

TEMA III AMPLIFICACIÓN ELECTRÓNICA

Lección 5. AMPLIFICACIÓN DE SEÑALES. Parámetros básicos

Lección 6. AMPLIFICADORES OPERACIONALES

Lección 7. REALIMENTACIÓN EN AMPLIFICADORES

Lección 8. OSCILADORES Y GENERADORES DE SEÑALES

LECCIÓN 5 AMPLIFICACIÓN DE SEÑALES

Introducción: definición y aplicación de los amplificadores

El amplificador como bloque: fuentes y cargas

Circuito equivalente de un amplificador de tensión

Otros tipos de amplificadores

Características de un amplificador

Análisis en frecuencia de amplificadores

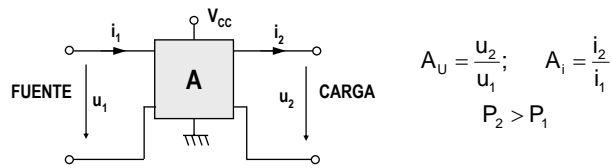
Introducción

Amplificador

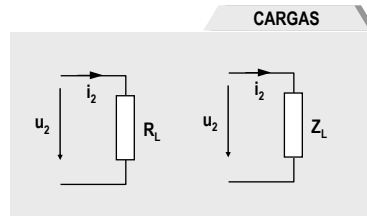
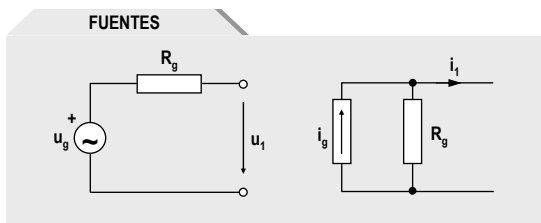
Dispositivo que magnifica una señal
 La potencia en la salida ha de ser mayor que en la entrada \Rightarrow fuente de energía adicional (fuente de alimentación)
 Un transformador NO es un amplificador

Ganancia

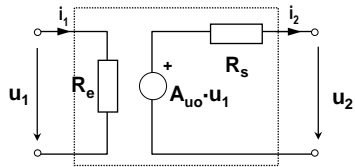
Relación entre la magnitud de salida y la de entrada



Fuentes y cargas



Circuito equivalente de un amplificador de tensión



A_{uo}

Ganancia de tensión en vacío (circuito abierto)

$$A_{uo} = \frac{u_2}{u_1} \Big|_{R_L = \infty}$$

R_e

Resistencia de entrada (cuando se aplica tensión en los terminales de entrada del amplificador, fluye una corriente que determina la R_e)

R_s

Resistencia de salida

$$R_s = \frac{u_2}{i_2} \Big|_{u_1=0}$$

PARÁMETROS ÓPTIMOS

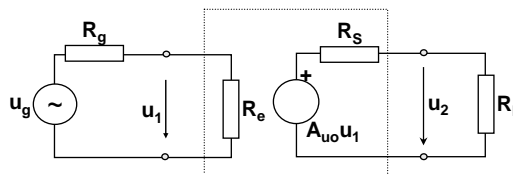
$R_e \uparrow$

$R_s \downarrow$

Ejemplo de amplificador de tensión

Datos

- $A_{uo} = 10$
- $R_e = 1k\Omega$
- $R_s = 10\Omega$
- $u_g = 2 \text{sen}\omega t$ (Volts)
- $R_g = 100\Omega$
- $R_L = 50\Omega$



Solución

$$u_1 = u_g \frac{R_e}{R_e + R_g} = 1,82 \text{sen}\omega t \text{ (Volts)}$$

$$u_2 = A_{uo} \cdot u_1 \frac{R_L}{R_s + R_L} = 15,15 \text{sen}\omega t \text{ (Volts)}$$

Idealmente $u_2 \approx 10u_g$, pero se pierde algo, ¿dónde?

