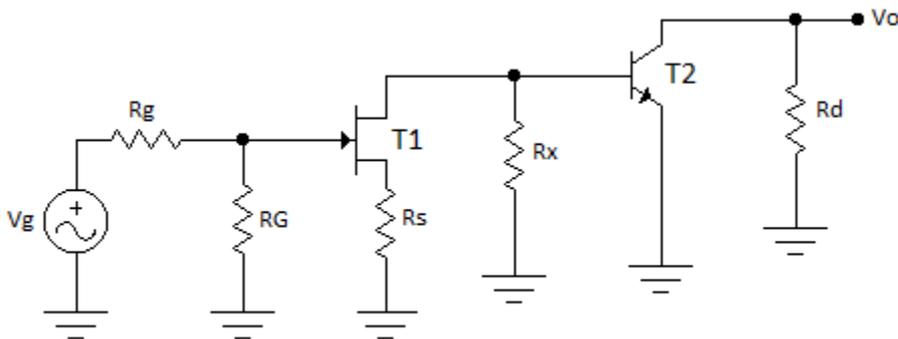




EJEMPLO DE PROYECTO DE REALIMENTACIÓN

- 1) En la siguiente multietapa se pide:
 a) Realimentar de manera tal que $R_{osf} < 160 \Omega$.
 b) Calcular A_{vsf} y R_{isf} del circuito real.

DATOS: $R_g = 600 \Omega$ $R_x = 2K4$ $I_{DQ1} = 6 \text{ mA}$ $V_p = -6 \text{ V}$ $I_{CQ2} = 3 \text{ mA}$
 $R_G = 2M2$ $R_d = 2K$ $I_{DSS} = 10 \text{ mA}$ $r_{o1} = 80K$ $h_{fe} = 200$
 $R_s = 820 \Omega$ $\eta = 3 \cdot 10^{-4}$



Como el problema pide obtener una baja R de salida **debemos tomar muestra de tensión en paralelo**.

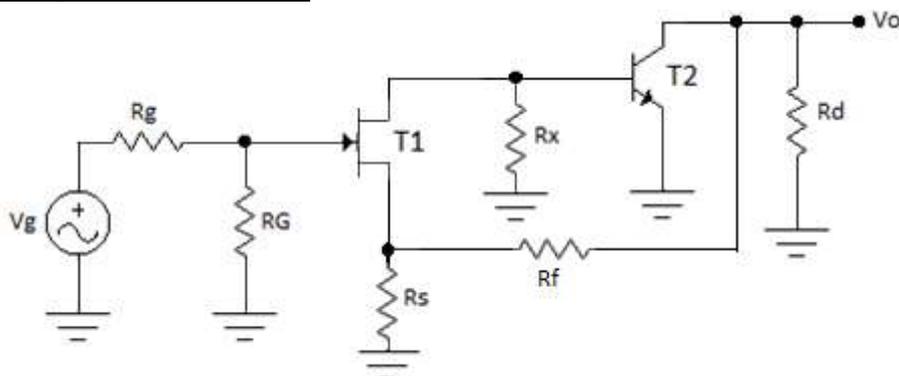
Existen por lo tanto 2 topologías posibles: **tensión-tensión o tensión-corriente**.

Como la primera etapa es una configuración fuente común que presenta una resistencia de entrada del **orden de los $M\Omega$** , no tiene sentido la mezcla de **corriente en paralelo**, por lo tanto la topología utilizada es **tensión-tensión o tensión-serie**.

En este caso debemos verificar que en el punto de muestreo la señal esté en fase con la señal de excitación. Como ambas etapas defasan 180 grados cada una, **V_o está en fase con V_g** , por lo tanto se **verifica que la realimentación negativa**.

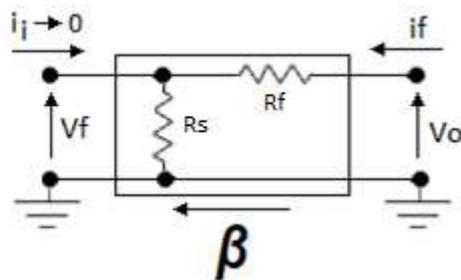
En consecuencia nuestro circuito realimentado queda de la siguiente manera:

Topología tensión-tensión





Donde nuestro cuadripolo β es un simple divisor de tensión:



$$\beta = \frac{v_f}{v_o} = \frac{R_s}{R_s + R_f}$$

El paso siguiente es determinar cuál debe ser **el valor de D** para obtener la $R_{osf} < 160 \Omega$.

