

**Examen de Electrónica 2**  
**10/02/2012**

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 puntos):**

- Determine la ganancia diferencial a bajas frecuencias del amplificador de la Figura.
- Suponga que el valor de  $C_{\mu}$  en Q3 y Q4 es distinto de cero. Que ventaja aporta la presencia de Q5 y Q6 desde el punto de vista de la respuesta en frecuencia del amplificador. (Puede considerar el resto de los transistores como ideales en su respuesta en frecuencia).
- Calcule el valor de  $C_c$  para obtener un  $f_T=250\text{MHz}$  en el amplificador.
- Calcule el  $S_R$  del amplificador

Datos:

Transistores:  $V_{BE} = |V_{EB}| = 0.7\text{V}$ , Tensión de Early:  $V_A = 50\text{V}$ ,  $\beta = 200$ , excepto Q11 y Q12 con  $\beta_{OUT} = 20$

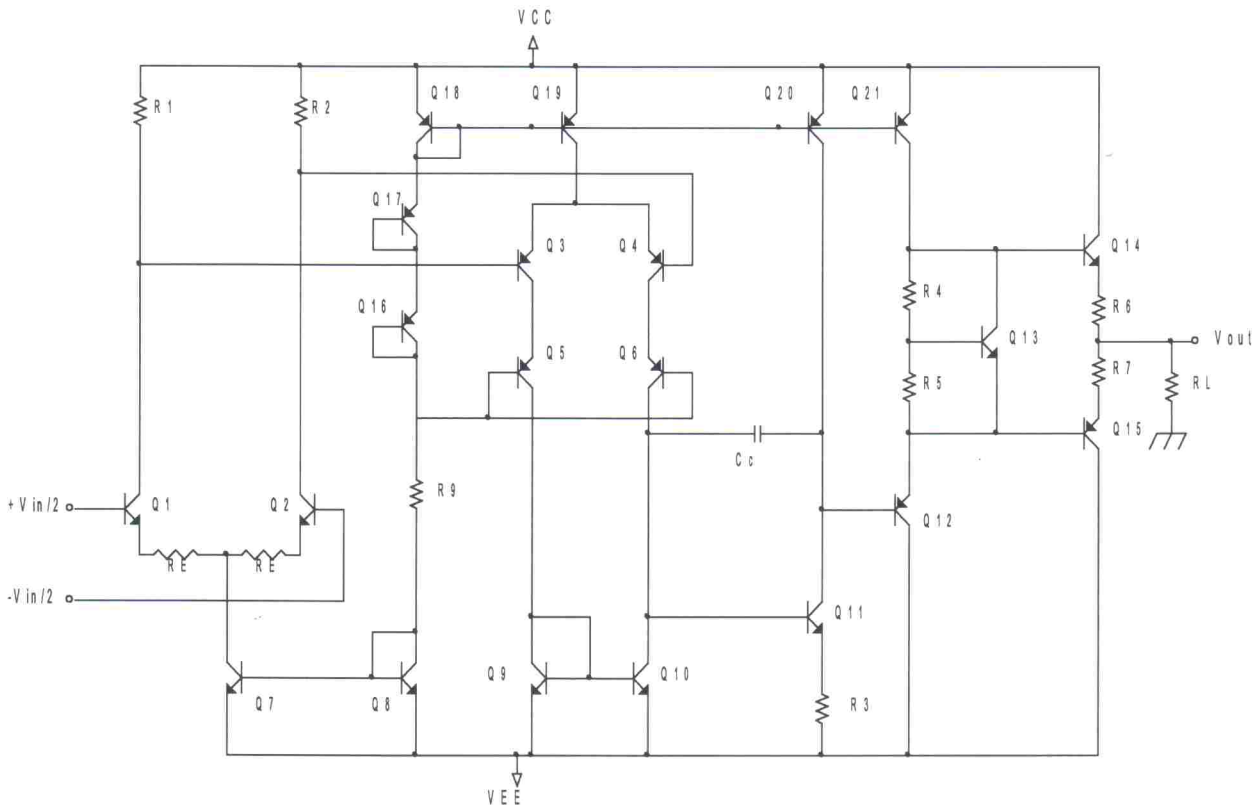
La corriente inversa de saturación de todos los transistores es  $I_S = I_{SQ8}$  excepto:

$I_{SQ7} = 10 * I_{SQ8}$ ,  $I_{SQ19} = I_{SQ20} = 3 * I_{SQ8}$ ,  $I_{SQ21} = 10 * I_{SQ8}$ ,  $I_{SQ14} = I_{SQ15} = 2 * I_{SQ8}$

$R1 = R2 = 2\text{k}\Omega$ ,  $R9 = 33\text{k}\Omega$ ,  $R3 = 100\ \Omega$ ,  $R_E = 100$

$R4 = R5 = 2\text{k}\Omega$ ,  $R6 = R7 = 5\ \Omega$ ,  $R_L = 300\ \Omega$ .

