

EL42A - Circuitos Electrónicos

Clase No. 11: Polarización de Transistores

Patricio Parada
pparada@ing.uchile.cl

Departamento de Ingeniería Eléctrica
Universidad de Chile

2 de septiembre de 2008

Resumen: Modos de Operaciones de Transistores

Hasta ahora hemos visto tres modos de operación por transistor:

- Corte
- Trío (MOSFET) y Saturación (BJT)
- Saturación (MOSFET) y Activa (BJT)

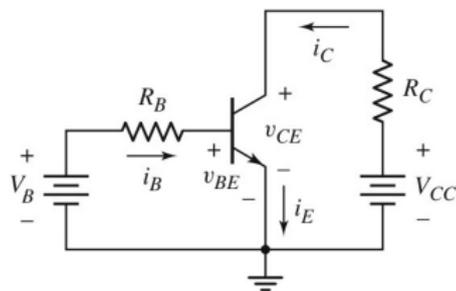
En el caso del MOSFET tenemos que la condición de transición es la siguiente (para NMOS de tipo mejorado):

- Si $V_{DS} < V_{tn}$: Corte
- $V_{DS} \geq V_{tn}$ y $V_{DS} < V_{GS} - V_{tn}$: Trío
- $V_{DS} \geq V_{tn}$ y $V_{DS} \geq V_{GS} - V_{tn}$: Saturación

Resumen: Modos de Operaciones de Transistores

Para el caso del BJT tenemos las siguientes condiciones (válidas para un *npn*):

- $V_B < V_{BE(on)} \sim 0,7$ [V]: Corte
- $V_B \geq V_{BE(on)}$ y $V_{CE} < V_{BE(on)}$: Saturación
- $V_B \geq V_{BE(on)}$ y $V_{CE} \geq V_{BE(on)}$: Activo

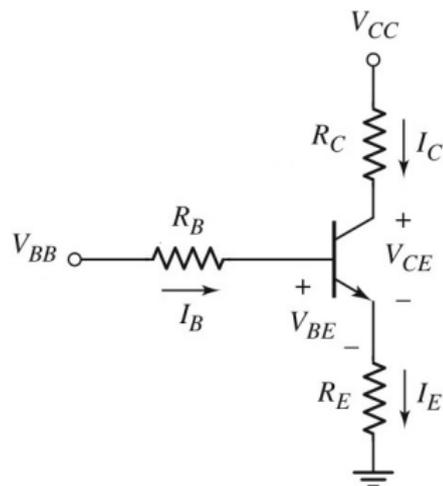


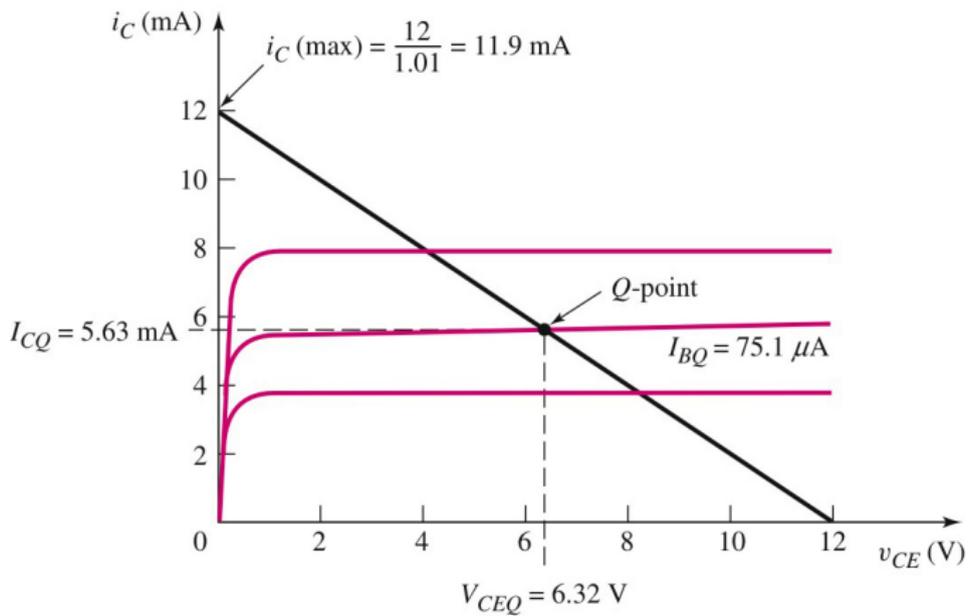
Análisis DC de Circuitos BJT

- 1 Asumir que el transistor opera en el **modo activo**. En este caso $V_{BE} = V_{BE}(on)$, $I_B > 0$ e $I_C = \beta I_B$.
- 2 Analizar el circuito con esta suposición (utilizando el equivalente de señal grande).
- 3 Evaluar el resultado del análisis: Si $I_B < 0$ el transistor está en corte. Si éste no es el caso pero $V_{CE} < 0$ el transistor opera en el modo de saturación.
- 4 Si la suposición (1) es incorrecta, es necesario que consideremos el circuito equivalente para el modo de saturación y volvamos a repetir el paso 2 y 3.

Ejemplo: Análisis DC circuito BJT

Problema: Calcular las corrientes y voltajes indicados en la figura asumiendo que $V_{CC} = 12$ [V], $V_{BE(on)} = 0,7$ [V], $\beta = 75$. Considere $R_C = 400\Omega$, $R_E = 600\Omega$ y $R_B = 25$ k Ω .