La R_{os} del circuito a lazo abierto es $R_{os} = R_d = 2k\Omega$ por lo tanto el **valor de D** lo obtenemos de la siguiente manera:

$$D = \frac{R_{os}}{R_{osf}} = \frac{2k\Omega}{160\Omega} = 12,5$$

Por lo tanto $D \geq 12,5 \rightarrow$ Adoptamos $D = 15 \rightarrow D = 15 = 1 + A_v \cdot \beta \rightarrow \beta = \frac{D-1}{A_v} = \frac{14}{A_v}$

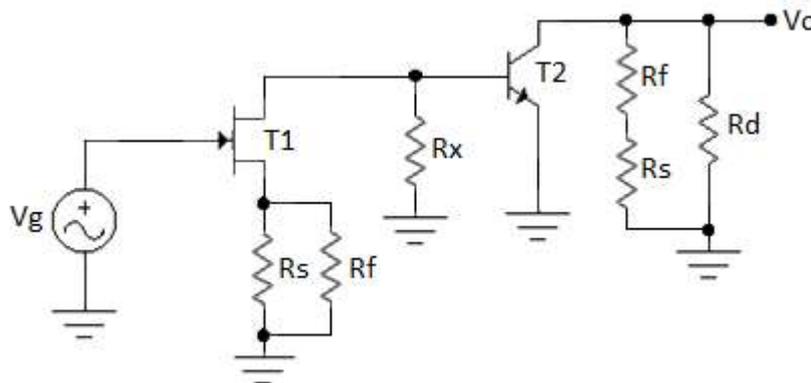
Donde A_v es la ganancia del circuito a **lazo abierto** o sea la ganancia del **amplificador "ficticio"**, la cual debemos calcular.

Partiendo del **circuito realimentado** obtenemos el circuito del **amplificador "ficticio"**.

Como a la **salida** muestreamos **tensión en paralelo**, **cortocircuitamos a masa** el punto donde se toma la muestra y obtenemos la **ME del "ficticio"**.

Como a la **entrada** mezclamos **tensión en serie**, **abrimos** el circuito en el punto de la mezcla y obtenemos la **MS del "ficticio"**.

Por último como **mezclamos en serie** el amplificador "ficticio" **no puede tener elementos en paralelo en la ME**, por lo tanto reemplazamos al generador de excitación junto con la R_G por un generador de tensión "ideal" y a continuación obtenemos nuestro **amplificador "ficticio"**.



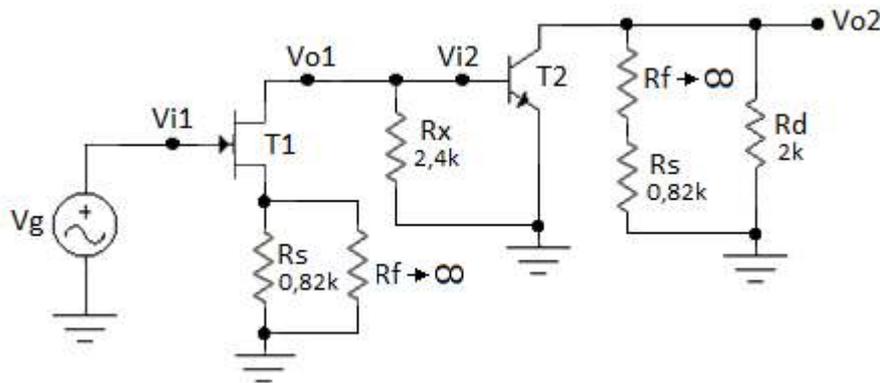
Sabemos que: $D = 15 = 1 + \beta \cdot A_v$ y que β y A_v son función de R_f la cual **no es dato**.

Por lo tanto debemos asignarle distintos valores a R_f y calcular β y A_v hasta **obtener un $D = 15$** .

Para ello usaremos el **método iterativo** y comenzamos asignándole a R_f **el valor infinito**.



