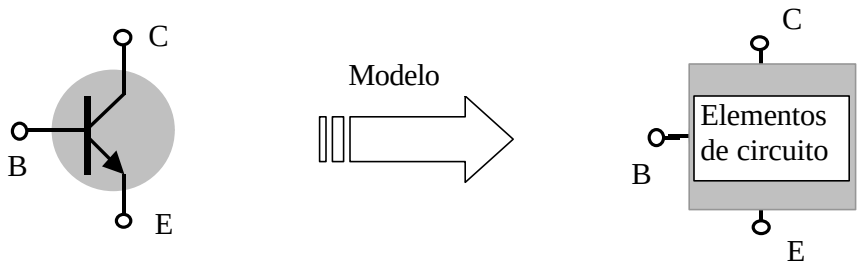
• Transistores Bipolares - Modelo AC

Um modelo é a combinação de elementos de circuito, apropriadamente escolhidos, que descreve de forma simplificada o comportamento ou funcionamento de um dispositivo sob condições de operação específicas.

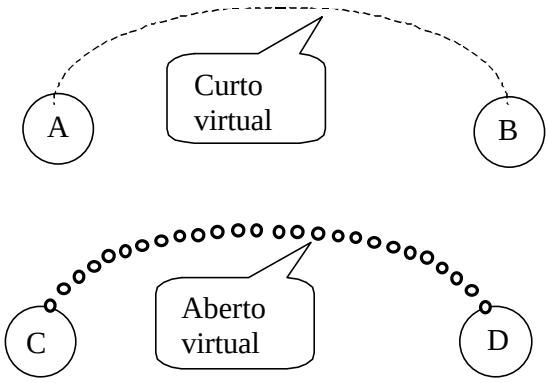


➢ **Definição dos conceitos: "curto virtual" e "aberto virtual"**

"Curto virtual" – Um ponto A está em curto virtual com um ponto B se a tensão no ponto A é igual à tensão no ponto B, e as correntes que passam nestes pontos são diferentes.

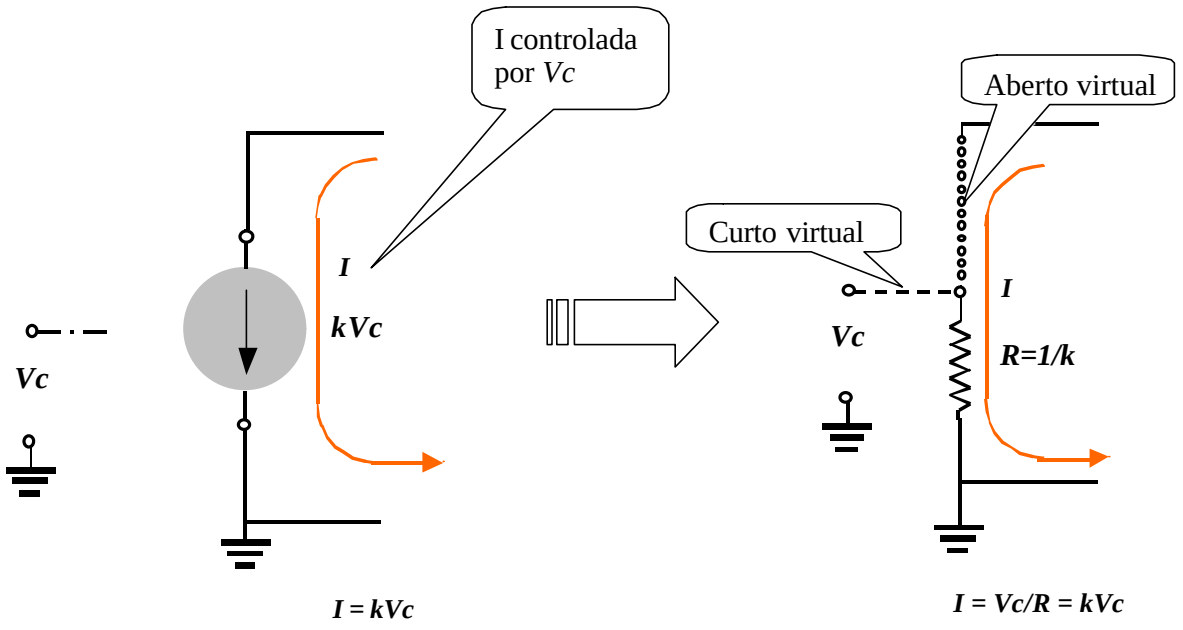
"Aberto virtual" – Um ponto A está em aberto virtual com um ponto B se a corrente que passa pelo ponto A é igual à corrente que passa pelo ponto B, e as tensões nestes pontos são diferentes.

❖ **Representação – Representaremos estas conexões pelas seguintes formas:**



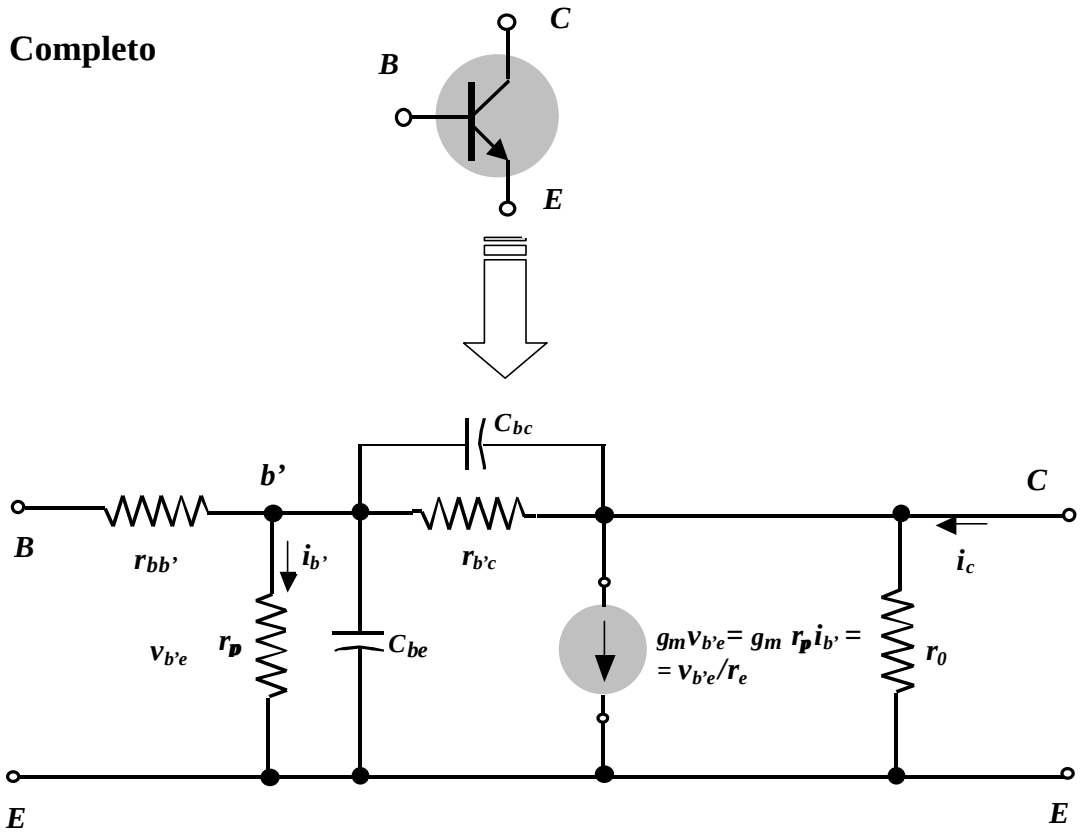
Obs: É fácil de mostrar que se A está em curto virtual com B, se B está em aberto virtual com C e:
Se este estiver em curto (real) com A, então os três pontos estarão em curto (real).

