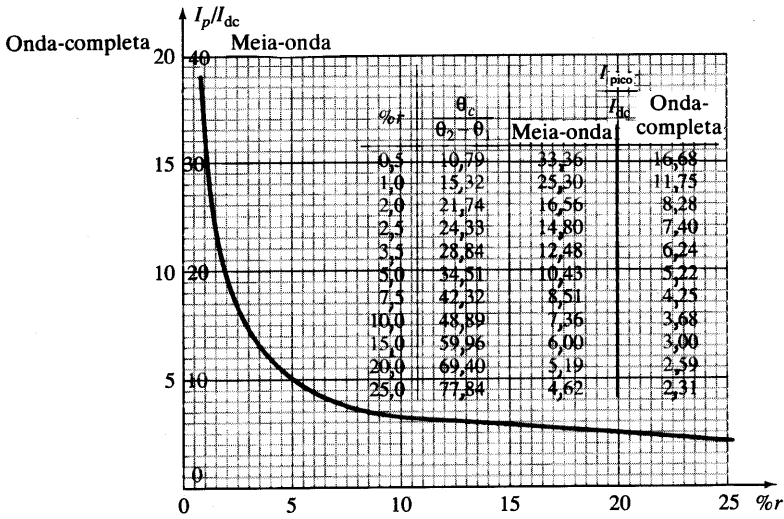
e 

$$\theta_1 = \sin^{-1} \frac{1 - \sqrt{3}r}{1 + \sqrt{3}r} \quad (B.11)$$

onde  $\theta_1$  é o ângulo no qual a condução se inicia. Quando a corrente cai a zero após o carregamento das impedâncias em paralelo de  $R_L$  e  $C$ , podemos determinar que

$$\theta_2 = \pi - \tan^{-1} \omega R_L C$$

Fig. B.4 Traçado de  $V_r(rms)/V_m$  como função de % r.



$$\theta_1 = \sin^{-1} \left( \frac{1 - \sqrt{3}r}{1 + \sqrt{3}r} \right) \quad \theta_2 = \pi - \tan^{-1} \left[ \frac{0,907}{r(1 + \sqrt{3}r)} \right] \quad \theta_c = \theta_2 - \theta_1$$

Fig. B.5 Gráfico de  $I_p/I_{dc}$  versus  $\%r$  para operação de meia-onda e onda-completa.

A expressão para  $\omega R_L C$  pode ser obtida da forma abaixo:

$$r = \frac{V_r(\text{rms})}{V_{dc}} = \frac{(I_{dc}/4\sqrt{3}fC)(V_{dc}/V_m)}{V_{dc}} = \frac{V_{dc}/R_L}{4\sqrt{3}fC} \frac{1}{V_m}$$

$$= \frac{V_{dc}/V_m}{4\sqrt{3}fCR_L} = \frac{2\pi \left( \frac{1}{1 + \sqrt{3}r} \right)}{4\sqrt{3}\omega CR_L}$$

tal que  $\omega R_L C = \frac{2\pi}{4\sqrt{3}(1 + \sqrt{3}r)r} = \frac{0,907}{r(1 + \sqrt{3}r)}$

Portanto, a condução é interrompida no ângulo

$$\theta_2 = \pi - \tan^{-1} \frac{0,907}{(1 + \sqrt{3}r)r} \tag{B.12}$$

Da Eq. (16.10b), podemos escrever

$$\frac{I_{\text{pico}}}{I_{dc}} = \frac{I_p}{I_{dc}} = \frac{T}{T_1} = \frac{180^\circ}{\theta} \quad (\text{onda-completa})$$

$$= \frac{360^\circ}{\theta} \quad (\text{meia-onda}) \tag{B.13}$$

A Fig. B.5 apresenta o gráfico  $I_p/I_{dc}$  como função do ripple, para a operação de meia-onda e onda-completa.

# Tabelas e Quadros

# C

QUADRO C.1 Alfabeto Grego e Designações mais Comuns

<i>Nome</i>	<i>Maiúscula</i>	<i>Minúscula</i>	<i>Utilizada para Designar:</i>
alfa	A	$\alpha$	Ângulos, área, coeficientes
beta	B	$\beta$	Ângulos, densidade de fluxo, coeficientes
gama	$\Gamma$	$\gamma$	Condutividade, gravidade específica
delta	$\Delta$	$\delta$	Variação, densidade
épsilon	E	$\epsilon$	Base do logaritmo natural
zeta	Z	$\zeta$	Impedância, coeficiente, coordenadas
eta	H	$\eta$	Coeficiente de histerese, eficiência
teta	$\Theta$	$\theta$	Temperatura, ângulo de fase
iota	I	$\iota$	
capa	K	$\kappa$	Constante dielétrica, suscetibilidade
lambda	$\Lambda$	$\lambda$	Comprimento de onda
mi	M	$\mu$	Micro, fator de amplificação, permeabilidade
ni	N	$\nu$	Relutância
csi	$\Xi$	$\xi$	
ômicon	O	$o$	
pi	$\Pi$	$\pi$	Razão entre circunferência e diâmetro = 3,1416
rô	P	$\rho$	Resistividade
sigma	$\Sigma$	$\sigma$	Símbolo de soma
tau	T	$\tau$	Constante de tempo, deslocamento de fase
ípsilon	Y	$\upsilon$	
fi	$\Phi$	$\phi$	Fluxo magnético, ângulos
qui	X	$\chi$	
psi	$\Psi$	$\psi$	Fluxo dielétrico, diferença de fase
ômega	$\Omega$	$\omega$	Maiúscula: ohms; minúscula: velocidade angular



# PSpice *D*

O PSpice é um programa de análise de circuitos elétricos popular, que permite ao usuário analisar qualquer tipo de circuito. A versão DOS exige que a entrada de dados seja feita no modo texto, enquanto a versão para Windows possibilita que se desenhe o circuito com todos os seus componentes. O programa fornece respostas, em termos de tensão e corrente, para vários pontos do circuito, apresentando inclusive gráficos de saída. Sabendo-se utilizar este programa, o projeto, a análise e até a simulação de circuitos ficam muito mais fáceis. O software PSpice, utilizado para analisar alguns problemas ao longo do livro, é produto da MicroSim Corporation.

Os programas apresentados neste livro rodam em computadores IBM-compatíveis. No entanto, o PSpice pode ainda ser executado nos sistemas VAX, SUN, MAC e outros. Este apêndice serve como auxílio para a utilização do PSpice em sistemas IBM. Para uma informação mais detalhada, existem disponíveis muitas publicações acadêmicas, manuais de fabricantes e publicações comerciais sobre o assunto.

## Configuração Básica Necessária

O PSpice pode ser executado em um sistema IBM-compatível configurado adequadamente. As versões acima da 6.0 rodam com processadores 486 de qualquer velocidade e com memória RAM de, no mínimo, 4MB. A maioria das impressoras é capaz de trabalhar com o PSpice, fornecendo textos e gráficos impressos. A versão mais recente de desenvolvimento (Versão 6.2) está disponível em disquetes de 3.5" ou em CD-ROM.

