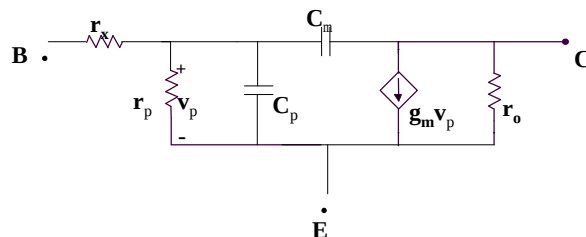


CAP. 2

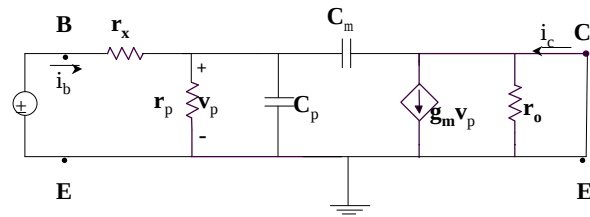
RESPOSTA EM FREQUÊNCIA

MODELOS PARA ALTA FREQUÊNCIA DE TRANSISTORES

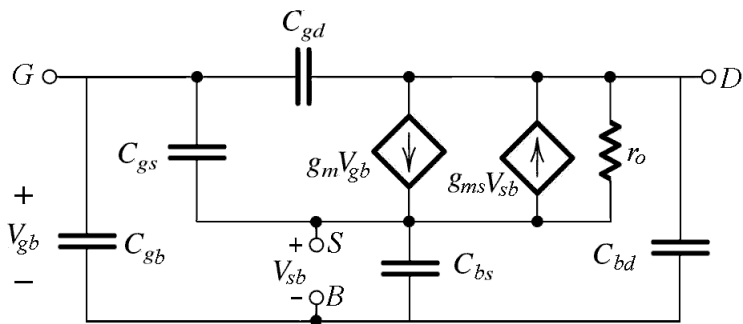
Transistor Bipolar



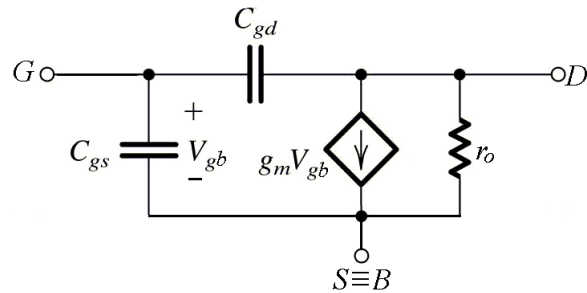
Frequência de corte intrínseca



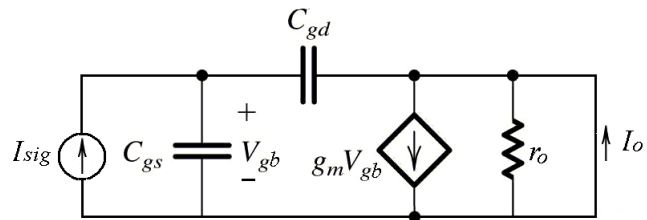
Transistor MOS



Transistor MOS – Circuito equivalente simplificado



Frequência de corte intrínseca



2.1 PÓLOS, ZEROS E CURVAS DE BODE

Função de transferência

$$T(s) = \frac{a_m s^m + a_{m-1} s^{m-1} + \dots + a_0}{b_n s^n + b_{n-1} s^{n-1} + \dots + b_0}$$

Coeficientes a, b são reais

$m \leq n$

Raízes do denominador têm a parte real negativa (circuito estável)

Pólos e zeros

$$T(s) = a_m \frac{(s - Z_1)(s - Z_2) \dots (s - Z_m)}{(s - P_1)(s - P_2) \dots (s - P_n)}$$

