Examen de Electrónica 2
21/02/2005

Resolver cada problema en hojas separadas.
Duración de la prueba: 3 horas 30 minutos.
La prueba es sin material.
Los puntajes de los problemas se indican sobre un total de 100 puntos.

Problema 1 (37 ptos):

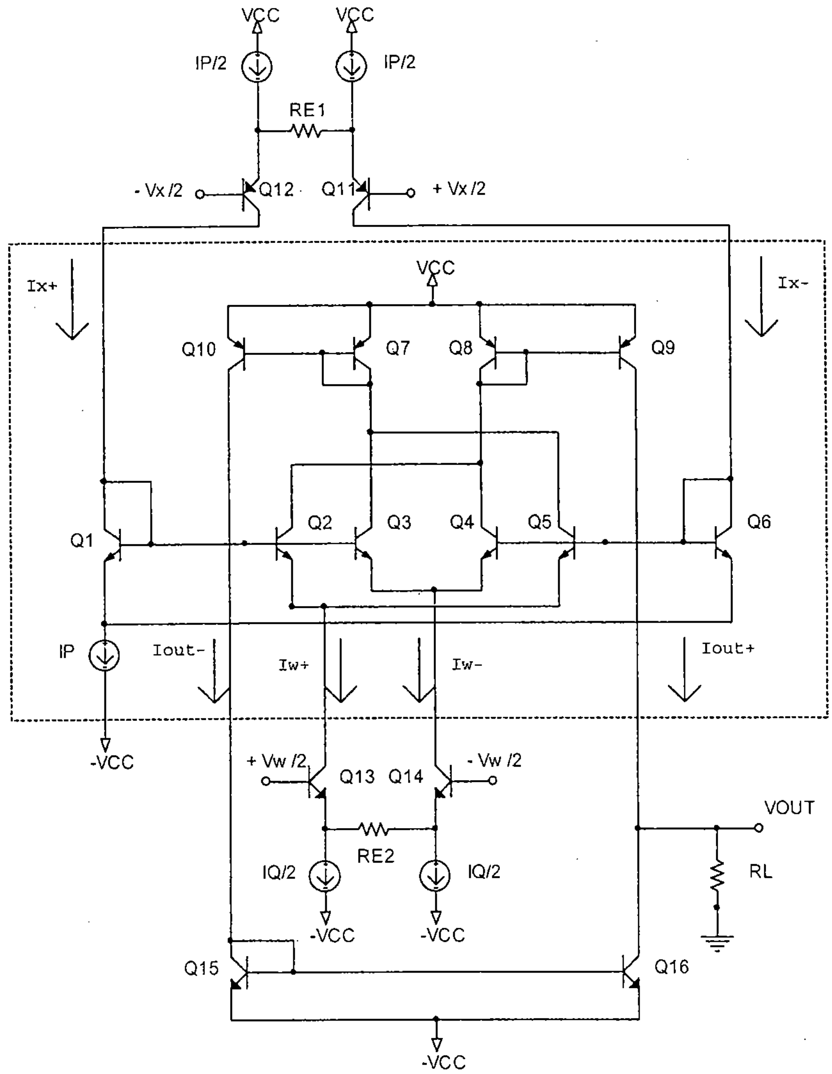
a) Para el circuito de la figura calcule Vout en función de Vx y Vw.

Sugerencia: Suponiendo que todos los transitores trabajan en zona activa, primero determine la transferencia del bloque rodeado por la línea punteada, es decir la corriente $\Delta Iout = Iout^{+} - Iout^{-}$ en función de las corrientes $\Delta Ix = Ix^{+} - Ix^{-}$, $\Delta Iw = Iw^{+} - Iw^{-}$ y la corriente de polarizacion Ip.

b) ¿Cuál es la función de los transistores Q1 y Q6?

