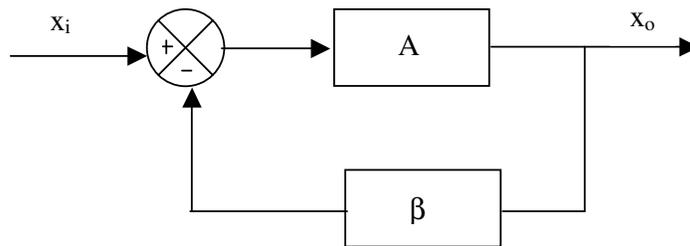


**NOCIONES DE ELECTRÓNICA
ANALÓGICA
(Realimentación)**

REALIMENTACION

Concepto de Realimentación.- Su significado es volver a alimentar, quiere decir que la señal de salida (tensión o intensidad) o parte de esta, la introducimos en la malla de entrada (en serie o paralelo) del circuito en cuestión. Dicha realimentación puede ser positiva o negativa según se sume o reste a la señal de entrada. Si la realimentación es positiva el dispositivo activo se saturara, aquí nuestro objetivo, es el estudio de la **realimentación negativa**.

El esquema de la realimentación negativa, llamado diagrama de bloque, es el siguiente:



En este diagrama tenemos el **bloque** que tiene dirección donde la salida es la entrada multiplicada por la ganancia del bloque.

Punto Suma que es el círculo donde existe entradas y una salida, siendo esta la suma de las entradas (respetando el signo).

En nuestro caso a la salida del punto suma es $x_i - \beta \cdot x_o$

$$\text{Donde la salida } x_o = A \cdot (x_i - \beta \cdot x_o) \quad A_f = \frac{x_o}{x_i} = \frac{A}{1 + \beta \cdot A}$$

A_f ganancia del circuito realimentado (feedback).

A ganancia del circuito sin realimentar.

β factor de realimentación.

$A \cdot \beta$ es la ganancia lazo.

Puede ocurrir varios casos:

$A_f < A$ realimentación negativa donde $(1 + \beta \cdot A) > 1$ $\beta \cdot A > 0$

$A_f > A$ realimentación positiva donde $(1 + \beta \cdot A) < 1$ $\beta \cdot A < 0$

Dentro de este caso puede ocurrir que $(1 + \beta \cdot A) = 0$ $\beta \cdot A = -1$

Entonces tenemos un Oscilador.

A partir de ahora nos dedicaremos a la **realimentación negativa**:

Sensibilidad de la ganancia: Vamos a definir la sensibilidad:

$$S_b^a = \frac{\frac{\delta \cdot a}{a}}{\frac{\delta \cdot b}{b}} = \frac{\delta \cdot a}{\delta \cdot b} \cdot \frac{b}{a} \quad \frac{\delta \cdot a}{a} = S_b^a \cdot \frac{\delta \cdot b}{b}$$

Quiere decir si **b** varía en un porcentaje **a**

variará en ese porcentaje multiplicado por la sensibilidad y si esta cantidad es inferior a la unidad, su variación porcentual será inferior, que es lo que ocurre en la realimentación negativa.

Vamos a calcular la sensibilidad de A_f con respecto a A en un circuito realimentado.. Calculemos primero la derivada de A_f con respecto a A y sustituyamos en la fórmula de sensibilidad..

$$\frac{\delta \cdot A_f}{\delta \cdot A} = \frac{(1 + \beta \cdot A) - \beta \cdot A}{(1 + \beta \cdot A)^2} = \frac{1}{(1 + \beta \cdot A)^2}$$

$$S_A^{A_f} = \frac{\delta \cdot A_f}{\delta \cdot A} \cdot \frac{A}{A_f} = \frac{1}{(1 + \beta \cdot A)^2} \cdot \frac{A}{\frac{A}{(1 + \beta \cdot A)}} = \frac{1}{(1 + \beta \cdot A)}$$

esta cantidad es menor que la

unidad en la realimentación negativa, lo cual quiere decir que la ganancia del circuito realimentado es menos sensible a las variaciones de la ganancia del circuito sin realimentar. Es decir sí en el circuito varía A una cantidad porcentual, A_f variará esa cantidad porcentual multiplicada por la sensibilidad que en este caso es menor que la unidad. Es decir el circuito será más estable y menos sensible a las variaciones de A .