❖ **Exemplo -- Fonte de corrente controlada por tensão**

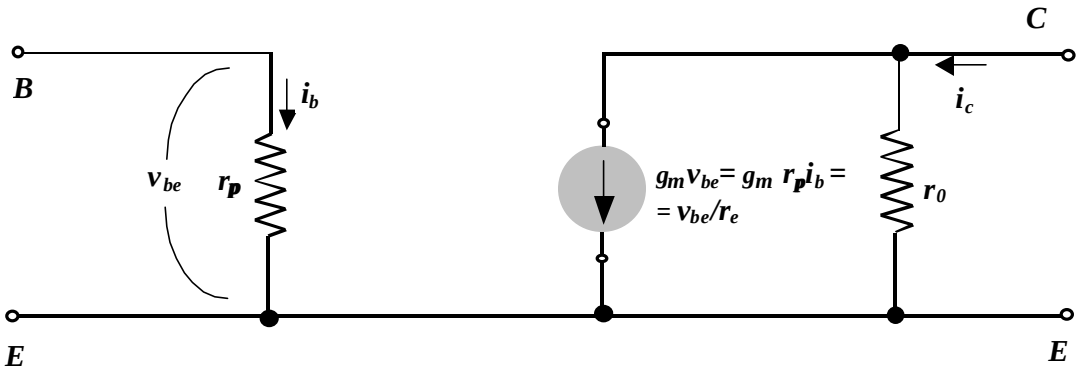


➢ Modelo p -híbrido

- **Completo**



- **Baixas freqüências (simplificado)**

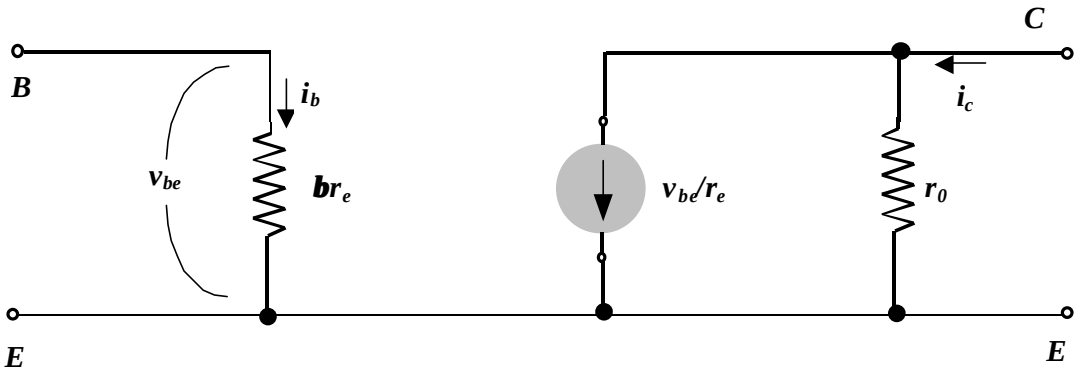


$r_p = \beta / g_m = \beta r_e$

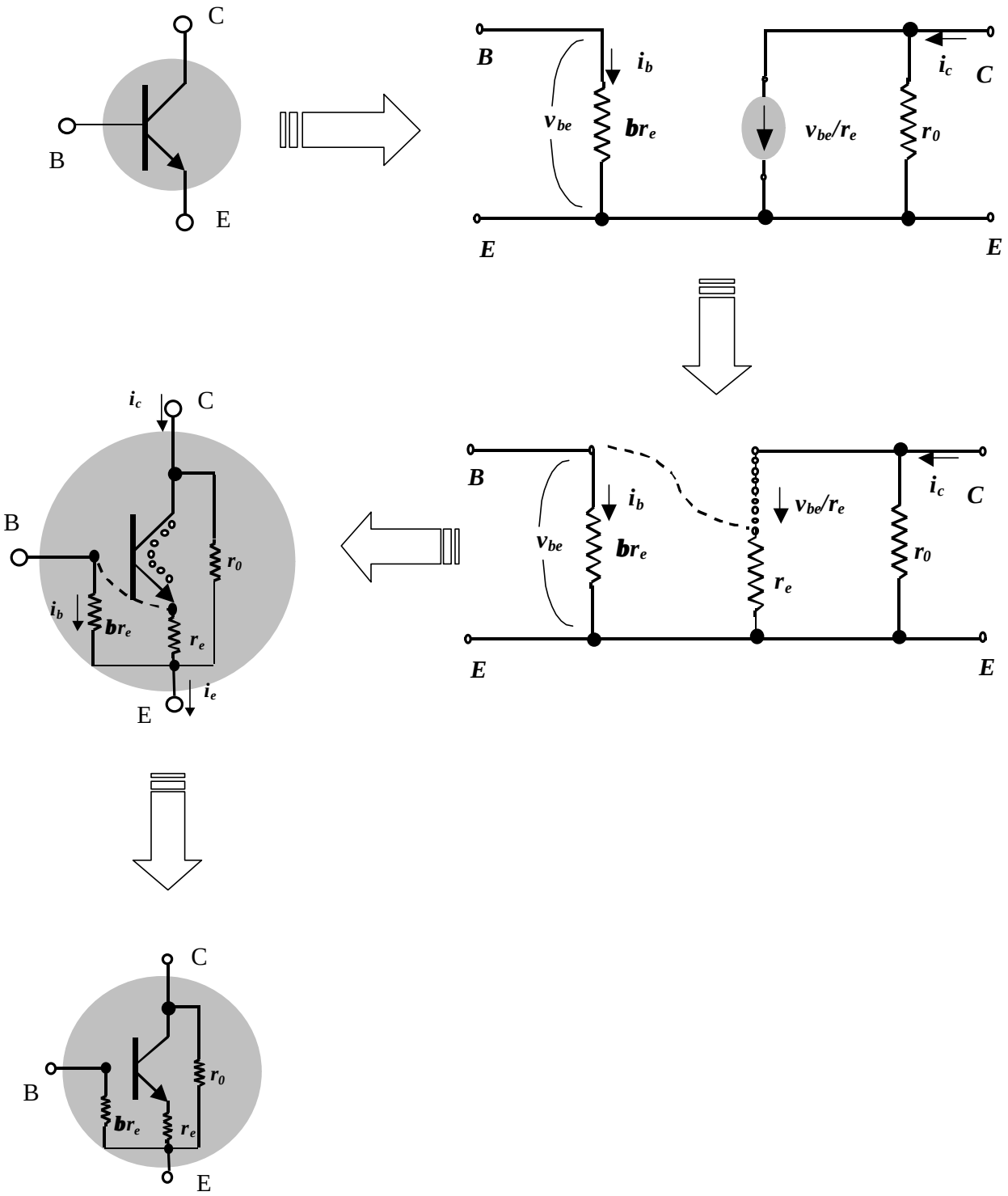
$r_e = V_T / I_C$ → $V_T = 26mV$

$r_0 = V_A / I_C$ → V_A = tensão ‘ Early’ (100V – 300V)

$r_0 >> r_e$ **Independente de Ic**

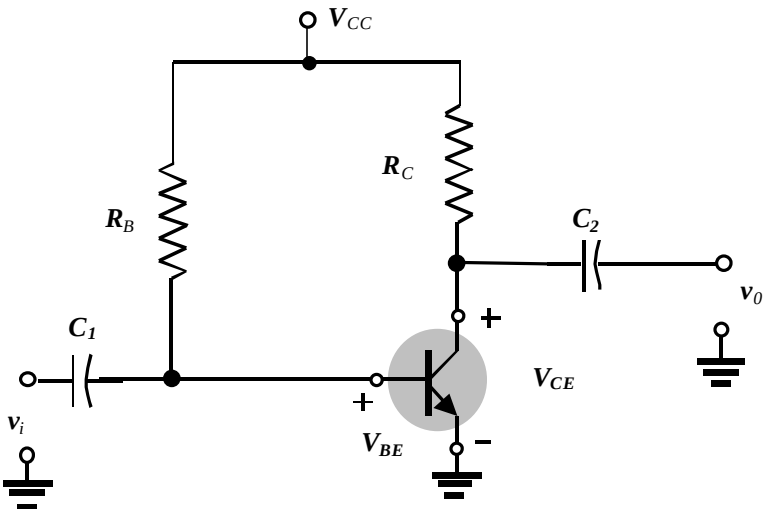


➢ Nova apresentação do modelo p -híbrido (simplificado)