Nota: Todos los transistores se supondrán idénticos con $\beta >> 1$. Las corrientes de polarización I_P e I_Q se supondrán tales que $I_P R_{E1} >> 4V_T$ e $I_Q R_{E2} >> 4\, V_T$

Recuerde que: $Ln\left(\frac{1+x}{1-x}\right) = 2\tanh^{-1}(x)$ y que $\tanh(x) = \frac{e^{x} - e^{-x}}{e^{x} + e^{-x}}$



Problema 2 (37 ptos):

El circuito de la figura es un amplificador del cual se quiere conocer su ancho de banda. Suponga que V_{bias} es tal que los dos transistores operan en zona activa.

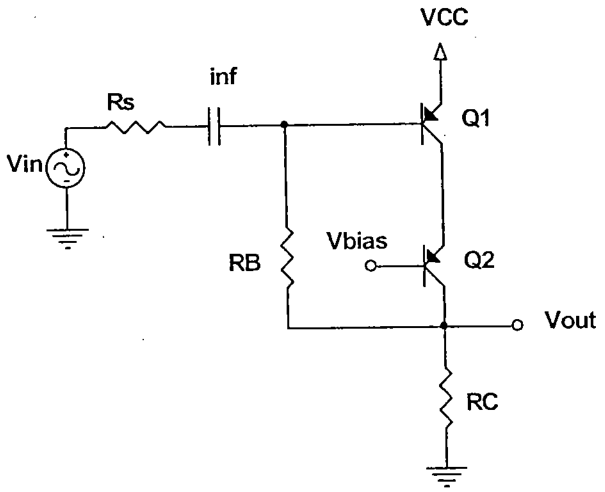
a) Determinar que condición debe cumplir RB para que la polarización no dependa de β

b) Si para las siguientes partes consideramos RB=RC, calcule la ganancia del circuito a frecuencias medias.

c) Determine la frecuencia de corte superior. Dar una expresión literal y su valor numérico.

Datos:

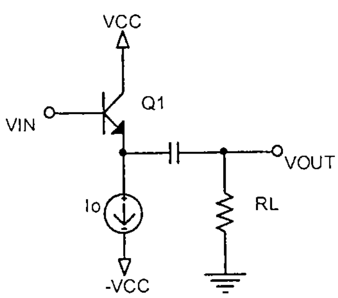
VCC=5V.	Transistores idénticos
Rs=1kΩ, RC=5kΩ, el capacitor inf es infinito	β=200, V_{EB}=0.7V, $f_{T@5mA}$=3GHz, $C\mu$=5pF, Cje=1pF

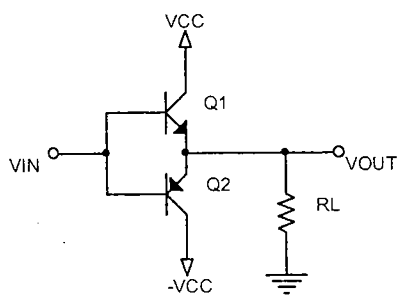


Pregunta (26 ptos):

a) Para cada una de las etapas de potencia de la figura, determinar la máxima eficiencia que sería posible alcanzar en cada caso para una señal de entrada sinusoidal, indicando bajo que condiciones se alcanzaría esta eficiencia máxima.

b) Bajo esas condiciones, determinar en ambos casos cómo se reparte la potencia de la fuente que no va a la carga (es decir en qué elementos se disipa y qué porcentaje se disipa en cada uno de ellos).

