



## Fundamentos de Electrónica Primera Convocatoria

Fecha: 23 de enero de 2019

### Instrucciones

**Escriba nombre, apellidos y sección en el pie de página de cada uno de los folios**

- El examen se compone de **23 ejercicios de respuesta múltiple** y **3 ejercicios con respuesta abierta**

#### Ejercicios de respuesta múltiple (5 puntos)

- Tienen **una única respuesta correcta**, por lo que tiene que marcar **un máximo de una respuesta** para cada ejercicio
- Cada respuesta correcta reportará una puntuación positiva y cada fallo **una penalización de un tercio** del valor del ejercicio
- La puntuación (y la penalización) de cada ejercicio se indica en el enunciado. La puntuación total de esta parte no podrá ser negativa
- La respuesta se marca **tachando exhaustivamente el código QR** asociado a ella **con bolígrafo negro**
- NO tache el código QR hasta el final** ya que no hay forma de corregir la respuesta elegida. Puede hacer marcas o poner indicaciones al lado de los códigos con bolígrafo o lápiz para indicar una respuesta temporal que, antes de entregar, marcará tachando el código QR correspondiente
- Si se ha equivocado** marcando el código QR, marque también el que considera correcto y escriba **"NO"** al lado del que no pretendía marcar. En el caso haber varias respuestas marcadas sin indicaciones adicionales, se considerará la pregunta como no contestada
- Después de la corrección automática se publicará las notas provisionales junto con las soluciones. compárelas con las que se ha apuntado y **si alguna no coincidiera** con las que ha marcado deberá acudir a la revisión del examen.

#### Ejercicios con respuesta abierta (5 puntos)

- Desarrolle las respuestas en los folios proporcionados por el profesorado
- Rellene sus datos personales (nombre, apellidos, sección y NIA)
- El examen deberá ser escrito **a bolígrafo. No use bolígrafo rojo, ni Tipp-Ex**
- La puntuación de cada ejercicio se indica en el enunciado

### IMPRESINDIBLE PARA REVISAR LA CORRECCIÓN DEL EXAMEN

**Apunte las respuestas que ha proporcionado en la tabla de aquí abajo y llévese esta hoja consigo cuando deje el aula**

Cuestiones respuesta múltiple																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
a)																							
b)																							
c)																							
d)																							

Nombre y apellidos:

Sección:



**Formulario**

$$n_i = \sqrt{N_C N_V} e^{-\frac{E_g}{2kT}} \quad n_0 = n_i e^{\frac{E_F - E_i}{kT}} \quad \sigma = q\mu_n n + q\mu_p p$$

$$I_{DS} = \frac{K}{2} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})^2 \quad I_{DS} = \frac{K}{2} \frac{W}{L} [2(V_{GS} - V_{TH})V_{DS} - V_{DS}^2]$$

$$g_m = \sqrt{2K \frac{W}{L} I_{DS}} \quad g_m = \frac{I_C}{25.8mV} \quad r_\pi = \frac{\beta_F}{g_m}$$

$$A_V = \frac{R_{IN}}{R_{IN} + R_S} A_{V,MAX} \frac{R_L}{R_L + R_{OUT}}$$

a	b	XOR
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

JK	J	K	Q	Q̄
0	-	-	Q	Q̄
1	-	-	Q	Q̄
↓	-	-	Q	Q̄
↑	0	0	Q	Q̄
↑	1	0	1	0
↑	0	1	0	1
↑	1	1	Q	Q̄

**Datos para ejercicios sobre semiconductores**

**Constantes físicas**

$$k = 86.2 \times 10^{-6} \text{ eV/K} \quad q = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

**Datos de los materiales semiconductores**

	Silicio	Germanio
$N_C \text{ (cm}^{-3}\text{)}$	$2.82 \times 10^{19}$	$1.02 \times 10^{19}$
$N_V \text{ (cm}^{-3}\text{)}$	$1.83 \times 10^{19}$	$5.64 \times 10^{18}$
$E_g \text{ (eV)}$	1.12	0.67
$\mu_n \text{ (cm}^2\text{/Vs)}$	1350	3900
$\mu_p \text{ (cm}^2\text{/Vs)}$	500	1820

Nota: Suponer que estos datos no dependen de la temperatura



## Fundamentos de Electrónica

### Primera Convocatoria

Fecha: 23 de enero de 2019

Tache los códigos QR correspondientes a su NIA

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Cifra 1 del NIA										
Cifra 2 del NIA										
Cifra 3 del NIA										
Cifra 4 del NIA										
Cifra 5 del NIA										
Cifra 6 del NIA										

1. (+0.2|-0.066) Un centímetro cúbico de material semiconductor intrínseco basado en Silicio contiene  $10^{11}$  portadores. Calcule la temperatura a la que se encuentra:

a)  $T = 325.9 \text{ K}$

b)  $T = 337.6 \text{ K}$

c)  $T = 314.8 \text{ K}$

d)  $T = 342.3 \text{ K}$

2. (+0.2|-0.066) Dado un material semiconductor basado en Silicio cuya conductividad es  $3 \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$  a  $300 \text{ K}$ . Indique su concentración de impurezas:

a) No contiene impurezas

b)  $N_D = 1.39 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$

c)  $N_A = 2.57 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$

d)  $N_D = 1.08 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  y  $N_A = 8.34 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$

