

Prática #1 - RESPOSTA EM FREQUÊNCIA

GRUPO: _____

Data: _____

PRÁTICA #1 – RESPOSTA EM FREQUÊNCIA (PARTE 1)

I) Objetivos:

- Projetar amplificador na configuração EMISSOR COMUM (EC) para atender às características especificadas.
- Estimar a resposta em frequência de amplificadores.
- Comparar o desempenho das configurações EMISSOR COMUM (EC) e CASCODE.

II) Especificações

- Circuito da fig.1, sendo: $V_{CC}=15\text{ V}$, $Q_1=Q_2=BC546B / 547B / 548B$, $C_3=C_4=10\text{pF}$ e $V_{CEQ2}=1,5\text{V}$.

(manual: http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/150/128424_DS.pdf)

- $I_{CQ} = 1,5\text{ mA} \pm 5\%$
- $Z_{IN} \geq 10\text{ k}\Omega$;
- $R_L = 10\text{ k}\Omega$
- Frequência de corte inferior entre 30 e 80 Hz;
- Módulo do ganho de tensão:
- Temperatura ambiente (T_{amb}) entre -15°C e $+55^\circ\text{C}$;
- Variação percentual da corrente de polarização I_{CQ} , devido à V_{BE} :

$$|Av| \triangleq \left| \frac{v_o}{v_s} \right| \geq 10 \frac{V}{V}$$

- Excursão de sinal na saída: $v_{op} \geq 2,5\text{V de pico}$

$$\left| \frac{\Delta I_{CQ}}{I_{CQ}} \right|_{V_{BE}} \leq 6\%$$

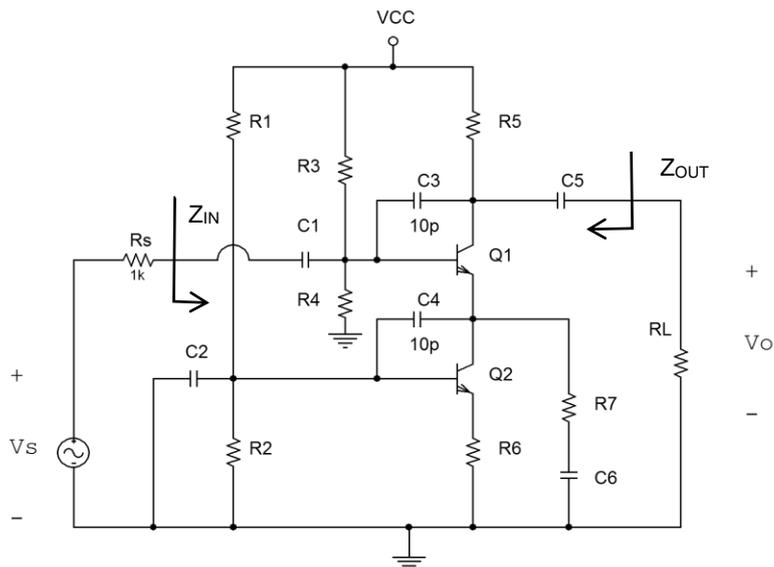


fig 1: Configuração Emissor Comum

III) Projeto

- Projetar o amplificador EC da fig. 1 atendendo às especificações e escolhendo valores comerciais para os componentes;
- Utilize o manual do transistor para verificar valores de h_{FE} , I_{CBO} e capacitâncias parasitas (C_{BC}).
- Adote um h_{FE} para o projeto. Sugestão: utilizar $h_{FEproj} = 2 \cdot (h_{FEmax} \cdot h_{FEmin}) / (h_{FEmax} + h_{FEmin})$ para que a variação percentual de I_{CQ2} seja simétrica com a variação de h_{FE} para o máximo e para o mínimo.
- As colunas “projetado”, nas tabelas anexas (EC e CASCODE) devem ser preenchidas com os valores obtidos nas verificações de cada configuração, respectivamente, itens 7 e 11 da memória de cálculo.