Z_i são os zeros de $T(s)$

P_i são os pólos de $T(s)$

Pólos e zeros reais as funções de transferência podem ser escritas como produto de funções de primeira ordem

$$T(s) = \frac{a_1 s + a_0}{s + \omega_0}$$

$-\omega_0$ é a localização do pólo

ω_0 é a frequência do pólo

Passa-baixas

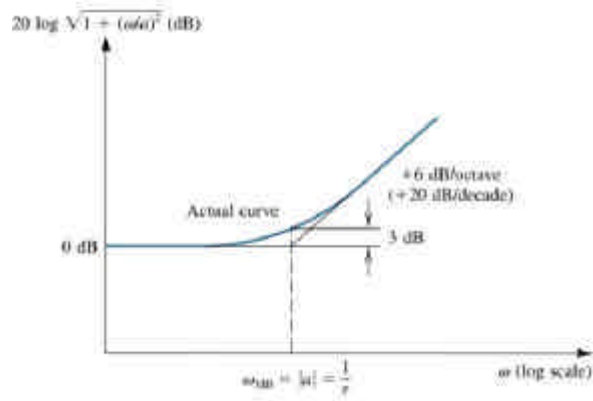
$$T(s) = \frac{a_0}{s + \omega_0} \quad \text{Zero no infinito}$$

$$\frac{a_0}{\omega_0} \quad \text{Ganho CC}$$

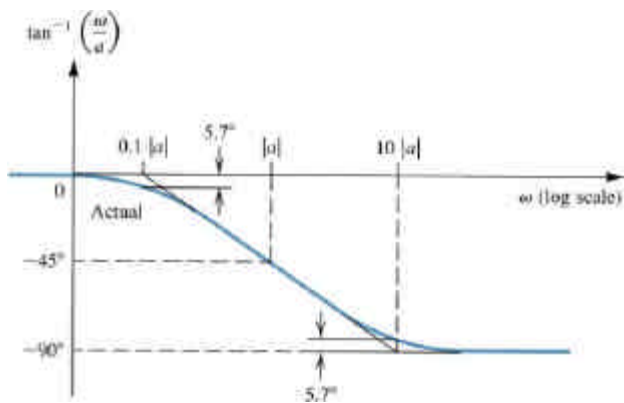
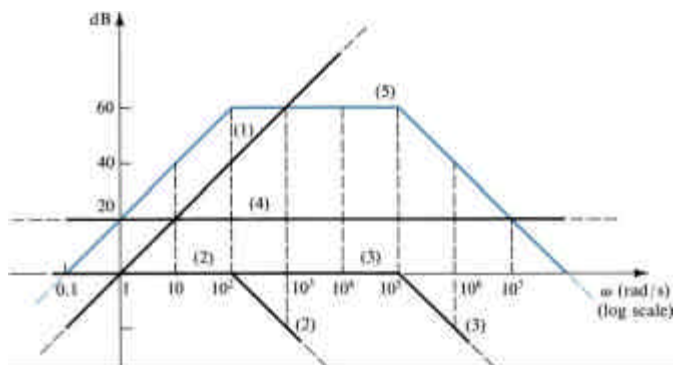
$$\omega_0 \quad \text{Frequência de -3dB}$$

Passa-altas

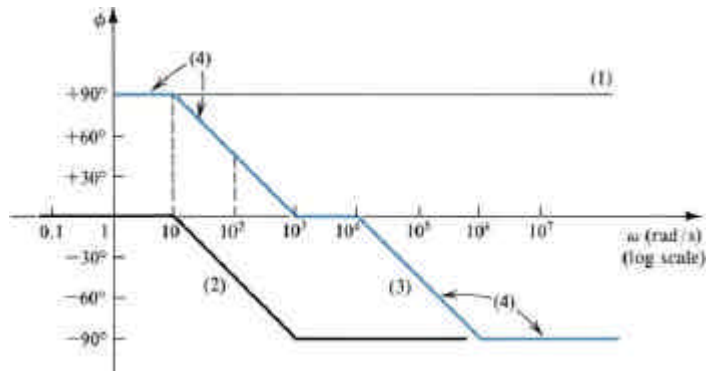
$$T(s) = \frac{a_1 s}{s + \omega_0} \quad \text{Zero na origem}$$



