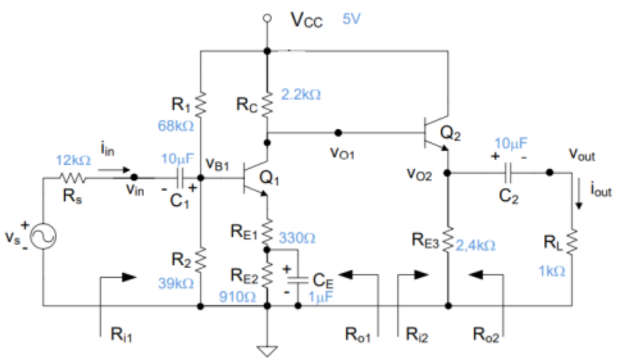
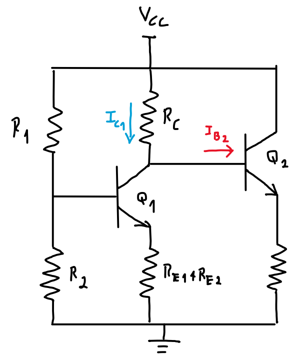


3.1

i) PFR ⇒ DC

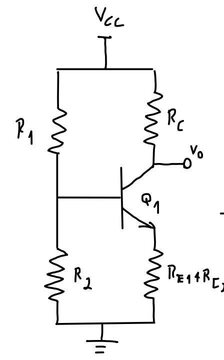
↳ Condensadores em aberto ⇒



Ora como $R_{12} \gg R_C$, podemos admitir $I_{C_1} \gg I_{B_2}$

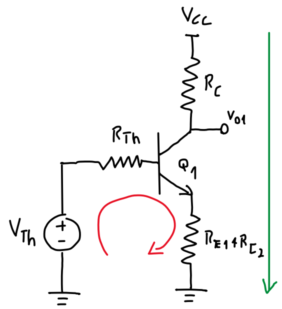
Sendo assim podemos analisar os andares em separado.

1º Andar:



Como é um amplificador queremos Q_1 na ZAD, logo vamos supor isso.

R_1 e R_2 formam um divisor resistivo para polarizar o transistor, logo pode ser simplificado



Por aplicação direta do teorema de thevenin

$V_{Th} = V_{CC} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 1.82V$

$R_{Th} = R_1 // R_2 = 24.79 k\Omega$

Para obter I_{C_1}:

- $V_{Th} = R_{Th} I_{B_1} + V_{BE_{on}} + (R_{E_1} + R_{E_2}) I_{E_1} \Rightarrow V_{Th} - V_{BE_{on}} = R_{Th} \frac{1}{\beta} I_{C_1} + (R_{E_1} + R_{E_2})(1 + \frac{1}{\beta}) I_{C_1}$

Na ZAD ⇒ $I_{C_1} = \beta I_{B_1}$

$I_{E_1} = I_{C_1} + I_{B_1} \Leftrightarrow I_{E_1} = (1 + \frac{1}{\beta}) I_{C_1}$

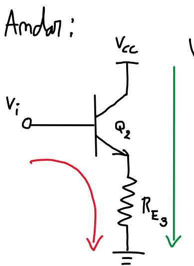
$I_{C_1} = \frac{V_{Th} - V_{BE_{on}}}{\frac{R_{Th}}{\beta} + (R_{E_1} + R_{E_2})(1 + \frac{1}{\beta})} = 0.921 mA$

É recomendado confirmar o estado de funcionamento.

- $V_{CC} = R_C I_{C_1} + V_{CE_1} + (R_{E_1} + R_{E_2})(1 + \frac{1}{\beta}) I_{C_1} \Leftrightarrow V_{CE_1} = V_{CC} - R_C I_{C_1} - (R_{E_1} + R_{E_2})(1 + \frac{1}{\beta}) I_{C_1} = 1.827V$

$V_{CE_1} > V_{BE_{on}} \Rightarrow$ Confirma a ZAD!!

2º Andar:



Vamos novamente supor ZAD.

