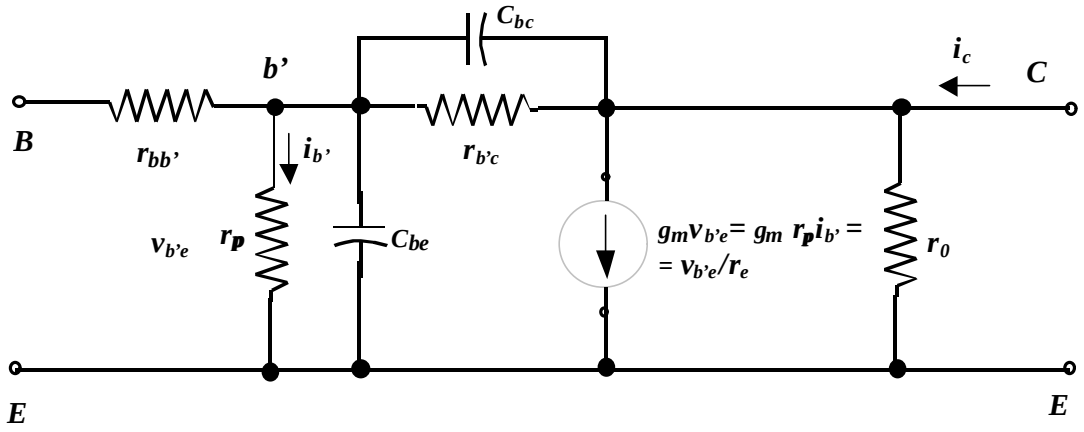
• *Resposta em altas freqüências de amplificadores*

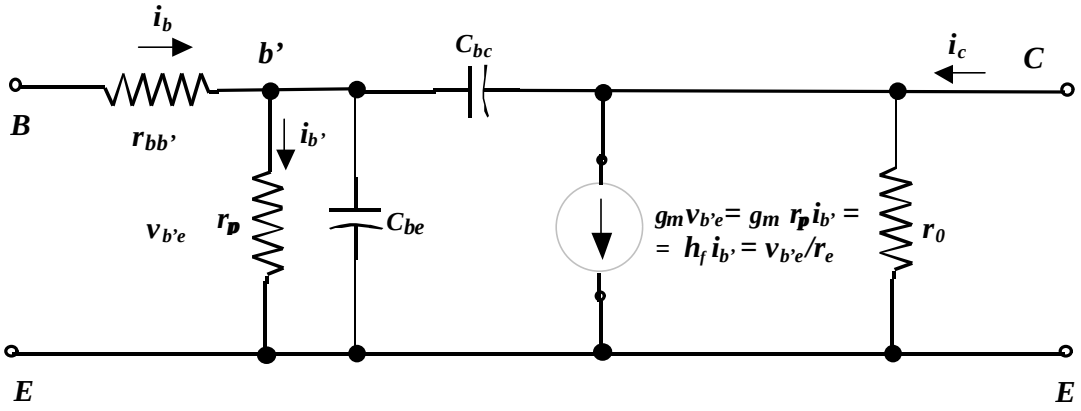
Modelo de transistores bipolar em altas freqüências.

A figura abaixo apresenta o circuito equivalente para pequenos sinais em altas freqüências do transistor bipolar, utilizando o modelo de Giacoletto (p -híbrido)



Circuito equivalente para pequenos sinais em altas freqüências do transistor bipolar, utilizando o modelo de Giacoletto (p -híbrido)

A resistência $r_{b'c}$ na prática apresenta um elevado valor e com razoável nível de precisão sempre se pode numa análise desprezada-la. Assim o circuito acima pode ser um pouco simplificado para o circuito equivalente mostrado abaixo.



