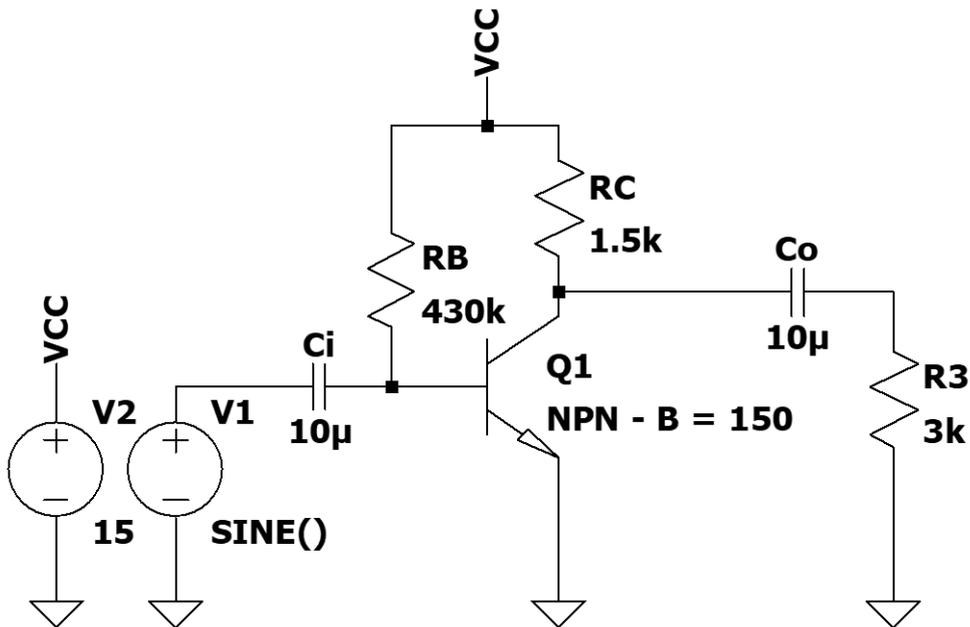


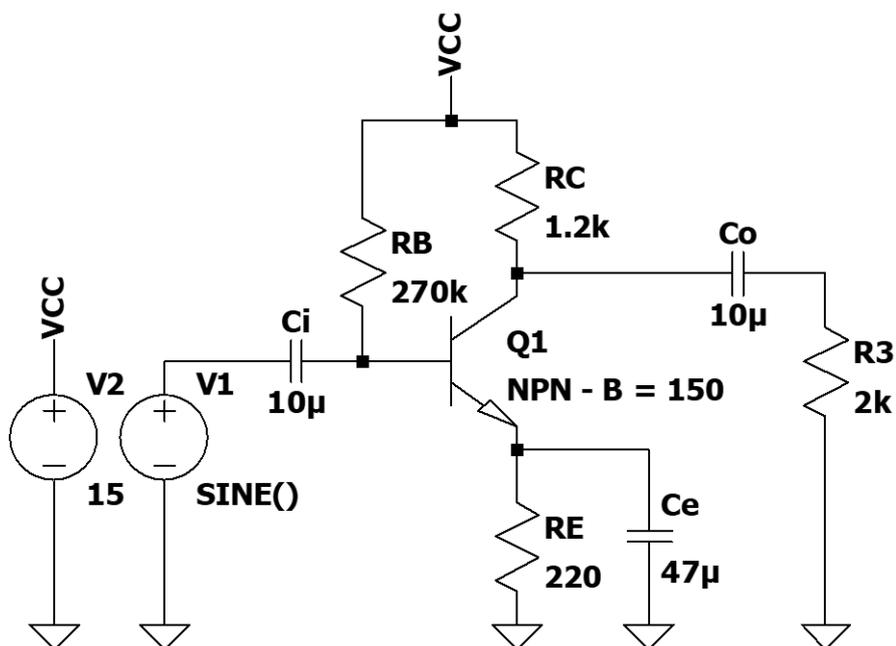
1º Lista de Exercícios – ELTA02A

Questão 1) Desenhe as retas CA e CC e determine a eficiência dos circuitos abaixo:

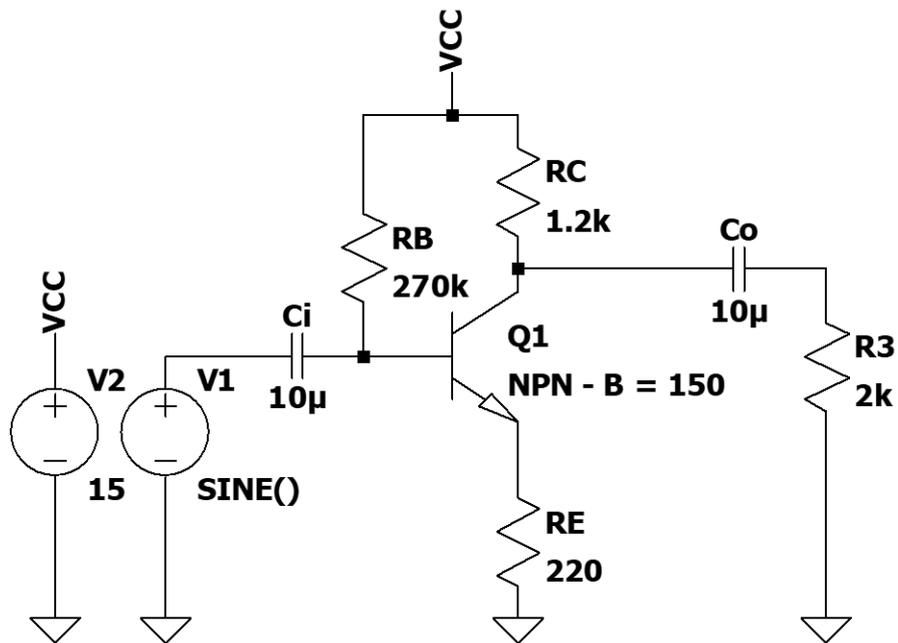
a) Amplificador classe A, configuração emissor comum (polarização fixa).



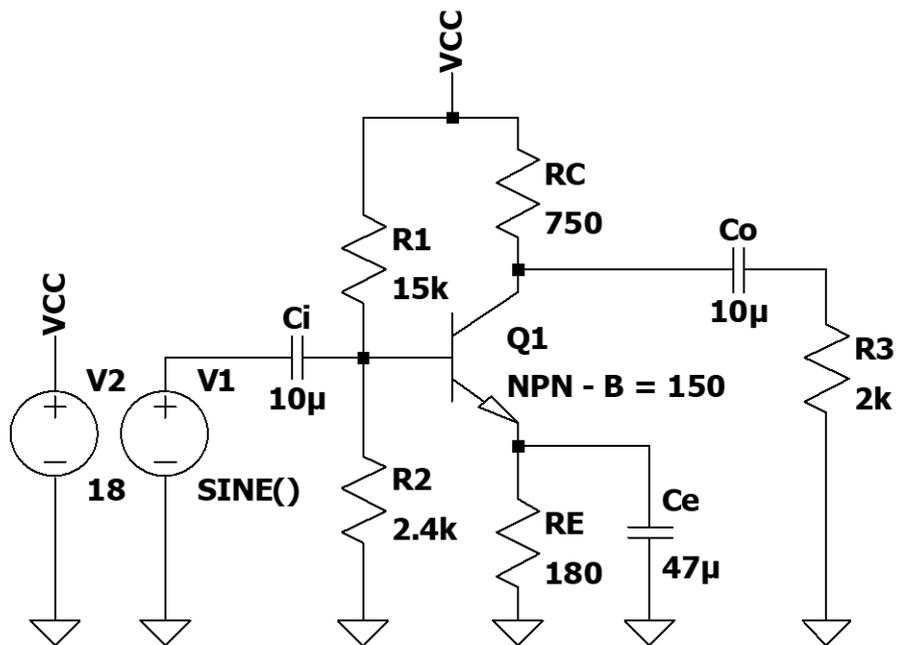
b) Amplificador classe A, configuração emissor estabilizado (emissor estável) com CE.



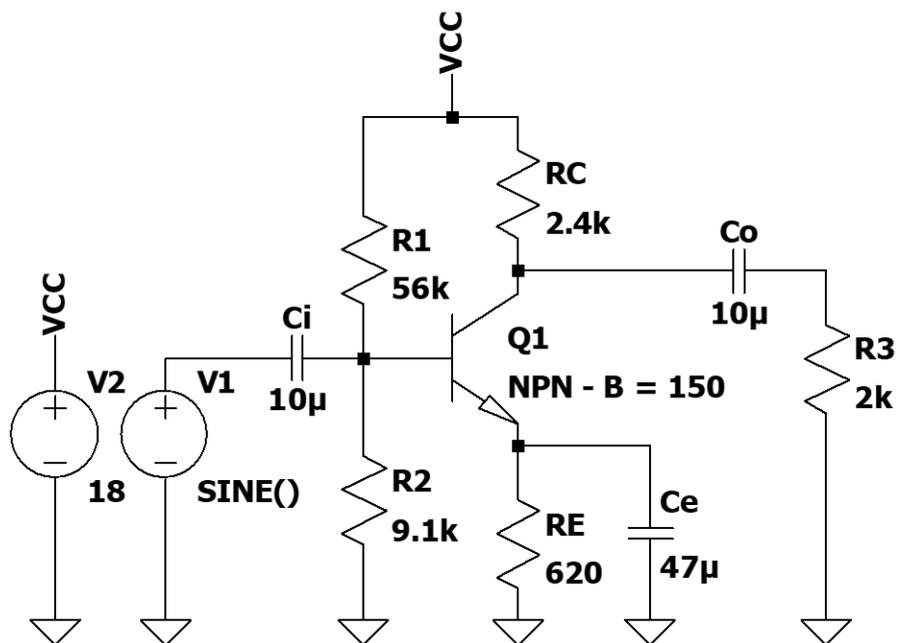
c) Amplificador classe A, configuração emissor estabilizado(emissor estável) sem CE.