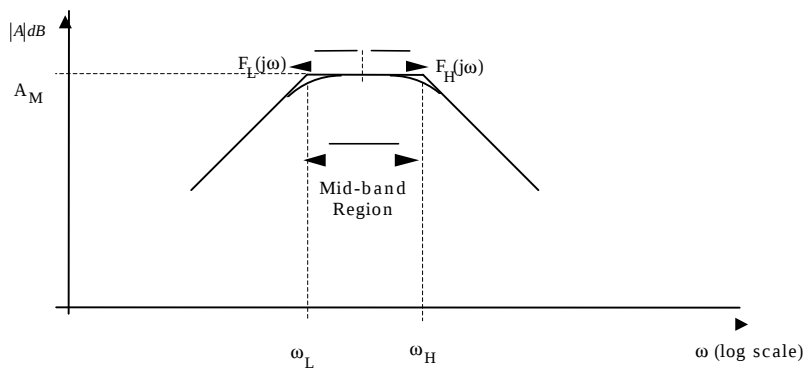
Exemplo 7.1 (Sedra)



Exemplo 7.2 (Sedra)



7.2 Função de Transferência do Amplificador



$$BW = \omega_H - \omega_L$$

$$BW \cong \omega_H \quad \text{se} \quad \omega_L \ll \omega_H$$

$$PGB = A_M \omega_H$$

Função ganho A(s)

$$A(s) = A_M F_L(s) F_H(s)$$

$F_L(s)$ e $F_H(s)$ consideram a variação do ganho com a frequência para as baixas e altas frequências respectivamente.

$$A_L(s) \cong A_M F_L(s) \quad \text{Ganho em baixas frequências}$$

$$A_H(s) \cong A_M F_H(s) \quad \text{Ganho em altas frequências}$$

Resposta em baixas frequências

$$F_L(s) = \frac{(s + w_{z1})(s + w_{z2}) \cdots (s + w_{zn_L})}{(s + w_{p1})(s + w_{p2}) \cdots (s + w_{pn_L})}$$

w_{pi} **positivos**

w_{zi} **positivos, negativos ou nulos**

Pólo dominante

Se não houver pólo dominante

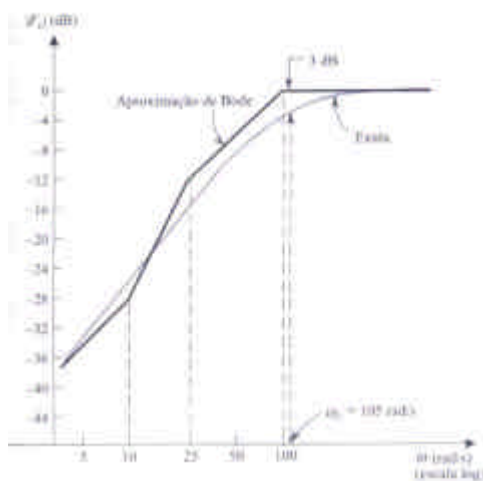
$$F_L(s) = \frac{s}{(s + w_{p1})}$$

$$w_L \cong w_{p1}$$

$$w_L \cong \sqrt{w_{p1}^2 + w_{p2}^2 + \cdots - w_{z1}^2 - w_{z2}^2 - \cdots}$$

Exemplo 7.3 (Sedra)

$$F_L(s) = \frac{s(s+10)}{(s+100)(s+25)}$$



Resposta em altas frequências

$$F_H(s) = \frac{(1 + s/w_{Z1})(1 + s/w_{Z2}) \cdots (1 + s/w_{Zn_L})}{(1 + s/w_{P1})(1 + s/w_{P2}) \cdots (1 + s/w_{Pn_L})}$$

w_{Pi} **positivos**

w_{Zi} **positivos, negativos ou infinitos**

Pólo dominante

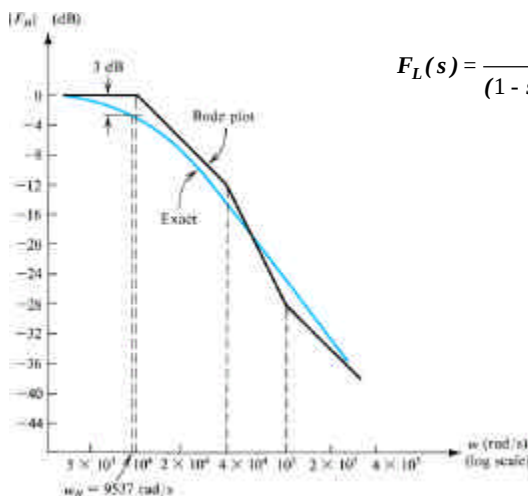
Se não houver pólo dominante

$$F_H(s) = \frac{1}{(1 + s/w_{P1})}$$

$$w_H \cong w_{P1}$$

$$w_H \cong \frac{1}{\sqrt{1/w_{P1}^2 + 1/w_{P2}^2 + \cdots - 2/w_{Z1}^2 - 2/w_{Z2}^2 - \cdots}}$$

