**Circuitos Eletrônicos Analógicos**

**2a Avaliação - 30/11/15**

**Sem Consulta - Duração: 2h 30min**

**Nome:** Gisele Ginkilings Freire da Cruz

| **Justifique sucintamente as passagens** |
| --- |
| **A interpretação é parte integrante da questão** |

$gm = \frac{I_c}{V_t}$

**Questão 1 (Valor 2.5) -**

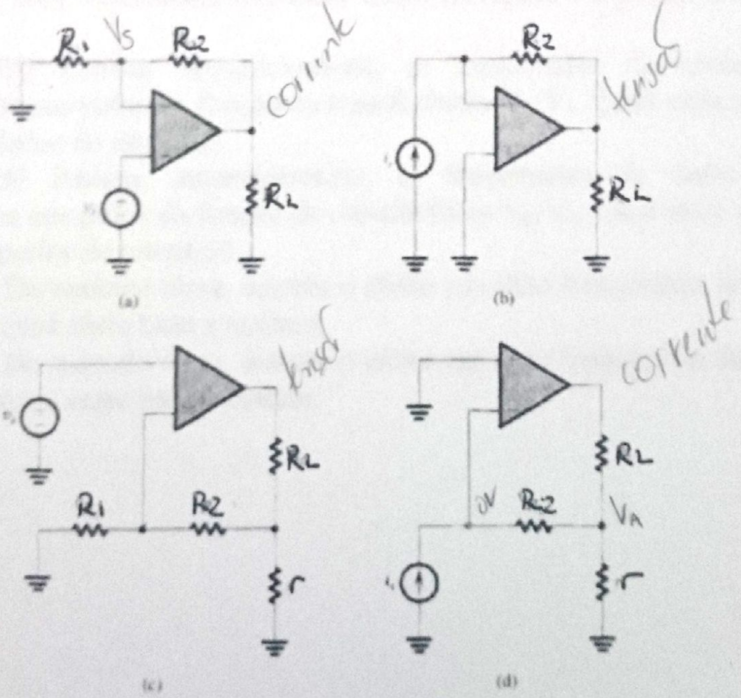
*a)* *(valor 1.5)* Para cada um dos circuitos abaixo, identifique a topologia de realimentação utilizada, justificando-a.

$R_\pi = \frac{\beta}{gm}$

*b)* *(valor 1.0)* Assumindo opamps ideias, e utilizando a teoria de realimentação, determine a função de transferência de realimentação β, assim como a função de transferência em malha fechada $\mathbf{A_f}$, para cada caso.

A/V

V/A




$1 + A\beta$

$\frac{-V_A}{R_1} =$

**Questão 2: (Valor 2.5)**

*a)* Deseja-se processar um sinal de banda-passante de 100KHz através de um circuito amplificador de tensão com ganho $A_v$=150 [V/V]. Para tanto, disponibiliza-se de opamps a polo dominante e com frequências de corte e de ganho-unitário $f_c$ e $f_t$, respectivamente, como listado na Tabela 1. Impõe-se, no projeto, que o ganho do opamp em malha aberta permaneça superior a 40dB na banda do sinal.

100x

| OPAMP # | $f_c$ (Hz) | $f_t$ (MHz) |
|---|---|---|
| 1 | 10 | 2.0 |
| 2 | 20 | 12.0 |
| 3 | 5 | 1.0 |
| 4 | 5 | 0.8 |

Tabela 1

i) *(valor 0.5)* Quais opamps seriam compatíveis para o projeto? Se nenhum deles, especificar fc e ft que atenderiam ao projeto.

ii) (valor 1.0) propor e dimensionar um circuito para o amplificador de AV = 60V/V.

*b) (valor 1.0)* Demonstre que, em um sistema realimentado negativamente, onde o circuito ativo corresponde a um sistema de 1ª ordem, o produto *ganho* x *banda passante* = constante.

**Questão 3: (Valor 2.5)** – Considere o circuito linear da Figura 1 e parâmetros listados.

a) *(valor 0.75)* Estime, numericamente, as frequências de corte inferiores relacionados aos polos da função de transferência $V_L/V_s$. Qual seria a frequência de corte inferior do circuito?

b) *(valor 0.75)* Estime, numericamente, as frequências de corte superiores relacionados aos polos da função de transferência $V_L/V_s$. Qual seria a frequência de corte superior do circuito?

c) *(valor 0.5)* De maneira clara, discuta o efeito em altas frequências de introduzir-se um capacitor entre base e emissor.

d) *(valor 0.5)* De maneira clara, discuta o efeito em altas frequências de introduzir-se um capacitor entre base e coletor.

$\frac{R_C // R_L}{R_{E1}}$

$V_{CC} = 12V$
$R_1 = 5K\Omega \quad R_2 = 20K\Omega$
$R_C = 500\ \Omega$
$R_L = 1500\ \Omega$
$R_{E1} = 100\Omega$
$R_S = 2.2K\Omega$
$C_1 = 2.2\mu F$
$C_2 = 2.2\mu F$
$C_E = 3.3\mu F$

