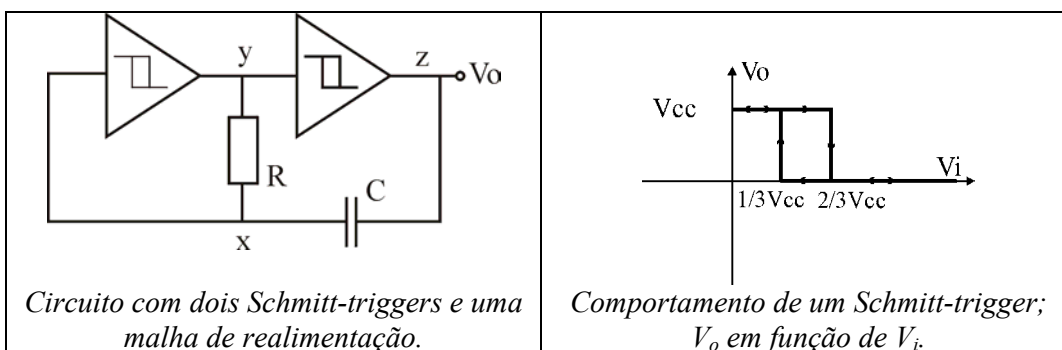




- Escreva o seu nome, nº de aluno e curso em todas as folhas que entregar.
- Não é permitido falar com os colegas durante o exame. Se o fizer, terá a prova anulada. Desligue o telemóvel.
- Caso opte por desistir, escreva “Desisto”, assine e entregue a prova ao docente.
- O exame tem 4 perguntas e a cotação de cada aparece entre parêntesis.
- Faça letra legível.
- Boa sorte!

Todos os transistors têm $\beta = 100$ e $V_A = 200$ V. Esclarece sempre as respostas com cálculos e/ou figuras.

Pergunta 1 “Circuitos com amp-ops” (6 valores)

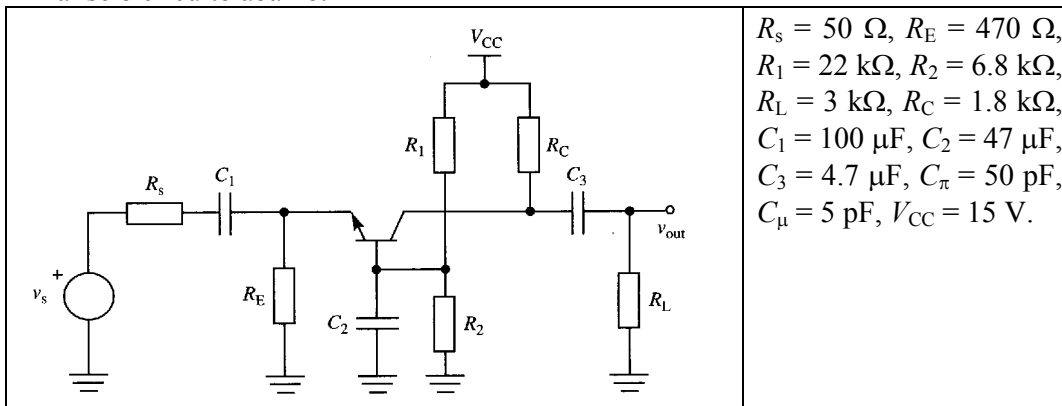


Analise o circuito **oscilador** mostrado acima.

- Faça esboços do sinal nos pontos x, y e z.
- Determine o período de oscilação.
- Escolha valores para R e C de forma a chegar a uma frequência de oscilação de 10 kHz.
- Mostra como se pode implementar com amp-ops *Schmitt-triggers* a função de transferência tal como mostrada na figura da esquerda.

Pergunta 2 “Análise em frequência” (5 valores).

Analise o circuito abaixo.



- a) Dê uma expressão para o ganho em médias frequências.
- b) Calcule as frequências de corte em altas e baixas frequências.
- c) Faça diagramas de Bode para mostrar o comportamento do circuito em frequência.

Pergunta 3 “Realimentação” (6 valores).

- a) Para realimentação negativa, mostre num diagrama de Nyquist 1) o critério de Barkhausen e 2) a zona de possibilidade de acontecer oscilações. Considere a margem de fase 45° .

Um certo amplificador tem um ganho em malha aberta em baixas frequências igual a $A_0 = 200.000$ e três pólos na função de transferência, um a 1 Hz, um a 500 Hz e um a 100 kHz. A realimentação tem o valor de 0.5 em baixas frequências e um pólo a 1 kHz.

- b) Este amplificador realimentado é estável? Caso não seja, qual é a gama de frequências de oscilação? Use diagramas de Bode e Nyquist para justificar a sua resposta.
- c) Caso a resposta da alínea b) seja "não é estável", mostre uma maneira (com valores) como as oscilações podem ser evitadas. Caso a resposta da alínea b) seja "sim, estável", calcule o A_0 máximo que ainda não admite oscilações.