Exemplo 7.4 (Sedra)



$$F_L(s) = \frac{1 - s/10^5}{(1 - s/10^4)(1 - s/4 \cdot 10^4)}$$

Método das constantes de tempo em circuito aberto para determinar w_H

$$F_H(s) = \frac{1 + a_1 s + a_2 s^2 + \dots + a_{n_H} s^{n_H}}{1 + b_1 s + b_2 s^2 + \dots + b_{n_H} s^{n_H}}$$

$$b_1 = \frac{1}{w_{p1}} + \frac{1}{w_{p2}} + \dots + \frac{1}{w_{pn_H}}$$

Mostra-se que:
$$b_1 = \sum_{i=1}^{n_H} C_i R_{i0}$$

C_i são as capacitâncias do circuito equivalente e

R_{i0} são as resistências vistas por cada capacitância com todas as outras em circuito aberto

Pólo dominante

$$b_1 \cong \frac{1}{W_{P1}} \quad \text{e} \quad W_H \cong \frac{1}{\sum_{i=1}^{n_H} C_i R_{i0}}$$

O método apresenta bons resultados mesmo se não há um pólo dominante. Porém todos os pólos devem ser reais

Método das constantes de tempo em curto circuito para determinar w_L

$$F_L(s) = \frac{s^{n_L} + d_1 s^{n_L-1} + \dots}{s^{n_L} + e_1 s^{n_L-1} + \dots}$$

$$e_1 = W_{P1} + W_{P2} + \dots + W_{Pn_L}$$

Mostra-se que:
$$e_1 = \sum_{i=1}^{n_L} \frac{1}{C_i R_{is}}$$

C_i são as capacitâncias do circuito equivalente e

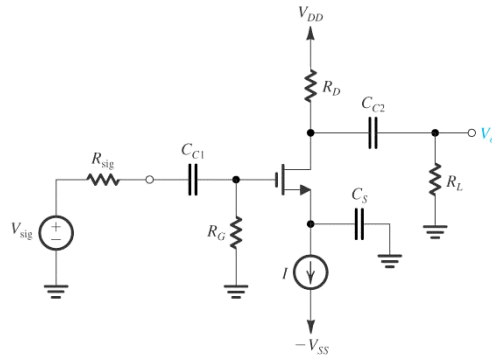
R_{is} são as resistências vistas por cada capacitância com todas as outras em curto circuito

Pólo dominante

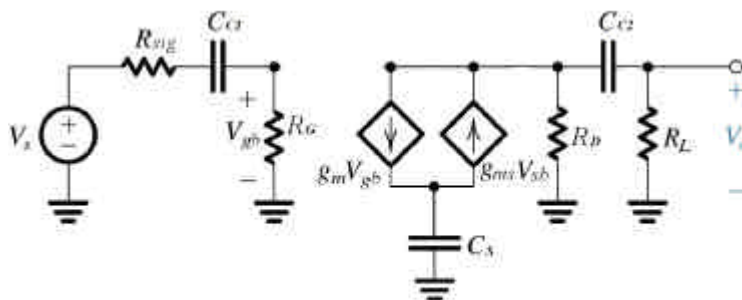
$$e_1 \cong W_{P1} \quad \text{então} \quad W_H \cong \sum_{i=1}^{n_H} \frac{1}{C_i R_{is}}$$