- en R_g cae tensión que no llega al amplificador
- en R_s cae tensión que no llega a la carga

En un amplificador de tensión interesa tener:

$$R_g \ll R_e$$

$$R_s \ll R_L$$

Ganancia en carga A_u

$$A_u = \frac{u_2}{u_1} = \frac{A_{uo} \cdot u_1 \cdot \frac{R_L}{R_s + R_L}}{u_1} = A_{uo} \cdot \frac{R_L}{R_s + R_L}$$

$$A_u = 8,33$$

$$A_{uT} = \frac{u_2}{u_g} = \frac{A_{uo} \cdot u_1 \cdot \frac{R_L}{R_s + R_L}}{u_g} = A_{uo} \cdot \frac{R_g}{R_g + R_s} \cdot \frac{R_L}{R_s + R_L}$$

$$A_{uT} = 7,57$$

Potencia de salida: $P_2 = \frac{U_2^2}{R_L} = 2,3W$

Potencia de entrada: $P_1 = \frac{U_1^2}{R_s} = 1,6mW$

Pérdidas en R_s : $P_{RS} = I_2^2 \cdot R_s = \left(\frac{U_1 \cdot A_{uo}}{R_s + R_L} \right)^2 \cdot R_s = 0,46W$

$$P_1 < P_2 + P_{RS} \Rightarrow \text{Alimentar amplificador}$$

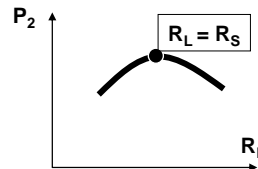
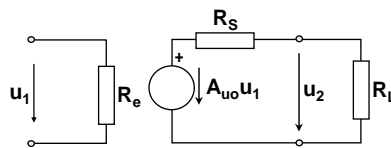
Nota al pie:
 Mayúsculas: Valor eficaz
 Minúsculas: Valor instantáneo

Potencia transferida

$$P_2 = \frac{U_2^2}{R_L}$$

$$U_2 = \frac{A_{uo} \cdot U_1}{R_s + R_L} \cdot R_L$$

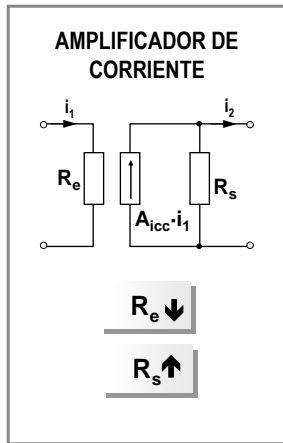
$$P_2 = A_{uo}^2 \cdot U_1^2 \cdot \frac{R_L}{(R_L + R_s)^2}$$



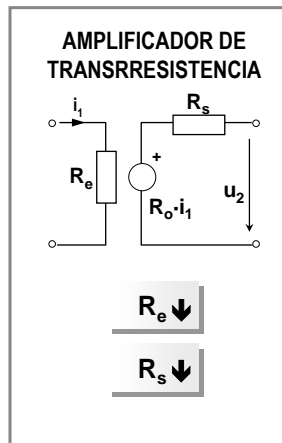
Adaptación impedancias ($R_L = R_s$):
Máxima potencia que puede transferir un amplificador $\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{R_s}} = 50\%$

Transferencia eficiente:
No adaptar impedancias $R_L > R_s \Rightarrow \eta > 50\%$

