

Circuitos Eletrônicos Analógicos

1a Avaliação - 11/05/15

Sem Consulta - Duração: 2h 40min

Nome: Matheus Valente de Silv.

$$V_0 = V_{T1} - V_{T2}$$

Justifique sucintamente as passagens
A interpretação é parte integrante da questão

(Valor 5.0) - Questão 1 - Considere o circuito da figura abaixo e parâmetros listados. Transistores possuem mesma densidade de corrente de saturação e áreas emissor/base. Inicialmente, assuma V_X e I_{EE} fontes contínuas ideais de tensão e corrente, respectivamente.

a) (valor 1.0) Utilizando análise de pequenos sinal, determine, literalmente, a expressão do ganho de tensão diferencial $A_{dm} = v_{out}/v_{in}$, tendo à entrada um sinal diferencial balanceado. Calcule, também, seu valor numérico.

b) Utilizando $v_a = 50\sin\omega t$ [mV] como referência, esboce detalhadamente as formas de onda de tensão ($dc + ac$) nos nós C_1 , C_2 e E , e de corrente ($dc + ac$) nos coletores de Q_1 e Q_2 , nos casos

- (valor 0.75) i) $v_a = v_b$
(valor 0.75) ii) $v_a = -v_b$

c) (valor 0.75) Na condição de um descasamento relativo de $\pm 0.75\%$ no valor de R_C , determine a tensão de offset referente à entrada do amplificador.

d) (valor 0.75) Determine o intervalo de valores possíveis de V_X .

e) (valor 1.0) Considere agora que V_X sofra uma interferência da rede, ou seja, $V_X(t) = 0.25\sin 2\pi 60t$ [V]. Admitindo I_{EE} com uma resistência de fonte de $500\text{K}\Omega$, calcule o ganho em modo comum A_{cm} no coletor de Q_1 e a respectiva forma de onda V_{C1} .

$$V_{CC} = 5\text{V}$$

$$I_{EE} = 5\text{mA}$$

$$R_C = 1.0\text{K}\Omega$$

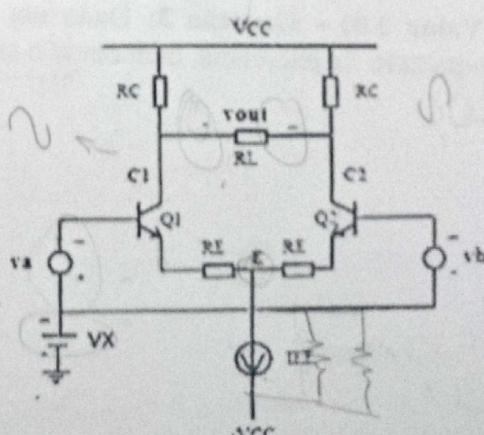
$$R_E = 100\Omega$$

$$R_L = 3.2\text{K}\Omega$$

Para $Q_1 - Q_2$:

$$V_{BE} = 0.7\text{V} \quad V_{CE\ sat} = 0.3\text{V}$$

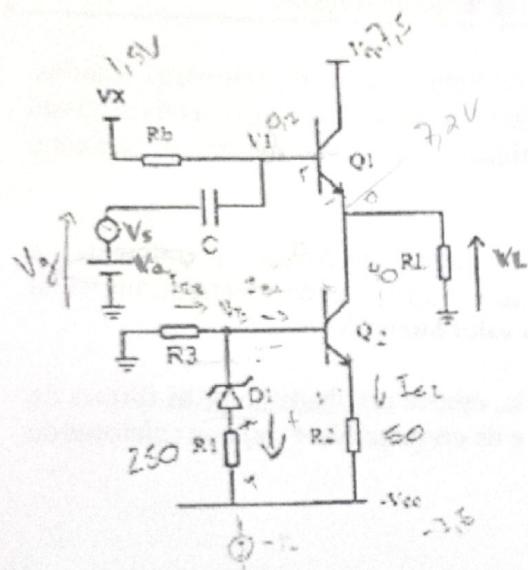
$$r_{ce} \rightarrow \infty \quad \beta = 120$$



