Universidad
Carlos III de Madrid
www.uc3m.es

Sesión 19
Respuesta en Frecuencia de Amplificadores con Transistores

Componentes y Circuitos Electrónicos

Pablo Acedo

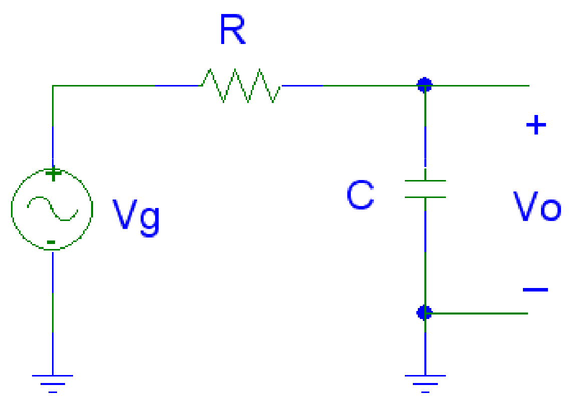
www.uc3m.es/portal/page/portal/dpto_tecnologia_electronica/Personal/PabloAcedo

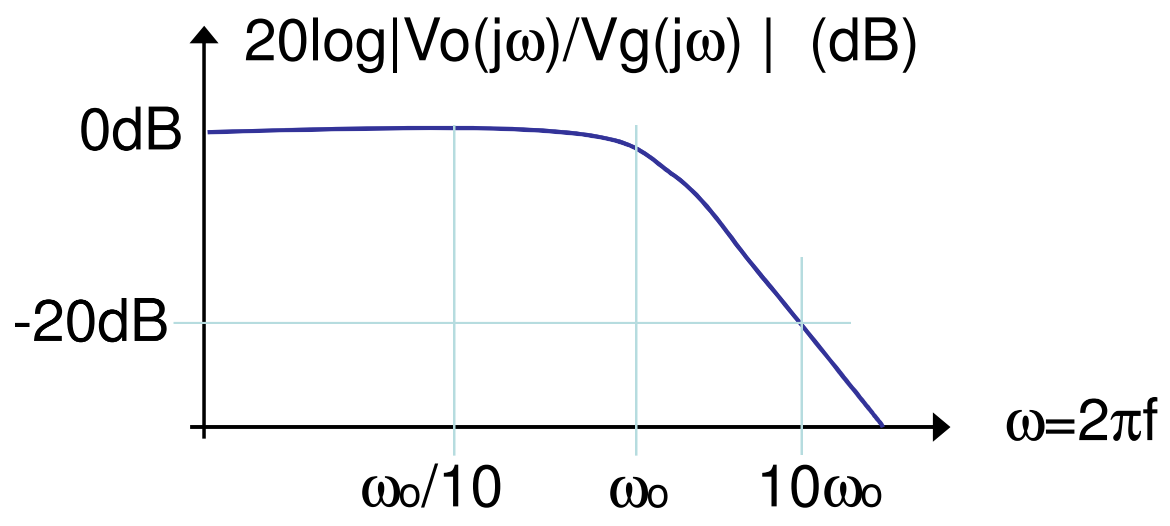
Respuesta en Frecuencia de Amplificadores con Transistores

CONTENIDOS

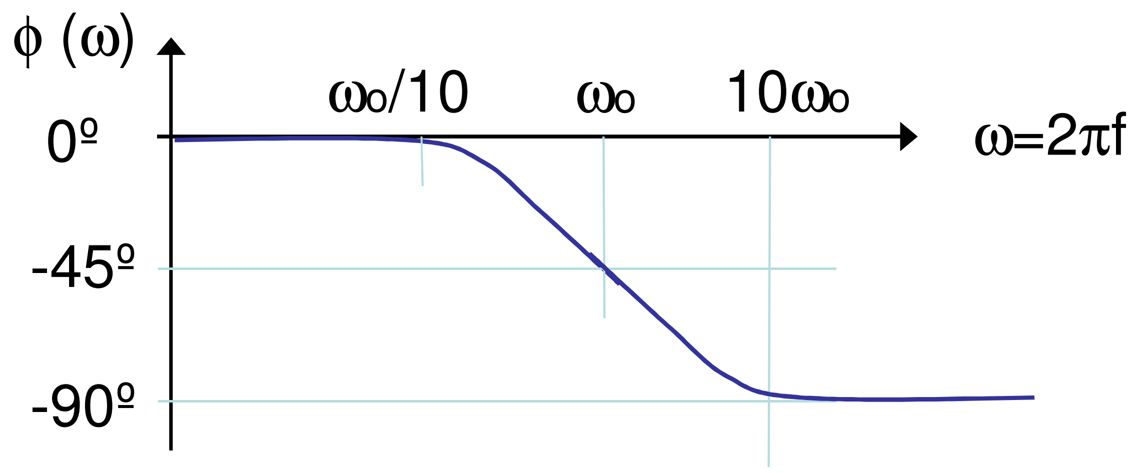
- Fundamentos y las herramientas utilizadas en el análisis en frecuencia de circuitos amplificadores con transistores.
- Modelo en pequeña señal en alta frecuencias para BJT y FET.
- Análisis en alta frecuencia de circuitos amplificadores. Método de las constantes de tiempo en Circuito Abierto. Ejemplos.
- Análisis en baja frecuencia de circuitos amplificadores. Método de las constantes de tiempo en Cortocircuito. Ejemplo.

Fundamentos
Circuito RC Paso Bajo





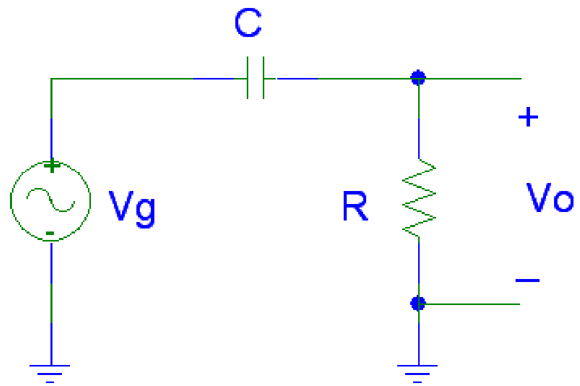
$$T(s)=\frac{V_o}{V_g}=\frac{1}{1+(s/\omega_0)}$$



