

EXAMEN DE ELECTRONICA 1
27/02/2013

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 (40 puntos)

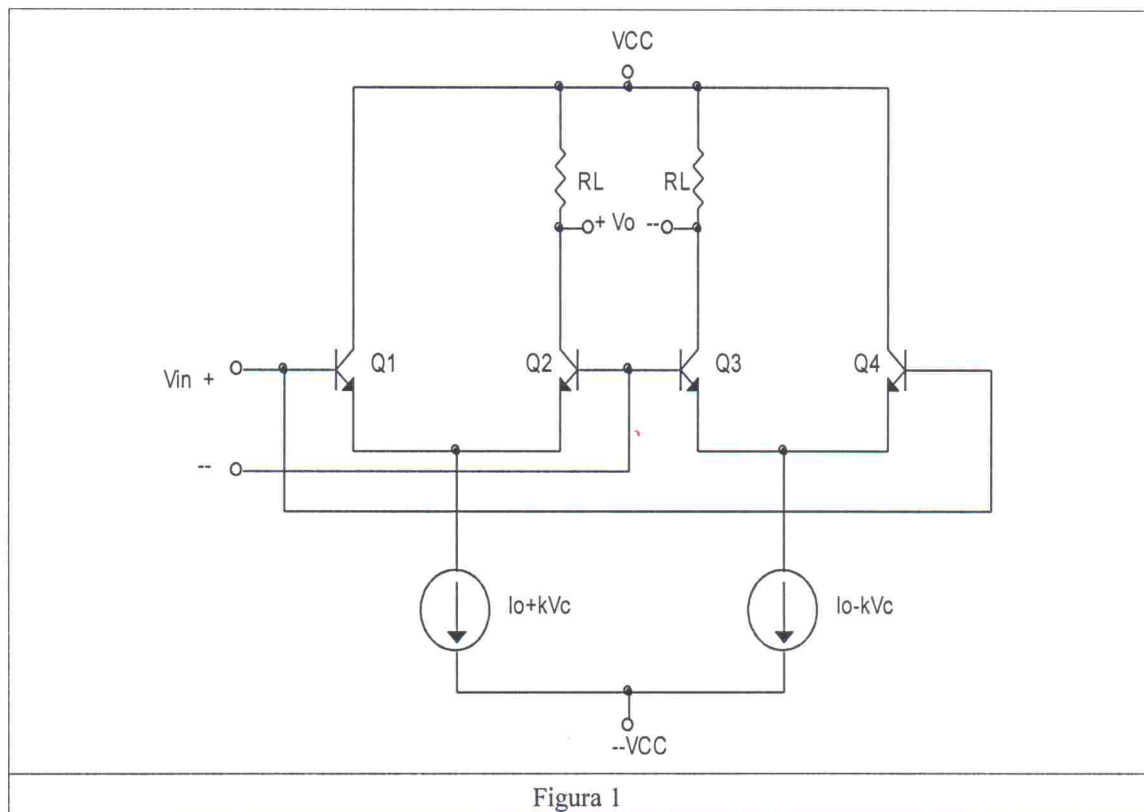
El circuito de la Figura 1 es un amplificador de ganancia variable la cual se controla variando una tensión de control V_c .

- Calcular la transferencia V_o/V_{in} en función de V_c .
- ¿Cuál es el rango de entrada en modo común del circuito?
- Si se define el rango de operación lineal como aquél en que la corriente por el transistor varía entre el 10% y el 90% de su rango máximo, ¿cuál es el rango de V_{in} en que el funcionamiento del circuito se puede aproximar como un amplificador lineal?

Datos: Todos los transistores Q1-Q4 son idénticos con $V_{BE} = 0.7V$, $V_{CESAT} = 0.3V$, $\beta \gg 1$.

Fuentes de corriente: $I_o = 2\text{ mA}$, $k = 0.5\text{mA/V}$, V_c puede variar entre 0 y 3 V, tensión en bornes mínima para su funcionamiento $V_{i\text{fuenteMin}} = 0.5\text{ V}$.

$V_{CC} = 5V$, $R_L = 1.5\text{ k}\Omega$.