3. (+0.2|-0.066) Un material semiconductor dopado con impurezas donadoras a temperatura ambiente:

a) Es eléctricamente neutro dado que  $n_0 = p_0$





b) Contiene exceso de carga negativa porque  $n_0 > p_0$

c) Contiene exceso de carga positiva porque las impurezas están ionizadas


d) Es eléctricamente neutro a pesar de que  $n_0 > p_0$



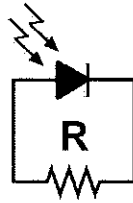
4. (+0.2|-0.066) Dados dos bloques dopados basados en el mismo material semiconductor a la misma temperatura de los cuales se desconoce si tienen impurezas donadoras, aceptadoras o dopaje mixto. Indique la **incorrecta**:

- |   |   |
|---|---|
| a)  Si los dos bloques tienen el mismo nivel de Fermi, ambos tienen la misma concentración de portadores | b)  Si los dos bloques tienen el mismo nivel de Fermi, ambos tienen la misma concentración de impurezas  |
| c)  Si los dos bloques tienen la misma concentración de impurezas, ambos tienen el mismo nivel de Fermi  | d)  Si los dos bloques tienen la misma concentración de portadores, ambos tienen el mismo nivel de Fermi |





5. (+0.2|-0.066) Se caracterizan tres bloques de material semiconductor, uno intrínseco, otro extrínseco tipo P y otro extrínseco tipo N, resultando que todos tienen la misma conductividad en oscuridad. Al iluminar los bloques provocando que se duplique el número de electrones en cada caso, ¿Qué bloque ofrecerá mayor conductividad?:

- |  |  |
|--|--|
| a)  intrínseco        | b)  extrínseco tipo P |
| c)  extrínseco tipo N | d)  todos por igual   |





6. (+0.2|-0.066) Dado el siguiente circuito, formado por un fotodiodo y una resistencia:




Al iluminar la zona de deplexión del fotodiodo, los pares electrón-hueco generados...

- |   |   |
|---|---|
| a)  se mueven, los electrones en la dirección de N a P y los huecos de P a N | b)  no circulan por el circuito, al no existir una fuente de tensión que polarice el diodo |
| c)  se mueven, los electrones en la dirección de P a N y los huecos de N a P | d)  se mueven, ambos en la misma dirección   |

7. (+0.2|-0.066) La tensión umbral del diodo...

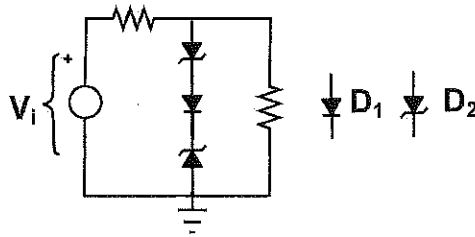
- |  |  |
|--|--|
| a)  se tiene en cuenta en la primera aproximación del modelo de gran señal                        | b)  depende del material semiconductor  |
| c)  indica la tensión por debajo de la cual no se produce ningún movimiento de cargas en el diodo | d)  indica la tensión por encima de la cual los electrones libres se mueven a través del diodo en la dirección de P a N |

8. (+0.3|-0.1) Indique la única posible solución correcta para un circuito basado en diodos con un cambio de estado:

- |   |   |
|---|---|
| a)  $V_0 = 3\text{ V si } V_i \leq 6\text{ V}$<br>$V_0 = V_i/2\text{ si } V_i \geq 6\text{ V}$ | b)  $V_0 = 3\text{ V si } V_i \leq 8\text{ V}$<br>$V_0 = V_i/2\text{ si } V_i \geq 8\text{ V}$ |
| c)  $V_0 = 3\text{ V si } V_i \leq 6\text{ V}$<br>$V_0 = V_i/2\text{ si } V_i \geq 8\text{ V}$ | d)  $V_0 = 3\text{ V si } V_i \leq 8\text{ V}$<br>$V_0 = V_i/2\text{ si } V_i \geq 6\text{ V}$ |



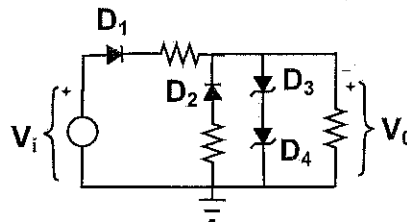
9. (+0.3|-0.1) Dado el siguiente circuito:



donde todos los diodos tienen una  $V_\gamma = 0.6\text{ V}$  y los zener una  $V_z = -5.6\text{ V}$ , la rama de diodos es equivalente a...

- a) un único diodo convencional, orientado como el diodo  $D_1$  con  $V_\gamma = 6.8\text{ V}$
- b) un único diodo zener, orientado como el diodo  $D_2$  con  $V_\gamma = 6.8\text{ V}$  y  $V_z = -11.8\text{ V}$
- c) un único diodo convencional orientado como el diodo  $D_1$  con  $V_\gamma = 11.8\text{ V}$
- d) un único diodo zener, orientado como el diodo  $D_2$  con  $V_\gamma = 11.8\text{ V}$  y  $V_z = -6.8\text{ V}$

10. (+0.5|-0.166) Dado el siguiente circuito:



donde todos los diodos tienen la misma  $V_\gamma$  y todos los zener la misma  $V_z$ , ¿qué afirmación es **falsa**?