IV) Simulações

****TODAS as simulações devem conter TÍTULO e indicação dos VALORES importantes (Plot/Label/Mark) que serão anotados nas colunas “SIMULADO” da Tabela.**

Realizar as simulações na seguinte ordem:

1. Determinação de BF

Perfil de simulação: “DC Sweep”

- Determinação do parâmetro BF do transistor. No modelo, esse parâmetro controla o h_{FE} .
Para encontrar o BF correspondente ao h_{FE} desejado:
-No perfil de simulação, selecionar: análise do tipo “DC Sweep”, opção “model parameter”, “model type (NPN)”, “Model name (transistor usado: p.ex. BC546B)”, “Parameter name (BF)”. Selecionar ainda o tipo de varredura: “linear” na faixa desejada (valor inicial / valor final / incremento).
- Mandar plotar $I_C(Q2)/I_B(Q2)$ e verificar qual valor de BF corresponde ao h_{FE} desejado e usar estes valores de BF para fazer simulação com a variação de h_{FE} .
- Após plotar o gráfico, coloque o BF equivalente ao h_{FE} de projeto como parâmetro para as próximas simulações.

2. Polarização e excursão de sinal

Perfil de simulação: “Transient”

- Com o valor de BF ajustado, faça uma simulação transiente do circuito em questão. Ao realizá-la, o SPICE fará a simulação de polarização do seu circuito. Uma cópia do esquemático, com as tensões e correntes indicadas, deverá ser apresentada junto dos outros gráficos simulados.
- Ajuste a amplitude do sinal de entrada, para que o sinal de saída apresente ambos os semiciclos ceifados.

3. Ganho, resposta em frequência e impedâncias (R_{ac} , Z_{in} , Z_{out} e R_o)

Perfil de simulação: “AC Sweep”

- Para as simulações de R_{ac} , Z_{in} , Z_{out} e R_o , escolher a opção “AC Sweep/Noise”. Marque a opção “Logarithmic”. Indique a frequência inicial e a frequência final desejadas. Em pontos por década coloque 100.
- No circuito, ajustar o parâmetro AC da fonte de sinal de entrada para 1.
- Plotar, num único gráfico, o ganho e as frequências de corte do amplificador. Em seguida, fazer o gráfico das impedâncias na seguinte ordem: R_{ac} , Z_{in} , Z_{out} e R_o

4. Variação de temperatura e h_{FE} .

Perfil de simulação: "Transient"

- Para realizar essas simulações, você deve marcar a opção "Temperature" e colocar SÓ UMA TEMPERATURA. Após ajustar a temperatura desejada, você deve marcar a opção "Parametric Sweep" e ajustar o valor de BF desejado.
- Após isso, você deve plotar o gráfico de V_{opmax} e anotar o valor de I_{CQ2} na tabela.

V) Medidas

- Montagens:
 - Observar que as diferenças entre os circuitos das fig.1 e fig.2 estão apenas nas ligações dos capacitores C1, C3 e C4.
 - Desenhar as montagens utilizadas para as medidas das impedâncias de entrada e de saída, justificando o método.
- Para o circuito da fig. 1:
 - Ajustar a corrente de polarização (I_{CQ2}) permitindo variação máxima de $\pm 5\%$ em relação ao valor adotado no projeto. Se necessário, varie somente o valor de R1, podendo fazer associações de resistores comerciais para obter o valor desejado. Observe que R1 pode ser diferente do usado na simulação. O importante é deixar as correntes de polarização aproximadamente iguais, nas três situações: projeto, simulação e montagem.
- Repetir as medidas para o circuito da fig. 2.

VI) Escala de valores comerciais de componentes disponíveis no laboratório:

Resistores Filme metalizado 10%:

(1,0 – 1,2 – 1,5 – 1,8 – 2,2 – 2,7 – 3,3 – 3,9 – 4,7 – 5,6 – 6,8 – 8,2 – 10,0) x 10^0 a $10^6 \Omega$

Capacitores Eletrolíticos:

(1,0 – 2,2 – 4,7) x 100 a 103 μF , exceto 4700 μF

Poliéster metalizado:

(1,0 – 1,2 – 1,5 – 1,8 – 2,2 – 2,7 – 3,3 – 3,9 – 4,7 – 5,6 – 6,8 – 8,2 – 10,0) x 10^0 a 10^2 nF