Circuito equivalente para pequenos sinais em altas freqüências, desprezando-se $r_{b'c}$

Note que diferente do modelo em baixas freqüências usaremos o ganho de corrente ac do transitor com o parâmetro ***h_{fe} ao invés de b*** *devido ao fato que os fabricantes normalmente empregarem os parametros híbrido em suas folhas de especificações ("datasheets").*

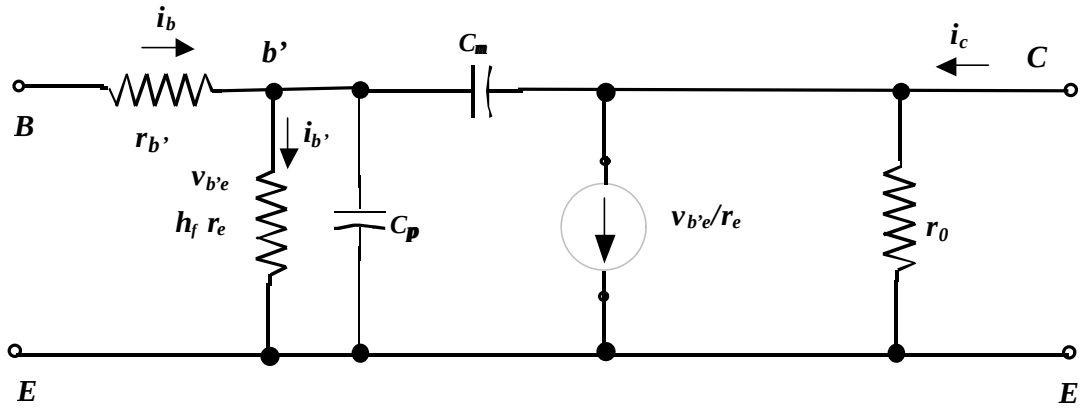
Só pra lembrar, o parâmetro h_{fe} expressa o ganho de corrente (com v_{ce}=0) do transistor,

$$h_{fe} = i_c / i_b \big|_{Vce=0}$$

No caso de baixas frequencias usaremos como notação,

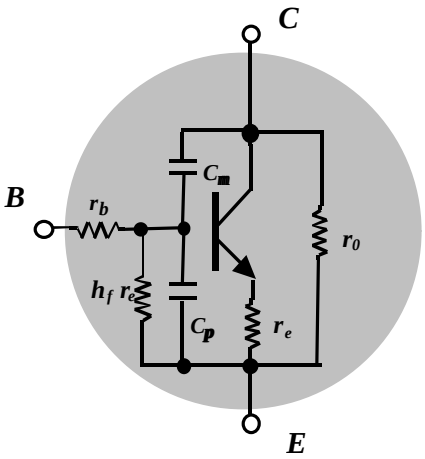
$$h_{fe} \big|_{baixas} = h_f = b$$

Novamente, redesenhando o circuito acima, resulta (com $r_{bb'} = r_b$, $C_p = C_{b'e}$ e $C_{b'c} = C_m$)



