

TOPOLOGÍAS DE REALIMENTACIÓN O RETROALIMENTACIÓN

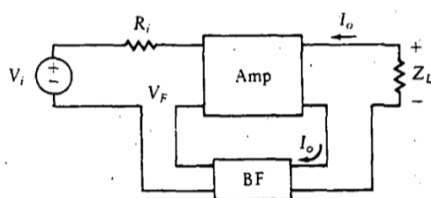
1. Amplificador de transconductancia, $A = \frac{I_o}{V_{in}}$
2. Amplificador de corriente, $A = \frac{I_o}{I_{in}}$
3. Amplificador de voltaje, $A = \frac{V_o}{V_i}$
4. Amplificador de transresistencia, $A = \frac{V_o}{I_i}$

RETROALIMENTACIÓN DE CORRIENTE RESTA DE TENSIÓN

Corriente en serie

Serie-serie

(Amplificador de transconductancia, $A = \frac{I_o}{V_{in}}$)



Topología del amplificador de transconductancia

$$I_o[A]BF \left[\frac{V}{A} \right] = V_F[V]$$

$$BF = \frac{V_F}{I_o} \text{ Factor de realimentación}$$

Ejemplo 1.

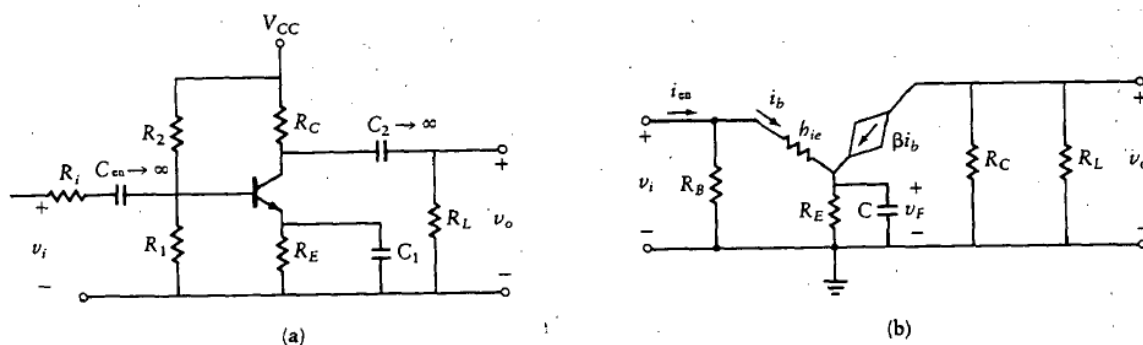


Figura 11.3 Una etapa EC.

Fuente: Savant, C. Diseño Electrónico, Circuitos y Sistemas. México D.F. Tercera edición. Prentice Hall. 2000. Capítulo 11, pág.

$$i_o = -\beta i_b \frac{R_c}{R_c + R_L}$$

Cuando $C \rightarrow \infty$ el sistema se encuentra en lazo abierto, en ese caso,

$$i_b = \frac{v_i}{\beta r_e}$$

$$i_o = -\beta i_b \frac{R_c}{R_c + R_L}$$

$$i_o = -\beta \frac{v_i}{\beta r_e} \left(\frac{R_c}{R_c + R_L} \right)$$

$$\frac{i_o}{v_i} = -\frac{1}{r_e} \left(\frac{R_c}{R_c + R_L} \right)$$

$$\frac{i_o}{v_i} = -\frac{R_c}{r_e(R_c + R_L)}$$

Cuando $C \rightarrow 0$ el sistema se encuentra en lazo cerrado, por lo tanto,

$$i_b = \frac{v_i}{\beta(r_e + R_E)}$$

$$i_o = -\beta i_b \frac{R_c}{R_c + R_L}$$

$$i_o = -\beta \frac{v_i}{\beta(r_e + R_E)} \left(\frac{R_c}{R_c + R_L} \right)$$

$$\frac{i_o}{v_i} = -\frac{R_c}{(r_e + R_E)(R_c + R_L)}$$

$$\frac{i_o}{v_i} = -\frac{R_c}{r_e(R_c + R_L) + R_E(R_c + R_L)}$$

Considerando que la ganancia en lazo cerrado es de la forma $\frac{A_{OL}}{1 + \gamma A_{OL}}$ se puede calcular la ganancia en lazo abierto y el factor de retroalimentación, a partir de la ganancia en lazo cerrado. Por lo tanto, se retoma la ecuación anterior y se divide el numerador y el denominador por $r_e(R_c + R_L)$ para obtener el 1 del denominador

$$\frac{i_o}{v_i} = -\frac{R_c}{r_e(R_c + R_L) + R_E(R_c + R_L)}$$

$$\frac{i_o}{v_i} = \frac{-\frac{R_c}{r_e(R_c + R_L)}}{1 + \frac{R_E(R_c + R_L)}{r_e(R_c + R_L)}}$$

Multiplicando y dividiendo el segundo término del denominador por R_c , se tiene

$$\frac{i_o}{v_i} = \frac{-\frac{R_c}{r_e(R_c + R_L)}}{1 + \frac{R_E(R_c + R_L)}{r_e(R_c + R_L)} \frac{R_c}{R_c}}$$

$$\frac{i_o}{v_i} = \frac{-\frac{R_c}{r_e(R_c + R_L)}}{1 + \left[-\frac{R_E(R_c + R_L)}{R_c} \right] \left[-\frac{R_c}{r_e(R_c + R_L)} \right]}$$