Cerâmicos:

(1,0 – ----- 1,8 – ----- 2,7 – ----- 4,7 – -----) x 10^0 pF

(1,0 – 1,2 – 1,8 – 2,2 – 2,7 – 3,3 – 3,9 – 4,7 – 5,6 – 6,8 – 8,2 – 10,0) x 10^1 pF

(----- 1,2 – 1,8 – 2,2 – ----- 3,3 – 3,9 – 4,7 – -----) x 10^2 pF

VII) Observações

Na apostila "Projeto de amplificador monoestágio" é apresentado um método de projeto mais completo onde, além do resistor de coletor, a corrente de polarização é otimizada para o menor valor que atenda às especificações. O método consiste, basicamente, de um sistema de três inequações onde cada uma delas garante o cumprimento de um ou mais itens da especificação.

MEMÓRIA DE CÁLCULO (PARTE 1: EMISSOR COMUM)

1) Especificações:

- | | | |
|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • $I_{CQ} = 1,5 \text{ mA}$ • $V_{CC} = \text{___} \text{ V}$ • $V_{CEQ2} = \text{___} \text{ V}$ • $C_3 = C_4 = \text{___} \text{ pF}$ • Módulo do ganho de tensão:
 $A_v \triangleq \left \frac{v_o}{v_s} \right \geq \text{___} \frac{\text{V}}{\text{V}}$ | <ul style="list-style-type: none"> • Excursão de sinal na saída:
 $v_{op} \geq \text{___} V_{pico}$ • Impedância de entrada:
 $Z_{IN} \geq \text{___} \text{ k}\Omega$ • Frequência de corte inferior:
 $\text{___} \text{ Hz} \leq f_L \leq \text{___} \text{ Hz}$ • Variação percentual da corrente de polarização I_{CQ}, devido à V_{BE}:
 $\left \frac{\Delta I_{CQ}}{I_{CQ}} \right _{V_{BE}} \leq \text{___} \%$ | <ul style="list-style-type: none"> • Temperatura de operação:
 $\text{___} \text{ }^\circ\text{C} \leq T_{amb} \leq \text{___} \text{ }^\circ\text{C}$ • $T_{proj} = \text{___} \text{ }^\circ\text{C}$ • $\Delta T _{max} = \max \left\{ \begin{array}{l} (T_{min} - T_{proj}) \\ (T_{max} - T_{proj}) \end{array} \right.$ • $\Delta T _{max} = \max \left\{ \begin{array}{l} \text{___} - \text{___} = \text{___} \\ \text{___} - \text{___} = \text{___} \end{array} \right.$ • $\Delta T _{max} = \text{___} \text{ }^\circ\text{C}$ |
|---|--|---|

2) Informações adicionais:

Verifique qual o tipo de transistor de pequenos sinais está disponível no conjunto de componentes recebidos para as aulas práticas.

Do manual do transistor selecione as características relacionadas a seguir:

Tipo: BC_____

$h_{FEmin} = \text{___}$

$h_{FEmax} = \text{___}$

$$h_{FE \text{ proj}} = 2 \cdot \frac{h_{FE \text{ min}} \cdot h_{FE \text{ max}}}{h_{FE \text{ min}} + h_{FE \text{ max}}} = \text{___}$$

$$r_\pi = h_{ie} \cong h_{fe} \frac{25 \text{ mV}}{I_{CQ}}$$

$$r_\pi = h_{ie} = \text{___} \text{ k}\Omega$$

Considere ainda:

$$\left. \frac{\Delta I_{CQ}}{I_{CQ}} \right|_{V_{BE}} = - \frac{\Delta V_{BE}}{V_{RE}}$$

$$\frac{\Delta V_{BE}}{\Delta T} \cong -2,5 \frac{\text{mV}}{^\circ\text{C}}$$

3) Determinação da resistência de coletor R_5

Para a determinação da resistência de coletor R_5 é necessário estabelecer como ficarão distribuídas as quedas de tensão DC sobre os resistores R_5 e R_6 e, também, as tensões entre coletor e emissor (V_{CE}) de Q_1 e Q_2 .

