ELECTRONICA APLICADA I

Profesor Titular Dr Ing. Guillermo Riva
Profesor Adjunto Ing. Martín Guido

- ESTABILIDAD DE LA POLARIZACION

Contenido:
Introducción.
Variaciones del punto Q debidas a las variaciones del β.
Efecto de la temperatura sobre el punto de reposo.
Análisis de los factores de estabilidad.

ESTABILIDAD DE LA POLARIZACION

- Introducción

Parámetros que pueden producir variación del punto Q.

Internos

1.- Variación del β de un transistor a otro siendo del mismo modelo.

Variación del β debido a la temperatura (incremento del β con el aumento temperatura).

2.-Variación de la I_{CB0} debido a su dependencia con la temperatura (aumenta la corriente con el incremento de la temperatura).

3.- Variación de la V_{BEQ} debido a su dependencia con la temperatura (disminuye la tensión con el incremento de la temperatura).

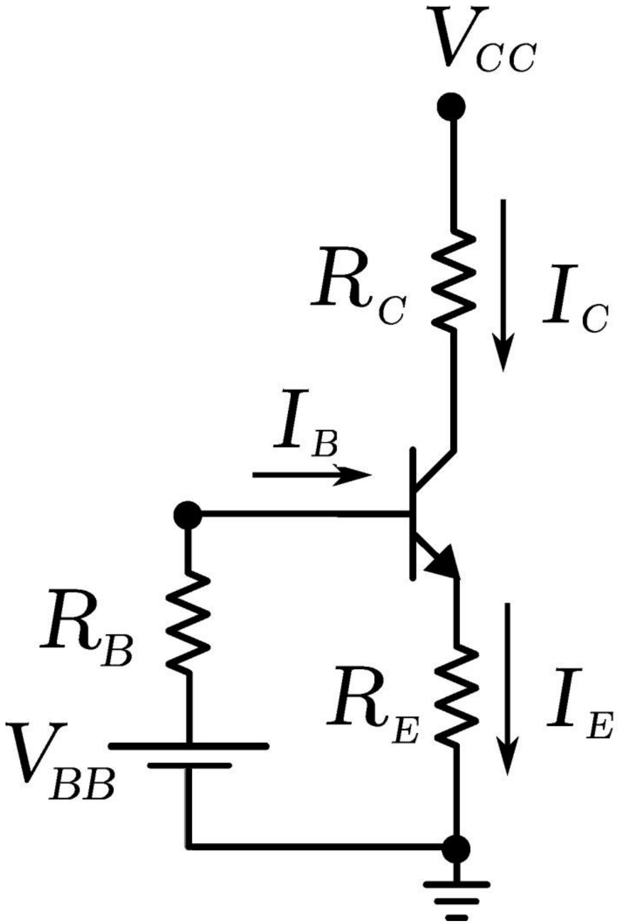
Externos

4.- Variación de V_{CC} debida a una mala regulación de la fuente.

5.- Variación del valor de los resistores del circuito debido a la tolerancia adoptada y a la temperatura.

Estabilidad de la Polarización

Variación del punto Q debido a variaciones del β.



$$I_C = \alpha I_E + I_{CBO} \qquad (1)$$

$$I_B = (1-\alpha) I_E - I_{CBO} \qquad (2)$$

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} \qquad \alpha = \frac{\beta}{\beta+1}$$

$$V_{BB} = I_B R_B + V_{BE} + I_E R_E \qquad (3)$$

Reemplazamos (2) *en* (3)

$$V_{BB} = \left[(1-\alpha) I_E - I_{CBO}\right] R_B + V_{BE} + I_E R_E$$

$$V_{BB} = (1-\alpha) I_E R_B - I_{CBO} R_B + V_{BE} + I_E R_E$$

$$V_{BB} = I_E \left[(1-\alpha) R_B + R_E\right] - I_{CBO} R_B + V_{BE} \qquad (4)$$

Estabilidad de la Polarización (Cont.)

$$De\ (1)\ despejamos\ I_E$$

$$I_E = \frac{I_C - I_{CBO}}{\alpha} \qquad (5)$$

$$Reemplazamos\ (5)\ en\ (4)\ y\ ordenamos$$

$$V_{BB} - V_{BE} = \left(\frac{I_C - I_{CBO}}{\alpha}\right)\left[\left(1-\alpha\right)R_B + R_E\right] - I_{CBO}R_B$$

$$V_{BB} - V_{BE} = \left(\frac{I_C}{\alpha} - \frac{I_{CBO}}{\alpha}\right)\left[\left(1-\alpha\right)R_B + R_E\right] - I_{CBO}R_B$$