## Procedimentos Gerais para a Utilização do PSpice

Para a utilização do PSpice na análise de circuitos, devemos seguir as seguintes etapas:

1. Selecione *Files* do menu principal. Escolha *New* para criar um novo circuito, ou *Open* para trabalhar com um circuito previamente criado.
2. Selecione e coloque os componentes do circuito na área de trabalho utilizando *Draw-Get New Part* da barra de menu.
3. Faça as conexões do circuito utilizando *Draw-Wire* da barra de menu.
4. Concluída a montagem do circuito, inclua os valores das fontes (dc e ac).
5. A análise é executada selecionando-se *Analysis-Setup*. Se for desejado, pode-se incluir o recurso PROBE para se obterem as formas de onda de entrada e de saída.

## Nomes dos Arquivos

Os arquivos utilizados pelo PSpice adotam extensões com três letras.

- .ALS arquivo contendo os nomes e as informações dos componentes do circuito
- .CIR arquivo-texto que descreve o circuito
- .DAT arquivo contendo os dados de PROBE
- .LIB arquivo contendo a biblioteca de componentes especiais de circuito
- .NET arquivos contendo o diagrama do circuito
- .OUT arquivos contendo listagens de saída
- .SCH arquivo gráfico que descreve o circuito



# Soluções para Problemas Ímpares Selecionados

# E

## CAPÍTULO 1

3. Condução somente em uma direção  
 5. (a) 150 kΩ (b) 12,5 kΩ  
 (c) 800 kΩ (d) 3 μΩ  
 $R_{Si}:R_{Cu} = 50 \times 10^9:1$   
 9. 18 J  
 21. 56,35 mA  
 23. (b) 1 (c) Para  $V = 0$  V,  $e^0 = 1$  e  $I_D = 0$  mA  
 27. 325 Ω  
 29. -10 V: 100 MΩ, -30 V: 300 MΩ  
 31.  $R_{DC} = 76$  Ω  
 $r_d = 3$  Ω  
 $R_{DC} \gg r_d$   
 33.  $I_D = 1$  mA,  $r_d = 52$  Ω vs. 55 Ω (#32)  
 $I_D = 15$  mA,  $r_d = 1,73$  Ω vs. 2 Ω (#32)  
 35. 22,5 Ω vs. 24,4 Ω (#34)  
 37. Considerando a melhor aproximação para a curva de  $V_D = 0,7$  V,  $r_{av} = 4$  Ω  
 39. Decresce rapidamente com o aumento da tensão da polarização reversa  
 41. Escala log,  $T = 25^\circ\text{C}: I_R = 0,5$  nA  
 $T = 100^\circ\text{C}: I_R = 60$  nA  
 Sim, a  $95^\circ\text{C}$   $I_R$  aumentou para 64 nA  
 43.  $T = 25^\circ\text{C}: P_{\text{máx}} = 500$  mW,  $I_{F,\text{máx}} = 714,29$  mA  
 $T = 100^\circ\text{C}: P_{\text{máx}} = 260$  mW,  $I_{F,\text{máx}} = 371,43$  mA  
 45. (a)  $V_R = -25$  V:  $C_T \approx 0,75$  pF  
 $V_R = -10$  V:  $C_T \approx 1,25$  pF  
 $\Delta C_T/\Delta V_R = 0,033$  pF/V  
 (b)  $V_R = -10$  V:  $C_T \approx 1,25$  pF  
 $V_R = -1$  V:  $C_T \approx 3$  pF  
 $\Delta C_T/\Delta V_R = 0,194$  pF/V  
 (c) 0,194 pF/V: 0,033 pF/V  $\approx 5,88:1$   
 Sensibilidade elevada próximo de  $V_D = 0$  V  
 49.  $I_F = 1$  mA,  $I_R = 0,5$  mA  
 $t_s = 3$  ns,  $t_r = 6$  ns  
 51.  $T_1 = 129,17^\circ$   
 53. 20 V:  $T_C \approx 0,06\%/^\circ\text{C}$

- 5 V:  $T_C \approx -0,025\%/^\circ\text{C}$   
 55. 0,2 mA:  $\approx 400$  Ω  
 1 mA  $\approx 95$  Ω, 10 mA  $\approx 13$  Ω  
 Relação não linear entre  $I_Z$  e impedância dinâmica  
 57.  $V_F = 2,3$  V  
 59. (a)  $I_{\text{pico(máx)}} = 37$  mA  
 (b)  $I_{\text{pico(máx)}} = 56$  mA

## CAPÍTULO 2

1. (a)  $I_{D_Q} \approx 21,5$  mA,  $V_{D_Q} \approx 0,92$  V,  $V_R = 7,08$  V  
 (b)  $I_{D_Q} \approx 22,2$  mA,  $V_{D_Q} = 0,7$  V,  $V_R = 7,3$  V  
 (c)  $I_{D_Q} = 24,24$  mA,  $V_{D_Q} = 0$  V,  $V_R = 8$  V  
 3.  $R = 0,62$  kΩ  
 5. (a)  $I = 0$  mA (b)  $I = 0,965$  A  
 (c)  $I = 1$  A  
 7. (a)  $V_o = 9,5$  V (b)  $V_o = 7$  V  
 9. (a)  $V_{o1} = 11,3$  V,  $V_{o2} = 0,3$  V  
 (b)  $V_{o1} = -9$  V,  $V_{o2} = -6,6$  V  
 11. (a)  $V_o = 9,7$  V,  $I = 9,7$  mA  
 (b)  $V_o = 14,6$  V,  $I = 0,553$  mA  
 13.  $V_o = 6,2$  V,  $I_D = 1,55$  mA  
 15.  $V_o = 9,3$  V  
 17.  $V_o = 10$  V  
 19.  $V_o = -0,7$  V  
 21.  $V_o = 4,7$  V  
 23.  $v_i: V_m = 6,98$  V,  $v_d: \text{máx. pos} = 0,7$  V, pico neg. = -6,98 V  
 $i_d: \text{pulso pos. de } 2,85$  mA  
 25. Pulso pos., pico = 155,56 V,  $V_{dc} = 49,47$  V  
 27. (a)  $I_{D,\text{máx}} = 20$  mA (b)  $I_{\text{máx}} = 36,71$  mA (c)  $I_D = 18,36$  mA (d) Sim  
 (e)  $I_D = 36,71$  mA  $> I_{D,\text{máx}} = 20$  mA  
 29. Forma de onda retificada completamente, pico = -100 V: TPI = 100 V  
 31. Forma de onda retificada completamente, pico = 56,67 V;  $V_{dc} = 36,04$  V

33. (a) Pulso pos. de 3,28 V  
 (b) Pulso pos. de 14,3 V  
 35. (a) Ceifado em 4,7 V (b) Corte pos. em 0,7 V, pico neg = -12 V  
 37. (a) 0 V a 40 V de excursão (b) -5 V a 35 V de excursão  
 39. (a) 28 ms (b) 56:1 (c) -1,3 V a -21,3 V de excursão  
 41. Circuito da Fig. 2.161 com bateria invertida  
 43. (a)  $R_S = 20$  Ω,  $V_Z = 12$  V  
 (b)  $P_{Z,\text{máx}} = 2,4$  W  
 45.  $R_S = 0,5$  kΩ,  $I_{ZM} = 40$  mA  
 47.  $V_o = 339,36$  V