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



**Problema 2 (37 puntos):**

a) En el amplificador de la figura la inductancia  $L_B$  representa una inductancia parásita debido al cableado que a los efectos de esta parte se considerará es nula. Determinar la ganancia  $V_o/V_i$  a frecuencias medias y frecuencia de corte superior del amplificador si en la entrada  $V_i$  se tiene una fuente de señal con resistencia de salida 0.

b) Al implementar físicamente este amplificador se observa que con entrada  $V_i = 0V$  el mismo oscila a una frecuencia de 80 Mhz y con una amplitud tal que el transistor se puede considerar operando linealmente. Se conjetura que ello se deba al efecto de la inductancia  $L_B$  debida al conexionado de  $V_i$ . Determinar si esto es posible y en caso afirmativo que valor debiera tener  $L_B$  para que esto ocurriera (dar la expresión literal y numérica).

Se sugiere:

considerar que  $L_B$  es tal que su impedancia a la frecuencia de oscilación es mucho menor que la impedancia a esta frecuencia de  $C_{pi}$  en paralelo con  $r_{pi}$  del transistor, verificando luego que este es efectivamente el caso y observar que la impedancia de  $C_{mu}$  a la frecuencia de oscilación es mucho mayor que  $R_L$ .

Datos:

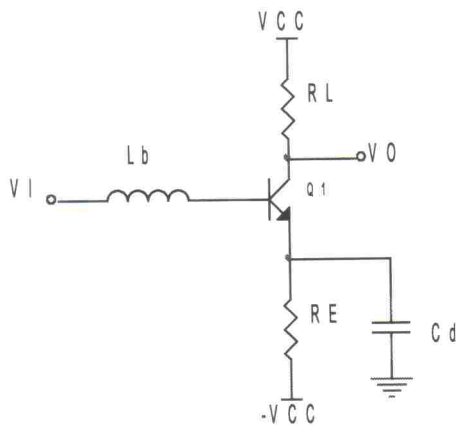
$$R_E = R_L = 270 \text{ Ohms.}$$

$C_D$  : condensador de desacople que se considerará infinito.

$$V_{CC} = 5V$$

Datos transistor:

$$\beta = 300, V_{BE} = 0.7V, f_T (@ I_c = 1mA) = 2 \text{ GHz}, C_{mu} = 0.5pF, C_{je} = 2pF.$$

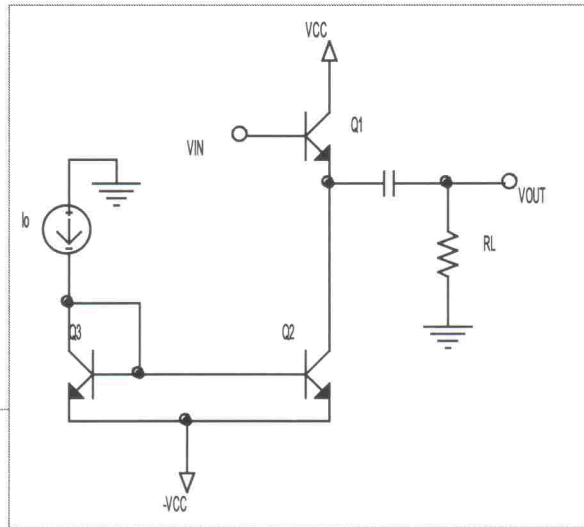
**Pregunta (26 ptos):**

- Para la etapa de potencia de la figura, determinar la máxima eficiencia que sería posible alcanzar para una señal de entrada sinusoidal, indicando bajo que condiciones se alcanzaría esta eficiencia máxima.
- En el caso particular en que  $V_{CC} = 5V$ ,  $I_o = 1A$ ,  $R_L = 4\Omega$ ,  $V_{opico} = 2V$ ,  $V_{BE}$  para todos los transistores es  $0.8V$  y el nivel de continua en  $V_{IN}$  es  $0.8V$ , determinar, la potencia entregada a la carga, el rendimiento y la potencia disipada por cada uno de los transistores  $Q_1$ ,  $Q_2$  y  $Q_3$ .
- Se implementa el circuito con transistores TIP 41, de los que se adjuntan datos y se considerará que la tensión base-emisor es de  $0.8V$ . Se desea que el circuito

opere con una temperatura ambiente máxima de 45°C y se está en las condiciones de la parte b).