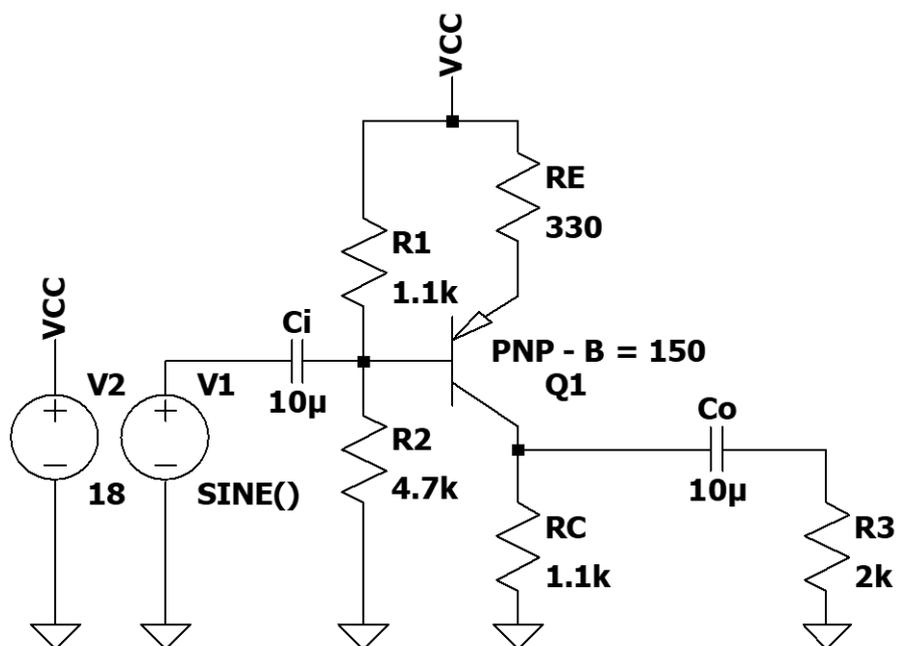
d) Amplificador classe A, configuração por divisor de tensão com CE.



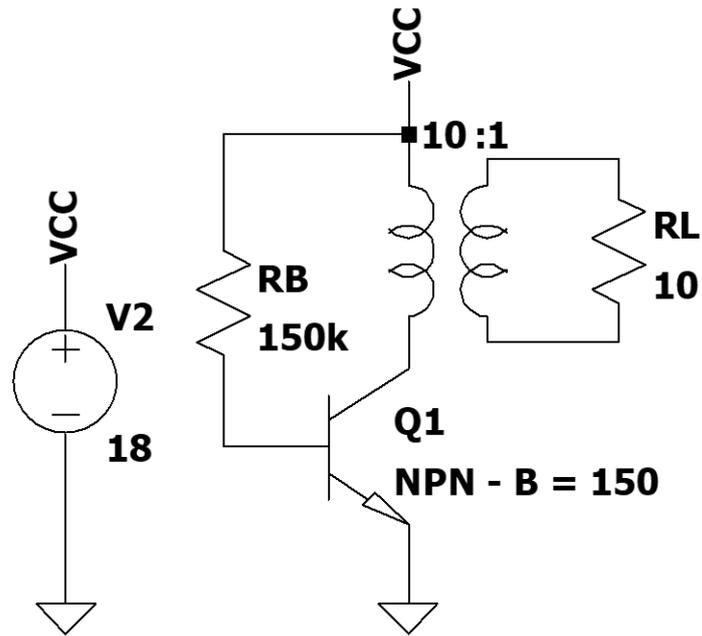
e) Amplificador classe A, configuração por divisor de tensão com CE.



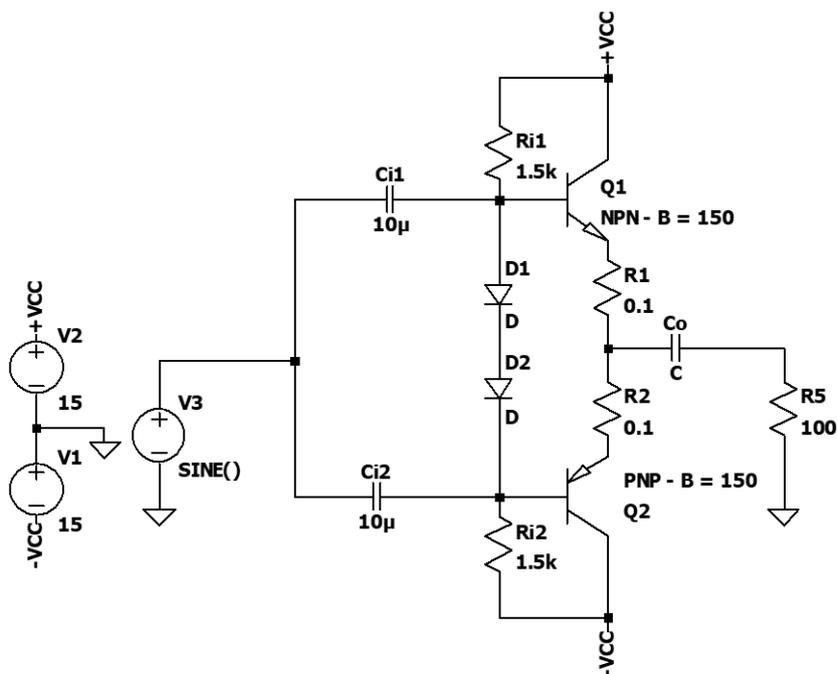
f) Amplificador classe A, configuração por divisor de tensão sem CE.



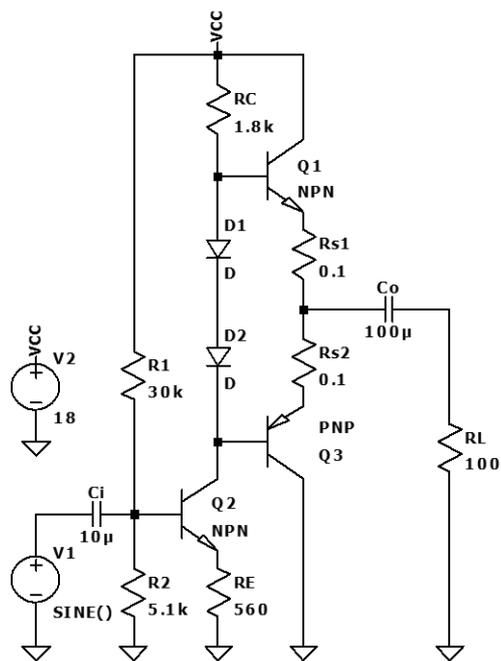
g) Amplificador classe A com Trafo.



h) Amplificador classe B com malha de polarização (classe AB).

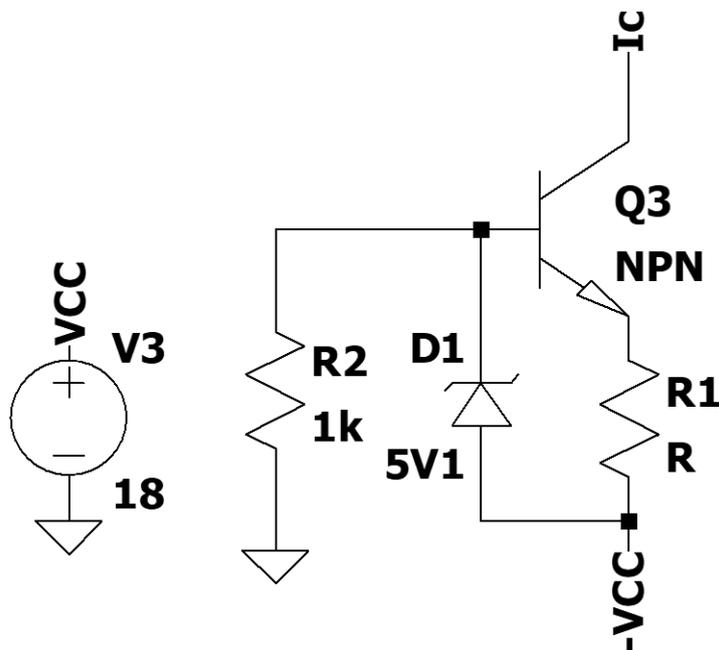


i) Acionador de classe B.

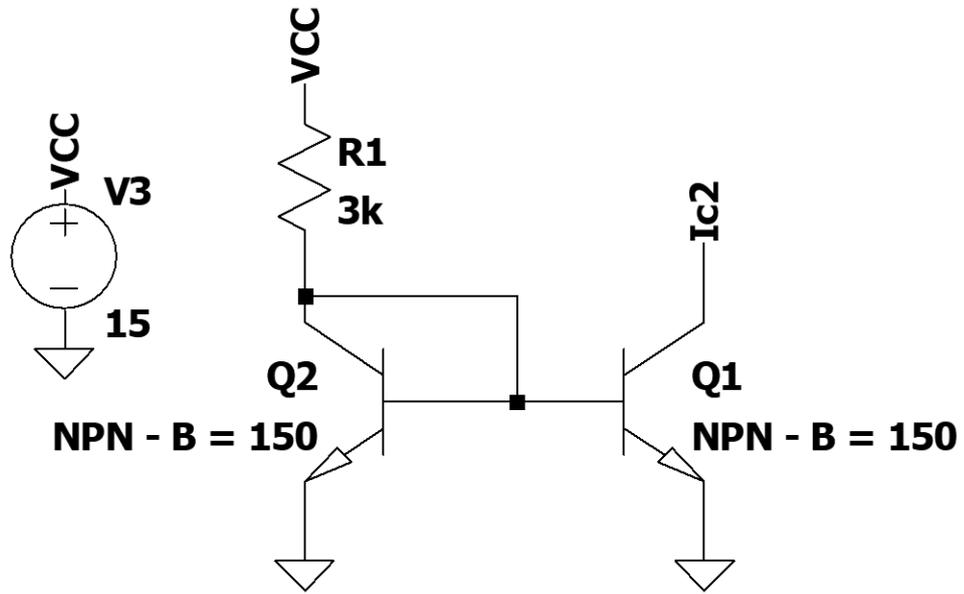


Questão 2) Determine a corrente I_c nos circuitos abaixo:

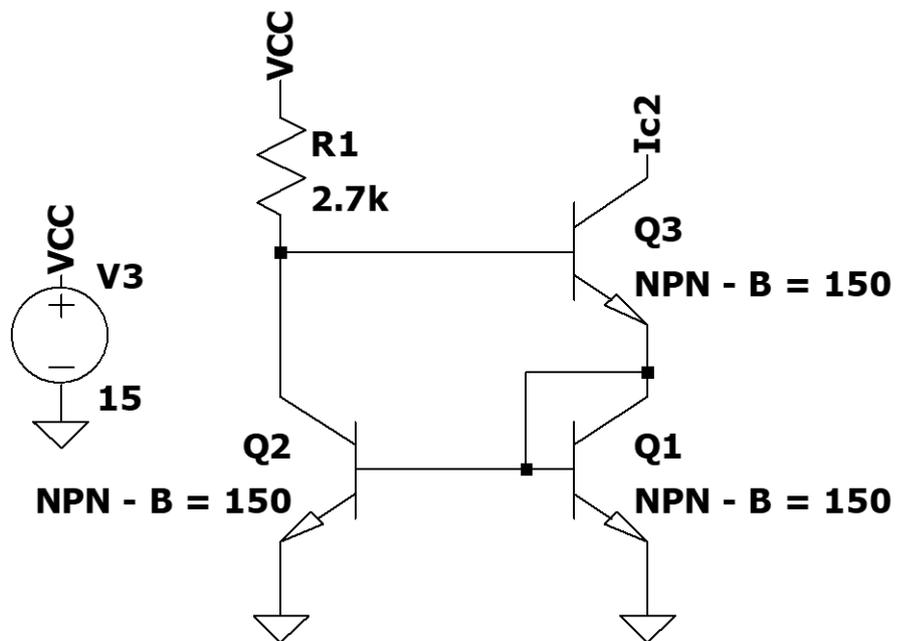
a) Fonte de corrente (Considere $R1 = 1k5 \Omega$).



b) Espelho de corrente(simples).