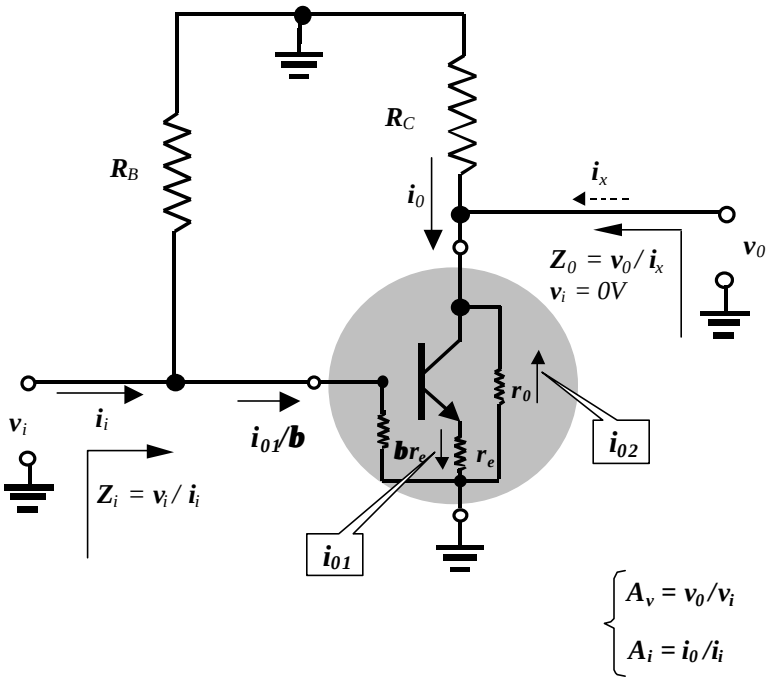


➢ Análise para pequenos sinais de circuitos com um transistor

- **Configuração Emissor Comum com Polarização Fixa**



Na Banda de interesse, *XC_1 e XC_2* estão em curto e para análise incremental (AC) toda fonte de tensão constante está em curto com o terminal comum.



- **Parâmetros importantes do circuitos**

- **Impedância de entrada (Z_i)**
- **Impedância de saída (Z_0)**
- **Ganho de tensão (A_v)**
- **Ganho de corrente (A_i)**

- **Determinação dos parâmetros.**

✓ **Impedância de entrada (Z_i)**

Por inspeção da figura acima, a impedância de entrada do circuito é igual à:

$$\boxed{Z_i = R_B // br_e}$$

✓ **Impedância de saída (Z_0)**

Novamente, por inspeção da figura acima, a impedância de saída do circuito é igual à:

$$\boxed{Z_0 = R_C // r_0}$$

- Note que para determinação de Z_0 as tensões independentes, no caso somente v_i, são colocadas em curto com o terra.
- A corrente i_x é mostrada para evidenciar que esta seria a corrente que uma fonte de tensão (v_0) conectada a saída forneceria ao circuito com uma impedância de saída Z_0.

✓ **Ganho de tensão (A_v)**

Da figura temos:

$$v_0 = -R_C\, i_0 \qquad (1)$$

$$e \quad i_0 = i_{01} - i_{02} = v_i / r_e + v_0 / r_0 \qquad (2)$$

substituindo (2) em (1), resulta

$v_0 = -\boldsymbol{R_C}\,(v_i/r_e + v_0/\boldsymbol{r_0})$ (3)

Logo

$v_0\,(1+ \boldsymbol{R_C}/\boldsymbol{r_0}) = -\boldsymbol{R_C}\,(v_i/r_e) \Rightarrow$

$v_0 = -\boldsymbol{R_C}\,(v_i/r_e)/(1+ \boldsymbol{R_C}/\boldsymbol{r_0}) \Rightarrow$

$v_0 = -\boldsymbol{R_C}//r_0\,(v_i/r_e) \Rightarrow$

$$\boxed{A_v = v_0/v_i = -\boldsymbol{R_C}//r_0/r_e = -Z_0/r_e} \quad (4)$$

A determinação do ganho fica bem simplificada se colocarmos a impedância de saída do transistor em paralelo com a carga $\boldsymbol{R_C}$. *Nesta situação, temos:*

$\boldsymbol{v_0} = -\boldsymbol{R_C}//\boldsymbol{r_0}\,\boldsymbol{i_0}$ (5)

e $\boldsymbol{i_0} = \boldsymbol{i_{01}} = \boldsymbol{v_i}/\boldsymbol{r_e}$ (6)

substituindo (6) em (5), resulta

$v_0 = -\boldsymbol{R_C}//\boldsymbol{r_0}\,v_i/r_e$

e, novamente

$$\boxed{A_v = v_0/v_i = -\boldsymbol{R_C}//r_0/r_e = -Z_0/r_e}$$

✓ **Ganho de corrente (A_i)**

Da figura, a corrente $\boldsymbol{i_i}$ *é dividida pelo divisor resistivo* R_B *e* br_e, *de maneira que a corrente* $\boldsymbol{i_{01}}/b$ *está relacionada com* $\boldsymbol{i_i}$ *por:*

$\boldsymbol{i_{01}}/b = R_B/(R_B + br_e)\,\boldsymbol{i_i}$ (7)

Novamente, da figura, a corrente $\boldsymbol{i_{01}}$ *é dividida pelo divisor resistivo Rc e* r_0*, de maneira que a corrente* $\boldsymbol{i_0}$ *está relacionada com* $\boldsymbol{i_{01}}$ *por:*

$$\boldsymbol{i_0} = r_0/(R_C + r_0)\, \boldsymbol{i_{01}} \qquad (8)$$

Substituindo (7) em (8), resulta

$$\boldsymbol{i_0} = r_0/(R_C + r_0)\, bR_B/(R_B + br_e)\, \boldsymbol{i_i} \qquad (9)$$

logo

$$\boxed{\boldsymbol{i_0} / \boldsymbol{i_i} = A_i = r_0\, bR_B/[(R_C + r_0)\,(R_B + br_e)]} \qquad (10)$$

Normalmente,

$r_0 >> R_C$ *e* $R_B >> br_e$ *Assim,*

$$\boxed{A_i \;\; » \; b} \qquad (11)$$

Outra forma de determinar o ganho de corrente reside no fato de que:

$$\boldsymbol{i_i = v_i / Z_i} \qquad e \qquad \boldsymbol{i_0 = - v_0 / R_C} \qquad (12)$$

assim,

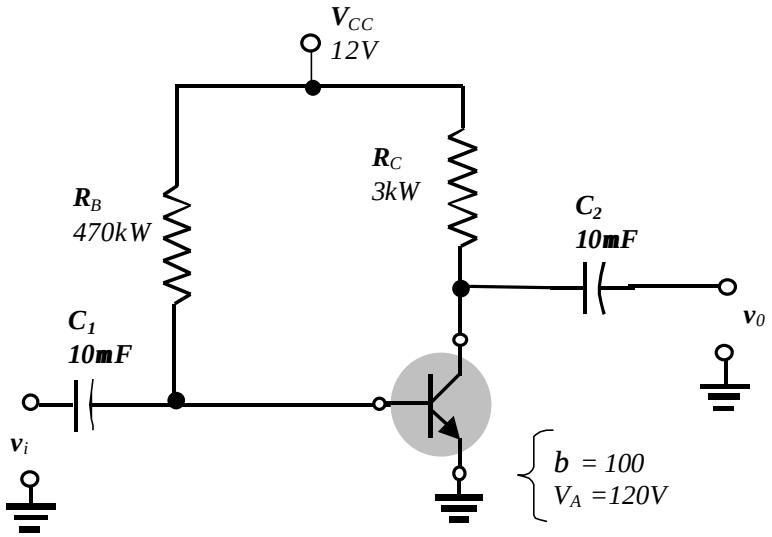
$$\boldsymbol{i_0 / i_i = A_i = -v_0 / R_C / v_i / Z_i = -v_0\, Z_i / v_i R_C =}$$

$$\boldsymbol{= -A_v Z_i / R_C = (Z_0 / r_e)(Z_i / R_C) =}$$

$$= \boxed{r_0\, bR_B/[(R_C + r_0)(R_B + br_e)]} \qquad (13)$$

- **Exercício**

Para o circuito da figura abaixo determine:
a) Determine Z_i e Z_0.
b) Determine A_v e A_i