## CAPÍTULO 3

3. Direta e reversamente polarizado  
 9.  $I_C = 7,921$  mA,  $I_B = 79,21$  μA  
 11.  $V_{CB} = 1$  V:  $V_{BE} = 800$  mV  
 $V_{CB} = 10$  V:  $V_{BE} = 770$  mV  
 $V_{CB} = 20$  V:  $V_{BE} = 750$  mV  
 Influencia pouco  
 13. (a)  $I_C \approx 4,5$  mA (b)  $I_C \approx 4,5$  mA  
 (c) Desprezível (d)  $I_C \approx I_E$   
 15. (a)  $I_C = 3,992$  mA (b)  $\alpha = 0,993$   
 (c)  $I_E = 2$  mA  
 17.  $A_v = 50$   
 21. (a)  $\beta_{dc} = 117,65$  (b)  $\alpha_{dc} = 0,992$   
 (c)  $I_{CEO} = 0,3$  mA (d)  $I_{CBO} = 2,4$  μA  
 23. (a)  $\beta_{dc} = 83,75$  (b)  $\beta_{dc} = 170$   
 (c)  $\beta_{dc} = 113,33$   
 25.  $\beta_{dc} = 116$ ,  $\alpha_{dc} = 0,991$ ,  $I_E = 2,93$  mA  
 31.  $I_C = I_{C,\text{máx}}$ ,  $V_{CB} = 5$  V  
 $V_{CB} = V_{CB,\text{máx}}$ ,  $I_C = 2$  mA  
 $I_C = 4$  mA,  $V_{CB} = 7,5$  V  
 $V_{CB} = 10$  V,  $I_C = 3$  mA  
 33.  $I_C = I_{C,\text{máx}}$ ,  $V_{CE} = 3,125$  V  
 $V_{CE} = V_{CE,\text{máx}}$ ,  $I_C = 20,83$  mA  
 $I_C = 100$  mA,  $V_{CE} = 6,25$  V  
 $V_{CE} = 20$  V,  $I_C = 31,25$  mA

35.  $h_{FE}: I_C = 0,1 \text{ mA}$ ,  $h_{FE} \cong 43$   
 $I_C = 10 \text{ mA}$ ,  $h_{FE} \cong 98$   
 $h_{fe}: I_C = 0,1 \text{ mA}$ ,  $h_{fe} \cong 72$   
 $I_C = 10 \text{ mA}$ ,  $h_{fe} \cong 160$   
 37.  $I_C = 1 \text{ mA}$ ,  $h_{fe} \cong 120$   
 $I_C = 10 \text{ mA}$ ,  $h_{fe} \cong 160$   
 39. (a)  $\beta_{ac} = 190$  (b)  $\beta_{dc} = 201,7$   
 (c)  $\beta_{ac} = 200$  (d)  $\beta_{dc} = 230,77$  (e) Sim

## CAPÍTULO 4

1. (a)  $I_{BQ} = 32,55 \mu\text{A}$  (b)  $I_{CQ} = 2,93 \text{ mA}$  (c)  $V_{CEQ} = 8,09 \text{ V}$  (d)  $V_C = 8,09 \text{ V}$  (e)  $V_B = 0,7 \text{ V}$  (f)  $V_E = 0 \text{ V}$   
 3. (a)  $I_C = 3,98 \text{ mA}$  (b)  $V_{CC} = 15,96 \text{ V}$  (c)  $\beta = 199$  (d)  $R_B = 763 \text{ k}\Omega$   
 5. (b)  $R_B = 812 \text{ k}\Omega$  (c)  $I_{CQ} = 3,4 \text{ mA}$ ,  $V_{CEQ} = 10,75 \text{ V}$  (d)  $\beta_{dc} = 136$  (e)  $\alpha = 0,992$  (f)  $I_{C_{sat}} = 7 \text{ mA}$  (h)  $P_D = 36,55 \text{ mW}$  (i)  $P_s = 71,92 \text{ mW}$  (j)  $P_R = 35,37 \text{ mW}$   
 7. (a)  $R_C = 2,2 \text{ k}\Omega$  (b)  $R_E = 1,2 \text{ k}\Omega$  (c)  $R_B = 356 \text{ k}\Omega$  (d)  $V_{CE} = 5,2 \text{ V}$  (e)  $V_B = 3,1 \text{ V}$   
 9.  $I_{C_{sat}} = 5,13 \text{ mA}$   
 11. (a)  $I_C = 2,93 \text{ mA}$ ,  $V_{CE} = 8,09 \text{ V}$  (b)  $I_C = 4,39 \text{ mA}$ ,  $V_{CE} = 4,15 \text{ V}$  (c)  $\% \Delta I_C = 49,83\%$ ,  $\% \Delta V_{CE} = 48,70\%$  (d)  $I_C = 2,92 \text{ mA}$ ,  $V_{CE} = 8,61 \text{ V}$  (e)  $I_C = 3,93 \text{ mA}$ ,  $V_{CE} = 4,67 \text{ V}$  (f)  $\% \Delta I_C = 34,59\%$ ,  $\% \Delta V_{CE} = 46,76\%$   
 13. (a)  $I_C = 1,28 \text{ mA}$  (b)  $V_E = 1,54 \text{ V}$  (c)  $V_B = 2,24 \text{ V}$  (d)  $R_1 = 39,4 \text{ k}\Omega$   
 15.  $I_{C_{sat}} = 3,49 \text{ mA}$   
 17. (a)  $I_C = 2,28 \text{ mA}$  (b)  $V_{CE} = 8,2 \text{ V}$  (c)  $I_B = 19,02 \mu\text{A}$  (d)  $V_E = 2,28 \text{ V}$  (e)  $V_B = 2,98 \text{ V}$  É válida a análise aproximada  
 19. (a)  $R_C = 2,4 \text{ k}\Omega$ ,  $R_E = 0,8 \text{ k}\Omega$  (b)  $V_E = 4 \text{ V}$  (c)  $V_B = 4,7 \text{ V}$  (d)  $R_2 = 5,84 \text{ k}\Omega$  (e)  $\beta_{dc} = 129,8$  (f)  $103,84 \text{ k}\Omega \geq 58,4 \text{ k}\Omega$  (confirma)  
 21. I. (a)  $I_C = 2,43 \text{ mA}$ ,  $V_{CE} = 7,55 \text{ V}$  (b)  $I_C = 2,33 \text{ mA}$ ,  $V_{CE} = 7,98 \text{ V}$ ; (c) Método aprox.:  $\% \Delta I_C = 0\%$ ,  $\% \Delta V_{CE} = 0\%$   
 Método exato:  $\% \Delta I_C = 2,19\%$ ,  $\% \Delta V_{CE} = 2,68\%$   
 (d)  $\% \Delta I_C = 2,19\%$  vs.  $49,83\%$  para Prob. 11,  $\% \Delta V_{CE} = 2,68\%$  vs.  $49,70\%$  para Prob. 11  
 (e) Configuração divisor de tensão é a menos sensível  
 II.  $\% \Delta I_C$  e  $\% \Delta V_{CE}$  são muito pequenos  
 23. (a)  $I_C = 2,01 \text{ mA}$  (b)  $V_C = 17,54 \text{ V}$  (c)  $V_E = 3,02 \text{ V}$  (d)  $V_{CE} = 14,52 \text{ V}$