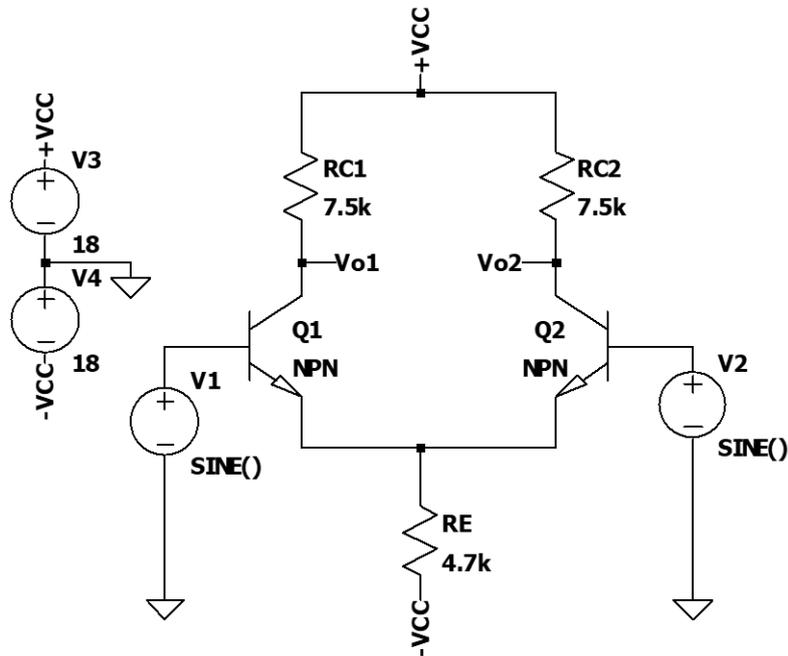


c) Espelho de corrente(Wilson).

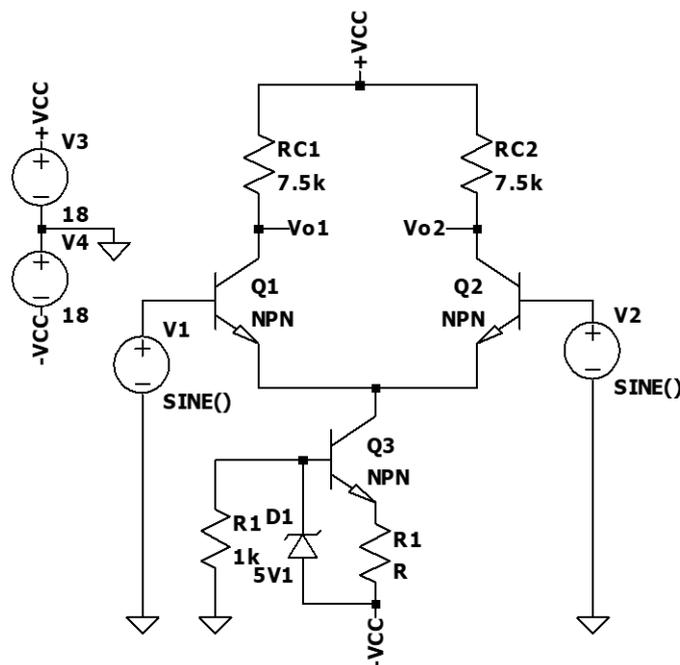


Questão 3) Para os amplificadores na configuração diferencial, determine o ganho de modo comum(A_{MC}), o ganho diferencial(A_D) e a razão de rejeição de modo comum($CMRR$).

a) Amplificador diferencial com fonte de corrente simples.

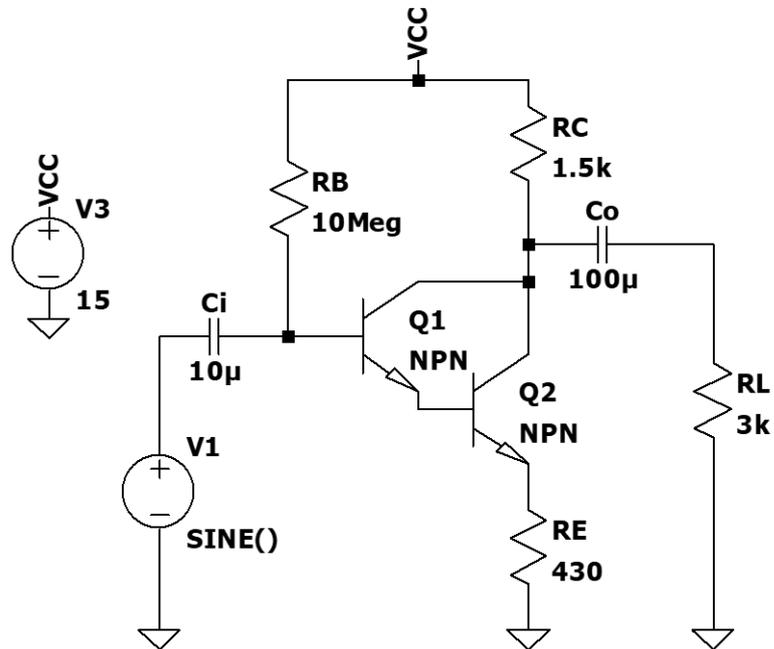


b) Amplificador diferencial com fonte de corrente utilizando diodo Zener e transistor. Considere $R1 = 1k8\Omega$ e $r_o = 70k\Omega$.



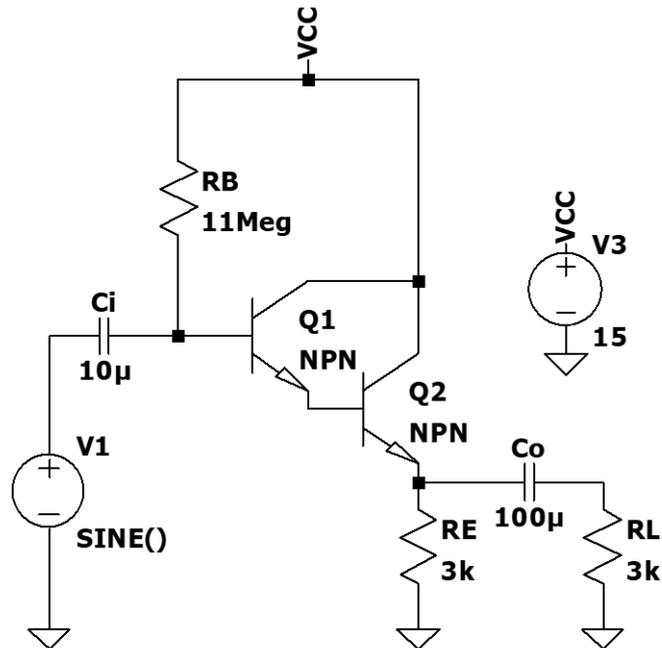
Questão 4) Faça a análise CA e CC dos circuitos abaixo.

a) Amplificador Darlington emissor comum ($\beta_D = 4000$, $r_i = 2k\Omega$ e $V_{BED} = 1,4V$).



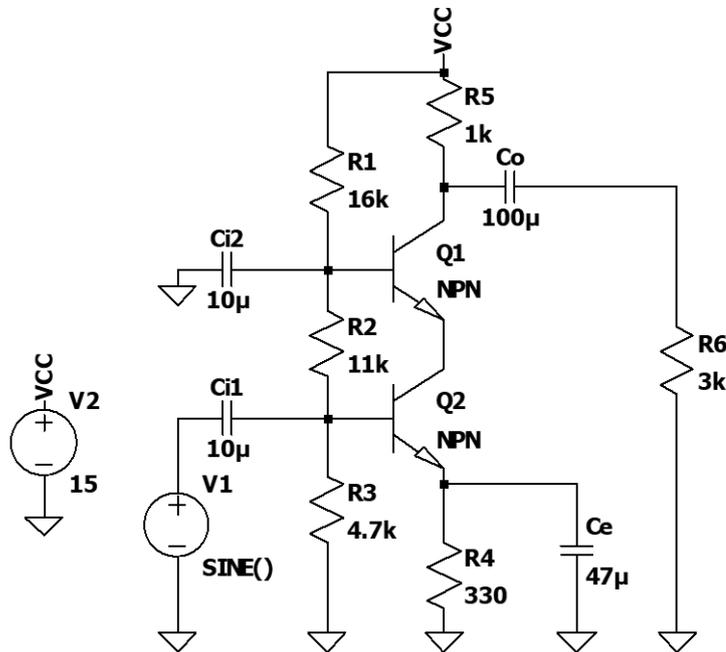
b) Amplificador Darlington coletor comum (seguidor de emissor).

Dados: $\beta_D = 4000$, $r_i = 2k\Omega$ e $V_{BED} = 1,4V$.

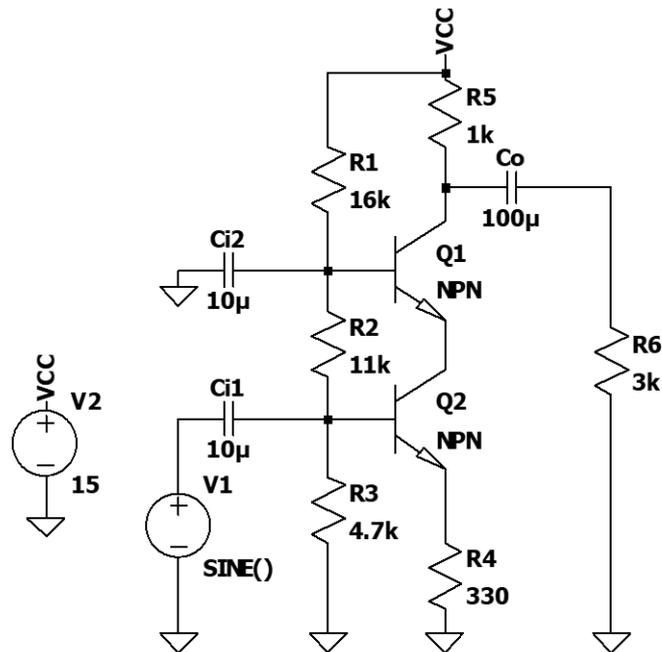


Questão 5) Faça a análise CA e CC dos circuitos abaixo e discuta suas diferenças.

a) Amplificador Cascode com capacitor de desvio ($\beta_1 = \beta_2 = 150$).



b) Amplificador Cascode sem capacitor de desvio ($\beta_1 = \beta_2 = 150$).



