Pontificia Universidad Católica de Chile
Escuela de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Eléctrica
IEE2413 – Electrónica

IEE2413 INTERROGACIÓN 4 - Jueves 19/Diciembre/2019

NOMBRE _____

Tiempo límite: 90 minutos. Puede usar calculadora. Si tiene un teléfono celular o cualquier otro dispositivo de comunicaciones inalámbricas, manténgalo apagado durante toda la interrogación. Puede usar ambos lados de cada hoja para hacer sus cálculos, y puede utilizar hojas adicionales. Limite sus respuestas al espacio provisto para ello. Puede usar el formulario que confeccionó a lo largo del curso. Sólo se aceptarán preguntas de enunciado durante los primeros 10 minutos de la prueba, y ponga atención a los avisos indicados durante la prueba, ya que pueden ayudar a clarificar o aportar información útil al enunciado.

Código de Honor

Çomo miembro de la comunidad de la Pontificia Universidad Católica de Chile, me comprometo a respetar los principios y normativas que la rigen. Asimismo, me comprometo a actuar con rectitud y honestidad en las relaciones con los demás integrantes de la comunidad y en la realización de todo trabajo, particularmente en aquellas actividades vinculadas a la docencia, al aprendizaje y la creación, difusión y transferencia del conocimiento. Además, me comprometo a velar por la dignidad e integridad de las personas, evitando incurrir en y, rechazando, toda conducta abusiva de carácter físico, verbal, psicológico y de violencia sexual. Del mismo modo, asumo el compromiso de cuidar los bienes de la Universidad".

Firma: _____

Resumen Puntajes

Parte 1 - _____ / 10 pt.
Parte 2 - _____ / 10 pt.
Parte 3 - _____ / 15 pt.
Total - _____ / 35 pt.

Nota: _____

IEE2413 - INTERROGACION 4

NOMBRE _____

Parte 1 - Verdadero y Falso

Lea las afirmaciones y conteste Verdadero o Falso según coresponda. Respuesta Correcta: 1 pt. c/u. Respuesta Incorrecta: -1 pt. c/u. Omitida: 0 pt. Máximo = 10 pts.

1. F Si conectamos dos amplificadores cuyas ganancias son conocidas completamente entre sí, y medimos una salida diferente a la esperada, podemos descartar inmediatamente que el problema sea de acoplamiento de impedancias entre los amplificadores.
2. F En un Op-Amp Real, el Slew-Rate no limita las frecuencias a las que podemos operar el dispositivo.
3. V Un diodo, operado en polarización directa, presenta una baja impedancia.
4. F La resistencia entre drén y fuente r_{ds} de un MOSFET, operado en región activa, es prácticamente nula.
5. F Un BJT puede ser fabricado usando dos diodos discretos.
6. F Un Transistor BJT tiene corriente de base 1 [mA] y corriente de colector 50 [mA]. Si dicho transistor tiene un $\beta = 100$, es posible inferir se encuentra operando en región activa.
7. V Un BJT conectado como diodo tiene la misma curva estática que un diodo de unión PN.
8. V La resistencia r_π en el modelo de pequeña señal del BJT, debe su existencia a la resistencia incremental del diodo base-emisor del transistor.
9. F En un buen diseño de amplificador, el circuito de polarización siempre debe ser muy sensible a variaciones de temperatura, proceso de fabricacion.
10. V En un amplificador fuente (MOSFET) / emisor (BJT) común, al incluir una resistencia de degeneración, manteniendo las condiciones de polarización, se pierde ganancia pero el circuito gana robustez.

IEE2413 - INTERROGACION 4

Parte 2 - Preguntas Cortitas

Marque la alternativa que corresponda, respaldando su respuesta con los cálculos o conceptos que correspondan; de no hacerlo, no tendrá todo el puntaje. Respuesta Correcta: 1 pt. c/u. Respuesta Incorrecta o con más de una alternativa marcada: -0.25 pt. c/u. Omitida: 0 pt. Máximo = 10 pts.

1. Las resistencias de entrada y salida de un amplificador de voltaje ideal son:

   a) $R_{in} = \infty$, $R_{out} = \infty$
   b) $R_{in} = \infty$, $R_{out} = 0$
   c) $R_{in} = 0$, $R_{out} = \infty$
   d) $R_{in} = 0$, $R_{out} = 0$

2. Las resistencias de entrada y salida de un amplificador de corriente ideal son:

   a) $R_{in} = \infty$, $R_{out} = \infty$
   b) $R_{in} = \infty$, $R_{out} = 0$
   c) $R_{in} = 0$, $R_{out} = \infty$
   d) $R_{in} = 0$, $R_{out} = 0$

3. Cuál es la expresión que define la salida V_O de este amplificador, como función de V_1 y V_2?

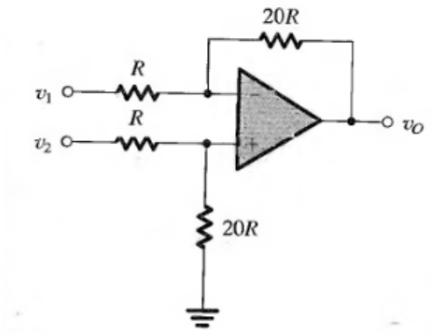


Figura 1: Amplificador - P3

   a) $V_O = 20(V_2 + V_1)$
   b) $V_O = 20(V_2 - V_1)$
   c) $V_O = -20(V_2 - V_1)$
   d) $V_O = -20(V_1 + V_2)$

IEE2413 - INTERROGACION 4

4. La curva I_d-V_d que se presenta a continuación corresponde al diodo 1N4148. ¿Cuánto vale aproximadamente su resistencia incremental en el punto $V_D = 0{,}7[V]$, $I_D = 4{,}0[mA]$?