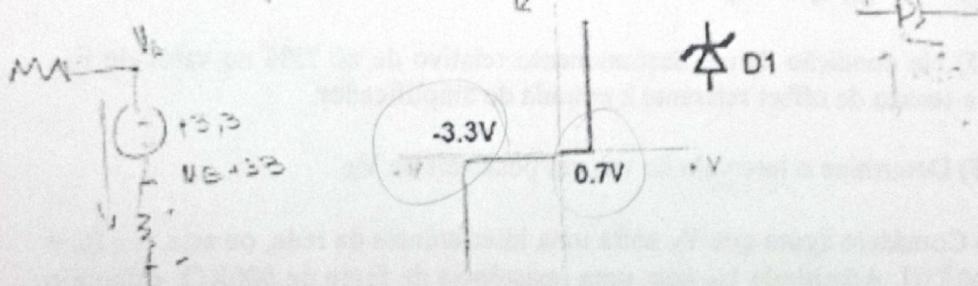
(Valor 3.0) - Questão 2: Considere o circuito linear da figura abaixo, com V_s senoidal e especificações listadas, e assumindo as hipóteses necessárias.

- (valor 0.5) Dimensione os resistores R_3 e R_B .
- (valor 1.0) Qual a máxima amplitude que V_L e V_s podem assumir?
- (valor 0.5) Qual a eficiência de potência na condição da máxima amplitude à saída, como determinado no item b)
- (valor 0.5) Utilizando a forma de onda de V_g como referência, esboce, detalhadamente, as formas de onda de V_I e V_L , assim como as correntes de coletor de Q_1 , Q_2 e na carga
- (valor 0.5) Qual o intervalo de variação de V_x que mantém Q_1 na região linear?

CLASSE A



$$\begin{aligned}
 V_{CC} &= 7.5V \\
 R_2 &= 50\Omega \quad R_1 = 250\Omega \\
 R_L &= 40\Omega \\
 V_A &= 2.2V \\
 V_X &= 1.5V \\
 \beta_1 = \beta_2 &= 140 \\
 V_{L \text{ quiescente}} &= 0V \\
 V_{BE \text{ min}} &= 0.7V \\
 V_{CEAM} &= 0.3V \\
 I_{D1} &= 8.0mA \\
 C &\rightarrow \infty \\
 R_S &= 500\Omega \text{ (res. interna fonte } V_s) \\
 r_o &\rightarrow \infty
 \end{aligned}$$



(Valor 2.0) - Questão 3: Dado um estágio de saída classe-B push-pull, deduzir a expressão da eficiência, bem como o seu valor teórico máximo. Justifique as passagens.

AA 11.05.15

① V_x , $I_{EE} \rightarrow$ ideais

a) $Adm = V_{out}/V_{in} \rightarrow$ sinal balanceado

DC:

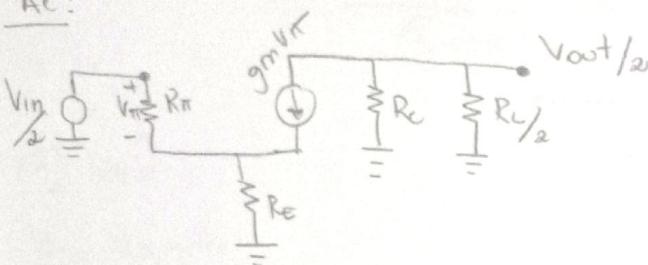
$$I_{EE} = 5mA \rightarrow I_{C1} = I_{C2} = 2,5mA$$

$$R_{\pi} = \frac{\phi k}{I_B} = 12k\Omega$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} \rightarrow I_B = 0,83\mu A$$

$$g_m = \frac{I_C}{\phi k} = 0,1A/V$$

AC:



Fazer apenas um lado devido a simetria do circuito e o sinal ser balanceado

$$\frac{V_{in}}{2} = V_\pi + R_E \left(g_m V_\pi + \frac{V_\pi}{R_\pi} \right)$$

$$\frac{V_{in}}{2} = V_\pi \underbrace{\left(1 + R_E \text{gan} + \frac{R_E}{R_\pi} \right)}_{RA = 11,08}$$

$$\frac{V_{in}}{2RA} = V_\pi$$

$$-\frac{V_{out}}{R_L/2} - \frac{V_{out}}{R_C} = g_m V_\pi \rightarrow -\frac{V_{out}}{R_E} - \frac{V_{out}}{2R_C} = g_m V_\pi$$