Resoluções

Questão 1)

a) Análise CC:

Para a corrente I_B , temos:

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{15V - 0,7V}{430 k\Omega} = 33,26 \mu A$$

Calculando a corrente I_{CQ} :

$$I_{CQ} = \beta I_B = 150 \times 33,26 \times 10^{-6} A = 4,99 mA$$

Calculando a tensão V_{CEQ} :

→ Como não temos resistência no emissor, a equação de V_{CEQ} é da seguinte forma:

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_C = 15 - 4,99 \times 10^{-3} A \times 1500 = 7,52 V$$

Para a reta de carga CC, temos:

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_C \rightarrow \text{já que o emissor está conectado no terra.}$$

Precisamos de 2 pontos para uma reta, portanto, utilizando a equação acima, temos os pontos:

Se $V_{CE} = 0 V$, temos a corrente de saturação, então:

$$I_{CsatCC} = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{15}{1500 \Omega} = 10 mA$$

O ponto **(0,10mA)**, é o ponto de saturação.

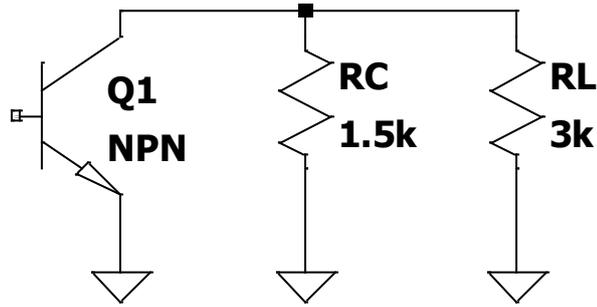
Se $I_C = 0 A$, temos a tensão de corte, então:

$$V_{CEcorteCC} = V_{CC} = 15 V$$

O ponto **(15,0)**, é o ponto de corte.

Para a reta de carga CA, temos:

Para a determinação dos pontos para a reta de carga CA, temos que determinar o r_{ac} , que é a resistência no regime vista pelo emissor, deste modo:



Do ponto de vista do transistor, o r_{ac} , é:

$$r_{ac} = R_C || R_L = 1500\Omega || 3000\Omega = 1\text{ k}\Omega \rightarrow \text{Já que não temos um resistor de emissor.}$$

Agora a determinação dos pontos de saturação e corte CA.

Para o ponto de corte, temos:

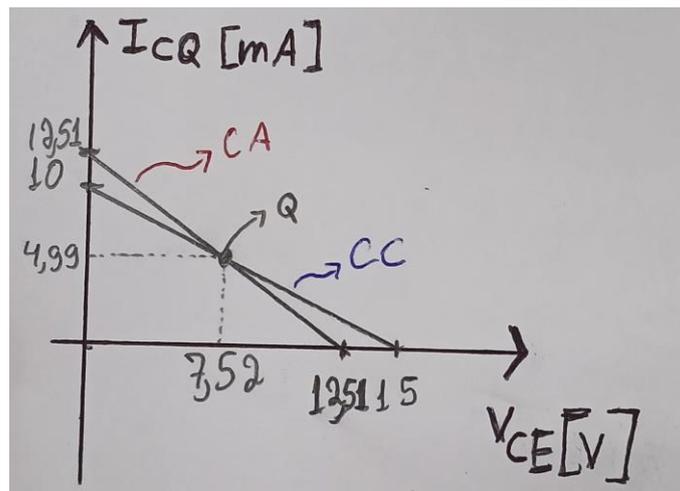
$$V_{CE\text{corteCA}} = V_{CEQ} + I_{CQ}r_{ac} = 7,52 + 4,99 \times 10^{-3}\text{ A} \times 1000\Omega = 12,51\text{ V}$$

O ponto (12,51 , 0), é o ponto de corte CA.

Para o ponto de saturação, temos:

$$I_{C\text{satCA}} = I_{CQ} + \frac{V_{CEQ}}{r_{ac}} = 4,99 \times 10^{-3}\text{ A} + \frac{7,52\text{ V}}{1000\Omega} = 12,51\text{ mA}$$

O ponto (0, 12,51 mA), é o ponto de corte CA.



Determinando da eficiência do circuito:

É necessário determinar a tensão de coletor-emissor de pico a pico máxima ($V_{CEPP\text{máx}}$).

Para isso, é necessário analisar as tensões V_{CEQ} e $I_{CQ}r_{ac}$, a tensão que for menor vai limitar a excursão do sinal de saída.

Para este circuito temos que:

$$I_{CQ}r_{ac} < V_{CEQ} \rightarrow V_{CEPP\text{máx}} = 2 \times I_{CQ}r_{ac} = 2 \times 4,99 \times 10^{-3}\text{ A} \times 1000\Omega = 9,98\text{ V}$$

Para a tensão de pico a pico de saída do circuito temos:

$$V_{OPP\text{máx}} = V_{CEPP\text{máx}} = 9,98\text{ V}, \text{ visto que } R_{EAC} = 0.$$

De posse de $V_{OPP\text{máx}}$:

$$P_{Omáx} = \frac{V_{OPP\text{máx}}^2}{8R_L} = \frac{9,98^2}{8 \times 3000} = 4,15\text{ mW}$$

Agora também é necessário calcular a potência entregue pela fonte CC. Para isso é necessário saber para onde vai a corrente fornecida pela fonte, assim para esse circuito temos duas correntes vindas da fonte CC, a corrente I_{CQ} e a corrente I_B , então:

$$P_{CC} = V_{CC}(I_B + I_{CQ}) = 15 \times (32,26 \mu A + 4,99 mA) = 75,33 mW$$

Por fim,

$$Eficiência\% = \frac{P_{Omax}}{P_{CC}} 100\% = 5,51 \%$$

As questões a seguir, para a determinação dos pontos de corte e saturação, r_{ac} , eficiência, etc., seguem a mesma base da questão anterior, exceto alguns ajustes.

b) Análise CC:

$$V_{CC} - R_B I_B - V_{BE} - I_E R_E = 0, \text{ considerando } I_{CQ} \cong I_E \cong \beta I_B$$

$$15 - 270k\Omega I_B - 0,7 - 150 \times I_B \times 220 = 0$$

$$I_B = 47,19 \mu A$$

$$I_{CQ} = \beta I_B = 7,08 mA$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}(R_C + R_E) = 4,95 V, \text{ já que temos } R_E.$$

Retas de carga CC:

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}(R_C + R_E)$$

Se $I_C = 0$, temos:

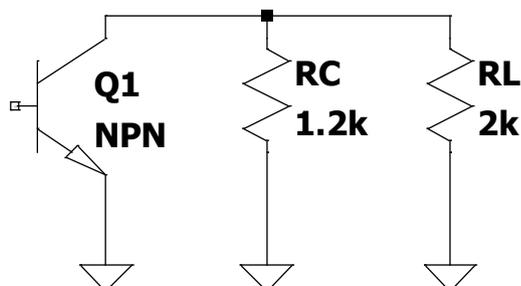
$$V_{CEcorteCC} = V_{CC} = 15 V$$

Se $V_{CEQ} = 0$, temos:

$$I_{CsatCC} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} = 10,56 mA$$

Para a reta de carga CA:

Como $R_{EAC} = 0$, devido ao capacitor no emissor:

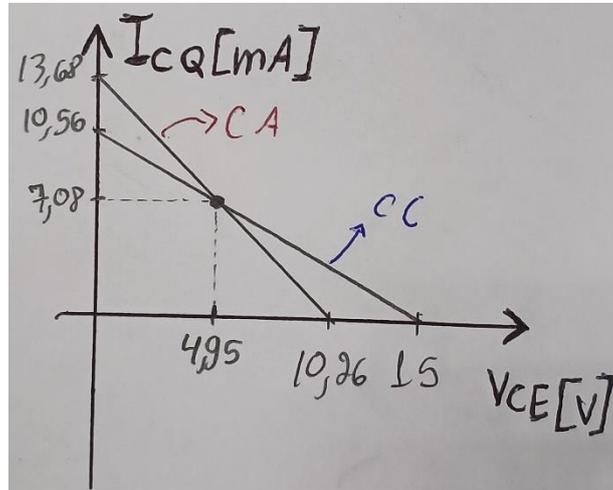


Do ponto de vista do transistor, o r_{ac} , é:

$$r_{ac} = R_C || R_L = 750 \Omega$$

$$V_{CE\text{corte}CA} = V_{CEQ} + I_{CQ}r_{ac} = 10,26 \text{ V}$$

$$I_{CsatCA} = I_{CQ} + \frac{V_{CEQ}}{r_{ac}} = 13,68 \text{ mA}$$



Como $V_{CEQ} < I_{CQ}r_{ac}$, temos:

$$V_{CEPP\text{máx}} = 2 \times V_{CEQ} = 9,9 \text{ V}$$

$$R_{EAC} = 0 \rightarrow V_{OPP\text{máx}} = V_{CEPP\text{máx}} = 9,9 \text{ V}$$

$$P_{Omáx} = \frac{V_{OPP\text{máx}}^2}{8R_L} = 6,13 \text{ mW}$$

Para essa configuração, como na questão anterior, temos as correntes I_B e I_{CQ} .

$$P_{CC} = V_{CC}(I_B + I_{CQ}) = 106,9 \text{ mW}$$

$$\text{Eficiência}\% = \frac{P_{Omáx}}{P_{CC}} 100\% = 5,73\%$$

c) Análise CC:

$$V_{CC} - R_B I_B - V_{BE} - I_E R_E = 0, \text{ considerando } I_{CQ} \cong I_E \cong \beta I_B$$

$$15 - 270k\Omega I_B - 0,7 - 150 \times I_B \times 220 = 0$$

$$I_B = 47,19 \mu\text{A}$$

$$I_{CQ} = \beta I_B = 7,08 \text{ mA}$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}(R_C + R_E) = 4,95 \text{ V, já que temos } R_E.$$

Retas de carga CC:

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}(R_C + R_E)$$

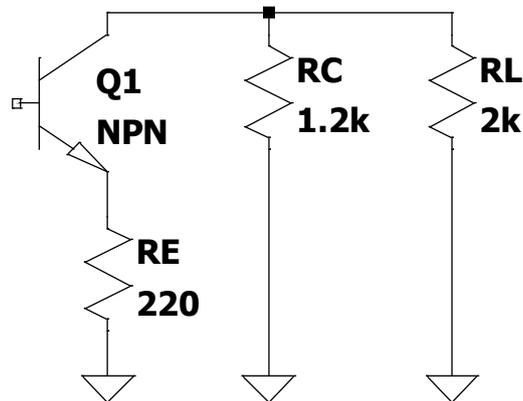
Se $I_C = 0$, temos:

$$V_{CE\text{corte}CC} = V_{CC} = 15\text{ V}$$

Se $V_{CEQ} = 0$, temos:

$$I_{C\text{sat}CA} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} = 10,56\text{ mA}$$