PROBLEMA 2 (40 puntos)

En una industria se debe operar un relé que tiene como objetivo conmutar la llave de una maquinaria que opera en la red de alimentación (AC) de 220 V. La bobina del relé está alimentada desde la tensión DC disponible en la industria de 48 V. Pero dado que el equipo que comanda el relé utiliza una alimentación independiente y de sólo 3.3 V, es necesario aislar este equipo del relé mediante el optoacoplador TLP621 como se muestra en la Figura 1.

Se pide:

- Dibuje la curva V_1 (salida del OA1) en función de V_{in} , indicando todas las tensiones relevantes.
- Si la entrada V_{in} tiene la forma de onda que se muestra en la Figura 2 dibuje la forma de onda de V_1 , indicando todas las tensiones y tiempos relevantes. También indique en en que zonas de las curvas el circuito energiza la bobina del relé.
- Considerando el caso en que el circuito esta energizando la bobina del relé, determine R_3 , R_4 y R_5 para que la corriente por el LED del TLP621 sea 10 mA y la tensión en la bobina del relé sea igual o mayor a 30 V.
- Para evitar una sobretensión en el fototransistor durante el apagado del relé, se agrega un diodo conocido como “Diodo de rueda libre” o “Free wheel diode”. Dibuje como conectaría ese diodo y por qué.

Datos: $V_{dd1} = 3.3V$, $V_{dd2} = 48V$, $V_{bias} = 1.65V$.

Asuma que la bobina del rele se puede modelar como un inductor ideal con una resistencia en serie $r = 2.2k\Omega$ (que no se muestra en la figura).

Transistor Q1: $\beta = 100$, $V_{EB} = 0.7 V$, $V_{ECSAT} = 0.3 V$.

TLP621: LED: $V_D (@I_D = 10 \text{ mA}) = 1.2 V$

Fototransistor: $\beta_{eq} = I_C/I_D = 60$, donde I_C es la corriente de colector del fototransistor e I_D la corriente por el LED, $V_{CESAT} = 0.4 V$.

OA1: $SR = 1.2 V/\mu s$, ideal en otros aspectos. $R_1 = 1.2 k\Omega$, $R_2 = 12 k\Omega$

