

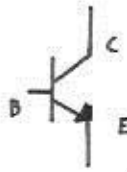
BJT →

caso interesante (siguiente MOSFET) es la que tiene los circuitos al lado

CONCEPTOS BÁSICOS

- B ↔ base ↔ el terminal diferenciado
- E ↔ emisor ↔ el terminal con flecha
- C ↔ colector
- I_B e I_C entra por B y C ^{al transistor}

• Criterio según de la base:



NPN

Endo la flecha ⇒ Negativo

Signos positivos



PNP

Como la flecha ⇒ Positivo

Signos negativos ⇒ lógica nivel electrónico

↳ Intencional, I_{CEO} y V_o

REGIONES (entre B y E hay un diodo)

CORTE: • V_{BE} va contra la flecha

• V_{BC} va como en activo, contra la flecha → si por como también los circuitos al lado y otros en la siguiente página!!

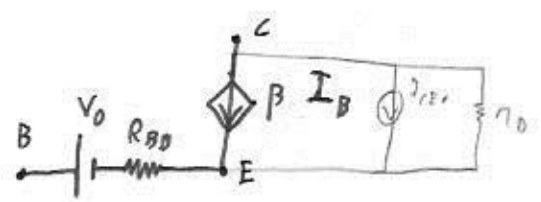
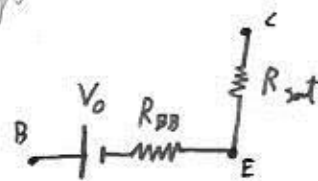
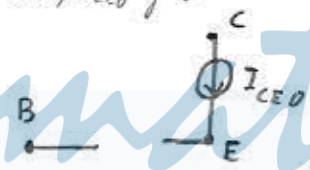
SATURACIÓN: • V_{BE} va como la flecha

• V_{BC} va como la flecha

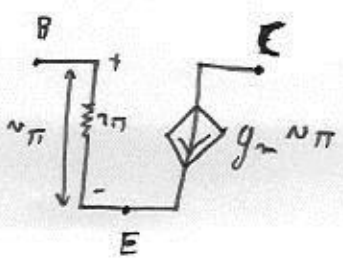
INTERESANTE

ACTIVA: • V_{BE} va como la flecha

• V_{BC} va contra la flecha



P. SEÑAL



$$g_m = \frac{q}{nKT} |I_C|$$

$$r_{\pi} = \frac{\beta_0}{g_m}$$

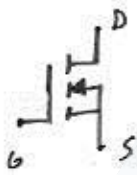
MOSFET

CONCEPTOS BÁSICOS

- G \leftrightarrow puerta (gate) \leftrightarrow el terminal diferenciado
- S \leftrightarrow fuente (source) \leftrightarrow el terminal con flecha (importante: de la fuente a la / sobre el eje, que a lo que indica la flecha)
- D \leftrightarrow drenador

• I_D entra al transistor por D

• Criterio grueso de la base: (hoy en día se usan MOSFET: los BJT son más raras ahora, pero los MOSFET son más y gruesos)



Canal n
Con la flecha \rightarrow Negativa

Signos positivos

REGIONES: Se comparan $\left\{ \begin{array}{l} V_{GS} \text{ con } V_T \\ V_{DS} \text{ con } V_{GS} - V_T \end{array} \right.$

CORTE: V_{GS} va como la flecha

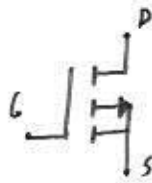
OHMICA: V_{GS} va contra la flecha

V_{DS} va contra los signos del transistor

Es una región que no se usa

SATURACIÓN: V_{GS} va contra la flecha

V_{DS} va como los signos del transistor
Es la región interesante



Canal p
Punto de flecha \rightarrow Positivo

Signos negativos \Rightarrow lógica. Nivel: electrónico

\rightarrow frecuencias (I_D) y todos los datos (K y V_T)

Zimatek

$$I_D = 0$$

$$I_D = K \left[(V_{GS} - V_T) V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right]$$

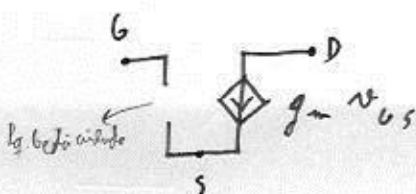
\downarrow
Es. por

Si modo de operación

$$I_D = \frac{K}{2} (V_{GS} - V_T)^2$$

\downarrow
Es. laite

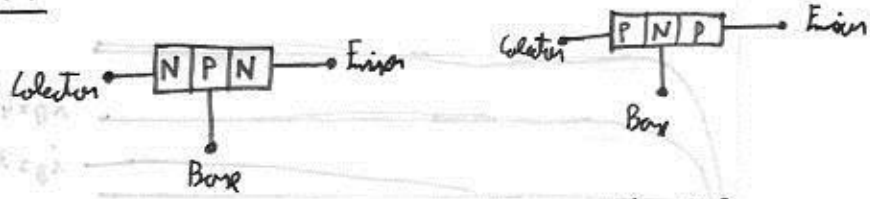
P. SEÑAL



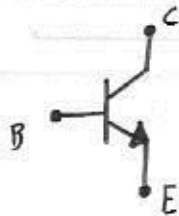
$$g_m = K (V_{GS} - V_T)$$

6-TRANSISTORES

6.1- Transistores BJT → Bipolar Junction Transistor

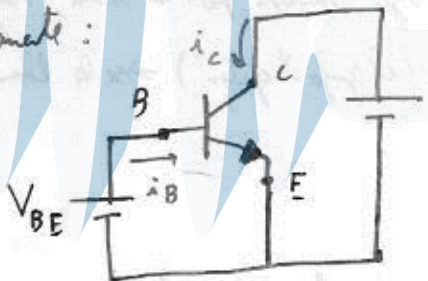


En símbolo:

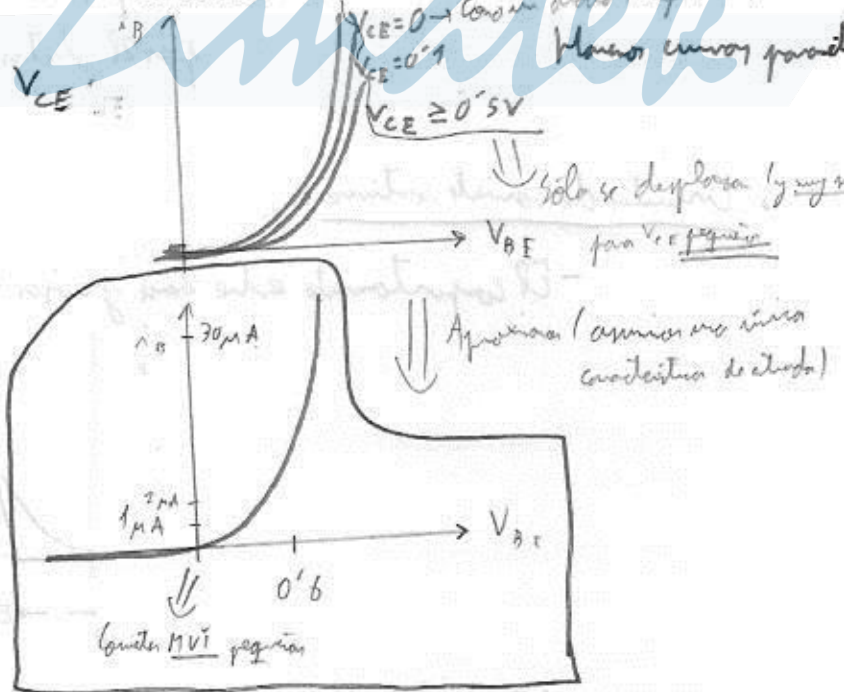


- Es un "grifo" de corriente: si hay corriente a la base, se produce una corriente (mucho mayor) entre colector y emisor; si aumenta la corriente de la base, aumenta entre colector y emisor. Si por la base no pasa corriente, no hay corriente entre colector y emisor.

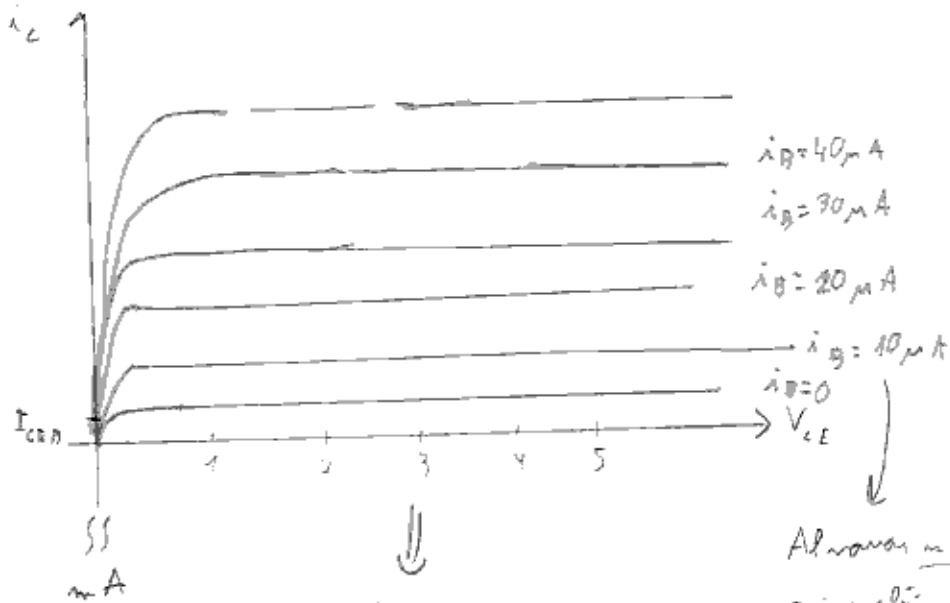
• Características:



(CARACTERÍSTICAS DE ENTRADA)



La salida es más compleja: ^{Curvas} CARACTERÍSTICAS DE SALIDA



- Aquí se ve

el efecto guiso

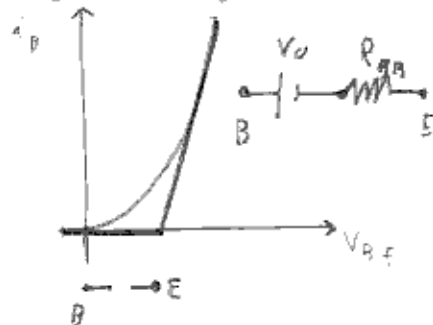
- Además, esto es una fuente de corriente \Rightarrow conigo bien horizontal!