- **Solução**

1) Análise DC

$I_B = (V_{CC} - V_{BE}) / R_B = (12V - 0{,}7V)/470kW$ » **24,0mA**

$I_C = b\ I_B = 100*24{,}0mA =$ **2,4mA**

$r_e = V_T/I_C = 26mV/2{,}4mA$ » **10,8W**

$r_0 = V_A/I_C = 120V/2{,}4mA =$ **50kW**

note que $R_B = 470kW >> b\ r_e = 100*10{,}8W = 1{,}08kW$ *e* $r_0 >> R_C$

2) Análise AC

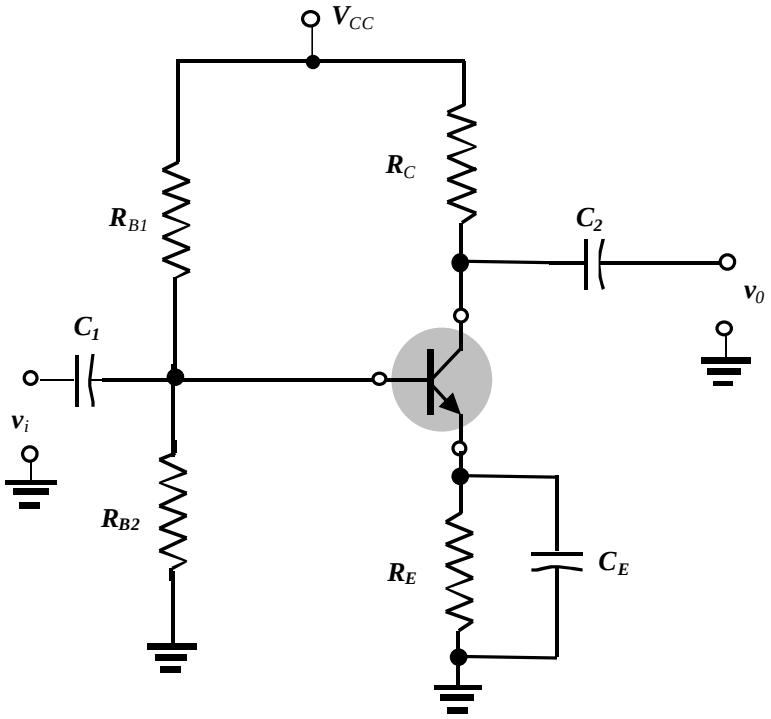
$Z_i = R_B // b\ r_e = 470kW // 1{,}08kW$ » **1,07kW » b r_e**

$Z_0 = R_C // r_0 = 3kW // 50kW$ » **2,8kW » R_C**

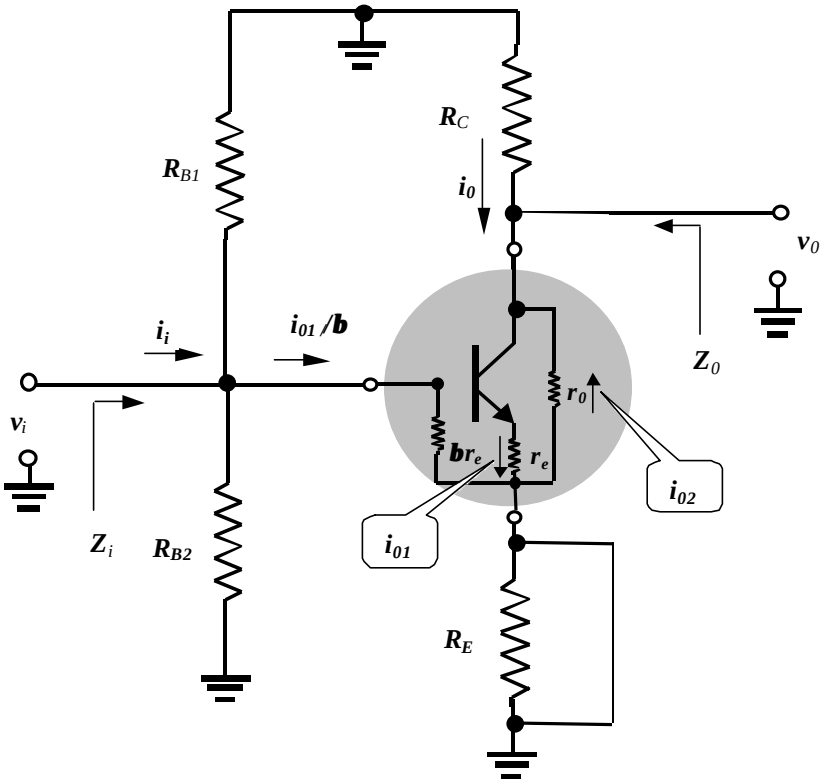
$A_v = - Z_0 / re = - 2{,}8kW / 10{,}8W =$ **-259,2 » R_C /re**

$A_i = -A_v\ Z_i / R_C = 259{,}2*1{,}07kW / 3kW =$ **92,4 » b**

- **Configuração Emissor Comum com Polarização por divisor de tensão**



Na Banda de interesse, XC_1, XC_2 e XC_E estão em curto e para análise incremental (AC) toda fonte de tensão constante está em curto com o terminal comum.



- **Determinação dos parâmetros.**

✓ **Impedância de entrada (Z_i)**

Por inspeção da figura acima, a impedância de entrada do circuito é igual à:

$$\boxed{Z_i = R_B // br_e} \qquad \text{onde } R_B = R_{B1} // R_{B2}$$

✓ **Impedância de saída (Z_0)**

Novamente, por inspeção da figura acima, a impedância de saída do circuito é igual à:

$$\boxed{Z_0 = R_C // r_0}$$

❖ Note que este circuito do ponto de vista da análise AC é exatamente igual ao circuito com polarização fixa com R_B igual ao paralelo de R_{B1} e R_{B2}.
❖ De qualquer forma continuaremos a análise do circuito para fixarmos bem a nova apresentação do modelo.

✓ **Ganho de tensão (A_v)**

Da figura temos:

$$v_0 = -R_C\, i_0 \qquad (14)$$

$$e \quad i_0 = i_{01} - i_{02} = v_i / r_e + v_0 / r_0 \qquad (15)$$

substituindo (15) em (14), resulta

$$v_0 = -R_C\,(v_i / r_e + v_0 / r_0) \qquad (16)$$

Logo

$$v_0\,(1 + R_C / r_0) = -R_C\,(v_i / r_e) \Rightarrow$$

$$v_0 = -R_C\,(v_i / r_e) / (1 + R_C / r_0) \Rightarrow$$

$v_0 = -\mathbf{R_C} // r_0 (v_i / r_e) \Rightarrow$

$$A_v = v_0 / v_i = -\mathbf{R_C} // r_0 / r_e = - Z_0 / r_e \qquad (17)$$

A determinação do ganho fica bem simplificada se colocarmos a impedância de saída do transistor em paralelo com a carga $\mathbf{R_C}$. *Nesta situação, temos:*

$$\mathbf{v_0 = -R_C // r_0\, i_0} \qquad (18)$$

$$e \quad \mathbf{i_0 = i_{01} = v_i / r_e} \qquad (19)$$

substituindo (19) em (18), resulta

$$v_0 = -\mathbf{R_C} // \mathbf{r_0}\, v_i / r_e$$

e, novamente

$$A_v = v_0 / v_i = -\mathbf{R_C} // r_0 / r_e = - Z_0 / r_e$$

(ganho de tensão = impedância do ponto vezes a transcondutância)