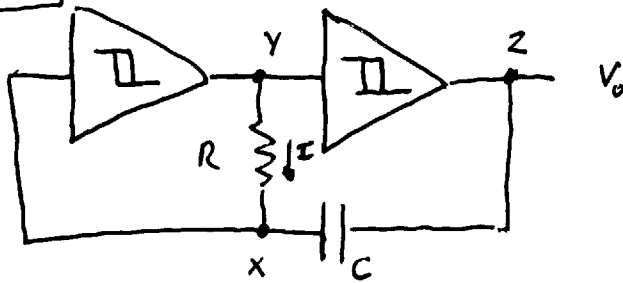
Pergunta 4 “Andares de saída” (3 valores).

Um andar de saída é composto por um único transistor de potência npn ligado em configuração Colector Comum com alimentação $V_{CC} = 15 \text{ V}$.

- a) Qual é a classificação do andar?
- b) Qual é a potência máxima gerada dentro do transistor quando uma carga com impedância de 8Ω está ligada à saída.
- c) Qual será a temperatura final da junção. (Temperatura do ambiente: $T_A = 20^\circ\text{C}$, resistência termal da embalagem: $R_T = 20 \text{ K/W}$). O transistor vai queimar?

13/01/2005

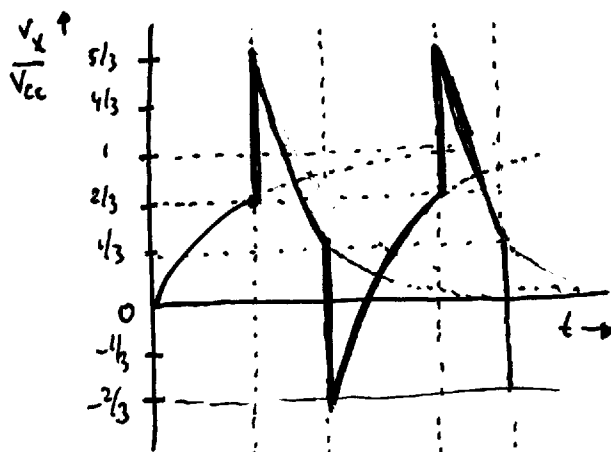
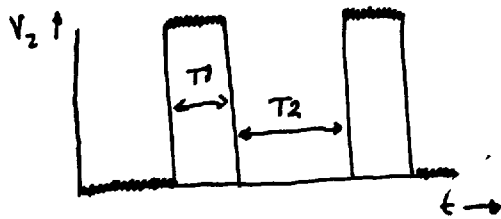
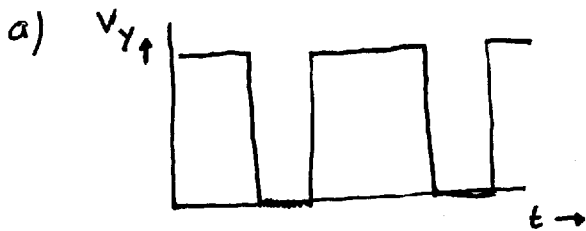
Pergunta 1



alimentação :
+V_{cc} e ϕ

y: Sempre +V_{cc} ou ϕ

z: " " " " e é o inverso de V_y ($= V_{cc} - V_y$)



Imagine $V_z = \phi$ e $V_y = +V_{cc}$ ($t=0$ s). Existe uma corrente I que carregue C .

A queda de tensão aumenta em C , uma pata está ligada a ϕ V (V_z). O outro lado é V_x que aumenta exponencialmente (porque é um processo com $1/C$ e $1/R$), com um tempo característico $\tau = RC$. A tendência é

para $V_x = +V_{cc}$ (porque

nesta condição I será ϕ A). Mas, nunca chega lá,

porque quando V_x chega a $2/3 V_{cc}$ o primeiro

Schmitt trigger faz uma comutação e V_y muda

de $+V_{cc}$ a 0 V . Isto também provoca uma comutação do segundo Schmitt trigger. V_z muda de 0 V a $+V_{cc}\text{ V}$.

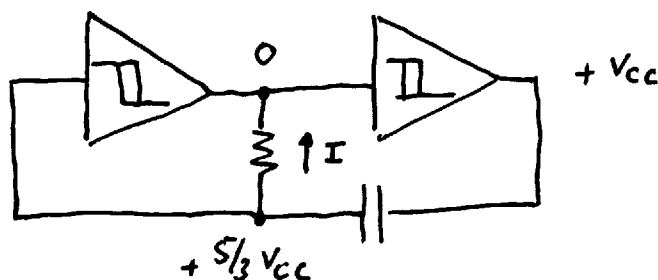
Uma propriedade de um condensador é que mantém instantaneamente a queda de tensão.