- Aunque no haya corriente por la base, hay algo por el colector (el guiso "gato") \Rightarrow se le llama I_{ces}

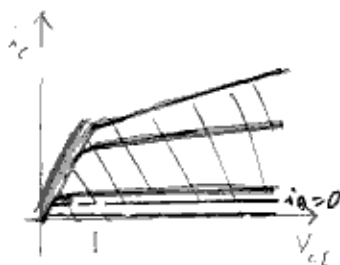
Al variar un poco V_{ce} , esto varía mucho (por eso parámetros en respecto a V_{ce})

Circuitos de corriente continua:

- El comportamiento entre base y emisor es igual que un diodo:

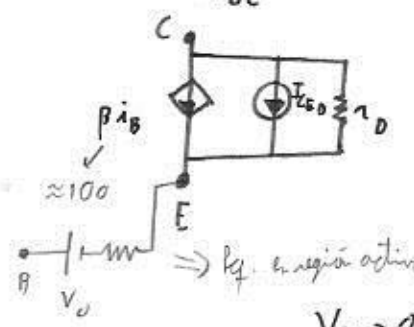


- Entre colector y emisor:



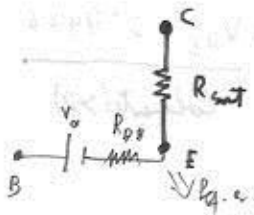
Región activa
Región de saturación
Región de corte

Región activa: $V_{BE} > 0$
 $V_{BC} < 0 \Rightarrow i_C > 0, i_B > 0$



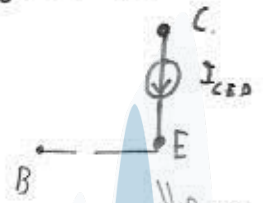
(En general, la fuente independiente y r_0 son tan pequeñas que se omiten)

Región de saturación: $V_{BE} > 0$
 $V_{BC} > 0 \Rightarrow i_C > 0, i_B > 0$



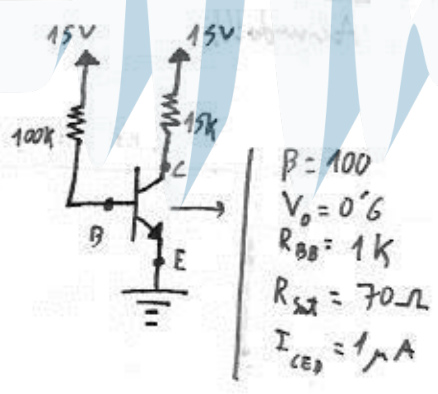
\Rightarrow Pq. e región de saturación, $i_B > 0, V_{BE} > 0$

Región de corte: $V_{BE} \leq 0$
 $i_C = I_{CED}$

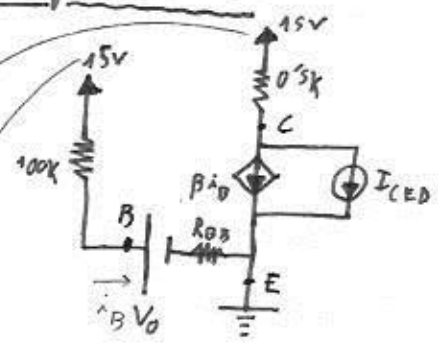


\Rightarrow Pq. aquí $i_B = 0$
 $V_{BE} \leq 0$

Ejemplo:



Suponemos región activa:



$$15 - 0 = 100 i_B + 0.6 + 1 \cdot i_B$$

$$\Downarrow$$

$$i_B = 14.4 / 101 = 142.6 \mu A$$

$$\Downarrow$$

$$\beta i_B = 14.26 mA$$

$$i_C = \beta i_B + I_{CED} = 14.261 mA \approx 14.26 mA$$

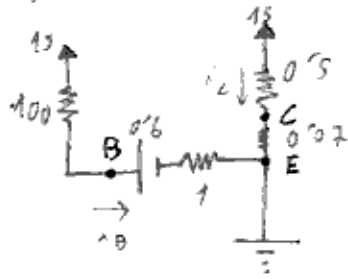
$$V_{BE} = V_0 + i_B R_{BB} = 0.6 + 0.1426 \cdot 1 = 0.7426 V > 0$$

$$V_{CE} = 15 - i_C \cdot 0.5 = 7.87 V$$

$$V_{BC} = V_{BE} - V_{EC} = V_{BE} - V_{CE} = 0.7426 - 7.87 < 0$$

Como está (> 0)
 Hemos elegido bien!!

Si fuéramos supueto región de saturación:



igual que antes: $15-0 = 100 i_b + 0.6 + 1 \cdot i_b$

$$i_b = 142.6 \mu A \Rightarrow V_{BE} = 0.7426$$

Colecta (>0)

Ahora:

$$15-0 = i_c \cdot 0.5 + i_c \cdot 0.07$$

$$i_c = 263 \mu A$$

Colecta (>0)

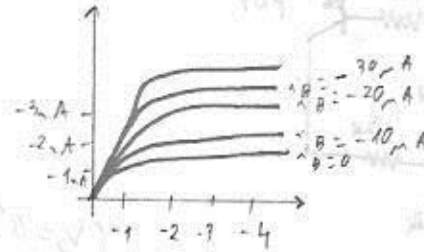
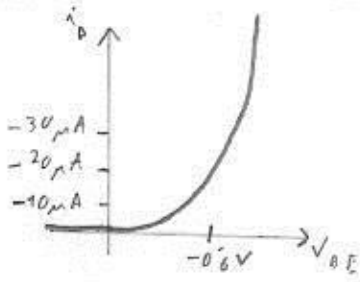
$$V_{CE} = i_c \cdot 0.07 = 18.42 V$$

$$V_{BC} = V_{BE} - V_{CE} = 0.7426 - 18.42 < 0$$

Albando!!!

Zimatek

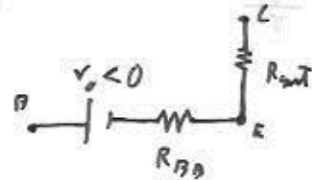
- Ahora, ¿qué ocurre si el transistor es PNP? Se puede ver que los signos que cambian son los signos de las corrientes:



R. saturación

$$V_{BE} < 0 ; i_c < 0$$

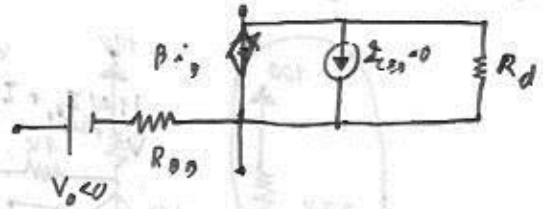
$$V_{BC} < 0 ; i_B < 0$$



R. activo

$$V_{BE} < 0 ; i_c < 0$$

$$V_{BC} > 0 ; i_B < 0$$



R. corte

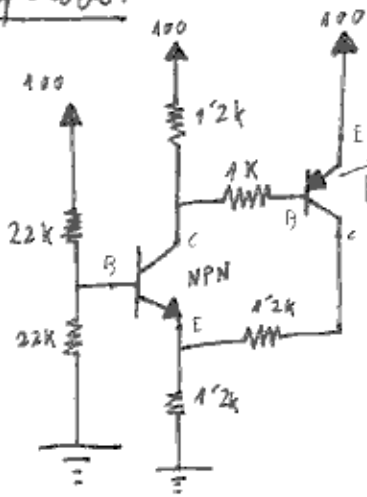
$$V_{BE} \geq 0 ; i_B = 0$$

$$i_c = I_{CE0} < 0$$



Zimatek

Ejemplo complicado:



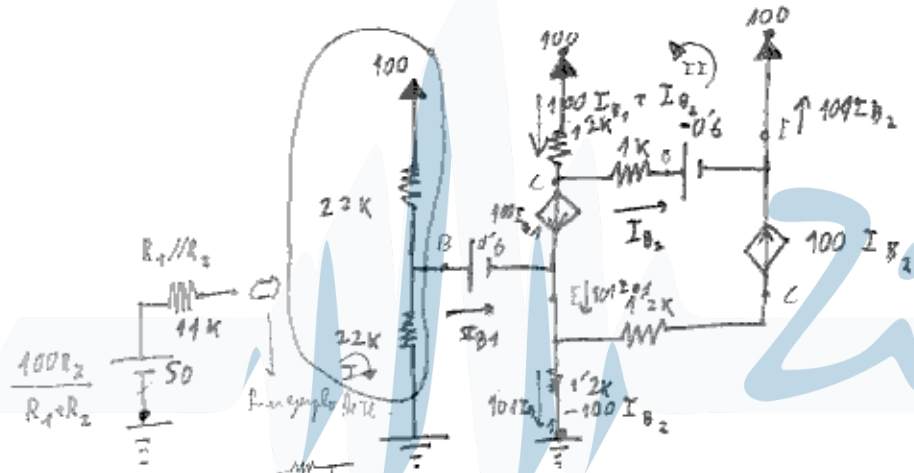
Dibujar los flechas con los + y - e indicar con los canales por donde van los alambres (si es de un lado al otro o si es de un lado al otro)