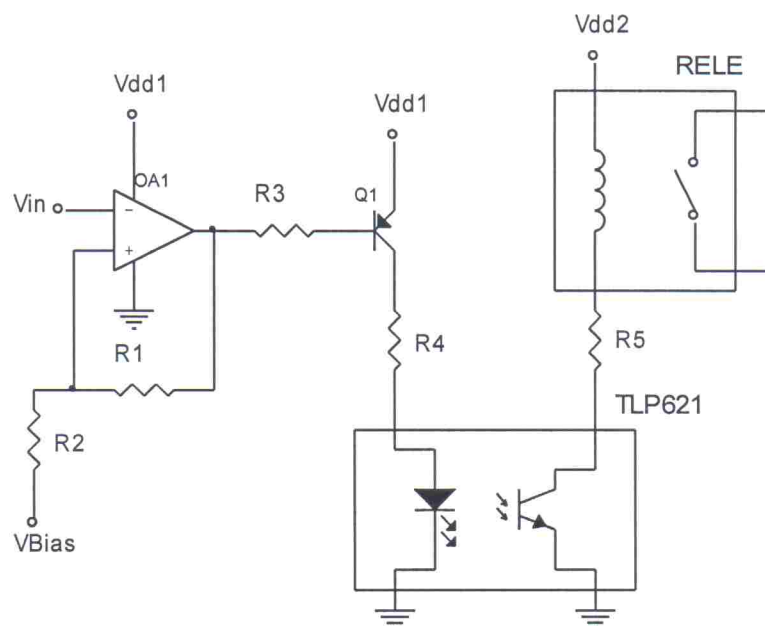


Figura 1

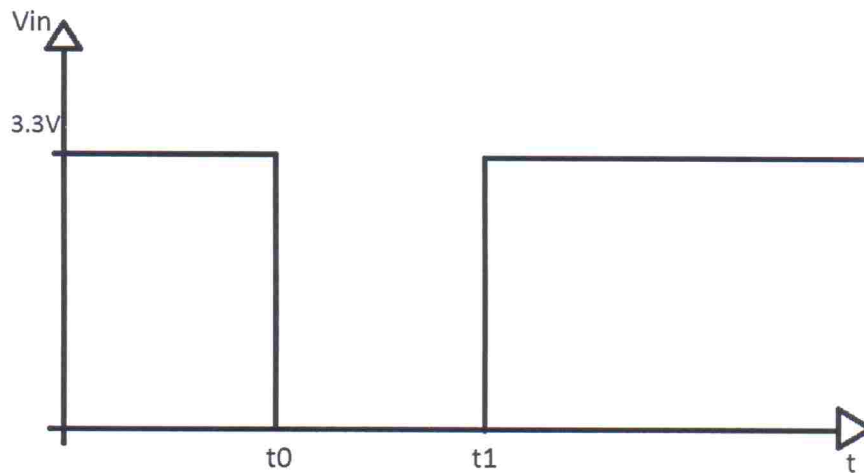


Figura 2

PREGUNTA (20 puntos)

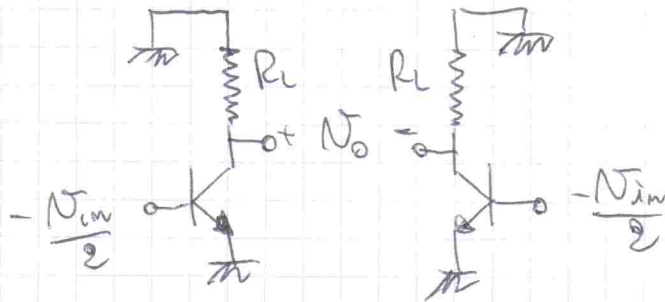
Se tiene un inversor CMOS con una señal a la entrada con tiempo de subida no nulo t_r y una capacidad de carga C_L que se podrá considerar despreciable.

- Si los transistores del inversor tienen: $\beta_n = \beta_p = 200 \mu A/V^2$, $V_{T0n} = |V_{T0p}| = 0.7$ y la alimentación V_{DD} es 5V, dar una estimación del máximo pico de corriente tomado de la fuente.
- Si la señal de entrada tiene tiempos de subida y bajada de $0.1 \mu s$ y una frecuencia de 1 MHz, estimar la potencia consumida por la corriente de camino directo, basándose en la estimación hecha en ii).

Nota: Observar que si la capacidad de carga es muy pequeña el inversor responde de acuerdo a su característica estática.

Problema 1

$$a) g_{m12} = \frac{I_0 + KV_C}{2V_T} ; g_{m34} = \frac{I_0 - KV_C}{2V_T}$$



$$N_o = [-R_L g_{m2} (-\frac{N_{im}}{2})] - [-R_L g_{m3} (-\frac{N_{im}}{2})] = R_L (I_0 + KV_C) (I_0 - KV_C) \frac{N_{im}}{4V_T}$$

$$\boxed{\frac{N_o}{N_{im}} = \frac{R_L KV_C}{2V_T}}$$

b) El transistor que limite hacia arriba es Q2 ya que tiene una corriente de polarización mayor o igual a la del transistor Q3
 $\Rightarrow V_{C2} < V_{C3}$

$$\Rightarrow N_{CE2} > N_{CESAT} \Rightarrow [V_{CC} - R_L (I_0 + KV_{Cmax})] - (V_{icm} - V_{BE}) > V_{CESAT}$$

$$\Rightarrow \boxed{V_{icm} < V_{CC} - R_L (I_0 + KV_{Cmax}) + V_{BE} - V_{CESAT}}$$

$$\frac{V_{E2} - (-V_{CC})}{V_{icm} - V_{BE}} > V_{i\text{puentemín}} \Rightarrow V_{icm} - V_{BE} + V_{CC} > V_{i\text{puentemín}}$$