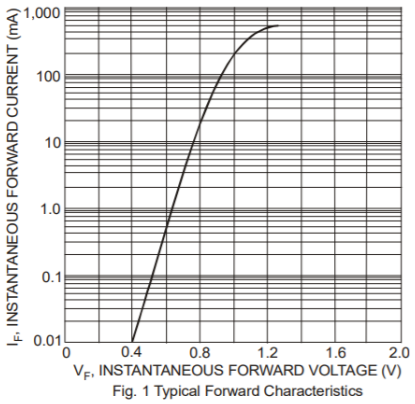


Figura 2: Curva I_d-V_d - Diodo 1N4148

a) 0.175 kΩ
b) 5.714 mΩ
c) 0.500 kΩ
d) 0.010 kΩ

5. En el siguiente circuito, asumiendo el diodo con caída constante de 0.7 [V] en conducción, cuánto vale la corriente I y el voltaje V?

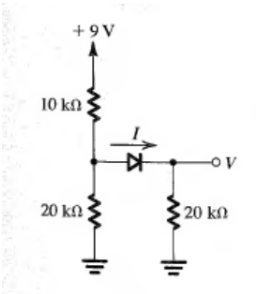


Figura 3: Circuito P5

a) V = 4.50 [V], I = 0.225 [mA]
b) V = 0.7 [V], I = 0.035 [mA]
c) V = 0 [V], I = 0 [mA]
d) V = 3.96 [V], I = 0.198 [~~mA~~ A]

IEE2413 - INTERROGACION 4

6. Se tiene un MOSFET PMOS cuyo $|V_t| = 2.1$ [V] y cuyos voltajes DC nodales son $V_G = 2$ [V], $V_D = 1$ [V], $V_S = 4$ [V]. ¿En qué modo de operación está operando?

   a) Cut-Off (Corte)
   b) Triodo
   c) Saturación/Activa
   d) No se puede determinar

7. El siguiente amplificador tiene una falla crítica en su diseño. ¿Cuál de las siguientes alternativas representa dicha falla?

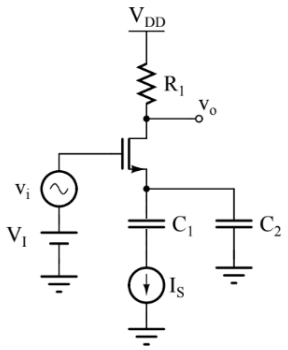


Figura 4: Circuito P7

   a) En esta configuración, la fuente I_S no puede ir a tierra
   b) No tiene carga, por lo que no puede amplificar
   c) No hay camino para la corriente de polarización
   d) Ninguna de las anteriores

IEE2413 - INTERROGACION 4

8. Asumiendo que los transistores Q_i (i = 1,2) tienen como parámetros β_i, gm_i y r_{π_i} y tienen r_{o_i} despreciable. ¿Cuánto vale de forma exacta la resistencia de entrada R_{in} de este circuito amplificador?

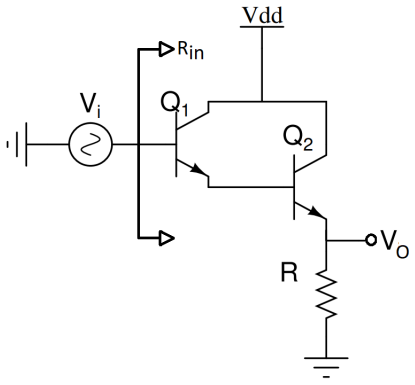


Figura 5: Circuito - P8

a) $R_{in} = r_{\pi_1} + r_{\pi_2} + R$
b) $R_{in} = r_{\pi_1} + (\beta_2 + 1)(r_{\pi_2} + R)$
c) $R_{in} = (\beta_1 + 1)(\beta_2 + 1)R$
d) $R_{in} = r_{\pi_1} + (\beta_1 + 1)(r_{\pi_2} + (\beta_2 + 1)R)$

LAS PREGUNTAS 9 y 10 SE RELACIONAN CON EL SIGUIENTE ENUNCIADO

En el circuito de la figura el transistor PNP tiene $\beta = 100$. Y su voltaje $|V_{BE}| = 0{,}7[V]$ cuando se encuentra en región activa o saturación.

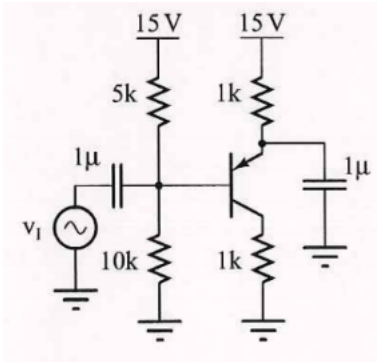


Figura 6: Circuito BJT - P9 a P10

IEE2413 - INTERROGACION 4

9. Indique el valor más cercano al voltaje en la base del transistor V_B:

a) $V_B = 10{,}1[V]$
b) $V_B = 9{,}13[V]$
c) $V_B = 10{,}72[V]$
d) $V_B = 10{,}53[V]$

10. Indique el valor más cercano a la corriente de colector I_C.

a) $|I_C| = 5{,}74[mA]$
b) $|I_C| = 4{,}26[mA]$
c) $|I_C| = 4{,}1[mA]$
d) $|I_C| = 4{,}42[mA]$

IEE2413 - INTERROGACION 4

Parte 3 - Preguntas Larguitas

Marque la alternativa que corresponda, respaldando su respuesta con los cálculos o conceptos que correspondan; de no hacerlo, no tendrá todo el puntaje. Respuesta Correcta: 1 pt. c/u. Respuesta Incorrecta o con más de una alternativa marcada: -0.25 pt. c/u. Omitida: 0 pt. Máximo = 15 pts.