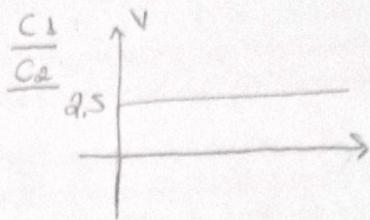
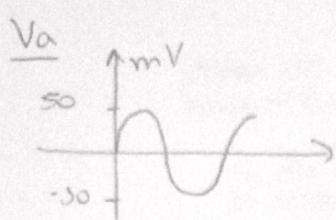
$$-(R_L + 2R_C) V_{out} = g_m (R_L/2 R_C) \cdot \frac{V_{in}}{2RA}$$

$$\boxed{\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{-g_m R_L R_C}{(R_L + 2R_C) RA}}$$

$$\boxed{\frac{V_{out}}{V_{in}} = -5,55}$$

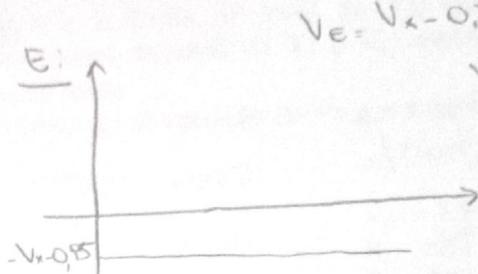
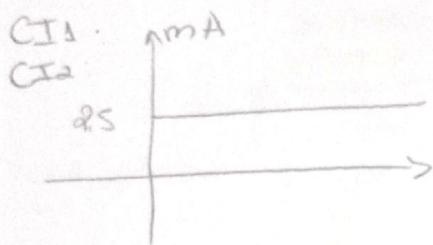
$$b) V_A = 50 \sin \omega t [mV]$$

i) $V_A = V_B \rightarrow$ modo comum



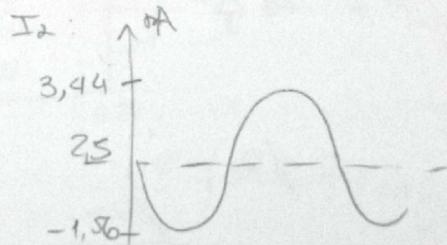
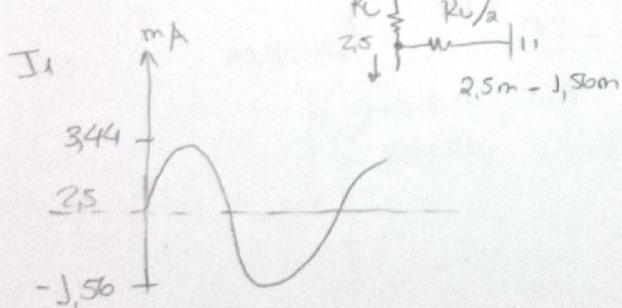
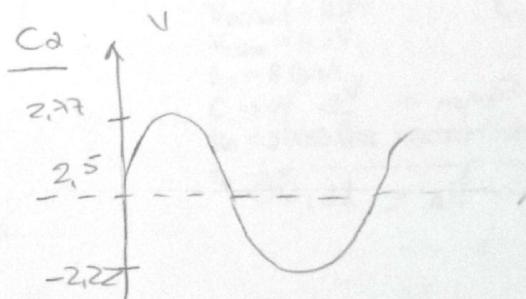
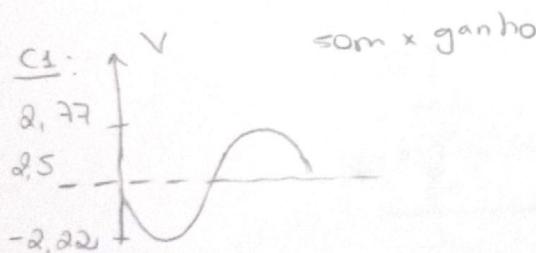
$$\frac{V_{CC} - V_C}{R_C} = I_C$$

$$V_C = 2.5 \text{ V}$$



$$\frac{V_x - 0.7 - V_E}{R_E} = 2.5 \text{ mA}$$

ii) $V_A = -V_B \rightarrow$ modo diferencial



$E_i \rightarrow$ igual ao modo comum !