En principio nos queda el siguiente **amplificador "ficticio"**:



Calculamos la ganancia $A_v = A_{vs}$ del circuito anterior.

$$A_{vs} = \frac{V_{o2}}{V_{i1}} = \frac{V_{o2}}{V_{i2}} \frac{V_{o1}}{V_{i1}} = A_{v2} \cdot A_{v1}$$

Donde:

$$A_{v2} = g_{m2} \cdot R_{d2}$$

$$g_{m2} = 40 \cdot I_{CQ2} (\text{mA/V}) = 0,12 \text{A/V} \quad R_{d2} = R_d = 2 \text{k}\Omega \quad 1/h_{oe2} = 27 \text{k}\Omega \gg R_d = 2 \text{k}\Omega$$

$$A_{v2} = g_{m2} \cdot R_{d2} = 0,12 \text{A/V} \cdot 2 \text{k}\Omega = 240$$

$$A_{v1} = \frac{g_{m1} \cdot R_{d1}}{1 + g_{m1} \cdot R_s}$$

$$I_{DQ1} = \frac{I_{DSS}}{V_p^2} (V_{GSQ} - V_p)^2 \rightarrow V_{GSQ} = \pm \sqrt{\frac{I_{DQ1} \cdot V_p^2}{I_{DSS}}} + V_p = \pm \sqrt{\frac{6 \text{mA} \cdot 36 \text{V}^2}{10 \text{mA}}} - 6 \text{V} = -1,36 \text{V}$$

$$g_{m1} = \frac{2I_{DSS}}{V_p^2} (V_{GSQ} - V_p) = \frac{20 \text{mA}}{36 \text{V}^2} (-1,36 \text{V} + 6 \text{V}) = 2,6 \text{mA/V}$$

$$R_{d1} = r_{o1} // R_x // h_{ie2} = R_x // h_{ie2} \rightarrow h_{ie2} = h_{fe} / g_m = 1,7 \text{k}\Omega \rightarrow R_{d1} = 2,4 \text{k}\Omega // 1,7 \text{k}\Omega = 1 \text{k}\Omega$$

$$A_{v1} = \frac{g_{m1} \cdot R_{d1}}{1 + g_{m1} \cdot R_s} = \frac{2,6 \text{mA/V} \cdot 1 \text{k}\Omega}{1 + 2,6 \text{mA/V} \cdot 0,82 \text{k}\Omega} = 0,83$$

$$A_{vs} = \frac{V_{o2}}{V_{i1}} = A_{v2} \cdot A_{v1} = 240 \cdot 0,83 = 199,2$$

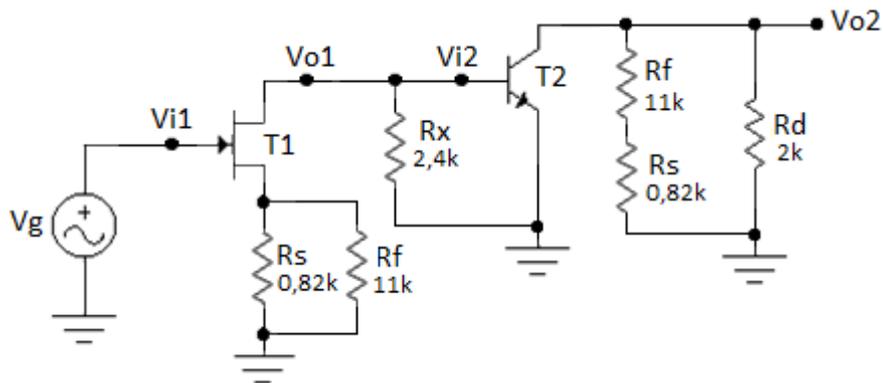
Con A_{vs} del "ficticio" calculamos el **valor necesario de la transferencia de β** para que $D=15$ y luego de la ecuación de β **despejamos R_f** y obtenemos su valor.

$$D = 15 = 1 + \beta \cdot A_{vs} \rightarrow 15 = 1 + \beta \cdot 199,2 \rightarrow \beta = \frac{15-1}{199,2} = \frac{14}{199,2} = 0,07$$

$$\beta = \frac{R_s}{R_s + R_f} = \frac{820 \Omega}{820 \Omega + R_f} = 0,07 \rightarrow R_f = \frac{820 \Omega}{0,07} - 820 \Omega = 10,89 \text{k}\Omega \rightarrow \text{Adoptamos } R_f = 11 \text{k}\Omega$$



Ahora tenemos el amplificador "ficticio" con $R_f = 11k\Omega$



Calculamos nuevamente la ganancia A_v del "ficticio" con el valor de $R_f = 11k\Omega$.

Vemos que la ganancia A_{v1} de T1 **no se modifica**, puesto que la resistencia que tiene conectada al **terminal source** prácticamente no se modificó ya que $0,82k//11k = 0,82k$.