NPN $\begin{cases} V_0 = 0'6 \\ \beta = 100 \end{cases}$

PNP $\begin{cases} V_0 = -0'6 \\ \beta = 100 \end{cases}$

\Rightarrow Como no se dan I_{CEO} y r_D , no los usamos (son ajuste fino) \rightarrow lo usamos con R_{BB}

Con los datos que se dan, solo puede estar en región activa (en corte/saturación, necesitaríamos R_{int}/I_{CEO})



\Rightarrow Problema 6 del tema 3

Zimatek

Aquí se suele aplicar un truco \Rightarrow sustituir la parte roja por su equivalente Thevenin:

Ver en la tabla por rallas (intentalos que los canales sean los del transistor $\langle \frac{I_{B1}}{I_{B2}} \rangle$). Los dos rallas con dos incógnitas:

I: $0'6 - 50 + 11 I_{B1} + 0'6 + 1'2 (100 I_{B1} - 100 I_{B2})$

II: $100 - 100 = 1'2 (100 I_{B1} + I_{B2}) + I_{B2} - 0'6$

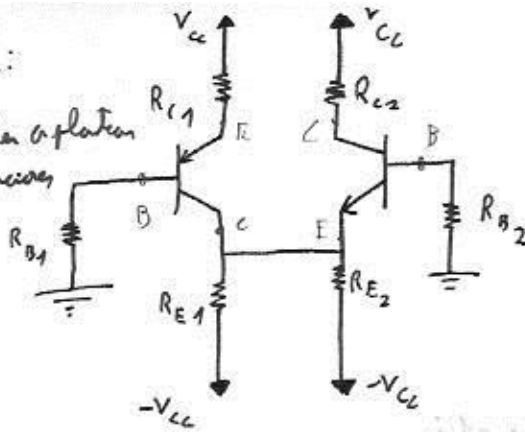
\Downarrow
De aquí salen fácilmente $\begin{cases} I_{B1} \\ I_{B2} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} I_{C1} = 100 I_{B1} \\ I_{C2} = 100 I_{B2} \end{cases}$

Se comprueba: $\begin{cases} I_{C1} > 0 \\ I_{C2} < 0 \end{cases}$; $\begin{cases} V_{BE1} > 0 \\ V_{BC1} < 0 \end{cases}$ NPN ; $\begin{cases} V_{BE2} < 0 \\ V_{BC2} > 0 \end{cases}$ PNP

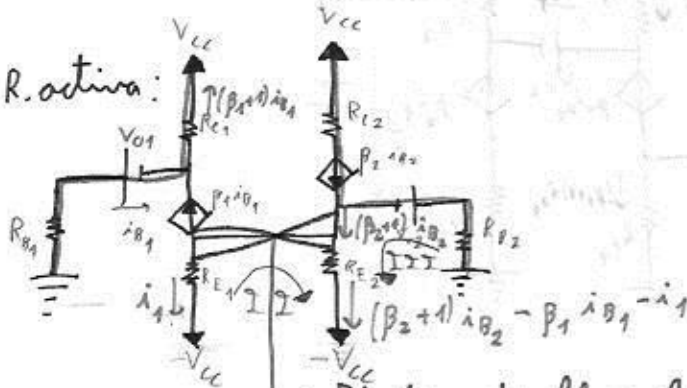
Para comprobar: $\begin{cases} V_{BE1} = 0'6 > 0 \\ V_{BE2} = 0'6 < 0 \\ V_{BC1} = V_{BE1} + V_{CE1} = 0'6 + (-100 + 1'2(100 I_{B1} - 100 I_{B2})) - 100 + 1'2(100 I_{B1} + I_{B2}) \\ V_{BC2} = V_{BE2} + V_{CE2} = 0'6 + (100 - 1'2(100 I_{B1} + I_{B2})) - 100 + 1'2(100 I_{B1} + I_{B2}) \end{cases}$

Otro ejemplo:

Para quedar a platan
por las ecuaciones



Suprimiendo R. activa:



Este tipo de cables se elimina haciendo el graf

Las incógnitas son:

- i_{B1}
- i_{B2}
- i_{A1}
- V_{CE1}
- V_{CE2}

son ftes. de corriente

Ahora, en la malla roja, necesitamos meter una fuente de corriente y sacar i_{B1}

$$V_{CC} - 0 = -(\beta_1 + 1) i_{B1} R_{C1} - V_{01} - i_{B1} R_{B1}$$

Con las mallas II y III, tengo un sistema para i_{B2} y i_{A1} :

$$\text{II: } -V_{CC} - (-V_{CC}) = -i_{A1} R_{E1} + [(\beta_2 + 1) i_{B2} - \beta_1 i_{B1} - i_{A1}] R_{E2}$$

$$\text{III: } 0 - (-V_{CC}) = i_{B2} R_{B2} + V_{02} \quad ||$$

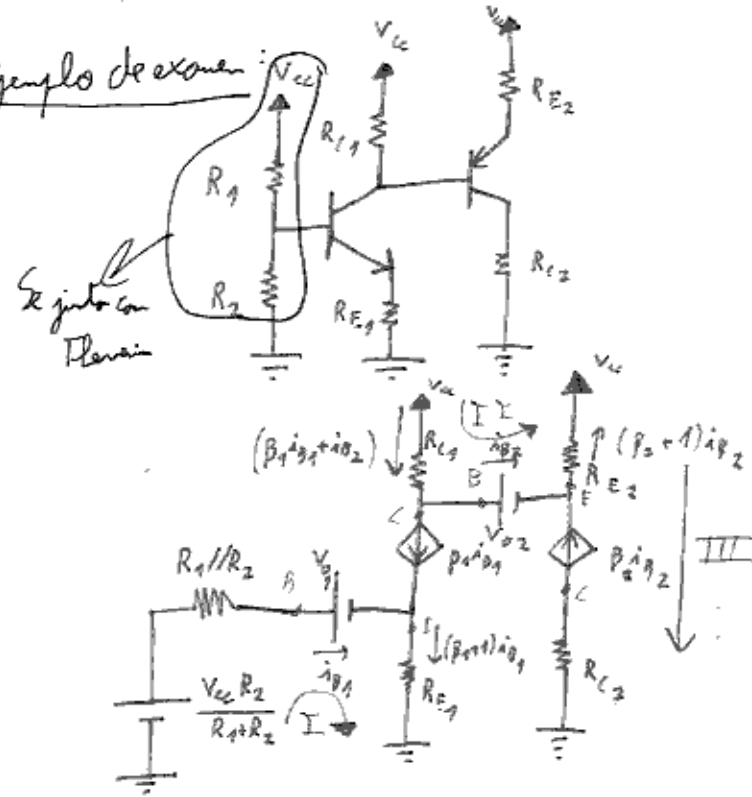
Ahora con la malla verde sacamos V_{CE2} :

$$V_{CC} - 0 = \beta_2 i_{B2} R_{C2} - V_{02} - i_{B2} R_{B2} + V_{CE2}$$

Cualquier otra malla es de V_{CE1} :

$$i_{B1} R_{B1} + V_{01} + V_{CE1} + i_{A1} R_{E1} = 0 - (-V_{CC})$$

Otro ejemplo de examen:



La malla I nos da i_{B1} :

$$0-0 = -\frac{V_{CC} R_2}{R_1+R_2} + i_{B1} R_1 // R_2 + V_{CE1} + R_{E1} (\beta_1 + 1) i_{B1}$$

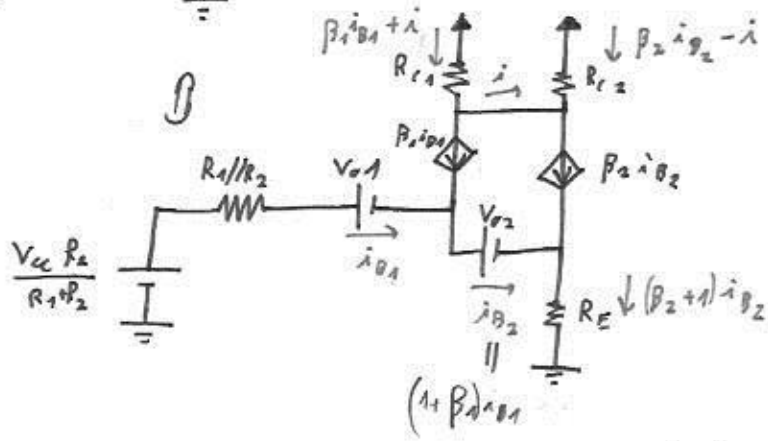
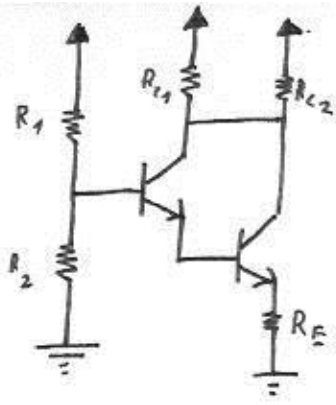
Con la malla II no añados fuentes de corriente y sacamos i_{B2} :

$$V_{CC} - V_{CC} = R_{C1} (\beta_1 i_{B1} + i_{B2}) + V_{CE2} + (\beta_2 + 1) i_{B2} R_{E2}$$

Lo último son las fuentes de corriente:

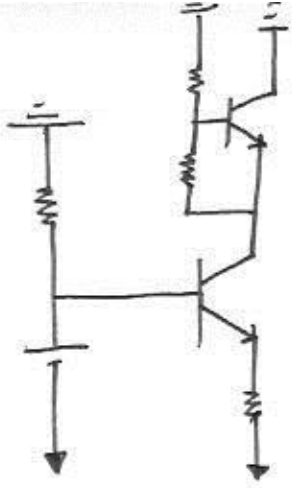
$$\text{III: } V_{CC} - 0 = -(\beta_2 + 1) i_{B2} R_{E2} + V_{CE2} - \beta i_{B2} R_{C2}$$