$$\left|T(j\omega)\right|=\frac{1}{\sqrt{1+(\omega/\omega_0)^2}}$$

$$\phi(\omega)=-\tan^{-1}(\omega/\omega_0)$$

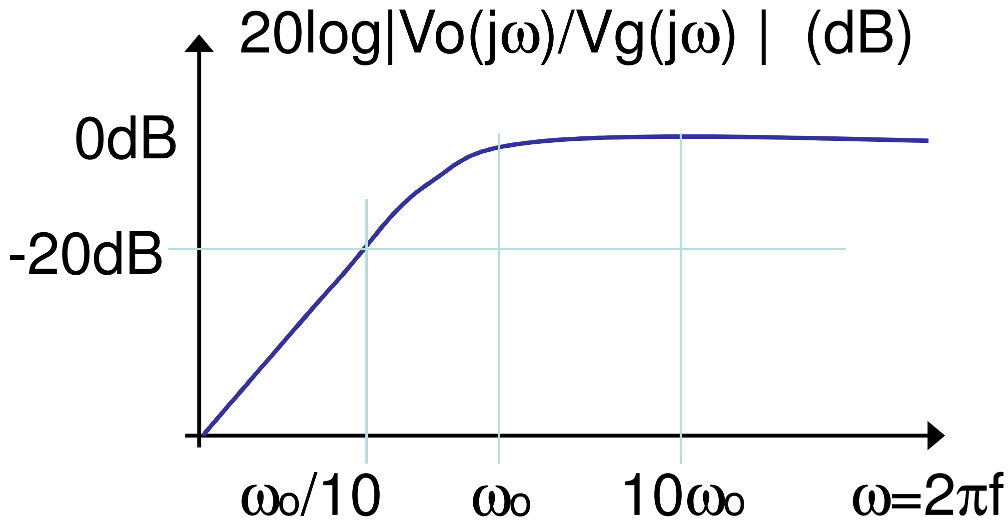
Fundamentos
Circuito RC Paso Alto

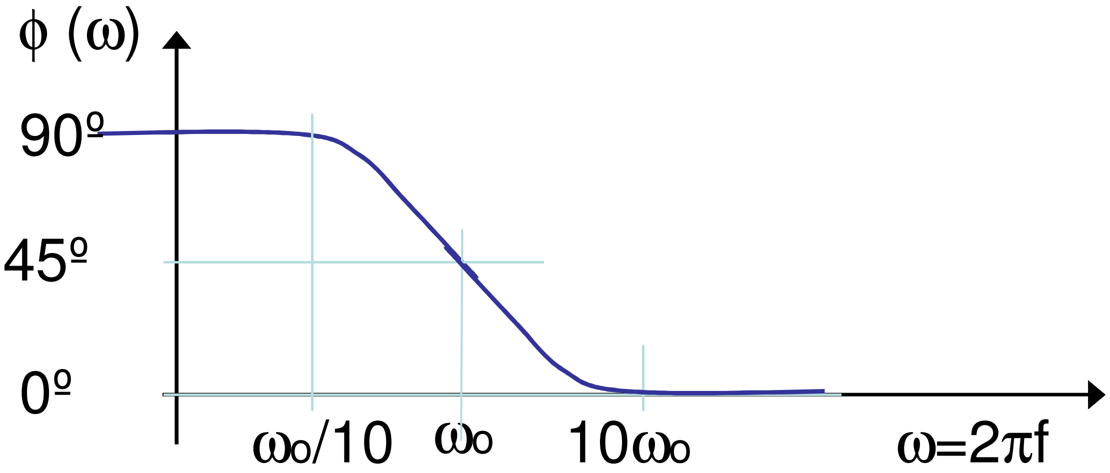


$$T(s)=\frac{V_o}{V_g}=\frac{s}{s+\omega_0}$$

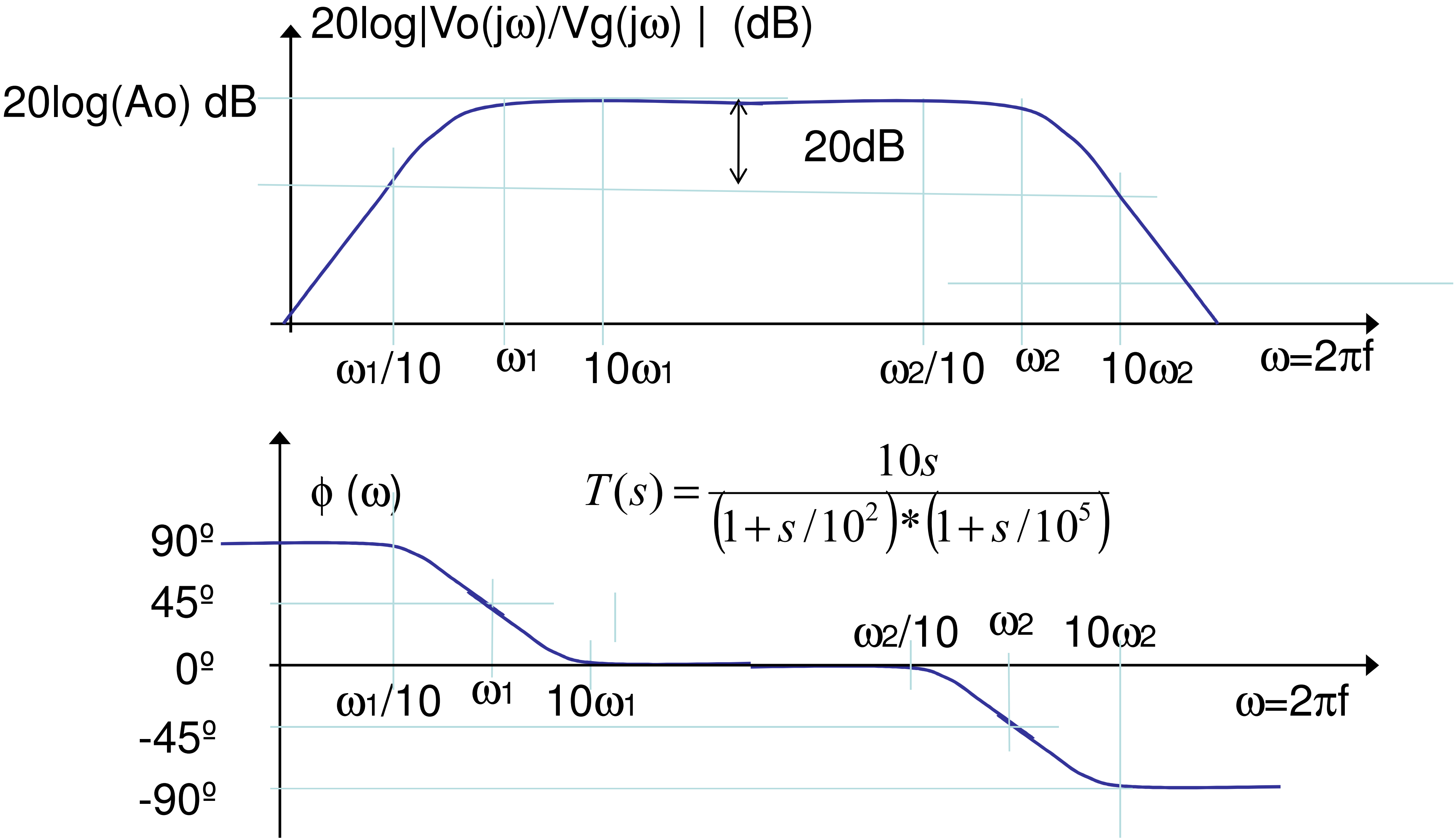
$$\left|T(j\omega)\right|=\frac{1}{\sqrt{1+(\omega_0/\omega)^2}}$$