- a) Para una  $V_i < V_\gamma$  el valor de tensión de salida es  $V_0 = 0\text{ V}$
- b) El diodo  $D_2$  nunca entra en conducción
- c) Para una  $V_i < -2|V_z|$ , los diodos  $D_3$  y  $D_4$  están en ruptura y el valor de tensión de salida es  $V_0 = -2|V_z|$
- d) Si partimos de un estado en el que solo  $D_1$  conduce, al aumentar  $V_i$  el siguiente cambio que se produce es que los diodos  $D_3$  y  $D_4$  pasan a directa

11. (+0.1|-0.033) En un transistor bipolar PNP en activa directa:

- a) Todos los huecos emitidos desde el emisor llegan al colector
- b) La mayoría de los huecos emitidos desde el emisor llegan al colector
- c) Todos los electrones emitidos desde el emisor llegan al colector
- d) La mayoría de los electrones emitidos desde el emisor llegan al colector



12. (+0.2|-0.066) Un transistor NMOS, con parámetros tecnológicos dados por  $V_{TH} = 1\text{ V}$  y  $k = 20\ \mu\text{A}/\text{V}^2$ , está polarizado con  $I_{DS} = 8.2\text{ mA}$ ,  $V_{GS} = 6.8\text{ V}$ ,  $V_{DS} = 3.6\text{ V}$ . Calcule el parámetro  $W/L$ :


a)   $W/L = 28.5$


b)   $W/L = 24.4$


c)   $W/L = 20.6$


d)   $W/L = 31.9$

13. (+0.2|-0.066) Se realizan cuatro medidas del punto de polarización de un circuito que contiene un transistor NPN. Determine cual se corresponde con el límite entre zona activa y saturación:

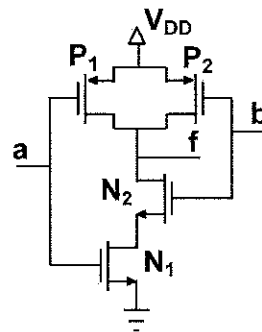
a)   $V_{BE} = 0.6\text{ V}$ ,  $I_B = 40\ \mu\text{A}$ ,  
 $I_C = 7.2\text{ mA}$ ,  $V_{CE} = 3.8\text{ V}$

b)   $V_{BE} = 0.6\text{ V}$ ,  $I_B = 55\ \mu\text{A}$ ,  
 $I_C = 9.9\text{ mA}$ ,  $V_{CE} = 0.2\text{ V}$

c)   $V_{BE} = 0.6\text{ V}$ ,  $I_B = 72\ \mu\text{A}$ ,  
 $I_C = 10.8\text{ mA}$ ,  $V_{CE} = 0.2\text{ V}$

d)   $V_{BE} = 0.6\text{ V}$ ,  $I_B = 84\ \mu\text{A}$ ,  
 $I_C = 10.5\text{ mA}$ ,  $V_{CE} = 0.2\text{ V}$

14. (+0.2|-0.066) Dado el siguiente circuito conmutador basado en tecnología CMOS:



Indique el número de transistores que se modelan como interruptores cerrados para  $a = 0$ ,  $b = 1$ .

a)  1

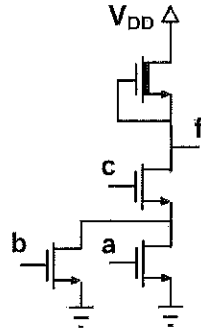
b)  2

c)  3

d)  4



15. (+0.3|-0.1) Dado el siguiente circuito conmutador basado en tecnología NMOS:



Indique la combinación que genera una salida f en bajo.

- |  |  |
|--|--|
| a)  $a = 0, b = 0, c = 1$ | b)  $a = 1, b = 0, c = 0$ |
| c)  $a = 0, b = 1, c = 1$ | d)  $a = 1, b = 1, c = 0$ |


16. (+0.1|-0.033) Indique qué tipo de biestable es asíncrono:

- |   |  |
|---|--|
| a)  Latch D      | b)  Flip-flop D                       |
| c)  Flip-flop JK | d)  Las tres opciones son incorrectas |

17. (+0.1|-0.033) La operación  $A+B$  en complemento a dos con 6 bits, siendo  $A = -5$  y  $B = 110100$  da como resultado (en complemento a 2 o decimal):

- |   |   |
|---|---|
| a)  101111 | b)  -16    |
| c)  -20    | d)  101010 |

18. (+0.1|-0.033) La secuencia de bits 010000101100 representa en código BCD:

- |   |  |
|---|--|
| a)  -428 | b)  829                         |
| c)  428  | d)  No representa ningún número |



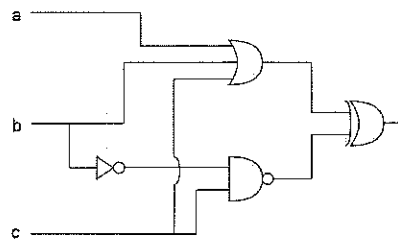
19. (+0.1|-0.033) Un sumador completo (full adder) de 4 bits tiene:

- a) 4 entradas y 8 salidas
- b) 9 entradas y 5 salidas
- c) 8 entradas y 4 salidas
- d) 9 entradas y 4 salidas

20. (+0.1|-0.033) Indique que sistema combinacional permite copiar el valor de una de sus entradas de datos a la salida:

- a) Decodificador
- b) Codificador
- c) Multiplexor
- d) Demultiplexor

21. (+0.2|-0.066) Dado el siguiente circuito basado en puertas lógicas, indique la expresión equivalente a la salida del circuito:



- a)  $(a + b + c) \oplus (\bar{b} \cdot c)$
- b)  $(\bar{a} \cdot \bar{b} \cdot \bar{c}) \oplus (\bar{b} \cdot c)$
- c)  $(a + b + c) \oplus (b + \bar{c})$
- d) Las tres son válidas

22. (+0.3|-0.1) Dado el siguiente mapa de Karnaugh, encuentre la expresión más simplificada en forma de suma de productos:


ab \ cd	00	01	11	10
00	1	1	0	1
01	0	0	1	0
11	0	0	1	0
10	1	1	0	1


- a)  $f = \bar{b} \cdot \bar{d} + \bar{b} \cdot \bar{c} + b \cdot c \cdot d$
- b)  $f = \bar{b} \cdot \bar{c} + \bar{b} \cdot c \cdot \bar{d} + b \cdot c \cdot d$
- c)  $f = b \cdot \bar{c} + b \cdot \bar{d} + \bar{b} \cdot c \cdot d$
- d)  $f = (\bar{b} + d) \cdot (\bar{b} + c) \cdot (b + \bar{c} + \bar{d})$







23. (+0.5|-0.166) Indique la expresión más simplificada equivalente a la siguiente función:  $f(a, b, c, d) = \prod M(0, 1, 4, 5, 6, 12, 13) + \Delta(10, 14)$

a)   $f = a \cdot \bar{b} + c \cdot d + \bar{b} \cdot c$

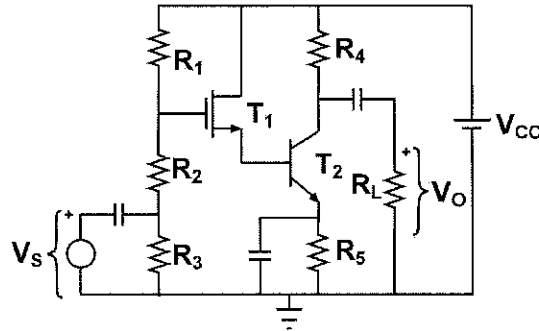
b)   $f = a \cdot \bar{b} \cdot \bar{c} + c \cdot d + \bar{a} \cdot \bar{b} \cdot c$

c)   $f = (a + c) \cdot (\bar{b} + c) \cdot (a + \bar{b} + d)$

d)   $f = (a + c) \cdot (\bar{b} + c) \cdot (\bar{b} + d)$



24. (+2.5) Dado el siguiente circuito basado un transistor NPN y un transistor NMOS:

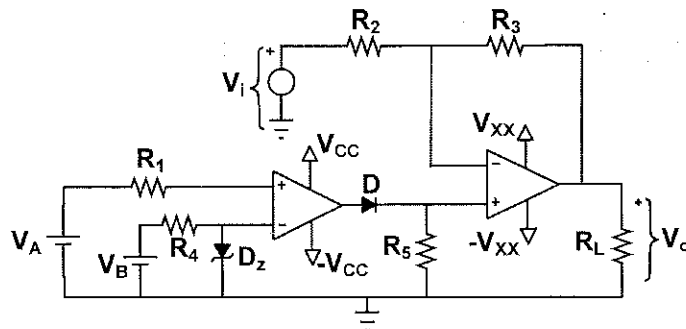


$v_S$  fuente de tensión alterna,  $V_{CC} = 15\text{ V}$ ,  $R_2 = 1.8\text{ k}\Omega$ ,  $R_3 = 2.6\text{ k}\Omega$ ,  $R_L = 3.2\text{ k}\Omega$

NPN:  $\beta = 40$ , considere  $V_{BE} = 0.7\text{ V}$  si la unión BE está en directa; NMOS:  $V_{TH} = 1\text{ V}$ ,  $K = 20\text{ }\mu\text{A}/\text{V}^2$ ,  $W/L = 5$

- (a) Calcule el punto de polarización y el valor de las resistencias  $R_1$ ,  $R_4$ ,  $R_5$  si  $V_{R_1} = 6.2\text{ V}$ ,  $V_{R_4} = 4.6\text{ V}$ ,  $V_{R_5} = 5.7\text{ V}$
- (b) Represente el modelo de pequeña señal del circuito y calcule la ganancia en tensión  $v_O/v_S$
- (c) Calcule la amplitud máxima de la señal  $v_S$  que cumple, simultáneamente, las limitaciones  $v_{be} < 10\text{ mV}$  y  $v_{gs} < 100\text{ mV}$  asociadas al modelo de pequeña señal
- (d) Justifique porqué no se puede calcular la ganancia del circuito bajo un cortocircuito de  $R_5$