$V_{BEon} = 0.7V$
$\beta = 200$
$C_\pi = 6pF$
$C\mu = 1.5pF$
$V_T = 25mV$

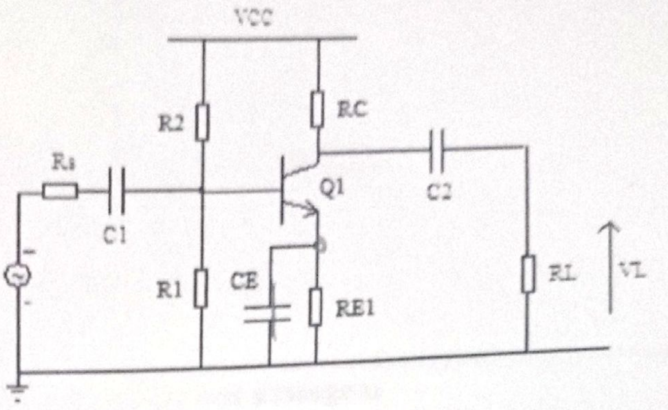


Figura 1

3,75

**Questão 4: (Valor 2.5)** Considere o oscilador linear abaixo. Admitindo amplificador operacional e diodos ideais com $V\gamma = 0.65V$ e $R1 = 4.3K\Omega$, $R3 = 8.2K\Omega$,

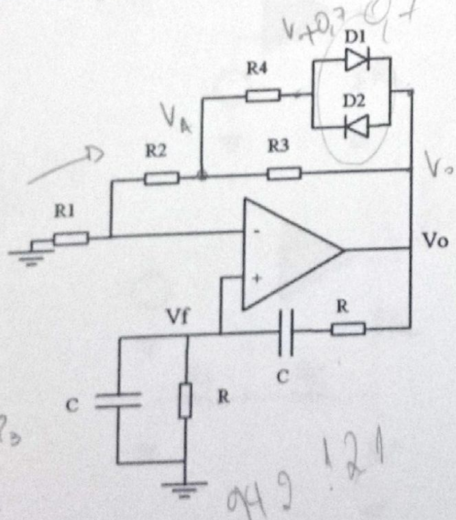
Realimentação negativa

a) (*valor 0.75*) Justificando, determine a condição de oscilação estável e a frequência de oscilação.

b) (*valor 0.75*) Dimensione $R_2$, [redacted] e $R_4$. Qual a amplitude de oscilação.

c) (*valor 1.0*) De forma clara, discutir a relação entre o ganho Vo/Vf e a estabilidade do sistema, a partir do plano s.

$\omega = \frac{1}{RC}$




R = 8.3KΩ
C = 3.3nF

$= R_2 V_b$

$R_1 V_{cc} - R_1 V_b$

4000

$R_4 // R_3$

$\omega = 2\pi f$

282 949 121

$V_B - V_E = 0,7$

$V_B - 0,7 = V_E$

2789,47

285290,32

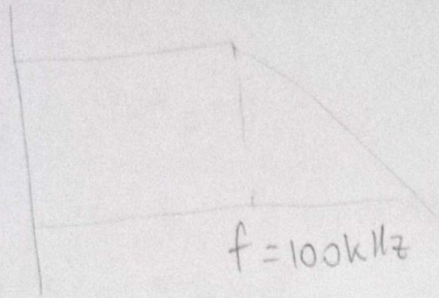
4015,57

1kHz
100Hz

Scanned by CamScanner

P2 - ANALOG - 30/11/2015

2)




Amplificador com ganho

$A_V = \underline{150}\ V/V$

fc → freq. de corte

ft → freq. ganho unitario

Ampop de pólo dominante

Ganho malha aberta > 40dB

$\hookrightarrow A_0 > 40dB = 10\,000$

$GB = A_0 . f_c = f_t$

opamp #1 : $f_c = 10Hz$ ; $f_t = 2,0MHz$

$$A_0 = \frac{f_t}{f_c} = \frac{2 \times 10^{\cancel{6}}}{1\cancel{0}} = 0,2e^6 = 2e^5 = 106,02dB$$

opamp #2 : $f_c = 20Hz$ ; $f_t = 12e^6 Hz$

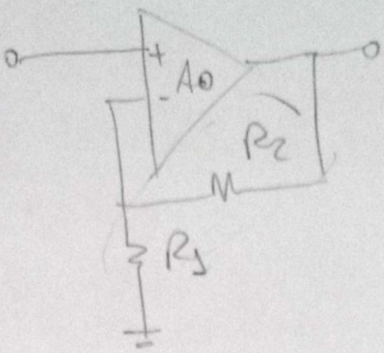
$$A_0 = \frac{f_t}{f_c} = \frac{12e^6}{20} = 0.6e^6 = 115.56dB$$

opamp #3 : $f_c = 5Hz$ ; $f_t = 1e^6 Hz$

$$A_0 = 0,5e^6 = 113,97dB$$

opamp #4 : $f_c = 5Hz$ ; $f_t = 0,8e^6$

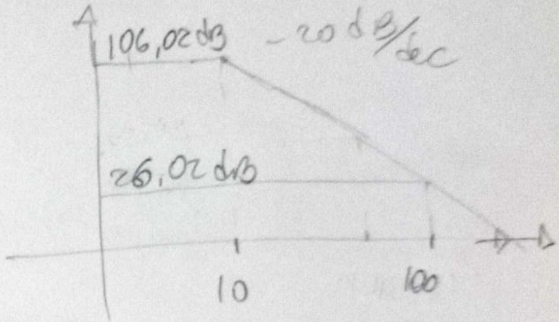
$$A = 0.16e^6 = 104.08dB$$




$A_v = 150 = 1 + \frac{R_2}{R_1}$

$\boxed{R_1 = 10k\Omega \quad R_2 = 149k\Omega}$

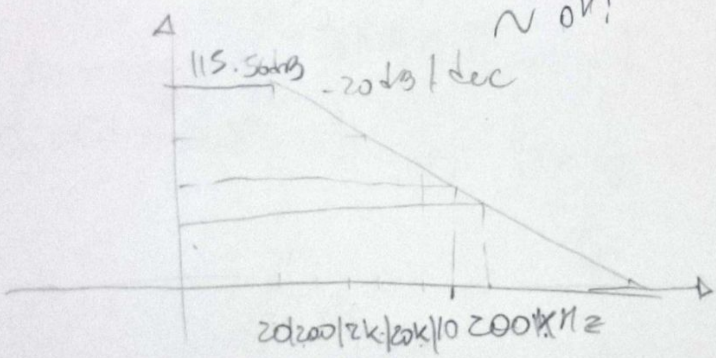
$\beta = \frac{1}{A_v} = \frac{1}{150} =$