$$\phi(\omega)=\tan^{-1}(\omega_0/\omega)$$



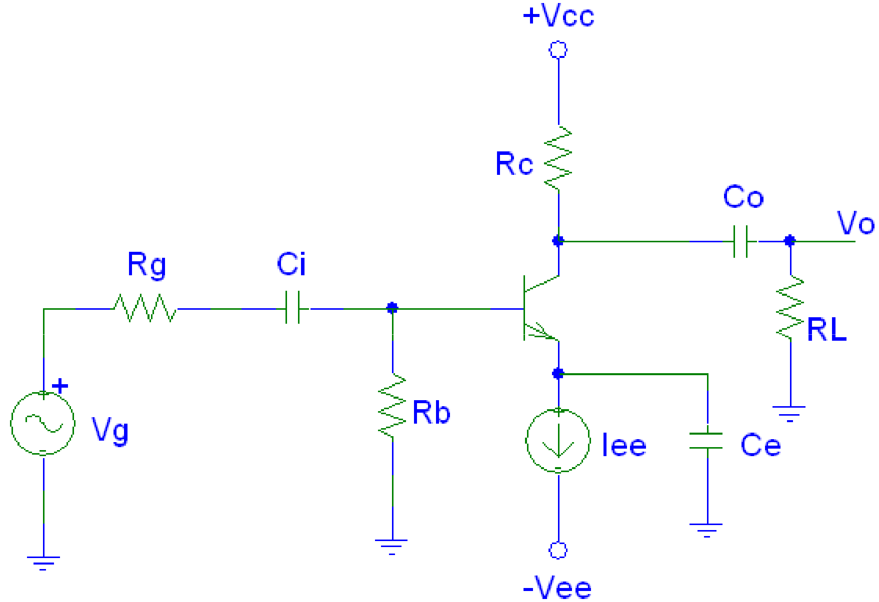


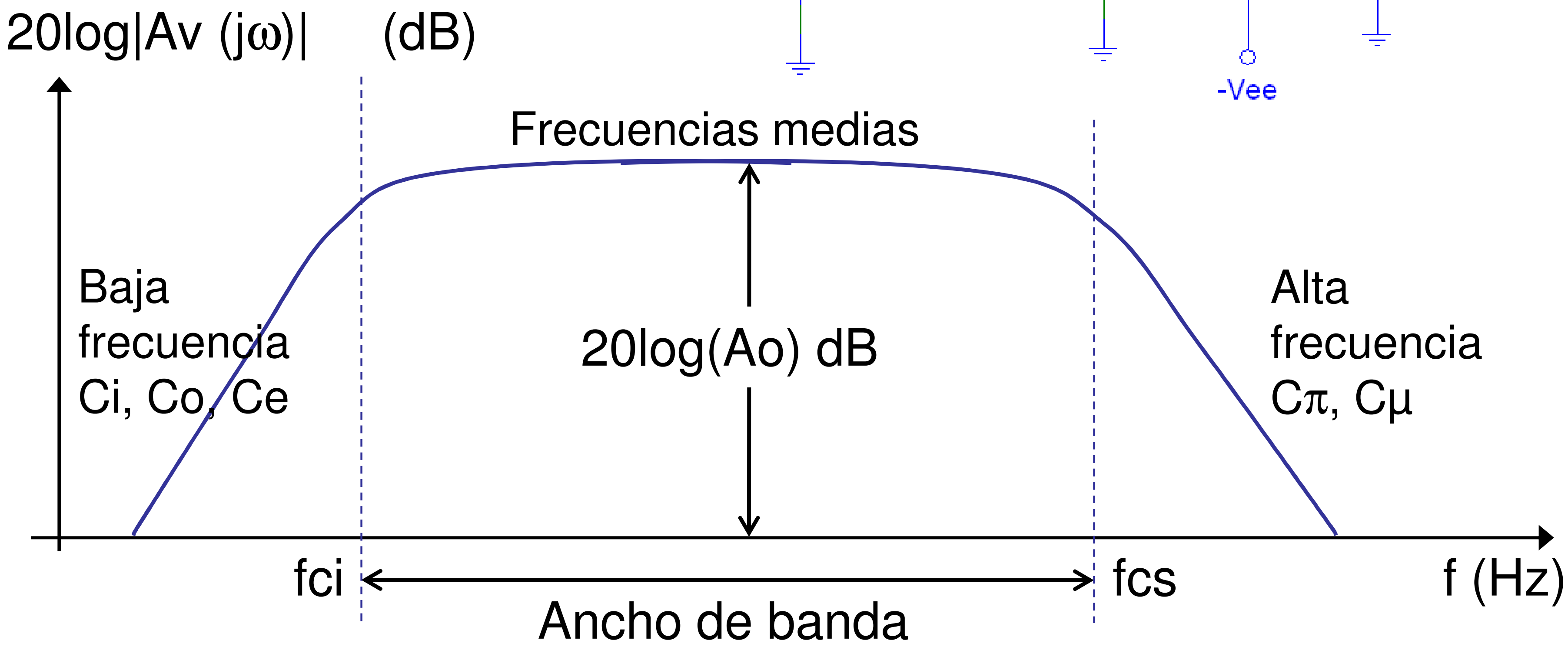
Fundamentos
Diagrama de Bode (Amplitud y Fase)