Reta de carga CA:

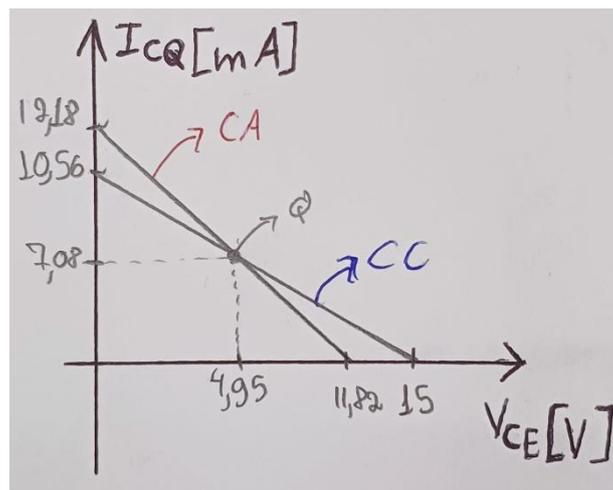


Do ponto de vista do transistor, o r_{ac} , é:

$r_{ac} = (R_C || R_L) + R_{EAC} = 970\ \Omega$, adição do R_{EAC} , pois não temos capacitor de desvio.

$$V_{CE\text{corte}CA} = V_{CEQ} + I_{CQ}r_{ac} = 11,82\text{ V}$$

$$I_{C\text{sat}CA} = I_{CQ} + \frac{V_{CEQ}}{r_{ac}} = 12,18\text{ mA}$$



Como $V_{CEQ} < I_{CQ}r_{ac}$, temos:

$$V_{CEPP\text{máx}} = 2 \times V_{CEQ} = 9,9\text{ V}$$

$$R_{EAC} > 0 \rightarrow V_{OPP\text{máx}} = \left(\frac{R_C || R_L}{r_{ac}} \right) V_{CEPP\text{máx}} = 7,65\text{ V}$$

$$P_{Omáx} = \frac{V_{OPPmáx}^2}{8R_L} = 3,66 \text{ mW}$$

Para essa configuração, como na questão anterior, temos as correntes I_B e I_{CQ} .

$$P_{CC} = V_{CC}(I_B + I_{CQ}) = 106,9 \text{ mW}$$

$$\text{Eficiência}\% = \frac{P_{Omáx}}{P_{CC}} 100\% = 3,42\%$$

d) Análise CC

Verificação se pode ser usado o método aproximado: $10R_2 \leq \beta R_E \rightarrow ok$

$$V_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} = 2,48 \text{ V}$$

$$V_E = V_B - V_{BE} = 1,78 \text{ V}$$

$$I_{CQ} \cong I_E = \frac{V_E}{R_E} = 9,9 \text{ mA}$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}(R_C + R_E) = 8,79 \text{ V}$$

Para a reta CC:

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}(R_C + R_E)$$

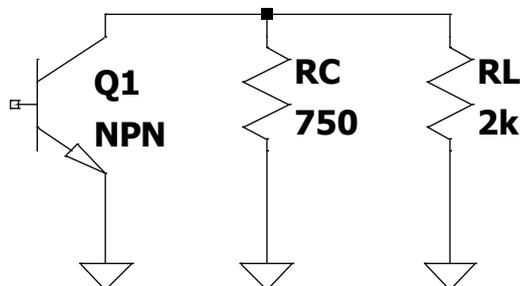
Se $I_C = 0$, temos:

$$V_{CEcorteCC} = V_{CC} = 18 \text{ V}$$

Se $V_{CEQ} = 0$, temos:

$$I_{CsatCA} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} = 19,35 \text{ mA}$$

Reta de carga CA:

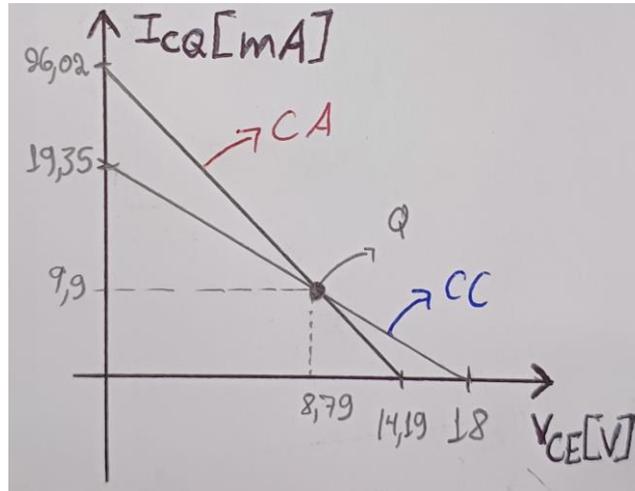


Do ponto de vista do transistor, o r_{ac} , é:

$$r_{ac} = (R_C || R_L) = 545,45 \Omega$$

$$V_{CEcorteCA} = V_{CEQ} + I_{CQ}r_{ac} = 14,19 V$$

$$I_{CsatCA} = I_{CQ} + \frac{V_{CEQ}}{r_{ac}} = 26,02 mA$$



$$V_{CEPPm\acute{a}x} = 2 \times I_{CQ}r_{ac} = 10,8 V$$

$$V_{OPPm\acute{a}x} = V_{CEPPm\acute{a}x} = 10,8 V, pois R_{EAC} = 0$$

$$P_{Om\acute{a}x} = \frac{V_{OPPm\acute{a}x}^2}{8R_L} = 7,3 mW$$

Para a determinação da potência fornecida pela fonte, como temos um divisor de tensão, temos então uma corrente que percorre o ramo divisor, portanto, as correntes dependentes da fonte, são I_1 (corrente no ramo divisor) e I_{CQ} .

$$I_1 = \frac{V_{CC}}{R_1 + R_2} = 1,03 mA$$

$$P_{CC} = V_{CC}(I_1 + I_{CQ}) = 196,62 mW$$

$$Efici\^encia\% = \frac{P_{Om\acute{a}x}}{P_{CC}} 100\% = 3,71\%$$

e) Análise CC

Verificação se pode ser usado o método aproximado: $10R_2 \leq \beta R_E \rightarrow ok$

$$V_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} = 2,52 V$$

$$V_E = V_B - V_{BE} = 1,82 V$$

$$I_{CQ} \cong I_E = \frac{V_E}{R_E} = 2,93 mA$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}(R_C + R_E) = 9,15 V$$

Para a reta CC:

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}(R_C + R_E)$$

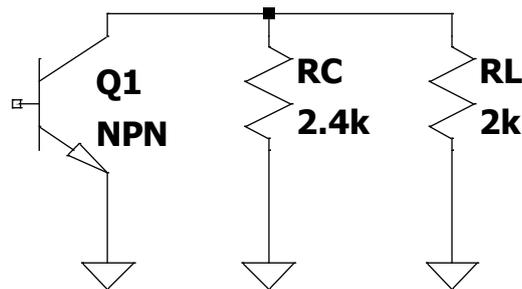
Se $I_C = 0$, temos:

$$V_{CE\text{corte}CC} = V_{CC} = 18\text{ V}$$

Se $V_{CEQ} = 0$, temos:

$$I_{C\text{sat}CA} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} = 5,96\text{ mA}$$

Reta de carga CA:

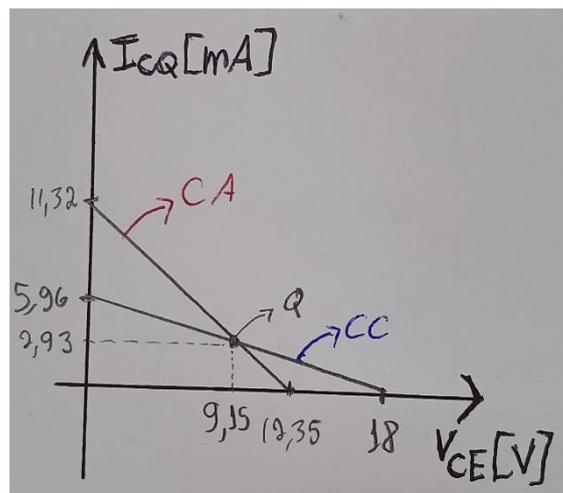


Do ponto de vista do transistor, o r_{ac} , é:

$$r_{ac} = (R_C || R_L) = 1090,91\ \Omega$$

$$V_{CE\text{corte}CA} = V_{CEQ} + I_{CQ}r_{ac} = 12,35\text{ V}$$

$$I_{C\text{sat}CA} = I_{CQ} + \frac{V_{CEQ}}{r_{ac}} = 11,32\text{ mA}$$



$$V_{CEPP\text{m}\acute{a}x} = 2 \times I_{CQ}r_{ac} = 6,39\text{ V}$$

$$V_{OPP\text{m}\acute{a}x} = V_{CEPP\text{m}\acute{a}x} = 6,39\text{ V}, \text{ pois } R_{EAC} = 0$$

$$P_{O\text{m}\acute{a}x} = \frac{V_{OPP\text{m}\acute{a}x}^2}{8R_L} = 2,55\text{ mW}$$

Para a determinação da potência fornecida pela fonte, como temos um divisor de tensão, temos então uma corrente que percorre o ramo divisor, portanto, as correntes dependentes da fonte, são I_1 (corrente no ramo divisor) e I_{CQ} .

$$I_1 = \frac{V_{CC}}{R_1 + R_2} = 246,5 \mu A$$

$$P_{CC} = V_{CC}(I_1 + I_{CQ}) = 57,7 mW$$

$$Eficiência\% = \frac{P_{Omax}}{P_{CC}} 100\% = 4,42\%$$

f) Análise CC

Verificação: $10R_1 \leq \beta R_E \rightarrow ok$

$$V_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} = 14,59 V$$

$$V_E = V_B + V_{BE} = 15,29 V$$

$$I_{CQ} \cong I_E = \frac{V_{CC} - V_E}{R_E} = 8,22 mA$$

Como temos um PNP:

$$V_{ECQ} = V_{CC} - I_{CQ}(R_C + R_E) = 6,24 V$$

Para a reta CC:

$$V_{ECQ} = V_{CC} - I_{CQ}(R_C + R_E)$$

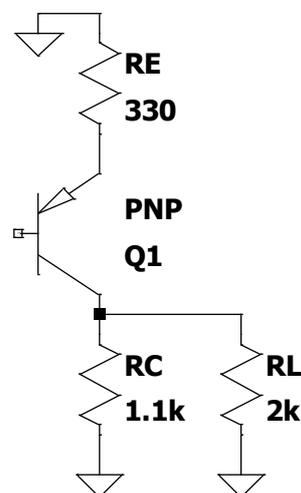
Se $I_C = 0$, temos:

$$V_{ECcorteCC} = V_{CC} = 18 V$$

Se $V_{CEQ} = 0$, temos:

$$I_{CsatCC} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} = 12,59 mA$$

Reta de carga CA:

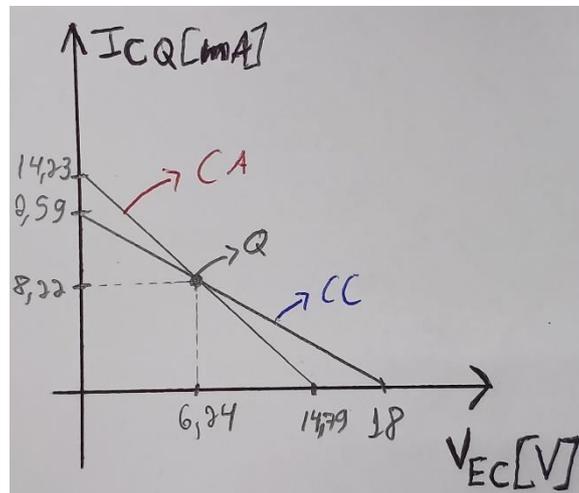


Do ponto de vista do transistor, o r_{ac} , é:

$$r_{ac} = (R_C || R_L) + R_{EAC} = 1039,68 \Omega$$

$$V_{ECcorteCA} = V_{ECQ} + I_{CQ}r_{ac} = 14,79 V$$

$$I_{CsatCA} = I_{CQ} + \frac{V_{ECQ}}{r_{ac}} = 14,23 mA$$



$$V_{ECPPm\acute{a}x} = 2 \times V_{ECQ} = 12,48 V$$

$$V_{OPPm\acute{a}x} = \left(\frac{R_C || R_L}{r_{ac}} \right) V_{ECPPm\acute{a}x} = 8,52 V, pois > 0$$

$$P_{Om\acute{a}x} = \frac{V_{OPPm\acute{a}x}^2}{8R_L} = 4,54 mW$$

Para a determinação da potência fornecida pela fonte, como temos um divisor de tensão, temos então uma corrente que percorre o ramo divisor, portanto, as correntes dependentes da fonte, são I_1 (corrente no ramo divisor) e I_{CQ} .

$$I_1 = \frac{V_{CC}}{R_1 + R_2} = 246,5 \mu A$$

$$P_{CC} = V_{CC}(I_1 + I_{CQ}) = 203,89 mW$$

$$Efici\^encia\% = \frac{P_{Om\acute{a}x}}{P_{CC}} 100\% = 2,23\%$$

g) Análise CC:

$$I_B = \frac{(V_{CC} - V_{BE})}{R_B} = 115,33 \mu A$$

$$I_{CQ} = \beta I_B = 17,3 mA$$

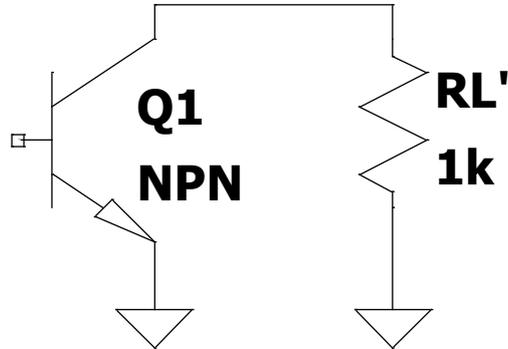
$V_{CEQ} = V_{CC} = 18 V$, pois no regime CC um indutor se comporta como um fio.

Reta CC:

$$V_{CEQ} = V_{CC} = 18 V$$

Reta CA:

$$R'_L = \left(\frac{N1}{N2}\right)^2 R_L = 1 \text{ k}\Omega$$

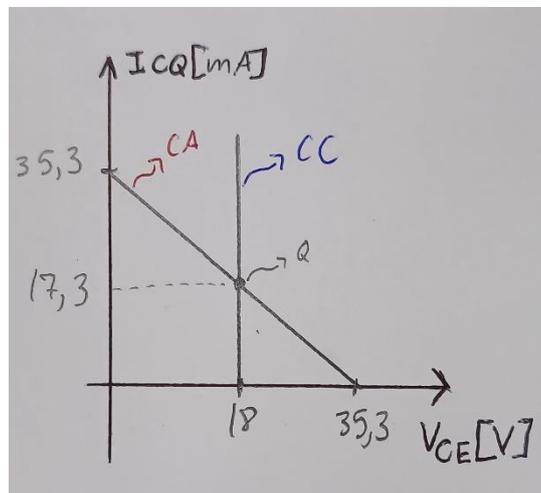


Do ponto de vista do transistor, o r_{ac} , é:

$$r_{ac} = R'_L = 1 \text{ k}\Omega, \text{ é a única resistência vista.}$$

$$V_{CE\text{corteCA}} = V_{CEQ} + I_{CQ}r_{ac} = 35,3 \text{ V}$$

$$I_{CsatCA} = I_{CQ} + \frac{V_{CEQ}}{r_{ac}} = 35,3 \text{ mA}$$



$$V_{CEPP\text{m}\acute{a}x} = 2 \times I_{CQ}r_{ac} = 34,6 \text{ V}$$

$$V_{OPP\text{m}\acute{a}x} = V_{ECP\text{m}\acute{a}x} = 34,6 \text{ V, j\acute{a} que temos um trafo.}$$

$$P_{O\text{m}\acute{a}x} = \frac{V_{OPP\text{m}\acute{a}x}^2}{8R'_L} = 149,65 \text{ mW}$$

Para a configuração, temos que as correntes I_B e I_{CQ} dependem da fonte, então:

$$P_{CC} = V_{CC}(I_B + I_{CQ}) = 313,48 \text{ mW}$$

$$\text{Eficiência}\% = \frac{P_{O\text{máx}}}{P_{CC}} 100\% = 47,74\%$$

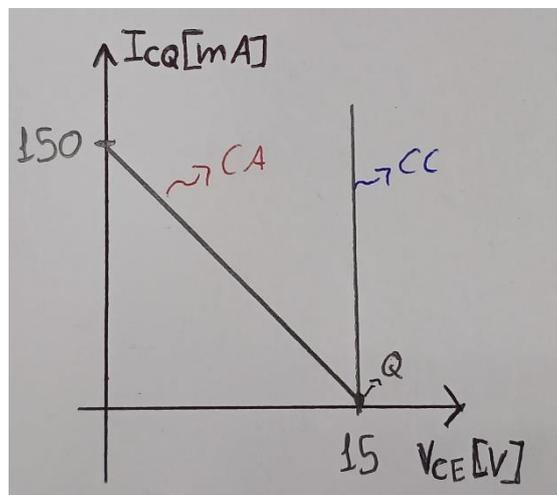
h) O circuito é um amplificador classe AB, já que ele tem um ramo de polarização e uma saída push-pull (classe B). Como temos uma alimentação simétrica (+15V e -15V) e os transistores NPN e PNP, possuem a saída no emissor, temos:

$$V_{CEQ} = V_{CC} = 15\text{ V}$$

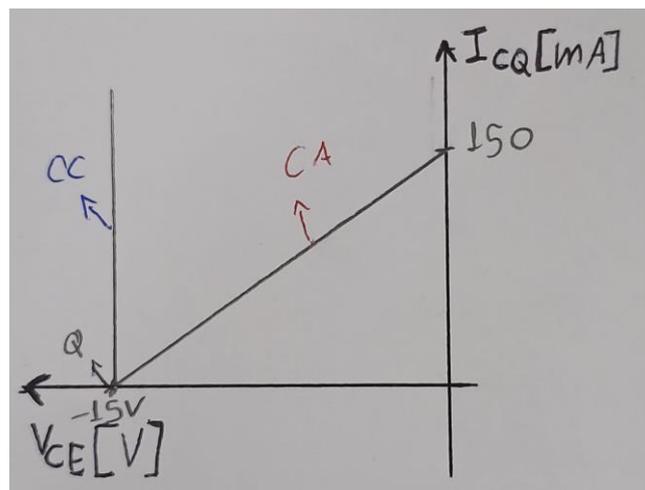
A corrente de saturação então, depende da fonte, já que é a única resistência para dreno de corrente.

$$I_{Csat} = \frac{V_{CEQ}}{R_L} = 150\text{ mA}$$

Para Q1:



Para Q2:



IMPORTANTE: R_{s1} e R_{s2} , são para a prevenção de curto somente, por isso um pequeno valor.

Para a configuração, então:

$$V_{CEPP\text{máx}} = 2V_{CEQ} = 30\text{ V}$$

Como a saída está conectada nos emissores dos transistores:

$$V_{OPPm\acute{a}x} = V_{CEPPm\acute{a}x} = 30V$$

$$P_{Om\acute{a}x} = \frac{V_{OPPm\acute{a}x}^2}{8R_L} = 1,125 W$$

Para o c\`alculo da pot\`encia entregue pela fonte CC, temos que a corrente no ramo de polariza\`c\`ao (I_{Bias}) e a corrente CC na carga ($I_{OCCm\acute{a}x}$) dependem dessa. Assim:

$$I_{Bias} = \frac{2V_{CC} - 1,4}{R_{i1} + R_{i2}} = 9,53 mA$$

2V_{CC} porque a configura\`c\`ao tem uma alimenta\`c\`ao sim\`etrica.

$$I_{OCCm\acute{a}x} = \frac{V_{OP}}{\pi R_L} = 47,75 mA, V_{OP} = 15V \text{ (j\`a que } V_{OPPm\acute{a}x} = 30 V)$$

$$P_{CC} = 2V_{CC}(I_{Bias} + I_{OCCm\acute{a}x}) = 1,718 W$$

$$Efici\`encia\% = \frac{P_{Om\acute{a}x}}{P_{CC}} 100\% = 65,47\%$$

- i) O circuito \`e um acionador de classe B, portanto, primeiramente \`e necess\`ario analisar primeiramente o est\`agio de polariza\`c\`ao, composto por um amplificador emissor comum com polariza\`c\`ao por divisor de tens\`ao.