$$\Rightarrow \boxed{V_{icm} > -V_{CC} + V_{BE} + V_{i\text{puentemín}}}$$

Problema 1

c) Si asumimos que el par diferencial está polarizado con I_{pol}

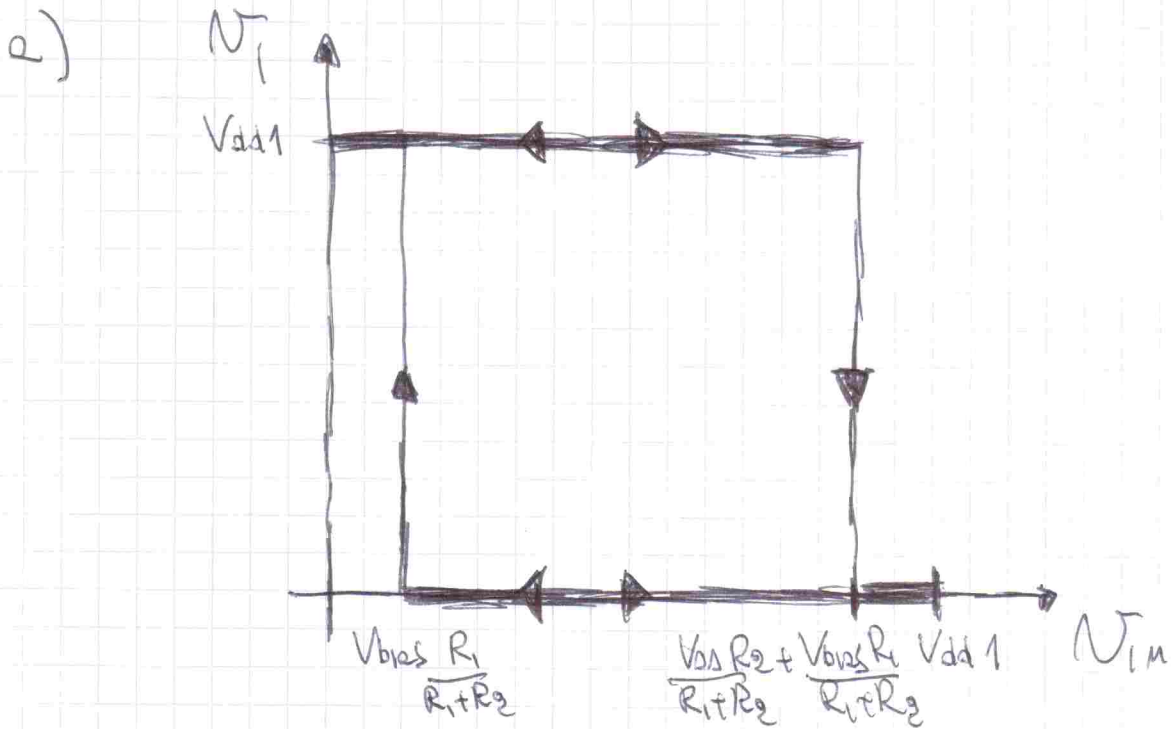
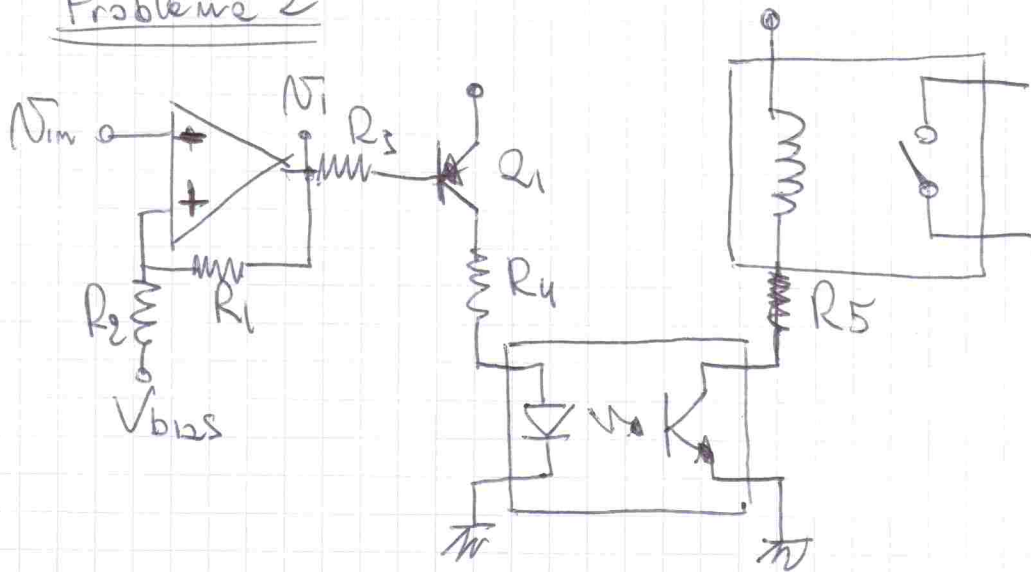
$$\Rightarrow \frac{I_{pol}}{2} - g_m \frac{|N_{im}|}{2} \leq 0,9 I_{pol} \Rightarrow g_m \frac{|N_{im}|}{2} < 0,4 I_{pol}$$