25.  $V_C$  de  $5,98 \text{ V}$  a  $8,31 \text{ V}$   
 27. (a)  $I_B = 13,04 \mu\text{A}$  (b)  $I_C = 2,56 \text{ mA}$  (c)  $\beta = 196,32$  (d)  $V_{CE} = 8 \text{ V}$   
 29. (a)  $I_B = 13,95 \mu\text{A}$  (b)  $I_C = 1,81 \text{ mA}$  (c)  $V_E = -4,42 \text{ V}$  (d)  $V_{CE} = 5,95 \text{ V}$   
 31. (a)  $I_E = 3,32 \text{ mA}$  (b)  $V_C = 4,02 \text{ V}$  (c)  $V_{CE} = 4,72 \text{ V}$   
 33.  $R_B = 430 \text{ k}\Omega$ ,  $R_C = 1,6 \text{ k}\Omega$ ,  $R_E = 390 \Omega$   
 35.  $R_E = 1,1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_C = 1,6 \text{ k}\Omega$ ,  $R_1 = 51 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 15 \text{ k}\Omega$   
 37.  $R_B = 43 \text{ k}\Omega$ ,  $R_C = 0,62 \text{ k}\Omega$   
 39. (a) Circuito aberto, transistor danificado (b) Aberto no terminal de coletor, junção base-emissor em curto (c) Circuito aberto, transistor aberto  
 41. (a)  $R_B \downarrow$ ,  $I_B \downarrow$ ,  $I_C \downarrow$ ,  $V_C \uparrow$  (b)  $\beta \downarrow$ ,  $I_C \downarrow$  (c) Inalterado (d)  $V_{CC} \downarrow$ ,  $I_B \downarrow$ ,  $I_C \downarrow$  (e)  $\beta \downarrow$ ,  $I_C \downarrow$ ,  $V_{R_C} \downarrow$ ,  $V_{R_E} \downarrow$ ,  $V_{CE} \uparrow$   
 43. (a)  $R_B$  aberto,  $I_B = 0 \mu\text{A}$ ,  $I_C = I_{CEO} \cong 0 \text{ mA}$ ,  $V_C \cong V_{CC} = 18 \text{ V}$  (b)  $\beta \uparrow$ ,  $I_C \uparrow$ ,  $V_{R_C} \uparrow$ ,  $V_{R_E} \uparrow$ ,  $V_{CE} \downarrow$  (c)  $R_C \downarrow$ ,  $I_B \uparrow$ ,  $I_C \uparrow$ ,  $V_E \uparrow$  (d) Cai para uma tensão relativamente baixa  $\cong 0,06 \text{ V}$  (e) Terminal de base aberto  
 45.  $V_C = -13,53 \text{ V}$ ,  $I_B = 17,5 \mu\text{A}$   
 47. (a)  $S(I_{CO}) = 91$  (b)  $S(V_{BE}) = -1,92 \times 10^{-4} \text{ S}$  (c)  $S(\beta) = 32,56 \times 10^{-6} \text{ A}$  (d)  $\Delta I_C = 1,66 \text{ mA}$   
 49. (a)  $S(I_{CO}) = 11,08$  (b)  $S(V_{BE}) = -1,27 \times 10^{-3} \text{ S}$  (c)  $S(\beta) = 2,41 \times 10^{-6} \text{ A}$  (d)  $\Delta I_C = 0,411 \text{ mA}$   
 51.  $S(I_{CO})$  — Divisor de tensão menor do que os outros três  
 $S(V_{BE})$  — Divisor de tensão mais sensível do que os outros três (que apresentam níveis próximos)  
 $S(\beta)$  — Divisor de tensão é o menos sensível, com a configuração de polarização fixa mais sensível  
 Em geral a configuração com divisor de tensão é a menos sensível, e a configuração com polarização fixa é a mais sensível.

## CAPÍTULO 5

3. (a)  $V_{DS} \cong 1,4 \text{ V}$  (b)  $r_d = 233,33 \Omega$  (c)  $V_{DS} \cong 1,6 \text{ V}$  (d)  $r_d = 533,33 \Omega$  (e)  $V_{DS} \cong 1,4 \text{ V}$  (f)  $r_d = 933,33 \Omega$  (g)  $r_d = 414,81 \Omega$  (h)  $r_d = 933,2 \Omega$  (i) Em geral, sim  
 11. (a)  $I_D = 9 \text{ mA}$  (b)  $I_D = 1,653 \text{ mA}$  (c)  $I_D = 0 \text{ mA}$  (d)  $I_D = 0 \text{ mA}$   
 15.  $I_{DSS} = 12 \text{ mA}$   
 17.  $V_{DS} = 25 \text{ V}$ ,  $I_D = 4,8 \text{ mA}$   
 $I_D = 10 \text{ mA}$ ,  $V_{DS} = 12 \text{ V}$   
 $I_D = 7 \text{ mA}$ ,  $V_{DS} = 17,14 \text{ V}$   
 19. Sim

21.  $I_D = 4 \text{ mA}$  (exatamente de acordo)  
 29.  $I_{DSS} = 11,11 \text{ mA}$   
 31.  $V_{DS} = 25 \text{ V}$   
 35.  $V_T = 2 \text{ V}$ ,  $k = 5,31 \times 10^{-4}$   
 $I_D = 5,31 \times 10^{-4} (V_{GS} - 2 \text{ V})^2$   
 37.  $V_{GS} = 27,36 \text{ V}$

## CAPÍTULO 6

1. (c)  $I_{DQ} \cong 4,7 \text{ mA}$ ,  $V_{DSQ} = 6,36 \text{ V}$  (d)  $I_{DQ} = 4,69 \text{ mA}$ ,  $V_{DSQ} = 6,37 \text{ V}$   
 3. (a)  $I_D = 3,125 \text{ mA}$  (b)  $V_{DS} = 9 \text{ V}$  (c)  $V_{GG} = 1,5 \text{ V}$   
 5.  $V_D = 18 \text{ V}$   
 7.  $I_{DQ} \cong 2,6 \text{ mA}$ ,  $V_{GS} = -1,95 \text{ V}$   
 9. (a)  $I_{DQ} = 3,33 \text{ mA}$  (b)  $V_{GSQ} \cong -1,7 \text{ V}$  (c)  $I_{DSS} = 10,06 \text{ mA}$  (d)  $V_D = 11,34 \text{ V}$  (e)  $V_{DS} = 9,64 \text{ V}$   
 11.  $V_S = 1,4 \text{ V}$   
 13. (a)  $I_{DQ} \cong 5,8 \text{ mA}$ ,  $V_{GSQ} \cong -0,85 \text{ V}$ ,  $I_{DQ} \uparrow$ ,  $V_{GSQ} \downarrow$  (b)  $216 \Omega$   
 15. (a)  $I_{DQ} = 2,7 \text{ mA}$ ,  $V_{GSQ} = -2 \text{ V}$  (b)  $V_{DS} = 8,12 \text{ V}$ ,  $V_S = 2 \text{ V}$   
 17. (a)  $I_{DQ} = 2,9 \text{ mA}$ ,  $V_{GSQ} = -1,2 \text{ V}$  (b)  $V_{DS} = 9,27 \text{ V}$ ,  $V_D = 10,52 \text{ V}$   
 19. (a)  $I_{DQ} \cong 8,25 \text{ mA}$  (b)  $V_{GSQ} = V_{DSQ} = 7,9 \text{ V}$  (c)  $V_D = 12,1 \text{ V}$ ,  $V_S = 4,21 \text{ V}$  (d)  $V_{DS} = 7,89 \text{ V}$   
 21. (a)  $V_G \cong 3,3 \text{ V}$  (b)  $V_{GSQ} = -1,25 \text{ V}$ ,  $I_{DQ} = 3,75 \text{ mA}$  (c)  $I_E = 3,75 \text{ mA}$  (d)  $I_B = 23,44 \mu\text{A}$  (e)  $V_D = 11,56 \text{ V}$  (f)  $V_C = 15,88 \text{ V}$   
 23.  $R_S = 0,43 \text{ k}\Omega$ ,  $R_D = 1,3 \text{ k}\Omega$   
 25.  $R_D = 0,75 \text{ k}\Omega$ ,  $R_G = 10 \text{ M}\Omega$   
 27. D-S em curto-circuito;  $I_{DSS}$  ou  $V_P$  ou combinação com valores mais altos na prática do que o especificado.  
 29. (a)  $I_{DQ} = 3 \text{ mA}$ ,  $V_{GSQ} = 1,55 \text{ V}$  (b)  $V_{DS} = -9,87 \text{ V}$  (c)  $V_D = -11,4 \text{ V}$   
 31.  $I_{DQ} = 4,68 \text{ mA}$  vs.  $4,69 \text{ mA}$  de #1,  $V_{DSQ} = 6,38 \text{ V}$  vs.  $6,37 \text{ V}$  de #1  
 33.  $I_{DQ} = 3,3 \text{ mA}$  (igual),  $V_{GSQ} = -1,47 \text{ V}$  vs.  $-1,5 \text{ V}$  de #12