Sensibilidad del factor de realimentación β :

$$\frac{\delta \cdot A_f}{\delta \cdot \beta} = \frac{-A \cdot A}{(1 + \beta \cdot A)^2}$$

$$S_\beta^{A_f} = \frac{\delta \cdot A_f}{\delta \cdot \beta} \cdot \frac{\beta}{A_f} = \frac{-A \cdot A}{(1 + \beta \cdot A)^2} \cdot \frac{\beta}{\frac{A}{(1 + \beta \cdot A)}} = \frac{-A \cdot \beta}{1 + \beta \cdot A}$$

esta cantidad es menor que la

unidad.

El signo menos significa que un incremento positivo de β , le corresponde un incremento negativo de A_f .

Variación del ancho de banda del circuito realimentado. La ganancia de un circuito en función de la frecuencia nos viene expresada por:

Baja frecuencia: $A_L = \frac{A_o}{1 - \frac{j \cdot \omega_L}{\omega}}$ Donde A_o es la ganancia del circuito en

frecuencias intermedias. Si realimentamos este circuito tendremos:

$$A_{Lf} = \frac{\frac{A_o}{1 - \frac{j \cdot \omega_L}{\omega}}}{1 + \beta \cdot \frac{A_o}{1 - \frac{j \cdot \omega_L}{\omega}}} = \frac{A_o}{1 - \frac{j \cdot \omega_L}{\omega} + \beta \cdot A_o} = \frac{\frac{A_o}{1 + \beta \cdot A_o}}{1 - \frac{j \cdot \omega_L}{(1 + \beta \cdot A_o) \cdot \omega}} = \frac{A_f}{1 - \frac{j \cdot \omega_{Lf}}{\omega}} \quad \text{donde}$$

llegamos a la conclusión que $\omega_{Lf} = \frac{\omega_L}{(1 + \beta \cdot A_o)}$ frecuencia del circuito realimentado, en

baja frecuencia, a la cual cae 3 dB. disminuye en un factor de $\frac{1}{(1 + \beta \cdot A_o)}$.

Alta frecuencia: $A_H = \frac{A_o}{1 + \frac{j \cdot \omega}{\omega_H}}$ Donde A_o es la ganancia del circuito en

frecuencias intermedias. Si realimentamos este circuito tendremos:

$$A_{Hf} = \frac{\frac{A_o}{1 + \frac{j \cdot \omega}{\omega_H}}}{1 + \beta \cdot \frac{A_o}{1 + \frac{j \cdot \omega}{\omega_H}}} = \frac{A_o}{1 + \frac{j \cdot \omega}{\omega_H} + \beta \cdot A_o} = \frac{\frac{A_o}{1 + \beta \cdot A_o}}{1 + \frac{j \cdot \omega}{(1 + \beta \cdot A_o) \cdot \omega_H}} = \frac{A_f}{1 + \frac{j \cdot \omega}{\omega_{Hf}}} \quad \text{donde llegamos a}$$

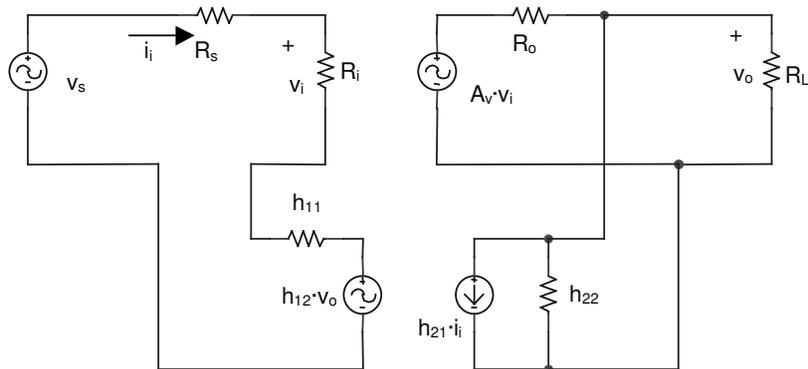
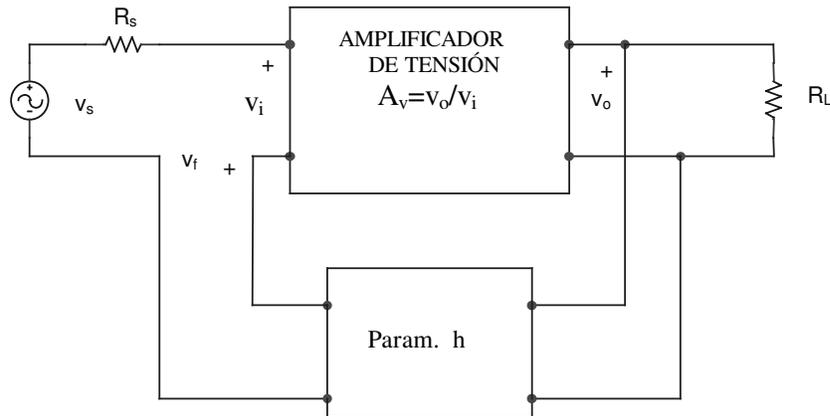
la conclusión que $\omega_{Hf} = \omega_H \cdot (1 + \beta \cdot A_o)$ frecuencia del circuito realimentado, en alta frecuencia, a la cual cae 3 dB. aumenta en un factor de $(1 + \beta \cdot A_o)$.