LAS PREGUNTAS 11 a 16 SE RELACIONAN CON EL SIGUIENTE ENUNCIADO

La figura presenta un amplificador diseñado con MOSFET cuya constante de fabricación k ($= \mu C_{ox} \frac{W}{L}$) y V_A son desconocidos.

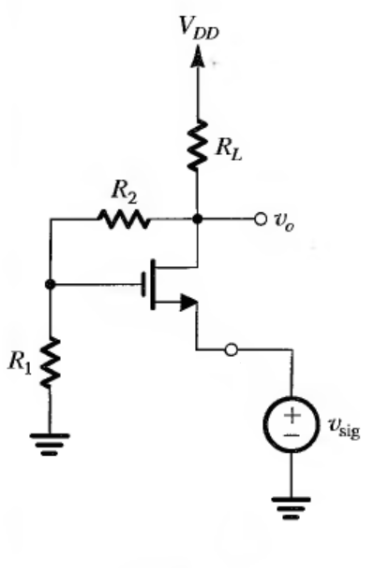


Figura 7: Amplificador MOSFET - P11 a P16

- El único parámetro conocido del transistor es: $V_t = 0{,}6[V]$
- La corriente de dren en polarización debe ser $I_D = 0{,}1[mA]$
- Los parámetros de pequeña señal esperados del diseño son $g_m = 1$ [mA/V] y $r_o = 100$ [kΩ],
- La corriente de polarización es $I_D = 0{,}1[mA]$
- R1 = 500 [kΩ] y R2 = 1 [MΩ]
- Resistencia de Carga $R_L = 10$ [kΩ]

11. Para cumplir con los parámetros de pequeña señal esperados, ¿cuál debe ser el valor de la constante de fabricación k del transistor? Desprecie λ para este cálculo.

a) 5 $[\frac{V^2}{mA}]$
b) 4.82 $[\frac{mA}{V^2}]$
c) 5 $[\frac{mA}{V^2}]$
d) 4.82 $[\frac{V^2}{mA}]$

12. Considerando los valores de R_1 y R_2, ¿Cuál es el valor más cercano al valor de V_{DD} que permite cumplir con los requerimientos? Desprecie λ para este cálculo.

a) 3.1 [V]
b) 3.4 [V]
c) 3.7 [V]
d) Ninguno de los anteriores

13. Para cumplir con la resistencia de salida r_o esperada, ¿Cuál debe ser el valor de V_A del transistor?

a) 10 [V]
b) 100 [V]
c) 0.1 [V]
d) No se puede determinar

14. El circuito del amplificador, a qué topología pertenece?

a) CS
b) CG
c) CD
d) No se puede determinar.

15. De acuerdo con lo visto en clases, para qué aplicación es bueno este tipo de amplificador?

a) Buffer de Corriente
b) Buffer de Voltaje
c) Transconductor
d) Ninguno de los Anteriores

16. Sin despreciar r_o, ¿cuál es el valor más cercano a la ganancia de voltaje del circuito $\frac{v_o}{v_{sig}}$?

a) -2.2 [V/V]
b) -3 [V/V]
c) 3 [V/V]
d) 2.2 [V/V]

IEE2413 - INTERROGACION 4

LAS PREGUNTAS 17 a 19 SE RELACIONAN CON EL SIGUIENTE ENUNCIADO

El transistor de la figura debe controlar un relé para controlar la apertura de una chapa magnética. El relé está diseñado para operar con $V_{CC} = 12[V]$ y tiene una impedancia $R_L = 80$ [Ω]. V_{in} es una señal lógica proveída desde un Arduino que varía entre 0 [V] y 3.3 [V]. El transistor tiene un $\beta_{Nominal} = 150$ y sus valores típicos de V_{BE} y $V_{CE_{sat}}$ son de 0,7 [V] y 0,2 [V] respectivamente.

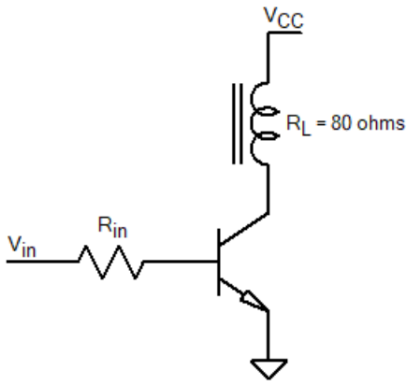


Figura 8: Driver Relé BJT - P17 a P19

17. Cuál es el valor aproximado y más cercano de R_{in} para que el transistor opere en el punto borde de saturación (EOS, Edge Of Saturation)

    a) 2.6 [kΩ]
    b) 0.26 [kΩ]
    c) 0.36 [kΩ]
    d) 3.6 [kΩ]

18. Si usted considerara un factor de overdrive (ODF) de 5, para llevar al transistor a una saturación más profunda, cuál sería el nuevo valor de R_{in}?

    a) 13 [kΩ]
    b) 0.052 [kΩ]
    c) 0.52 [kΩ]
    d) 18 [kΩ]

19. El relé en la realidad es inductivo y se representa por una bobina cuya resistencia es igual a R_L. Esto trae problemas al transistor y podría dañarlo en operación normal. ¿Qué componente debe agregar al circuito y cómo hacerlo para evitar daños?

    a) Diodo, en paralelo al inductor, apuntando hacia V_{CC}
    b) Diodo, en paralelo a los terminales colector y emisor del transistor, apuntando hacia el colector
    c) Diodo, en paralelo al inductor o al transistor y sin importar polaridad
    d) Ninguno de los anteriores

IEE2413 - INTERROGACION 4

LAS PREGUNTAS 20 a 25 SE RELACIONAN CON EL SIGUIENTE ENUNCIADO

La figura presenta un amplificador diseñado con un BJT.