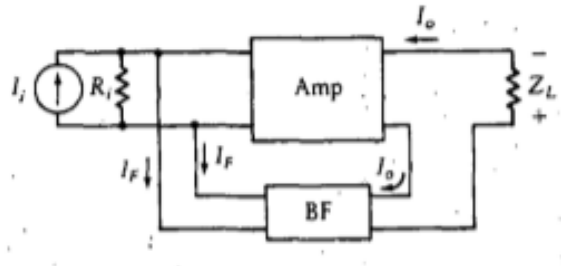
De la ecuación anterior la ganancia en lazo abierto está dada por: $-\frac{R_c}{r_e(R_c + R_L)}$ y el factor de realimentación por $-\frac{R_E(R_c + R_L)}{R_c}$

RETROALIMENTACIÓN DE CORRIENTE RESTA DE CORRIENTE

Corriente en paralelo

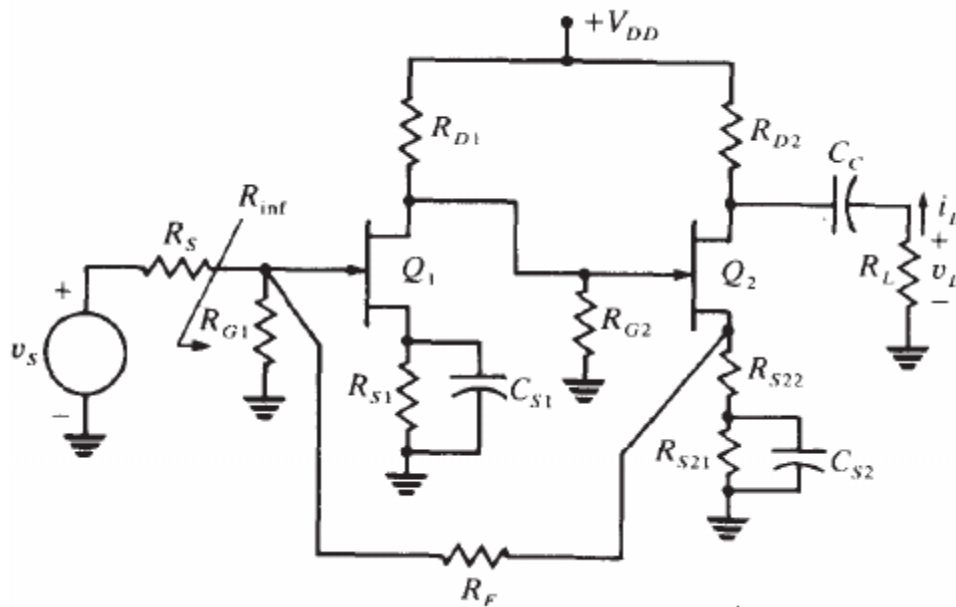
Paralelo-serie

(Amplificador de corriente, $A = \frac{I_o}{I_{in}}$)



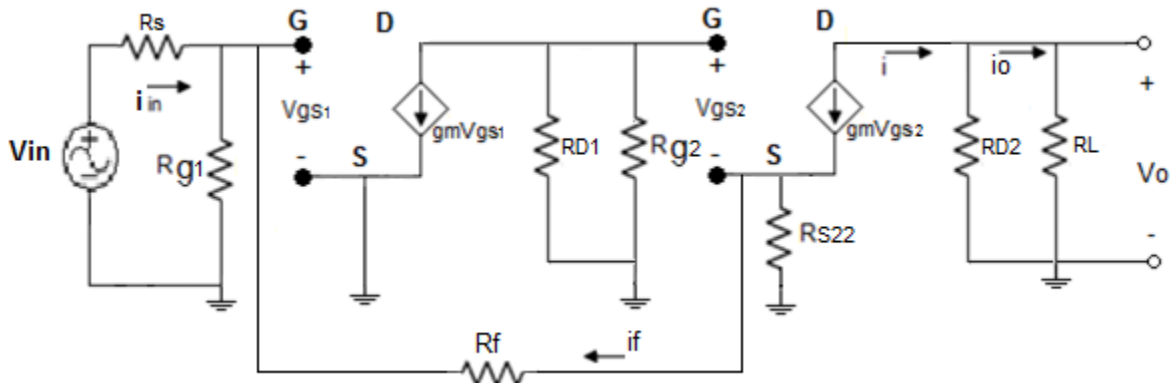
Topología del amplificador de corriente.

Ejemplo 2.



$R_S = 500 \, \Omega$, $R_{G1} = 20 \, \text{K}\Omega$, $R_L = 4 \, \text{K}\Omega$, $R_{D1} = R_{D2} = 3 \, \text{K}\Omega$, $R_{G2} = 1 \, \text{M}\Omega$, $R_F = 50 \, \text{K}\Omega$, $R_{S22} = 50 \, \Omega$, $r_{ds} = 30 \, \text{K}\Omega$, $g_m = 1 \times 10^{-1} \, \text{S}$

ANÁLISIS DEL CIRCUITO REALIMENTADO



Calculo de la ganancia de corriente

Como se desea relacionar respuestas de corriente, se debe expresar las ecuaciones que describen el comportamiento del circuito en términos de la corriente de salida y entrada.

$$i_O = -gm v_{gs2} \frac{R_{D2}}{R_{D2} + R_L}$$

LKC para el nodo de la compuerta 1 y de la fuente 2

$$i_{RS22} = gm v_{gs2} - i_F$$

$$i_{RG1} = i_{in} + i_F$$

Por otro lado

$$v_{gs1} = v_{g1} - v_{s1} = v_{g1} - 0 = v_{g1} = R_{G1} i_{RG1}$$

$$v_{gs1} = R_{G1} i_{RG1}$$

$$v_{gs1} = R_{G1} (i_{in} + i_F)$$

$$v_{gs2} = v_{g2} - v_{s2} = v_{RG2} - v_{RS22}$$

$$v_{gs2} = R_{G2} \left(-gm v_{gs1} \frac{R_{D1}}{R_{D1} + R_{G2}} \right) - R_{S22} (gm v_{gs2} - i_F)$$

$$v_{gs2} = -gm \frac{R_{D1} R_{G2}}{R_{D1} + R_{G2}} v_{gs1} - R_{S22} gm v_{gs2} + R_{S22} i_F$$

$$(1 + R_{S22} gm) v_{gs2} = -gm (R_{D1} \parallel R_{G2}) R_{G1} (i_{in} + i_F) + R_{S22} i_F$$

$$(1 + R_{S22} gm) v_{gs2} = -gm R_{G1} (R_{D1} \parallel R_{G2}) i_{in} + [-gm R_{G1} (R_{D1} \parallel R_{G2}) + R_{S22}] i_F$$