- ✓ **Ganho de corrente (A_i)**

Da figura, a corrente $\mathbf{i_i}$ *é dividida pelo divisor resistivo* R_B *e* br_e, *de maneira que a corrente* $\mathbf{i_{01}}/b$ *está relacionada com* $\mathbf{i_i}$ *por:*

$$\mathbf{i_{01}}/b = R_B / (R_B + br_e)\, \mathbf{i_i} \qquad (20)$$

Novamente, da figura, a corrente $\mathbf{i_{01}}$ *é dividida pelo divisor resistivo Rc e* r_0, *de maneira que a corrente* $\mathbf{i_0}$ *está relacionada com* $\mathbf{i_{01}}$ *por:*

$$\mathbf{i_0} = r_0 / (R_C + r_0)\, \mathbf{i_{01}} \qquad (21)$$

Substituindo (20) em (21), resulta

$$\boldsymbol{i_0} = r_0/(R_C + r_0)\, bR_B/(R_B + br_e)\, \boldsymbol{i_i} \qquad (22)$$

logo

$$\boxed{\boldsymbol{i_0} / \boldsymbol{i_i} = A_i = r_0\, bR_B/[(R_C + r_0)\,(R_B + br_e)]} \qquad (23)$$

Normalmente,

$r_0 >> R_C$ *e* $R_B >> br_e$

Assim

$$\boxed{A_i \;\; » \; b} \qquad (24)$$

Outra forma de determinar o ganho de corrente reside no fato de que:

$$\boldsymbol{i_i} = \boldsymbol{v_i} / \boldsymbol{Z_i} \qquad e \qquad \boldsymbol{i_0} = - \boldsymbol{v_0} / \boldsymbol{R_C} \qquad (25)$$

assim,

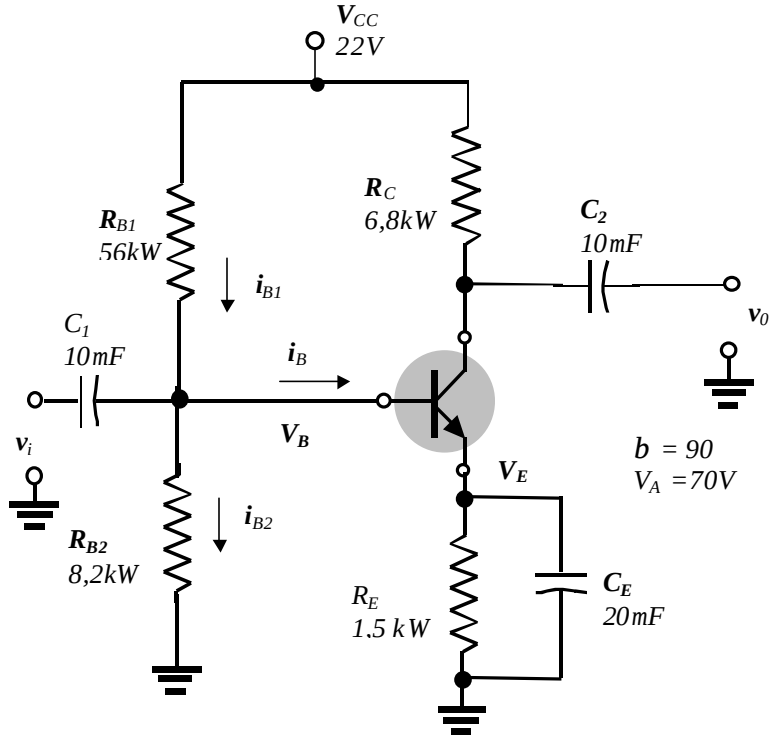
$$\boldsymbol{i_0} / \boldsymbol{i_i} = \boldsymbol{A_i} = -\boldsymbol{v_0} / \boldsymbol{R_C} / \boldsymbol{v_i} / \boldsymbol{Z_i} = -\boldsymbol{v_0}\, \boldsymbol{Z_i} / \boldsymbol{v_i}\, \boldsymbol{R_C} =$$

$$= -\boldsymbol{A_v}\, \boldsymbol{Z_i} / \boldsymbol{R_C} = (\boldsymbol{Z_0} / r_e)(\boldsymbol{Z_i} / \boldsymbol{R_C}) =$$

$$= \boxed{r_0\, bR_B/[(R_C + r_0)(R_B + br_e)]} \qquad (26)$$

- **Exercício**

Para o circuito da figura abaixo determine:
c) Determine Z_i e Z_0.
d) Determine A_v e A_i



- **Solução**

1) Análise DC (aproximada)

Como $\beta R_E >> R_B$ *(onde* $R_B = R_{B2} // R_{B1} = 7{,}1kW$*)* $\Rightarrow$ $I_{B1} \approx I_{B2}$ *logo*

$V_B = R_{B2} / (R_{B2} + R_{B1}) * V_{CC} = 8{,}2kW * 22V/(8{,}2k + 56kW) \approx 2{,}8V$

$V_E = V_B - V_{BE} = 2{,}8V - 0{,}7 = 2{,}1V$

$I_C \approx I_E = V_E / R_E \approx$ ***1,4mA***

$r_e = V_T / I_C = 26mV/1{,}4mA \approx$ ***18,6W***

$r_0 = V_A / I_C = 70V/1{,}4mA =$ ***50kW***

note que a condição $R_C = 6{,}8kW << r_0 = 50kW$ ***não*** *é verdadeira*

2) Análise AC

$Z_i = R_B // b\ r_e = 7{,}1kW//90*18{,}6W \approx 7{,}1kW//1{,}67kW \approx$ ***1,35kW***

Note que a condição $R_B >> b\ r_e$ ***não*** *é satisfeita*

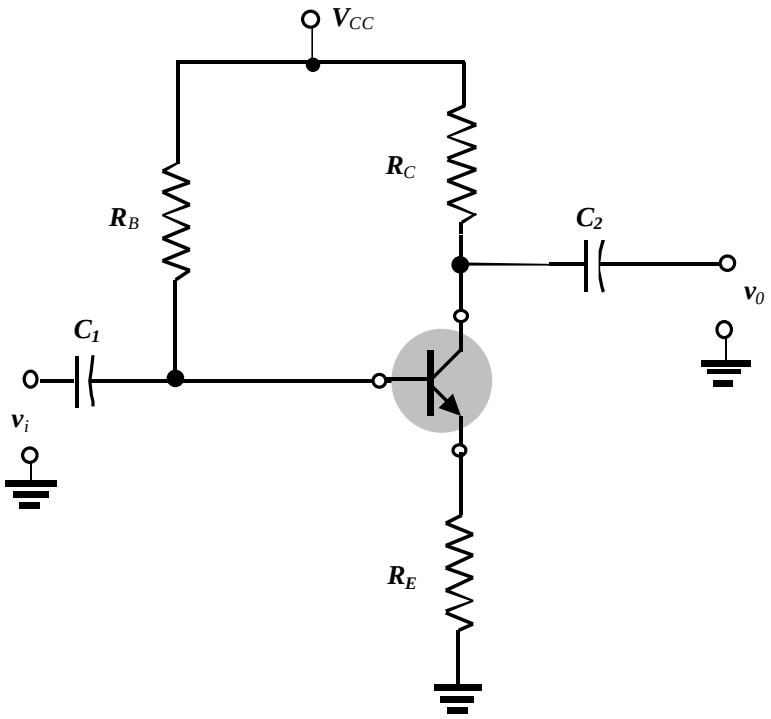
$Z_0 = R_C//r_0 = 6{,}8kW//50kW \approx$ ***5,98kW***