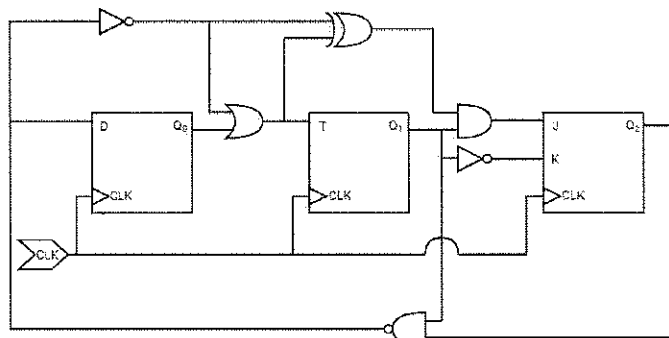
25. (+1.5) Dado el siguiente circuito basado en dos amplificadores operacionales:



$R_1 = 500\text{ }\Omega$ ,  $R_2 = 600\text{ }\Omega$ ,  $R_3 = 1.8\text{ k}\Omega$ ; AO:  $V_{CC} = 5\text{ V}$ ,  $V_{XX} = 15\text{ V}$ ,  $I_{O,MAX} = 25\text{ mA}$   
 Zener  $D_Z$ :  $V_\gamma = 0.8\text{ V}$ ,  $|V_Z| = 4.7\text{ V}$ ,  $I_{MAX} = 25\text{ mA}$ ,  $I_{Z,MIN} = 2\text{ mA}$ ,  $P_{Z,MAX} = 270\text{ mW}$   
 LED  $D$ :  $V_\gamma = 3.3\text{ V}$ ,  $I_{MAX} = 50\text{ mA}$ ,  $I_{op} = 20\text{ mA}$ ,  $|V_R| = 50\text{ V}$

- (a) Calcule la relación entre la tensión de salida y la de entrada,  $V_O(V_i)$ , si  $V_A = 2\text{ V}$  y  $V_B = 4\text{ V}$
- (b) Calcule el valor de la resistencia  $R_5$  y el mínimo de  $R_4$  y  $R_L$  para que los amplificadores operacionales y el zener no superen sus límites de funcionamiento y el diodo LED emita de forma óptima, considerando la tensión de entrada en el rango  $V_i \in [0, 5\text{ V}]$

26. (+1) Dado el siguiente circuito basado en tres flip-flops (uno D, uno T y uno JK) activos por flanco de subida del reloj y seis puertas lógicas, obtenga el diagrama de todos los estados posibles  $Q_2Q_1Q_0$ .





24 a) Circuito en continua:

Supuesto

NMOS en SAT.

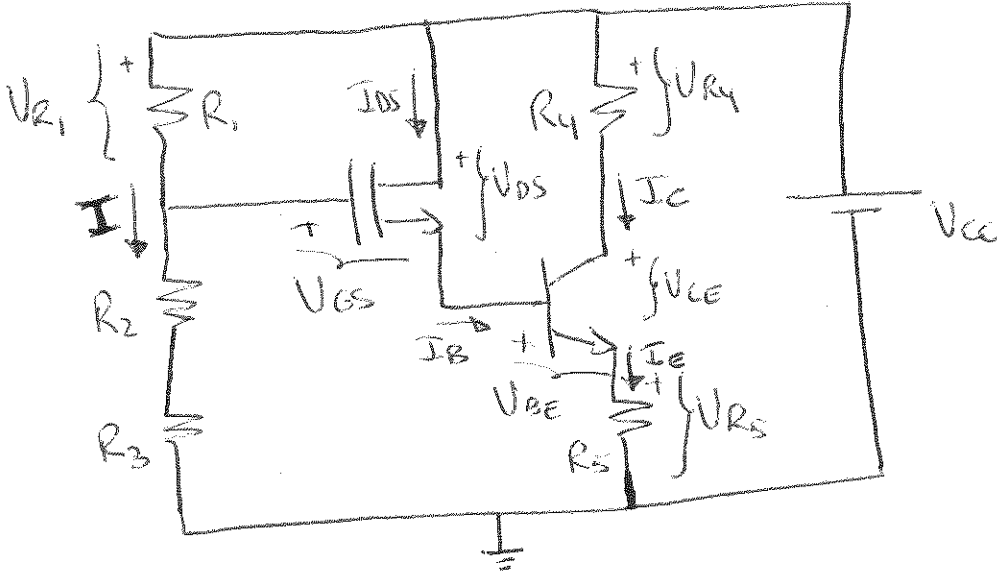
$$I_{DS} = \frac{k}{2} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})^2$$

BJT EN ACTIVA

$$V_{BE} = 0.7V$$

$$I_C = \beta I_B$$

$$I_E = (\beta + 1) I_B$$



MALLA  $\rightarrow V_{CC} = V_{R1} + V_{GS} + V_{BE} + V_{R5} \rightarrow V_{GS} = 2.4V$

MALLA  $\rightarrow V_{CC} = V_{DS} + V_{BE} + V_{R5} \rightarrow V_{DS} = 8.6V$

MALLA  $\rightarrow V_{CC} = V_{R4} + V_{CE} + V_{R5} \rightarrow V_{CE} = 4.7V$

NMOS EN SAT.  $\rightarrow I_{DS} = \frac{k}{2} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})^2 = 98 \mu A$

NODO  $\rightarrow I_B = I_{DS} = 98 \mu A$

$I_C = \beta I_B = 3.92 mA$

$I_E = (\beta + 1) I_B = 4.02 mA$

$V_{GS} > V_{TH}$   
 $V_{DS} > V_{GS} - V_{TH}$

OK NMOS  
EN SAT.