Ans:

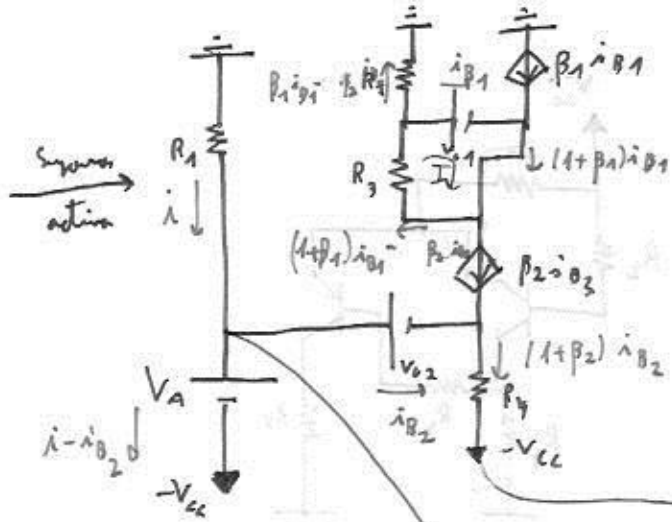


↳ la nalla de abajo te saca i_{B1}

Zimatek



Source
active



Truco: como always hay $-V_{cc}$ hay $-V_{cc} + V_A$, y se puede introducirlo
parámetro i_{B2}

i sale muy fácil:

$$0 - (-V_{cc}) = i R_1 + V_A$$

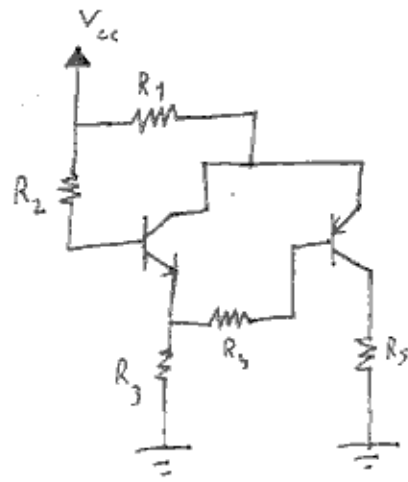
i_{B2} es tl. trivial:

$$\underbrace{-V_{cc} - (-V_{cc})}_0 = -(1 + \beta_2) i_{B2} - V_{02} + V_A$$

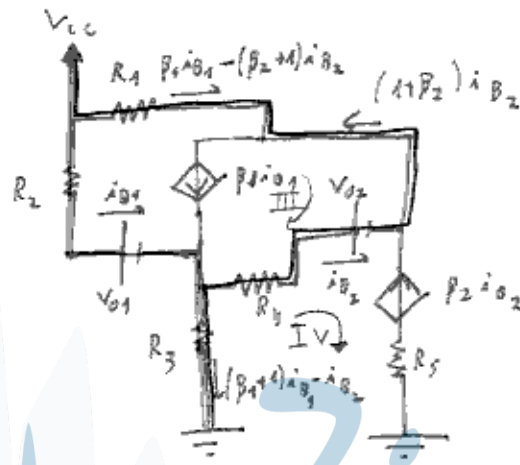
La salida I se dirá i_{B1} :

$$V_{01} + R_3 [(1 + \beta_1) i_{B1} - \beta_2 i_{B2}] = 0$$

zimatek



Amos activa:



Los nodos I y II se dan i_{B1} e i_{B2} :

$$V_{CC} - 0 = R_2 i_{B1} + V_{01} + R_3 [(\beta_1 + 1) i_{B1} - i_{B2}]$$

$$V_{CC} - 0 = R_1 [\beta_1 i_{B1} - (\beta_2 + 1) i_{B2}] - V_{02} - i_{B2} R_4 + R_3 [(\beta_1 + 1) i_{B1} - i_{B2}]$$

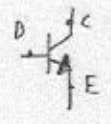
Con la malla III como V_{EC1} :

$$-V_{02} - i_{B2} R_4 + V_{EC1} = 0$$

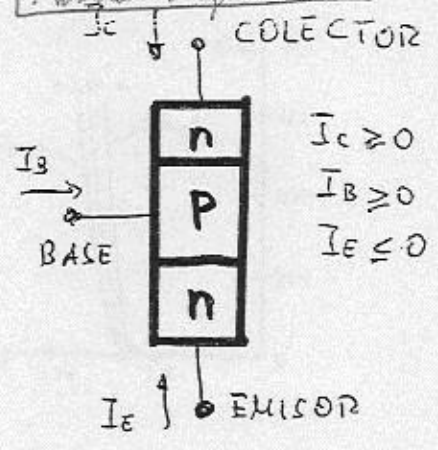
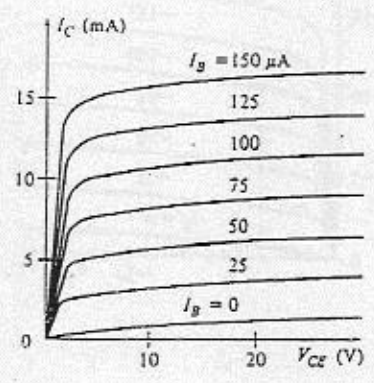
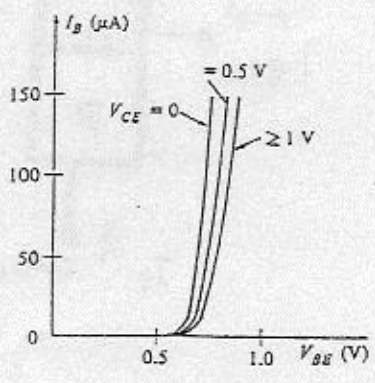
Con la malla IV:

$$- [(\beta_1 + 1) i_{B1} - i_{B2}] R_3 + i_{B2} R_4 + V_{02} + V_{EC2} - \beta_2 i_{B2} R_5$$

TRANSISTOR NPN

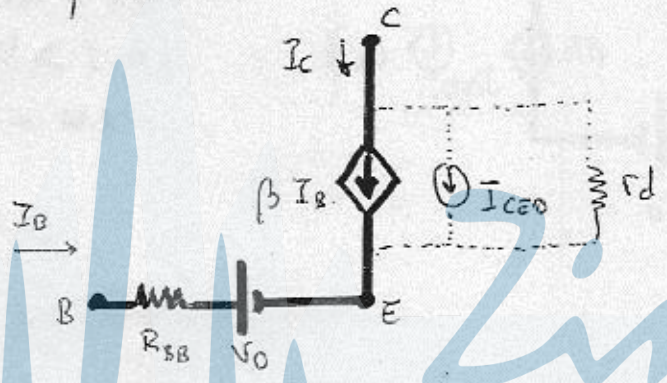


- Señales V_{BE} y V_{BC}
 - Signo positivo \Rightarrow R. activa
 - Mismo signo: - Vacío placa \Rightarrow R. saturación
 - Vacío placa de la placa \Rightarrow R. corte



R. ACTIVA

$$\begin{cases} V_{BE} > 0 \\ V_{BC} < 0 \end{cases}$$



$$50 < \beta < 1000$$

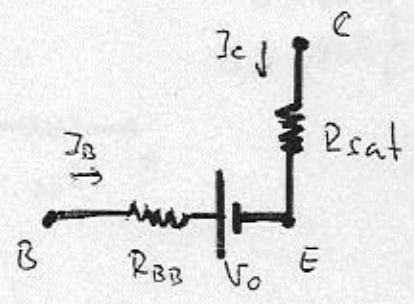
$$1 \text{ nA} < I_{CEO} < 1 \mu\text{A}$$

$$0.5 < V_0 < 0.7$$

$$1 \text{ k} < R_{BB} < 20 \text{ k}$$

SATURACION

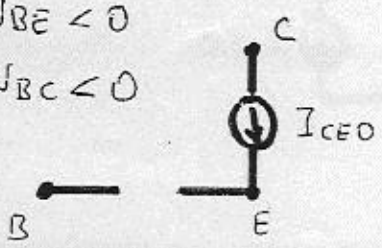
$$\begin{cases} V_{BE} > 0 \\ V_{BC} > 0 \end{cases}$$



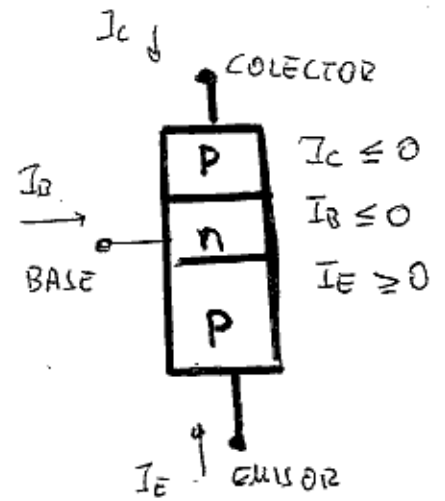
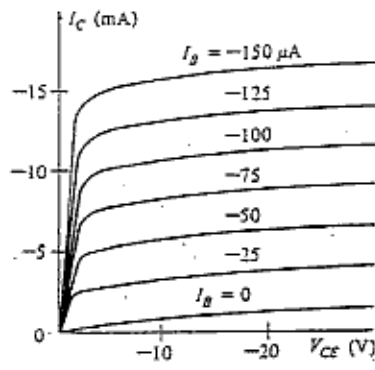
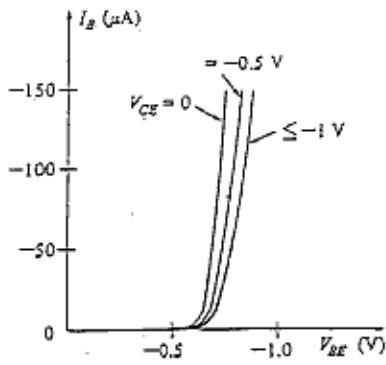
$$1 \Omega < R_{sat} < 200 \Omega$$