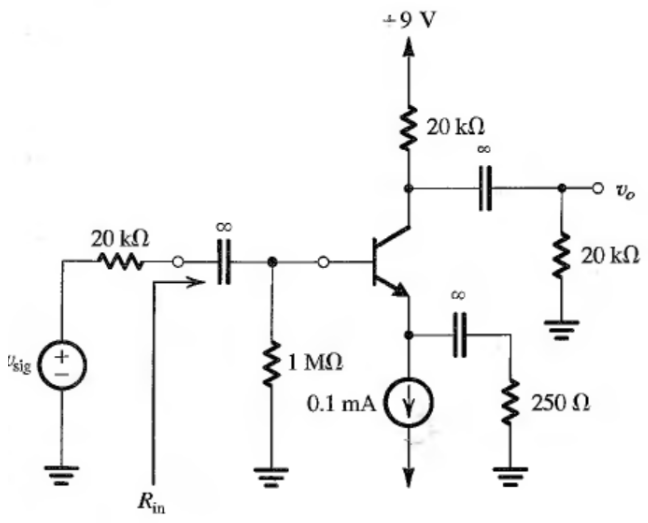


Figura 9: Amplificador BJT - P20 a P25

- El transistor tiene: $\beta = 100$ y V_A muy grande.

20. Cuál es el valor más cercano a la corriente I_B de polarización del transistor?

a) 2 [μA]
b) 1 [μA]
c) 2 [nA]
d) 1 [nA]

21. Cuáles son los valores más cercanos a los voltajes V_C, V_E de polarización del transistor?

a) $V_C = 6[V], V_E = -1{,}7[V]$
b) $V_C = 7[V], V_E = -0{,}3[V]$
c) $V_C = 7[V], V_E = -1{,}7[V]$
d) No se pueden determinar, falta el voltaje del riel inferior.

22. El circuito del amplificador, a qué topología pertenece?

a) CE
b) CC
c) CB
d) CE con Degeneración

23. De acuerdo con lo visto en clases, para qué aplicación es bueno este tipo de amplificador?

a) Buffer de Corriente
b) Buffer de Voltaje
c) Transconductor
d) Ninguno de los Anteriores

24. Cuál es el valor más cercano a la resistencia r_e de pequeña señal del transistor?

a) 250 [Ω]
b) 2500 [Ω]
c) 25 [Ω]
d) 2.5 [Ω]

25. Cuál es el valor más cercano a la ganancia de voltaje del amplificador v_o/v_{sig}?

a) 15 [V/V]
b) 14 [V/V]
c) -15 [V/V]
d) -14 [V/V]

I4 Pauta

① Conceptual → A_V $\begin{cases} R_{in} = \infty \\ R_{out} = 0 \end{cases}$ **B**

② Conceptual → A_I $\begin{cases} R_{in} = 0 \\ R_{out} = \infty \end{cases}$ **C**

③ Opamp está en realimentación negativa
$\Rightarrow V_+ = V_- = V_x$

↳ $EQ_1 \Rightarrow \dfrac{V_1 - V_x}{R} = \dfrac{V_x - V_0}{20R}$

$EQ_2 \Rightarrow \dfrac{V_2 - V_x}{R} = \dfrac{V_x}{20R}$

De ②, $\boxed{V_x = \dfrac{20}{21} V_2}$

En ① $\Rightarrow V_0 = 20(V_2 - V_1)$ **B**

* También sale por superposición.

④ La curva se ve lineal, pero su eje de corriente está en escala logaritmica Por lo que nos conviene calcular la resistencia incremental usando un par de puntos cercanos:

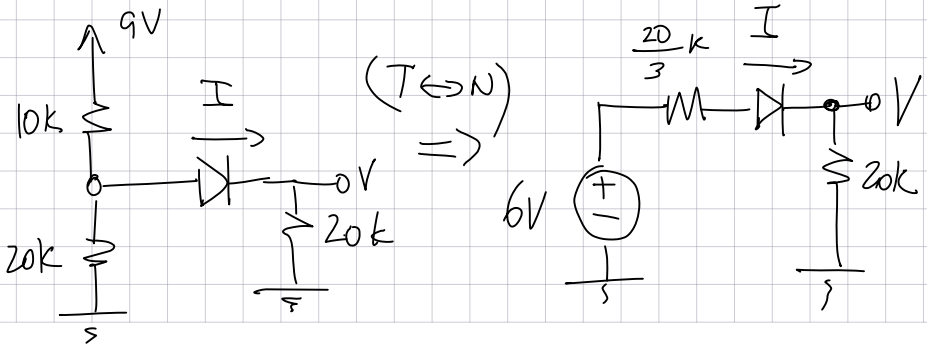
① $V_D = 0,6 \longrightarrow I_D = 0,4\ mA$

② $V_D = 0,8 \longrightarrow I_D = 20\ mA$

$$R = \frac{\Delta V}{\Delta I} = \frac{0,8-0,6\ [V]}{20-0,4\ [mA]} = 0,010\ [k\Omega]$$