Ecuación de la malla de realimentación

$$-v_{RG1} - v_{RF} + v_{RS22} = 0$$

$$-R_{G1} i_{RG1} - R_F i_F + R_{S22} i_{RS22} = 0$$

Reemplazando en la ecuación de la malla de realimentación se tiene,

$$-R_{G1} i_{in} - (R_{G1} + R_F + R_{S22}) i_F + R_{S22} gm v_{gs2} = 0$$

$$\frac{-R_{G1} i_{in} + R_{S22} gm v_{gs2}}{R_{G1} + R_F + R_{S22}} = i_F$$

Reemplazando if se tiene,

$$(1 + R_{S22} gm) v_{gs2} = -gm R_{G1} (R_{D1} \parallel R_{G2}) i_{in} + [-gm R_{G1} (R_{D1} \parallel R_{G2}) + R_{S22}] i_F$$

$$(1 + R_{S22} gm) v_{gs2} = -gm R_{G1} (R_{D1} \parallel R_{G2}) i_{in} + [-gm R_{G1} (R_{D1} \parallel R_{G2}) + R_{S22}] \left(\frac{-R_{G1} i_{in} + R_{S22} gm v_{gs2}}{R_{G1} + R_F + R_{S22}} \right)$$

$$\left[1 + R_{S22} gm - [-gm R_{G1} (R_{D1} \parallel R_{G2}) + R_{S22}] \left(\frac{R_{S22} gm}{R_{G1} + R_F + R_{S22}} \right) \right] v_{gs2} = \left[-gm R_{G1} (R_{D1} \parallel R_{G2}) \right.$$

$$\left. + [-gm R_{G1} (R_{D1} \parallel R_{G2}) + R_{S22}] \left(\frac{-R_{G1}}{R_{G1} + R_F + R_{S22}} \right) \right] i_{in}$$

$$v_{gs2} = \frac{-gm R_{G1} (R_{D1} \parallel R_{G2}) + [-gm R_{G1} (R_{D1} \parallel R_{G2}) + R_{S22}] \left(\frac{-R_{G1}}{R_{G1} + R_F + R_{S22}} \right)}{1 + R_{S22} gm - [-gm R_{G1} (R_{D1} \parallel R_{G2}) + R_{S22}] \left(\frac{R_{S22} gm}{R_{G1} + R_F + R_{S22}} \right)} i_{in}$$

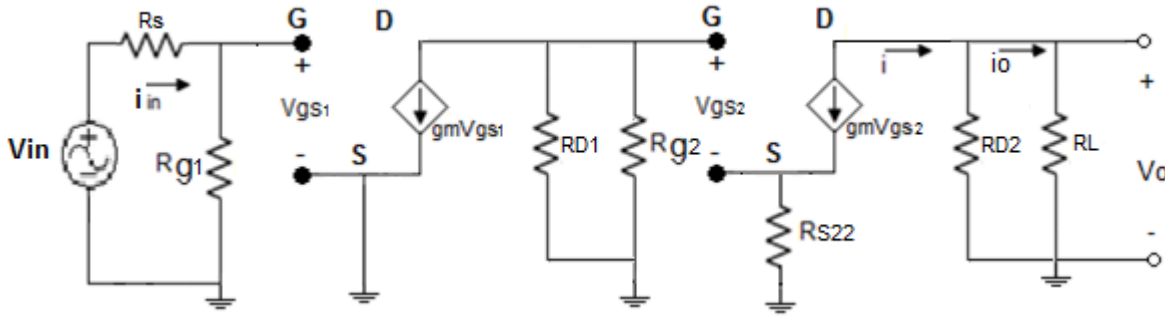
Reemplazando v_{gs2} se tiene,

$$i_o = -gm v_{gs2} \frac{R_{D2}}{R_{D2} + R_L}$$

$$i_o = -gm \left[\frac{-gm R_{G1} (R_{D1} \parallel R_{G2}) + [-gm R_{G1} (R_{D1} \parallel R_{G2}) + R_{S22}] \left(\frac{-R_{G1}}{R_{G1} + R_F + R_{S22}} \right)}{1 + R_{S22} gm - [-gm R_{G1} (R_{D1} \parallel R_{G2}) + R_{S22}] \left(\frac{R_{S22} gm}{R_{G1} + R_F + R_{S22}} \right)} \right] \frac{R_{D2}}{R_{D2} + R_L} i_{in}$$

$$\frac{i_o}{i_{in}} = -gm \left[\frac{-gm R_{G1} (R_{D1} \parallel R_{G2}) + [-gm R_{G1} (R_{D1} \parallel R_{G2}) + R_{S22}] \left(\frac{-R_{G1}}{R_{G1} + R_F + R_{S22}} \right)}{1 + R_{S22} gm - [-gm R_{G1} (R_{D1} \parallel R_{G2}) + R_{S22}] \left(\frac{R_{S22} gm}{R_{G1} + R_F + R_{S22}} \right)} \right] \frac{R_{D2}}{R_{D2} + R_L}$$