$$V_{BB} - V_{BE} = \frac{I_C}{\alpha}\left[\left(1-\alpha\right)R_B + R_E\right] - \frac{I_{CBO}}{\alpha}\left[\left(1-\alpha\right)R_B + R_E\right] - I_{CBO}R_B$$

$$V_{BB} - V_{BE} = \frac{I_C}{\alpha}\left[\left(1-\alpha\right)R_B + R_E\right] - \frac{I_{CBO}}{\alpha}\left[\left(1-\alpha\right)R_B + R_E\right] - \frac{I_{CBO}}{\alpha} \times \alpha R_B$$

$$V_{BB} - V_{BE} = \frac{I_C}{\alpha}\left[\left(1-\alpha\right)R_B + R_E\right] - \frac{I_{CBO}}{\alpha}\left[\left(1-\alpha\right)R_B + R_E + \alpha R_B\right]$$

Estabilidad de la Polarización (Cont.)

$$V_{BB} - V_{BE} = \frac{I_C}{\alpha}\left[\left(1-\alpha\right)R_B + R_E\right] - \frac{I_{CBO}}{\alpha}\left[+R_B - \cancel{\alpha}\cancel{R}_B + R_E + \cancel{\alpha}\cancel{R}_B\right]$$

$$V_{BB} - V_{BE} = \frac{I_C}{\alpha}\left[\left(1-\alpha\right)R_B + R_E\right] - \frac{I_{CBO}}{\alpha}\left[R_E + R_B\right]$$

$$V_{BB} - V_{BE} + \frac{I_{CBO}}{\alpha}\left[R_E + R_B\right] = \frac{I_C}{\alpha}\left[\left(1-\alpha\right)R_B + R_E\right]$$

$$\alpha\left(V_{BB} - V_{BE}\right) + I_{CBO}\left[R_E + R_B\right] = I_C\left[\left(1-\alpha\right)R_B + R_E\right]$$

$$I_{CQ} = \frac{\alpha\left[V_{BB} - V_{BE}\right] + I_{CBO}\left[R_E + R_B\right]}{\left(1-\alpha\right)R_B + R_E} = \frac{\frac{\beta}{\beta+1}\left[V_{BB} - V_{BE}\right] + I_{CBO}\left[R_E + R_B\right]}{\left(1 - \frac{\beta}{\beta+1}\right)R_B + R_E}$$

$$I_{CQ} = \frac{\frac{\beta}{\beta+1}\left[V_{BB} - V_{BE}\right] + I_{CBO}\left[R_E + R_B\right]}{\left(\frac{\beta+1-\beta}{\beta+1}\right)R_B + R_E} = \frac{\frac{\beta}{\beta+1}\left[V_{BB} - V_{BE}\right] + I_{CBO}\left[R_E + R_B\right]}{\left(\frac{1}{\beta+1}\right)R_B + R_E}$$

Estabilidad de la Polarización (Cont.)

$$I_{CQ} = \frac{\frac{\beta}{\beta+1}\left[V_{BB} - V_{BE}\right] + I_{CBO}\left[R_E + R_B\right]}{R_E + \frac{R_B}{\beta+1}}$$

$$Como\ \beta \gg 1$$

$$I_{CQ} = \frac{\left[V_{BB} - V_{BE}\right] + I_{CBO}\left[R_E + R_B\right]}{R_E + \frac{R_B}{\beta}} \qquad ecuacion\ general$$

$$Si\ hacemos\ \ R_E \gg \frac{R_B}{\beta}$$

$$I_{CQ} = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_E} + I_{CBO}\left(1 + \frac{R_B}{R_E}\right) \qquad (6)$$

$$Como \quad I_{CBO} \cong 0 \quad (aproximadamente\ 1\ \mu A\ para\ el\ Silicio)$$

$$I_{CQ} = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_E} \qquad (observamos\ que\ I_{CQ}\ no\ depende\ del\ \beta)$$

Estabilidad de la Polarización (Cont.)

De la ecuacion general

$$I_{CQ} = \frac{\left[V_{BB} - V_{BE}\right] + I_{CBO}\left[R_E + R_B\right]}{R_E + \frac{R_B}{\beta}}$$

Efecto de la temperatura sobre el punto de reposo.

$$I_{CQ} = f\,(\underbrace{V_{BE}, I_{CBO}, \beta}_{Son\ f\,(T)}, ...)$$

$$\Delta V_{BE} = V_{BE2} - V_{BE1} = -k\left(T_2 - T_1\right) = -k\Delta T \qquad donde\ k = 2{,}5\ {}^{mV}\!/_{{}^{\circ}C}$$

$$I_{CBO(2)} = I_{CBO(1)} e^{K\Delta T} \qquad donde\ K = 0.07\ {}^{1}\!/_{{}^{\circ}C}$$

$$\Delta I_{CBO} = I_{CBO(2)} - I_{CBO(1)} = I_{CBO(1)} e^{K\Delta T} - I_{CBO(1)} = I_{CBO(1)}(e^{K\Delta T} - 1)$$