) descasamento $R_C \rightarrow \approx 0,75\%$

$$\begin{cases} R_{C1} = 1k\Omega \\ R_{C2} = 1007,5\Omega \end{cases}$$

$$\frac{V_{C2} - V_C}{R_{C2}} = I_C \rightarrow V_C = 2,5V$$

$$\text{offset} = V_C - V_C'$$

$$\text{offset} = V_{C\text{off}} = 0,1875V$$

$$\frac{V_{C1} - V_C'}{R_{C1}} = I_C \rightarrow V' = 2,48V$$

$$V_{in} = \frac{V_{out}}{\text{ganho}} \rightarrow V_{in} = -3,87mV$$

offset reflete a "intradis?

d) V_x ?

$$V_g = V_A + V_x$$

$$V_{CESAT} = 0,3V \rightarrow V_E = \frac{2,5 - 0,3}{\text{máx}} \rightarrow V_E = 2,2V$$

$$V_C = 2,5V$$

$$V_{BE} = 0,7 \rightarrow V_B = \frac{0,7 + V_E}{\text{máx}} \rightarrow V_B = 2,9V$$

$$V_B = V_g \rightarrow 2,9 = 50mV + V_x \rightarrow \boxed{V_x = 2,85V}$$

$$V_{x\text{min}} \Rightarrow E < -V_{CC} \quad E = -7,5$$

$$\frac{V_E - E}{R_E} = 2,5m \rightarrow V_E = \frac{-7,25V}{\text{min}}$$

$$V_{BE} = 0,7 \rightarrow V_B = \frac{-6,55}{\text{min}}$$

$$V_g = V_A + V_x \rightarrow -6,55 = 50mV + V_x \quad \boxed{V_x = -6,6V \text{ min}}$$

$$\boxed{-6,6 < V_x \leq 2,85V}$$

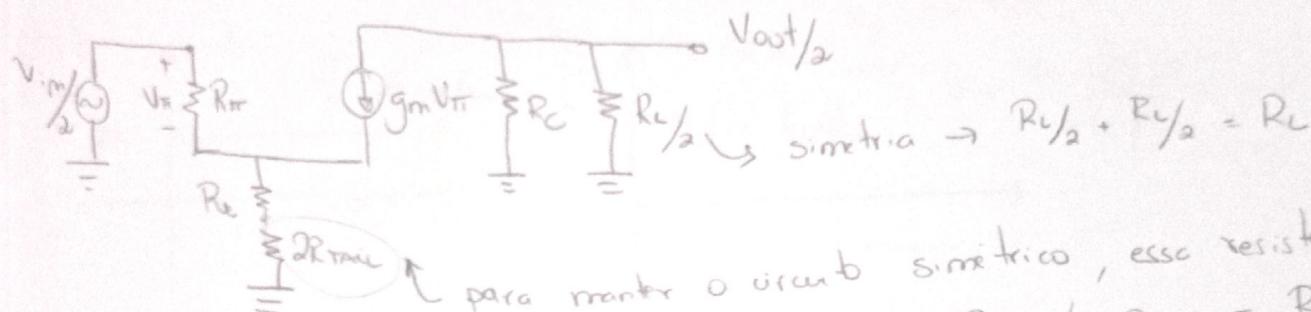
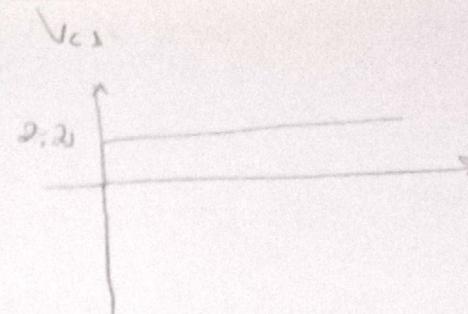
$$e) V_x(t) = 0,25 \text{ sen}(2\pi 60) [V]$$

$$I_{EE} = 50 \text{ mA} [R_{TAU}]$$

$$A_{cm} = ?$$

$$V_{in} = V_a + V_x \rightarrow$$

$$V_{in} = [0,25 \text{ sen}(2\pi 60) + 50 \times 10^3 \text{ sen}(\omega t)] V$$



para manter o circuito simétrico, essa resistência é
em paralelo com I_{EE} $2R_{TAU} // 2R_{TAU} = R_{TAU}$.