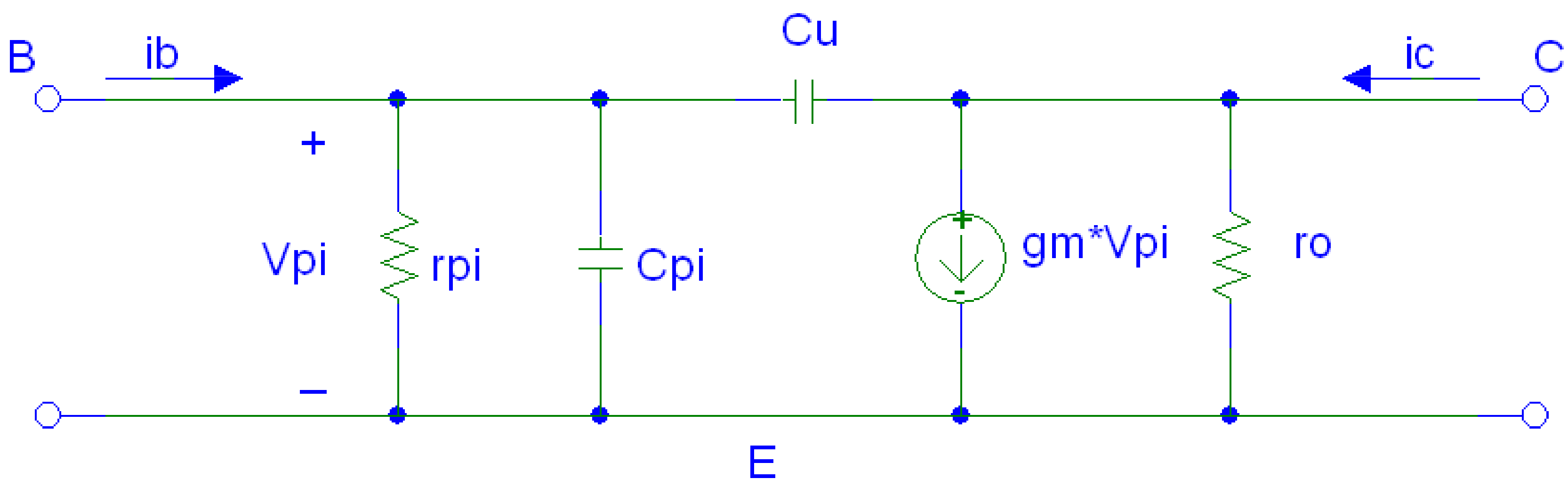
$$T(s) = \frac{10s}{\left(1 + s/10^2\right) * \left(1 + s/10^5\right)}$$

Funadamentos: Tres Bandas de Frecuencia





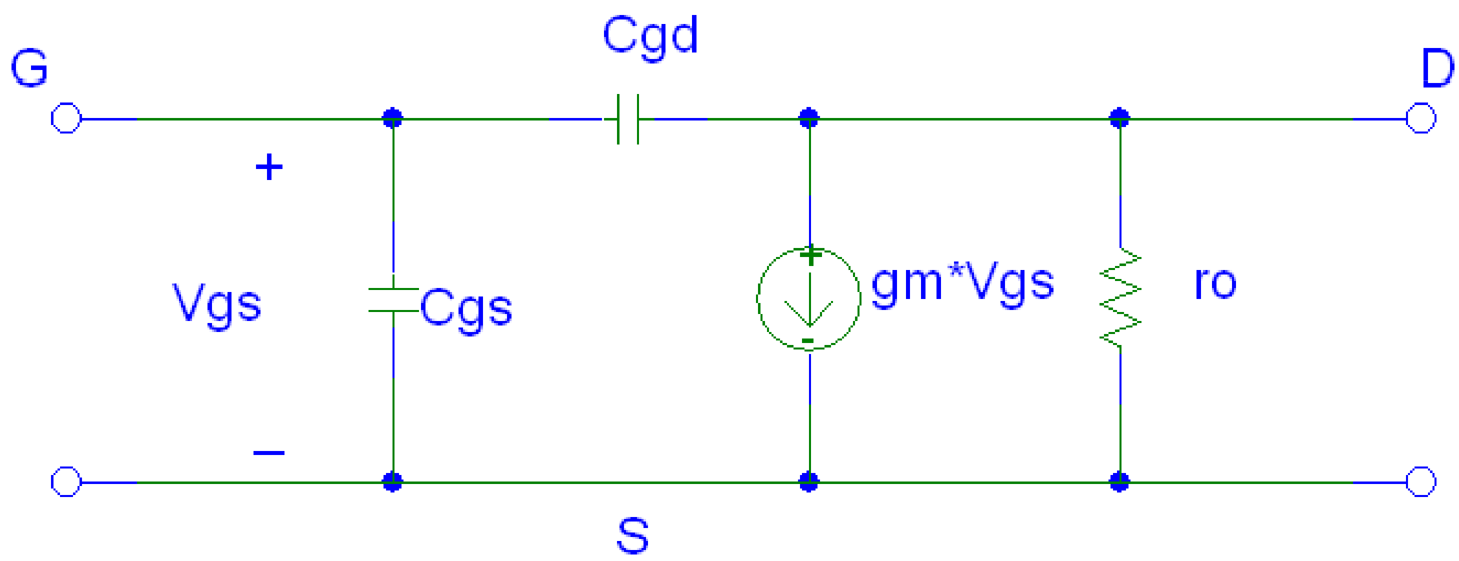
Modelo en Pequeña Señal en Alta Frecuencia BJT



Frecuencia de Transición

$$f_T = \frac{g_m}{2\pi(C_\pi + C_\mu)}$$

Modelo en Pequeña Señal en Alta Frecuencia FET



Frecuencia de Transición

$$f_T = \frac{g_m}{2\pi (C_{gs} + C_{gd})}$$

Análisis en alta frecuencia de circuitos amplificadores.

- La Respuesta en alta frecuencia de circuitos con transistores está fijada por los condensadores internos y las constantes de tiempo asociadas.
- En general, se hará la suposición de que la respuesta en frecuencia viene fijada por un POLO DOMINANTE. De esta manera, el análisis en alta frecuencia se reduce al cálculo de la frecuencia de corte superior asociada a este polo dominante.
- El cálculo del polo dominante se realizará aplicando el MÉTODO DE LAS CONSTANTES DE TIEMPO EN CIRCUITO ABIERTO.

Método de las Constantes de Tiempo en Circuito Abierto.