$$\Rightarrow \frac{(I_{pol}/2)}{V_T} \frac{|N_{im}|}{2} < 0,4 I_{pol} \Rightarrow \underline{\underline{|N_{im}| < 1,6 V_T}}$$

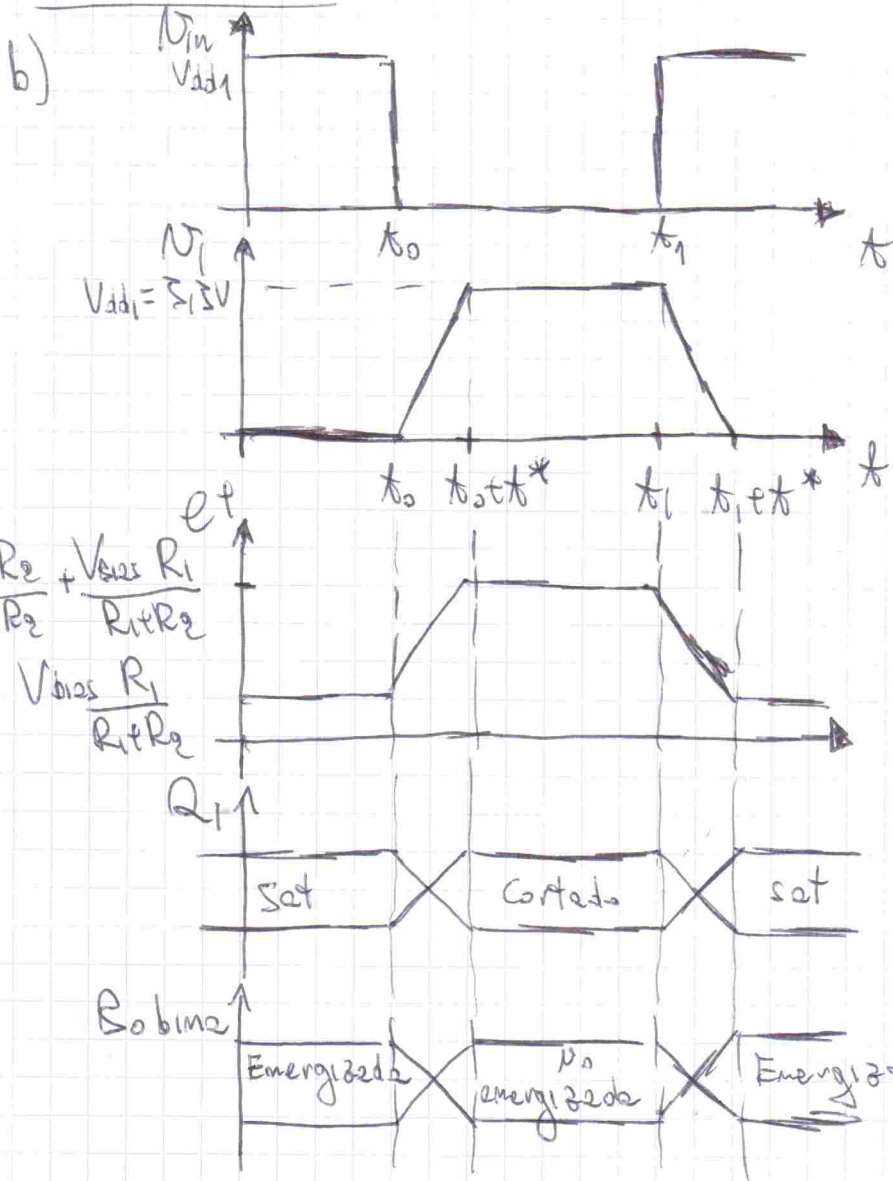
$$\frac{I_{pol}}{2} - g_m \frac{|N_{im}|}{2} > 0,1 I_{pol} \Rightarrow g_m \frac{|N_{im}|}{2} \leq 0,4 I_{pol}$$

$$\Rightarrow \boxed{|N_{im}| \leq 1,6 V_T} \quad \text{No depende de } I_{pol}$$