Antes da comutação a queda foi $+2/3 V_{cc}$ ($= V_x - V_z$)

($= 2/3 V_{cc} - 0$). Depois da comutação: $V_x = V_z + 2/3 V_{cc}$

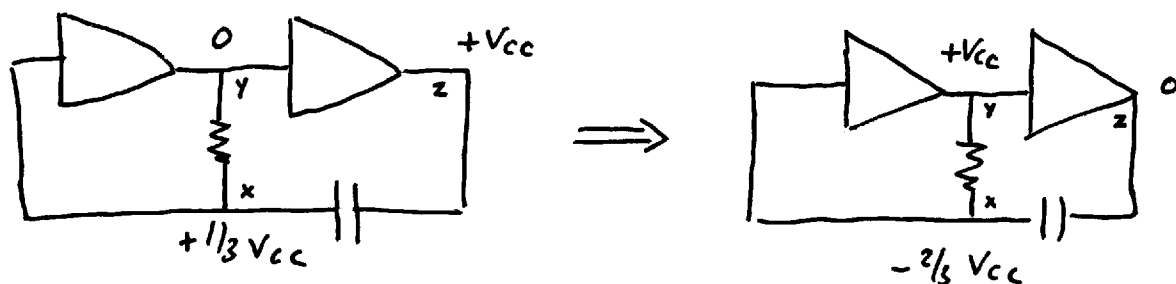
$= V_{cc} + 2/3 V_{cc} = 5/3 V_{cc}$. Neste momento temos a

seguinte situação:



uma corrente que descarregue o condensador, e que faz baixar a tensão em x com um tempo característico $\tau = RC$ e uma tendência para 0 V . ($= V_y$). Outra vez, nunca chegará lá porque em $V_x = +1/3 V_{cc}$ os Schmitt trigger comutarão.

Neste momento temos a seguinte comutação:



a notar que a queda $V_x - V_z$ é constante nesta comutação.

- b) T2:
- exponencial (porque tem 1 condensador)
 - $\tau = RC$
 - começa em $-2/3 V_{cc}$
 - tendência para $+V_{cc}$
- } $\Delta V = 5/3 V_{cc}$

$$\Rightarrow V_x = -2/3 V_{cc} + 5/3 V_{cc} (1 - \exp(-t/RC))$$

$$= V_{cc} - 5/3 V_{cc} \exp(-t/RC)$$

- t :
- exponencial
 - $\tau = RC$
 - começa em $+5/3 V_{cc}$
 - tendência para 0 V
- } $\Delta V = -5/3 V_{cc}$

$$\Rightarrow V_x = 5/3 V_{cc} - 5/3 V_{cc} (1 - \exp(-t/RC))$$

$$= 5/3 V_{cc} \exp(-t/RC)$$

τ_2 : quando chega ao ponto de comutação ?

$$V_{cc} - 5/3 V_{cc} \exp(-t/RC) = 2/3 V_{cc}$$

$$\Rightarrow \exp(-t/RC) = 1/5$$

$$t = RC \ln(5) = \tau_2$$

τ_1 : quando chega ao ponto de comutação ?

$$5/3 V_{cc} \exp(-t/RC) = 1/3 V_{cc}$$

$$\Rightarrow t = RC \ln(5) = \tau_1$$

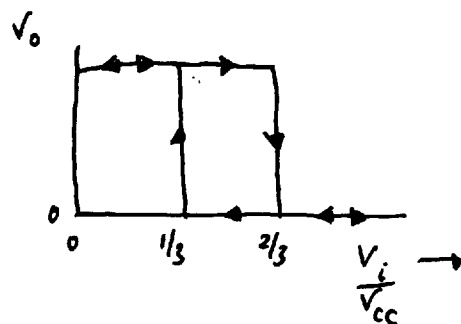
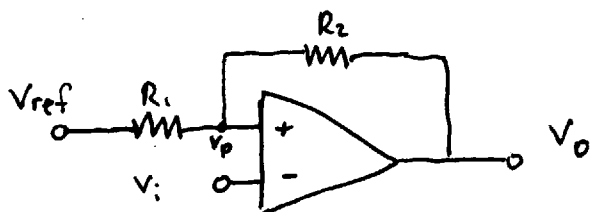
$$\Delta T = \tau_1 + \tau_2$$

$$c) f = \frac{1}{\tau_1 + \tau_2} = \frac{1}{2 RC \ln(5)}$$

$$f = 10 \text{ kHz} \Rightarrow 2 RC \ln(5) = 10^{-4} \text{ s}$$

$$\text{exemplo : } R = 1 \text{ k}\Omega, C = 31 \text{ nF}$$

d)



$$V_o = +V_{cc}, \quad V_p = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{cc} + \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{ref} = 2/3 V_{cc}$$