3.1) Cálculo de V_{R6}

A corrente de polarização (I_{CQ}) é definida pelo transistor Q_2 . A estabilidade de I_{CQ} em relação às variações de V_{BE} depende de V_{R6} (tensão sobre o resistor R_6). Para obter o valor mínimo de V_{R6} , utilize a variação de temperatura (ΔT) de maior módulo para calcular a maior variação da tensão de base-emissor (ΔV_{BE}) e use a expressão da variação percentual de I_{CQ} devido à V_{BE} .

$$\frac{\Delta V_{BE}}{\Delta T} \cong -2,5 \frac{mV}{^\circ C} \quad \Delta T = \text{---} ^\circ C$$

$$\Delta V_{BE} = \text{---} mV$$

$$\left. \frac{\Delta I_{CQ}}{I_{CQ}} \right|_{V_{BE}} = -\frac{\Delta V_{BE}}{V_{R6}} \leq \text{---} \quad V_{R6} \geq \text{---} V$$

Escolher um valor comercial para R_6 , considerando $R_6 > \frac{V_{R6 \text{ min}}}{I_{CQ2}}$.

$$R_6 = \text{---} k\Omega$$

Calcular V_{R6} para o R_6 escolhido

$$V_{R6} = \text{---} V$$

3.2) Cálculo de $V_{CEQ1 \text{ min}}$

Para que não ocorra distorção do sinal de saída por efeito da saturação do transistor Q_1 , é preciso garantir uma tensão mínima para V_{CEQ1} em função do valor especificado para a amplitude do sinal (v_{op}).

$$V_{CEQ1 \text{ min}} \geq v_{op} + 0,5V$$

$$V_{CEQ1 \text{ min}} = \text{---} V$$

3.3) Cálculo de R_5

Para garantir a polarização correta da malha DC de saída e atender à especificação da excursão máxima do sinal de saída sem distorção, é possível determinar uma faixa de valores de R_5 que permitem atender às especificações.

3.3.1) Excursão do sinal de saída sem distorção por corte

Para que não ocorra distorção do sinal de saída por efeito do corte do transistor Q_1 , é preciso garantir que a excursão de sinal máxima ($v_{op} = I_{CQ} \cdot R_{ac}$) seja maior do que o valor especificado para a amplitude do sinal (v_{op}), ou seja, $I_{CQ} \cdot R_{ac} \geq v_{op} + 0,5$, onde $R_{ac} = R_5 // R_L$, é a resistência equivalente AC, vista pelo coletor do transistor Q_1 .

$$R_5 \geq \text{---} k\Omega$$

3.3.2) Polarização da malha de coletor

Para a polarização adequada, R_5 ficará limitado ao valor dado pela equação da malha DC, do coletor:

$$R_5 \leq \frac{V_{CC} - V_{CEQ1 \min} - V_{CEQ2} - V_{R6}}{I_{CQ}}$$

$$R_5 \leq \text{---} k\Omega$$

Faixa de escolha de R_5

$$\text{---} k\Omega \leq R_5 \leq \text{---} k\Omega$$

Escolha um valor comercial para R_5 , dentro da faixa de escolha obtida.

$$R_5 = \text{---} k\Omega$$

Considerar que a escolha de um valor alto para R_5 , facilita o cumprimento da especificação do ganho.

4) Determinação da resistência R_7

Para atender à especificação do ganho, calcular o maior valor de R_7 que atenda à expressão:

$$\left| \frac{v_o}{v_s} \right| \cong \frac{h_{fe} R_{ac}}{r_{\pi} + (h_{fe} + 1) R_7} \cong \frac{R_{ac}}{\left(\frac{25mV}{I_{CQ}} + R_7 \right)} \geq 10$$

$$R_7 \leq \text{---} \Omega$$

Escolha um valor comercial para R_7 , dentro da faixa de escolha obtida.