ANÁLISIS EN LAZO ABIERTO (SIN REALIMENTACIÓN)



$$i_o = -gm v_{gs2} \frac{R_{D2}}{R_{D2} + R_L}$$

$$v_{gs2} = v_{g2} - v_{s2} = v_{RG2} - v_{RS22}$$

$$v_{gs2} = R_{G2} \left(-gm v_{gs1} \frac{R_{D1}}{R_{D1} + R_{G2}} \right) - gm v_{gs2} R_{S22}$$

$$(1 + R_{S22} gm) v_{gs2} = - \frac{gm R_{D1} R_{G2}}{R_{D1} + R_{G2}} v_{gs1}$$

$$v_{gs1} = v_{g1} - v_{s1} = v_{g1} - 0 = v_{g1}$$

$$(1 + R_{S22} gm) v_{gs2} = - \frac{gm R_{D1} R_{G2}}{R_{D1} + R_{G2}} v_{g1}$$

$$v_{g1} = v_{RG1} = R_{G1} i_{in}$$

$$(1 + R_{S22} gm) v_{gs2} = - \frac{gm R_{D1} R_{G2}}{R_{D1} + R_{G2}} R_{G1} i_{in}$$

$$v_{gs2} = - \left(\frac{gm R_{D1} R_{G2}}{R_{D1} + R_{G2}} R_{G1} i_{in} \right) \frac{1}{(1 + R_{S22} gm)}$$

$$v_{gs2} = - \frac{gm R_{D1} R_{G2} R_{G1}}{(R_{D1} + R_{G2})(1 + R_{S22} gm)} i_{in}$$

Reemplazando la ecuación anterior en la ecuación resultante de i_o se tiene,

$$i_o = -gm v_{gs2} \frac{R_{D2}}{R_{D2} + R_L}$$

$$i_o = -gm \left(-\frac{gmR_{D1}R_{G2}R_{G1}}{(R_{D1} + R_{G2})(1 + R_{S22}gm)} i_{in} \right) \frac{R_{D2}}{R_{D2} + R_L}$$

$$\frac{i_o}{i_{in}} = \frac{gmgmR_{D1}R_{D2}R_{G2}R_{G1}}{(R_{D1} + R_{G2})(1 + R_{S22}gm)(R_{D2} + R_L)}$$

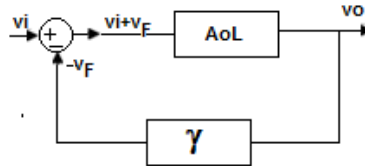
$$\frac{i_o}{i_{in}} = \frac{gm_1gm_2(R_{D1} \parallel R_{G2})R_{G1}R_{D2}}{(1 + R_{S22}gm)(R_{D2} + R_L)}$$

RETROALIMENTACIÓN DE TENSIÓN RESTA DE TENSIÓN

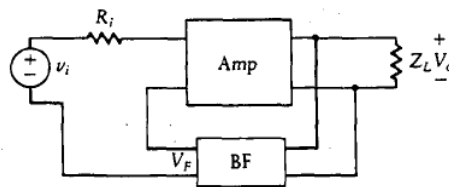
Voltaje en serie

Serie-paralelo

(Amplificador de voltaje, $A = \frac{v_o}{v_i}$)

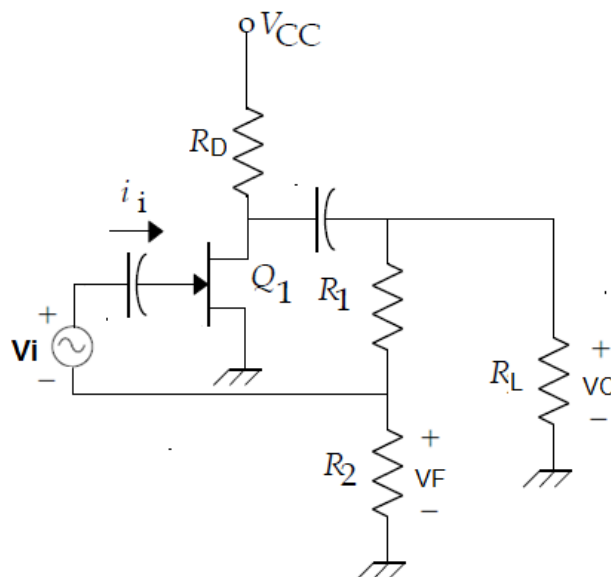


Representación en diagrama de bloques del amplificador de voltaje

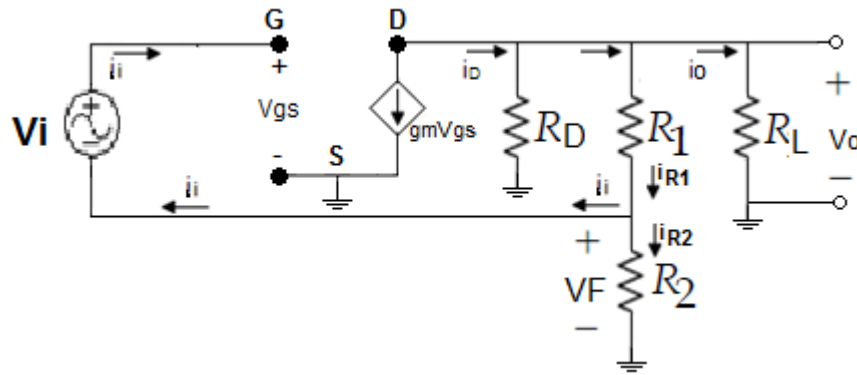


Topología del amplificador de voltaje

Ejemplo 3.