#1 : $\frac{10^5}{10} = 10$ @ dec

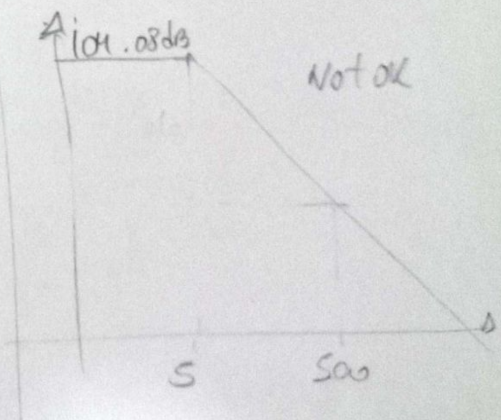
Not ok!

#2 :



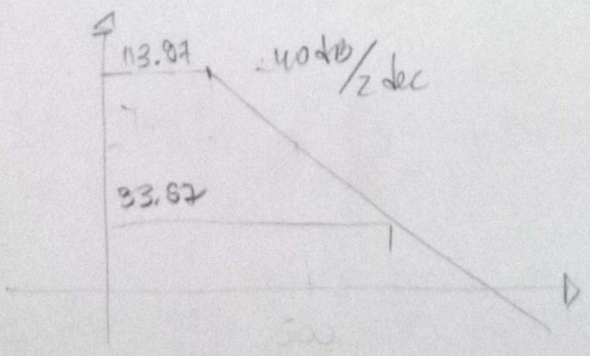

~ ok!

#4




Not ok

#3 : $\frac{10^5}{5}$

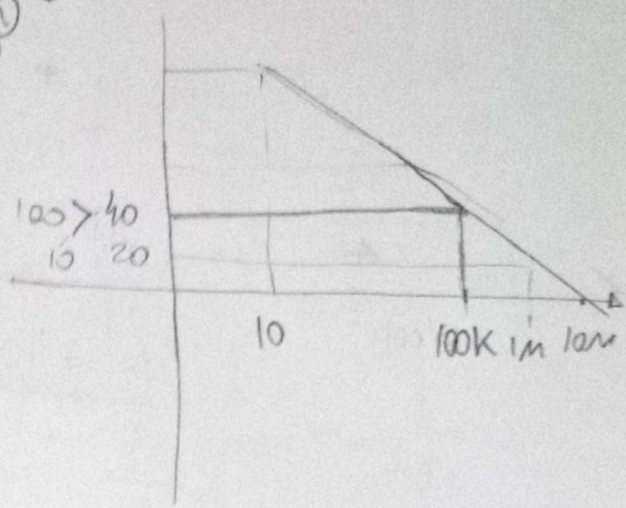





Scanned by CamScanner

a) $A_0 = \frac{f_t}{f_c}$ $\frac{10^5}{10} = 10$ (4) décadas

$40 + 80 = 120\,dB = 10^6$




p/ $f_c = 10Hz$

$f_t = 10^6 \cdot 10 = 10\,MHz$

$A_0 = 120\,dB$

$f_t = 10MHz$

$f_c = 10Hz$

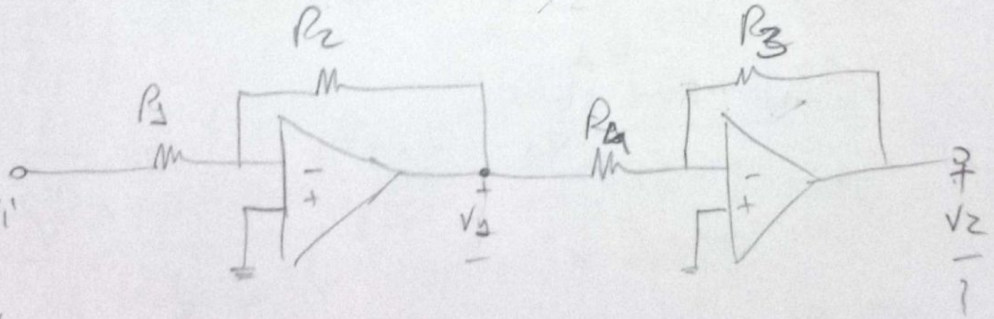
$\frac{1}{\beta} = Av = 150 = 43.52\,dB$

$60 \cdot 100k = 6\,MHz$

$30 \cdot 100k\Omega$

b) $\boxed{Av = 60\,\frac{V}{V}}$ $\beta = \frac{1}{Av} \Rightarrow$

$\frac{1}{\beta} = 60 \Rightarrow 35.56\,dB$




$Av = \frac{v_1}{v_i} \cdot \frac{v_2}{v_1} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot -\frac{R_3}{R_4} = 60$