Considerar que a escolha de um valor alto para R_7 , facilita o cumprimento da especificação da impedância de entrada.

$$R_7 = \text{---} k\Omega$$

5) Cálculo das polarizações das bases de Q_1 e Q_2

A polarização de base é responsável pela definição da corrente I_{CQ2} e, também, interfere no valor da impedância de entrada. O valor de $R_B = (R_1 // R_2)$ deve ser escolhido com critério, uma vez que, um valor de R_B muito baixo pode prejudicar a impedância de entrada Z_{IN} e um valor muito alto pode prejudicar a estabilidade de I_{CQ2} em relação à variação de h_{FE} .

5.1) Cálculo de $R_{B \min}$

Para atender à especificação da impedância de entrada, calcular o menor valor de R_B que atenda à expressão:

$$Z_{IN \min} = R_B // [r_{\pi} + (h_{fe \min} + 1) R_7] \cong R_B // \left[h_{fe \min} \left(\frac{25mV}{I_{CQ}} + R_7 \right) \right] \geq \text{---} k\Omega$$

$$R_{B \min} = \text{---} k\Omega$$

5.2) Cálculo de $R_{B\ max}$

A estabilidade de I_{CQ2} em relação à variação de h_{FE} depende da relação entre R_B e o resistor de polarização do emissor R_6 . Em geral, adotar $(R_B/R_6) \leq 20$, resulta numa variação percentual, máxima, de I_{CQ2} em relação à variação de h_{FE} , da ordem de 8%, que é aceitável. Para garantir a estabilidade de I_{CQ2} , calcular o maior valor de R_B que atenda à expressão:

$$R_B \leq 20 R_6$$

$$R_{B\ max} = \underline{\hspace{2cm}} k\Omega$$

5.3) Cálculo de R_1 e R_2

Usando as expressões abaixo, calcule R_2 e escolha um valor comercial:

$$R_2 \leq \frac{R_{B\ max}}{\left(1 - \frac{V_{BQ2}}{V_{CC}}\right)} \quad \text{e} \quad V_{BQ2} = I_{CQ2}R_6 + V_{BE}$$

$$R_2 = \underline{\hspace{2cm}} k\Omega$$

Calcule R_1 usando a expressão: $R_1 = R_2 \left(\frac{V_{CC}}{V_{BQ2}} - 1 \right)$

$$R_1 = \underline{\hspace{2cm}} k\Omega$$

Calcule R_B e certifique-se de que $R_{B\ min} \leq R_B \leq R_{B\ max}$

$$R_B = \underline{\hspace{2cm}} k\Omega$$

5.4) Cálculo de R_3 e R_4

Para que as impedâncias de entrada do EC e CASCODE (parte 2) fiquem aproximadamente iguais, considere $R_4 = R_2$.

$$R_4 = \underline{\hspace{2cm}} k\Omega$$

Calcule R_3 usando a expressão:

$$R_3 = R_4 \left(\frac{V_{CC}}{V_{BQ1}} - 1 \right), \quad \text{onde } V_{BQ1} = I_{CQ2}R_6 + V_{CEQ2} + V_{BE},$$

e escolha um valor comercial.

$$R_3 = \underline{\hspace{2cm}} k\Omega$$

6) Resumo

R _s	
R ₁	
R ₂	
R ₃	
R ₄	
R ₅	
R ₆	
R _L	

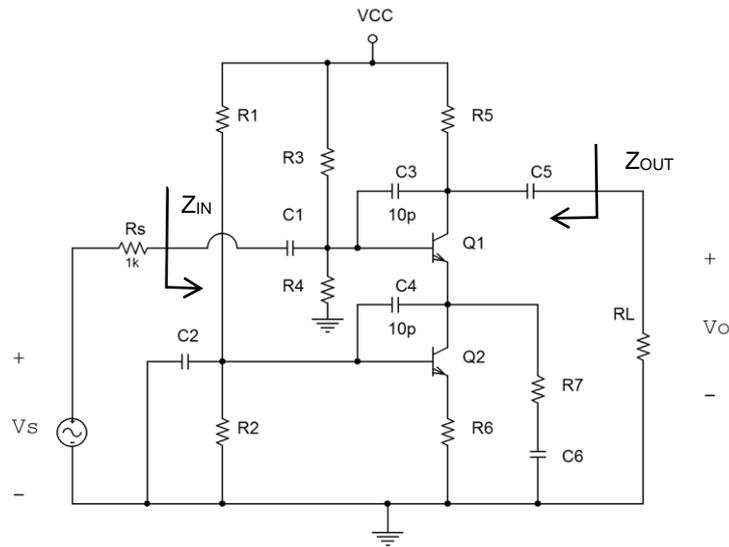


Fig 2: Configuração Emissor Comum

OBS.:

Neste projeto, para simulação e montagem, o valor de R_1 deve ser ajustado para que a corrente I_{CQ2} fique dentro de $\pm 5\%$ do valor nominal adotado no projeto.