$A_v = -Z_0/re = -5{,}98kW/18{,}6W \approx$ ***-322***

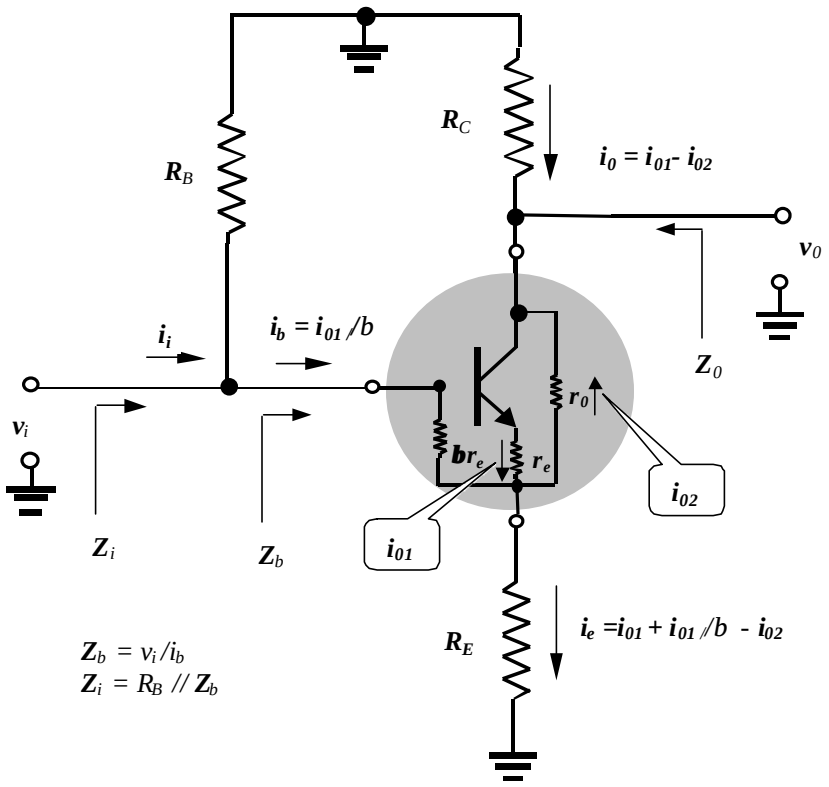
$A_i = -A_v Z_i/R_C = 322*1{,}35kW/6{,}8kW \approx$ ***64 (bem diferente de b =90)***

- **Configuração Emissor Comum com resistor no emissor**

Com Resistor de emissor não desacoplado (não desviado)



Na Banda de interesse, XC_1, XC_2 e XC_E estão em curto e para análise incremental (AC) toda fonte de tensão constante está em curto com o terminal comum.



Determinação dos parâmetros.

✓ **Impedância de entrada (Z_i)**

- *A presença do resistor r_0 "complica" a determinação da impedância de entrada* Z_i *. É fácil de verificar que* ***se r_0 fosse suprimido (i_{02}=0)*** *a impedância* Z_b *seria igual à:*

Da malha base emissor, temos

$v_i = br_e i_b + R_E(i_{01} + i_{01}/b) = br_e i_b + R_E(1+b)i_b$ *logo,*

$$Z_b = v_i/i_b = br_e + (b+1)R_E \qquad (27)$$

- *Apenas para aprimorar a nossa capacidade de análise,* ***se Rc estivesse em curto com o terra****, a impedância* Z_b *seria igual à:*

$$Z_b = br_e + (b+1)R'_E \qquad (28)$$

Onde $R'_E = R_E // r_0$

Para facilitar a dedução da impedância Z_b, incluindo a presença da resistência de saída do transistor, r_0 , é importante para simplificação e com esta nova "cara" do modelo p híbrido evitar não introduzir desnecessariamente variáveis independentes.

Da malha coletor emissor, temos

$$R_C (i_{01} - i_{02}) - r_0 i_{02} + R_E(i_{01} - i_{02} + i_{01}/b) = 0$$

$$R_C\, i_{01} + R_E(i_{01} + i_{01}/b) = R_C\, i_{02} + R_E\, i_{02} + r_0\, i_{02}$$

$$i_{02} = i_{01} * [\, R_C + R_E(1 + 1/b)]/(\, R_C + R_E + r_0\,)$$

$$i_{02} = i_{01} * [\, R_C + R_E(1 + 1/b)]/\, R_T \qquad (29)$$

onde $R_T = R_C + R_E + r_0$

Da malha base emissor, temos

$$v_i = r_e i_{01} + R_E\, [(1+1/b)\, i_{01} - i_{02}] \qquad (30)$$

Substituindo (29) em (30), resulta

$$v_i = r_e i_{01} + R_E \{(1+1/b) - [\, R_C + R_E(1 + 1/b)]/R_T\} \, i_{01}$$

$$v_i = r_e i_{01} + R_E \{[r_0(1 + 1/b) + R_C/b] \,/R_T\} \, i_{01}$$

Como $i_{01} = b i_b$ *, então*

$$v_i = b r_e i_b + R_E \{[r_0(b+1) + R_C] \,/R_T\} \, i_b$$

Logo,

$$Z_b = b r_e + (b+1) R_E \{[r_0 + R_C/(b+1)] \,/R_T\} \qquad (31)$$

Note que se r_0 é infinito a equação (31) torna igual à equação (27). E se Rc for muito menor que r_0 a equação (31) é bem aproximada pela equação (28).

Na prática sempre $r_0 >> R_C/(b+1)$, e $b+1 \gg b$ de maneira que a equação (31) pode ser muito bem aproximada por

$$\boxed{Z_b \gg br_e + bR_E r_0/R_T} \quad \text{e} \quad (32)$$

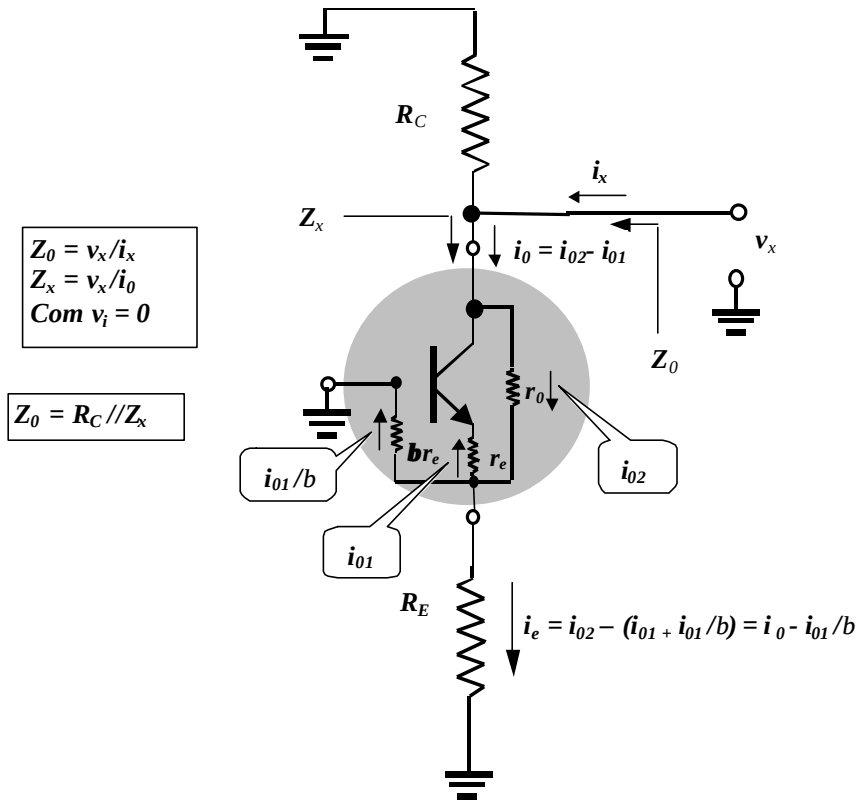
$$\boxed{Z_i = R_B // Z_b}$$

✓ **Impedância de saída (Z_0)**

- *Novamente, apenas para aprimorar a nossa capacidade de análise,* ***se R_E estivesse em curto com o terra****, a impedância Z_0 seria igual à:*

$$Z_0 = R_C // r_0$$

Aqui é importante redesenharmos a porção de saída do circuito com a entrada aterrada.