Estabilidad de la Polarización (Cont.) Análisis de los Factores de Estabilidad

$$\frac{\Delta I_{CQ}}{\Delta T}=\frac{\Delta I_{CQ}}{\Delta V_{BE}}\times\frac{\Delta V_{BE}}{\Delta T}+\frac{\Delta I_{CQ}}{\Delta I_{CBO}}\times\frac{\Delta I_{CBO}}{\Delta T}+\frac{\Delta I_{CQ}}{\Delta\beta}\times\frac{\Delta\beta}{\Delta T}\quad\left(\begin{array}{l}Sale\ de\ aplicar\ la\ regla\\ de\ la\ cadena\ por\ analisis\\ diferencial.\end{array}\right)$$

$$\Delta I_{CQ}=\frac{\Delta I_{CQ}}{\Delta V_{BE}}\times\Delta V_{BE}+\frac{\Delta I_{CQ}}{\Delta I_{CBO}}\times\Delta I_{CBO}+\frac{\Delta I_{CQ}}{\Delta\beta}\times\Delta\beta$$

Si tenemos ΔT; *calculamos* ΔV_{BE} , ΔI_{CBO} *y* $\Delta\beta$

Factores de estabilidad :

$$S_V=\frac{\Delta I_{CQ}}{\Delta V_{BE}}\qquad S_I=\frac{\Delta I_{CQ}}{\Delta I_{CBO}}\qquad S_\beta=\frac{\Delta I_{CQ}}{\Delta\beta}$$

Entonces :

$$\boxed{\Delta I_{CQ}=S_V\Delta V_{BE}+S_I\Delta I_{CBO}+S_\beta\Delta\beta}$$

Estabilidad de la Polarización (Cont.)

$$Partiendo\ de\ (6):\ I_{CQ}=\frac{V_{BB}-V_{BE}}{R_E}+I_{CBO}\left(1+\frac{R_B}{R_E}\right)$$

$$S_V=\frac{\Delta I_{CQ}}{\Delta V_{BE}}\approx\frac{\partial I_{CQ}}{\partial V_{BE}}=-\frac{1}{R_E}\qquad (Si\ los\ incrementos\ de\ las\ variables\ independientes$$

$$S_I=\frac{\Delta I_{CQ}}{\Delta I_{CBO}}\approx\frac{\partial I_{CQ}}{\partial I_{CBO}}=1+\frac{R_B}{R_E}\qquad V_{BE},I_{CB0}\ son\ peque\tilde{n}as\ podemos\ calcular\ la\ derivada)$$

$$\Delta I_{CQ}=-\frac{1}{R_E}\left(-k\Delta T\right)+\left(1+\frac{R_B}{R_E}\right)I_{CBO(1)}\left(e^{K\Delta T}-1\right)+\ldots$$

$$\Delta I_{CQ}=\frac{k\Delta T}{R_E}+\left(1+\frac{R_B}{R_E}\right)I_{CBO(1)}\left(e^{K\Delta T}-1\right)+\ldots$$

$$S_\beta=\frac{\Delta I_{CQ}}{\Delta\beta}\qquad (como\ las\ variaciones\ del\ \beta\ son\ grandes\ se\ debe\ calcular\ el$$

$$incremento\ real)$$

Estabilidad de la Polarización (Cont.)

$$I_{CQ} = \frac{\alpha\left[V_{BB} - V_{BE}\right]}{\left(1-\alpha\right)R_B + R_E} \quad (\textit{Ver página } 5 \textit{ en la que se desprecia } I_{CB0})$$

$$\textit{Como } \alpha = \frac{\beta}{\beta+1}$$

$$I_{CQ} = \frac{\beta(V_{BB} - V_{BE})}{(\beta+1)(1-\alpha)R_B + (\beta+1)R_E}$$

$$\textit{Como } \alpha = \frac{\beta}{\beta+1} \quad \Rightarrow \quad \beta+1 = \frac{\beta}{\alpha}$$

$$\textit{Como } \beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} \quad \Rightarrow \quad 1-\alpha = \frac{\alpha}{\beta}$$

$$\textit{Entonces } \left(\beta+1\right)\left(1-\alpha\right) = \frac{\cancel{\beta}}{\cancel{\alpha}}\frac{\cancel{\alpha}}{\cancel{\beta}} = 1$$

$$I_{CQ} = \frac{\beta(V_{BB} - V_{BE})}{R_B + (\beta+1)R_E} \quad (\textit{apartir de esta ecuación calcularemos la } \frac{\Delta I_{CQ}}{\Delta\beta})$$