$$2R_{TAU} = 20.000 \text{ k}\Omega$$

$$2R_{TAU} + R_E \approx 2R_{TAU}$$

$$\frac{V_{in}}{2} = V_{\pi} + 2R_{TAU} \left(g_m V_{\pi} + \frac{V_{\pi}}{R_{\pi}} \right), \quad \frac{-V_{out}/2}{R_{L/2}} - \frac{V_{out}/2}{R_E} = g_m V_{\pi}$$

$$R_B = 1 + 2R_{TAU} g_m + \frac{2R_{TAU}}{R_{\pi}} =$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{-g_m R_L R_E}{(R_L + 2R_E) R_B}$$

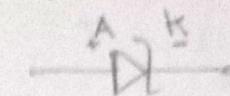
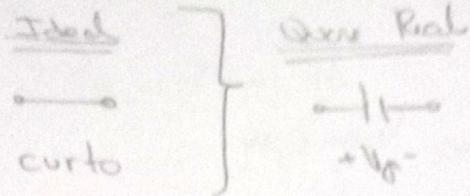
$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = 3,07 \times 10^{-6}$$

→ Como esperado, o ganho em modo comum deve ser muito próximo de zero, para um melhor funcionamento do circuito e rejeição do modo comum.

a) R_d ? R_o ?

Diodo Zener

Condução \rightarrow



$$V_D = A - k$$

Pd Saturada \rightarrow

Ideal

o o

$V > V_Z$

$\alpha | \rightarrow$

$+V_Z -$

$V < V_Z$

Sat. Real

$\alpha | \rightarrow$

$+V_F -$

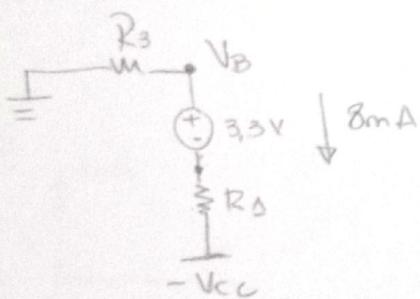
Sat. Real

$+V_Z -$

$\alpha | \rightarrow$

$+V_F -$

$V < V_Z$



$$\frac{V_B - 3.3 - (-\eta_s)}{R_3} = 8mA$$

$$V_D = A - k$$

$$-3.3 = A - V_B$$

$$\boxed{A = V_B - 3.3}$$

$$V_{BE} = 0.7 \rightarrow V_E = -2.9V$$

$$\frac{V_E - (-V_{CC})}{R_2} = I_E \rightarrow I_E = 92mA$$

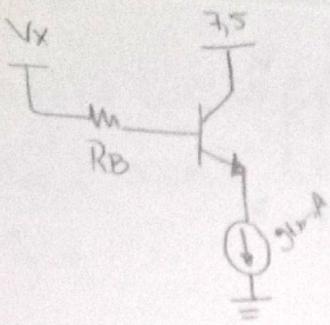
$$I_E = I_B + \beta I_B \rightarrow \boxed{I_B = 650.5\mu A}$$

$$I_C = 91mA$$

$$0 - (V_B) = I_B + 8mA$$

$$\frac{2.2}{R_3} = 8.65mA$$

$$\boxed{R_3 = 251\Omega}$$



$$I_{ES} = 91\text{mA}$$

$$I_{BS} = 645,4\mu\text{A}$$

$$V_E = 0\text{V}$$

$$V_{BE} = 0,7 \rightarrow V_B = 0,7\text{V}$$

$$\frac{V_x - V_B}{R_B} = I_{BS}$$

$$\frac{1,5 - 0,7}{R_B} = 645,4\mu\text{A} \rightarrow R_B \approx 1,2\text{k}\Omega$$

b) $\uparrow V_L? \uparrow V_S?$

$$\frac{V_L}{R_L} = 91\text{mA} \rightarrow V_L = 3,64\text{V}_{\text{max}}$$

$$\frac{V_c}{\text{max}} = \frac{V_E}{\text{max}} \quad V_{BE} = 0,7 \rightarrow \frac{V_B}{\text{max}} = 4,34$$

$$\frac{V_g}{\text{max}} = \frac{V_B}{\text{max}}$$

$$V_g = V_A + V_S$$

↑ capacitor remove o nível DC.