7) Verificação (CONFIGURAÇÃO EMISSOR COMUM)

Com os valores de todos os resistores já definidos, faça análise do circuito para verificar se todas as especificações na banda média e polarização e foram atendidas:

7.1) Cálculo de I_{CQ2}

Se necessário, altere o valor de R_1 (pode ser valor não comercial) para que a corrente I_{CQ2} fique igual ao valor nominal adotado no projeto.

$$I_{CQ2} = \text{____} \text{ mA}$$

7.2) Cálculo de V_{CEQ2}

$$V_{CEQ2} = \text{____} \text{ V}$$

7.3) Cálculo de V_{CEQ1}

$$V_{CEQ1} = \text{____} \text{ V}$$

7.4) Cálculo da impedância equivalente de coletor ($R_{ac}=R_C//R_L$)

$$R_{ac} = \text{____} \text{ k}\Omega$$

7.5) Cálculo da excursão máxima do sinal de saída sem corte e sem saturaçãoExcursão máxima sem corte ($v_{op \text{ sem corte}}$):Excursão máxima sem saturação ($v_{op \text{ sem saturação}}$):

$$v_{op} = \min(v_{op \text{ sem corte}}, v_{op \text{ sem saturação}})$$

$$v_{op} = \text{_____} V$$

7.6) Cálculo da impedância de entrada (Z_{IN})

$$Z_{IN} = \text{_____} k\Omega$$

7.7) Cálculo do ganho de tensão ($A_v = \frac{v_o}{v_s}$)

$$A_v = \text{_____} \frac{V}{V}$$

7.8) Cálculo da impedância de saída do coletor de Q1 (R_{O1})Utilizar a expressão: $R_O = \left(\frac{h_{fe}}{k+1} + 1\right) r_o$, onde $k = \frac{R_b + r_\pi}{R_{Eeq}}$

$$R_{O1} = \text{_____} k\Omega$$

7.9) Cálculo da impedância de saída (Z_{out})

$$Z_{out} = \text{_____} k\Omega$$

8) Cálculo dos capacitores responsáveis pela frequência de corte inferior

Calcule todos os capacitores considerando cada um deles como sendo responsável pela frequência de corte inferior e os demais em curto.

Organize os capacitores em ordem decrescente e escolha um valor comercial para o de maior valor, que será o responsável pela frequência de corte do amplificador. Multiplique os demais capacitores, em ordem decrescente de valor, respectivamente, por 10 e 50 e 250 e escolha valores comerciais.

$$C_1 = \text{_____} \mu F$$

$$C_2 = \text{_____} \mu F$$

$$C_5 = \text{_____} \mu F$$

$$C_6 = \text{_____} \mu F$$

9) Verificação das frequências de corte

Frequência de corte inferior

$$f_L = \text{_____} Hz$$

Frequência de corte superior

$$f_H = \text{_____} kHz$$

10) Cálculo da variação percentual de I_{CQ2} devido às variações de temperatura e h_{FE}

$$\frac{\Delta I_{CQ}}{I_{CQ}} = \left. \frac{\Delta I_{CQ}}{I_{CQ}} \right|_{V_{BE}} + \left. \frac{\Delta I_{CQ}}{I_{CQ}} \right|_{h_{FE}} \quad \text{onde:} \quad \begin{cases} \left. \frac{\Delta I_{CQ}}{I_{CQ}} \right|_{V_{BE}} = -\frac{\Delta V_{BE}}{V_{R_6}} \\ \left. \frac{\Delta I_{CQ}}{I_{CQ}} \right|_{h_{FE}} = \left(1 + \frac{R_B}{R_6}\right) \cdot \frac{\Delta h_{FE}}{(1+h_{FE \text{ limite}}) \cdot h_{FE \text{ proj}}} \end{cases}$$