Circuito equivalente para pequenos sinais em altas freqüências

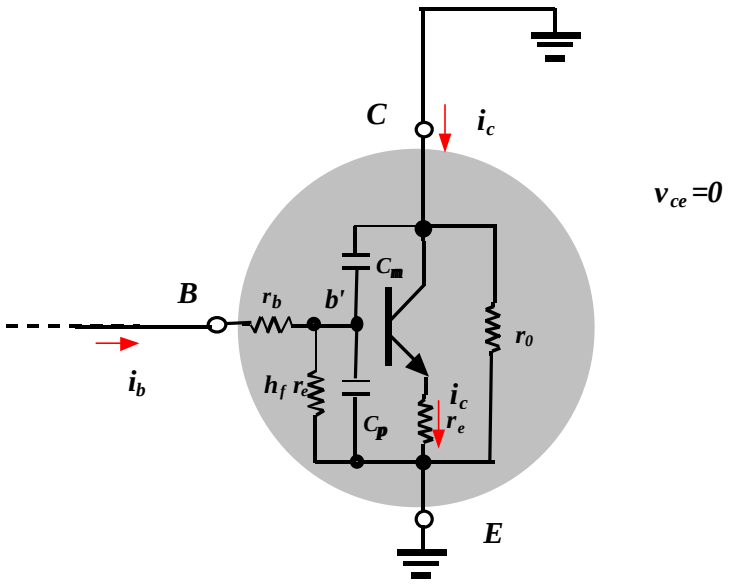
Ou na forma da nova apresentação



Circuito equivalente para altas freqüências – Nova apresentação

✓ *Ganho de corrente do transistor em função da freqüência*

- ***Configuração emissor comum (h_{fe})***



Ganho de corrente na conf. emissor comum em função da freqüência

Da figura temos que a impedância ($Z_{b'}$) no ponto b' (base intrínseca) é igual a

$Z_{b'} = h_f r_e // Xc_m // Xc_p$ *onde*

$Xc_m = 1/j2pC_m$ *e*

$Xc_p = 1/j2p\ C_p$

$Z_{b'} = h_f r_e / [1+j2p\ fh_f r_e\ (C_m+C_p)]$

Logo a tensão no ponto b', $v_{b'}$ é igual á

$v_{b'} = Z_{b'} i_b = h_f r_e\ 1/\ [1+j2p\ fh_f r_e\ (C_m+C_p)].i_b$

A corrente de coletor i_c é dada por:

$i_c = v_{b'}/r_e = h_f / [1+j2p\ fh_f r_e\ (C_m+C_p)].i_b$

Portanto

$h_{fe} = i_c / i_b = h_f / [1+j2p\ fh_f r_e\ (C_m+C_p)]$ *ou*

$$h_{fe} = h_f/(1+jf/f_b) \quad (181)$$

onde

$$f_b = 1/2p\ h_f r_e\ (C_m+C_p) \quad (182)$$

ou

$$f_b = 1/2p\ b\ r_e\ (C_m+C_p\ )$$

A equação (181) indica que o transistor apresenta um ganho de corrente com uma freqüência de corte superior igual f_b . Mais adiante plotaremos o gráfico de h_{fe} versus freqüência.

f_b representa a máxima freqüência *que um estágio emissor comum atinge quando este é excitado por uma* ***fonte de sinal com alta impedância de saída*** *quando comparado a impedância de entrada do amplificador (fonte de corrente) e o* ***efeito Miller desprezado.***

Outra quantidade chamada produto ganho – banda é definida para o transistor para a condição

$$½h_f /(1+jf/f_b)½ = 1$$

A freqüência na qual isto acontece é denotada por f_T

$$½h_f /(1+jf/f_b)½ = \quad h_f /(1+(f_T /f_b)^2)^{1/2} = 1$$

Como $f_T >> f_b$, então

$$h_f /(1+(f_T/f_b)^2)^{1/2} \ » \ h_f/f_T/f_b = 1 \quad logo$$

$$f_T = h_f\ f_b = b\ f_b \quad (183)$$

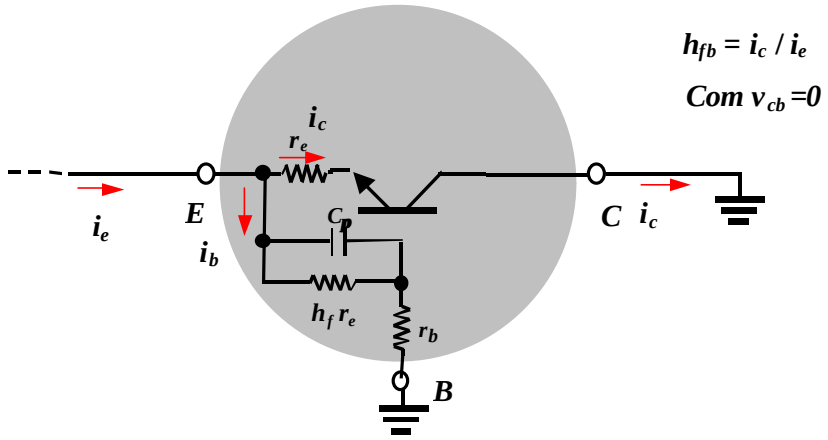
Substituindo a equação (182) em (183), resulta

$$f_T = 1/2p\ r_e\ (C_m + C_p) \qquad (184)$$

f_T* representa a máxima freqüência** *que um estágio base comum atinge quando este é excitado por uma* ***fonte de sinal com alta impedância de saída *quando comparado a impedância de entrada do amplificador (fonte de corrente) e o* ***efeito Miller desprezado.***