$I_B, I_C, I_E > 0$   
 $V_{CE} > 0.2V$

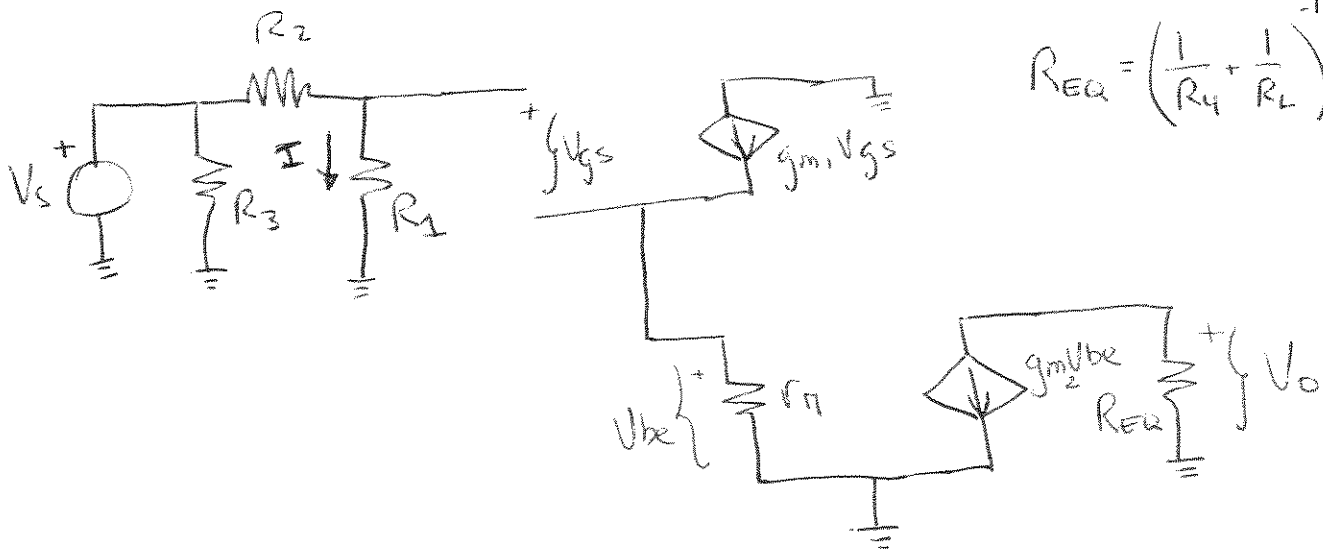
OK BJT  
EN ACTIVA

MALLA  $\rightarrow V_{CC} = V_{R1} + I (R_2 + R_3) \rightarrow I = 2 mA \rightarrow R_1 = \frac{V_{R1}}{I} = 3.1 k\Omega$

$R_4 = \frac{V_{R4}}{I_C} = 1.17 k\Omega$

$R_5 = \frac{V_{R5}}{I_E} = 1.42 k\Omega$

b) Circuito en alterna:



$$R_{EQ} = \left( \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_L} \right)^{-1} = 857 \Omega$$

$$V_s = I R_2 + I R_1 \rightarrow I = \frac{V_s}{R_1 + R_2}$$

$$I R_1 = V_{gs} + V_{be} \rightarrow V_s \frac{R_1}{R_1 + R_2} = V_{gs} + V_{be} = \left( \frac{1}{g_{m1} r_{\pi}} + 1 \right) V_{be}$$

$$g_{m1} V_{gs} = \frac{V_{be}}{r_{\pi}} \rightarrow V_{gs} = \frac{V_{be}}{g_{m1} r_{\pi}}$$

$$\rightarrow V_s = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \left( \frac{1}{g_{m1} r_{\pi}} + 1 \right) V_{be} \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \frac{V_o}{V_s} = \frac{-g_{m2} R_{EQ} R_1}{(R_1 + R_2) \left( \frac{1}{g_{m1} r_{\pi}} + 1 \right)}$$

$$V_o = -g_{m2} V_{be} R_{EQ}$$

$$g_{m1} = \sqrt{2K \frac{W}{L} I_{DS}} = 0.14 \text{ mA/V}$$

$$g_{m2} = \frac{I_c}{25.8 \text{ mV}} = 151.94 \text{ mA/V}$$

$$r_{\pi} = \frac{\beta}{g_m} = 2633 \Omega$$

$$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \frac{V_o}{V_s} = -2.93$$

c) dado que  $V_{gs} = \frac{V_{be}}{g_m r_{\pi}}$

Si  $V_{be} = 10\text{mV} \rightarrow V_{gs} = 271\text{mV}$  INCORRECTO

Si  $V_{gs} = 100\text{mV} \rightarrow V_{be} = 369\text{mV}$  OK

$\Rightarrow V_s = \frac{R_1 + R_2}{R_1} (V_{gs} + V_{be}) = \frac{49}{31} (100 + 369) = 1639\text{mV}$

d) Si  $R_5 = 0 \rightarrow V_{cc} = I R_1 + V_{gs} + V_{be}$   
 $V_{gs} = 81\text{V}$