Da malha base emissor, temos

$-r_e\, i_{01} + R_E(i_{02} - i_{01} - i_{01}/b) = 0$ Þ

$i_{01} = R_E / [R_E(1+1/b)+r_e]\, i_{02}$ (33)

ou seja, a corrente i_{02} *é dividida pelo divisor resistivo -* r_e *e* $Re//b\, r_e$

Temos ainda,

$i_0 = i_{02} - i_{01} = i_{02} - R_E / [R_E(1+1/b)+r_e]\, i_{02}$

$\mathbf{i_{02} = [(b+1)R_E+br_e] / (R_E+br_e)* i_0}$ *e* (34)

substituindo (34) em (33) resulta,

$\mathbf{i_{01} = b R_E / (R_E+br_e)* i_0}$ (35)

Da malha coletor emissor, temos

$v_x = r_0 i_{02} + r_E i_{01}$ (36)

substituindo (34) e (35) em (36) resulta,

$v_x = \{r_0\, [(b+1)R_E+br_e] / (R_E+br_e) + br_eR_E / (R_E+br_e)\}\, i_0$

$v_x/i_0 = \{r_0\, [(b+1)R_E+br_e] + br_eR_E\}/(R_E+br_e)$ *ou*

$v_x/i_0 = r_0 + b(r_0 + r_e) R_E/(R_E+br_e)$

ou, como sempre $r_0 >> r_e$

$Z_x \;\text{»}\; r_0\, [1+ b\; R_E/(R_E+br_e)]$ (36)

e

$$Z_0 = R_c // Z_x \quad (37)$$

Se $R_E = 0$, a impedância Z_x é igual a impedância de saída do transistor (r_0). Por outro lado se $R_E >> \beta r_e$, a impedância Z_x aumentaria por

$$Z_x \gg r_0 (1+ \beta) \quad (38)$$

✓ **Ganho de tensão (A_v)**

Da figura temos:

$$v_0 = -R_C (i_{01} - i_{02}) \quad (39)$$

e $v_i = Z_b i_b = Z_b i_{01}/\beta$ *logo*

$$i_{01} = \beta v_i / Z_b \quad (40)$$

A corrente i_{02} está relacionada com i_{01} como dado pela equação (29), e repetida abaixo

$$i_{02} = i_{01} * [R_C + R_E(1 + 1/\beta)]/ R_T \quad (41)$$

Substituindo (41) eem (39) resulta,

$$v_0 = -R_C \{1 -[R_C + R_E(1 + 1/\beta)\}/ R_T i_{01} \quad (42)$$

Substituindo (40) eem (42) resulta,

$$v_0 /v_i = A_v = - \beta R_C \{r_0 - R_E/\beta \}/(Z_b R_T)$$

Na prática sempre $r_0 >> R_E/\beta$, assim

$$A_v \gg - \beta R_C r_0 /(Z_b R_T)$$

Substituindo Z_b (equação (32)) resulta,

$$A_v \gg -R_C/(r_e\, R_T/r_0 + R_E) \qquad (43)$$

Note que se $R_E = 0$ então, $A_v \gg -R_C\, r_0/r_e\,(R_C + r_0) = -Rc//r_0/r_e$.

Se $r_0 >> (R_C + R_E)$ então,

$$A_v \gg -R_C/(r_e\, r_0/r_0 + R_E) = \mathbf{-R_C/(r_e + R_E)} \qquad (44)$$

✓ **Ganho de corrente (A_i)**

Usando a igualdade

$\mathbf{i_0 / i_i} = A_i = -A_v Z_i/R_C$ *então de (43)*

$$A_i \gg R_B//Z_b/(r_e\, R_T/r_0 + R_E) \qquad (45)$$

Substituindo a equação (32) resulta,

$$A_i \gg R_B//(br_e + bR_E\, r_0/R_T)/(r_e\, R_T/r_0 + R_E)$$

Resolvendo

$$A_i \gg bR_B/[R_T/r_0(R_B + br_e) + bR_E] \qquad (46)$$

Note que se $R_T \gg r_0$ então,

$$A_i \gg bR_B/[R_B + br_e + bR_E]$$

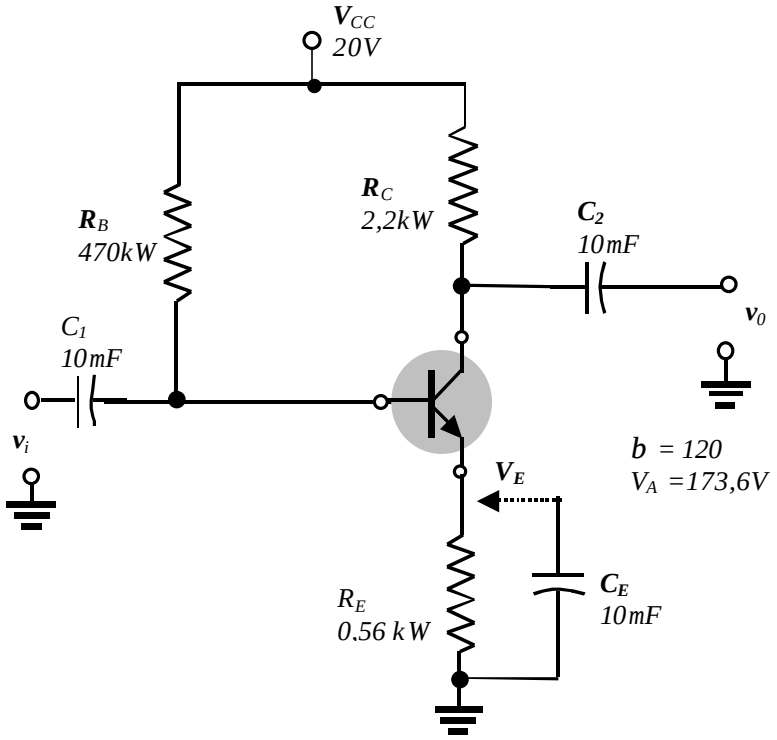
Ou seja, o ganho de entrada é reduzido devido ao divisor resistivo R_B ,$br_e + bR_E$.

Exercício (sem C_E)

Para o circuito da figura abaixo determine:

a) Determine Z_i e Z_0.

b) Determine A_v e A_i



- **Solução**

1) Análise DC

$I_B = (V_{CC} - V_{BE})/(R_B + (b+1)R_E) = (20V-0,7V)/(470kW + 121*0,56kW)$

$= \mathbf{35,9mA}$

$I_C \gg I_E = (b+1)\, I_B \gg \mathbf{4,34mA}$

$r_e = V_T/I_C = 26mV/4,34mA \gg \mathbf{6W}$

$r_0 = V_A/I_C = 70V/4,34mA = \mathbf{40kW}$

note que a condição $r_0 = 40kW >> R_C + R_E = 2,76kW$ *é verdadeira.Logo,* $R_T \gg r_0$

2) Análise AC

$\mathbf{Z}_b \gg br_e + bR_E\, r_0 / R_T \gg b(r_e + R_E) = 120(6 + 560W) = \mathbf{67,9kW}$

$Z_i = Z_b // R_B = 67{,}92kW // 470kW =$ ***59,3kW***

se $\mathbf{Z}_b$ *não fosse aproximada* ($Z_b = 63{,}6kW$)

$Z_i =$ ***56,0 kW***

Como $r_0 >> R_C$

$Z_0 \gg R_C = 2{,}2kW$

Solução não aproximada

$Z_x \gg r_0 [1 + b\ R_E/(R_E + br_e)] = 40kW[1+120*560W/(560W+120*6W)]$

$= 40kW[1+120*560W/1280W] =$ ***2,14MW***

$Z_0 = R_C // Z_x = 2{,}2kW // 2{,}14MW =$ ***2,197kW***

$A_v \gg - R_C/(r_e\ R_T/r_0 + R_E)$ *como* $r_0 >> R_C + R_E$

$A_v \gg - R_C/(r_e + R_E) = -2200W/(6W+560W) =$ ***-3,887***

Solução não aproximada

$A_v = - R_C/(r_e\ R_T/r_0 + R_E) = - 2200W/(6W*42{,}57kW/40kW+560W)$

$\gg -2200/(6{,}385W+560W) \gg$ ***-3,884***

$A_i = -A_v Z_i/R_C = 3{,}88*59{,}3kW/2{,}2kW \gg$ ***104,6*** $(<b)$

Utilizando a aproximação

$A_i \gg bR_B/(R_B + br_e + bR_E) = 120*470kW/(470kW+0{,}72kW+67{,}2kW)$

$= 120*470kW/537{,}92kW =$ ***104,8***

Solução não aproximada

$A_i \gg bR_B/[R_T/r_0(R_B + br_e) + bR_E]$

$= 120*470kW/[42{,}57kW/40kW(470kW+0{,}72kW)+120*0{,}56kW)$

$=$ ***99,3***

Exercício (com C_E)

Com o circuito anterior com o resistor de emissor desaclopado:
c) Determine Z_i e Z_0.
d) Determine A_v e A_i

1) Análise dc

Continua a mesma.