## CAPÍTULO 7

1. (a) 0 (b) Clipping (c) 80,4%  
 3.  $1 \text{ kHz}: X_C = 15,92 \Omega$   
 $100 \text{ kHz}: X_C = 0,1592 \Omega$   
 Sim, melhor em  $100 \text{ kHz}$   
 7. (a)  $Z_o = 50 \text{ k}\Omega$  (b)  $I_L = 5,747 \text{ mA}$   
 9. (a)  $I_i = 8 \mu\text{A}$  (b)  $Z_i = 500 \Omega$  (c)  $V_o = -720 \text{ mV}$  (d)  $I_o = 1,41 \text{ mA}$  (e)  $A_i = 176,25$  (f)  $A_v = 176,47$   
 11. (a)  $r_e = 15 \Omega$  (b)  $Z_i = 15 \Omega$  (c)  $I_c = 3,168 \text{ mA}$  (d)  $V_o = 6,97 \text{ V}$  (e)  $A_v = 145,21$  (f)  $I_b = 32 \mu\text{A}$   
 13. (a)  $r_e = 8,571 \Omega$  (b)  $I_b = 25 \mu\text{A}$  (c)  $I_c = 3,5 \text{ mA}$  (d)  $A_i = 132,84$  (e)  $A_v = -298,89$

19. (a)  $V_o = -160 V_i$  (b)  $I_b = 9,68 \times 10^{-4} V_i$  (c)  $I_b = 1 \times 10^{-3} V_i$  (d) 3,2%  
 (e) Primeira aproximação válida  
 21. (a)  $V_o = -180 V_i$  (b)  $I_b = 2,32 \times 10^{-4} V_i$  (c)  $I_b = 2,5 \times 10^{-4} V_i$   
 (d) 7,2% (e) Sim, menor do que 10%  
 23. (a)  $h_{fe} = 100$  (b)  $h_{ie} = 120$   
 25. (a)  $h_{ie} = 1,5 \text{ k}\Omega$  (b)  $h_{ie} = 6,5 \text{ k}\Omega$   
 27.  $h_{fe} = 100$ ,  $h_{ie} = 2 \text{ k}\Omega$   
 29.  $r_e = 15 \Omega$ ,  $\beta = 100$ ,  $r_o = 30,3 \text{ k}\Omega$   
 31. (a) 75% (b) 70%  
 33. (a)  $h_{oe} = 200 \mu\text{S}$  (b)  $5 \text{ k}\Omega$ , não é uma boa aproximação  
 35. (a)  $h_{fe}$  (b)  $h_{oe}$   
 (c) Máximo:  $h_{oe} \approx 30$  (normalizado)  
 Mínimo:  $h_{oe} \approx 0,1$  (normalizado)  
 Para  $I_c$  pequeno  
 (d) Região média

CAPÍTULO 8

1. (a)  $Z_i = 497,47 \Omega$ ,  $Z_o = 2,2 \text{ k}\Omega$   
 (b)  $A_v = -264,74$ ,  $A_i = 60$   
 (c)  $Z_i = 497,47 \Omega$ ,  $Z_o = 1,98 \text{ k}\Omega$   
 (d)  $A_v = -238,27$ ,  $A_i = 53,88 \Omega$   
 3. (a)  $I_B = 23,85 \mu\text{A}$ ,  $I_C = 2,38 \text{ mA}$ ,  
 $r_e = 10,79 \Omega$   
 (b)  $Z_i = 1,08 \text{ k}\Omega$ ,  $Z_o = 4,3 \text{ k}\Omega$   
 (c)  $A_v = -398,52$ ,  $A_i = 100$   
 (d)  $A_v = -348,47$ ,  $A_i = 87,52$   
 5.  $V_{CC} = 30,68 \text{ V}$   
 7. (a)  $r_e = 5,34 \Omega$   
 (b)  $Z_i = 118,37 \text{ k}\Omega$ ,  $Z_o = 2,2 \text{ k}\Omega$   
 (c)  $A_v = -1,81$ ,  $A_i = 97,39$   
 (d)  $Z_i = 105,95 \text{ k}\Omega$ ,  $Z_o = 2,2 \text{ k}\Omega$ ,  $A_v = -1,81$ ,  $A_i = 87,17$   
 9. (a)  $r_e = 5,34 \Omega$   
 (b)  $Z_i = 746,17 \Omega$ ,  $Z_o = 2,2 \text{ k}\Omega$   
 (c)  $A_v = -411,99$ ,  $A_i = 139,73$   
 (d)  $Z_i = 746,17 \Omega$ ,  $Z_o = 1,98 \text{ k}\Omega$ ,  
 $A_v = -370,79$ ,  $A_i = 125,76$   
 11. (a)  $r_e = 8,72 \Omega$ ,  $\beta r_e = 959,2 \Omega$   
 (b)  $Z_i = 142,25 \text{ k}\Omega$ ,  $Z_o = 8,69 \Omega$   
 (c)  $A_v \approx 0,997$ ,  $A_i = -52,53$   
 13. (a)  $I_B = 4,61 \mu\text{A}$ ,  $I_C = 0,922 \text{ mA}$   
 (b)  $r_e = 28,05 \Omega$   
 (c)  $Z_i = 7,03 \text{ k}\Omega$ ,  $Z_o = 27,66 \Omega$   
 (d)  $A_v = 0,986$ ,  $A_i = -3,47$   
 15.  $A_v = 163,2$ ,  $A_i = 0,9868$   
 17.  $R_C = 1,6 \text{ k}\Omega$ ,  $R_F = 33,59 \text{ k}\Omega$ ,  
 $V_{CC} = 5,28 \text{ V}$   
 19. (a)  $Z_i = 0,62 \text{ k}\Omega$ ,  $Z_o = 1,66 \text{ k}\Omega$   
 (b)  $A_v = -209,82$ ,  $A_i = 72,27$   
 21. (a)  $r_e = 8,31 \Omega$   
 (b)  $h_{fe} = 60$ ,  $h_{ie} = 498,6 \Omega$   
 (c)  $Z_i = 497,47 \Omega$ ,  $Z_o = 2,2 \text{ k}\Omega$   
 (d)  $A_v = -264,74$ ,  $A_i = 56,73$   
 (e)  $Z_i = 497,47 \Omega$ ,  $Z_o = 1,98 \text{ k}\Omega$   
 (f)  $A_v = -238,27$ ,  $A_i = 53,88$   
 23. (a)  $Z_i = 9,38 \Omega$ ,  $Z_o = 2,7 \text{ k}\Omega$   
 (b)  $A_v = 283,43$ ,  $A_i \approx -1$