Análisis DC de Circuitos MOSFET

- 1 Asumir que el transistor opera en el **modo de saturación**. En este caso $I_D = \frac{1}{2}k'_n \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t)^2$.
- 2 Analizar el circuito con esta suposición (utilizando el equivalente de señal grande).
- 3 Evaluar el resultado del análisis: Si $V_{GS} < V_t$ el transistor está en corte. Si éste no es el caso pero $V_{DS} < V_{GS} - V_t$ el transistor opera en el modo de trío.
- 4 Si la suposición (1) es incorrecta, es necesario que consideremos el circuito equivalente para el modo de trío y volvamos a repetir el paso 2 y 3, cambiando $I_D = k'_n \frac{W}{L} \left[(V_{GS} - V_t)V_{DS} - \frac{1}{2}V_{DS}^2 \right]$.

Amplificadores Lineales

- Es una de las aplicaciones más importantes de circuitos con transistores es la amplificación de señales.
- Un amplificador es un sistema de entrada-salida donde la entrada es magnificada por el mismo. Esto es

$$v_{out} = f(v_{in})$$

- Si $f(\cdot)$ es lineal, hablaremos de un amplificador lineal. Esto es, si

$$f(\alpha v_{in1} + \beta v_{in2}) = \alpha f(v_{in1}) + \beta f(v_{in2}).$$

- El factor de proporcionalidad o ganancia debe ser $A \geq 1$ para que hablemos de amplificación.

Cómo implementar un amplificador lineal?

- Utilizando elementos lineales: Considere por ejemplo un divisor de tensión donde

$$V_o = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_i$$

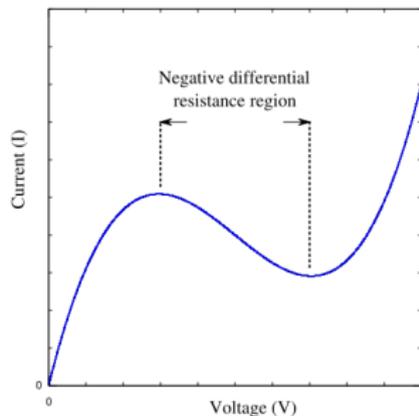
Cómo hacemos para que $V_o > V_i$? Utilizando una resistencia negativa.

Cómo implementar un amplificador lineal?

- Utilizando elementos lineales: Considere por ejemplo un divisor de tensión donde

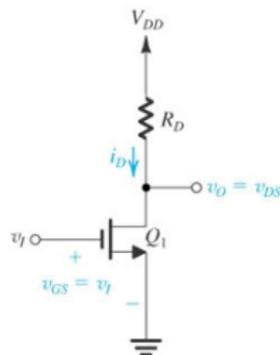
$$V_o = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_i$$

Cómo hacemos para que $V_o > V_i$? Utilizando una resistencia negativa.



Alternativa mediante elementos no lineales

- Las resistencias negativas absolutas no existen. Necesitamos hacerlo utilizando elementos no lineales.
- Implementación via transistores MOSFET



$$\begin{aligned}v_O &= v_{DS} \\ &= V_{DD} - i_D R_D\end{aligned}$$

Cuando tenemos corte? Si
 $v_I = v_{GS} < V_t$. En ese caso

$$v_o = V_{DD}$$

Implementación via transistores MOSFET

Si $v_I \geq V_t$ el dispositivo está en saturación o triodo. En la primera tenemos:

$$\begin{aligned}i_D &= \frac{V_{DD} - v_O}{R_D} \\ &= \frac{1}{2}k'_n \frac{W}{L} (v_I - V_t)^2\end{aligned}$$

Por lo tanto,

$$v_O = V_{DD} - \frac{1}{2}k'_n \frac{W}{L} R_D (v_I - V_t)^2$$

Definimos la **Ganancia del Amplificador** como

$$A_v \equiv \left. \frac{dv_O}{dv_I} \right|_{v_I=V_{IQ}} = -k'_n \frac{W}{L} (V_{IQ} - V_t) R_D$$

Implementación via transistores MOSFET

La condición de saturación se encuentra cuando

$$v_{DS} = v_{GS} - V_t$$

i.e., cuando

$$v_O = v_I - V_t$$

Esto nos lleva a la condición:

$$v_O = V_{DD} - \frac{1}{2}k'_n \frac{W}{L} R_D v_O^2$$

Si $v_I \geq V_t$ está en trío:

$$\begin{aligned} i_D &= \frac{V_{DD} - v_O}{R_D} \\ &= k'_n \frac{W}{L} \left[(v_I - V_t)v_O - \frac{1}{2}v_O^2 \right] \end{aligned}$$

Implementación via transistores MOSFET

Por lo tanto,

$$v_O = V_{DD} - R_D k'_n \frac{W}{L} R_D \left[(v_I - V_t) v_O - \frac{1}{2} v_O^2 \right]$$

Normalmente v_O es pequeño en la región de triodo, por lo que podemos decir

$$v_O \simeq V_{DD} - k'_n \frac{W}{L} R_D (v_I - V_t) v_O$$

es decir,

$$v_O = \frac{V_{DD}}{1 + k'_n \frac{W}{L} R_D (v_I - V_t)}$$

Definiendo $r_{DS} = \frac{1}{k'_n \frac{W}{L} R_D (v_I - V_t)}$ tenemos

$$v_O = V_{DD} \frac{r_{DS}}{r_{DS} + R_D}$$

y si $r_{DS} \ll R_D$

$$v_O \simeq V_{DD} \frac{r_{DS}}{R_D}$$

Implementación via transistores MOSFET