ANÁLISIS DEL CIRCUITO EN LAZO CERRADO (CON REALIMENTACIÓN)



$$v_o = i_o R_L$$

$$i_{R1} = i_{R2} + i_i$$

Como $i_i = i_g = 0$, entonces,

$$i_{R1} = i_{R2}$$

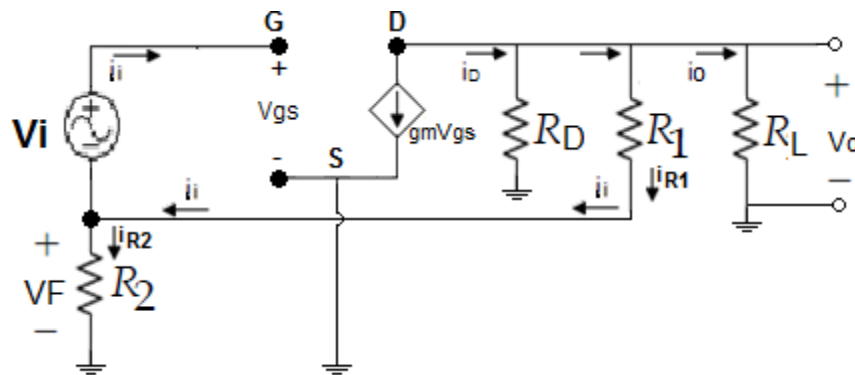
En esas condiciones, se puede afirmar que R1 y R2 están en serie, por lo tanto,

$$i_o = -gm v_{gs} \frac{R_D \parallel (R_1 + R_2)}{R_D \parallel (R_1 + R_2) + R_L}$$

$$v_o = -gm v_{gs} \frac{R_D \parallel (R_1 + R_2)}{R_D \parallel (R_1 + R_2) + R_L} R_L$$

$$v_o = -gm v_{gs} [R_D \parallel (R_1 + R_2)] \parallel R_L$$

$$v_{gs} = v_g - v_s = v_g - 0 = v_i + v_f$$



Como R1 y R2 están en serie, Vf se calcula mediante el divisor de tensión

$$v_f = \frac{v_o R_2}{R_1 + R_2}$$

$$v_{gs} = v_i + \frac{v_o R_2}{R_1 + R_2}$$

Reemplazando el valor de vgs en la ecuación del voltaje de salida se tiene,

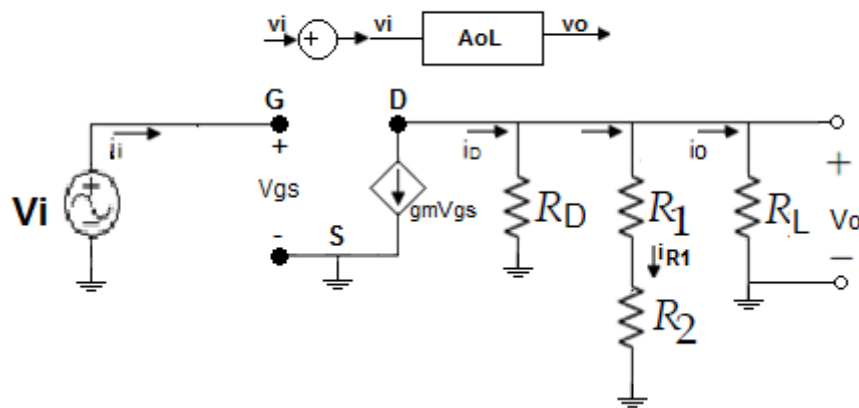
$$\begin{aligned}
v_o &= -gm \left(v_i + \frac{v_o R_2}{R_1 + R_2} \right) [R_D \parallel (R_1 + R_2)] \parallel R_L \\
v_o &= -gm v_i [R_D \parallel (R_1 + R_2)] \parallel R_L - gm \frac{v_o R_2}{R_1 + R_2} [R_D \parallel (R_1 + R_2)] \parallel R_L \\
v_o + gm \frac{v_o R_2}{R_1 + R_2} [R_D \parallel (R_1 + R_2)] \parallel R_L &= -gm v_i [R_D \parallel (R_1 + R_2)] \parallel R_L \\
\left\{ 1 + gm \frac{R_2}{R_1 + R_2} [R_D \parallel (R_1 + R_2)] \parallel R_L \right\} v_o &= -gm v_i [R_D \parallel (R_1 + R_2)] \parallel R_L \\
\frac{v_o}{v_i} &= \frac{-gm [R_D \parallel (R_1 + R_2)] \parallel R_L}{1 + gm \frac{R_2}{R_1 + R_2} [R_D \parallel (R_1 + R_2)] \parallel R_L} \\
\frac{v_o}{v_i} &= \frac{-gm [R_D \parallel (R_1 + R_2)] \parallel R_L}{1 + \left\{ -\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right\} \{ -gm [R_D \parallel (R_1 + R_2)] \parallel R_L \}}
\end{aligned}$$

CÁLCULO DE LA GANANCIA EN LAZO ABIERTO Y EL FACTOR DE RETROALIMENTACIÓN

Considerando que la ganancia en lazo cerrado es de la forma $\frac{A_{OL}}{1 + \gamma A_{OL}}$ se puede calcular la ganancia en lazo abierto y el factor de retroalimentación, a partir de la ganancia en lazo cerrado.

$$\begin{aligned}
\frac{v_o}{v_i} &= \frac{A_{OL}}{1 + \gamma A_{OL}} = \frac{-gm [R_D \parallel (R_1 + R_2)] \parallel R_L}{1 + gm \frac{R_2}{R_1 + R_2} [R_D \parallel (R_1 + R_2)] \parallel R_L} \\
\frac{v_o}{v_i} &= \frac{A_{OL}}{1 + \gamma A_{OL}} = \frac{-gm [R_D \parallel (R_1 + R_2)] \parallel R_L}{1 + \frac{R_2}{R_1 + R_2} \{ gm [R_D \parallel (R_1 + R_2)] \parallel R_L \}} \\
A_{OL} &= -gm [R_D \parallel (R_1 + R_2)] \parallel R_L \\
\gamma &= -\frac{R_2}{R_1 + R_2}
\end{aligned}$$