R. CORTE

$$\begin{cases} V_{BE} < 0 \\ V_{BC} < 0 \end{cases}$$

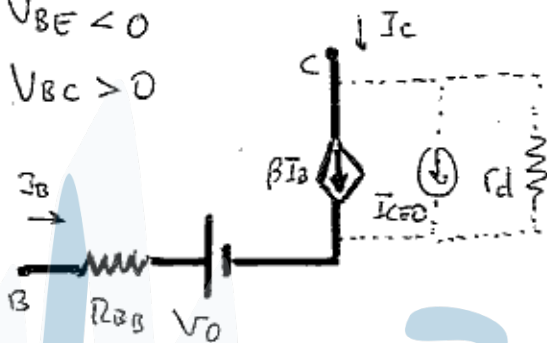


TRANSISTOR PNP



R. ACTIVA

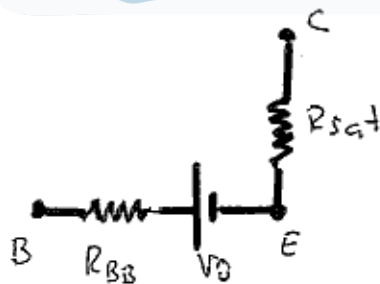
$$\begin{cases} V_{BE} < 0 \\ V_{BC} > 0 \end{cases}$$



$$\begin{aligned} 50 < \beta < 1000 \\ -1 \mu A > I_{CEO} > -1 \mu A \\ -0.5 > V_{CE} > -0.7 \\ 1 k < R_{BB} < 20 k \end{aligned}$$

R. SATURACION

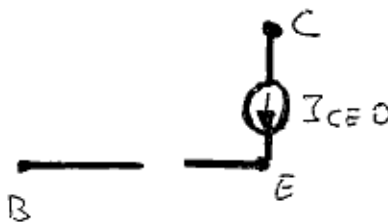
$$\begin{cases} V_{BE} < 0 \\ V_{BC} < 0 \end{cases}$$



$$1 \Omega < R_{sat} < 200 \Omega$$

R. CORTE

$$\begin{cases} V_{BE} > 0 \\ V_{BC} > 0 \end{cases}$$



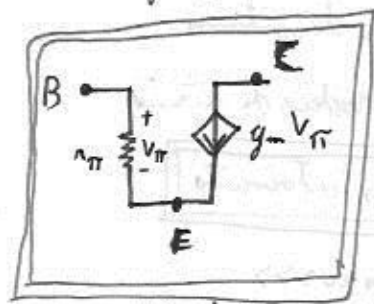
Zimatek

CIRCUITOS DE PEQUEÑA SEÑAL

CON TRANSISTORES BJT

• En diodos, la parte de pequeña señal se sustituye por una resistencia.

• Los transistores se sustituyen por:



Con:

$$g_m = \frac{q}{nKT} |I_C| \quad [g_m] = \frac{1}{\Omega} \cdot \frac{1}{V}$$

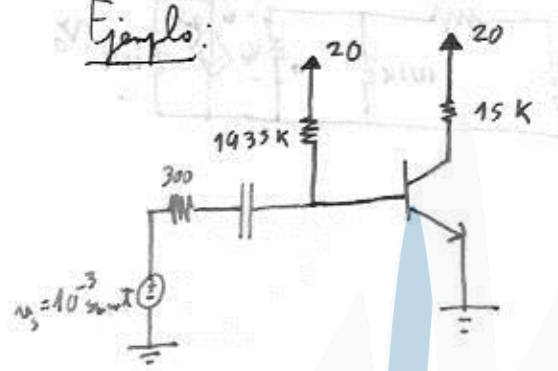
$$r_{\pi} = \frac{\beta_0}{g_m} \rightarrow \text{parámetro del transistor}$$

Modelo híbrido π (Fig. 1.4 para de π)

$$\frac{1}{\Omega} \equiv V \equiv \text{Mho} \equiv \text{Siemens}$$

Conductancia

Ejemplo:



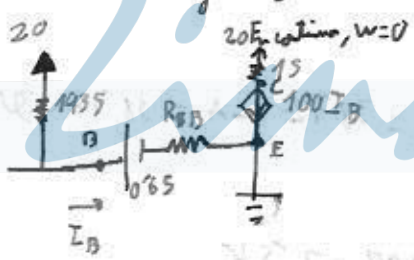
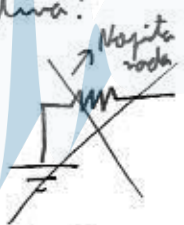
Parte de continua:

- Anular la parte de pequeña señal
- Transistor \rightarrow modelo híbrido de continua

• Condensadores \rightarrow circuitos abiertos

\rightarrow El condensador funciona como si la parte de continua no existiera.

suponemos región activa:



$$\begin{cases} V_{BE} = 0.65 \\ \beta = 100 \\ \beta_0 = 100 \end{cases}$$

Con nombre R_{BB} , la despreciamos

$$20 - 0 = 1935 I_B + 0.65 \Rightarrow I_B = 10 \mu A$$

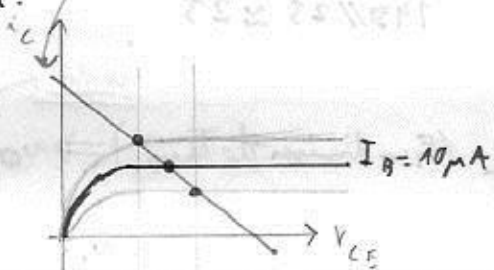
$$\Downarrow$$

$$I_C = 100 I_B = 1 \text{ mA}$$

$$20 - 0 = I_C \cdot 15 + V_{CE} \Rightarrow V_{CE} = 5 \text{ V}$$

Se puede comprobar que la suposición es adecuada

Gráficamente:



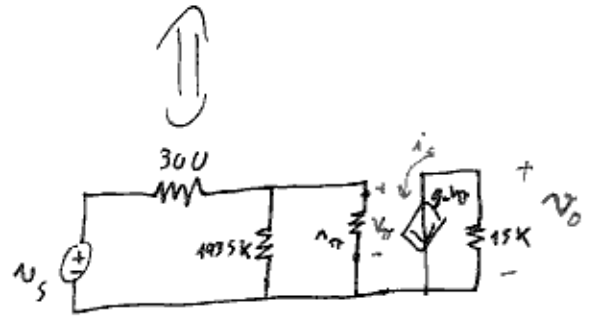
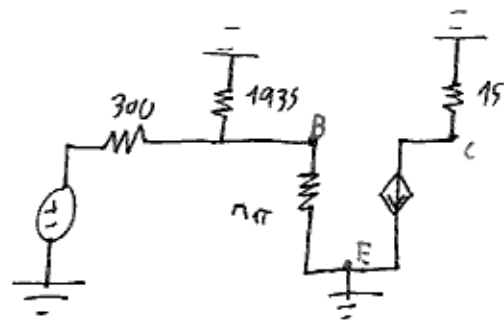
Si la fuente de pequeña señal fuera un micrófono, no va por a otra curva
 Al variar muy poco I_A , la curva sube/baja mucho \Rightarrow Le amplificó la señal!!

Parte de pequeña señal:

- Ambas fuentes de continua
- Transistor \rightarrow Modelo de p.-señal
- Condensador \rightarrow Cortocircuito

\hookrightarrow Suponemos $\omega \gg \gg$
 \Downarrow
 $Z_c = 0$

El condensador separa totalmente la parte de continua de la parte de pequeña señal



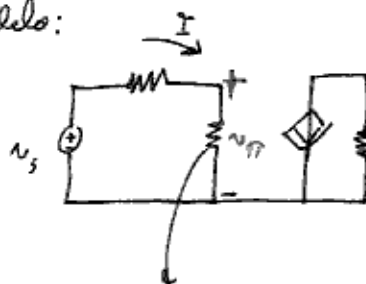
La resistencia es la resistencia de la fuente \Rightarrow con el condensador lo que que el circuito no valga para cualquier resistencia (para la anti)
 \Downarrow
 cualquier micrófono

$$g_m = \frac{q}{kT} I_c = 38'92 \cdot 1 \text{ mA} = 38'92 \text{ mS}$$

$$r_{\pi} = \frac{\beta_0}{g_m} = \frac{100}{38'92} = 2'5 \text{ K}$$

$$v_o = -g_m v_{\pi} \cdot 15 = -38'92 \cdot 15 \cdot v_{\pi}$$

Sustituyendo las resistencias en paralelo:



$$1935 // 2'5 \approx 2'5$$

$$I = \frac{v_s}{2'5 + 300}$$

$$v_{\pi} = 2'5 I = \frac{2'5 v_s}{2'5 + 300}$$

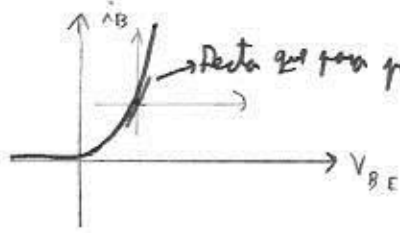
Sumo: $v_o = 5 - 0'54 v_s$

Por lo amplificado v_o !!!
 $L = 540 \mu\text{s}$
 Deflex \Rightarrow
 $\Rightarrow v_o = -0'54 v_s$

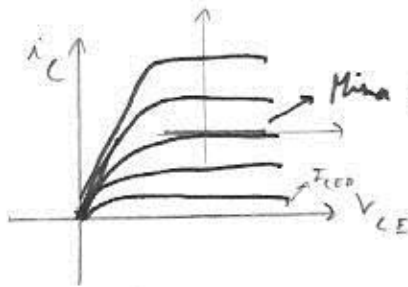
(Es un divisor de tensión) $\Rightarrow v_o = -0'54 v_s$

• ¿Esto, ¿de dónde viene?