An\`alise CC est\`agio de polariza\`c\`ao:

Verifica\`c\`ao: $10R_2 \leq \beta R_E \rightarrow ok$

$$V_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} = 2,61 V$$

$$V_E = V_B - V_{BE} = 1,91 V$$

$$I_{CQ} \cong I_E = \frac{V_E}{R_E} = 3,42 mA$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - 1,4 - I_{CQ}(R_C + R_E) = 8,53 V$$

Reta CC est\`agio de polariza\`c\`ao:

$$V_{CEQ} = V_{CC} - 1,4 - I_{CQ}(R_C + R_E)$$

Se $I_{CQ} = 0$:

$$V_{CEcorteCC} = V_{CC} - 1,4 = 16,6 V$$

Se $V_{CEQ} = 0$:

$$I_{CsatCC} = \frac{V_{CC} - 1,4}{R_C + R_E} = 7,03 mA$$

Reta CA est\`agio de polariza\`c\`ao:

$$r_{e1} \cong r_{e2} \cong r_{e3} = \frac{26 mV}{I_E} = 7,6 \Omega$$

considerando os r_e 's do modelo dos transistores iguais.

Como a saída do estágio de polarização está conectado de cada transistor da configuração push-pull, quando estes estão ativos, temos:

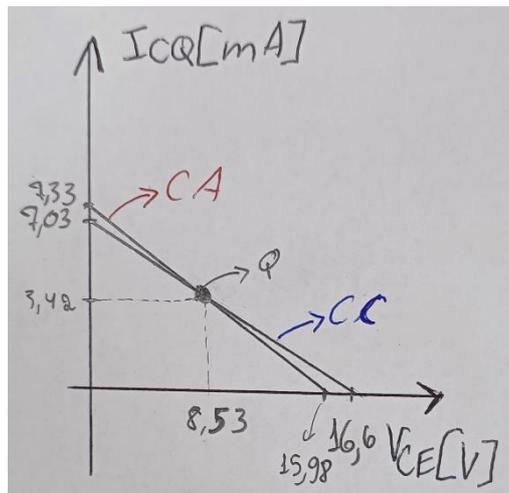
$$Z_{INPN} = \beta_2(r_{e2} + R_L) = 16.140,24 \Omega$$

A impedância Z_{INPN} , é a impedância de entrada do transistor NPN da configuração push-pull, a qual é aproximadamente a mesma do PNP. Então:

$$r_{ac} = (R_C || R_L) + R_{EAC} = 2.179,4 \Omega$$

$$V_{CECrteCA} = V_{CEQ} + I_{CQ}r_{ac} = 15,98 V$$

$$I_{CsatCA} = I_{CQ} + \frac{V_{CEQ}}{r_{ac}} = 7,33 mA$$



Como $I_{CQ}r_{ac} < V_{CEQ}$:

$$V_{CEPPm\acute{a}x} = 2I_{CQ}r_{ac} = 14,91 V$$

Como $R_{EAC} > 0$:

$$V_{OPPm\acute{a}x} = \frac{R_C || Z_{INPN}}{r_{ac}} V_{CEPPm\acute{a}x} = 11,08 V$$

$$P_{Om\acute{a}x} = \frac{V_{OPPm\acute{a}x}^2}{8R_L} = 153,43 mW$$

Para este caso, temos a corrente que percorre o ramo divisor (I_{div}), a corrente no coletor do transistor de polarização ($I_{Bias} = I_{CQ}$) e a corrente média na carga ($I_{OCCm\acute{a}x}$). Assim:

$$I_{div} = \frac{V_{CC}}{R_1 + R_2} = 512,82 \mu A$$

$$I_{OCCm\acute{a}x} = \frac{V_{OP}}{\pi R_L} = 17,63 mA$$

$$P_{CC} = V_{CC}(I_{div} + I_{div} + I_{OCCm\acute{a}x}) = 388,21 mW$$

$$Efici\^encia\% = \frac{P_{Om\acute{a}x}}{P_{CC}} 100\% = 39,52\%$$

Questão 2)

a) O circuito em questão é uma fonte de corrente com diodo Zener e transistor.

Como temos uma alimentação conectada após o resistor de emissor, temos:

$$I_{C1} \cong I_E = \frac{V_Z - V_{BE}}{R_E} = 2,93 \text{ mA}$$

A relação acima é permitida, devido ao diodo Zener estar em paralelo com a base transistor e a fonte de alimentação. O resistor de $1\text{k}\Omega$ é somente para proteção do Zener, limitando a corrente sobre ele.

b) A configuração trata-se de um espelho de corrente simples. Como os transistores possuem o mesmo valor de β , temos então:

$$I_{C2} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_C} = 4,77 \text{ mA}$$

c) Agora, a configuração trata-se de um espelho de corrente de Wilson, o qual permite um aumento de impedância com relação ao exemplo anterior, por isso é bastante utilizado.

Então:

$$I_{C2} = \frac{V_{CC} - 2V_{BE}}{R_C} = 5,04 \text{ mA}$$

Questão 3)

a) O circuito é um amplificador diferencial com terminação dupla.

As correntes I_{E1} e I_{E2} , são iguais e depende de I_E , que pode ser calculada de acordo com a tensão em cima de R_E , então:

$$I_E = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_E} = 3,68 \text{ mA, desta maneira, para ter um valor positivo.}$$

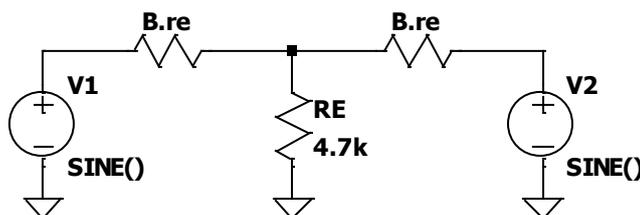
$$V_{E2} = V_{E1} = -V_{BE} = -0,7 \text{ V}$$

$$I_{CQ1} \cong I_{CQ2} \cong I_{E1} = I_{E2} = \frac{I_E}{2} = 1,84 \text{ mA}$$

$$V_{O1} = V_{O2} = V_{C1} = V_{C2} = V_{CC} - I_{CQ1}R_C = 4,2 \text{ V}$$

$$V_{CEQ1} = V_{CEQ2} = V_{C1} - V_{E1} = 4,9 \text{ V}$$

Cálculo do ganho:



$$r_{e1} = r_{e2} = \frac{26 \text{ mV}}{I_{E1}} = 14,13 \Omega$$

$$A_D = \frac{-R_C}{2r_e} = 265,38$$

$$A_{MC} = \frac{-R_C}{r_e + 2R_E} = -0,8$$

Razão de rejeição de modo comum(dB):

$$CMRR = \frac{A_D}{A_{MC}} = 333,11$$

$$CMRR(dB) = 20 \log\left(\frac{A_D}{A_{MC}}\right) = 50,45 \text{ dB}$$

b) Estruturalmente a diferença que se vê entre esta configuração e a anterior é a fonte de corrente para I_E .

Assim:

$$I_E = \frac{V_z - V_{BE}}{R_E} = 2,44 \text{ mA}$$

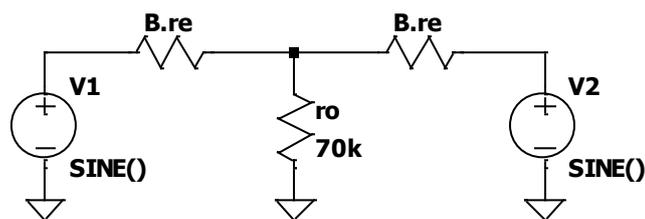
$$V_{E2} = V_{E1} = -V_{BE} = -0,7 \text{ V}$$

$$I_{CQ1} \cong I_{CQ2} \cong I_{E1} = I_{E2} = \frac{I_E}{2} = 1,22 \text{ mA}$$

$$V_{O1} = V_{O2} = V_{C1} = V_{C2} = V_{CC} - I_{CQ1}R_C = 8,83 \text{ V}$$

$$V_{CEQ1} = V_{CEQ2} = V_{C1} - V_{E1} = 9,53 \text{ V}$$

Cálculo do ganho:



$$r_{e1} = r_{e2} = \frac{26 \text{ mV}}{I_{E1}} = 21,31 \Omega$$

$$A_D = \frac{-R_C}{2r_e} = 175,96$$

$$A_{MC} = \frac{-R_C}{r_e + 2R_E} = -0,054$$

Razão de rejeição de modo comum(dB):

$$CMRR = \frac{A_D}{A_{MC}} = 3.285,11$$

$$CMRR(dB) = 20 \log\left(\frac{A_D}{A_{MC}}\right) = 70,33 \text{ dB}$$

Questão 4)

a) Análise CC:

$$V_{CC} - I_B R_B - V_{BED} - \beta_D I_B R_E = 0$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BED}}{R_B + \beta_D R_E} = 1,16 \mu A$$

$$I_E \cong I_{CQ} = \beta_D I_B = 4,64 \text{ mA}$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}(R_C + R_E) = 6,04 \text{ V}$$

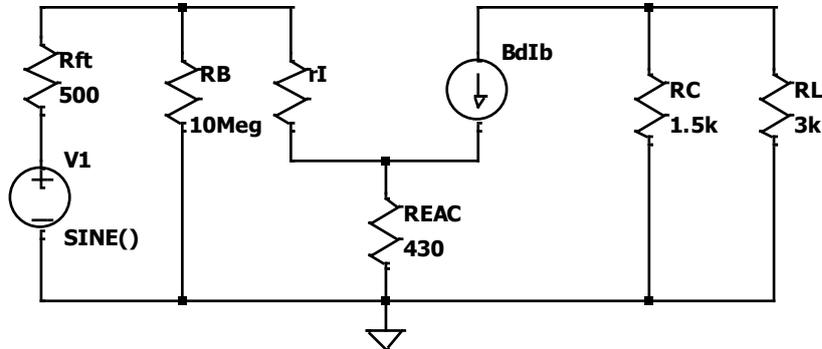
$$V_C = V_{CC} - I_{CQ} R_C = 8,04$$

$$V_E = V_C - V_{CEQ} = 2 \text{ V}$$

$$V_B = V_E + V_{BED} = 3,4 \text{ V}$$

Análise CA:

O circuito abaixo, representa o modelo AC do transistor, onde da base para o GND temos o R_B e fonte com sua resistência série, no coletor temos o R_C e o R_L e no emissor o R_{EAC} , já que não temos o capacitor de desvio.