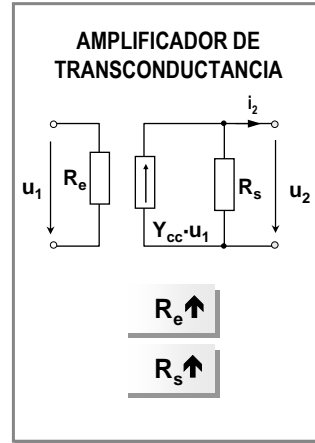
Otros tipos de amplificadores



$$i_2 = A_{il} \cdot i_1$$



$$A_{TR} = \frac{u_2}{i_1}$$



$$A_{TC} = \frac{i_2}{u_1}$$

Características de un amplificador

Ganancia

Se mide en decibelios

$$A_u(\text{dB}) = 20 \log_{10} \frac{u_2}{u_1}$$

$$A_i(\text{dB}) = 20 \log_{10} \frac{i_2}{i_1}$$

$$A_p(\text{dB}) = 10 \log_{10} \frac{P_2}{P_1}$$

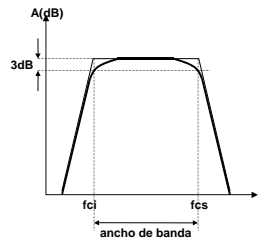
Impedancia de entrada y salida

$$R_e = \frac{u_1}{i_1} \quad R_s = \frac{u_2}{i_2} \Big|_{u_1=0}$$

Respuesta en frecuencia de amplificadores

Frecuencia de corte

Es aquella frecuencia a la que la ganancia cae 3dB respecto de la nominal a frecuencias medias. Podrá haber frecuencias de corte superiores e inferiores.



f_{ci} = frecuencia de corte inferior
 f_{cs} = frecuencia de corte superior
 Condensadores \Rightarrow frecuencia de corte
 3dB: $\sqrt{2}$ en escala lineal

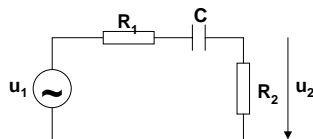
Condensadores en serie en el amplificador

Tienen efecto a bajas frecuencias (a altas frecuencias se comportan como impedancias de valor muy bajo \rightarrow cortocircuitos)

Condensadores en paralelo en el amplificador

Tienen efecto a altas frecuencias (a bajas frecuencias se comportan como impedancias de valor muy alto \rightarrow circuitos abiertos)

Efecto de los condensadores en serie



$$A(\omega) = \frac{u_2}{u_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{j\omega C(R_1 + R_2)}}$$

$$A_m = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad \text{a frecuencias medias}$$

Para que $|A(\omega_L)| = \frac{A_m}{\sqrt{2}}$ (caiga 3dB respecto de la de frecuencias medias) se tiene que cumplir que:

$$\frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{1}{\omega_L C(R_1 + R_2)}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}; \quad \frac{1}{\omega_L C(R_1 + R_2)} = 1$$

$$\omega_L = \frac{1}{C(R_1 + R_2)}$$

Efecto de los condensadores en serie

$$\omega_L = \frac{1}{C(R_1 + R_2)}$$

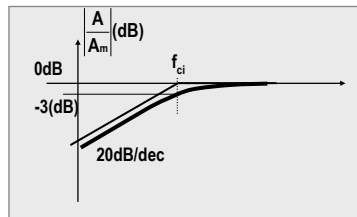
$$A(\omega) = \frac{A_m}{1 - j\frac{\omega_L}{\omega}}$$

ganancia a frecuencias bajas

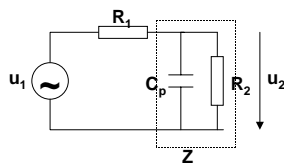
Para $\omega \gg \omega_L$	$A = A_m$
Para $\omega = \omega_L$	$A(\omega_L) = \frac{A_m}{1 - j} = A_m \frac{1 + j}{2}; A(\omega_L) = \frac{A_m}{\sqrt{2}}; \varphi[A(\omega_L)] = 45^\circ$
Para $\omega \ll \omega_L$	$A(\omega) = \frac{A_m}{-j\frac{\omega_L}{\omega}} = A_m j \frac{\omega}{\omega_L}$

Frecuencia de corte inferior debido a C

$$f_{ci} = \frac{1}{2\pi C(R_1 + R_2)}$$



Efecto de los condensadores en paralelo



$$Z = \frac{1}{\frac{1}{R_2} + j\omega C_p} = \frac{R_2}{1 + j\omega C_p R_2} \quad (\text{Z es el paralelo de las impedancias } R_2 \text{ y } C_p)$$

$$A(\omega) = \frac{u_2}{u_1} = \frac{\frac{R_2}{1 + j\omega C_p R_2}}{R_1 + \frac{R_2}{1 + j\omega C_p R_2}} =$$

$$A(\omega) = \frac{u_2}{u_1} = \frac{\frac{R_2}{1 + j\omega C_p R_2}}{\frac{R_1 + R_2 + j\omega C_p R_1 R_2}{1 + j\omega C_p R_2}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{1}{1 + j\omega C_p \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}}$$