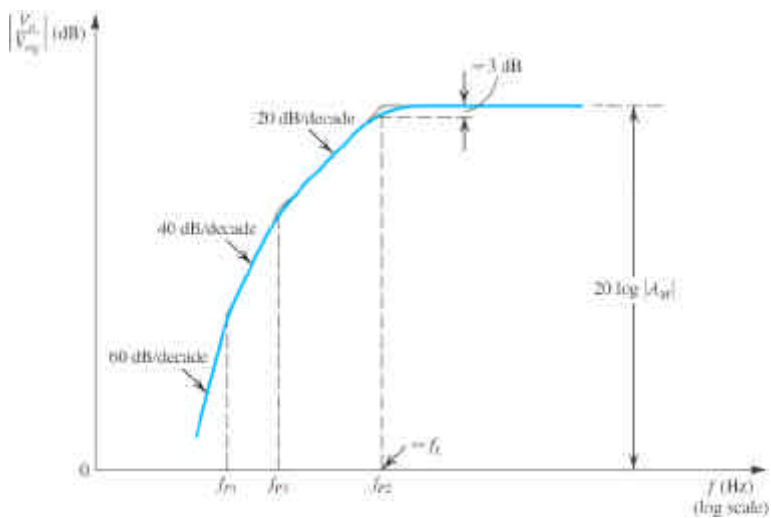
2.3 Resposta em Baixas Frequências dos Amplificadores Fonte Comum e Emissor Comum