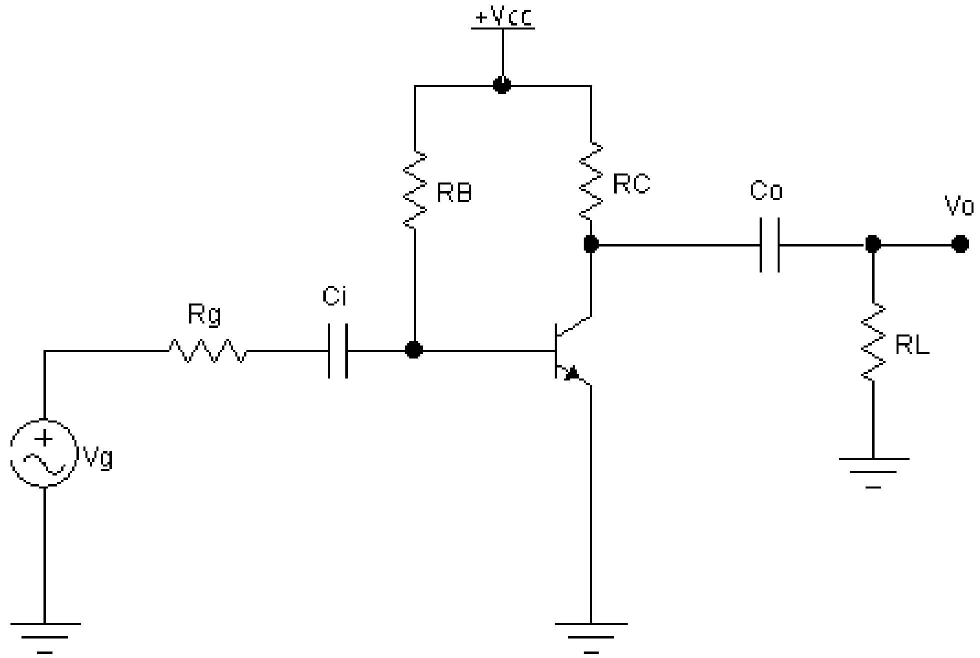
$$f_{cs}(3dB) = \frac{1}{2\pi}\frac{1}{\sum_i R_i^0 C_i}$$

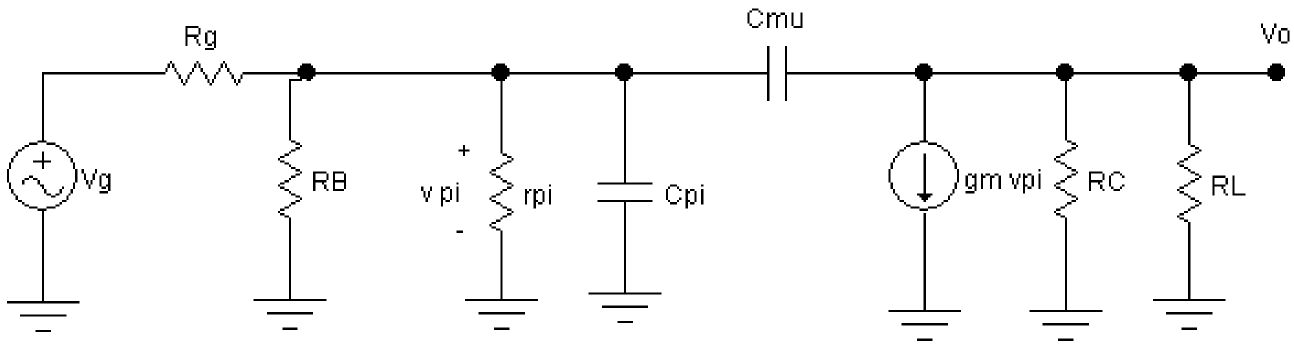
Donde:

C_i son cada uno de los condensadores que actúan en alta frecuencia: Condensadores intrínsecos a los dispositivos (circuito equivalente), o condensadores pequeños de característica paso-bajo introducidos para controlar la respuesta en frecuencia del circuito.

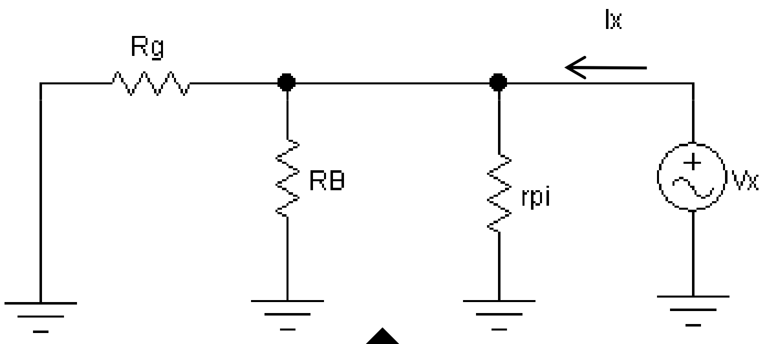
R^0_i es la impedancia que ve cada uno de los condensadores con el resto EN CIRCUITO ABIERTO

Método de las Constantes de Tiempo en Circuito Abierto. EJEMPLO (I)



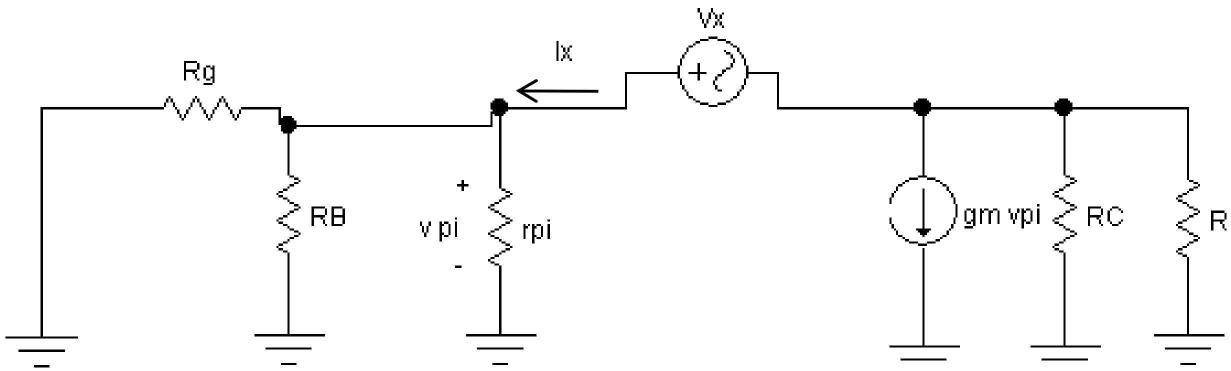


Método de las Constantes de Tiempo en Circuito Abierto. EJEMPLO (II)