- ***Configuração base comum (h_{fb})***

Nesta análise é fácil demonstrar que se pode com uma boa aproximação desprezar as corrente que passam por r_0 e C_m ,para o cálculo do ganho de corrente. O assim o circuito de base comum fica simplificado como mostra a figura abaixo.



Ganho de corrente na conf. base comum em função da freqüência

Da figura temos

$$i_e = i_c + i_b \qquad (185)$$

Por outro lado a impedância entre a base o emissor do transistor (chamarem de $h_a r_e$) é igual à

$$h_a r_e = h_f r_e // Xc_p = h_f r_e /(1 + j2p f h_f r_e C_p)$$

logo $h_a = h_f /(1+ j2p\, f\, h_f\, r_e C_p)$

Como as duas impedância $h_a\, r_e$ *e* r_e *então submetida a mesma tensão, então, a corrente* i_b *é igual à*

$$i_b = i_c /h_a \qquad (186)$$

Substituindo (186) em (185), resulta

$$i_e = (1 + 1/h_a)i_c$$

então

$$h_{fb} = i_c / i_e = 1/(1/h_a+1)$$

Substituindo a expressão para h_a *, resulta*

$$h_{fb} = 1/[(1+ j2p\, f\, h_f\, r_e C_p)/ h_f +]$$

$$h_{fb} =1/[1+ 1/h_f + j2p\, f\, r_e C_p]$$

como $1+ 1/h_f =1+ 1/b \gg 1$

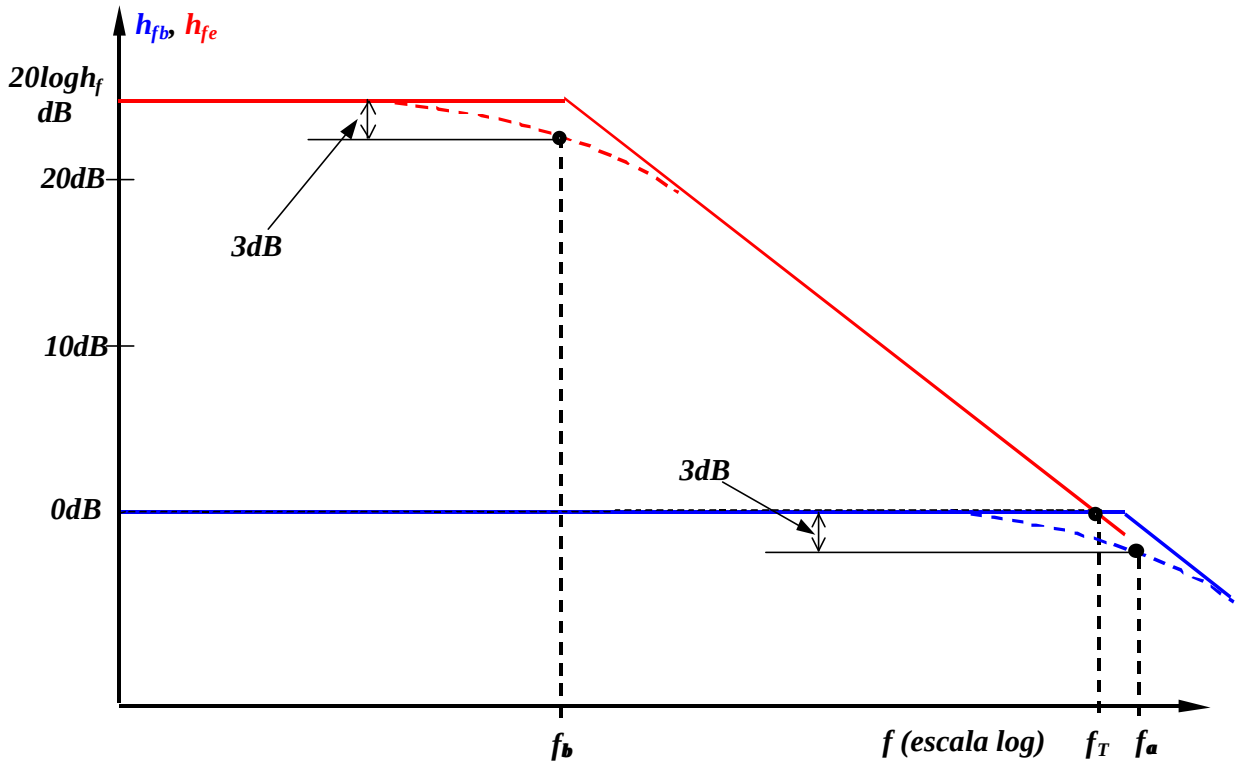
$$h_{fb} \gg 1/[1+ j2p\, f\, r_e C_p]$$

$$\boxed{h_{fb} \gg 1/[1+ jf /f_a]} \quad \text{com} \qquad (187)$$

$$\boxed{f_a = 1/ j2p\, r_e C_p} \qquad (188)$$

Note que $f_b << f_T < f_a$

A equação (187) indica que o transistor apresenta um ganho de corrente com uma freqüência de corte superior igual f_a *. Adiante plotamos um gráfico de* h_{fe} *e* h_{fb} *versus freqüência.*



h_{fe} e h_{fb} versus freqüência

✓ *Resposta em freqüência de um simples estágio*

- ***Considerações geriais***

Na região de altas freqüências, o circuito RC considerado possui a configuração mostrada na figura abaixo. Quando a freqüência aumenta a reatância capacitiva X_C diminui o valor, resultando em um efeito de curto na saída e um a conseqüente diminuição no ganho. A freqüência de corte superior deste circuito e encontrada semelhante à análise em baixas freqüências.