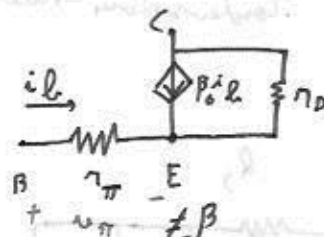
Las curvas de un transistor son:



Esta que pasa por el origen \Rightarrow Resistencia entre base y emisor (recuerda que este base y emisor es como un diodo)



Misma curva que en continua pero con $I_{CE0} = 0$



Como las curvas no son equidistantes, β_0 varía en pequeña señal

$$i_C \approx \beta_0 i_b \text{ (dependiente } \beta_0)$$

$$\text{Ahora, } i_b = \frac{v_{\pi}}{r_{\pi}} \Rightarrow i_C = \beta_0 \frac{v_{\pi}}{r_{\pi}} = \left(\frac{\beta_0}{r_{\pi}} \right) v_{\pi} = g_m v_{\pi}$$

le llamo g_m

Como es la corriente y tensión (con g_m), se le llama modelo híbrido π .

Ahora, g_m es la pendiente de una curva $i_C(V_{BE})$ en el punto de operación

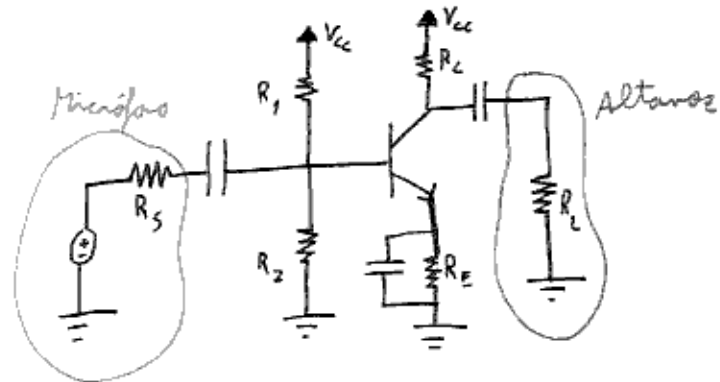
$$\Downarrow$$

Derivo la curva \Rightarrow Obtengo $g_m = \frac{q}{kT} I_C$

¿Qué curva derivó? (Noté que $i_C(V_{BE})$) Como $i_C = \beta_0 i_b = \beta_0 I_0 e^{\frac{q}{kT} V_{BE}}$
 Como diodo

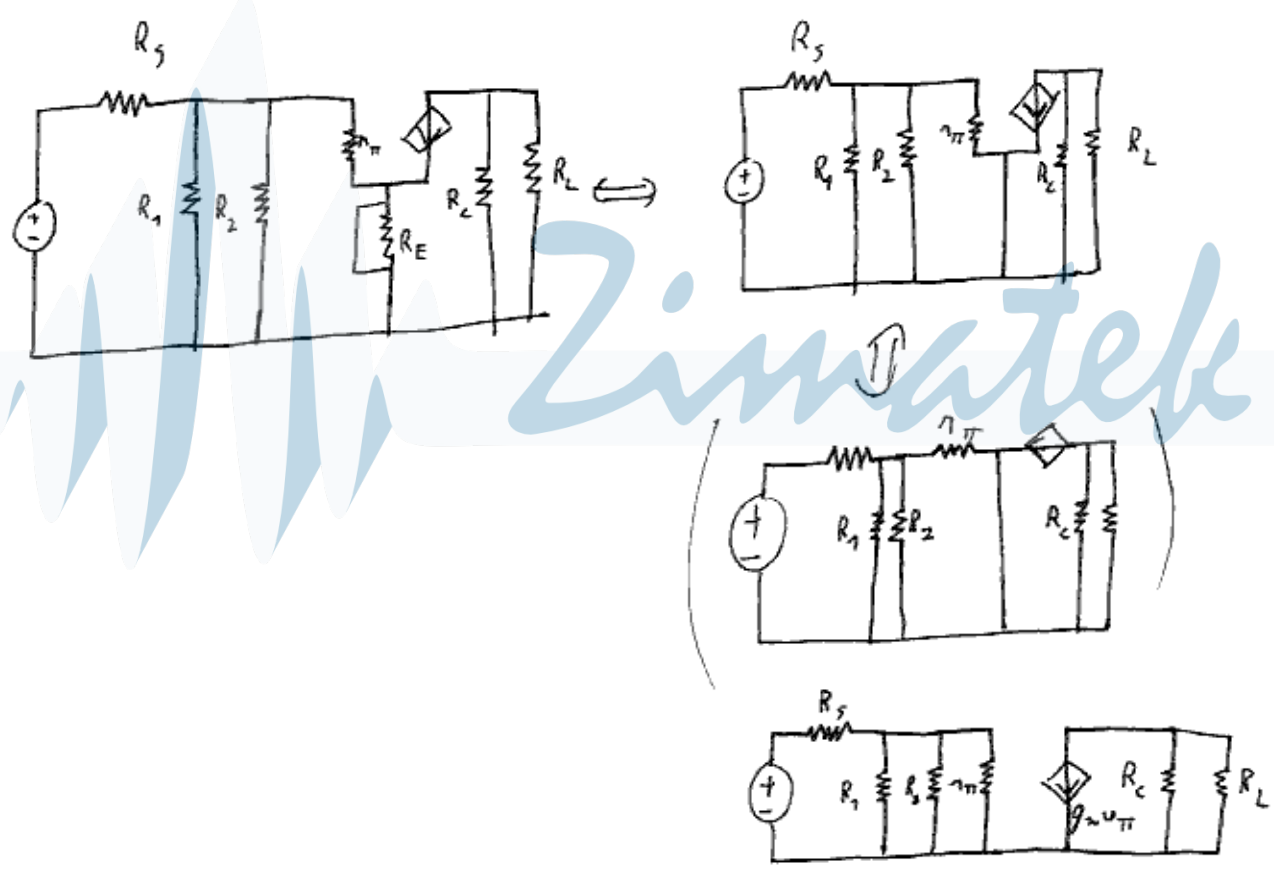
$$\text{Si derivó: } \frac{d i_C}{d V_{BE}} = \frac{q}{kT} \underbrace{\beta_0 I_0}_{I_C} e^{\frac{q}{kT} V_{BE}}$$

Ejemplo:

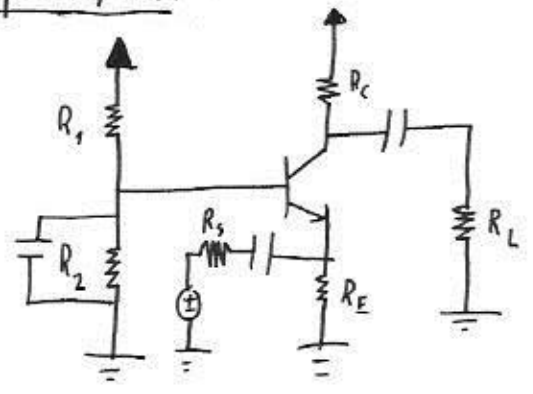


En pequeña señal:

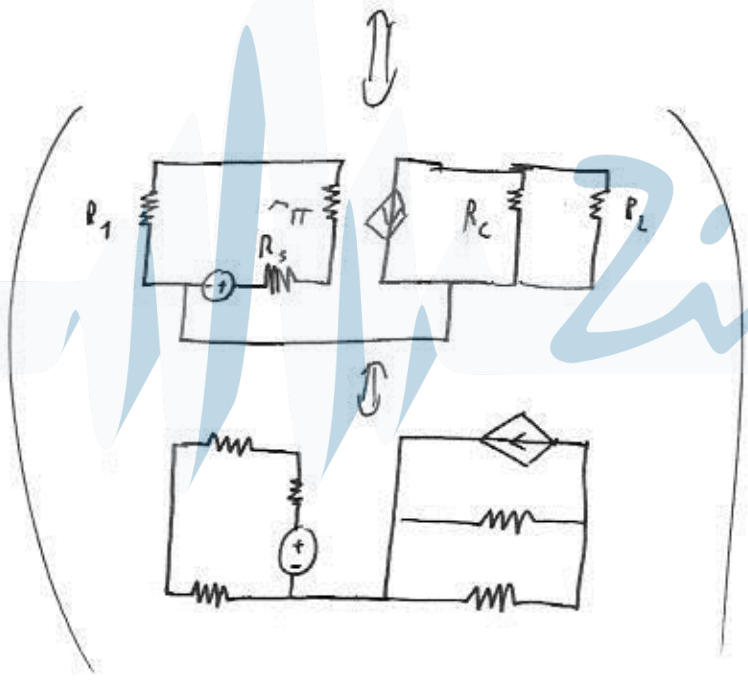
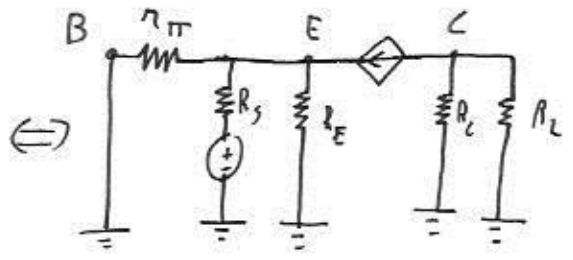
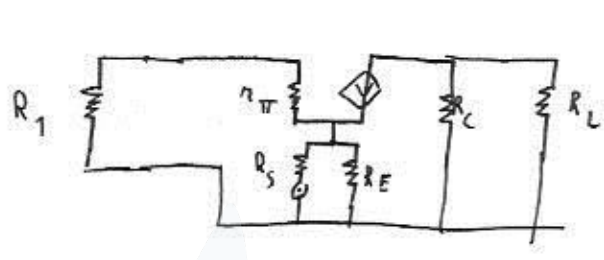
- Analizamos fuentes de corriente
- Transistor \rightarrow modelo p. señal
- Condensadores \rightarrow cables