- $V_i = V_{BE_{on}} + R_{E_3}(1 + \frac{1}{\beta}) I_{C_2}$

$V_i = V_{CC} - R_C I_{C_1}$

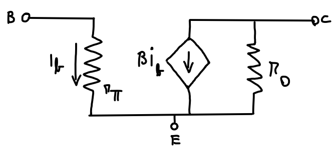
Logo $\frac{V_{CC} - R_C I_{C_1} - V_{BE_{on}}}{R_{E_3}(1 + \frac{1}{\beta})} = I_{C_2} = 0.985 mA$

Vamos confirmar a ZAD

- $V_{CC} = V_{CE_2} + R_{E_3}(1 + \frac{1}{\beta}) I_{C_2} \Leftrightarrow V_{CE_2} = V_{CC} - R_{E_3}(1 + \frac{1}{\beta}) I_{C_2} = 2.627 V$

$V_{CE_2} > V_{BE_{on}} \Rightarrow$ Confirma a ZAD!

ii) Esquema Incremental TBJ (Apenas válido na ZAD)



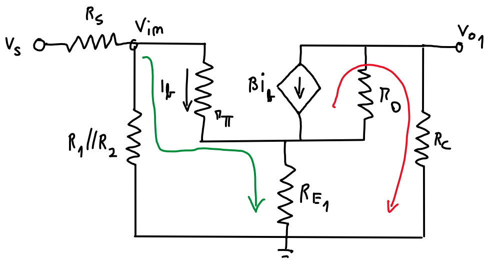
$g_m = \frac{I_C}{V_T}$

$r_o \approx \frac{V_A}{I_C}$

$r_\pi = \frac{\beta}{g_m}$

Na banda de passagem os condensadores são curto circuitos

Logo ⟶



$\beta = 300$

$g_m = \frac{I_{C_1}}{V_T} = 35.4 mS$

$r_\pi = \frac{\beta}{g_m} = 8.47 k\Omega$

$r_o = \infty$

- Como $r_o = \infty \Rightarrow i_{r_o} = 0$:

$V_{o1} = R_C \cdot (-\beta i_b) = -R_C \beta i_b$

- $V_{in} = r_\pi i_b + R_{E_1} i_e = r_\pi i_b + R_{E_1}(1+\beta) i_b$

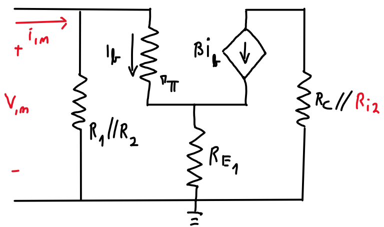
$A_{1L} = \frac{V_{o1}}{V_{in}} = \frac{-R_C \beta i_b}{r_\pi i_b + R_{E_1}(1+\beta) i_b} = \frac{-R_C \beta}{r_\pi + R_{E_1}(1+\beta)} = -6.12$

3.2) $I_{C_1} = 0.921 mA$ $V_{CE_1} = 1.827V$

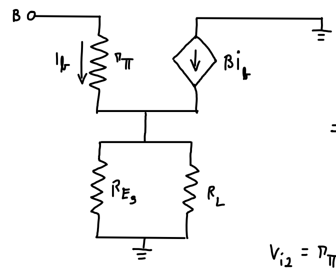
$I_{C_2} = 0.985 mA$ $V_{CE_2} = 2.627V$

$V_{B_1} = V_{BE_{on}} + I_{E_1}(R_{E_1} + R_{E_2}) = 1.746V$

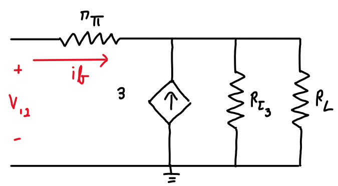
3.3) 1º Andar: $R_{i1} = \frac{V_{in}}{i_{in}} = R_1 // R_2 // (r_\pi + (1+\beta) R_{E1}) = 20.15 k\Omega$



2º Andar: $R_{i2} = \frac{V_{i2}}{i_{i2}} = \frac{V_{i2}}{i_b}$



⇒

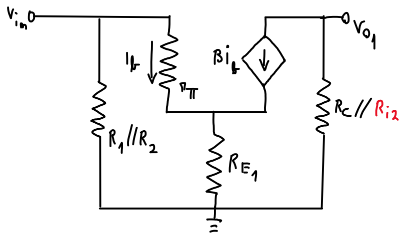


$V_{i2} = r_\pi i_b + (\beta + 1) i_b (R_{E3} // R_L) \Leftrightarrow$

$\Leftrightarrow R_{i2} = r_\pi + (\beta + 1)(R_{E3} // R_L) = 220.3 k\Omega$

$r_\pi = \frac{\beta}{g_m} = \frac{\beta V_T}{I_{C_2}} = 7.919 k\Omega$

3.4)