$6 \cdot 100k = 600k$

$10 \cdot 100k = 1M$

$A_1 \cdot A_2 = 60$ | $\frac{R_2}{R_1} = 6$ | $\frac{R_3}{R_4} = 10$

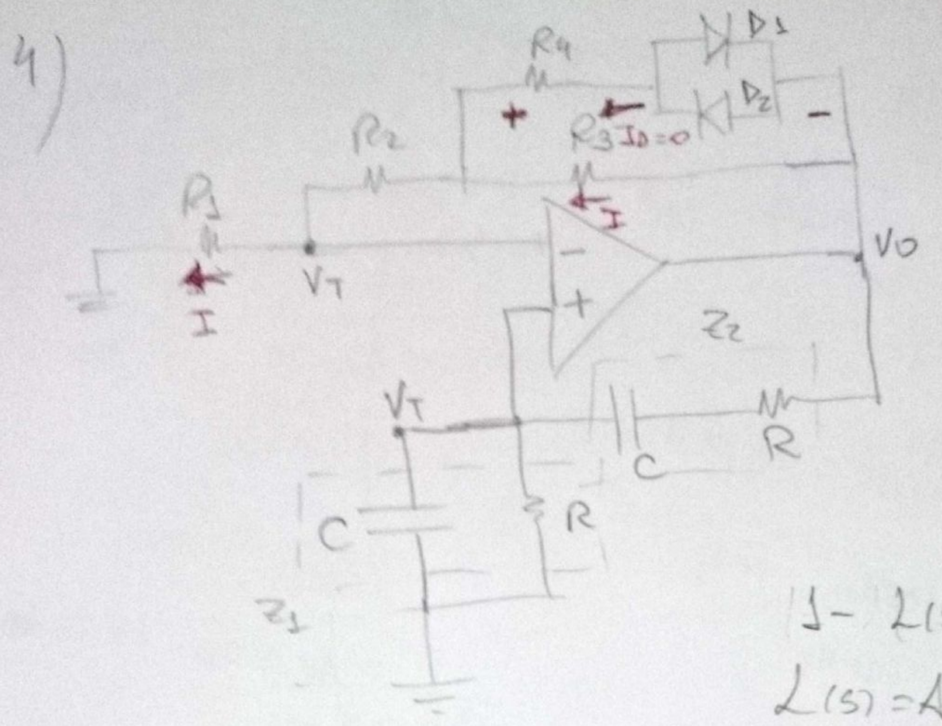
$A_1 = 6$ | $R_2 = 6k$ | $R_3 = 10k$

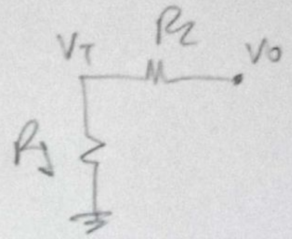
$A_2 = 10$ | $R_1 = 1k$ | $R_4 = 1k$

3

5

4)




$$1 - L(s) = 0$$

$$L(s) = A(s)\,\beta(s)$$

Condição de oscilação:

Sustentável: $$\left|A(\omega_{osc})\,\beta(\omega_{osc})\right| = 1$$

$$\measuredangle A(\omega_{osc})\,\beta(\omega_{osc}) = 0, 2\pi, 4\pi, \ldots$$

$$\frac{V_T}{Z_1} = \frac{V_0 - V_T}{Z_2} \Rightarrow \frac{Z_2}{Z_1}V_T + V_T = V_0 = \left(\frac{Z_2}{Z_1} + 1\right)V_T = V_0$$

$$Z_2 = \frac{1}{sC} + R = \frac{1+sCR}{sC}$$

$$\frac{V_0}{V_T} = \frac{Z_2 + Z_1}{Z_1}$$

$$\beta = \frac{1}{\frac{V_0}{V_T}} = \frac{V_T}{V_0}$$

$$Z_1 = \frac{\frac{1}{sC}\cdot R}{R + \frac{1}{sC}} = \frac{R}{sCR+1}$$

$$\frac{V_T}{V_0} = \frac{Z_1}{Z_2 + Z_1} = \frac{\frac{R}{sCR+1}}{\frac{R}{sCR+1} + \frac{1+sCR}{sC}}$$

$$\frac{\frac{R}{sCR+1}}{\frac{sRC + (1+sCR)(1+sRC)}{(sCR+1)sC}} = \frac{sRC}{sRC + 1 + sCR + sRC + (sRC)^2}\,\frac{1/sRC}{1/sRC} = \frac{1}{3 + \frac{1}{sRC} + sRC}$$

para oscilação $\phi_{osc} = 0, 2\pi$.

$$\therefore \frac{1}{jwRC} + jwRC = 0$$

$$-\frac{j}{wRC} + jwRC = 0 \Rightarrow jwRc = \frac{\cancel{j}}{wRC}$$

$$w^2 = \frac{1}{(RC)^2} \Rightarrow \boxed{w_{osc} = \frac{1}{RC}} \quad f_{osc} = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$\boxed{f_{osc} = 18{,}254\,kHz}$$

→ $D_1$ e $D_2$ off:

$$A = 1 + \frac{(R_2+R_3)}{R_1} \Rightarrow |A(w_{osc})\beta(w_{osc})| = |L(w_{osc})| = \left(1 + \frac{(R_2+R_3)}{R_1}\right)\frac{1}{3} = 1$$