ANÁLISIS DEL CIRCUITO EN LAZO ABIERTO (SIN REALIMENTACIÓN)



$$\begin{aligned}
v_o &= i_o R_L \\
i_o &= -gm v_{gs} \frac{R_D \parallel R_1}{(R_D \parallel R_1) + R_L} \\
i_o &= -gm v_{gs} \frac{R_D \parallel (R_1 + R_2)}{R_D \parallel (R_1 + R_2) + R_L}
\end{aligned}$$

$$v_o = -gm v_{gs} \frac{R_D \parallel (R_1 + R_2)}{R_D \parallel (R_1 + R_2) + R_L} R_L$$

$$v_o = -gm v_{gs} [R_D \parallel (R_1 + R_2)] \parallel R_L$$

$$v_{gs} = v_g - v_s = v_g - 0 = v_i$$

Reemplazando el valor de v_{gs} en la ecuación del voltaje de salida se tiene,

$$v_o = -gm v_i [R_D \parallel (R_1 + R_2)] \parallel R_L$$

$$\frac{v_o}{v_i} = -gm [R_D \parallel (R_1 + R_2)] \parallel R_L$$

CALCULO DEL FACTOR DE REALIMENTACIÓN

$$-v_F = \gamma v_o$$

$$\gamma = -\frac{v_f}{v_o}$$

Del circuito realimentado

$$v_f = \frac{v_o R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\frac{v_f}{v_o} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\gamma = -\frac{v_f}{v_o} = -\frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

RETROALIMENTACIÓN DE TENSIÓN RESTA DE CORRIENTE

Voltaje en paralelo

Paralelo-paralelo

(Amplificador de transresistencia, $A = \frac{v_o}{i_i}$)

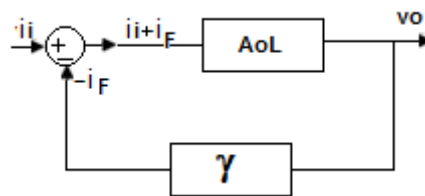
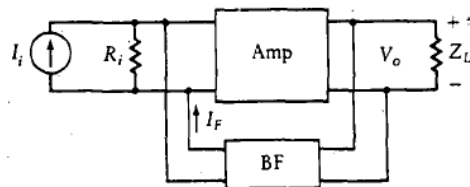


Diagrama de bloques del amplificador de transresistencia



Topología del amplificador de transresistencia

Ejemplo 4.

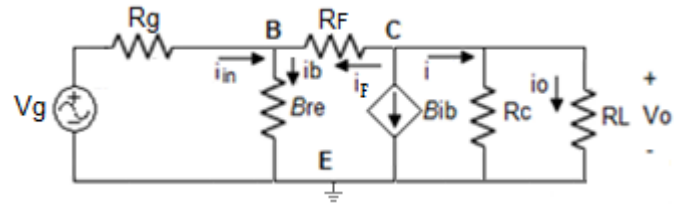
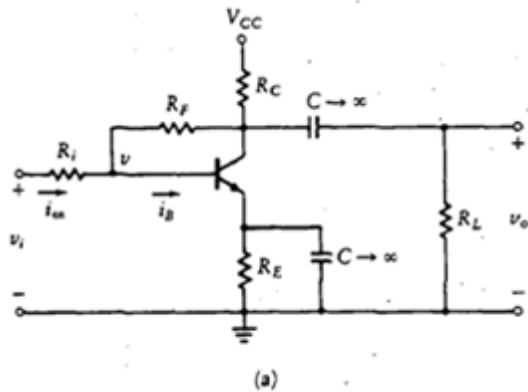


Figura 11.5 Retroalimentación de tensión. Resta de corriente.

Fuente: Savant, C. Diseño Electrónico, Circuitos y Sistemas. México D.F. Tercera edición. Prentice Hall. 2000. Capítulo 11, pág

ANÁLISIS EN LAZO CERRADO

Ecuación LKC en el nodo de salida (colector)

$$i_F + \beta i_b + i = 0$$

$$i = -(\beta i_b + i_F)$$

Ecuación LKC en el nodo de entrada (base)

$$i_{in} + i_F = i_b$$

$$i_F = i_b - i_{in}$$

Reemplazando la ecuación anterior en la ecuación de la corriente i se tiene,

$$i = -(\beta i_b + i_b - i_{in})$$

$$i = -[(\beta + 1)i_b - i_{in}]$$

$$i = -\beta i_b + i_{in}$$

Ecuación del voltaje de salida

$$V_O = (R_C \parallel R_L)i$$

$$V_O = (R_C \parallel R_L)(-\beta i_b + i_{in})$$

$$V_O = -\beta i_b (R_C \parallel R_L) + i_{in} (R_C \parallel R_L)$$

LKC en el nodo V (Base)

$$i_{in} + i_F = i_b$$

$$i_{in} + \frac{V_O - v_B}{R_F} = i_b$$

$$i_{in} + \frac{V_O}{R_F} - \frac{v_B}{R_F} = i_b$$

$$i_{in} + \frac{V_O}{R_F} - \frac{i_b \beta r_e}{R_F} = i_b$$

$$i_{in} + \frac{V_O}{R_F} = \left(1 + \frac{\beta r_e}{R_F}\right) i_b$$

Multiplicando a ambos lados de la ecuación por R_F

$$R_F i_{in} + V_O = (R_F + \beta r_e) i_b$$

$$\frac{R_F i_{in} + V_O}{R_F + \beta r_e} = i_b$$

Reemplazando la ecuación anterior en la ecuación del voltaje de salida se tiene:

$$V_O = -\beta i_b (R_C \parallel R_L) + i_{in} (R_C \parallel R_L)$$

$$V_O = -\beta \frac{R_F i_{in} + V_O}{R_F + \beta r_e} R_C \parallel R_L + i_{in} (R_C \parallel R_L)$$