$$V_o = 0, \quad V_p = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{ref} = 1/3 V_{cc}$$

$$(\text{define } \alpha = R_1/R_2 \text{ e } \beta = V_{ref}/V_{cc})$$

Solução :

$$R_1 = 2 R_2 = V_{ref} = \frac{1}{2} V_{cc}$$

a) Polarização :

$$V_B = \frac{6.8 \text{ k}\Omega}{6.8 \text{ k}\Omega + 22 \text{ k}\Omega} \times 15 \text{ V} = 3.54 \text{ V}$$

$$V_E = 3.54 - 0.7 = 2.8 \text{ V}$$

$$I_E = 2.8 \text{ V} / 470 \Omega = 6 \text{ mA}$$

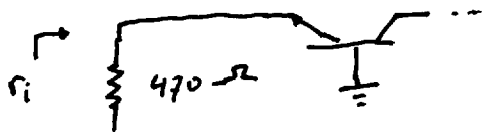
$$I_C = \alpha I_E = 6 \text{ mA}$$

$$r_o = \frac{V_A}{I_C} = \frac{200 \text{ V}}{6 \text{ mA}} = 33 \text{ k}\Omega$$

$$r_e = \frac{V_T}{I_E} = \frac{26 \text{ mV}}{6 \text{ mA}} = 4.3 \Omega$$

Ganho da base comum :

$$A = \frac{V_C}{V_E} = \frac{R_C \parallel R_L \parallel r_o}{r_e} = \frac{1.09 \text{ k}\Omega}{4.3 \Omega} = 253$$

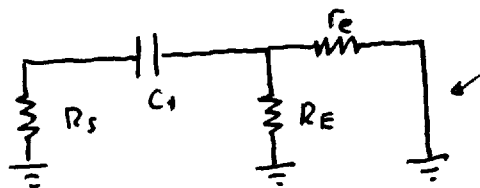


$$r_i = 470 \Omega \parallel 4.3 \Omega = 4.3 \Omega$$

$$\frac{V_E}{V_S} = \frac{4.3 \Omega}{4.3 \Omega + 50 \Omega} = 0.079$$

$$\frac{V_O}{V_S} = \frac{V_O}{V_E} \cdot \frac{V_E}{V_S} = 253 \times 0.079 = 20.0$$

b) C1 :



SHORT - CIRCUIT
TIME CONSTANTS

$$\tau_i = C1 \cdot [R_S + R_E \parallel r_e]$$

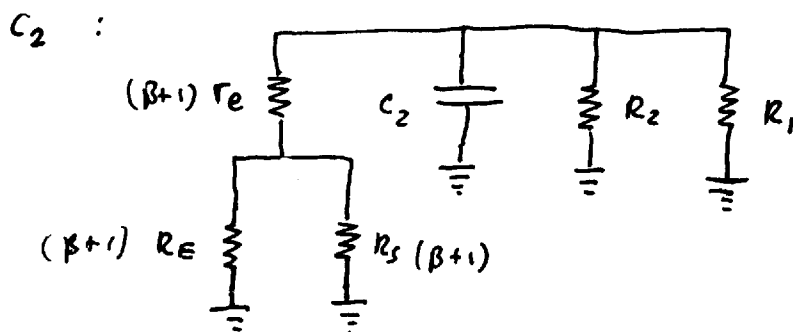
$$= 100 \mu\text{F} \cdot 54 \Omega$$

6

$$\tau_1 = 5.4 \text{ ms}$$

$$\omega_1 = \frac{1}{5.4 \text{ ms}} = 185 \text{ rad/s}$$

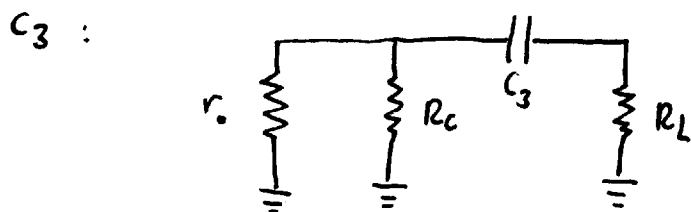
$$f_1 = \frac{1}{2\pi \cdot 5.4 \text{ ms}} = 29.5 \text{ Hz}$$



$$\begin{aligned} \tau_2 &= C_2 \left((\beta+1)(r_e + R_E // R_S) // R_2 // R_L \right) \\ &= 47 \text{ yF} \left(101 (4.3 \Omega + 470 \Omega // 50 \Omega) // 6.8 \text{ k}\Omega // 22 \text{ k}\Omega \right) \\ &= 120 \text{ ms} \end{aligned}$$

$$\omega_2 = \frac{1}{120 \text{ ms}} = 8.35 \text{ rad/s}$$

$$f_2 = \frac{1}{2\pi \cdot 120 \text{ ms}} = 1.33 \text{ Hz}$$



$$\begin{aligned} \tau_3 &= C_3 (r_o // R_C + R_L) \\ &= 4.7 \text{ yF} (33 \text{ k}\Omega // 1.8 \text{ k}\Omega + 3 \text{ k}\Omega) \\ &= 22.1 \text{ ms} \end{aligned}$$