Amplificador fonte comum

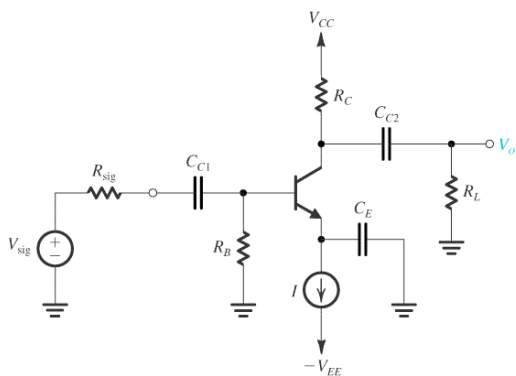


Circuito equivalente de pequenos sinais

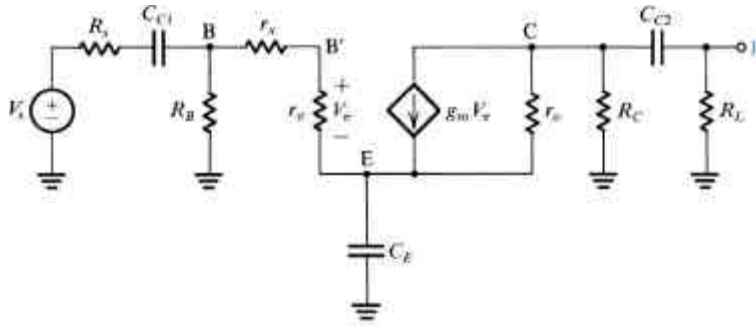




Amplificador emissor comum

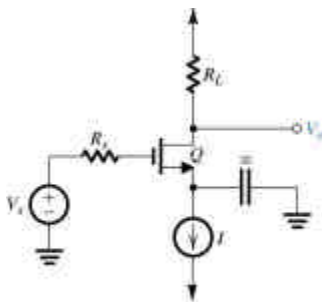


Circuito equivalente de pequenos sinais

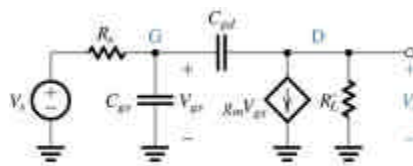


2.4 Resposta em Altas Frequências dos Amplificadores Fonte Comum e Emissor Comum

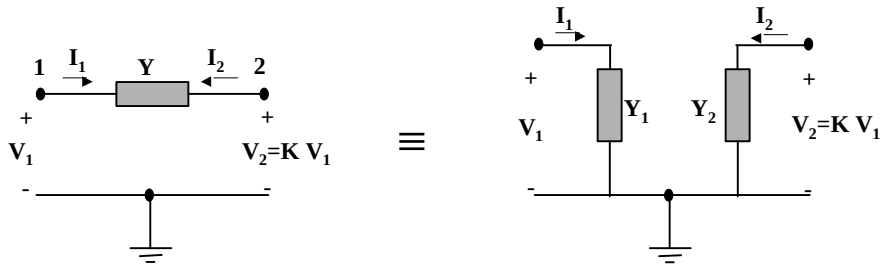
Amplificador fonte comum



Modelo de pequenos sinais



Teorema de Miller



Nó 1

$$I_1 = Y(V_1 - V_2) = YV_1(1 - K)$$

$$Y_1 V_1 = I_1$$

$$Y_1 = Y(1 - K)$$

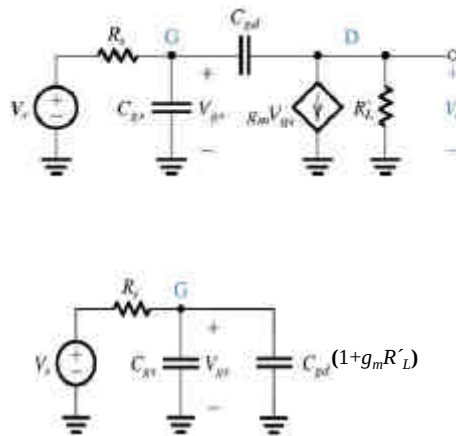
Nó 2

$$I_2 = Y(V_2 - V_1) = YV_2\left(1 - \frac{1}{K}\right)$$

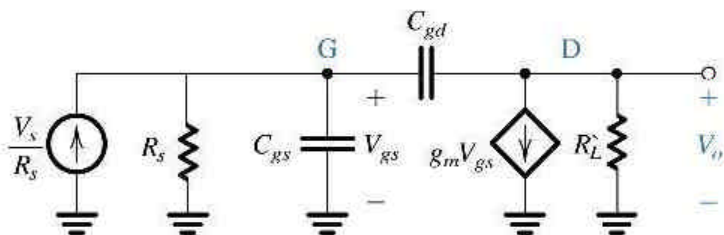
$$Y_2 V_2 = I_2$$

$$Y_2 = Y\left(1 - \frac{1}{K}\right)$$

Aplicação do Teorema de Miller sobre C_{gd}

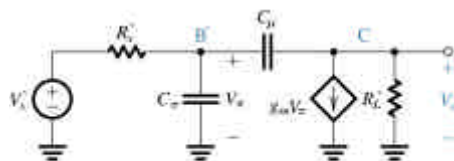
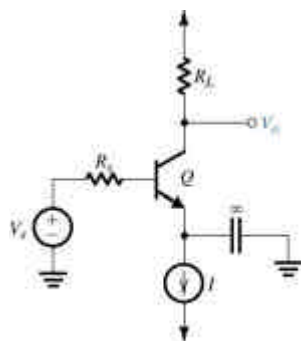