Ejemplo copiosos:



En pequeño señal:

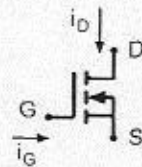
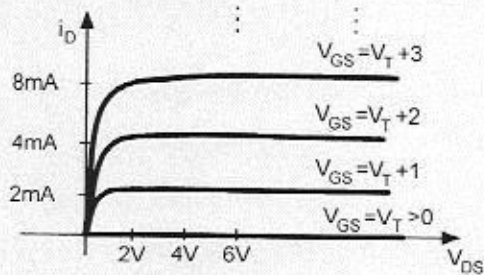


Zimatek

TRANSISTORES MOSFET DE ENRIQUECIMIENTO (RESUMEN)

Mosfet de enriquecimiento canal n.

$$V_T > 0$$



$$i_G = 0 \text{ y } i_D \geq 0.$$

- REGION DE SATURACION

$$V_{GS} \geq V_T \Rightarrow I_D \geq 0$$

$$V_{DS} \geq (V_{GS} - V_T) \rightarrow \text{lineal}$$

$$\text{Ecuación: } I_D = \frac{K}{2}(V_{GS} - V_T)^2 \text{ con } K \geq 0.$$

- REGION OHMICA

$$V_{GS} \geq V_T \Rightarrow I_D \geq 0$$

$$V_{DS} \leq (V_{GS} - V_T)$$

$$\text{Ecuación: } I_D = K((V_{GS} - V_T)V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2}) \text{ con } K \geq 0.$$

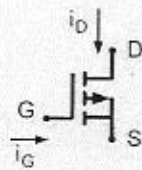
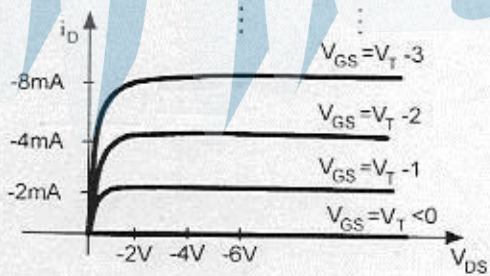
- REGION DE CORTE

$$V_{GS} \leq V_T \Rightarrow I_D = 0$$

$\rightarrow V_{GS}$ menor que V_T

Mosfet de enriquecimiento canal p.

$$V_T < 0$$



$$i_G = 0 \text{ y } i_D \leq 0.$$

- REGION DE SATURACION

$$V_{GS} \leq V_T \Rightarrow I_D \leq 0$$

$$V_{DS} \leq (V_{GS} - V_T) \rightarrow \text{Negativo}$$

$$\text{Ecuación: } I_D = \frac{K}{2}(V_{GS} - V_T)^2 \text{ con } K \leq 0.$$

- REGION OHMICA

$$V_{GS} \leq V_T \Rightarrow I_D \leq 0$$

$$V_{DS} \geq (V_{GS} - V_T)$$

$$\text{Ecuación: } I_D = K((V_{GS} - V_T)V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2}) \text{ con } K \leq 0.$$

- REGION DE CORTE

$$V_{GS} \geq V_T \Rightarrow I_D = 0$$

$\rightarrow V_{GS}$ mayor que V_T

6.2. TRANSISTORES MOSFET

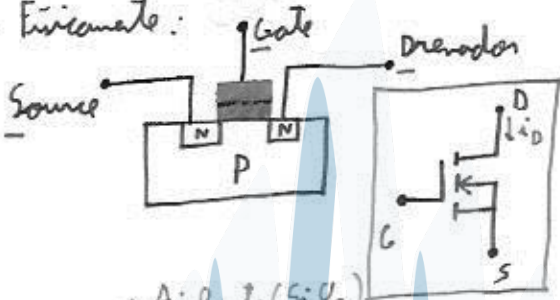
• FUNCIONAMIENTO; CURVAS CARACTERÍSTICAS

• MOSFET significa "Metal-óxido-semiconductor" + "Transistor de efecto de campo"
Transistor de efecto de campo

• La diferencia con los BJT es que lo que controla la corriente principal no es una intensidad, sino un voltaje (= controlado)

• Hoy en día todos los chips se hacen con MOSFET: la principal ventaja es que el óxido es aislante \Rightarrow reduce mucho el consumo

• Estructura:



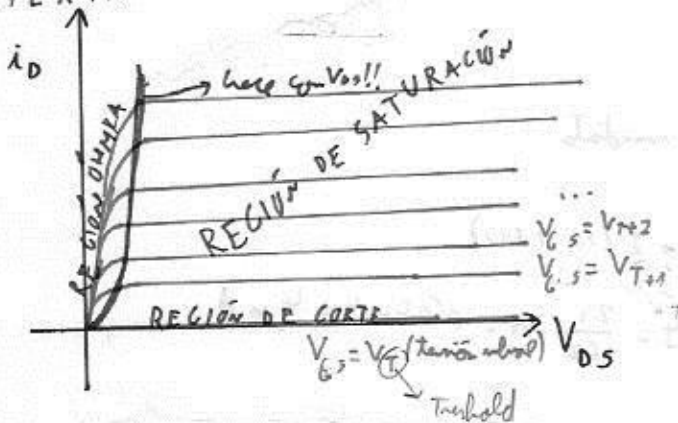
- Aislante (SiO_2)
- Metal

- En principio, no hay corriente entre D y S
- Ahora, si se aplica tensión a la puerta, hay una redistribución de cargas y P se vuelve conductor \Rightarrow circula corriente!
 \rightarrow se usa un canal de electrones
- Por haber un aislante, por G no pasa corriente

• Las curvas características son:

(No hay característica de entrada pq. $I_G = 0$)

CARACTERÍSTICA DE SALIDA:



• CORTE $\Leftrightarrow V_{GS} < V_T$

• SATURACIÓN
 • ÓHMICA $\} \Leftrightarrow V_{GS} > V_T$

- SATURACIÓN $\Rightarrow V_{DS} \geq V_{GS} - V_T$

- ÓHMICA $\Rightarrow V_{DS} < V_{GS} - V_T$

• Las ecuaciones son ahora sencillas (no hay que hacer aproximaciones lineales):

- La parte óhmica es media paralela:

$$i_D = K \left[(V_{GS} - V_T) V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right]$$

Si $V_{DS} \ll V_{GS} - V_T$ (depende V_{DS}^2):

$$i_D = K (V_{GS} - V_T) V_{DS}$$

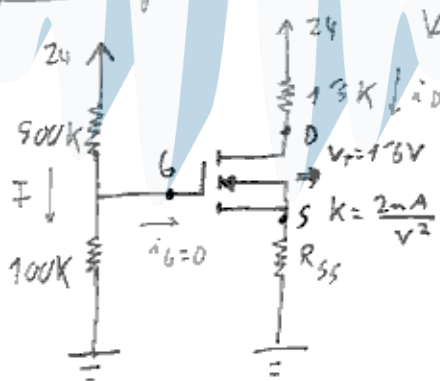
esto \Rightarrow es lineal \Rightarrow De ahí el nombre "Óhmico", como sea el gráfico tal y como se ve (siempre es lineal) y, igual de.

- El límite entre saturación y óhmica es el mismo $\Rightarrow V_{DS} = V_{GS} - V_T$. Así que poniendo a $V_{DS} = V_{GS} - V_T$:

$$i_D = K \left[(V_{GS} - V_T) (V_{GS} - V_T) - \frac{(V_{GS} - V_T)^2}{2} \right]$$

$$i_D = \frac{K}{2} (V_{GS} - V_T)^2$$

Ejemplo y metodología:



Vamos dos casos:

a) $R_{SS} = 0$

b) $R_{SS} = 200 \Omega$

Como $i_G = 0$, la malla de la izquierda es inmediata:

$$24 - 0 = I(900 + 100)$$

$$I = \frac{24}{600} \text{ A} = 0.04 \text{ mA} = 4 \mu\text{A}$$

Suponemos R. saturación:

$$i_D = \frac{K}{2} (V_{GS} - V_T)^2 \Rightarrow \text{Solucion todo en } V_{GS}:$$

$$V_{GS} = 100I - R_{SS} i_D$$

a) $R_{ss} = 0$:

$$V_{GS} = 4V > V_T \Rightarrow \text{Mans elegido line!!}$$

$$i_D = \frac{2}{2} (4 - 1.6)^2 = 5.76 \text{ mA} > 0 \Rightarrow \text{Mans elegido line!!}$$

$$24 = 1.5 i_D + V_{DS} + R_{SS} \cdot i_D$$

$$\Downarrow$$

$$V_{DS} = 6.72$$

$$V_{GS} - V_T = 4 - 1.6 = 2.4 < V_{DS} \Rightarrow \text{Mans elegido line!!}$$

b) $R_{SS} = 200 \Omega \Rightarrow$

$$\begin{cases} V_{GS} = 100i_D - 0.2i_D \\ i_D = \frac{2}{2} (V_{GS} - 1.6)^2 \end{cases}$$

\Downarrow
Tegam sistema!!