Para que $|A(\omega_H)| = \frac{A_m}{\sqrt{2}}$ (caiga 3dB respecto de la de frecuencias medias) se tiene que cumplir que:

$$\frac{1}{\sqrt{1 + \left(\omega_H C_p \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}; \quad \omega_H C_p \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = 1$$

$$\omega_H = \frac{1}{C_p \cdot R_p} \quad A_m = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R_p = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad \text{a frecuencias medias}$$

Efecto de los condensadores en paralelo

$$\omega_H = \frac{1}{C_p \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}}$$

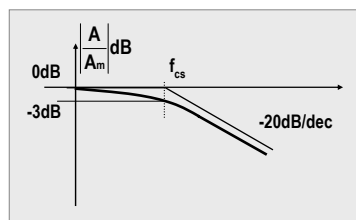
$$A(\omega) = \frac{A_m}{1 + j \frac{\omega}{\omega_H}}$$

ganancia a frecuencias altas

Para $\omega \ll \omega_H$	$A = A_m$
Para $\omega = \omega_H$	$A(\omega_H) = \frac{A_m}{1 + j} = A_m \frac{1 - j}{2}; A(\omega_H) = \frac{A_m}{\sqrt{2}}; \phi[A(\omega_H)] = -45^\circ$
Para $\omega \gg \omega_H$	$A(\omega) = \frac{A_m}{j \frac{\omega}{\omega_H}} = -A_m j \frac{\omega_H}{\omega}$

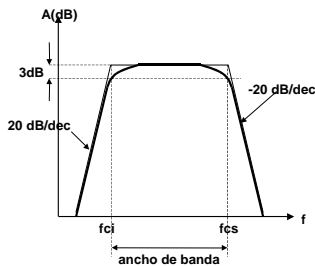
Frecuencia de corte inferior debido a C_p

$$f_{cs} = \frac{1}{2\pi C_p \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}}$$



Respuesta en frecuencia de un amplificador

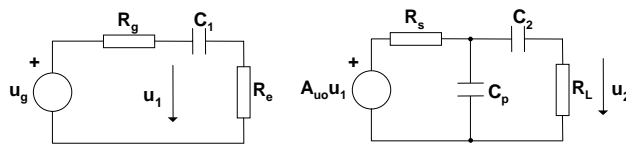
Indica la variación de la ganancia con la frecuencia



$$\omega = 2\pi \cdot f$$

Ganancia a frecuencias medias

Ejemplo



$$A_{uT} = A_{uo} \frac{R_e}{R_e + R_g} \cdot \frac{R_L}{R_s + R_L}$$

$$A_u = A_{uo} \frac{R_L}{R_s + R_L}$$

Ancho de banda: $f_{cs} - f_{ci}$
 Margen de frecuencias en que la ganancia del amplificador se puede considerar constante

Respuesta en frecuencia de un amplificador

A bajas frecuencias

$$f_{ci1} = \frac{1}{2\pi C_1 (R_e + R_g)}$$

$$f_{ci2} = \frac{1}{2\pi C_2 (R_L + R_S)}$$

SON CONDENSADORES DE DESACOPLO

A altas frecuencias

$$f_{cs} = \frac{1}{2\pi C_p \frac{R_S \cdot R_L}{R_S + R_L}}$$

CAPACIDADES PARÁSITAS

Si hay n frecuencias de corte superior (f_{cs}) y son todas iguales: $f_{csT} = f_{cs} \sqrt{2^{1/n} - 1}$

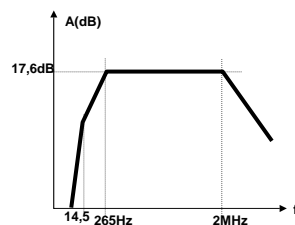
Si hay n frecuencias de corte inferior (f_{ci}) y son todas iguales: $f_{ciT} = f_{ci} \frac{1}{\sqrt{2^{1/n} - 1}}$