D

⑤ Solucionamos por sistema de ecuaciones o Transformacion Thevenin ⇔ Norton



La ecuacion del circuito es:

$$6 - \frac{20}{3}k \cdot I - 0,7 - 20k \cdot I = 0$$

* I en mA.

$$I = 198,75\ mA \Rightarrow I = 0,198\ [A]$$

$$V = 20k \cdot 0,198\ A = 3,96\ [V].$$

↳ (D) (pero había un error en las unidades de corriente)

(6) Se verifica que haya canal de conducción

$$\underbrace{|V_{GS}| - |V_T| \geq 0}_{\text{Condicion PMOS}} \Rightarrow |4-2| - 2,1 = -0,1$$

↳ Modo corte

(A)

(7) Falla crítica: C_1 (c)

↳ Al analizar la polarización, C_1 desconecta la fuente de corriente I_S impidiendo el flujo de corriente de polarización

(8) Se puede ver por reflexión:

↳ R se refleja a la Base de Q_2 como

$$(\beta_2 + 1) R$$

↳ La resistencia en el emisor de Q_1 es:

$$R_{E_1} = r_{\pi_2} + (\beta_2 + 1) R$$

↳ Se refleja R_{E1} a la base de Q_1 como:

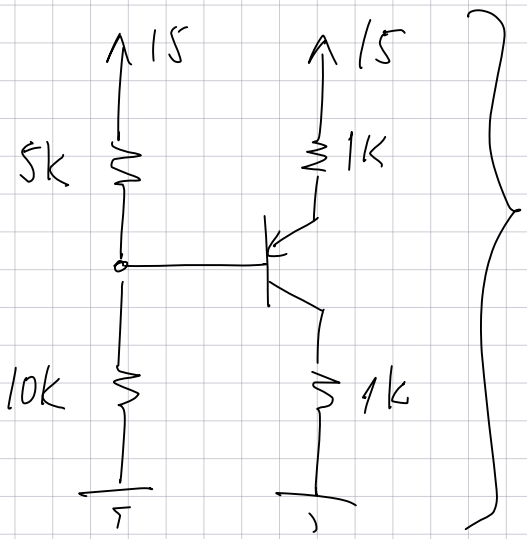
$$(\beta_1 + 1)\left(r_{\pi_2} + (\beta_2 + 1) R\right)$$

Y así R_{in} visto desde la base de Q_1

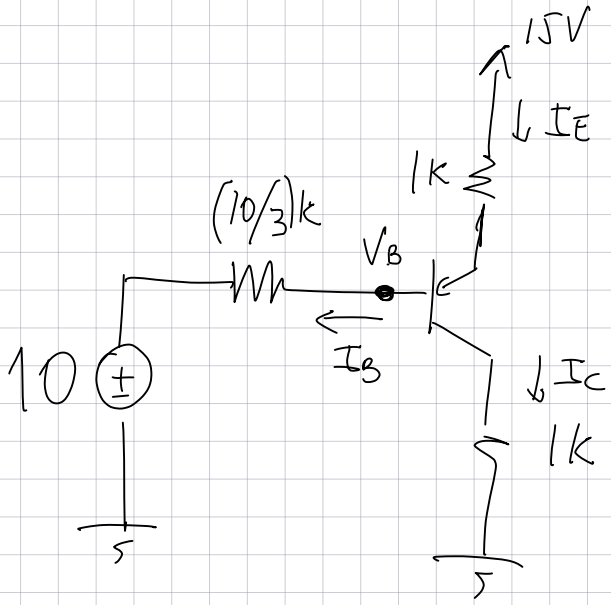
↳ $R_{in} = r_{\pi_1} + (\beta_1 + 1)\left(r_{\pi_2} + (\beta_2 + 1)R\right)$

(D)

(9) El circuito en polarización es:



Podemos hacer $T \leftrightarrow N$ nuevamente para simplificar el circuito



$$\Rightarrow \frac{\left(\frac{15 - V_E}{1k}\right)}{\beta + 1} = \frac{V_B - 10}{10/3\ k}$$

Con $\boxed{V_E = V_B + 0{,}7}$

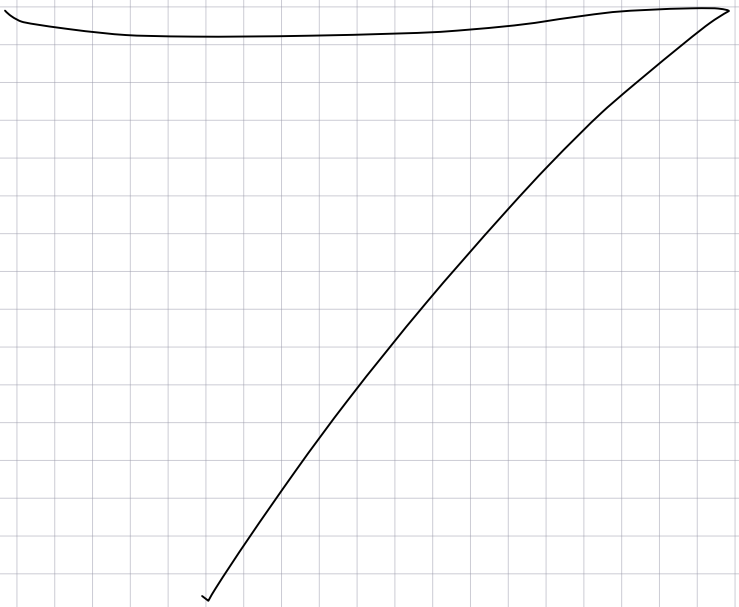
$$\Rightarrow V_B = 10{,}1378\ [V]$$

(A)