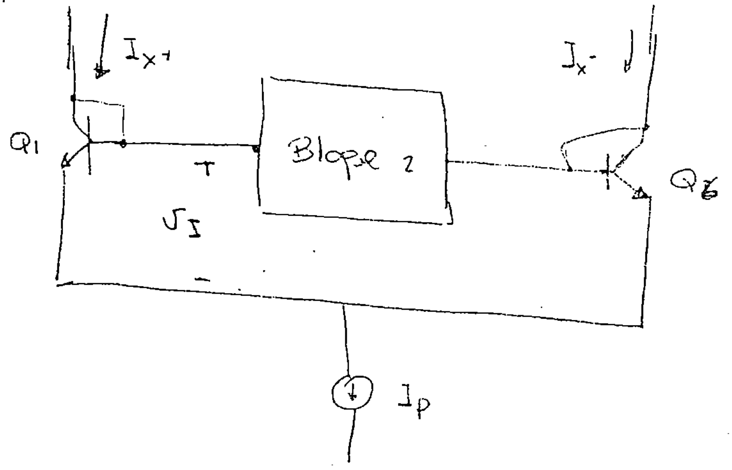




Problema 1

Solución

Bloque 1:



$$I_{x+} + I_{x-} = i_{c+} + i_{c-} \cong I_p$$

$$i_{c_1} = I_s \cdot e^{\frac{v_{BE_1}}{V_T}} \qquad v_{BE_1} - v_{BE_2} = V_T \, Ln\left(i_{c_1}/I_s\right) - V_T \, Ln\left(i_{c_2}/I_s\right)$$

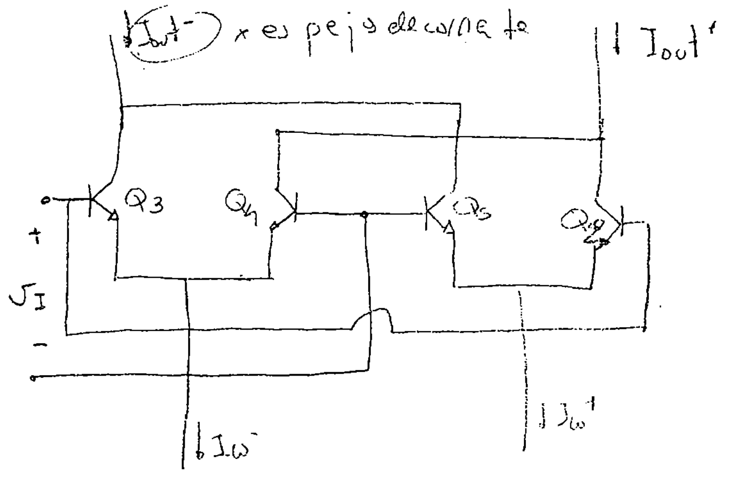
$$i_{c_2} = I_s \cdot e^{v_{BE_2}/V_T} \qquad \| \qquad v_I = V_T \cdot Ln\left(i_{c_1}/i_{c_2}\right) \cong V_T \, Ln\left(I_{x+}/I_{x-}\right)$$

Si $Ln\left(\frac{1+x}{1-x}\right) = 2\tanh^{-1} x$ y defino x tal que:

$$\frac{1+x}{1-x} = \frac{I_x^+}{I_x^-} \longrightarrow x = \frac{I_x^+ - I_x^-}{I_x^+ + I_x^-} = \frac{\Delta I_x}{I_p}$$

entonces $\qquad v_I = 2 V_T \cdot \tanh^{-1}\left(\Delta I_x / I_p\right) \quad (1)$

Estudio el bloque 2:



A

$$i_{c3} = \frac{I\omega^-}{1 + e^{-V_I/V_T}} \qquad i_{c5} = \frac{I\omega^-}{1 + e^{V_I/V_T}}$$

$$i_{c1} = \frac{I\omega^-}{1 + e^{V_I/V_T}} \qquad i_{c2} = \frac{I\omega^+}{1 + e^{-V_I/V_T}}$$

, tonces.

$$I_{out} = (i_{c1} + i_{c2}) - (i_{c3} + i_{c5})$$

$$= \frac{\overbrace{I\omega^- - I\omega^+}^{\Delta I\omega}}{1 + e^{+V_I/V_T}} - \frac{\overbrace{I\omega^- - I\omega^+}^{\Delta I\omega}}{1 + e^{-V_I/V_T}}$$