En el circuito realimentado la baja frecuencia a la cual cae 3 dB. disminuye, en cambio la alta frecuencia a la cual cae 3 dB. aumenta luego llegamos a la conclusión que el ancho de banda del amplificador realimentado aumenta con respecto al amplificador sin realimentar. (todo debido a la perdida de ganancia del circuito realimentado negativamente).

Cuando se habla de ganancia no especificamos tipo de ganancia, ya que esta es, una salida partida por una entrada, tanto la entrada como la salida puede ser la intensidad o la tensión de ahí que haya cuatro tipos de ganancias, ganancia de tensión ($A_v = v_o/v_i$), intensidad ($A_i = i_o/i_i$), transresistencia ($R_m = v_o/i_i$) y transconductancia ($G_m = i_o/v_i$), que se utilizaran para los diferentes tipos de realimentación.

Tipos de realimentación.- La salida de nuestro circuito puede ser una tensión o una intensidad e introducirla en la entrada en serie o en paralelo, de ahí los cuatro tipos de realimentación: tensión en serie, tensión en paralelo, intensidad en serie intensidad en paralelo. A continuación sus esquemas:

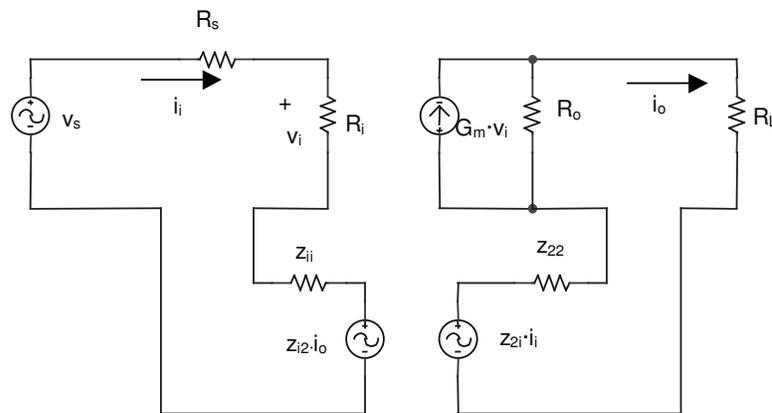
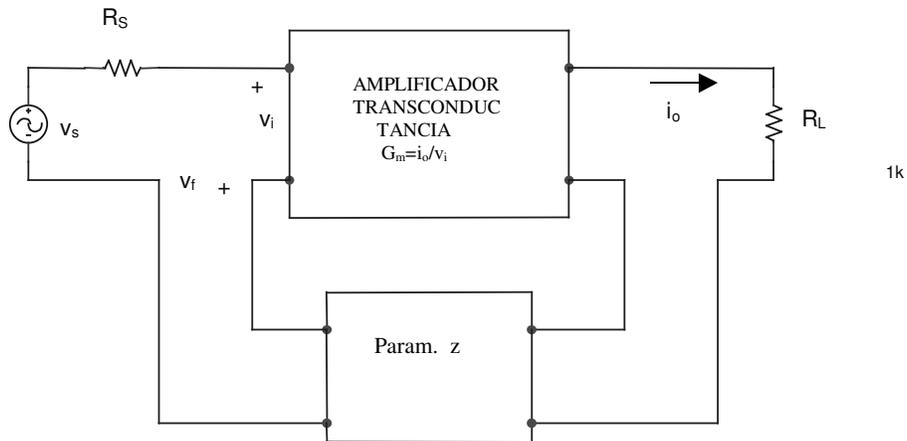
REALIMENTACIÓN TENSIÓN SERIE