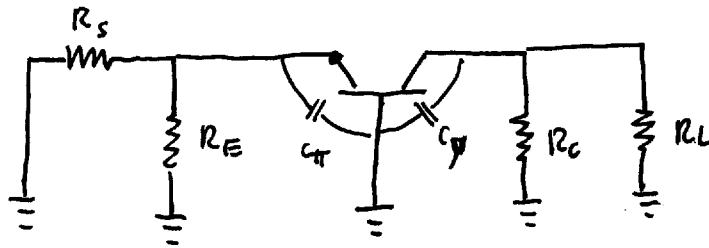
$$\omega_3 = \frac{1}{22.1 \text{ ms}} = 45.2 \text{ rad/s}$$

$$f_3 = \frac{1}{2\pi \cdot 22.1 \text{ ms}} = 7.2 \text{ Hz}$$

$$f_L = f_1 + f_2 + f_3 = 38 \text{ Hz}$$

Altas frequências .

Todos os condensadores externos estão em corte circuito

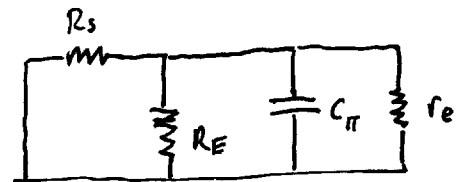


(C_{π}) :

$$\begin{aligned}\tau_{\pi} &= (r_e // R_s // R_E) C_{\pi} \\ &= (4.32 / 50 \, \Omega // 470 \, \Omega) 50 \, \text{pF} \\ &= 0.196 \, \text{ns}\end{aligned}$$

$$\omega_{\pi} = \frac{1}{\tau_{\pi}} = 5.1 \, \text{Grad/s}$$

$$f_{\pi} = \frac{1}{2\pi \tau_{\pi}} = 810 \, \text{MHz}$$

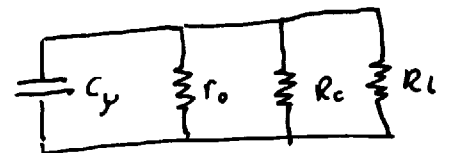


(C_y)

$$\begin{aligned}\tau_y &= (R_C // R_L) C_y \\ &= (1.8 \, \text{k}\Omega // 3 \, \text{k}\Omega) 5 \, \text{pF} \\ &= 5.6 \, \text{ns}\end{aligned}$$