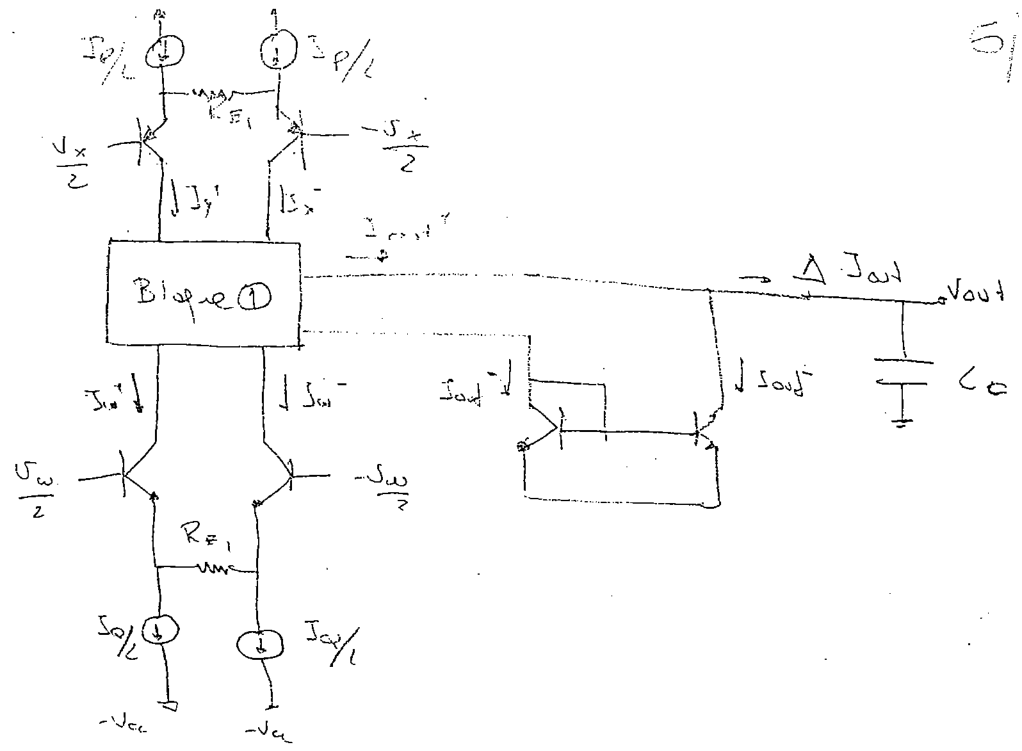
$$= \Delta I\omega \cdot \frac{\left(e^{V_I/2V_T} - e^{-V_I/2V_T}\right)\left(e^{V_I/2V_T} + e^{-V_I/2V_T}\right)}{\left(e^{V_I/2V_T} + e^{-V_I/2V_T}\right)\left(e^{V_I/2V_T} + e^{-V_I/2V_T}\right)} = \Delta I\omega \cdot \tanh\left(\frac{V_I}{2V_T}\right) \quad (2)$$

e (1) y (2)

$$\Delta I_{out} = \Delta I\omega \cdot \tanh\left(\frac{\cancel{2V_T} \cdot \tanh^{-1}\left(\frac{\Delta I_x}{I_p}\right)}{\cancel{2V_T}}\right)$$

$$\boxed{\Delta I_{out} = \Delta I\omega \frac{\Delta I_x}{I_p}}$$

21 A



Como $\left| \begin{array}{l} I_P \cdot R_{E_1} >> 4V_T \\ I_Q \cdot R_{E_1} >> 4V_T \end{array} \right.$ puedo trabajar en zona lineal. Lo que se halla para el bloque ① vale también en esta zona

$$\Rightarrow \Delta I_y = I_x^+ - I_x^- = R_{E_1} \cdot \frac{V_x}{2} - \left(-R_{E_1} \cdot \frac{V_x}{2}\right) = R_{E_1} \cdot V_x$$