Comenciamos que la eq. sea de V_{GS} : de la 1ª, $i_D = \frac{4 - V_{GS}}{0.2}$

\downarrow
hay que elegir la solución
más adecuada

\Downarrow
 $\frac{4 - V_{GS}}{0.2} = (V_{GS} - 1.6)^2$

$$\frac{4 - V_{GS}}{0.2} = V_{GS}^2 - 3.2V_{GS} + 2.56$$

$$4 - V_{GS} = 0.2V_{GS}^2 - 0.64V_{GS} + 0.512$$

$$0.2V_{GS}^2 + 0.36V_{GS} - 3.488 = 0$$

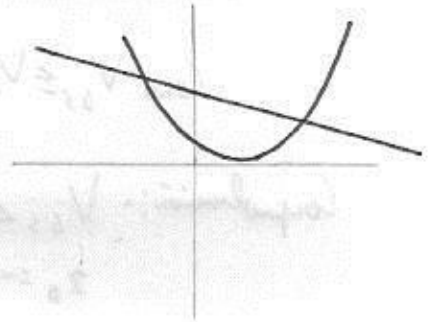
$$V_{GS} = \frac{-0.36 \pm \sqrt{0.1296 + 2.7404}}{0.4}$$

$$\begin{cases} 3.372 \\ -5.472 \end{cases}$$

3.372 es compatible con la suposición. El sistema es:

Siempre asumiremos que hay que elegir el V_{GS} compatible con la suposición

$$i_D = (3.372 - 1.6)^2 = 3.06 \text{ mA} > 0$$



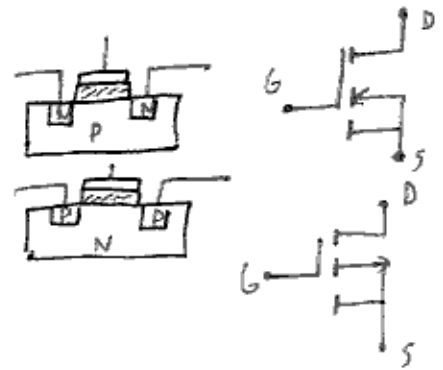
$$24 - 0 = i_D / (15 \cdot 10^{-2}) + V_{GS}$$

$$V_{GS} = 18.8 \geq V_{GS} - V_T$$

• Igual que en el BJT había NPN y PNP, aquí hay:

- Canal-N: el que hace nido \rightarrow signo positivo

- Canal-P \rightarrow signo negativo



Ejemplo y metodología:



$V_T = -2.5V \rightarrow$ Muestra que el polo es S no hay $-2.5V$, no cumple
 $K = -8 \frac{mA}{V^2}$

$$-25 - 0 = I(300 + 200)$$

$$I = -50 \mu A$$

Malla verde: $0 - 0 = -I \cdot 200 + V_{GS} + 0.6 I_D$

Suponemos saturación:
 Pero $I_D = \frac{K}{2} (V_{GS} - V_T)^2$. Así, $I_D = -\frac{8}{2} (V_{GS} - (-2.5))^2$

(...)
 $V_{GS} < -4.07$
 $V_{GS} < -0.59$

Como $V_{GS} \leq V_T \Rightarrow V_{GS} = -4.07$

Comprobación: $V_{GS} < 0 \checkmark$
 $I_D = -9.9 \mu A < 0 \checkmark$

Falta calcular V_{DS} :

$$-2.5 - 0 = 1.6 I_D + V_{DS} + 10.6 I_D$$

$$\Downarrow$$

$$V_{DS} = -3.22$$

$$V_{GS} - V_T = -4.07 - (-2.5) = -1.57$$

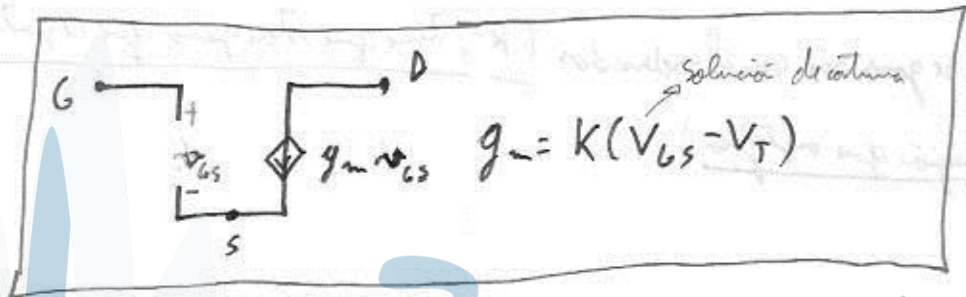
$$V_{DS} \leq V_{GS} - V_T \checkmark$$



Hay elegido bien

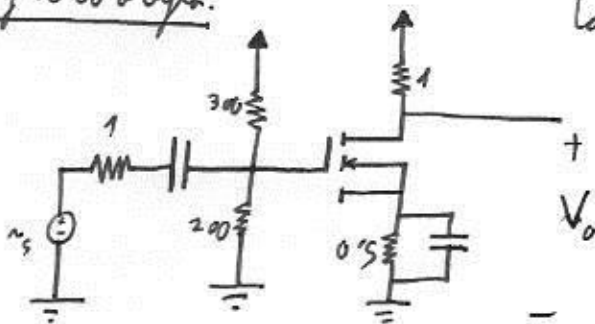
PEQUEÑA SEÑAL

El modelo es como BJT pero con cable cortado a v_{gs} de resistencia:



$$G_m = \frac{d i_D}{d v_{GS}} = \frac{d \left(\frac{k}{2} (V_{GS} - V_T)^2 \right)}{d V_{GS}} = k (V_{GS} - V_T)$$

Ejemplo y metodología:



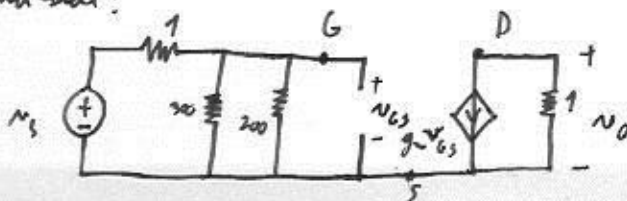
La parte de continua:

$$V_{GS} = 4.2V$$

$$I_D = 11.6 \mu A$$

$$V_{DS} = 7.6V$$

Y la parte de pequeña señal:

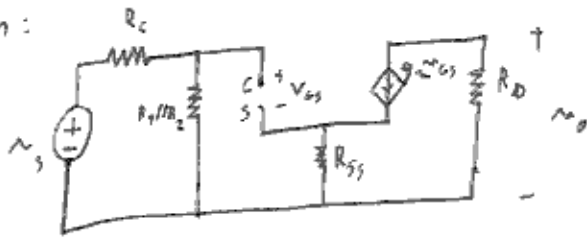


$$g_m = k(V_{GS} - V_T) = 13.6 \mu S$$

$$v_o = -g_m v_{GS} \cdot 1 = -13.6 \mu S \cdot v_{GS}$$

Es un circuito ya resuelto a transistor (con $r_{\pi} = 0$) $\Rightarrow v_{GS} = v_s \cdot \frac{120}{120+1} \approx v_s \Rightarrow v_o = -13.6 \mu S \cdot v_s \Rightarrow \boxed{\frac{v_o}{v_s} = -13.6}$

Si condensador:



Con condensador, $A = \frac{v_o}{v_s} = \frac{-g_m R_D R_1 // R_2}{R_s + R_1 // R_2}$ $\begin{cases} v_o = -g_m v_{gs} R_D \\ v_{gs} = \frac{R_1 // R_2}{R_s + R_1 // R_2} v_s \end{cases}$

Si el: $\begin{cases} v_o = -g_m v_{gs} R_D \\ v_{gs} = I R_1 // R_2 - g_m v_{gs} R_{SS} \\ v_s = I (R_s + R_1 // R_2) \end{cases} \quad A = \frac{v_o}{v_s} = \frac{-g_m R_D R_1 // R_2}{(1 + g_m R_{SS}) (R_{SS} + R_1 // R_2)}$

Es decir, se gana más con el condensador (R_{SS} tiene que estar para que el punto de operación esté en la región que amplifica)

Zimatek

6.3. APLICACIONES DE TRANSISTORES

• Hay infinidad, pero por lo general se basan en dos:

- Amplificación de señales (circuitos de p. señal)

- Comutación, es decir:

- Interruptores
- Puertas lógicas
- Circuitos digitales
- Circuitos lógicos
- Circuitos lineales

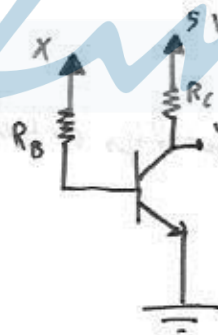
• La comutación se basa en que los transistores tienen dos estados:

"1": transistor a corte, voltaje alto

"0": transistor en conducción, voltaje bajo

• FUNCIÓN NOT:

x	y
0	1
1	0



Identificación:

0 \equiv ~0V

1 \equiv ~5V

• Si en X hay 0 voltios ($0 < X$)

↓

$I_B = 0 \Rightarrow I_C = 0 \Rightarrow$ No hay caída en las resistencias \Rightarrow En Y hay 5V \Rightarrow 1 en Y

• Si en X hay 5 voltios

↓

$I_B > 0 \Rightarrow I_C > 0 \Rightarrow V_{RC} \approx 5V \Rightarrow$ En Y hay $\approx 0V \Rightarrow$ 0 en Y

↓
Para que esto sea así
se elige R_C / R_B apropiada

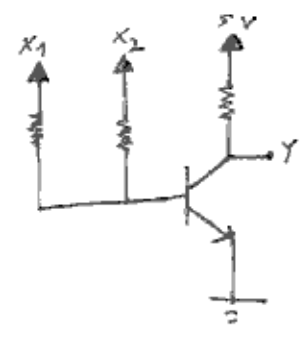
• FUNCION AND : NAND

x_1	x_2	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

• FUNCION OR : NOR

El NOR:

x_1	x_2	Y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0



$x_1 = x_2 = 0 \Rightarrow I_B = 0 \Rightarrow I_C = 0 \Rightarrow Y = 1$
 Si cualquiera de ellos es "1"
 \downarrow
 $I_B \neq 0$
 \downarrow
 $I_C > 0$
 \downarrow
 $Y = 0$

• SUMA +

x_1	x_2	Y	C_Y
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

Zimatek

• Estos circuitos se basan todos los chips de todos los computadores del mundo.