Multiplicando la ecuación anterior por $R_F + \beta r_e$

$$V_O (R_F + \beta r_e) = -\beta R_F i_{in} (R_C \parallel R_L) - \beta V_O (R_C \parallel R_L) + i_{in} (R_C \parallel R_L) (R_F + \beta r_e)$$

Agrupando términos,

$$V_O (R_F + \beta r_e + \beta (R_C \parallel R_L)) = i_{in} (R_C \parallel R_L) (-\beta R_F + R_F + \beta r_e)$$

$$V_O (R_F + \beta r_e + \beta (R_C \parallel R_L)) = i_{in} (R_C \parallel R_L) [R_F (-\beta + 1) + \beta r_e]$$

$$V_O (R_F + \beta r_e + \beta (R_C \parallel R_L)) = i_{in} (R_C \parallel R_L) (-\beta R_F + \beta r_e)$$

$$\frac{V_O}{i_{in}} = \frac{\beta (R_C \parallel R_L) (-R_F + r_e)}{R_F + \beta (r_e + R_C \parallel R_L)}$$

Despreciando el valor de r_e en comparación con R_F y $R_C \parallel R_L$ se tiene,

$$\frac{V_O}{i_{in}} = -\frac{\beta R_F (R_C \parallel R_L)}{R_F + \beta (R_C \parallel R_L)}$$

CALCULO DE LA GANCIA EN LAZO ABIERTO Y EL FACTOR DE RETROALIMENTACIÓN

Si se toma la ecuación de la ganancia en lazo cerrado y se divide el numerador y el denominador por R_F para obtener una ganancia en lazo cerrado de la forma $\frac{A_{OL}}{1 + \gamma A_{OL}}$ se puede calcular la ganancia en lazo abierto y el factor de retroalimentación

$$\frac{V_O}{i_{in}} = -\frac{\beta R_F (R_C \parallel R_L)}{R_F + \beta (R_C \parallel R_L)}$$

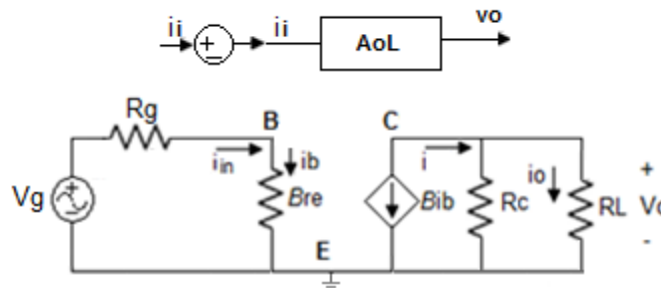
$$\frac{V_O}{i_{in}} = -\frac{\beta (R_C \parallel R_L)}{1 + \frac{\beta (R_C \parallel R_L)}{R_F}}$$

$$A_{OL} = -\beta (R_C \parallel R_L)$$

$$1 + \gamma A_{OL} = 1 + \frac{\beta (R_C \parallel R_L)}{R_F}$$

$$\gamma = -\frac{1}{R_F}$$

ANÁLISIS DEL CIRCUITO EN LAZO ABIERTO (SIN REALIMENTACIÓN)



$$\begin{aligned}
 V_O &= R_L i_O \\
 i_O &= -\beta i_b \frac{R_C}{R_C + R_L} \\
 V_O &= R_L \left(-\beta i_b \frac{R_C}{R_C + R_L} \right) = -\beta i_b \frac{R_C R_L}{R_C + R_L} = -\beta i_b R_C \parallel R_L \\
 i_{in} &= i_b \\
 V_O &= -\beta i_{in} R_C \parallel R_L \\
 \frac{V_O}{i_{in}} &= -\beta (R_C \parallel R_L)
 \end{aligned}$$

CALCULO DEL FACTOR DE REALIMENTACIÓN

Otra forma de calcular el factor de retroalimentación sin conocer la ganancia en lazo cerrado, es hallando la relación directa entre el parámetro de salida (V_O) y el parámetro de realimentación del circuito realimentado (I_F)

$$\begin{aligned}
 -i_F &= \gamma V_O \\
 \gamma &= -\frac{i_F}{V_O}
 \end{aligned}$$

Del circuito en lazo cerrado se tiene,

$$\begin{aligned}
 i_F &= \frac{V_O - v_B}{R_F} = \frac{V_O}{R_F} - \beta i_b \frac{r_e}{R_F} \\
 V_O &= (R_C \parallel R_L) i \\
 i &= \frac{V_O}{(R_C \parallel R_L)}
 \end{aligned}$$

De la LKC en el nodo V_O se tiene,

$$\begin{aligned}
 i_F + \beta i_b &= 0 \\
 i_F + i &= -\beta i_b
 \end{aligned}$$

Reemplazando en la ecuación anterior i en términos de V_O se tiene,

$$i_F + \frac{V_O}{R_C \parallel R_L} = -\beta i_b$$

Reemplazando la ecuación anterior en la ecuación de i_F se tiene

$$\begin{aligned}
 i_F &= \frac{V_O}{R_F} - \beta i_b \frac{r_e}{R_F} \\
 i_F &= \frac{V_O}{R_F} + \frac{r_e}{R_F} \left(i_F + \frac{V_O}{R_C \parallel R_L} \right)
 \end{aligned}$$

$$i_F \left(1 - \frac{r_e}{R_F} \right) = V_O \left(\frac{1}{R_F} + \frac{r_e}{R_C \parallel R_L} \right)$$