$$\omega_y = \frac{1}{\tau_y} = 0.17 \, \text{Grad/s}$$

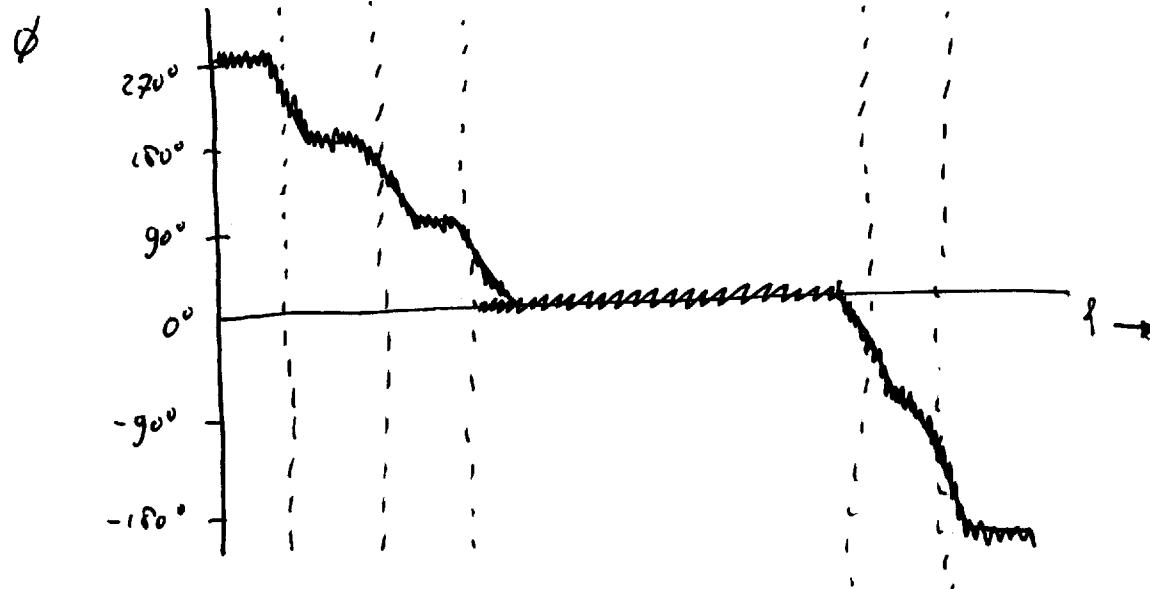
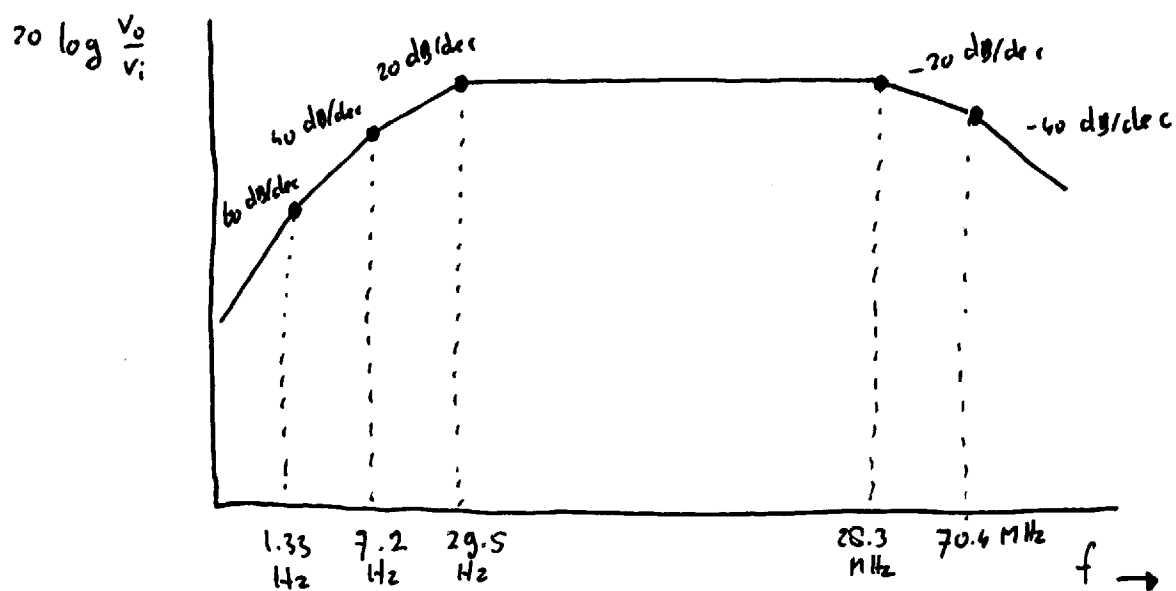
$$f_y = \frac{1}{2\pi \tau_y} = 28.3 \, \text{MHz}$$



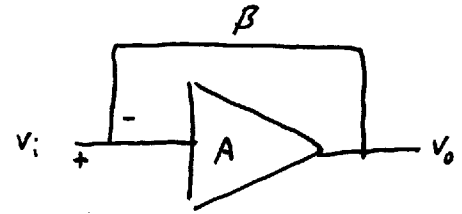
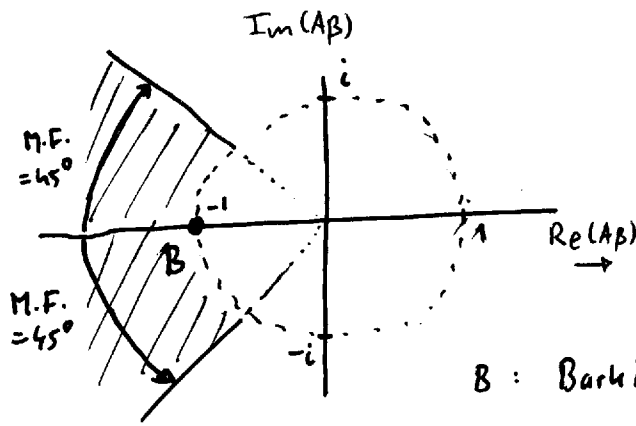
$$f_H = 1 / (1/f_y + 1/f_{\pi}) = 27.3 \, \text{MHz}$$

c)

8



a)

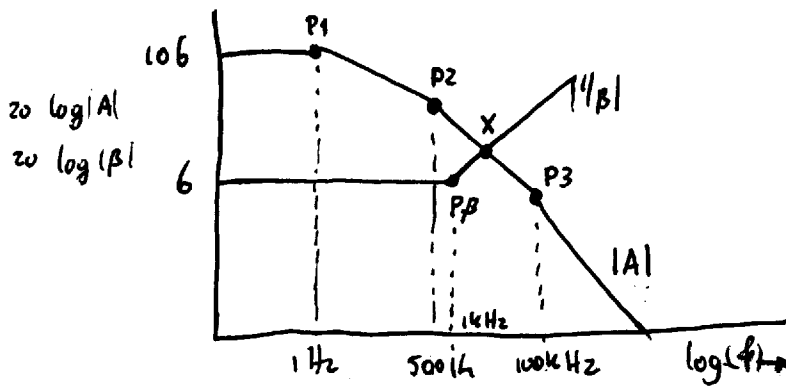


B : Barkhausen critério

○ : $|A\beta| = 1$

▨ : zona de oscilações

b)