Estabilidad de la Polarización (Cont.)

$$\beta_1 : es\ el\ \beta\ inicial\ a\ temperatura\ T_1\ y\ \beta_2 : es\ el\ \beta\ final\ a\ temperatura\ T_2)$$

$$I_{CQ1} = \frac{\beta_1 (V_{BB} - V_{BE})}{R_B + (\beta_1 + 1) R_E} \qquad I_{CQ2} = \frac{\beta_2 (V_{BB} - V_{BE})}{R_B + (\beta_2 + 1) R_E}$$

$$\frac{I_{CQ2}}{I_{CQ1}} = \frac{\dfrac{\beta_2 (V_{BB} - V_{BE})}{R_B + (\beta_2 + 1) R_E}}{\dfrac{\beta_1 (V_{BB} - V_{BE})}{R_B + (\beta_1 + 1) R_E}} = \frac{\beta_2 (V_{BB} - V_{BE})}{R_B + (\beta_2 + 1) R_E} \times \frac{R_B + (\beta_1 + 1) R_E}{\beta_1 (V_{BB} - V_{BE})}$$

$$\frac{I_{CQ2}}{I_{CQ1}} = \frac{\beta_2 \left[R_B + (\beta_1 + 1) R_E \right]}{\beta_1 \left[R_B + (\beta_2 + 1) R_E \right]}$$

$$\frac{\Delta I_{CQ}}{I_{CQ1}} = \frac{I_{CQ2} - I_{CQ1}}{I_{CQ1}} = \frac{I_{CQ2}}{I_{CQ1}} - 1$$

Estabilidad de la Polarización (Cont.)

$$\frac{\Delta I_{CQ}}{I_{CQ1}} = \frac{\beta_2}{\beta_1}\frac{\left[R_B + (\beta_1 + 1)R_E\right]}{\left[R_B + (\beta_2 + 1)R_E\right]} - 1$$

$$\frac{\Delta I_{CQ}}{I_{CQ1}} = \frac{\beta_2\left[R_B + (\beta_1 + 1)R_E\right] - \beta_1\left[R_B + (\beta_2 + 1)R_E\right]}{\beta_1\left[R_B + (\beta_2 + 1)R_E\right]}$$

$$\frac{\Delta I_{CQ}}{I_{CQ1}} = \frac{\beta_2 R_B + \beta_2\beta_1 R_E + \beta_2 R_E - \beta_1 R_B - \beta_1\beta_2 R_E - \beta_1 R_E}{\beta_1\left[R_B + (\beta_2 + 1)R_E\right]} = \frac{\beta_2 R_B + \beta_2 R_E - \beta_1 R_B - \beta_1 R_E}{\beta_1\left[R_B + (\beta_2 + 1)R_E\right]}$$

$$\frac{\Delta I_{CQ}}{I_{CQ1}} = \frac{R_B(\beta_2 - \beta_1) + R_E(\beta_2 - \beta_1)}{\beta_1\left[R_B + (\beta_2 + 1)R_E\right]} = \frac{R_B\Delta\beta + R_E\Delta\beta}{\beta_1\left[R_B + (\beta_2 + 1)R_E\right]} = \frac{\Delta\beta(R_B + R_E)}{\beta_1\left[R_B + (\beta_2 + 1)R_E\right]}$$

$$S_\beta = \frac{\Delta I_{CQ}}{\Delta\beta} = \frac{I_{CQ1}(R_B + R_E)}{\beta_1\left[R_B + (\beta_2 + 1)R_E\right]}$$

Finalmente

$$\Delta I_{CQ} = S_V \Delta V_{BE} + S_I \Delta I_{CBO} + S_\beta \Delta\beta + \ldots$$

$$\Delta I_{CQ} = \left(-\frac{1}{R_E}\right)\Delta V_{BE} + \left(1 + \frac{R_B}{R_E}\right)\Delta I_{CBO} + \frac{I_{CQ1}(R_B + R_E)}{\beta_1\left[R_B + (\beta_2 + 1)R_E\right]}\Delta\beta + \ldots$$

Bibliografía

- **Circuitos Electrónicos Discretos e Integrados**,
  Donald L. Schilling-Charles Belove.
- **Dispositivos Electrónicos**,
  Thomas L. Floyd.
- **Electrónica: Teoría de Circuitos y Dispositivos Electrónicos**,
  Robert L. Boylestad-Louis Nashelsky.
- **1100 Problemas de Electrónica Resueltos.**
  Ing Alberto Muhana.
- **Electrónica Integrada.**
  Jacob Millman-Christos Halkias
- **Circuitos Microelectronicos.**
  Rashid