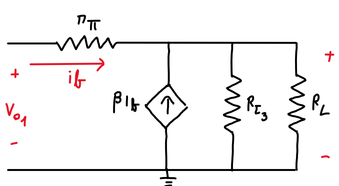
Pela mesma lógica de 3.1) ii

$V_{o1} = -(R_C // R_{i2}) \beta i_b$

$V_{in} = r_\pi i_b + R_{E_1} i_e = r_\pi i_b + R_{E_1}(1+\beta) i_b$

$A_{1L} = \frac{-\beta (R_C // R_{i2})}{r_\pi + R_{E1}(1+\beta)} = -6.06$

3.5)



$A_{2L} = \frac{V_{out}}{V_{o1}}$

$r_\pi = 7.919 k\Omega$

$V_{out} = (\beta+1) i_b (R_{E3} // R_L)$

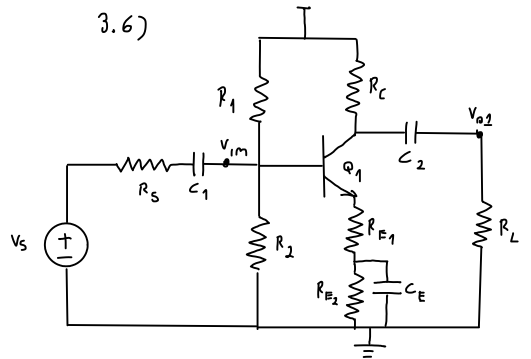
$i_b = \frac{V_{o1} - V_{out}}{r_\pi}$

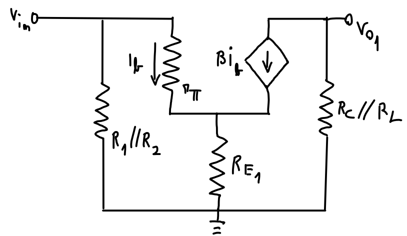
$\Rightarrow A_{2L} = \frac{(R_{E3} // R_L)(\beta+1)}{(R_{E3} // R_L)(\beta+1) + r_\pi} = 0.964$

$A'_V = \frac{V_{out}}{V_{in}} = A_{1L} \times A_{2L} = -5.846$

$A_V = \frac{V_{out}}{V_S} = \frac{V_{out}}{V_{in}} \cdot \frac{V_{in}}{V_S} = A'_V \cdot \frac{R_{i1}}{R_S + R_{i1}} = -3.66$

3.6)





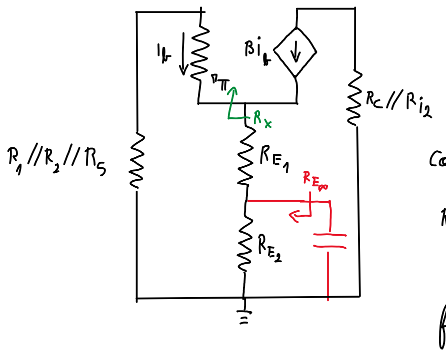
$A_{1L} = \frac{-\beta (R_C // R_L)}{r_\pi + R_{E1}(1+\beta)} = -1.93$

- Andar de Emissor comum com degeneração de emissor (1º Andar)
  - Ganho de tensão médio
  - Resistência de entrada elevada
  - Resistência de saída média
- Andar de Coletor comum (2º Andar)
  - Ganho unitário
  - Resistência de entrada muito elevada
  - Resistência de entrada baixa

3.7)

$$\omega_L \approx \frac{1}{C_E R_{E_\infty}}$$

R_{E_∞} - Resistência em paralelo com C_E, com os restantes condensadores em c.c. (polo este é o dominante) e fontes anuladas



$R_{E_\infty} = R_{E_2} // (R_{E_1} + R_x)$

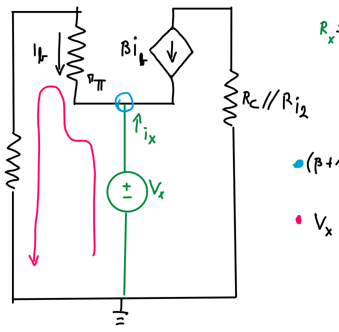
$R_x = ?$

Como $R_x = 55\,\Omega$

$R_{E\infty} = 270.5\,\Omega$

$$f_L = \frac{1}{2\pi \cdot C_E \cdot R_{E\infty}} = 588.3\,Hz$$

$R_t = R_1 // R_2 // R_S$



$$R_x = \frac{V_x}{I_x} = \frac{r_\pi + R_t}{\beta + 1} = 55\,\Omega$$

- $(\beta+1) i_b + i_x = 0$
- $V_x + r_\pi i_b + R_t i_b = 0 \iff i_b = -\dfrac{V_x}{r_\pi + R_t}$ $\Rightarrow$ $i_x = (\beta+1)\dfrac{V_x}{r_\pi + R_t}$