Multiplicando la ecuación anterior por R_F

$$i_F (R_F - r_e) = V_O \left(1 + \frac{R_F r_e}{R_C \parallel R_L} \right)$$

Despreciando el valor de r_e con respecto a R_F

$$\frac{i_F}{V_O} = \frac{1 + \frac{R_F r_e}{R_C \parallel R_L}}{R_F}$$

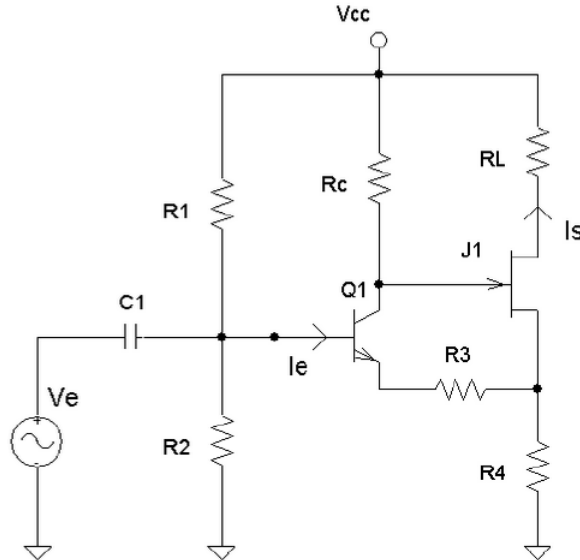
$$\frac{i_F}{V_O} = \frac{1}{R_F} + \frac{R_F r_e}{R_F (R_C \parallel R_L)}$$

$$\frac{i_F}{V_O} = \frac{1}{R_F} + \frac{r_e}{(R_C \parallel R_L)}$$

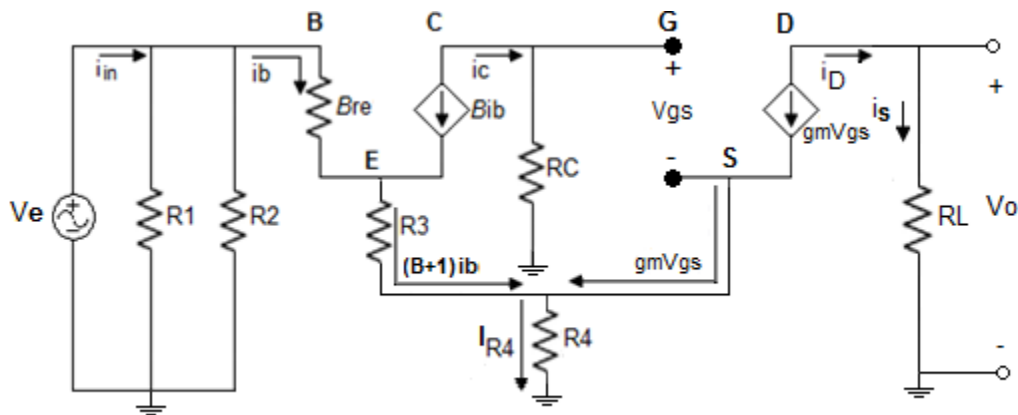
Despreciando el valor de $r_e/R_C \parallel R_L$

$$\gamma = -\frac{i_F}{V_O} = -\frac{1}{R_F}$$

Ejemplo 5. Para el circuito hallar la transadmitancia o ganancia I_s/v_e



Fuente: López Dorado, Almudena Martínez Arribas, Alejandro. Circuitos Electrónicos Básicos. Ed. Servicio de Publicaciones. Universidad de Alcalá. 2011 Capítulo 6, pág.



$$i_s = i_D = -gm v_{gs}$$

$$v_{gs} = v_g - v_s = v_{RC} - v_{R4}$$

$$v_{gs} = -R_{C1} \beta i_b - R_4 (\beta i_b + gm v_{gs})$$

$$v_{gs} = -\beta i_b (R_C + R_4) - R_4 gm v_{gs}$$

$$v_{gs} = -\frac{\beta i_b (R_C + R_4)}{1 + R_4 gm}$$

Elaborado por: Yeimi Muñoz Calderón

$$\begin{aligned}
v_e &= v_{\beta re} + v_{R3} + v_{R4} \\
v_e &= \beta r_e i_b + R_3 \beta i_b + R_4 (\beta i_b + g m v_{gs}) \\
v_e &= \beta r_e i_b + R_3 \beta i_b + R_4 \beta i_b + R_4 g m v_{gs} \\
v_e &= \beta r_e i_b + R_3 \beta i_b + R_4 \beta i_b + R_4 g m \left[-\frac{\beta i_b (R_C + R_4)}{1 + R_4 g m} \right] \\
v_e &= \beta i_b \left[r_e + R_3 + R_4 - \frac{R_4 g m (R_C + R_4)}{1 + R_4 g m} \right] \\
\beta i_b &= \frac{v_e}{r_e + R_3 + R_4 - \frac{R_4 g m (R_C + R_4)}{1 + R_4 g m}} \\
i_s &= -g m \left[\frac{v_e}{r_e + R_3 + R_4 - \frac{R_4 g m (R_C + R_4)}{1 + R_4 g m}} \right] \left[-\frac{(R_C + R_4)}{1 + R_4 g m} \right] \\
\frac{i_s}{v_e} &= \frac{g m (R_C + R_4)}{(1 + R_4 g m)(r_e + R_3 + R_4) - R_4 g m (R_C + R_4)}
\end{aligned}$$

La retroalimentación influye en la ganancia del amplificador, en su respuesta en frecuencia, específicamente en el ancho de banda y finalmente en la distorsión.