En cambio **sí se modifica** la ganancia A_{v2} de T2 ya que la R_{d2} **disminuyó**.

Antes con $R_f = \infty$ la $R_{d2} = R_d = 2k$, en este caso con $R_f = 11k\Omega$ la $R_{d2} = (11k + 0,82k)//2k = 1,71k\Omega$

Por lo tanto calculamos la **nueva ganancia A_{v2}** y la **A_v del "ficticio"** en función de la nueva R_{d2} .

$$A_{v2} = g_{m2} \cdot R_{d2} = 0,12A/V \cdot 1,71k\Omega = 205$$

$$A_{vs} = \frac{V_{o2}}{V_{i1}} = A_{v2} \cdot A_{v1} = 205 \cdot 0,83 = 170,15$$

Calculamos la **transferecia β** con $R_f = 11k\Omega$

$$\beta = \frac{R_s}{R_s + R_f} = \frac{820\Omega}{820\Omega + 11k\Omega} = 0,0694$$

Con lo cual el **nuevo valor de D** será:

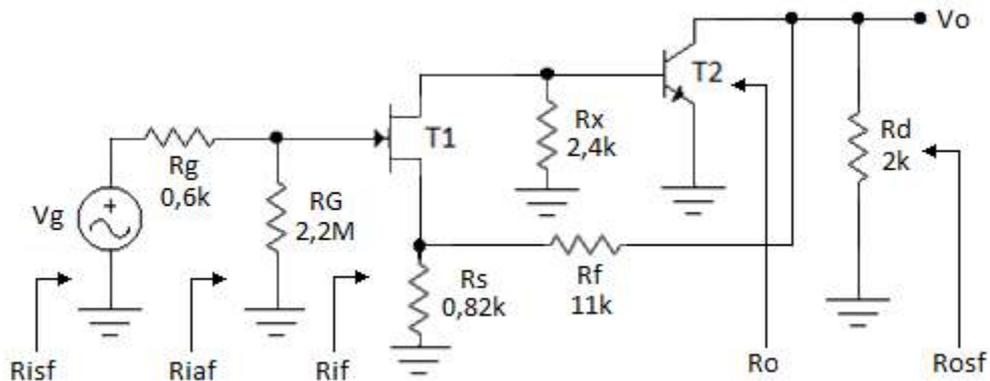
$$D = 1 + \beta \cdot A_{vs} = 1 + 0,0694 \cdot 170,15 = 12,8 \quad \rightarrow \quad \text{siendo el } D \text{ necesario } \geq 12,5$$

La ganancia realimentada será:

$$A_{vsf}^* = A_{vs}/D = 170,15/12,8 = 13,3 \quad A_{vsf} = 1/\beta = 14,4$$

La A_{vsf}^* está calculada con la A_{vs} obtenida del "ficticio", que está excitado con un generador de tensión "ideal" y **sin R_G** en la ME.

Ahora debemos calcular la **A_{vsf} del circuito real dado**, el cual está excitado con un generador de tensión **no ideal** y con **R_G** en la ME, como se indica a continuación:



Por lo tanto:

$$A_{vsf} = A_{vsf}^* \cdot R_{iaf}/R_{isf} = 13,3 \cdot 0,9997 = 13,3 \rightarrow A_{vsf} = A_{vsf}^* = 13,3$$

Como el FET presenta una R de entrada que tiende a infinito, $R_{iaf} = R_G = 2,2M\Omega$ y como esta última es muy alta la relación R_{iaf}/R_{isf} tiende a uno, no habiendo atenuación de tensión en la ME por lo que $A_{vsf} = A_{vsf}^*$.

Por último calculamos las R_i y R_o realimentadas:

$$R_{if} = R_{i1} \cdot D = \infty \cdot D = \infty$$

$$R_{iaf} = R_{if} // R_G = R_G = 2,2M\Omega$$

$$R_{isf} = R_{iaf} + R_g = 2,2M\Omega + 600\Omega = R_{iaf} = 2,2M\Omega$$

$$R_o = R_{o2} = 1/h_{oe2} = 27k\Omega$$

$$R_{os} = R_o // R_d = 27k\Omega // 2k\Omega = 1,9k\Omega$$

$$R_{osf} = R_{os}/D = 1,9k\Omega / 12,8 = 148\Omega \leq 160\Omega$$