$$\Delta I_w = I_w^+ - I_w^- = R_{E_2} \cdot V_w$$

$$\Rightarrow \boxed{\Delta I_{out} = \frac{R_{E_1} R_{E_1} V_x V_w}{I_P}}$$

$$\Rightarrow \boxed{V_{out} = \Delta I_{out} \cdot (r_{out} // R_L)}$$

$$r_{out} = r_{oQ_{10}} // r_{oQ_P} = \frac{I_Q}{4} \cdot \frac{1}{V_A}$$

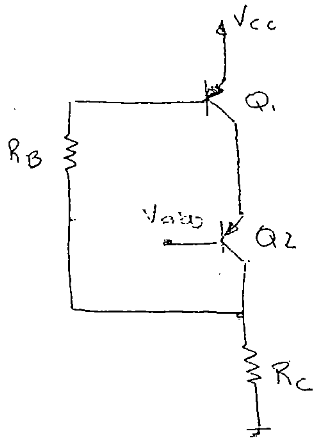
$$r_{oQ_{10}} = \frac{I_Q/2}{V_A} = r_{oQ_P}$$

Rafael Truello

21A

Problema 2

a)



$$V_{CC} = V_{EB} + R_B \cdot \overset{\simeq I_C/\beta}{I_B} + R_C (\overset{\simeq I_C/\beta}{I_E} + I_C) \underset{\beta \gg 1}{=} V_{EB} + R_B \frac{I_C}{\beta} + R_C I_C$$

$$\Rightarrow V_{CC} - V_{EB} = I_C \left(\frac{R_B}{\beta} + R_C \right)$$

Para que la polarización quede dependiente de β : $\frac{R_B}{\beta} \ll R_C$

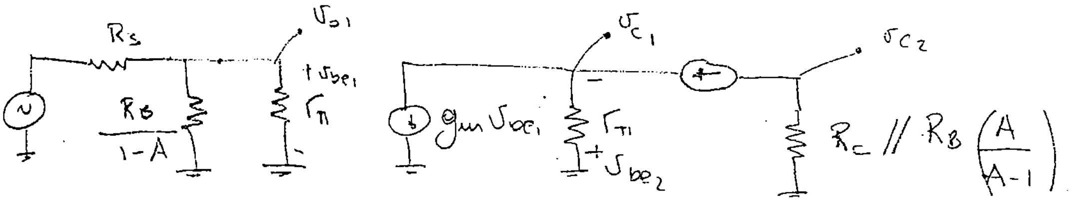
b) Si $R_B = R_C$ → se cumple la condición anterior ✓

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{EB}}{R_C} \rightarrow I_C = \frac{5V - 0.7V}{5K} = 0.86\,mA$$

$$g_{m1} = g_{m2} = g_m = \frac{I_C}{V_T} = 3,3 \times 10^{-2}\,A/V$$

$$r_\pi = \frac{\beta}{g_m} = 6.0\,K\Omega$$

Aplico Miller a la resistencia R_B:



$$A = \frac{v_{c2}}{v_{b1}}$$

$$v_{c1} = -v_{be_2} = r_\pi \cdot \left(-g_{m1} v_{be1} - g_m v_{c1}\right) \Rightarrow \frac{v_{c1}}{v_{b1}} = \frac{-r_\pi g_m}{1 + g_m r_\pi} \cong -1 = A_1$$

x cascode

$$v_{c2} = -g_m \overset{-v_{c1}}{\overset{\shortparallel}{v_{be_2}}} \cdot R_c \,//\, R_B \left(\frac{A}{A-1}\right) = -g_m v_{b1} \cdot R_c \,//\, R_B$$