(10) $\frac{V_B - 10}{10/3\,k} = I_B = 0,0412\,mA$

$\Rightarrow I_C = \beta \cdot I_B = 4,12\,mA$

(C)



(11) Se define $K = \mu C_{ox} \frac{W}{L}$

Asumiendo Saturación para que el amplificador funcione:

$$I_D = \frac{1}{2} K \cdot (V_{OV})^2$$

Y recordando que:

$$g_m = \frac{2 I_D}{V_{OV}} \Rightarrow V_{OV} = \frac{2 \cdot 0{,}1\ mA}{1\ mA/V}$$

$$\Rightarrow \boxed{V_{OV} = 0{,}2\ V}$$

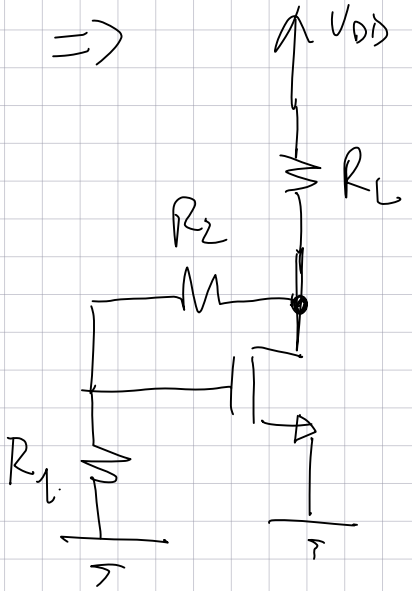
$$\Rightarrow K = \frac{2 I_D}{(V_{OV})^2} = \frac{2 \cdot 0{,}1\ mA}{(0{,}2)^2\ V^2}$$

$$\Rightarrow \boxed{K = 5\ mA/V^2}$$

C

(12) Analizamos polarización:

$V_{GS} = 0$



$$V_{OV} = V_{GS} - V_t$$

$$V_{OV} = V_G - V_t$$

$$\Rightarrow V_G = V_{OV} + V_t$$

$$\boxed{V_G = 0,8\,[V]}$$

$\Rightarrow$ Como $I_G = 0$, la corriente que pasa por R_1 y R_2 es la misma y permitiendo el cálculo de V_D

$$\Rightarrow \frac{V_D - V_G}{R_2} = \frac{V_G}{R_1} \Rightarrow V_D = 2,4\,[V]$$

Notemos que

$$V_{DS} = V_D - V_S = V_D$$

Luego:

$$\frac{V_{DD} - V_D}{10k} = I_D + \frac{V_D}{R_1 + R_2}$$

$$\Rightarrow V_{DD} = 3,416\ [V] \quad //$$ (B)

(13) Recordando que

$$r_o = \frac{V_A}{I_D} \Rightarrow V_A = r_o \cdot I_D$$

$$V_A = 100k \cdot 0,1\ mA$$

$$V_A = 10[V]$$ (A)

(14) Vemos que la señal de entrada está en S, y la salida en D.
Mientras que el voltaje DC de polarización se fija en G usando una división resistiva entre R_1 y R_2

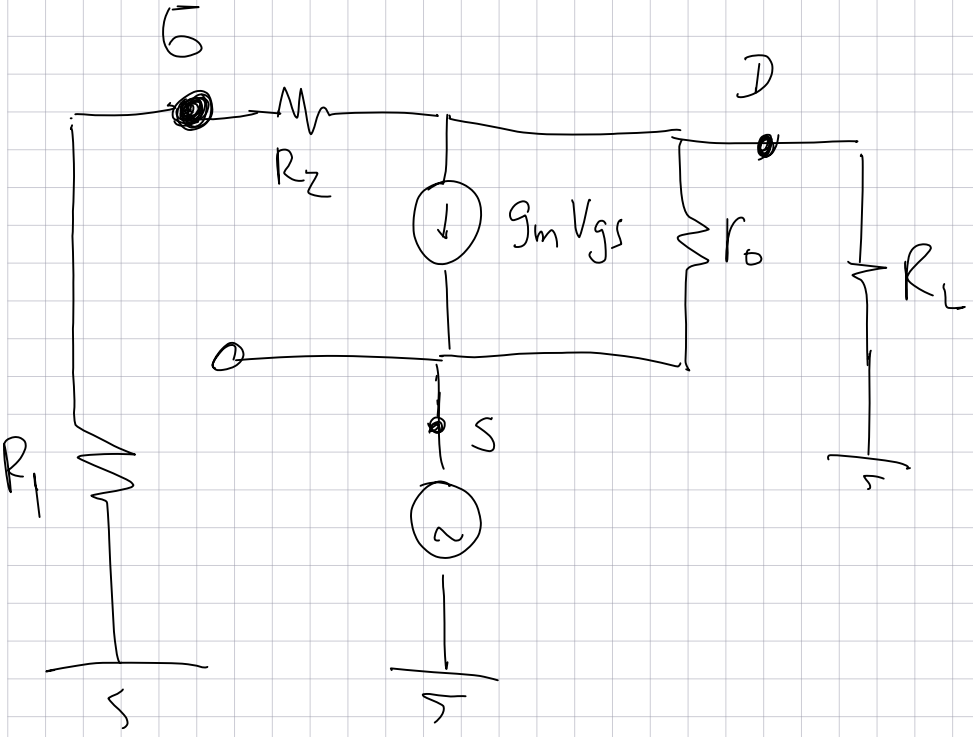
$\Rightarrow$ CG // (B)

(15) Según clases CG es bueno para Buffer de Corriente. (A)

(16) Se pide calcular la ganancia $\frac{V_o}{V_{sig}}$

Armamos el circuito en pequeña señal:

Usamos circuito T



$\Rightarrow$ Del esquemático es final vemos que

$$\boxed{V_g = \frac{V_d}{R_1 + R_2} \cdot R_1}$$

Así: がんばれ!!