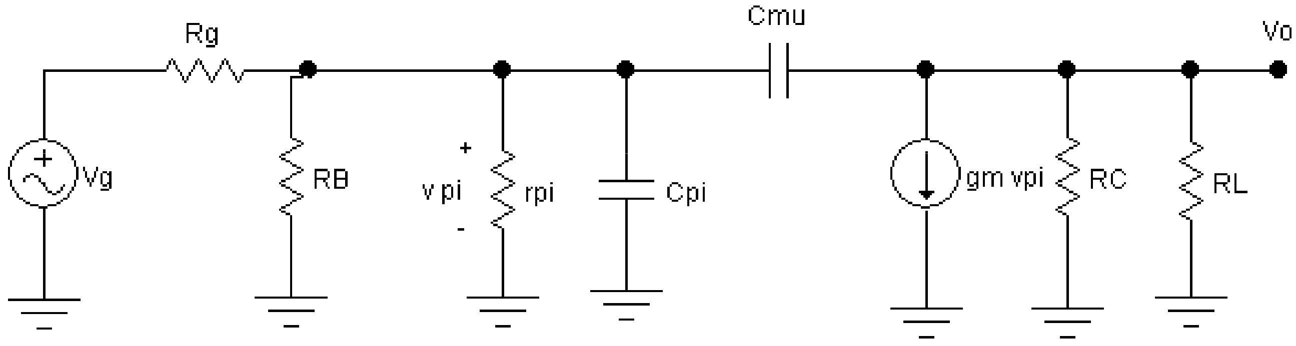
$$R_\mu^0 = R_B // r_\pi // R_g(1 + g_m R_C // R_L) + R_C // R_L$$

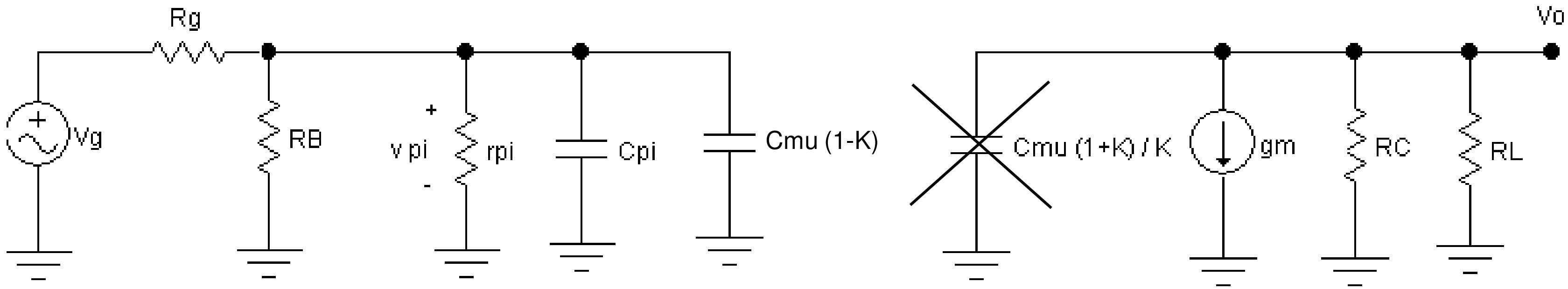
$$R_\pi^0 = R_B // r_\pi // R_g$$



$$f_{cs} = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{C_\pi\left(r_\pi // R_B // R_g\right) + C_\mu\left(R_B // r_\pi // R_g(1 + g_m R_C // R_L) + \left(R_C // R_L\right)\right)}$$

Teorema de Miller. Ejemplo (I)





$$K = -gm\, R_C \,//\, R_L$$

Teorema de Miller. Ejemplo (II) Comparación con Polo Dominante

$$f_{csM} = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\left(r_\pi // R_B // R_g\right)\left[C_\pi + C_\mu\left(1 + g_m R_C // R_L\right)\right]}$$

$$f_{cs} = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{C_\pi\left(r_\pi // R_B // R_g\right) + C_\mu\left(R_B // r_\pi // R_g\left(1 + g_m R_C // R_L\right) + R_C // R_L\right)}$$

Análisis en baja frecuencia de circuitos amplificadores.

- La Respuesta en baja frecuencia de circuitos con transistores está fijada por los condensadores de acoplo y las constantes de tiempo asociadas.
- En general, se hará la suposición de que la respuesta en frecuencia viene fijada por un POLO DOMINANTE. De esta manera, el análisis en baja frecuencia se reduce al cálculo de la frecuencia de corte inferior asociada a este polo dominante.
- El cálculo del polo dominante se realizará aplicando el MÉTODO DE LAS CONSTANTES DE TIEMPO EN CORTOCIRCUITO.

Método de las Constantes de Tiempo en Cortocircuito.

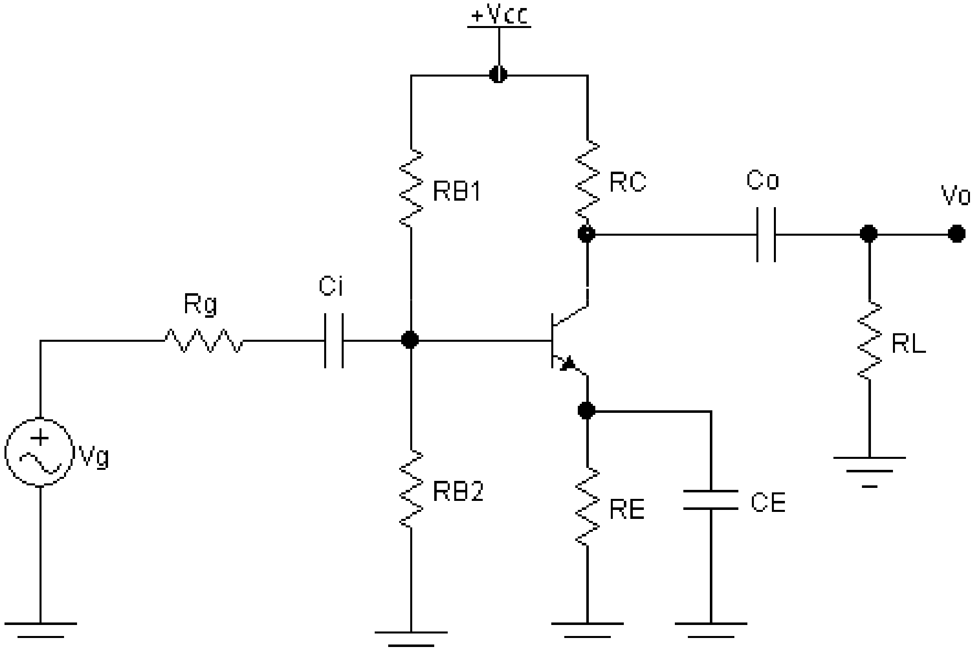
$$f_{ci}(3dB) = \frac{1}{2\pi}\sum_i \frac{1}{R_i^{\infty} C_i}$$