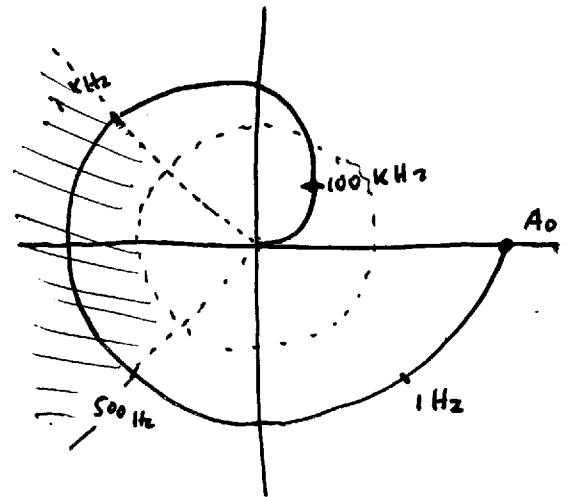
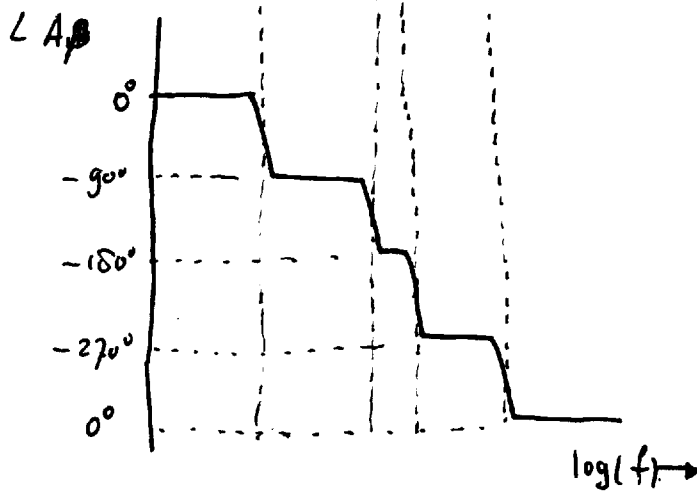


$$A_0 = 200.000$$

$$A(1 \text{ Hz}) = 200.000$$

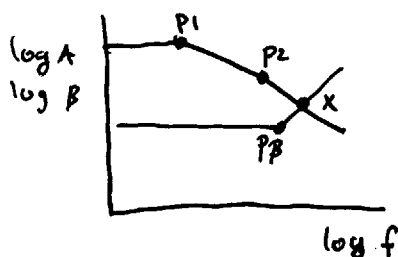
$$A(500 \text{ Hz}) = 200.000 \cdot \frac{1}{500} = 400$$