$$V_g = V_S \rightarrow V_S = 4,34\text{V}_{\text{max}}$$

c) $\eta = \frac{P_{DC}}{P_{AC}} \rightarrow$ pot entregue a carga
 $P_{DC} \rightarrow$ pot. retornado do fonte

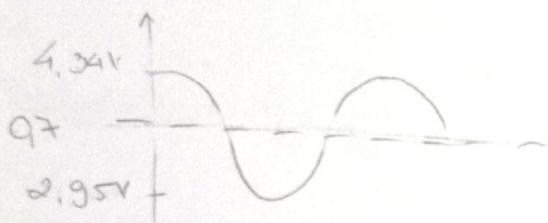
$$P_{DC} = \frac{V_{L\max}^2}{2R_L}$$

$$P_{DC} = 2V_{CC} \cdot I_E$$

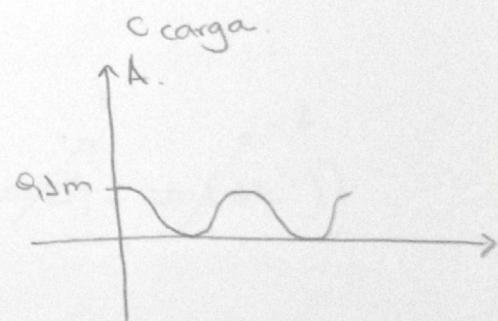
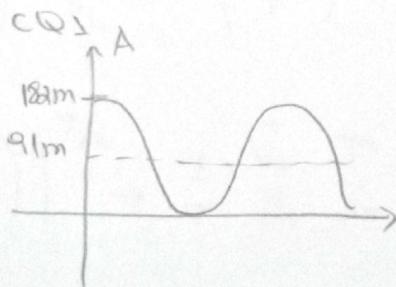
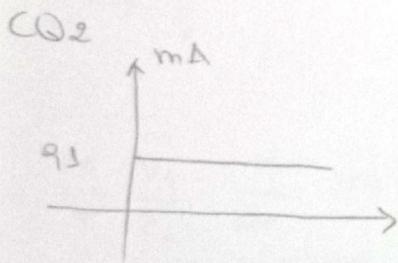
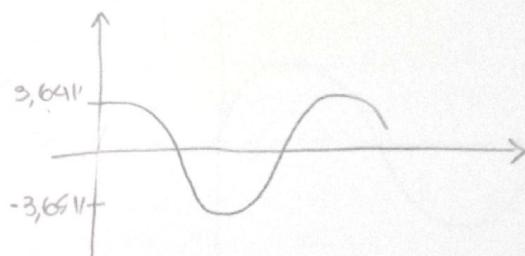
$$\eta = \frac{V_{L\max}^2}{2R_L} \cdot \frac{1}{2V_{CC} I_E}$$

$$\eta = 12,53\%$$

d) $V_S \rightarrow$ fixar a onda V_S



$$\underline{V_L}$$



e) Intervalo de V_X ?

$$V_C = 7,5V$$

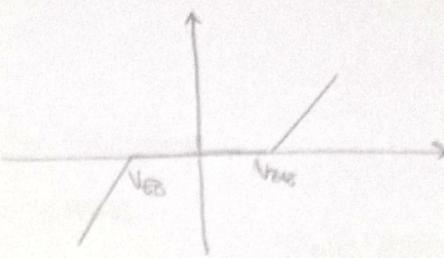
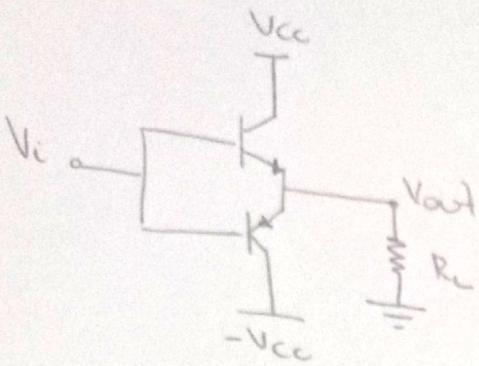
$$V_{CESAT} = 0,3V \rightarrow V_{C\max} = 7,2V$$