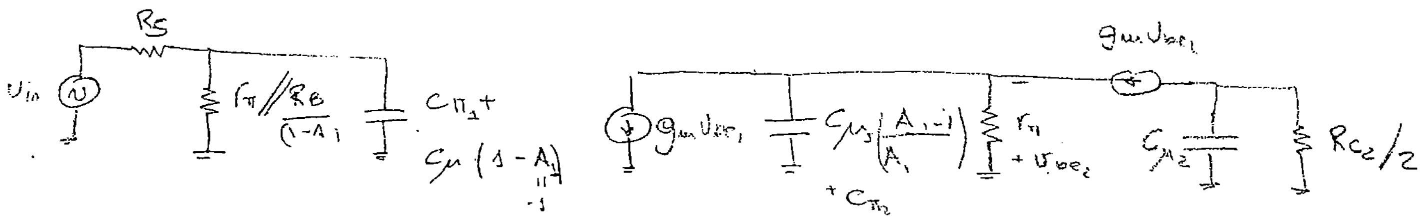
$$\Rightarrow A = \frac{v_{c2} = v_{out}}{v_{b1}} = -g_m R_c \,//\, R_B \underset{R_c = R_B}{=} -g_m \frac{R_c}{2} \Rightarrow \boxed{A = -g_m \frac{R_c}{2}}$$

$$\underline{A} = 3.6e^{-2} \cdot 5K = 90$$

$$v_{b1} = \frac{r_\pi \,//\, R_B/(1-A)}{R_s + \underbrace{r_\pi \,//\, R_B/(1-A)}_{\simeq R_B/(1-A)}} \cdot v_{in} \simeq \frac{R_B/(1-A)}{R_s + \frac{R_B}{(1-A)}} v_{in} = \frac{55}{1K + 55} v_{in} = 0.05 \cdot v_{in}$$

$$\Rightarrow G = A \cdot \frac{v_{b1}}{v_{in}} = -g_m \frac{R_c}{2} \cdot \frac{R_B/(1-A)}{R_s + R_B/(1-A)} = 4.5$$

c)



$$f_1 = \left[(C_{\pi_1} + 2C_\mu)\left(\overbrace{\frac{R_B}{1-A} \,//\, R_s \,//\, r_\pi}^{55}\right)\right]^{-1} \frac{1}{2\pi} = \left[(1.75p + 10p) \cdot 55\right]^{-1} \frac{1}{2\pi} = 240\,MHz$$

$$f_2 = \left[(2C_\mu + C_{\pi_2})\left(\underbrace{r_\pi \,//\, 1/g_m}_{\simeq 1/g_m = 28\Omega}\right)\right]^{-1} \frac{1}{2\pi} = \left[5.9p \cdot 28\right]^{-1} \frac{1}{2\pi} = 445\,MHz$$

$$f_3 = \left[\underset{2.5K}{\frac{R_c}{2}} \cdot \underset{5p}{C_{\mu_2}}\right]^{-1} \frac{1}{2\pi} = 80\,M\,rad/s = \underline{\underline{12\,MHz}}$$

frecuencia de corte superior.

. cont).

21 A 8|10

f_{T} @ 5mA $= 3GHz$; $g_m @ 5mA = \frac{5mA}{V_T} = 0.19$

$$\omega_T = 2\pi \cdot f_T = \frac{g_m @ 5mA}{C_\pi + C_\mu} \Rightarrow C_\pi @ 5mA = \underbrace{g_m / \omega_T}_{10pF} - C_\mu = 5pF$$

$$C_\pi @ 5mA = \underbrace{C_{je}}_{1pF} + \alpha \underbrace{I}_{5mA} \Rightarrow \alpha = 0.8 pF/mA.$$

$$C_\pi @ 0{,}86mA = C_{je} + \alpha \cdot 0.86mA \cong 1{,}70pF.$$

Rafaelli Iraldi

(b)