La fuente de salida del cuadripolo de realimentación $h_{21} \cdot i_i$ la despreciamos frente a la fuente de tensión del cuadripolo de amplificación $A_v \cdot v_i$. Ya que suele cumplir:

$\frac{A_v \cdot v_i}{R_o}$ mucho mayor que $h_{21} \cdot i_i = h_{21} \cdot \frac{v_i}{R_i}$ luego llegamos a $\frac{A_v}{R_o}$ mucho mayor que $\frac{h_{21}}{R_i}$ que generalmente cumple, y obtenemos el circuito equivalente.

REALIMENTACIÓN INTENSIDAD EN SERIE



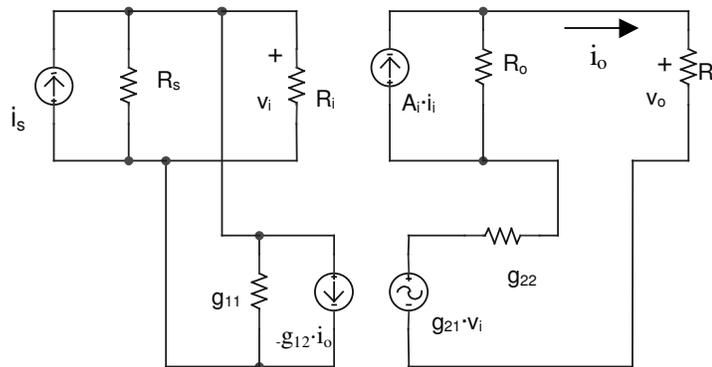
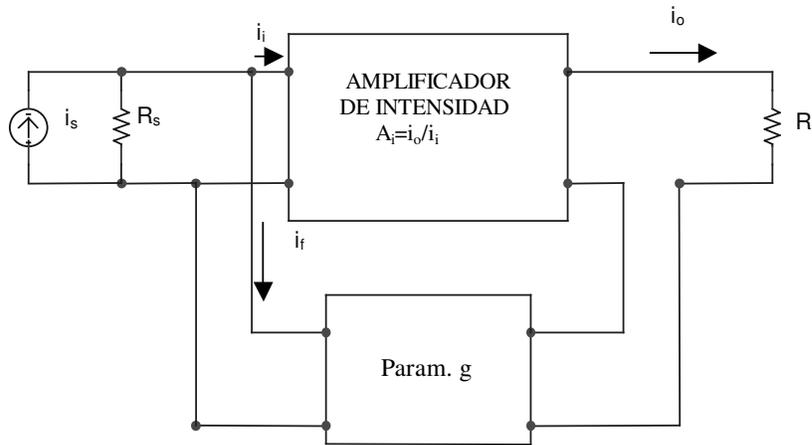
La fuente de salida del cuadripolo de realimentación $z_{21} \cdot i_i$ la despreciamos frente a la fuente de intensidad del cuadripolo de amplificación $G_m \cdot v_i$.

Ya que suele cumplir:

$G_m \cdot v_i \cdot R_o$ mucho mayor que $z_{12} \cdot i_i = \frac{v_i}{R_i}$ luego llegamos a $G_m \cdot R_o$ mucho mayor que

$\frac{z_{21}}{R_i}$ que generalmente cumple, y obtenemos el circuito equivalente.