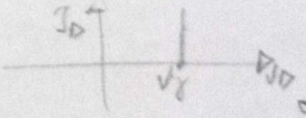
$$\left(1 + \frac{R_2+R_3}{R_1}\right) = 3 \cdot 1{,}1\% = 3{,}3 \Rightarrow R_2+R_3 = 2{,}3R_1 \rightarrow R_2 = 2{,}3R_1 - R_3$$

$$R_2 = 2.3(4.3k\Omega) - 8.2k\Omega$$

$$\therefore \boxed{R_2 = 1.69\,k\Omega}$$

$D_2$ off → on:

No momento da Comutação $I_D = 0$ ou $-10\%$




FT da ∠ partiative

$$I = \frac{V_T}{R_1} = \frac{V_\gamma}{R_3}$$

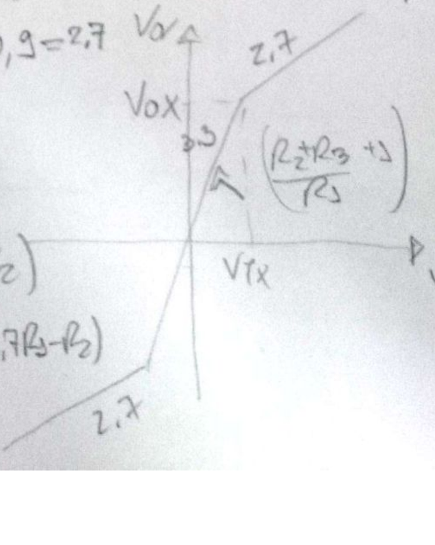
$$1 + \frac{R_2 + (R_3//R_4)}{R_1} = 3 \cdot 0{,}9 = 2{,}7$$

$$\frac{R_3R_4}{R_3+R_4} = 1{,}7R_1 - R_2$$

$$R_3R_4 = (R_3+R_4)(1{,}7R_1 - R_2)$$

$$R_4(R_3 - (1{,}7R_1 - R_2)) = R_3(1{,}7R_1 - R_2)$$

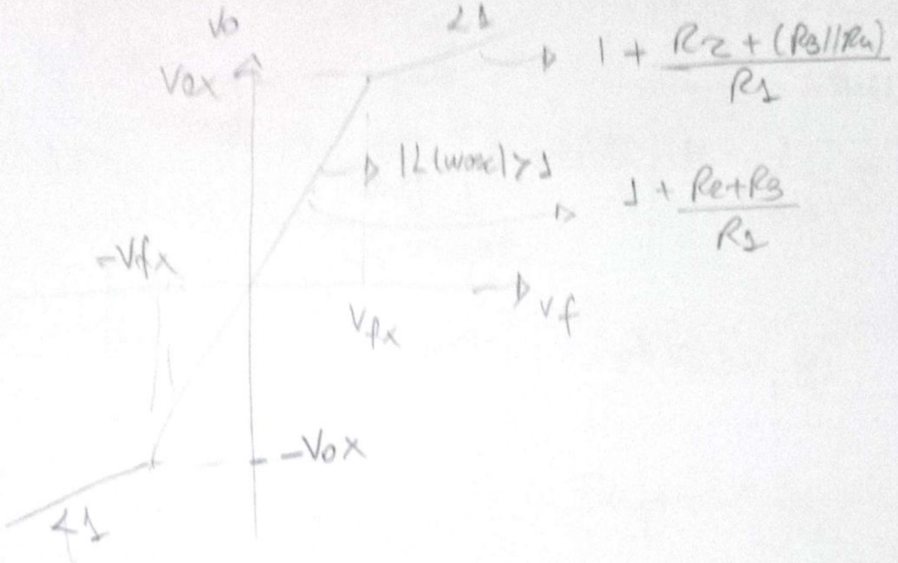
porém: $\frac{V_{ox}}{V_{Tx}} = 3.3$



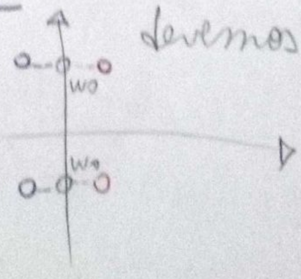
$$R_4 = \frac{R_3\,(1{,}7R_1 - R_2)}{R_3 - (1{,}7R_1 - R_2)} = \frac{8{,}2k\Omega\,(1{,}7(4{,}3k) - 1{,}69k)}{8{,}2k\Omega - 1{,}7(4{,}3k) + 1{,}69k}$$

$$\therefore R_4 = 17{,}862\,k\Omega$$

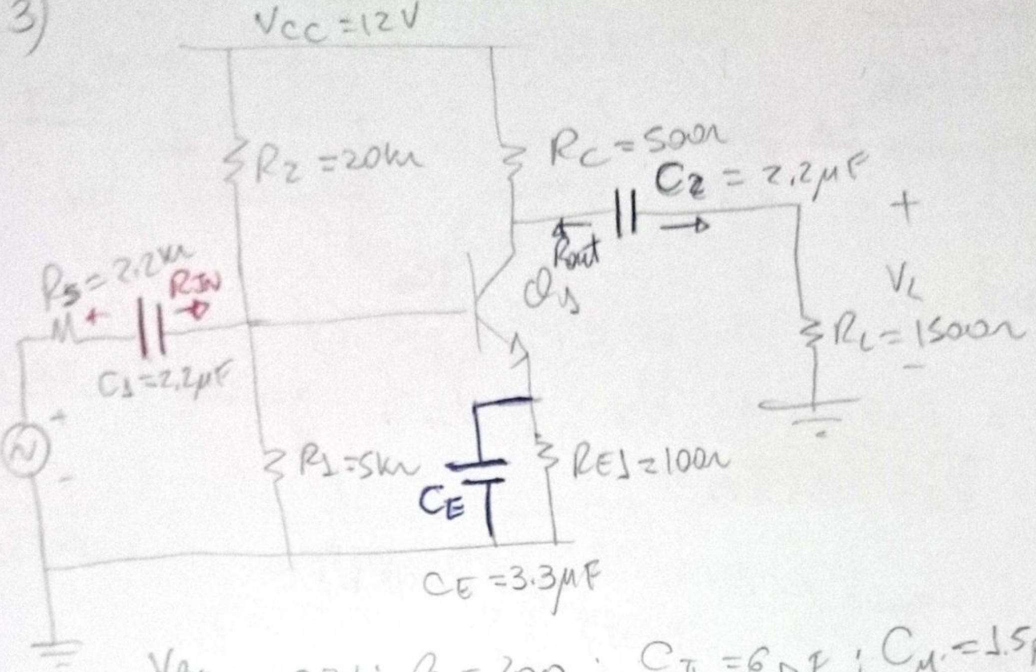
c)