1. Indicar para cada transistor si se requiere utilizar un disipador, explicando claramente porqué si o porqué no y que datos de la hoja de datos utiliza para deducir esto.
2. Para los transistores que se requiera utilizar un disipador, se desea utilizar el mismo para todos. Determinar que condición debe cumplir su resistencia térmica disipador – ambiente si se monta de modo que la resistencia térmica disipador – carcasa del dispositivo (“case”) es 0.5°C/W.

NOTA: Se despreciará en todo el problema la potencia disipada debido a las corrientes de base de los transistores.



### Complementary Silicon Plastic Power Transistors

... designed for use in general purpose amplifier and switching applications.

- Collector–Emitter Saturation Voltage —  
 $V_{CE(sat)} = 1.5 \text{ Vdc (Max) @ } I_C = 6.0 \text{ Adc}$
- Collector–Emitter Sustaining Voltage —  
 $V_{CEO(sus)} = 60 \text{ Vdc (Min) — TIP41A, TIP42A}$   
 $= 80 \text{ Vdc (Min) — TIP41B, TIP42B}$   
 $= 100 \text{ Vdc (Min) — TIP41C, TIP42C}$
- High Current Gain — Bandwidth Product  
 $f_T = 3.0 \text{ MHz (Min) @ } I_C = 500 \text{ mAdc}$
- Compact TO–220 AB Package

#### \*MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	TIP41A TIP42A	TIP41B TIP42B	TIP41C TIP42C	Unit
Collector–Emitter Voltage	$V_{CEO}$	60	80	100	Vdc
Collector–Base Voltage	$V_{CB}$	60	80	100	Vdc
Emitter–Base Voltage	$V_{EB}$	5.0			Vdc
Collector Current — Continuous Peak	$I_C$	5 10			Adc
Base Current	$I_B$	2.0			Adc
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	$P_D$	65 0.52			Watts W/°C
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	$P_D$	2.0 0.016			Watts W/°C
Unclamped Inductive Load Energy (1)	E	62.5			mJ
Operating and Storage Junction Temperature Range	$T_J, T_{stg}$	– 65 to + 150			°C

#### THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	62.5	°C/W
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	1.92	°C/W

(1)  $I_C = 2.5 \text{ A, L} = 20 \text{ mH, P.R.F.} = 10 \text{ Hz, } V_{CC} = 10 \text{ V, } R_{BE} = 100 \Omega$

**NPN**  
**TIP41A**  
**TIP41B\***  
**TIP41C\***  
**PNP**  
**TIP42A**  
**TIP42B\***  
**TIP42C\***

\*Motorola Preferred Device

**6 AMPERE**  
**POWER TRANSISTORS**  
**COMPLEMENTARY**  
**SILICON**  
**60–80–100 VOLTS**  
**65 WATTS**



CASE 221A–06  
 TO–220AB

# Problema 1



$$I_{R9} = \frac{V_{CC} - V_{EE} - 4V_{BE}}{R_9} = 218,2 \text{ mA}$$

$$I_{SQ7} = 10 I_{SQ8} \Rightarrow I_{Q7} = 2,2 \text{ mA} \parallel I_{Q1} = I_{Q2} = \frac{I_{Q7}}{2} = 1,1 \text{ mA}$$

$$I_{SQ19} = 3 I_{SQ8} \Rightarrow I_{Q19} = 654,6 \text{ mA} \parallel I_{Q3} = I_{Q4} = I_{Q5} = I_{Q6} = \frac{I_{Q19}}{2} = 327 \text{ mA}$$

$$I_{Q19} = I_{Q20} = I_{Q11} = 654,6 \text{ mA}$$

1<sup>er</sup> etapa

$$G_1 = \frac{\beta(R_{11} \parallel V_{\pi 3})}{V_{\pi 1} + (\beta + 1)R_E} = 14,3$$

2<sup>a</sup> etapa

$$G_2 = g_{m4} \cdot (R_{O2} \parallel R_{i3}) = 298$$
$$R_{O2} = r_{o10} \parallel R_{O6} \text{ y } R_{i3} = V_{\pi 11} + (\beta + 1)R_3 = 28 \text{ k}$$