$$A(100 \text{ kHz}) = 400 \cdot \left(\frac{500}{100.000}\right)^2 = 0.01$$

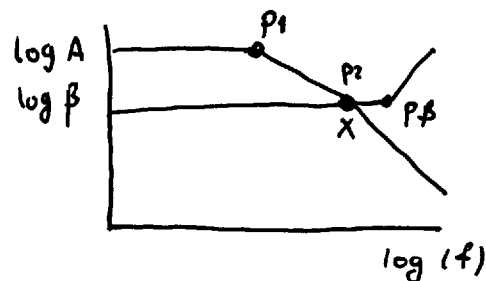


vai oscilar entre 500 Hz e 1 kHz

c) ① diminuir a realimentação



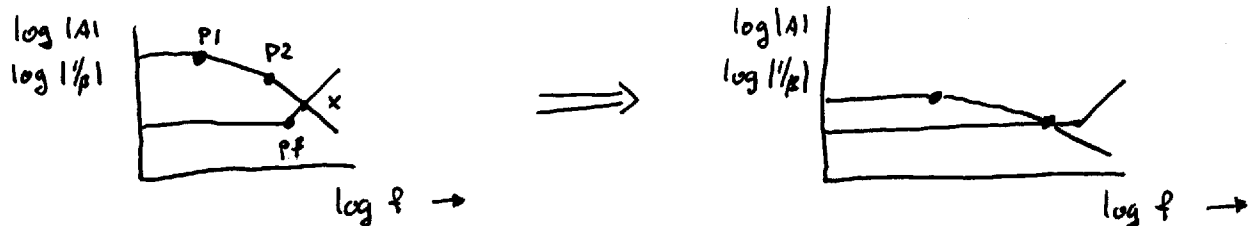
⇒



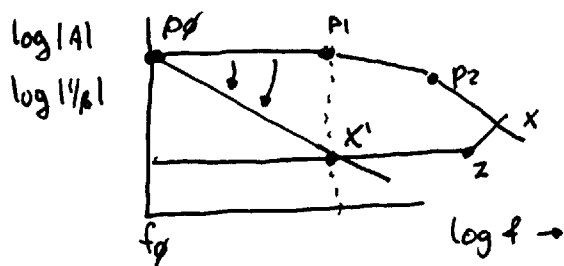
valor: o $|1/\beta|$ deve ser igual a $|A|$ em ponto P2 (500 Hz), nomeadamente 400. Por isso $\beta_0 = 0.0025$

- ② Da mesma forma podemos diminuir o A_0 com o mesmo factor

$$A_0 \quad 400.000 \rightarrow 2.000$$



- ③ Frequency compensation



depois de P_ϕ

$$A(f) = 200.000 \cdot \left(\frac{f_\phi}{f}\right)$$

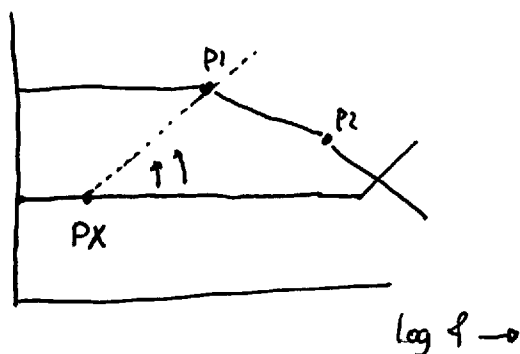
$$A(P1) = 200.000 \cdot \left(\frac{f_\phi}{1}\right) =$$

$$200.000 f_\phi = \frac{1}{\beta} = 2$$

$$\Rightarrow f_\phi = 10 \mu\text{Hz}$$

(não é muito prático)

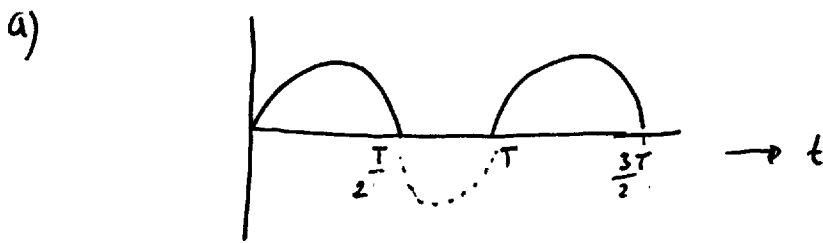
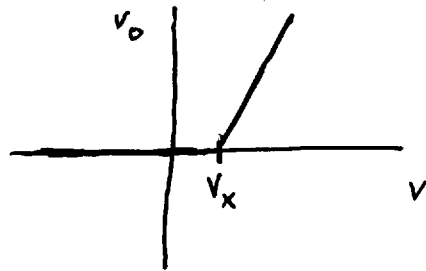
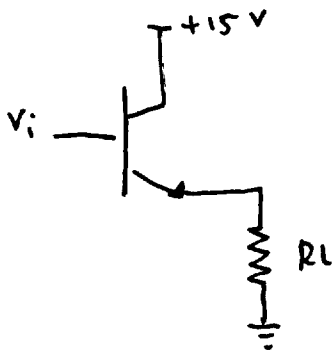
- ④ Novo pólo em β ; P_X



Também em $10 \mu\text{Hz}$.

(não é muito prático)

veja p 6 do capítulo 5 da setenta.



class B

(ou class C se incluimos o efeito v_x)

b)

$$P_{L \max} = \frac{1}{2} \frac{1}{T} \int v_o(t) \cdot \overline{v_o(t)} \cdot dt = \frac{1}{4} V_{cc}^2 / R_L \quad \left[\begin{array}{l} v_o(t) = \\ V_{cc} \sin(\omega t) \end{array} \right]$$

$$P_S^{\max} = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} \underset{\substack{\uparrow \\ V}}{V_{cc}} \cdot \underset{\substack{\uparrow \\ I}}{\frac{v_o(t)}{R_L}} dt = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} V_{cc} \cdot \frac{V_{cc} \sin(\omega t)}{R_L} dt$$

$$= \frac{1}{\pi} V_{cc}^2 / R_L$$

$$V_{cc} = 15V$$

$$R_L = 8\Omega$$

$$= 8.95 \text{ W}$$

c)

$$T_J = T_A + P \cdot R_T$$

$$= 20^\circ\text{C} + 8.95 \text{ W} \cdot 20^\circ\text{C/W} = 199^\circ\text{C}$$

vai queimar!