REALIMENTACIÓN DE INTENSIDAD EN PARALELO

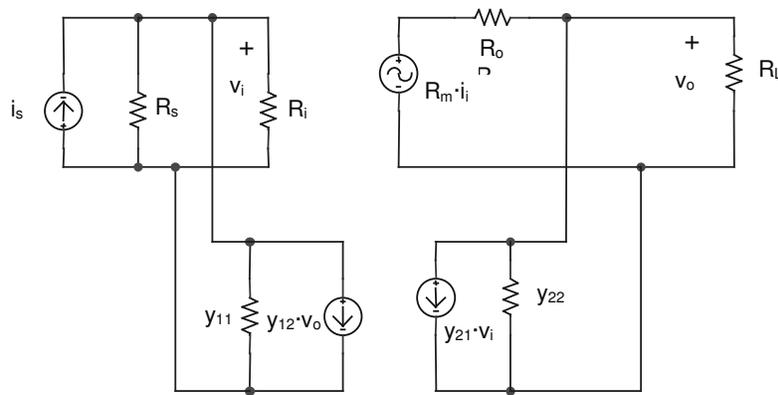
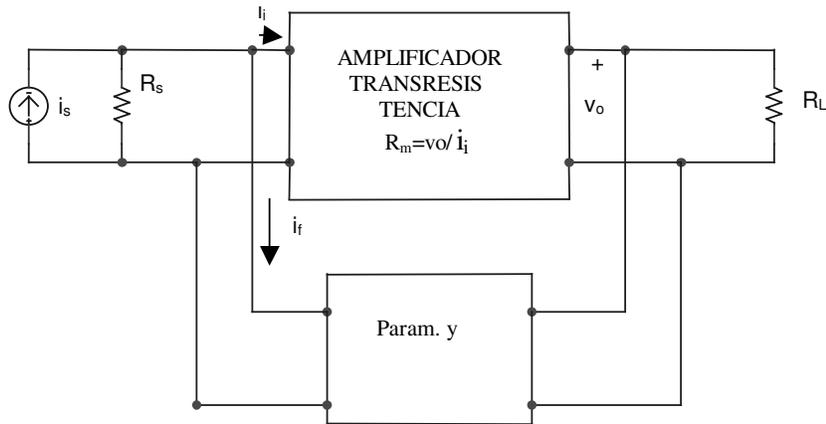


La fuente de salida del cuadripolo de realimentación $g_{21} \cdot v_i$ la despreciamos frente a la fuente de intensidad del cuadripolo de amplificación $A_i \cdot i_i$.

Ya que suele cumplir:

$A_i \cdot i_i \cdot R_o$ mucho mayor que $g_{12} \cdot v_i = g_{12} \cdot i_i \cdot R_i$ luego llegamos a $A_i \cdot R_o$ mucho mayor que $g_{12} \cdot R_i$ que generalmente cumple, y obtenemos el circuito equivalente.

REALIMENTACIÓN TENSIÓN PARALELO

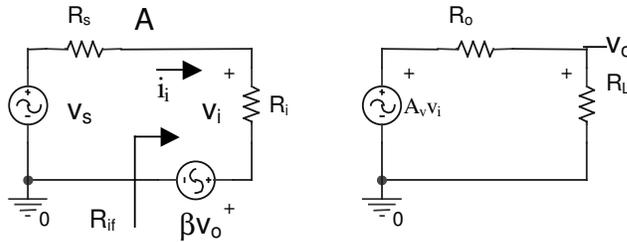


La fuente de salida del cuadripolo de realimentación $y_{12} \cdot v_i$ la despreciamos frente a la fuente de tensión del cuadripolo de amplificación $R_m \cdot i_i$. Ya que suele cumplir:

$\frac{R_m \cdot i_i}{R_o}$ mucho mayor que $y_{21} \cdot v_i = y_{21} \cdot i_i \cdot R_i$ luego llegamos a $\frac{R_m}{R_o}$ mucho mayor que $y_{21} \cdot R_i$ que generalmente cumple, y obtenemos el circuito equivalente.

Calculo de resistencias de entrada y salida en la realimentación de tensión en serie.

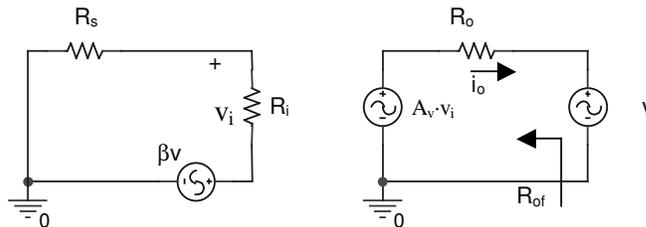
a) En el circuito realimentado de la figura, vamos a calcular en primer lugar la resistencia de entrada desde el punto A a masa hacia la salida.



$$R_{if} = \frac{v_A}{i_i} = \frac{v_i + \beta \cdot v_o}{i_i} = \frac{v_i + \beta \cdot \frac{A_v \cdot v_i \cdot R_L}{R_L + R_o}}{i_i} = \frac{v_i (1 + \beta \cdot A_v)}{i_i} = R_i (1 + \beta \cdot A_v)$$

En donde $A_v = \frac{A_v \cdot R_L}{R_L + R_o} = \frac{v_o}{v_A}$ ganancia del circuito sin realimentar (ganancia de tensión).