$A_v = v_0 / v_e = 1/(1+j2p\, fRC)$

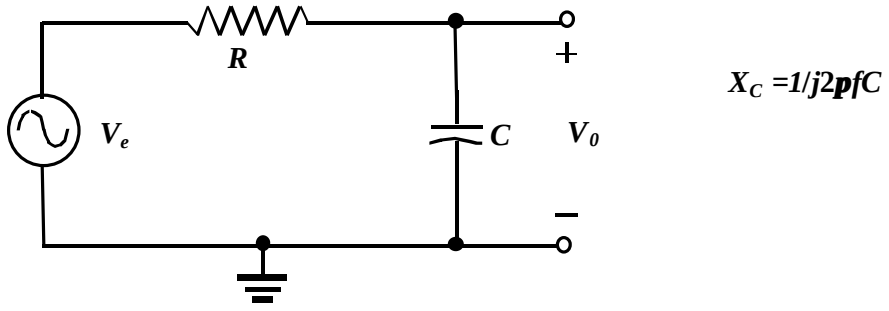
$A_v = 1/(1+jf/f_2) = 1/(1+s/s_2)$ *ou*

$A_v = = 1/(1+s/s_2)$

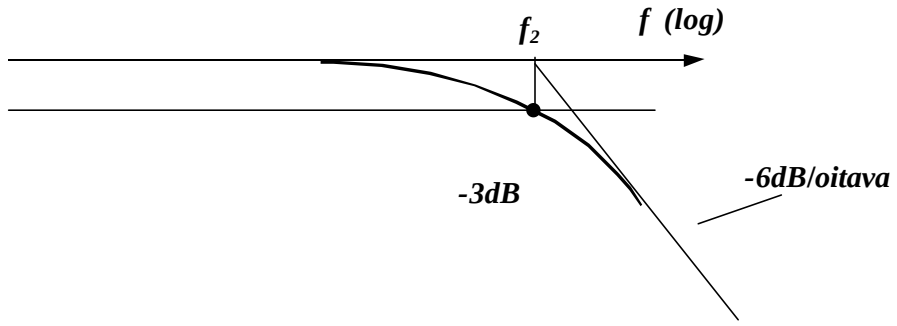
onde

$s = jw = j2p\, f$ *e* $f_2 = 1/2p\, RC$ $s_2 = 1/RC$

s é uma freqüência complexa e s_2 o pólo do circuito (em radianos por segundo)



Combinação RC que determinará a frequência de corte superior (Passa baixas)

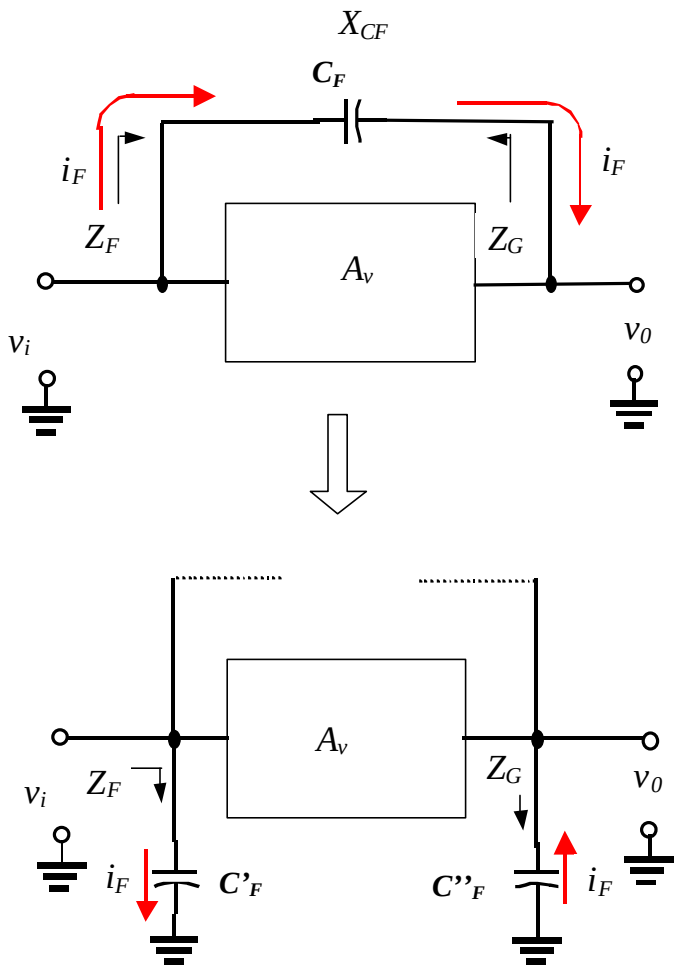


Tracado assintótico do passa altas (RC)

- *Amplificador emissor comum.*

Vamos determinar a resposta em freqüências de um amplificador emissor comum. Com o propósito de comparação, inicialmente, utilizaremos o método chamado de aproximação de efeito Miller e após a análise exata.

Como vimos em aulas anteriores o efeito Miller para capacitância aparece quando existe uma capacitância conectada entre a entrada e a saída de um amplificador, que para relembra redesenhamos o efeito na figura abaixo.



Capacitância Miller na entrada

$C'_F = (1 - A_v).C_F$

Capacitância Miller na saída

$C''_F = (1 - 1/A_v).C_F$

Capacitâncias de efeito Miller

O dilema que surge é que em altas freqüência o ganho A_v será função da capacitância C'_F. Entretanto, como o ganho máximo é o valor no meio da faixa, o valor mais alto de C'_F será para esta faixa de freqüências e, portanto, o pior caso. Por isso , normalmente se emprega para A_v seu valor no meio da banda.

A seguir usaremos esta aproximação.