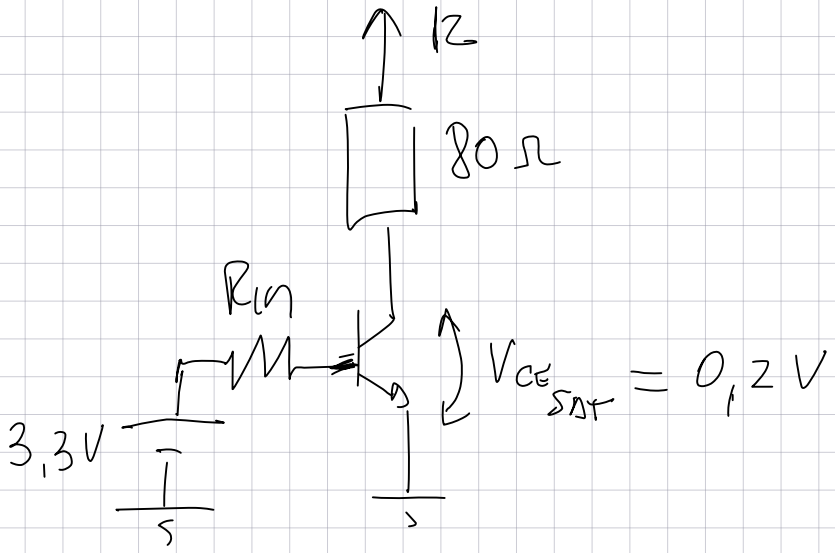
$$\frac{0-V_0}{R_L} = \frac{V_0-V_s}{r_0} + g_m(V_g-V_s) + \frac{V_0}{R_1+R_2}$$

$$\Rightarrow \boxed{V_g = \frac{V_0}{R_1+R_2}\cdot R_1} \quad ; \quad V_s = V_{sg}$$

$$\Rightarrow \frac{V_0}{V_{sg}} = \frac{g_m r_0 + 1}{1 + \frac{g_m r_0 R_1}{R_1+R_2} + \frac{r_0}{R_1+R_2}} = 2{,}93\,V/V \approx 3\,V/V$$

(c)

(17) El circuito durante el encendido



$$\hookrightarrow I_{C_{SAT}} = \frac{12 - 0,2}{80} = 0,147\,[A]$$

En EOS, β en nominal

$$\Rightarrow I_{B_{EOS}} = \frac{I_{C_{EOS}}}{\beta}$$

$$\Rightarrow \boxed{3,3 - R_{in} I_{B_{EOS}} - 0,7 = 0}$$

$$3,3 - R_{in} \cdot \frac{I_{CEOS}}{\beta} - 0,7 = 0$$

$$\Rightarrow R_{in} = 2,653\ k\Omega \approx 2,6[k\Omega]$$ (A)

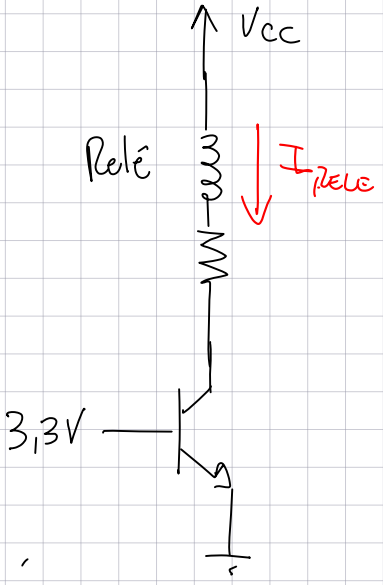
(18) Para lograr un factor overdrive de 5 solo necesitamos inyectar 5 veces mas corriente de Base.

$$\Rightarrow R_{in}^{ODFS} = \frac{R_{in}^{EOS}}{5} = 530\Omega \approx 0,52k$$

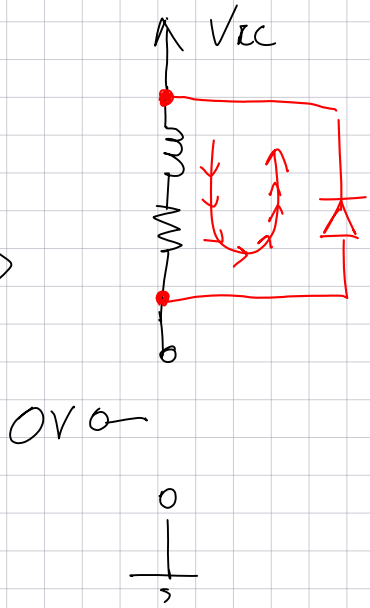
(C)

(19) Para evitar problemas por carga inductiva debemos dar un camino a la corriente del relé que impida al inductor subir su tensión y mantenga el sentido del flujo sin pasar por el transistor.

Encendido

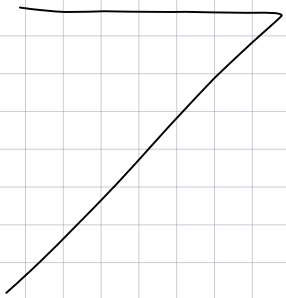


Apagado

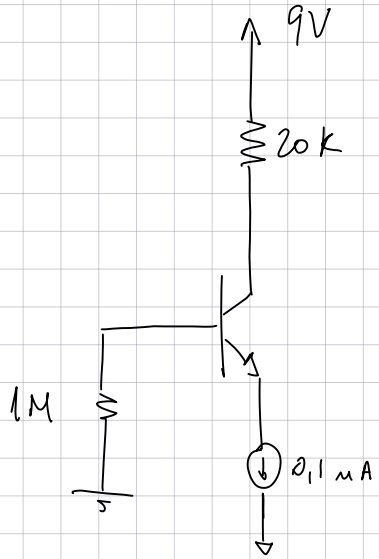


Agregam un diodo en paralelo al relé apuntando a Vcc para que la corriente circule entre Relé y diodo.