3) Análise ac

$Z_B = br_e = 120*6W = 720W$

$Z_i = R_B // Z_B = 470kW // 720W$ » ***717W*** *(diminui bastante)*

$Z_0 = r_0 // R_C = 40kW // 2{,}2kW$ » ***2,08kW*** *(praticamente inalterada)*

$A_v = -Z_0/r_e = 2080W/6W$ » ***346,6*** *(aumentou bastante)*

$A_i = b\ R_B/(R_B + br_e) = 120*470kW/(470kW + 120*6W)$

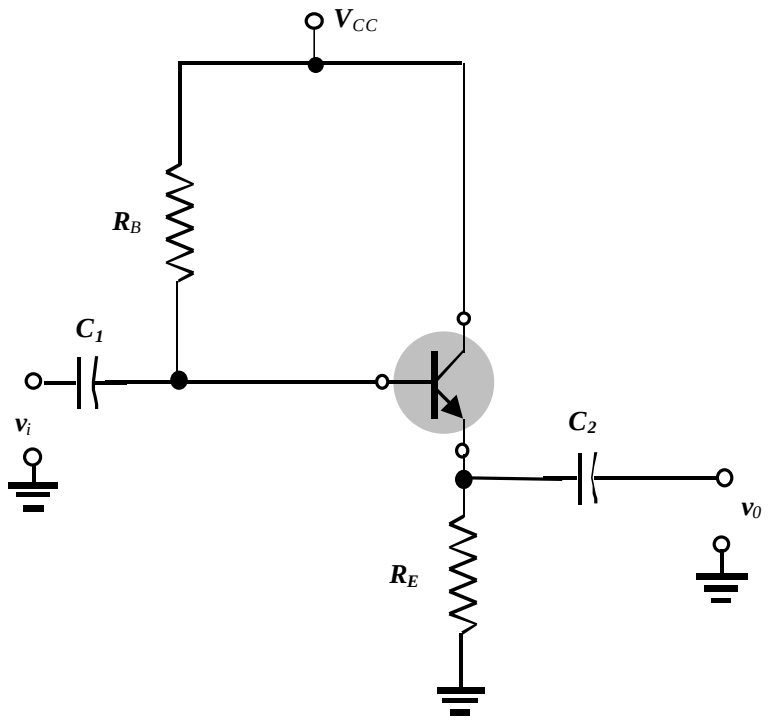
$= 120*470kW/470{,}72kW = 120*0{,}998$ =» ***119,8*** » *b (praticamente inalterado)*

Conclusão:

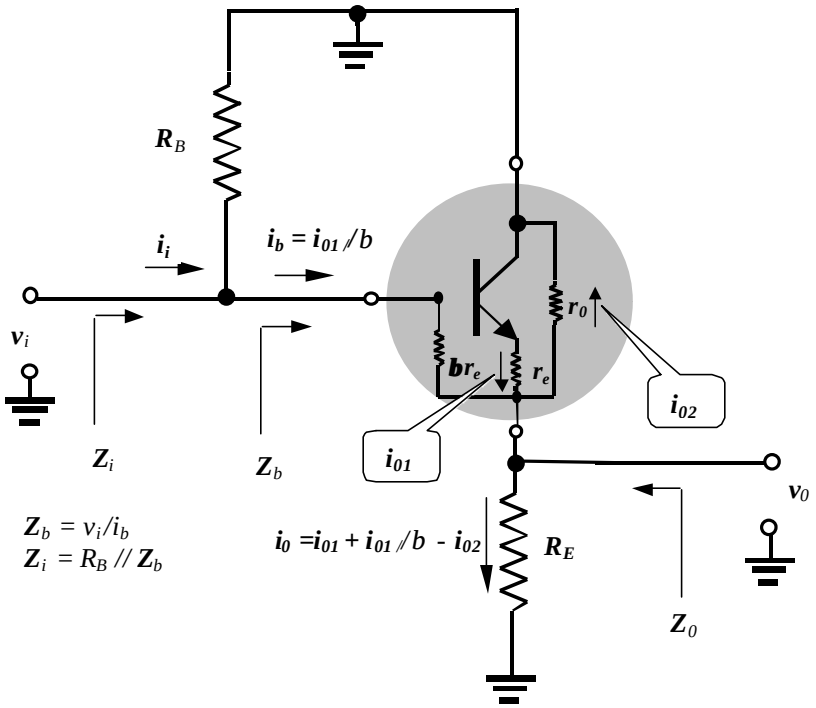
O capacitor de desaclopamento C_E produz o efeito de:

1) *Aumentar o ganho na razão aproximada de $(R_E + r_e)/r_e$;*
2) *Diminuir a impedância de entrada na mesma razão;*
3) *Praticamente não influencia no ganho de corrente;*
4) *Praticamente não influencia na impedância de saída.*

- **Configuração seguidor de emissor (Coletor Comum)**



Na Banda de interesse, XC_1, XC_2 estão em curto e para análise incremental (AC) toda fonte de tensão constante está em curto com o terminal comum.

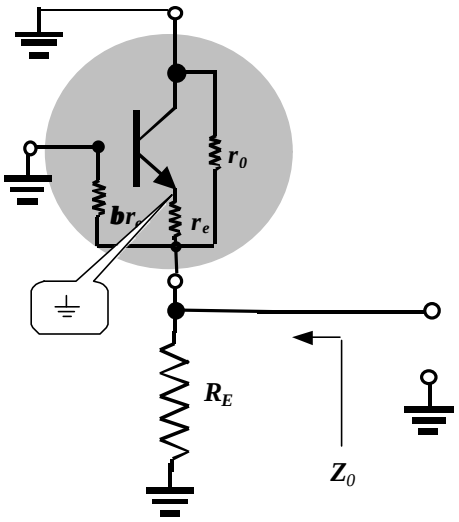


Da figura vemos que r_0 está em paralelo com R_E de maneira que chamando de $R'_E = R_E // r_0$ vem

$$Z_B = \beta r_e + (\beta+1)R'_E \qquad e$$

$$Z_i = R_B // Z_B \qquad (47)$$

Para a determinação de Z_0, vamos redesenhar a porção de saída do circuito.



Da figura acima vemos por inspeção que,

$$Z_0 = R'_E // \beta r_e // r_e \;\; » \;\; // \alpha r_e » R'_E // re \qquad (48)$$

Para a determinação do ganho de tensão, basta observar que a saída v_0 é obtida através do divisor resistivo $\beta r_e // r_e$ e R'_E. Logo,

$$A_v = R'_E / (\beta r_e // r_e + R'_E) » R'_E / (r_e + R'_E) \qquad (49)$$

O ganho de corrente (i_0/i_i) é facilmente determinado observando que a corrente de entrada, i_i é dividida pelo divisor resistivo R_B e Z_B, e a corrente $i_{01}(1+1/\beta)$ é dividida pelo divisor resistivo R_E e r_0, de maneira que

$$i_b = i_{01}/\beta = R_B / (R_B + Z_B) i_i \quad Þ$$

$$i_{01} = \beta R_B / (R_B + Z_B) i_i \qquad e \qquad (50)$$

$i_0 = r_0 /(R_E + r_0) (1+1/b) i_{01}$ (51)

Substituindo (50) em (51) resulta,

$A_i = i_0 / i_{01} = r_0 b R_B /[(R_E + r_0) (1+1/b)(R_B + Z_B)]$

$A_i \gg b /[(R_E/r_0+1)(1 + Z_B/R_B)]$ (52)

Ou a forma indireta

$A_i = -A_v Z_i/R_E$

Note que em (52) se $R_E/r_0 << 1$ *e* $Z_B/R_B >>1$*, o ganho de corrente é igual a* b.