$$V_{BE} = 0,7V \rightarrow V_{B\max} = 7,9V$$

$$\frac{V_X - 7,9}{5,2k} = 645,4 \mu A \rightarrow V_{X\max} = 8,67V$$

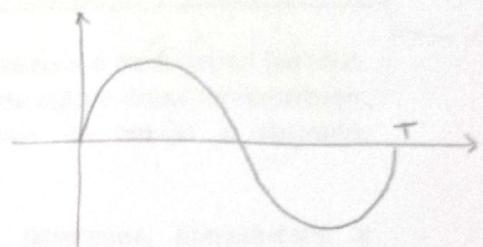
$$\underline{\text{Min}} \rightarrow V_B = 9V \rightarrow V_X = 1,5V$$

$$\boxed{1,5V \leq V_X \leq 8,67V}$$



Zona morta \rightarrow devido à polarização dos transistores

Eficiência: $\eta = \frac{P_L}{P_{DC}} \rightarrow$ pot entregue a carga
 $\eta = \frac{P_L}{P_{DC}} \rightarrow$ pot retirado da fonte



$$I = \frac{1}{T} \int_0^T I_{AC}(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} \frac{\hat{V}_o}{R_L} \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right) dt$$

$$= \frac{1}{T} \frac{\hat{V}_o}{R_L} \cdot \frac{T}{2\pi} \left[\cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right) \right]_0^{T/2} \rightarrow \frac{1}{T} \frac{\hat{V}_o}{R_L} \frac{T}{2\pi} \left(\cos(0^\circ) - \cos(180^\circ) \right)$$

$$\rightarrow \frac{1}{T} \frac{\hat{V}_o}{R_L} \cancel{\frac{T}{2\pi}} \rightarrow \boxed{I = \frac{1}{\pi} \frac{\hat{V}_o}{R_L} \rightarrow I = \frac{\hat{I}_o}{\pi}}$$

$$\boxed{P_L = \frac{\hat{V}_o^2}{2R_L}}$$

$$P_{DC} = 2V_{CC} \cdot I \rightarrow \boxed{P_{DC} = \frac{2V_{CC}}{\pi} \frac{\hat{V}_o}{R_L}}$$

$$\eta = \frac{\hat{V}_o}{2R_L} \cdot \frac{\pi R_L}{2V_{CC} \hat{V}_o}$$

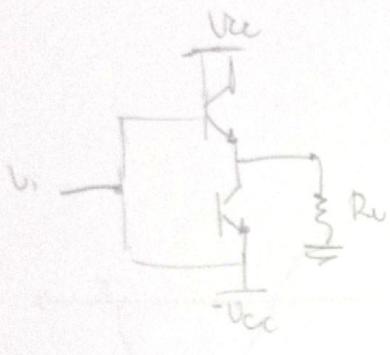
$$\eta = \frac{\hat{V}_o \pi}{4V_{CC}}$$

$$\begin{aligned} V_o &\text{ é máximo: } V_{CC} - V_{CESAT} \\ \eta &= \frac{\pi}{4} \frac{(V_{CC} - V_{CESAT})}{V_{CC}} \end{aligned}$$

$$\eta \approx 76,53\%$$

$$I = \frac{1}{T} \int_0^T I(t) dt$$

$$I = \frac{1}{T} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right) \frac{V_o}{R_o}$$



$$\eta = \frac{P_D}{P_{DC}}$$

$$R_L = \frac{V_o^2}{2P_D}$$

$$P_{DC} = 2 \int_{-\pi/2}^{\pi/2} V_o^2 dt$$

$$I = \frac{1}{T} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \frac{V_o^2}{R_L} \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right)$$