3<sup>er</sup> etapa

$$G_3 = \frac{\beta_{out} \beta^2 R_L}{V_{\pi 11} + (\beta + 1)R_3} = 28,5 \Rightarrow G = G_1 G_2 G_3 \Rightarrow \boxed{G = 121,5 \times 10^3}$$

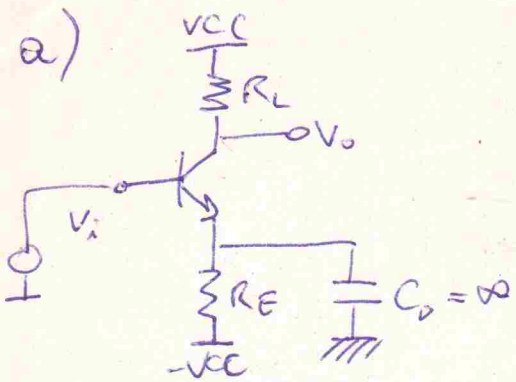
Como es una configuración Cascode el efecto Miller se ve disminuido ya que la ganancia entre base y colector de  $Q_3$  y  $Q_4$  es -1.

$$G_m = g_{m4} G_1 = 0,18 \Rightarrow C_c = \frac{G_m}{2\pi f_T} = \boxed{114,5 \text{ pF}}$$

$$SR = \frac{I_{Q19}}{C_c} = \boxed{5,7 \times 10^6 \text{ V/\Delta}}$$

# SOLUCION PROBLEMA 2

10/2/12  
ELECTRO 2



$$G = -R_L \cdot g_m = -\frac{R_L \cdot I_c}{V_T}$$

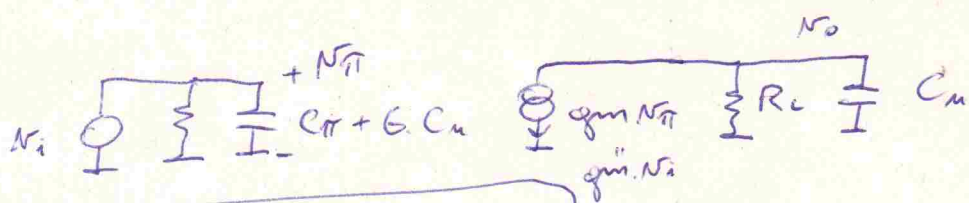
$$I_c = \frac{-V_{BE} + V_{cc}}{R_E} = 16 \text{ mA} \quad V_T = 26 \text{ mV}$$

$$G = -165 \text{ V/V}$$

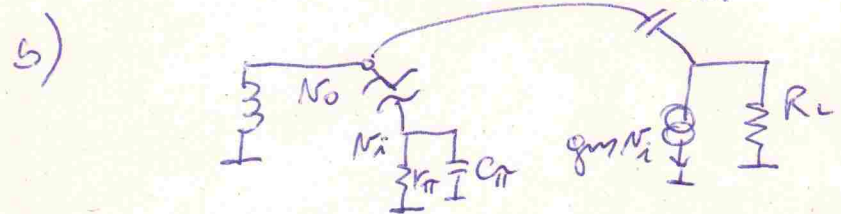
$$g_m = \frac{I_c}{V_T} = 613 \text{ mS}$$

$$r_{\pi} = \frac{\beta}{g_m} = 489 \text{ K}$$

MODELO PEQUEÑA SEÑAL CON MILLER



$$f_c = \frac{1}{2\pi R_L C_M} = 1,18 \text{ GHz}$$



SE ABRE EL LAZO

$$\frac{N_o}{N_i} = -g_m R_L \frac{L C_M s^2}{L C_M s^2 + 1} \quad (\text{SUPONIENDO } |Ls| \ll \left| r_{\pi} \parallel \frac{1}{C_{\pi} s} \right|)$$

COND. OSCILACIÓN:  $N_o/N_i = 1$        $s = j\omega$        $f_{osc} = 80 \text{ MHz}$

ENTONCES:  $L = \frac{1}{C_M (2\pi f_{osc})^2 (1 + g_m R)} = 4,8 \times 10^{-8} \text{ H}$        $\omega = 2\pi f_{osc}$

$$L = 48 \text{ nH}$$

VERIFICO:  $L \cdot \omega = 24,13 \Omega$

$C_{\pi} @ 1 \text{ mA} = 26 \text{ GHz} = \frac{g_m @ 1 \text{ mA}}{2\pi (C_{\pi} @ 1 \text{ mA} + C_M)}$ ;  $C_{\pi} = C_{je} + K \cdot I_c$ ; SE LLEGA A QUE  $C_{\pi} @ 16 \text{ mA} = 10 \text{ pF}$