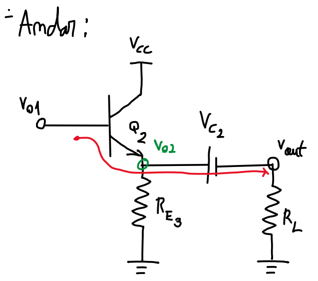
3.8)

Com base no PFR calculamos as tensões nos condensadores, na banda de passagem C_1, C_2 e C_E mantêm a tensão do PFR, logo vão se comportar como fontes DC.

Para termos distorção : Corte $\rightarrow i_C = i_B = i_E = 0$

Saturação $\rightarrow v_{CE} = V_{CE_{SAT}}$

2º Andar:



Saturação:

$V_{01}(max) = V_{cc}$

Se $V_{01} = V_{cc} \Rightarrow V_{CE} = V_{BE}$ $(V_{CB} = 0)$ ou seja

$V_{CE} = 0.6\,V > V_{CE_{SAT}} \Rightarrow$ Não satura!!!

PFR $\longrightarrow V_{C_2} = I_{R_{E_3}} R_{E_3} = 1.37\,V$

- $V_{out}(max) = V_{01}(max) - V_{BE_{on}} - V_{C_2} =$

$= V_{cc} - V_{BE_{on}} - V_{C_2} =$

$= 2.03\,V$

Corte:

$i_C = i_E = 0$

- $\dfrac{V_{02}}{R_{E_3}} + \dfrac{V_{out}}{R_L} = 0 \iff \dfrac{V_{out} + V_{C_2}}{R_{E_3}} + \dfrac{V_{out}}{R_L} = 0 \iff V_{out}\left(\dfrac{1}{R_{E_3}} + \dfrac{1}{R_L}\right) = -\dfrac{V_{C_2}}{R_{E3}} \iff V_{out} = -V_{C_2}\dfrac{R_L}{R_L + R_{E3}}$

$V_{out}(min) = -V_{C_2}\dfrac{R_L}{R_L + R_{E3}} = -0.697\,V$

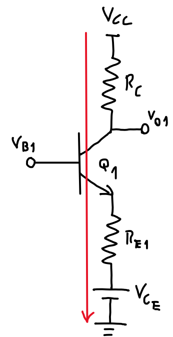
Qual deles é que dá problemas primeiro?

Sat: $|V_{out}(max) - V_{out}(PFR)| = 2.03\,V$

Corte: $|V_{out}(min) - V_{out}(PFR)| = 0.7\,V$! É o corte que limita.

Amplitude de saída máxima! $\rightarrow V_{out} = 0.7 \Rightarrow V_{01} = \dfrac{V_{out}}{A_{2L}} = 726\,mV$

1º Andar



Saturação:

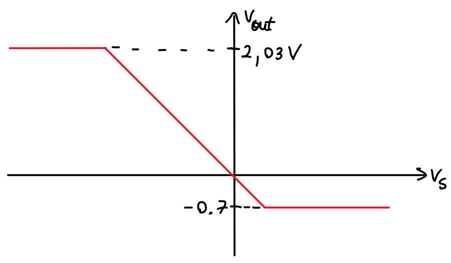
$V_{cc} = R_C i_C + V_{CE_{SAT}} + i_C R_{E_1} + V_{C_E} \iff i_C = \dfrac{V_{cc} - V_{CE_{SAT}} - V_{C_E}}{R_C + R_{E_1}} = 1.57\,mA$

$V_{01}(min) = V_{cc} - R_C i_C = 1.56\,V$

PFR $\rightarrow V_{C_E} = R_{E_2} \cdot I_E = 0.84\,V$

Corte:

$i_C = 0 \Rightarrow V_{01} = V_{cc} = V_{01}(max)$



Qual deles é que dá problemas primeiro? $(V_{01}(PFR) = R_C I_{C_1} = 2.97\,V)$

Corte: $|V_{01}(max) - V_{01}(PFR)| = 2.03\,V$

Sat: $|V_{01}(min) - V_{01}(PFR)| = 1.413\,V$! É a saturação que limita

Como $0.726 < 1.413$, é o corte do segundo andar que limita tudo!!!

$$V_S(max) = \frac{V_{out}(max)}{A_V} = 0.131\,V$$