temos o ganho maximo quando os dois diodos estão cortados para que quando ligamos o circuito (baixas amplitudes) temos $|L(w_{osc})| > 1$ só que não podemos continuar neste estado sempre pois o circuito entra em saturação para isso usamos os diodos $D_1$ e $D_2$ para controle deste ganho fazendo $|L(w_{osc})| < 1$ atenuando a saída, o circuito opera nestas condições. Em relação a estabilidade quando $|L| > 1$ temos instabilidade e $|L| < 1$ estabilidade para não distanciarmos da frequência de oscilação devemos ter um deslocamento $\delta$ (pequeno) [illegible] ...



3)

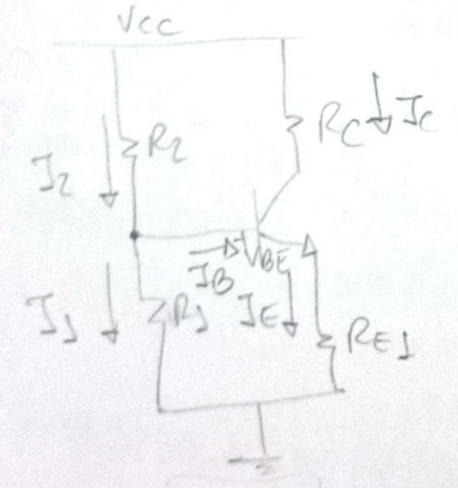



$V_{BEon} = 0{,}7V$ ; $\beta = 200$ ; $C_\pi = 6pF$ ; $C_\mu = 1.5pF$

$V_T = 25mV$

Análise DC!

Supondo $I_3 << I_1, I_2$




$$V_B = \frac{R_1}{R_1+R_2} V_{CC}$$

$$V_B = \frac{5k}{5k+20k} \cdot 12 = \frac{5}{25} 12$$

$$\boxed{V_B = 2.4V}$$

$V_{BE} = 0.7$

$$V_B - 0.7 = \boxed{V_E = 1{,}7V}$$

$$I_E = \frac{V_E}{R_{E1}} = \frac{1.7}{100} = \boxed{17mA}$$

$$I_B = \frac{I_E}{\beta+1} = \frac{17m}{201} = \boxed{85\mu A}$$

$$\cdot\ I_C = \boxed{16{,}915mA} = I_E - I_B$$

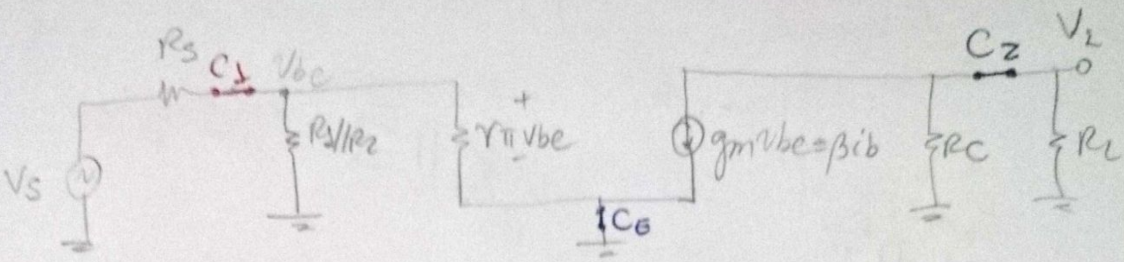
$$\text{ou } I_C = \frac{\beta}{\beta+1} I_E$$

$V_C = V_{CC} - I_C R_C$

$V_C = 12 - 16{,}915m \cdot 500$

$$\therefore \boxed{V_C = 3.5425V}$$

## Ac - Small signal - médias freq




$$V_{be} = \frac{R_1 \| R_2 \| r_\pi}{R_s + R_1 \| R_2 \| r_\pi} V_s \quad ; \quad V_2 = -g_m v_{be} (R_C \| R_L)$$

$$V_2 = -g_m \left[ \left( \frac{R_1 \| R_2 \| r_\pi}{R_s + R_1 \| R_2 \| r_\pi} \right) v_s \right] (R_C \| R_L)$$

$$\boxed{\frac{V_L}{V_S} = -g_m \left( \frac{R_1 \| R_2 \| r_\pi}{R_s + R_1 \| R_2 r_\pi} \right) (R_C \| R_2)}$$

$$r_\pi = \beta r_e \quad ; \quad r_e = \frac{V_T}{I_E} = \frac{25m}{17m} = 1{,}47\,\Omega \quad ; \quad g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{16{,}915m}{25m}$$