10.1) Variação percentual de I_{CQ2} considerando T_{max} e h_{FEmax}

Considere:

$$\begin{cases} \Delta T = T_{max} - T_{proj} \\ \Delta h_{FE} = h_{FEmax} - h_{FEproj} \\ h_{FE \text{ limite}} = h_{FE \text{ max}} \end{cases}$$

$$\frac{\Delta I_{CQ}}{I_{CQ}} = \text{---}\%$$

$$I_{CQmax} = \text{---}mA$$

10.2) Variação percentual de I_{CQ2} considerando T_{min} e h_{FEmin}

Considere:

$$\begin{cases} \Delta T = T_{min} - T_{proj} \\ \Delta h_{FE} = h_{FEmin} - h_{FEproj} \\ h_{FE \text{ limite}} = h_{FE \text{ min}} \end{cases}$$

$$\frac{\Delta I_{CQ}}{I_{CQ}} = \text{---}\%$$

$$I_{CQmin} = \text{---}mA$$

MEMÓRIA DE CÁLCULO (PARTE 2: CASCODE)

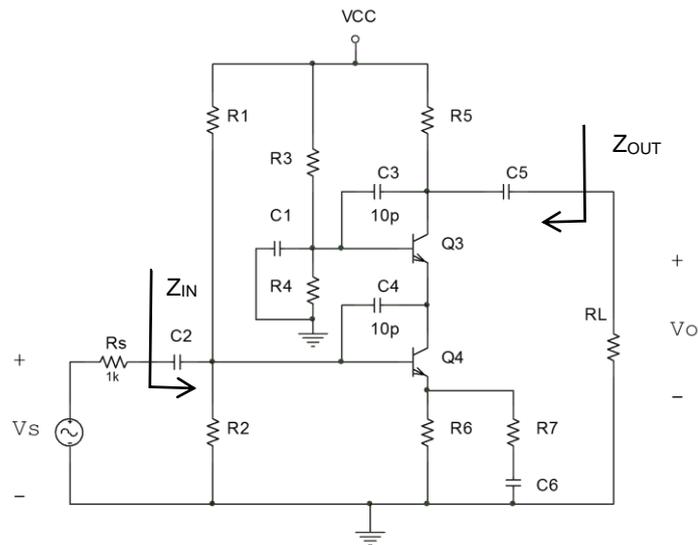


Fig 3: Configuração Cascode

11) Verificação (CONFIGURAÇÃO CASCODE)

Com os valores de todos os resistores já definidos, faça análise do circuito para verificar se todas as especificações na banda média e polarização foram atendidas:

11.1) Cálculo da excursão máxima do sinal de saída (v_{op}), sem corte e sem saturação

Excursão máxima sem corte ($v_{op \text{ sem corte}}$):

Excursão máxima sem saturação ($v_{op \text{ sem saturação}}$):

$$v_{op} = \min(v_{op \text{ sem corte}}, v_{op \text{ sem saturação}})$$

$v_{op} = \text{___} V$

11.2) Cálculo da impedância de entrada (Z_{in})

$Z_{in} = \text{___} k\Omega$

11.3) Cálculo do ganho de tensão ($A_v = \frac{v_o}{v_s}$)

$$A_v = \frac{V}{V}$$

11.4) Cálculo da impedância de saída do coletor de Q1 (R_{O1})

Utilizar a expressão: $R_o = \left(\frac{h_{fe}}{k+1} + 1\right)r_o$, onde $k = \frac{R_b + r_{\pi}}{R_{Eq}}$

$$R_{O1} = \text{---} k\Omega$$

11.5) Cálculo da impedância de saída (Z_{out})