A



(20) El circuito en polarización es:



$$\Rightarrow I_B = \frac{I_E}{\beta+1} = \frac{0,1\,mA}{101} \approx 1\,\mu A$$

(B)

(21) Del mismo circuito sabemos que

$$I_C = \alpha \cdot I_E = \frac{\beta}{\beta+1} I_E \approx 99\,\mu A$$

$$\Rightarrow V_C = 9 - 20k \cdot 99\,\mu A \approx 7\,V$$

$$\Rightarrow V_E = \underbrace{V_B}_{\frac{0-V_B}{1M} \approx 1\,\mu A} - 0,7 \approx -1V - 0,7V$$

$$\approx -1,7\,V$$

(C)

(22) Señal de entrada en la Base
Señal de salida en colector
Referencia Emisor con transistor (pequeña señal)
↳ CE con degeneración

D

(23) Según clase en CE
siempre es un buen transconductor !

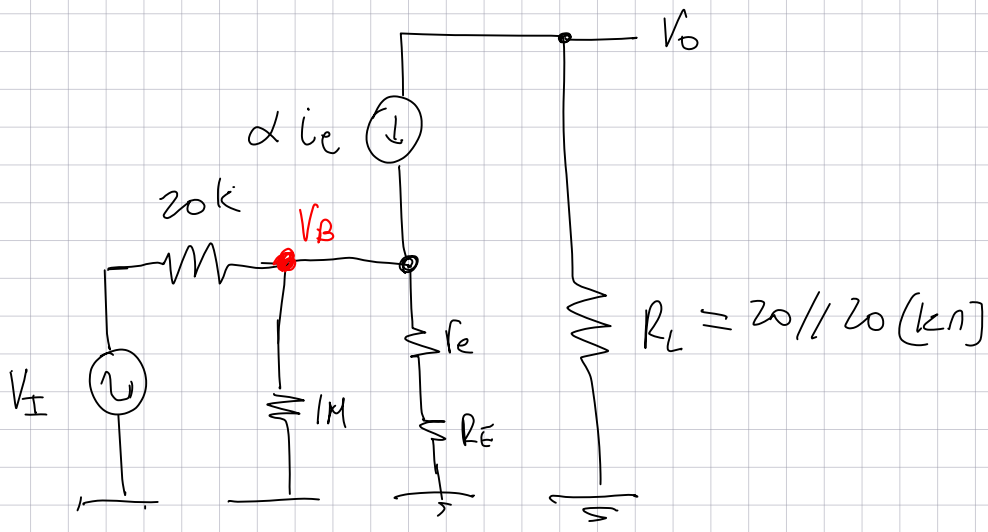
C

(24) $r_e = \frac{V_T}{I_E} = \frac{25\,mV}{0,1\,mA} = 250\,[\Omega]$

A

(25) Análisis de pequeña señal en la siguiente página:

Usamos modelo T



$$\Rightarrow \frac{0 - V_o}{R_L} = \alpha i_e = \alpha \frac{V_B}{r_e + R_E}$$

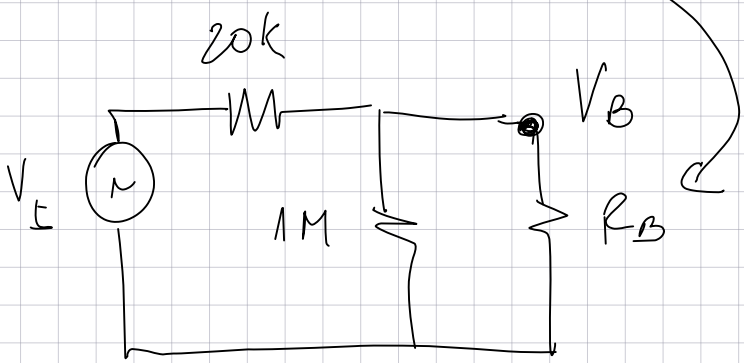
$$\Rightarrow -\frac{V_o}{R_L} = \frac{\alpha}{r_e + R_E} \cdot V_B \Rightarrow \frac{V_o}{V_B} = -\frac{\alpha R_L}{r_e + R_E}$$

Y como se relacionan V_B con V_I ?

Necesitamos la resistencia que ve el nodo V_B a la base del amplificador

↳ $R_B = (\beta+1)(r_e + R_E)$

Así:



$$\Rightarrow V_B = \frac{1M // R_B}{20k + 1M // R_B} V_I$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{V_B}{V_I} = \frac{1M // R_B}{20k + 1M // R_B}}$$

y así:

$$\frac{V_o}{V_I} = \frac{V_o}{V_B} \cdot \frac{V_B}{V_I} = -\frac{\alpha R_L}{R_E + r_e} \cdot \frac{1M // R_B}{20k + 1M // R_B}$$

$$\frac{V_o}{V_I} = -19{,}8 \cdot \left(\frac{48{,}07\,k}{20k + 48{,}07k} \right)$$

$$\frac{V_o}{V_I} = -19{,}8 \cdot 0{,}70 \approx -14\ V/V$$

(1)