$$Z_B = r_i + \beta_D R_{EAC} = 1,722 \text{ M}\Omega$$

$$Z_I = R_B || Z_B = 1,47 \text{ M}\Omega$$

$$Z_O = R_C = 1,5 \text{ k}\Omega$$

$$A_{VNL} = -\frac{\beta_D R_C}{r_i + \beta_D R_{EAC}} = -3,48$$

$$A_V = \frac{R_L}{Z_O + R_L} A_{VNL} = -2,32$$

$$A_I = -\frac{A_V Z_I}{R_L} = 1.136,8$$

b) Análise CC:

$$V_{CC} - I_B R_B - V_{BED} - \beta_D I_B R_E = 0$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BED}}{R_B + \beta_D R_E} = 0,59 \mu A$$

$$I_E \cong I_{CQ} = \beta_D I_B = 2,36 mA$$

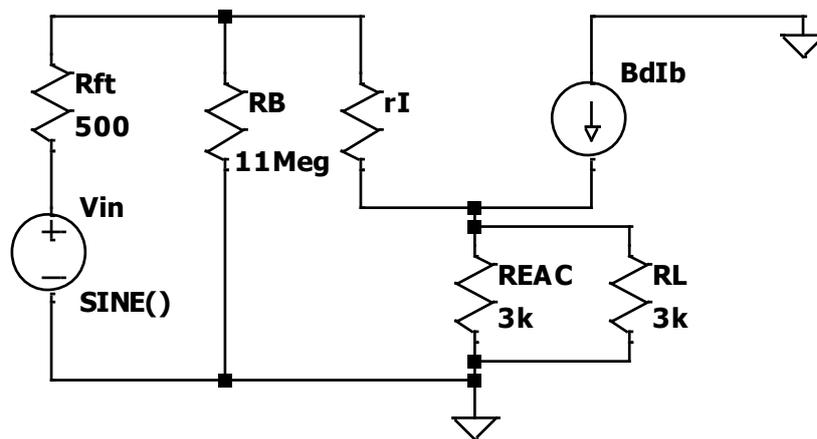
$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_E = 7,9 V$$

$$V_C = V_{CC} = 15 V$$

$$V_E = V_C - V_{CEQ} = 7,1 V$$

Análise AC:

O circuito abaixo, representa o modelo AC do transistor, onde da base para o terra temos o R_B e fonte com sua resistência série, no coletor temos o GND e no emissor o REAC e a carga já que temos um circuito seguidor de emissor, ou coletor comum.



$$R_{EAC} = R_E$$

$$Z_B = r_i + \beta_D (R_{EAC} || R_L) \cong 6 M\Omega$$

$$Z_I = R_B || Z_B = 3,88 M\Omega$$

Considerando $R_{FT} = 500 \Omega$.

$$Z_O = R_{EAC} || \left(\frac{r_i + R_{FT} || R_B}{\beta_D} \right) = 0,62 \Omega$$

$$A_V = \frac{\beta_D (R_{EAC} || R_L)}{r_i + \beta_D (R_{EAC} || R_L)} \cong 1$$

$$A_I = \frac{Z_I}{R_L} A_V \cong 2k$$

Questão 5)

a) Análise CC:

Para Q2, onde o sinal entra.

Verificação: $10R_2 \leq \beta R_E \rightarrow ok$

$$V_{B2} = \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = 2,22 \text{ V}$$

$$V_{E2} = V_{B2} - V_{BE2} = 1,52 \text{ V}$$

$$I_{CQ2} \cong I_{E2} = \frac{V_{E2}}{R_E} = 4,62 \text{ mA}$$

Para Q1

$$I_{CQ2} = I_{CQ1}$$

$$V_{B1} = \frac{R_2 + R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = 7,43 \text{ V}$$

$$V_{E1} = V_{B1} - V_{BE1} = 6,73 \text{ V}$$

$$V_{C2} = V_{E1} = 6,73 \text{ V}$$

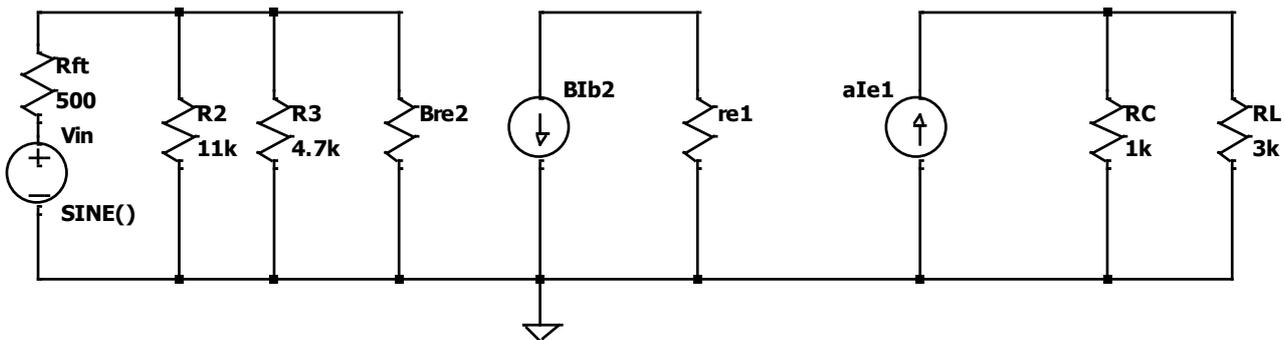
$$V_{CEQ2} = V_{C2} - V_{E2} = 5,21 \text{ V}$$

$$V_{CEQ1} = V_{C1} - V_{E1} = 3,65 \text{ V}$$

$$V_{CB1} = V_{C1} - V_{B1} = 2,95 \text{ V}$$

Análise CA:

O circuito abaixo, representa o modelo AC da configuração cascode, onde para Q2, temos da base para o GND temos o R2 e R3, já que R1 ficará em curto nessa análise, e fonte com sua resistência série. No emissor está conectado o GND, já que temos um capacitor de desvio no emissor. Finalizando as conexões de Q2, o coletor está conectado ao emissor de Q1, assim temos o primeiro estágio do amplificador cascode como um amplificador emissor comum. A configuração de Q1 é base comum, seguindo então a base deste transistor está conectada ao GND pelo capacitor Ci2, por fim o coletor está conectado ao RC e ao RL.



$$r_{e1} \cong r_{e2} = \frac{26 \text{ mV}}{I_{E2}} = 5,63 \Omega$$

$$Z_B = \beta_1 r_{e1} = 844,16 \Omega$$

$$Z_{I2} = R_2 || R_3 || Z_B = 671,91 \Omega, \text{ para } Q2.$$

$$Z_{I1} = r_{e1} = 5,63 \Omega, \text{ para } Q1.$$

$$Z_O = R_C = 1 \text{ k}\Omega$$

$$A_{V2} = -\frac{R_C || Z_{I1}}{r_{e2}} \cong -1, \text{ para } Q2.$$

$$A_{V1} = \frac{R_C || R_L}{r_{e1}} = 133,21, \text{ para } Q1.$$

$$A_V = A_{V2} A_{V1} = -133,21$$

b) Análise CC:

Para Q2, onde o sinal entra.

$$V_{B2} = \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = 2,22 \text{ V}$$

$$V_{E2} = V_{B2} - V_{BE2} = 1,52 \text{ V}$$

$$I_{CQ2} \cong I_{E2} = \frac{V_{E2}}{R_E} = 4,62 \text{ mA}$$

Para Q1

$$V_{B1} = \frac{R_2 + R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = 7,43 \text{ V}$$

$$V_{E1} = V_{B1} - V_{BE1} = 6,73 \text{ V}$$

$$V_{C2} = V_{E1} = 6,73 \text{ V}$$

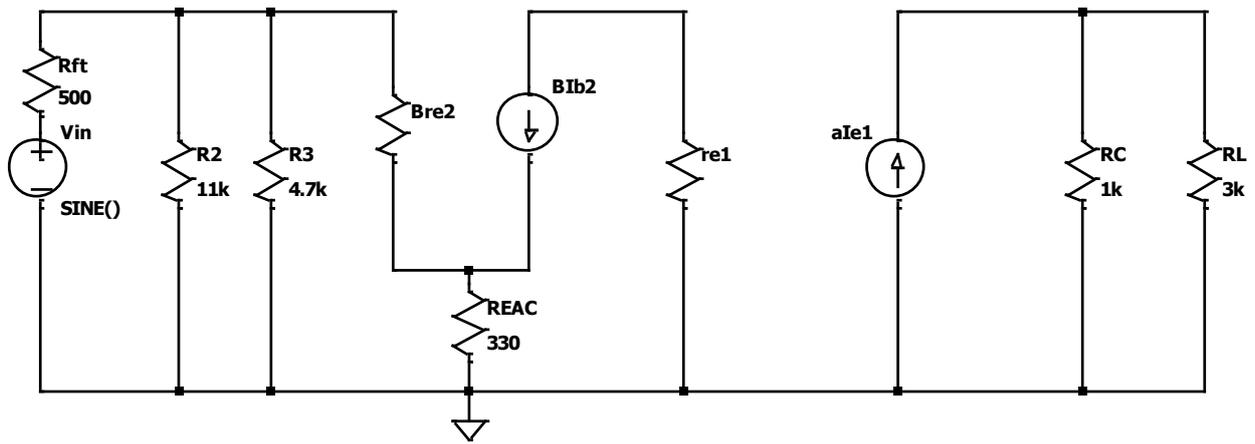
$$V_{CEQ2} = V_{C2} - V_{E2} = 5,21 \text{ V}$$

$$V_{CEQ1} = V_{C1} - V_{E1} = 3,65 \text{ V}$$

$$V_{CB1} = V_{C1} - V_{B1} = 2,95 \text{ V}$$

Análise AC:

O circuito abaixo, representa o modelo AC da configuração cascode, onde para Q2, temos da base para o GND temos o R2 e R3, já que R1 ficará em curto nessa análise, e fonte com sua resistência série. No emissor está conectado o RE(REAC), já que não temos um capacitor de desvio no emissor. Finalizando as conexões de Q2, o coletor está conectado ao emissor de Q1, assim temos o primeiro estágio do amplificador cascode como um amplificador emissor comum. A configuração de Q1 é base comum, seguindo então a base deste transistor está conectada ao GND pelo capacitor Ci2, por fim o coletor está conectado ao RC e ao RL.



$$r_{e1} \cong r_{e2} = \frac{26 \text{ mV}}{I_{E2}} = 5,63 \Omega$$

$$Z_B = \beta_1 r_{e1} = 844,16 \Omega$$

$$Z_{I2} = R_2 || R_3 || Z_B = 671,91 \Omega, \text{ para } Q2.$$

$$Z_{I1} = r_{e1} = 5,63 \Omega, \text{ para } Q1.$$

$$Z_O = R_C = 1 \text{ k}\Omega$$

$$A_{V2} = -\frac{R_C || Z_{I1}}{r_{e2} + R_{EAC}} \cong -0,017, \text{ para } Q2.$$

$$A_{V1} = \frac{R_C || R_L}{r_{e1}} = 133,21, \text{ para } Q1.$$

$$A_V = A_{V2} A_{V1} = -2,23$$

Comentários:

Com a adição de um capacitor de desvio ao emissor, o fator que se altera é o ganho no estágio do amplificador emissor-comum (estágio com Q2), o que resulta em uma alteração no ganho final. Desta forma, em algumas aplicações é utilizado um capacitor de desvio conectado do emissor para o GND, para aumentar o ganho da configuração.