- (c)  $\alpha = 0,992$ ,  $\beta = 124$ ,  $r_e = 9,45 \Omega$ ,  
 $r_o = 1 \text{ M}\Omega$   
 25. (a)  $Z_i = 816,21 \Omega$   
 (b)  $A_v = -357,68$   
 (c)  $A_i = 132,43$   
 (d)  $Z_o = 2,14 \text{ k}\Omega$   
 27. (a) Não! (b)  $R_2$  desconectado na base

CAPÍTULO 9

1.  $g_{m0} = 6 \text{ mS}$   
 3.  $I_{DSS} = 8,75 \text{ mA}$   
 5.  $I_{DSS} = 12,5 \text{ mA}$   
 7.  $g_{m0} = 2,4 \text{ mS}$   
 9.  $Z_o = 40 \text{ k}\Omega$ ,  $A_v = -180$   
 11. (a)  $g_{m0} = 4 \text{ mS}$ , (b)  $g_m = 2,8 \text{ mS}$ ,  
 (c)  $g_m = 2 \text{ mS}$  (d)  $2 \text{ mS}$  (e)  $2 \text{ mS}$   
 13.  $g_m = 0,75 \text{ mS}$ ,  $r_d = 100 \text{ k}\Omega$   
 15.  $g_m = 5,6 \text{ mS}$ ,  $r_d = 66,7 \text{ k}\Omega$   
 17.  $Z_i = 1 \text{ M}\Omega$ ,  $Z_o = 1,72 \text{ k}\Omega$ ,  $A_v = -5,375$   
 19.  $Z_i = 10 \text{ M}\Omega$ ,  $Z_o = 2,83 \text{ k}\Omega$ ,  $A_v = -8,49$   
 21.  $Z_i = 1 \text{ M}\Omega$ ,  $Z_o = 730 \Omega$ ,  $A_v = -2,19$   
 23.  $Z_i = 9,7 \text{ M}\Omega$ ,  $Z_o = 1,96 \text{ k}\Omega$ ,  $V_o = -214,4 \text{ mV}$   
 25.  $Z_i = 9,7 \text{ M}\Omega$ ,  $Z_o = 1,82 \text{ k}\Omega$ ,  $A_v = 198,8 \text{ mV}$   
 27.  $Z_i = 10 \text{ M}\Omega$ ,  $Z_o = 512,9 \Omega$ ,  $A_v = 0,754$   
 29.  $Z_i = 10 \text{ M}\Omega$ ,  $Z_o \approx 1 \text{ k}\Omega$ ,  $A_v = 0,66$   
 31.  $Z_i = 386,1 \Omega$ ,  $Z_o = 2,92 \text{ k}\Omega$ ,  $V_o = 0,636 \text{ mV}$   
 33.  $11,73 \text{ mV}$   
 35.  $Z_i = 10 \text{ M}\Omega$ ,  $Z_o = 1,68 \text{ k}\Omega$ ,  $A_v = -9,07$   
 37.  $Z_i = 9 \text{ M}\Omega$ ,  $Z_o = 242,1 \Omega$ ,  
 $A_v = 0,816$   
 39.  $Z_i = 1,73 \text{ M}\Omega$ ,  $Z_o = 2,15 \text{ k}\Omega$ ,  $A_v = 4,77$   
 41.  $203 \text{ mV}$   
 43.  $-3,51 \text{ mV}$   
 45.  $R_S = 180 \Omega$ ,  $R_D = 2 \text{ k}\Omega$

CAPÍTULO 10

1. (a)  $A_{v_{NL}} = -326,22$ ,  $Z_i = 1,01 \text{ k}\Omega$ ,  $Z_o = 3,3 \text{ k}\Omega$   
 (c)  $A_v = -191,65$   
 (d)  $A_i = 41,18$   
 (e) O mesmo  
 3.  $R_L = 4,7 \text{ k}\Omega$ :  $A_v = -191,65$   
 $R_L = 2,2 \text{ k}\Omega$ :  $A_v = -130,49$   
 $R_L = 0,5 \text{ k}\Omega$ :  $A_v = -42,42$   
 Como  $R_L \downarrow$ ,  $A_v \downarrow$   
 5. (a)  $A_{v_{NL}} = -557,36$ ,  $Z_i = 616,52 \Omega$ ,  $Z_o = 4,3 \text{ k}\Omega$   
 (c)  $A_v = -214,98$ ,  $A_{v_s} = -81,91$   
 (d)  $A_i = 49,04$   
 (e)  $A_{v_s} = -120,12$ , Como  $R_L \uparrow$ ,  $A_{v_s} \uparrow$

- (f)  $A_{v_s} = -118,67$ , Como  $R_s \downarrow$ ,  $A_{v_s} \uparrow$   
 (g) Inalterado  
 7. (b)  $A_v = -160$  vs.  $-162,4$  (#6)  
 9. (a)  $A_{v_{NL}} = -3,61$ ,  $Z_i = 81,17 \text{ k}\Omega$ ,  
 $Z_o = 3 \text{ k}\Omega$   
 (c)  $A_v = -2,2$ ,  $A_{v_s} = -2,18$   
 (d) Nenhuma  
 (e)  $A_v =$  nenhuma,  $A_{v_s} = -2,17$ , quando  $R_s \uparrow$ ,  $A_{v_s} \downarrow$  (muito pouco alterado para variações moderadas de  $R_s$ , uma vez que  $Z_i$  é normalmente muito grande)  
 11. (a)  $Z_i = 10,74 \Omega$ ,  $Z_o = 4,7 \text{ k}\Omega$ ,  
 $A_{v_{NL}} = 435,59$   
 (c)  $A_v = 236,83$ ,  $A_{v_s} = 22,97$   
 (d) O mesmo  
 (e)  $A_v = 138,88$ ,  $A_{v_s} = 2,92$ ,  $A_{v_s}$  bastante sensível a um aumento em  $R_s$ , devido ao pequeno  $Z_i$ ,  $R_L \downarrow$ ,  $A_v \downarrow$ ,  $A_{v_s} \downarrow$   
 13. (a)  $A_{v_{NL}} = 0,737$ ,  $Z_i = 2 \text{ M}\Omega$ ,  
 $Z_o = 0,867 \text{ k}\Omega$   
 (c)  $A_{v_s} \approx A_v = 0,529$   
 (d)  $A_{v_s} \approx A_v = 0,622$ ,  
 $R_L \uparrow$ ,  $A_{v_s} \approx A_v \uparrow$   
 (e) Pouco efeito já que  $R_i \gg R_{sig}$   
 (f) Não altera  $Z_i$  ou  $Z_o$   
 15. (a)  $A_{v_1} = -97,67$ ,  $A_{v_2} = -189$   
 (b)  $A_{v_1} = 18,46 \times 10^3$ ,  
 $A_{v_{eff}} = 11,54 \times 10^3$   
 (c)  $A_{i_1} = 97,67$ ,  $A_{i_2} = 70$   
 (d)  $A_{i_1} = 6,84 \times 10^3$   
 (e) Sem efeito  
 (f) Sem efeito  
 (g) Em fase