$$Z_{out} = \text{---} k\Omega$$

12) Verificação das frequências de corte

Frequência de corte inferior

$$f_L = \text{---} Hz$$

Frequência de corte superior

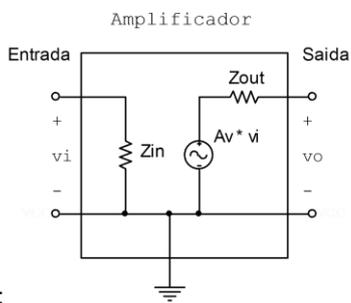
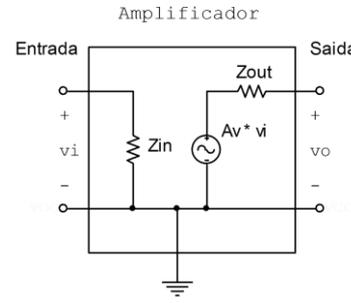
$$f_H = \text{---} kHz$$

PARTE 1: Configuração emissor comum (EC)

Parâmetros do circuito		Unid	Projetado	Simulado	Medido	OBS
T=25 °C $h_{FEproj} =$ _____ $BF_{proj} =$ _____						
Polarização	Ajustar I_{CQ2} ($I_{nom} \pm 5\%$)	mA				
	V_{EQ2}	V				
	V_{CEQ1}	V				
	V_{CEQ2}	V				
Impedância equivalente de coletor ($R_{ac} = R_C // R_L$)		k Ω			X	
Excursão máxima de sinal na saída (V_{opmax})		V				
Ganho ($A_v = V_o / V_s$)		V/V				
Frequência de corte	inferior (f_L)	Hz				
	superior (f_H)	kHz				
Impedância de entrada (Z_{in})		k Ω				
Impedância de saída (Z_{out})		k Ω				
Impedância de saída do coletor de Q_1 (R_{o1})		k Ω			X	

PARTE 2: Configuração CASCODE

Parâmetros do circuito		Unid	Projetado	Simulado	Medido	OBS
Excursão máxima de sinal na saída (V_{opmax})		V				
Ganho ($A_v = V_o / V_s$)		V/V				
Frequência de corte	inferior (f_L)	Hz				
	superior (f_H)	kHz				
Impedância de entrada (Z_{in})		k Ω				
Impedância de saída (Z_{out})		k Ω				
Impedância de saída vista para dentro do coletor de Q_1 (R_{o1})		k Ω			X	

<p>Montagem:</p>  <p>Procedimento:</p>	<p>Montagem:</p>  <p>Procedimento:</p>
Medida de impedância de entrada	Medida de impedância de saída

Comparação: EC x CASCODE

Parâmetros do circuito	Unid	Simulado		Medido		OBS
		EC	CASCODE	EC	CASCODE	
Excursão máxima de sinal na saída (Vopmax)	V					
Ganho ($A_v = V_o/V_s$)	V/V					
Frequência de corte	inferior (f_L)					
	superior (f_H)					
Impedância de entrada (Z_{in})	k Ω					
Impedância de saída (Z_{out})	k Ω					
Impedância de saída vista para dentro do coletor de Q_1 (R_{o1})	k Ω			X	X	

Variação de I_{CQ2} com Temperatura e h_{FE}

Parâmetros do circuito		Unid	Projetado	Simulado	Medido	OBS
$I_{CQ} @ T_{proj}$		mA			X	
$T_{max} = \text{_____} ^\circ\text{C}$	$V_{op\ max} @ T_{max}, h_{FE\ max}$	V	X		X	
$h_{FE\ max} = \text{_____}$	$I_{CQ2} @ T_{max}, h_{FE\ max}$	mA			X	
$BF_{max} = \text{_____}$	Variação percentual de I_{CQ2}	%			X	
$T_{min} = \text{_____} ^\circ\text{C}$	$V_{op\ max} @ T_{min}, h_{FE\ min}$	V	X		X	
$h_{FE\ min} = \text{_____}$	$I_{CQ2} @ T_{min}, h_{FE\ min}$	mA			X	
$BF_{min} = \text{_____}$	Variação percentual de I_{CQ2}	%			X	

Comentários / Observações

1- Como as variações de temperatura e de h_{FE} influenciam na máxima excursão de sinal? Explique o mecanismo.

2- Compare as configurações CASCODE e EC quanto ao ganho, resposta em frequência e impedância de saída do transistor Q_1 (R_o). Justifique.