$$g_m = 0.6766\,\frac{A}{V}$$

$$r_\pi = 200.(1.47) = 294\,\Omega$$

$$R_1 \| R_2 = \frac{5k.20k}{25k} = 4k$$

$$R_1 \| R_2 \| r_\pi = 273{,}87\,\Omega$$

$$R_C \| R_2 = \frac{(50\cancel{0})\,15\cancel{00}}{2\cancel{000}} = 375\,\Omega$$

$$\frac{V_2}{V_S} = -(0.6766)\left(\frac{273.87}{2.2k + 273.87}\right)(375) = -28.0886$$

a) para baixas frequências: constante de tempos demais capacitores em curto

→ para $C_1$: $R_{eq_{\tau_1}} = R_{IN} + R_S$

$$R_{IN} = r_\pi // R_1 // R_2$$

$$R_{eq_{\tau_1}} = 273.87 + 2.2K = 2473,87\Omega$$

$$f_{C_1} = \frac{1}{2\pi R_{eq_{\tau_1}} C_1} \cdot \frac{1}{2\pi(2473,87)(2.2\mu)} = 29,242\,Hz$$

→ para $C_2$: $R_{eq_{\tau_2}} = R_{out} + R_2 = R_C + R_2 = 2K\Omega$

$$f_{C_2} = \frac{1}{2\pi R_{eq_{\tau_2}} C_2} = \frac{1}{2\pi(2K)(2.2\mu)} = 36.171\,Hz$$

→ para $C_E$: $R_{eq_{\tau 3}} = R_{E1} // (r_\pi // R_1 // R_2) // R_S$

$$R_a = R_1 // R_2 // r_\pi = 273.87\Omega$$

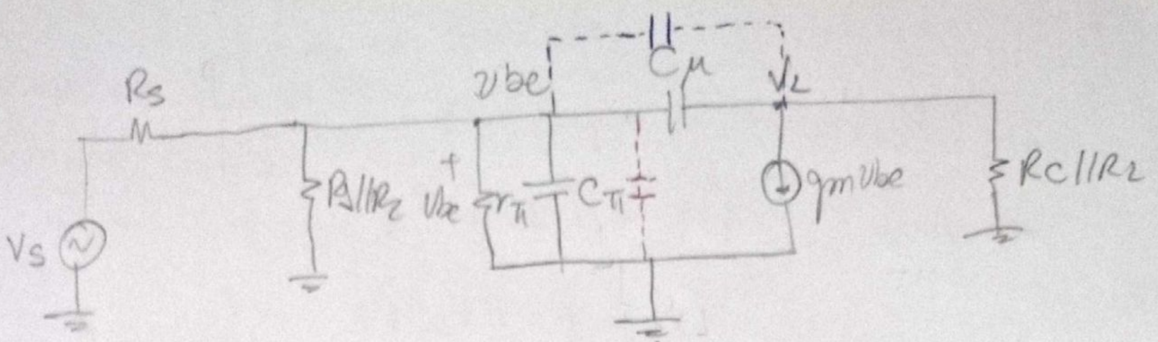
$$R_B = R_{E1} // R_S = \frac{(100).(2.2K)}{2.2K + 100} = 95,6521$$

$$R_a // R_B = \frac{(95,6521).(273,87)}{95.6521 + 273.87} = 70,892\Omega$$

$$f_{C_E} = \frac{1}{2\pi(3,3\mu)(70,892)} = 680,31\,Hz$$

→ $f_{CE}$ seria frequência de corte inferior.

b)




teorema de Miller:

$C_{\mu 1} = C_\mu (1 - A_v)$
$= 1.5p(254.725)$
$C_{\mu 1} = 382.0875pF$

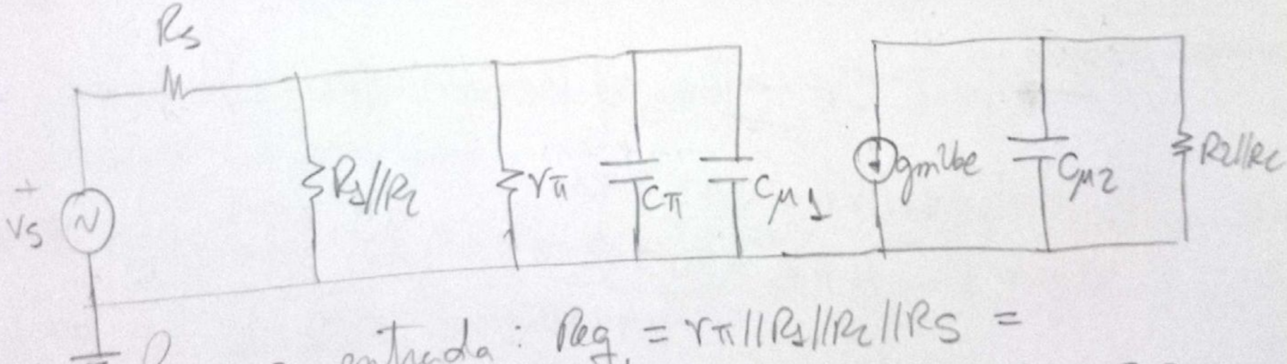
$V_2 = -g_m v_{be} \, R_C||R_L$

$\therefore \dfrac{V_2}{v_{be}} = -g_m (R_C||R_L) = -0.6766 \cdot (375)$

$A_v = \dfrac{V_2}{v_{be}} = -253.725$

$C_{\mu 2} = C_\mu \left(1 - \dfrac{1}{A_v}\right)$
$= C_\mu \left(1 + \dfrac{1}{253.725}\right)$