$V_{cc} = I (R_1 + R_2 + R_3) \rightarrow I = 2\text{mA}$

MOS EN SAT:  $I_{DS} = \frac{k}{2} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})^2 = 252\text{mA}$

BJT EN ACTIVA:  $I_c = \beta I_B = \beta I_{DS} = 100 \cdot 82\text{mA}$

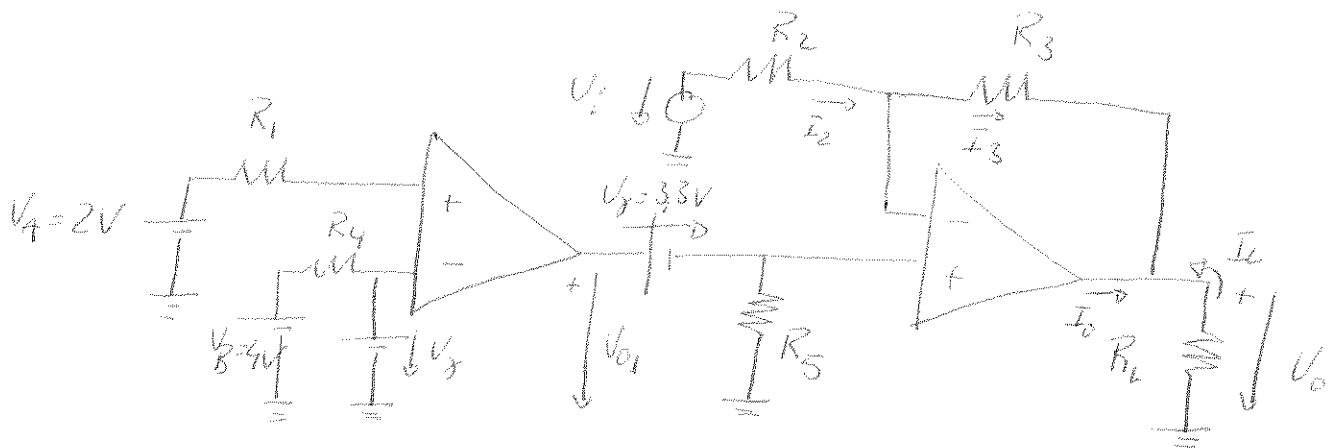
$\rightarrow V_{cc} = I_c R_4 + V_{CE} \rightarrow V_{CE} = -10296\text{V} < 0.2\text{V}$

BJT **NO** EN ACTIVA  $\rightarrow$  MODELO DE PEQUEÑA

SEÑAL NO APLICABLE  $\rightarrow$  NO SE PUEDE

CALCULAR LA GANANCIA

# EJERCICIO 25



Como  $V_3 = 4V$  Supongo  $D_2$  on ¿  $I_{D_2} > 0$ ?

$$I_{D_2} = \frac{V_3 - V_8}{R_4} \quad \left. \begin{array}{l} V_3 = 4V \\ V_8 = 0,8V \end{array} \right\} \Rightarrow V_3 - V_8 > 0 \Rightarrow I_{D_2} > 0 \Rightarrow D_2 \text{ on}$$

Primer amplificador en lazo abierto  $\Rightarrow V_{O1} = \begin{cases} V_{CC} & \text{si } V_P > V_1 \\ V_{EE} & \text{si } V_P < V_1 \end{cases}$

Como  $V_P = 2V$  y  $V_{n1} = 0,8V \Rightarrow V_{O1} = 5V$

Supongo  $D_{LED}$  on ¿  $I_D > 0$ ?

$$I_D = I_{R_5} = \frac{V_{O1} - V_{8_{LED}}}{R_5} \quad \left. \begin{array}{l} V_{O1} = 5V \\ V_{8_{LED}} = 3,3V \end{array} \right\} \Rightarrow V_{O1} - V_{8_{LED}} = 1,7V \Rightarrow D_{LED} \text{ on}$$

$I_{R_5} > 0$

Segunda amplificado en lazo cerrado  $\Rightarrow V_{I2} = V_{P2} = V_{O1} - V_{8_{LED}} = 1,7V$

$$I_2 = I_3 \Rightarrow \frac{V_i - 1,7}{R_2} = \frac{1,7 - V_O}{R_3} \Rightarrow V_O = 6,8 - 3V_i$$

Calcolo  $R_4$

$$\left. \begin{array}{l} V_2 \text{ on} \Rightarrow I_{\max} = \\ V_3 = I_{\max} R_4 + V_5 \end{array} \right\} \Rightarrow R_4 = 128 \Omega$$

Calcolo  $R_5$

$$\left. \begin{array}{l} V_{p_2} = I_{\text{op}} \cdot R_5 \\ I_{\text{op}} = 20 \text{ mA} \\ V_{p_2} = 1,7 \text{ V} \end{array} \right\} \Rightarrow R_5 = \frac{1,7 \text{ V}}{20 \cdot 10^{-3} \text{ A}} = 85 \Omega$$