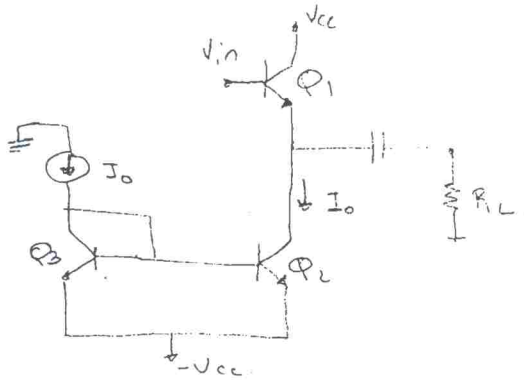
ENTONCES:  $\left| r_{\pi} \parallel \frac{1}{C_{\pi} j\omega} \right| = \left| 489 \text{ k}\Omega \parallel \frac{1}{j10 \text{ pF} \times 2\pi \times 80 \text{ MHz}} \right|$   
 $\approx 200 \Omega$

SE VERIFICA QUE  $|Lj\omega| \ll \left| r_{\pi} \parallel \frac{1}{C_{\pi} j\omega} \right|$

OBSERVAMOS QUE  $\left| \frac{1}{C_{\mu} j\omega} \right| \approx 4 \text{ k}\Omega \gg R_L = 270 \Omega$

B

Pregunta



a)  $\eta = \frac{P_L}{P_S}$

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

$P_{S+} = V_{cc} \cdot I_o$

$P_{S-} = 2V_{cc} I_o$

$\eta = \frac{\hat{V}_o^2}{6 \cdot V_{cc} I_o R_L} = \frac{1}{6} \cdot \frac{\hat{V}_o}{V_{cc}} \cdot \frac{\hat{V}_o}{R_L I_o}$

La eficiencia máxima se alcanzará cuando  $\hat{V}_o = V_{cc}$  y  $R_L = \frac{V_{cc}}{I_o} = \frac{\hat{V}_o}{I_o}$

En este caso  $\eta = 1/6$

b)

$V_{cc} = 5V$

$I_o = 1A$

$R_L = 4\Omega$

$\hat{V}_o = 2V$

$V_{BE} = 0.8$

$P_L = \frac{\hat{V}_o^2}{2 \cdot R_L} = 0.5W$

$\eta = \frac{1}{6} \cdot \frac{2}{5} \cdot \frac{2}{4 \cdot 1} = 0.033 \rightarrow 3.3\%$

$P_D = P_{S+} + P_{S-} - P_L = 3 \cdot V_{cc} \cdot I_o - P_L = 14.5W$

$P_{DQ3} = V_{BE} \cdot I_o = 0.8W$

$P_{DQ2} = V_{cc} \cdot I_o = 5W$

$P_D^{trans Q1} = P_{S+} + P_{S-} - P_L = 9.5W$

$P_D^{trans Q1} = P_{DQ1} + P_{DQ2}$

$P_{DQ4} = 4.5W$



c)

$$T_{amb} = 45^{\circ}\text{C}$$

$$a) T_{amb} + R_{\theta JA} \cdot P_D = T_J$$

$$Q_3: 45^{\circ}\text{C} + 62,5^{\circ}\text{C}/\text{W} \cdot 0,8\text{W} = 95^{\circ}\text{C} < T_J^{max} = 150^{\circ}\text{C}$$

↳ No es necesario

$$Q_1, Q_2: 45^{\circ}\text{C} + 62,5^{\circ}\text{C}/\text{W} \cdot 5\text{W} = 358^{\circ}\text{C} > T_J^{max}$$

↳ Es necesario

De la hoja de datos se utilizan los sig. datos:  $R_{\theta JA}$ ,  $T_J$

b)

$$T_{amb} + (R_{\theta JC} + R_{\theta CB} + R_{\theta JA}) \cdot P_D < T_J^{max}$$

- Tomo el transistor p' está más limitado:  $Q_2$

$$R_{\theta DA} < \frac{(T_J^{max} - T_{amb})}{P_D} - R_{\theta JC} - R_{\theta CB} = \underline{18,6^{\circ}\text{C}/\text{W}}$$

R. Trujillo