b) Para la resistencia de salida la fuente de entrada se cortocircuita (por ser de tensión) y en la carga se pone una fuente v, y esta partido por la intensidad que circula por ella en valor absoluto nos calcula el resultado deseado. El circuito es el siguiente:



$$v_i = \frac{-\beta \cdot v \cdot R_i}{R_i + R_s} \quad i_o = \frac{A_v \cdot v_i - v}{R_o} = \frac{-A_v \cdot \beta \cdot v \cdot R_i}{R_i + R_s} - v = \frac{-\beta \cdot A_{vs} \cdot v - v}{R_o} \quad \text{en donde}$$

$$A_{vs} = \frac{A_v \cdot R_i}{R_i + R_s} \quad \text{y de estos valores se obtiene la resistencia de salida}$$

$$R_{of} = \frac{v}{[i_o]} = \frac{v}{\frac{-\beta \cdot A_{vs} \cdot v - v}{R_o}} = \frac{R_o}{1 + \beta \cdot A_{vs}}$$

Nociones de Realimentación

Nota:

R_i resistencia de entrada desde los puntos en cuestion del circuito sin realimentar.

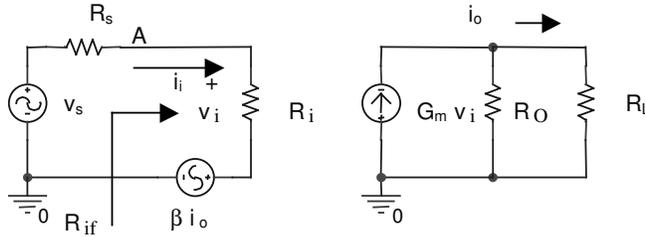
R_o resistencia de salida, del circuito sin realimentar, sin tener presente la resistencia de la carga.

A_{vs} ganancia de tensión, del circuito sin realimentar, v_o/v_s donde la resistencia de la carga se hace igual a infinito.

A_v ganancia de tensión v_o/v_A , del circuito sin realimentar.

Calculo de resistencias de entrada y salida en la realimentación de intensidad en serie.

a) En el circuito de la figura vamos a calcular en primer lugar la resistencia de entrada del circuito realimentado:



$$R_f = \frac{v_A}{i_i}$$

$$v_A = i_i \cdot R_i + \beta \cdot i_o = i_i \cdot R_i + \beta \cdot \frac{G_m \cdot v_i \cdot R_o}{R_o + R_L} = i_i \cdot R_i + \beta \cdot G_M \cdot i_i \cdot R_i = i_i \cdot R_i (1 + \beta \cdot G_M)$$

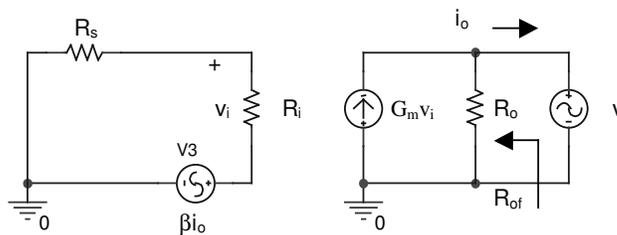
siendo $G_M = \frac{G_m \cdot R_o}{R_o + R_L} = \frac{i_o}{v_A}$ es la ganancia del circuito sin realimentar

(transconductancia)

Luego la resistencia de entrada es:

$$R_f = \frac{v_A}{i_i} = \frac{i_i \cdot R_i \cdot (1 + \beta \cdot G_M)}{i_i} = R_i \cdot (1 + \beta \cdot G_M)$$

b) La resistencia de salida del circuito realimentado:



$$R_{of} = \frac{v}{[i_o]}$$

$$i_o = \frac{-v}{R_o} + G_m \cdot v_i = \frac{-v}{R_o} + G_m \cdot \frac{-\beta \cdot i_o \cdot R_i}{R_i + R_s} = \frac{-v}{R_o} - \beta \cdot G_{ms} \cdot i_o$$

en donde $i_o = \frac{-v}{R_o \cdot (1 + \beta \cdot G_{ms})}$ siendo $G_{ms} = \frac{G_m \cdot R_i}{R_i + R_s} = \frac{i_o}{v_s}$ Luego la

resistencia de salida es:

Nociones de Realimentación

$$R_{of} = \frac{v}{[i_o]} = \frac{v}{\frac{v}{R_o(1 + G_{ms} \cdot \beta)}} = R_o \cdot (1 + \beta \cdot G_{ms})$$

Nota:

R_i resistencia de entrada desde los puntos en cuestion del circuito sin realimentar.