Clase A

disipada x' Q_1

disipada por I_o

$$P_S = P_L + P_D + P_{I_o}$$

$$P_D = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} i_{C_1} v_{CE}\, d\theta = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} i_{C_1}(V_{CC} - v_o)\, d\theta \quad (v_o = V_{CC}$$

$$= \frac{V_{CC}}{2\pi}\int_0^{2\pi} i_{C_1} d\theta - \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} i_{C_1} V_{CC} \operatorname{sen}\theta\, d\theta$$

$$= V_{CC} I_o - \frac{V_{CC} I}{2\pi}\int_0^{2\pi} \underbrace{\operatorname{sen}\theta\, d\theta}_{0} - \frac{V_{CC}^2}{2\pi R_L}\int_0^{2\pi} \operatorname{sen}^2\theta\, d\theta \quad (\pi)$$

$$\Rightarrow P_D = V_{CC} I_o - \frac{V_{CC}^2}{2R_L} = \frac{V_{CC}^2}{2R_L} = \frac{V_{CC} I_o}{2} \quad \left(I_o = \frac{V_{CC}}{R_L}\right)$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{P_D}{P_S} = 25\%}$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{P_{I_o}}{P_S} = 50\%}$$

CLASE B: $P_S = P_L + P_{Q_1} + P_{Q_2}$

x' simetría $P_{Q_1} = P_{Q_2}$

$$\Rightarrow P_{Q_1} = \frac{P_S - P_L}{2} = \frac{21,2\%}{2}$$

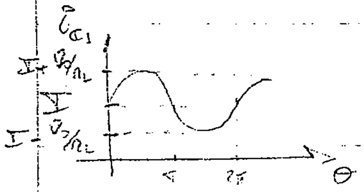
$$\Rightarrow \boxed{\frac{P_{Q_1}}{P_S} = \frac{P_{Q_2}}{P_S} = 10,75\%}$$

EXAMEN ELECTRO 2 FEB/2005

Pregunta

(a) $\eta = \dfrac{P_L}{P_S}$

Clase A: $P_L = \dfrac{1}{2\pi}\displaystyle\int_0^{2\pi} \dfrac{\hat{V}_o^2}{R_L} \operatorname{sen}^2\theta \, d\theta = \dfrac{\hat{V}_o^2}{2R_L}$



$P_S^+ = \dfrac{V_{cc}}{2\pi}\displaystyle\int_0^{2\pi} i_{C1}\, d\theta = \dfrac{V_{cc}}{2\pi}\displaystyle\int_0^{2\pi}\left(I + \dfrac{\hat{V}_o}{R_L}\operatorname{sen}\theta\right)d\theta = V_{cc} I$

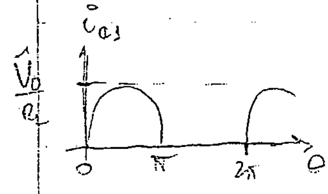
$P_S^- = V_{cc} I_o \Rightarrow P_S = 2V_{cc} I_o$

$\Rightarrow \eta_A = \dfrac{\hat{V}_o^2}{4R_L V_{cc} I} \Rightarrow \eta_{A\max} = 25\%$

$\hat{V}_o = V_{cc} = R_L I_o$

Clase B:

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



$\overline{i_c} = \dfrac{1}{2\pi}\displaystyle\int_0^{\pi} \dfrac{\hat{V}_o}{R_L}\operatorname{sen}\theta \, d\theta = \dfrac{1}{\pi}\dfrac{\hat{V}_o}{R_L}$

$\Rightarrow P_S^+ = V_{cc}\,\overline{i_c} = \dfrac{V_{cc}\hat{V}_o}{\pi R_L} \Rightarrow P_S = \dfrac{2V_{cc}\hat{V}_o}{\pi R_L}$

$\Rightarrow \eta_B = \dfrac{\hat{V}_o^2 \pi R_L}{4V_{cc}\hat{V}_o R_L} \Rightarrow \eta_B = \dfrac{\pi \hat{V}_o}{4V_{cc}}$

$\Rightarrow \eta_{B\max} = \pi/4 \approx 78{,}5\%$ $\quad \boxed{\hat{V}_o = V_{cc}}$