CAPÍTULO 11

1. (a) 3, 1,699,  $-0,151$  (b) 6,908, 3,912,  $-0,347$  (c) Os resultados diferem por um fator de 2,3  
 3. (a) Igual: 13,98 (b) Igual:  $-13,01$ ; (c) Igual : 0,699  
 5.  $G_{dBm} = 43,98 \text{ dBm}$   
 7.  $G_{dB} = 67,96 \text{ dB}$   
 9. (a)  $G_{dB} = 69,83 \text{ dB}$  (b)  $G_v = 82,83 \text{ dB}$  (c)  $R_i = 2 \text{ k}\Omega$  (d)  $V_o = 1385,64 \text{ V}$   
 11. (a)  $|A_v| = 1/\sqrt{1 + (1950,43 \text{ Hz}/f)^2}$   
 (b) 100 Hz:  $|A_v| = 0,051$   
 1 kHz:  $|A_v| = 0,456$   
 2 kHz:  $|A_v| = 0,716$   
 5 kHz:  $|A_v| = 0,932$   
 10 kHz:  $|A_v| = 0,982$   
 (c)  $f_1 = 1950,43 \text{ Hz}$   
 13. (a) 10 kHz (b) 1 kHz (c) 5 kHz  
 (d) 100 kHz  
 15. (a)  $r_e = 28,48 \Omega$   
 (b)  $A_{v_{mid}} = -72,91$   
 (c)  $Z_i = 2,455 \text{ k}\Omega$   
 (d)  $A_{v_s} = -54,68$   
 (e)  $f_{L_S} = 103,4 \text{ Hz}$ ,  $f_{L_C} = 38,05 \text{ Hz}$ ,  
 $f_{H_i} = 235,79 \text{ Hz}$

- (f)  $f_1 \approx f_{L_E}$   
 17. (a)  $r_e = 30,23 \Omega$   
 (b)  $A_{v_{mid}} \approx 0,983$   
 (c)  $Z_i = 21,13 \text{ k}\Omega$   
 (d)  $A_{v_{s, mid}} \approx 0,955$   
 (e)  $f_{L_s} = 71,92 \text{ Hz}$ ,  $f_{L_C} = 193,16 \text{ Hz}$   
 (f)  $f_1 \approx f_{L_C}$ ;  $f_1 \approx 210 \text{ Hz}$  (PSpice)  
 19. (a)  $V_{GS_Q} = -2,45 \text{ V}$ ,  $I_{D_Q} = 2,1 \text{ mA}$   
 (b)  $g_{m_o} = 2 \text{ mS}$ ,  $g_m = 1,18 \text{ mS}$   
 (c)  $A_{v_{mid}} = -2$   
 (d)  $Z_i = 1 \text{ M}\Omega$   
 (e)  $A_{v_s} \approx A_v = -2$   
 (f)  $f_{L_G} = 1,59 \text{ Hz}$ ,  $f_{L_C} = 4,91 \text{ Hz}$ ,  
 $f_{L_s} = 32,04 \text{ Hz}$   
 (g)  $f_1 \approx 32 \text{ Hz}$   
 21. (a)  $V_{GS_Q} = -2,55 \text{ V}$ ,  $I_{D_Q} = 3,3 \text{ mA}$   
 (b)  $g_{m_o} = 3,33 \text{ mS}$ ,  $g_m = 1,91 \text{ mS}$   
 (c)  $A_{v_{mid}} = -4,39$   
 (d)  $Z_i = 51,94 \text{ k}\Omega$   
 (e)  $A_{v_{s, mid}} = -4,27$   
 (f)  $f_{L_G} = 2,98 \text{ Hz}$ ,  $f_{L_C} = 2,46 \text{ Hz}$ ,  
 $f_{L_s} = 41 \text{ Hz}$   
 (g)  $f_1 \approx f_{L_s} = 41 \text{ Hz}$   
 $Z_i$  consideravelmente menor, mas ainda suficientemente maior do que  $R_{sig}$  para produzir quase nenhum efeito sobre  $A_{v_s}$ ;  $Z_i$  pequeno; entretanto, pode aumentar o valor de  $f_{L_G}$

23. (a)  $f_{H_i} \approx 293 \text{ kHz}$ ,  $f_{H_o} = 3,22 \text{ MHz}$   
 (b)  $f_{\beta} = 8,03 \text{ MHz}$ ,  $f_T = 883,3 \text{ MHz}$   
 25. (a)  $f_{H_i} \approx 584 \text{ MHz}$ ,  $f_{H_o} = 2,93 \text{ MHz}$   
 (b)  $f_{\beta} = 5,01 \text{ MHz}$ ,  $f_T = 400,8 \text{ MHz}$   
 27. (a)  $g_{m_o} = 3,33 \text{ mS}$ ,  $g_m = 1,91 \text{ mS}$   
 (b)  $A_{v_{mid}} = -4,39$ ,  $A_{v_{s, mid}} = -4,27$   
 (c)  $f_{H_i} = 1,84 \text{ MHz}$ ,  $f_{H_o} = 3,68 \text{ MHz}$   
 29.  $f_2 = 1,09 \text{ MHz}$   
 31. (a)  $v = 12,73 \times 10^{-3} [\text{sen } 2\pi(100 \times 10^3)t + \frac{1}{3} \text{sen } 2\pi(300 \times 10^3)t + \frac{1}{3} \text{sen } 2\pi(500 \times 10^3)t + \frac{1}{3} \text{sen } 2\pi(700 \times 10^3)t + \frac{1}{3} \text{sen } 2\pi(900 \times 10^3)t]$  (b)  $\text{BW} = 500 \text{ kHz}$  (c)  $f_{L_o} \approx 3,53 \text{ kHz}$

CAPÍTULO 12

- $V_G = 0 \text{ V}$ ,  $V_S = 1,4 \text{ V}$ ,  $V_D = 9,86 \text{ V}$
- $V_G = 0 \text{ V}$ ,  $V_S = 1,4 \text{ V}$ ,  $V_D = 10,3 \text{ V}$
- $Z_i = 10 \text{ M}\Omega$ ,  $Z_o = 2,1 \text{ k}\Omega$
- $A_{V1} = -75,8$ ,  $A_{V2} = -311,9$ ,  $A_V = 23,642$
- $V_B = 2,55 \text{ V}$ ,  $V_E = 1,85 \text{ V}$ ,  $V_C = 2,7 \text{ V}$ ,  $I_C = 0,84 \text{ mA}$
- $Z_i = 10 \text{ M}\Omega$ ,  $Z_o = 2,7 \text{ k}\Omega$
- $A_V = -214$ ,  $V_o = -2,14 \text{ V}$
- $V_{E2} = 8,06 \text{ V}$ ,  $I_{E2} = 15,8 \text{ mA}$