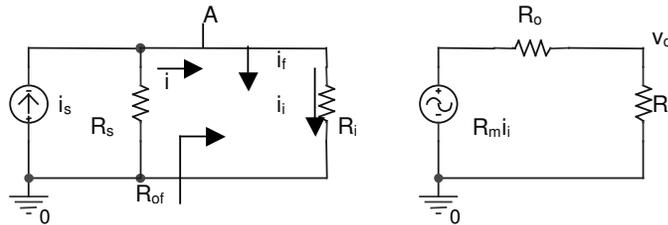
R_o resistencia de salida, del circuito sin realimentar, sin tener en presente la resistencia de la carga.

G_{ms} ganancia de tranconductancia , del circuito sin realimentar, i_o/v_s donde la resistencia de la carga se hace igual a cero.

G_M ganancia de tranconductancia i_o/v_A , del circuito sin realimentar.

Calculo de resistencias de entrada y salida en la realimentación de tensión en paralelo.

- a) En el circuito realimentado de la figura, vamos a calcular en primer lugar la resistencia de entrada en el punto A a masa hacia la salida.



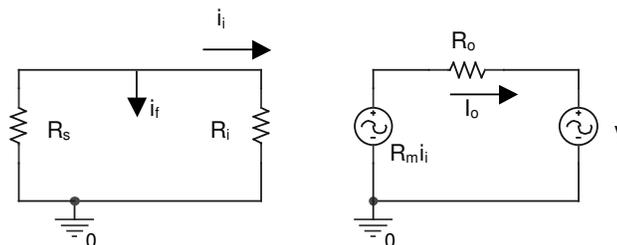
$$R_{if} = \frac{v_A}{i} \quad i_f = \beta \cdot v_o \quad i = i_i + \beta \cdot v_o = i_i + \beta \cdot \frac{R_m \cdot i_i \cdot R_L}{R_L + R_o} = i_i \cdot (1 + \beta \cdot R_M)$$

en donde $R_M = \frac{R_m \cdot R_L}{R_o + R_L} = \frac{v_o}{i}$

Luego la resistencia de entrada del circuito realimentado viene expresada por:

$$R_{if} = \frac{v_A}{i} = \frac{v_i}{i_i \cdot (1 + \beta \cdot R_M)} = \frac{R_i}{1 + \beta \cdot R_M}$$

- b) Para la resistencia de salida la fuente de entrada se abre, por ser de intensidad, y la carga R_L se sustituye por una fuente de tensión v y esta dividida por la intensidad que circula por ella, en valor absoluto, nos dará el resultado deseado. El circuito es el siguiente:



Nociones de Realimentación

Sabemos que $i_f = \beta \cdot v$

$$i_o = \frac{R_m \cdot i_i - v}{R_o} = \frac{R_m \left(\frac{-i_f \cdot R_s}{R_s + R_i} \right) - v}{R_o} = \frac{-R_m \cdot \beta \cdot R_s \cdot v - v}{R_s + R_i} = \frac{-v \cdot (R_{ms} \cdot \beta + 1)}{R_o}$$

Donde $R_{ms} = \frac{R_m \cdot R_s}{R_s + R_i} = \frac{v_o}{i_s}$ es decir la ganancia de transresistencia cuando la resistencia de la carga es igual a infinito.

Luego la resistencia de salida del circuito realimentado nos dará:

$$R_{of} = \frac{v}{[i_o]} = \frac{v}{\frac{v \cdot (1 + R_{ms} \cdot \beta)}{R_o}} = \frac{R_o}{1 + R_{ms} \cdot \beta}$$

Nota:

R_i resistencia de entrada desde los puntos en cuestion del circuito sin realimentar.

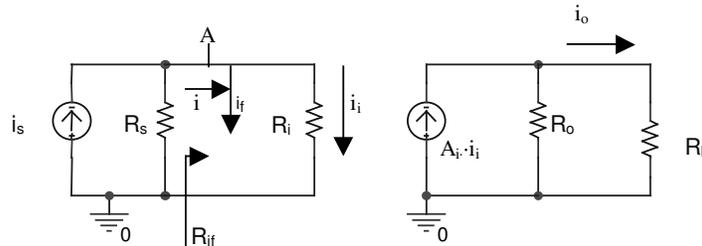
R_o resistencia de salida, del circuito sin realimentar, sin tener en presente la resistencia de la carga.