Circuito para determinação direta da função de transferência



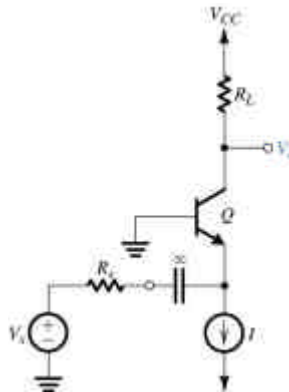
Amplificador emissor comum

Modelo de pequenos sinais

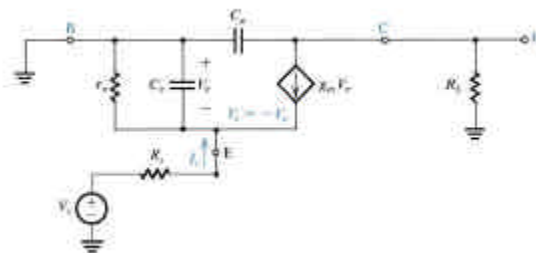


2.5 Resposta em Frequência dos Amplificadores Base Comum, Porta Comum e Cascode

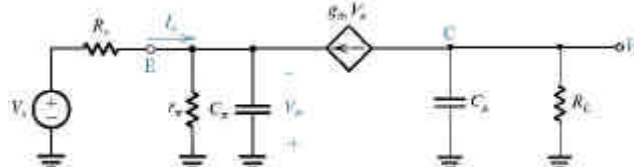
Amplificador base comum



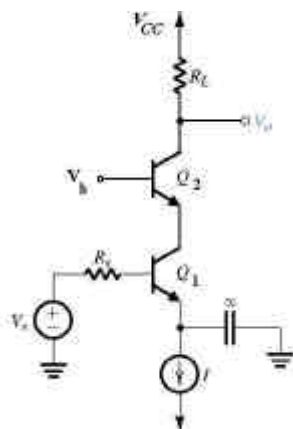
Modelo de pequenos sinais



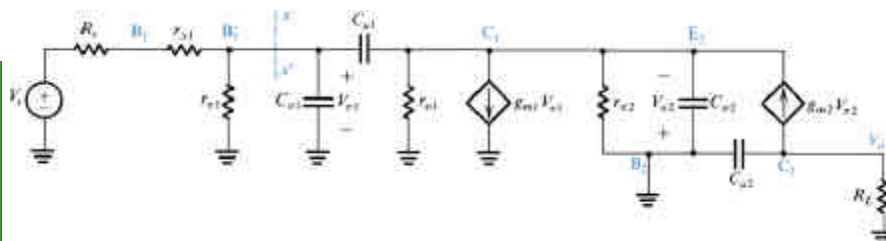
Redesenhando



Configuração Cascode

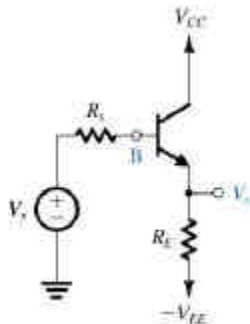


Modelo de pequenos sinais

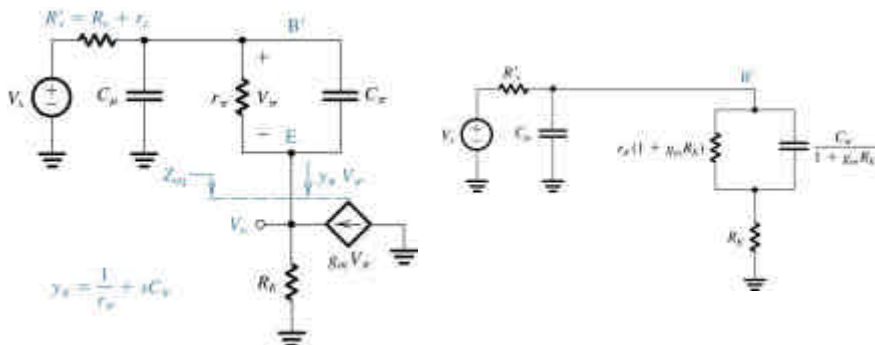
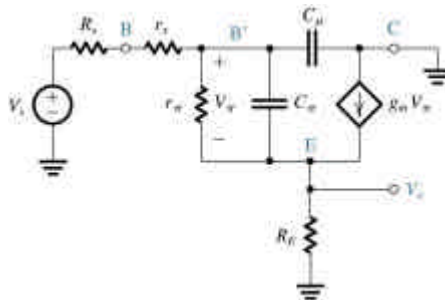