- $V_{B1} = 4,88 \text{ V}$ ,  $V_{C2} = 5,58 \text{ V}$ ,  $I_C = 104,2 \text{ mA}$
- (a)  $Q_1$  on,  $Q_2$  on,  $Q_3$  off,  $Q_4$  off  
 (b)  $Q_1$  off,  $Q_2$  off,  $Q_3$  on,  $Q_4$  on  
 (c)  $Q_1$  on,  $Q_2$  off,  $Q_3$  on,  $Q_4$  off
- $I_D = 6 \text{ mA}$
- $I = 3,67 \text{ mA}$
- $I = 2 \text{ mA}$
- $I_C = 1 \text{ mA}$ ,  $V_C = 0 \text{ V}$
- $V_o = 1,89 \text{ V}$

CAPÍTULO 14

- CMRR = 75,56 dB
- $V_o = -18,75 \text{ V}$
- $V_i = -40 \text{ mV}$
- $V_o = -9,3 \text{ V}$
- $V_o$  varia de 5,5 V a 10,5 V
- $V_o = -3,39 \text{ V}$
- $V_o = 0,5 \text{ V}$
- $V_2 = -2 \text{ V}$ ,  $V_3 = 4,2 \text{ V}$
- $V_o = 6,4 \text{ V}$
- $I_{IB}^+ = 22 \text{ nA}$ ,  $I_{IB}^- = 18 \text{ nA}$
- $A_{CL} = 80$
- $V_o$  (deslocamento) = 105 mV

CAPÍTULO 15

- $V_o = -175 \text{ mV}$ , rms
- $V_o = 412 \text{ mV}$
- $V_o = -2,5 \text{ V}$
- $I_L = 6 \text{ mA}$
- $I_o = 0,5 \text{ mA}$
- $f_{OH} = 1,45 \text{ kHz}$
- $f_{OL} = 318,3 \text{ Hz}$ ,  $f_{OH} = 397,9 \text{ Hz}$

CAPÍTULO 16

- $P_i = 10,4 \text{ W}$ ,  $P_o = 640 \text{ mW}$
- $P_o = 2,1 \text{ W}$
- $R(\text{eff}) = 2,5 \text{ k}\Omega$
- $a = 44,7$
- $\% \eta = 37\%$
- (a) Máximo  $P_i = 49,7 \text{ W}$   
 (b) Máximo  $P_o = 39,06 \text{ W}$   
 (c) Máximo  $\% \eta = 78,5\%$
- (a)  $P_i = 27 \text{ W}$  (b)  $P_o = 8 \text{ W}$   
 (c)  $\% \eta = 29,6\%$  (d)  $P_{2Q} = 19 \text{ W}$
- $\% D_2 = 14,3\%$ ,  $\% D_3 = 4,8\%$ ,  $\% D_4 = 2,4\%$
- $\% D_2 = 6,8\%$
- $P_D = 25 \text{ W}$
- $P_D = 3 \text{ W}$

CAPÍTULO 17

- $V_o = 13 \text{ V}$
- Período = 204,8  $\mu\text{s}$

- $f_o = 60 \text{ kHz}$
- $C = 133 \text{ pF}$
- $C_1 = 300 \text{ pF}$

CAPÍTULO 18

- $A_f = -9,95$
- $A_f = -14,3$ ,  $R_{if} = 31,5 \text{ k}\Omega$ ,  $R_{of} = 2,4 \text{ k}\Omega$
- Sem realimentação:  $A_v = -303,2$ ,  $Z_i = 1,18 \text{ k}\Omega$ ,  $Z_o = 4,7 \text{ k}\Omega$   
 Com realimentação:  $A_{vf} = -3,82$ ,  $Z_{if} = 45,8 \text{ k}\Omega$
- $f_o = 4,2 \text{ kHz}$
- $f_o = 1,05 \text{ MHz}$
- $f_o = 159,2 \text{ kHz}$

CAPÍTULO 19

- Fator de ripple = 0,028
- Tensão de ripple = 24,2 V
- $V_r = 1,2 \text{ V}$
- $V_r = 0,6 \text{ V rms}$ ,  $V_{dc} = 17 \text{ V}$
- $V_r = 0,12 \text{ V rms}$
- $V_m = 13,7 \text{ V}$
- $\% r = 7,2\%$
- $\% r = 8,3\%$ ,  $\% r' = 3,1\%$
- $V_r = 0,325 \text{ V rms}$
- $V_o = 7,6 \text{ V}$ ,  $I_Z = 3,66 \text{ mA}$
- $V_o = 24,6 \text{ V}$
- $I_{dc} = 225 \text{ mA}$
- $V_o = 9,9 \text{ V}$

CAPÍTULO 20

- 30:1 ou melhor é típico, curto período de tempo, tipo de encapsulamento
- 124% de aumento  $V_R \approx 25 \text{ V}$
- (a)  $C_T = 4185 \text{ pF}$  (b)  $k \approx 71 \times 10^{-12}$
- (a)  $C = 5,17 \text{ pF}$  (b) Gráfico  $C \approx 5 \text{ pF}$
- $T_1 = 50^\circ\text{C}$
- $Q = 26,93$ ,  $Q$  cai significativamente com aumento da frequência
- $I_T = 5 \text{ mA}$ ,  $V_T = 60 \text{ mV}$   
 $I_T = 2,8 \text{ mA}$ ,  $V_T = 900 \text{ mV}$
- $f_p \approx 2228 \text{ Hz}$
- (a)  $3750 \text{ \AA} \rightarrow 7500 \text{ \AA}$   
 (b)  $\approx 8400 \text{ \AA}$  (c)  $\text{BW} = 4200 \text{ \AA}$
- (a) Silício (b) Laranja
- (a)  $\approx 0,9 \Omega/\text{fc}$  (b)  $\approx 380 \Omega/\text{fc}$   
 (c)  $\approx 78 \text{ k}\Omega/\text{fc}$  Região de iluminação reduzida
- $V_i = 21 \text{ V}$
- Quando  $fc$  aumenta,  $t_r$  e  $t_d$  diminuem exponencialmente
- (a)  $\Phi = 5 \text{ mW}$  (b)  $2,27 \text{ lm}$
- $\Phi = 3,44 \text{ mW}$
- Níveis menores

45.  $R \approx 20 \text{ k}\Omega$   
 47.  $R$  (termistor) =  $90 \Omega$

## CAPÍTULO 21

5. (a) Sim (b) Não (c) Não (d) Sim, não  
 11. (a)  $\approx 0,7 \text{ mW/cm}^2$  (b)  $82,35\%$   
 17. (a)  $R_{B_2} = 1,08 \text{ k}\Omega$  (b)  $R_{BB} = 3,08 \text{ k}\Omega$  (c)  $V_{R_{B_1}} = 13 \text{ V}$  (d)  $V_P = 13,7 \text{ V}$   
 19.  $I_B = 25 \mu\text{A}$ ,  $I_C = 1 \text{ mA}$   
 21. (a) Para temperaturas decrescentes,  $-0,53 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  (b) Sim  
 23.  $I_C/I_F = 0,44$  Relativamente eficiente  
 25. (a)  $I_C \geq 3 \text{ mA}$  (b)  $\Delta R:\Delta t \approx 2,3:1$   
 27.  $Z_P = 87 \text{ k}\Omega$ ,  $Z_V = 181,8 \Omega$ , Até um certo nível  
 29. (a) Sim,  $8,18 \text{ V}$  (b)  $R < 2 \text{ k}\Omega$  (c)  $R = 1,82 \text{ k}\Omega$