R_{ms} ganancia de transresistencia, del circuito sin realimentar, v_o/i_s donde la resistencia de la carga se hace igual a infinito. $i_s = v_s/R_s$.

R_M ganancia de transresistencia v_o/i del circuito sin realimentar.

Calculo de resistencias de entrada y salida en la realimentación de intensidad en paralelo.

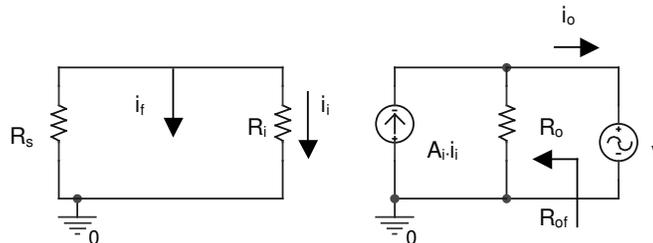
- a) En el circuito de la figura vamos a calcular en primer lugar la resistencia de entrada del circuito realimentado.



$$i_f = \beta \cdot i_o \quad R_{if} = \frac{v_A}{i} = \frac{v_A}{i_f + i_i} = \frac{v_A}{\beta \cdot i_o + i_i} = \frac{v_A}{\frac{\beta \cdot A_i \cdot i_i \cdot R_o}{R_o + R_L} + i_i} = \frac{v_A}{i_i \cdot (1 + \beta \cdot A_i)} = \frac{R_i}{1 + \beta \cdot A_i}$$

donde $A_i = \frac{A_i \cdot R_o}{R_o + R_L} = \frac{i_o}{i} = \frac{i_o}{i_i}$ Es la ganancia de intensidad sin tener presente la realimentación.

- b) La resistencia de salida del circuito realimentado, tenemos el esquema siguiente:



$R_{of} = \frac{[v]}{[i_o]}$ es la resistencia de salida sin tener presente la carga R_L . $i_f = \beta \cdot i_o$

$$i_o = A_i \cdot i_i - \frac{v}{R_o} = A_i \cdot \left(\frac{-i_f \cdot R_s}{R_s + R_i} \right) - \frac{v}{R_o} = A_i \cdot \frac{-\beta \cdot i_o \cdot R_s}{R_s + R_i} - \frac{v}{R_o} = -\beta \cdot A_i \cdot i_o - \frac{v}{R_o}$$

luego: $i_o \cdot (1 + \beta \cdot A_i) = -\frac{v}{R_o} \quad i_o = \frac{-v}{R_o \cdot (1 + \beta \cdot A_i)}$

Nociones de Realimentación

$$A_{is} = \frac{A_i \cdot R_s}{R_s + R_i} = \frac{i_o}{i_s} \quad \text{ganancia de intensidad cuando la carga } R_L \text{ esta cortocircuitada.}$$

$$R_{of} = \frac{[v]}{[i_o]} = \frac{v}{\frac{v}{R_o \cdot (1 + \beta \cdot A_{is})}} = R_o \cdot (1 + \beta \cdot A_{is})$$

R_i resistencia de entrada desde los puntos en cuestion del circuito sin realimentar.

R_o resistencia de salida, del circuito sin realimentar, sin tener en presente la resistencia de la carga.

A_{is} ganancia de intensidad , del circuito sin realimentar, v_o/i_s donde la resistencia de la carga R_L se hace igual a cero.

A_i ganancia de intensidad i_o/i_s del circuito sin realimentar.

Pasos a realizar para resolver un circuito realimentado:

- Saber el tipo de realimentación, para ello tenemos que poner el circuito en cuestion, en forma de dos cuadripolos de amplificación y de realimentación.
- Calcular los parámetros correspondiente al tipo de realimentación del cuadripolo de realimentación y hallar el factor de amplificación β .
- Añadirle estos parámetros al cuadripolo de amplificación, despreciando la fuente de salida del cuadripolo de realimentación.
- Suprimirle a este circuito la fuente de realimentación y calcular la ganancia correspondiente (A_v , A_i , R_m , o G_m), resistencia de entrada y salida.
- Aplicar directamente las formulas del circuito realimentado