Calcolo  $R_L$

$$I_3 + I_L + I_0 = 0$$

$$I_3 = \frac{V_{p_2} - V_0}{R_5} \quad I_L = \frac{0 - V_0}{R_L}$$

Però  $V_i = 0 \Rightarrow V_0 = 6,8 \text{ V} - 0,3 = 6,8 \text{ V} \Rightarrow I_L = - \frac{6,8 \text{ V}}{R_L}$

$$\left. \begin{array}{l} I_L < 0 \\ I_3 < 0 \end{array} \right\} \Rightarrow I_0 > 0 \Rightarrow - \frac{6,8}{R_L} - 2,8 + 25 = 0 \quad I_3 = \frac{1,7 - 6,8}{1,8} = -2,8 \text{ mA}$$

$$I_3 + I_L + I_0 = 0$$

$$R_{L \min} = \frac{6,8 \text{ V}}{22,8 \text{ mA}} = 306 \Omega$$

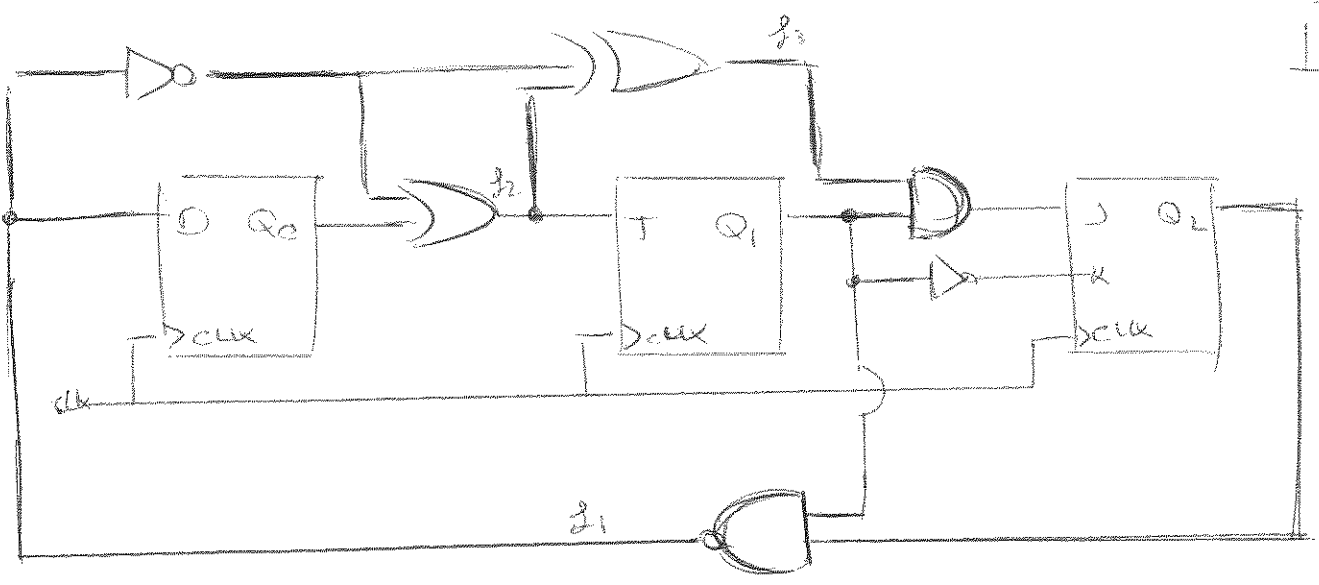
Però  $V_i = 5 \text{ V} \Rightarrow V_0 = 6,8 \text{ V} - 3 \cdot 5 \text{ V} = -8,2$

$$\Rightarrow I_L = \frac{8,2}{R_L} \quad I_3 = \frac{1,7 + 8,2}{1,8} = 5,5 \text{ mA}$$

$$\left. \begin{array}{l} I_L > 0 \\ I_3 > 0 \\ I_3 + I_L + I_0 = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow I_0 < 0 \Rightarrow \frac{8,2}{R_L} + 5,5 - 25 = 0$$

$$R_{L \min 2} = \frac{8,2 \text{ V}}{19,5 \text{ mA}} = 420,5 \Omega$$

$$R_{L \min} = R_{L \min 2} = 420,5 \Omega$$



	Q <sub>2</sub>	Q <sub>1</sub>	Q <sub>0</sub>	D = f <sub>1</sub> = Q <sub>1</sub> Q <sub>2</sub>	T = f <sub>2</sub> = Q <sub>0</sub> + Q <sub>1</sub>	f <sub>3</sub> = Q <sub>1</sub> ⊕ Q <sub>2</sub>	J = f <sub>3</sub> Q <sub>1</sub>	K = Q <sub>1</sub>
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	1	0	1	0	0	0
3	0	1	1	1	1	1	1	1
4	1	0	1	0	1	1	0	0
5	0	1	1	0	1	0	0	0
6	0	1	0	0	1	0	0	0
7	1	0	0	0	1	0	0	0
8	1	1	0	1	1	0	0	0