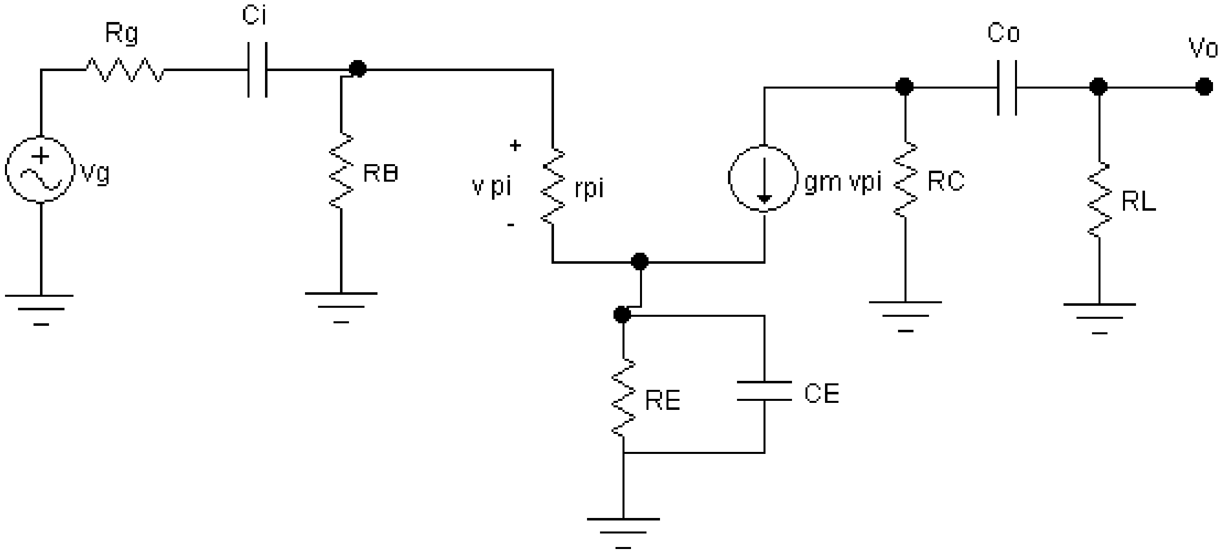
Donde:

C_i son cada uno de los condensadores DE ACOPLO presentes en el circuito.

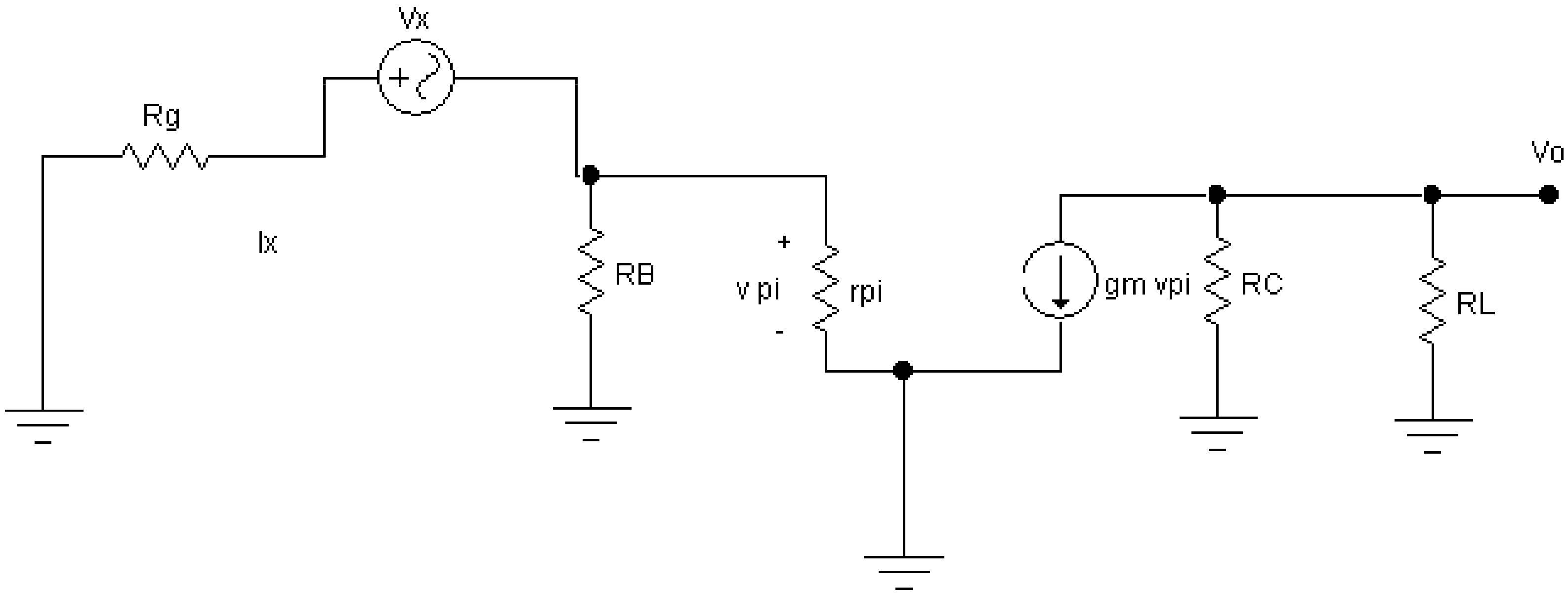
$R^{\infty}{}_i$ es la impedancia que ve cada uno de los condensadores con el resto EN CORTOCIRCUITO

Método de las Constantes de Tiempo en Cortocircuito. EJEMPLO (I)



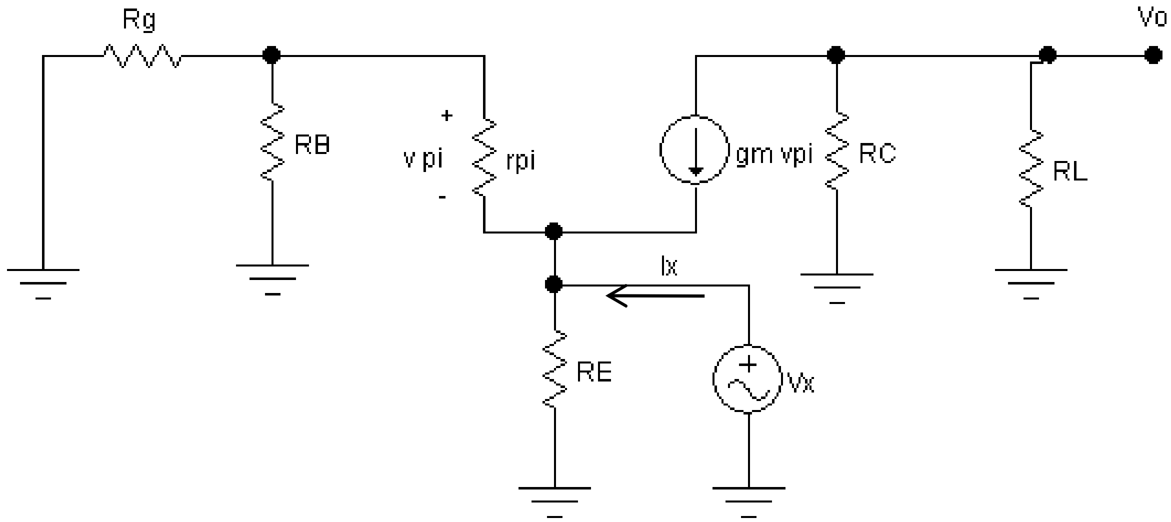


Método de las Constantes de Tiempo en Cortocircuito. EJEMPLO (II)