2.6 Resposta Freqüência do Seguidor de Emissor e do Seguidor de Fonte

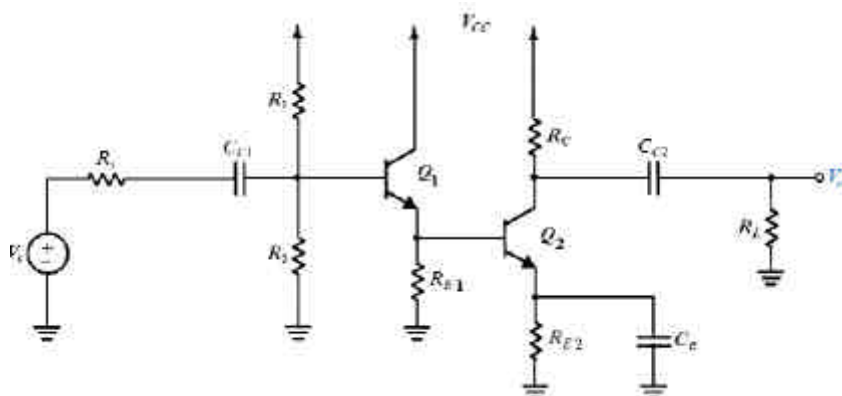
Seguidor de emissor



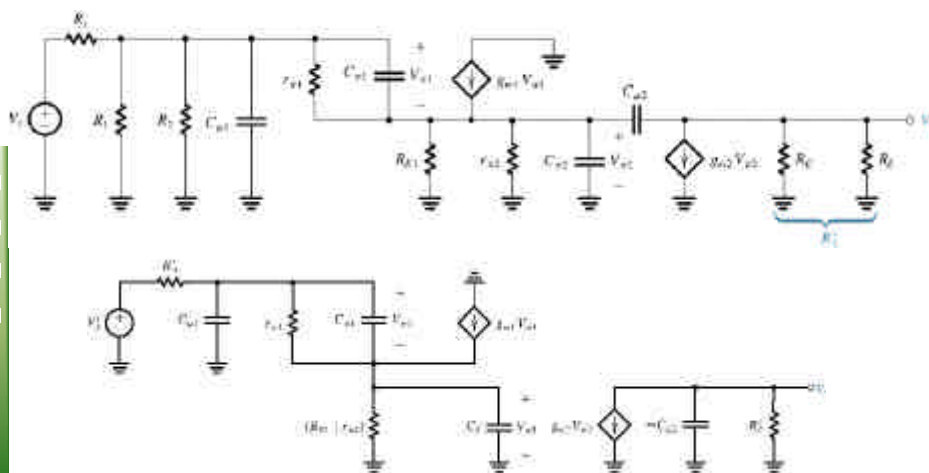
Modelo de pequenos sinais



2.7 Cascata Coletor Comum Emissor Comum

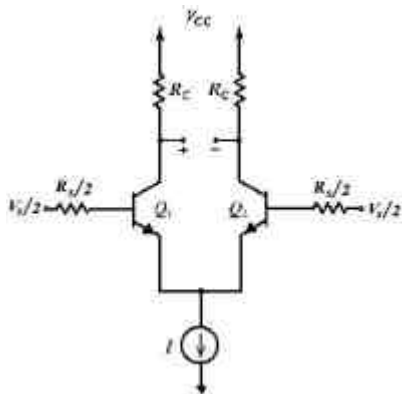


Modelo de pequenos sinais

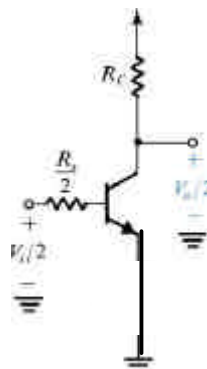


7.8 Resposta Freqüência do Amplificador Diferencial

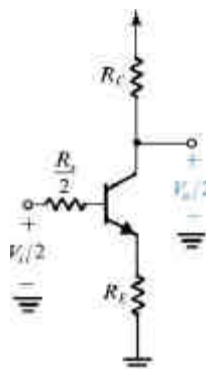
Ganho diferencial



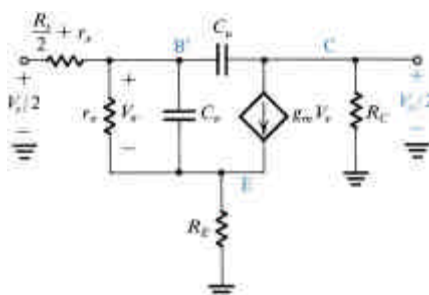
Meio circuito diferencial

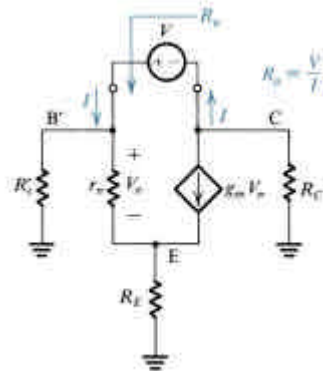
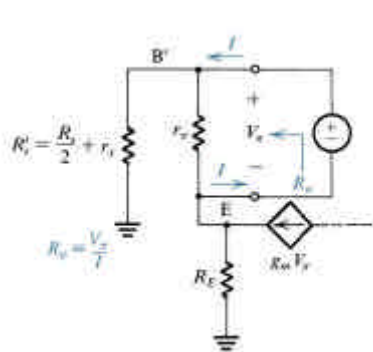


Efeito de R_E



Modelo de pequenos sinais





Variação da CMRR com a frequência