Probleme 2



Problema 2



$$SR = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{V_{dd1}}{t^*}$$

$$t^* = \frac{V_{dd1}}{SR}$$

$$c) I_{C1} = I_D = \frac{(V_{dd1} - V_{ECSAT}) - V_D}{R_4} \Rightarrow R_4 = 180 \Omega$$

$$\frac{I_{C1}}{I_{B1}} = \frac{\beta}{10} \Rightarrow I_{B1} = 1 \text{ mA}$$

$$\Rightarrow R_3 = \frac{(V_{os} - V_{EB} - \phi)}{I_{B1}} \Rightarrow R_3 = 2,6 \text{ k}$$

Problema 2

c) Para calcular R_5 asumimos el transistor del TLP 621 saturado.

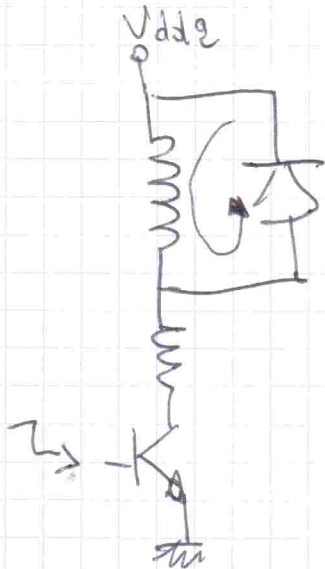
$$I_c = \frac{V_{bobina}}{r} \Rightarrow I_c = 15,6 \text{ mA} < I_p \beta_{eq} = 60 \text{ mA} \checkmark \Rightarrow \text{saturado}$$

$$V_{dd2} = V_{CE_{SAT}} + R_5 I_c + V_{bobina}$$

$$\Rightarrow R_5 = \frac{(V_{dd2} - V_{CE_{SAT}} - V_{bobina})}{I_c}$$

$$\Rightarrow R_5 = 1,3 \text{ k}\Omega$$

d)



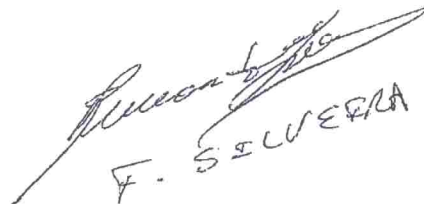
De esta forma el diodo conduce cuando se corta el transistor y evita tensiones elevadas debido a grandes variaciones de corriente.

- i) Considerando que la capacidad de carga CL es despreciable y que por tanto la entrada y salida se relacionan de acuerdo a la característica estática, la máxima corriente ocurre cuando ambos transistores dejan pasar la máxima corriente, estando ambos en saturación. En este caso esto ocurre cuando $V_{in} = V_{DD}/2$ (pues el β y V_{T0} son iguales para el nMOS y el pMOS), y la corriente vale:

$$I_{cdpico} = (\beta/2) \cdot (V_{GS} - V_{T0})^2 = (200/2) \cdot (2.5 - 0.7)^2 = 324 \mu A.$$

- ii) Se considera, cómo se hizo en el curso, que la forma de onda de la corriente de camino directo se puede aproximar por triángulos de amplitud el valor I_{cdpico} calculado en ii) y duración t_r y t_f (se desprecia aquí el tiempo que demoran en empezar a conducir los MOS mientras la señal de entrada va de 0 a la tensión umbral). En este caso, como el valor I_{cdpico} es el mismo para subida y bajada pues el β y V_{T0} son iguales para el nMOS y el pMOS, se tiene que la potencia promedio consumida de la fuente de alimentación es:

$$\begin{aligned} P &= (1/2) (t_r + t_f) \cdot V_{DD} \cdot I_{cdpico} \cdot f = \\ &= (1/2) (0.1 \mu s + 0.1 \mu s) \cdot 5V \cdot 324 \mu A \cdot 1MHz = \\ &= 0.16mW \end{aligned}$$


F. SILVEIRA