Ejemplo

Datos

$$C_1 = C_2 = 10\mu\text{F}$$

$$C_p = 10\text{nF}$$



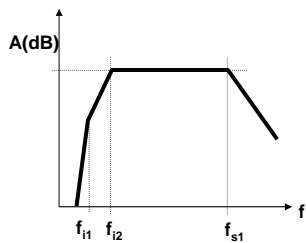
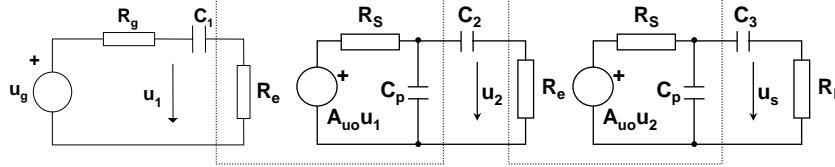
$$f_{ci1} = \frac{1}{2\pi C_1 (R_e + R_g)} = 14,5\text{Hz}$$

$$f_{ci2} = \frac{1}{2\pi C_2 (R_L + R_S)} = 265\text{Hz}$$

$$f_{cs} = \frac{1}{2\pi C_p \frac{R_S \cdot R_L}{R_S + R_L}} = 2\text{MHz}$$

Amplificadores en cascada

Datos



Problema. Amplificadores en cascada

Datos

$$A_{uo} = 25$$

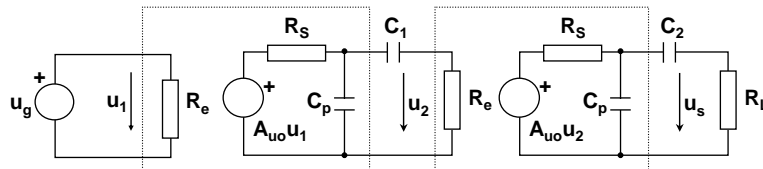
$$R_e = 2\text{k}\Omega$$

$$R_s = 500\Omega$$

$$C_p = \frac{100}{\pi} \text{ pF}$$

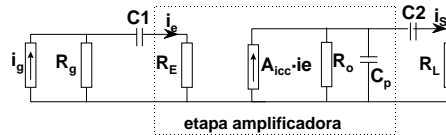
$$C_1 = 5\mu\text{F}$$

$$C_2 = 55\mu\text{F}$$



Problema

El circuito de la figura representa una etapa amplificadora de corriente con una fuente (i_r y R_g) y una carga (R_L).



Se pide:

- Ganancia de corriente en carga ($A_i = i_s / i_g$), frecuencia de corte superior.
- Elegir los condensadores $C1$ y $C2$ de forma que la frecuencia de corte inferior sea de 16Hz y venga determinada por $C1$.
- Determinar el número mínimo de etapas iguales a la anterior, puestas en cascada, que son necesarias para obtener una ganancia total de corriente de al menos 75dB.

Datos:

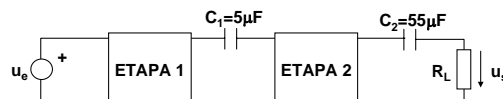
$R_g = 900\Omega$	$R_o = 3k\Omega$
$R_E = 100\Omega$	$C_p = (100/2\pi)\mu\text{F}$
$A_{icc} = 10$	$R_L = 1k\Omega$

Problema

Se dispone de una etapa amplificadora con las siguientes características:

- Resistencia de entrada: $R_e = 2k\Omega$
- Resistencia de salida: $R_S = 500\Omega$
- Ganancia de tensión en vacío: $A_{u0} = 25$
- Condensador de salida en paralelo: $C_p = 100/\pi \mu\text{F}$

Se conectan en cascada dos etapas como la anterior, para amplificar señales de una fuente ideal a una carga $R_L = 2k\Omega$, según se indica en la figura:



- Calcular la ganancia de tensión U_S/U_e , frecuencia de corte superior y frecuencia de corte inferior.
- Se desea aumentar la frecuencia de corte superior a 10 veces el valor obtenido en el apartado (a). Para ello se dispone de **una única** red de realimentación con β variable. Proponer cómo se debería realimentar (la primera etapa, la segunda etapa o el conjunto) para conseguir tal objetivo, y calcular la β necesaria. Para la solución propuesta calcular la ganancia de tensión en carga, las resistencias de entrada y salida y la nueva frecuencia de corte superior.