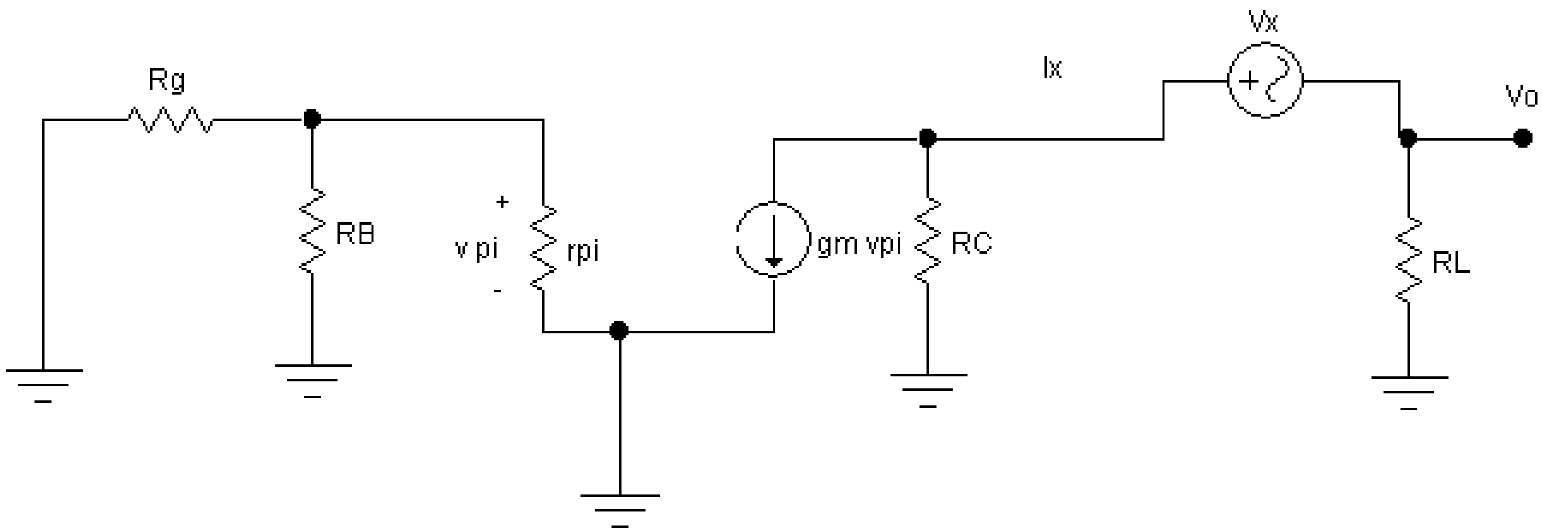
$$R_{Ci}^{\infty} = R_g + R_B // r_\pi$$

Método de las Constantes de Tiempo en Cortocircuito. EJEMPLO (III)



$$R_E^{\infty} = R_E \, // \, \frac{r_\pi + (R_g \, // \, R_B)}{1 + \beta_0}$$

Método de las Constantes de Tiempo en Cortocircuito. EJEMPLO (IV)

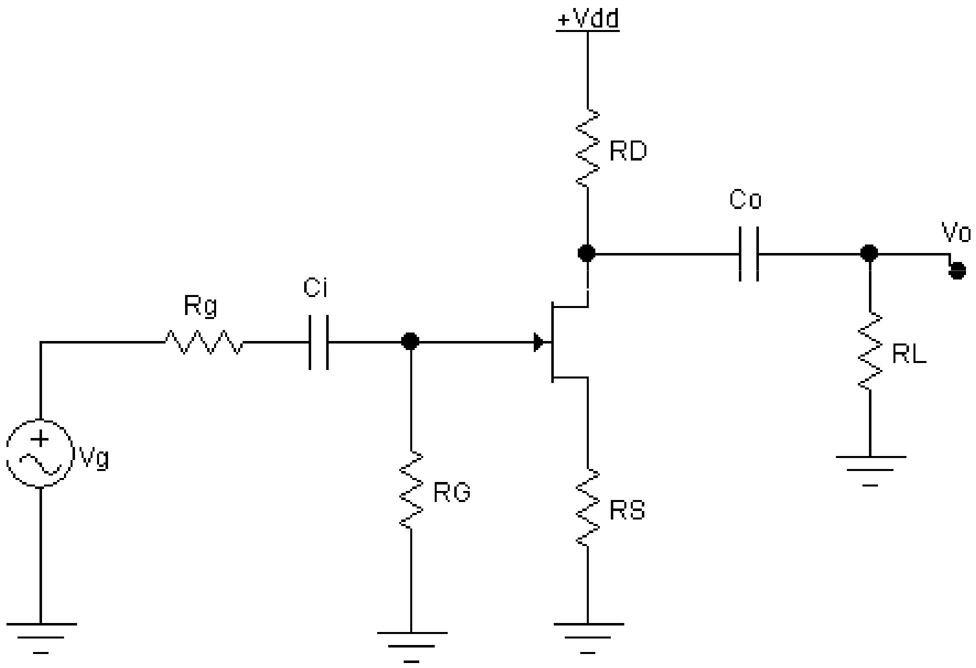


$$R_{Co}^{\infty} = R_C + R_L$$

Método de las Constantes de Tiempo en Cortocircuito. EJEMPLO (V)

$$f_{ci} = \frac{1}{2\pi}\left[\frac{1}{C_i(R_g + R_B // r_\pi)} + \frac{1}{C_E\left(R_E // \dfrac{r_\pi + (R_g // R_B)}{1+\beta_0}\right)} + \frac{1}{C_o(R_C + R_L)}\right]$$

Ejercicio Propuesto



+Vdd = 15 V

$R_S = 560\Omega$	$R_D = 5{,}6\ K\Omega$	$C_i = 10\ \mu F$
$R_G = 1\ M\Omega$	$R_L = 10\ K\Omega$	$C_0 = 10\ \mu F$
$R_g = 50\ \Omega$		

Transistor:

$I_{DSS} = 10\ mA$	$V_P = -2\ V$	$C_{gd} = 0.36\ pF$
		$C_{gs} = 1\ pF$

$I_D = I_{DSS} \cdot (1 - V_{GS}/V_P)^2$