$C_{\mu 2} = 1.5059pF \approx C_\mu$ ; ficamos com o seguinte circuito




Para a entrada: $R_{eq_1} = r_\pi || R_1 || R_2 || R_S =$
$= \dfrac{273.87 \cdot 2.2K}{273.87 + 2.2K} = 243.55\Omega$

$C_{eq_1} = C_\pi + C_{\mu 1} = 6p + 382.0875p$
$= 388,0875pF$

$f_{H1} = \dfrac{1}{2\pi R_{eq_1} C_{eq_1}} = \dfrac{1}{2\pi (243.55)(388,0875 \times 10^{-12})} = 1683,845 \text{ kHz}$

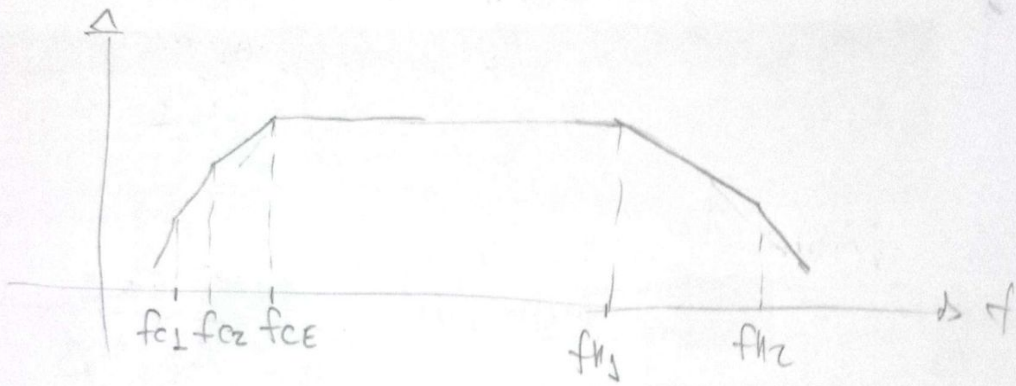
Para a Saída:

$$R_{eq_2} = R_L \| R_C = 375$$

$$C_{eq_2} = C_{\mu 2} = 1.5059\,pF$$

$$f_{H_2} = \frac{1}{2\pi C_{eq_2} R_{eq_2}} = \frac{1}{2\pi(1{,}5059\times10^{-12})(375)} = 281{,}839\ MHz$$

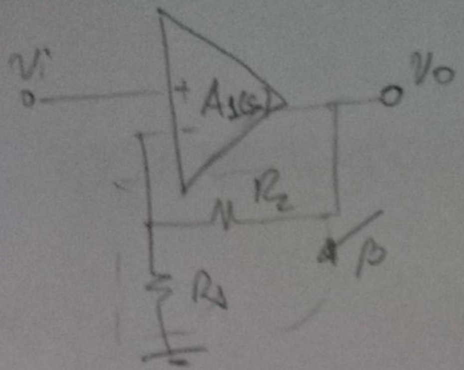
→ $f_{H_1}$ é a frequência de corte.




c)* A Capacitância equivalente a entrada Aumentaria assim a frequencia de corte superior diminuiria, assim como a banda de passagem

d)* Com uma capacitância entre base-coletor utilizando o teorema de Miller podemos refleti-la para a entrada e saída e assim aumenta a capacitância equivalente nos dois e diminuindo as frequências respectivas a entrada e saída, diminuindo também a banda do Amplificador.

2) b)

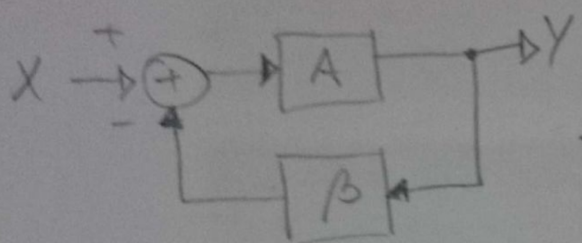



Sem realimentação:

$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = A_1(s) = \frac{A_o}{1 + \frac{s}{w_o}}$$

Com realimentação

$$PGB = A_o \cdot w_o = GBW$$




$$\Rightarrow \frac{Y}{X} = \frac{A(s)}{1 + A\beta(s)}$$

$$\beta = \frac{1}{1 + \frac{R_2}{R_1}} \; ; \; A(s) = \frac{A_o}{1 + \frac{s}{w_o}} \; ;$$

substituindo:

$$\frac{V_o}{V_i}(s) = \frac{\frac{A_o}{1 + \frac{s}{w_o}}}{1 + \frac{A_o}{1 + \frac{s}{w_o}} \beta} = \mathrm{I}$$

$$\mathrm{I} = \frac{\frac{A_o}{\cancel{1 + \frac{s}{w_o}}}}{\frac{1 + \frac{s}{w_o} + A_o\beta}{\cancel{1 + \frac{s}{w_o}}}} = \frac{A_o}{(1 + \beta A_o) + \frac{s}{w_o}}$$

multiplicando $\frac{\frac{1}{(1+\beta A_o)}}{\frac{1}{(1+\beta A_o)}}$

$$\text{temos} = \frac{\frac{A_o}{1 + \beta A_o}}{1 + \frac{s}{(1+\beta A_o) w_o}}$$

$$\therefore GBW = \frac{A_o}{(1 + \beta A_o)} \cdot (1 + \beta A_o) w_o = A_o w_o$$

constante