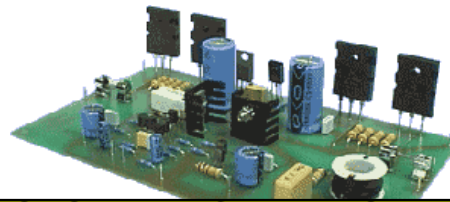




Tecnología Electrónica

Capítulo 6: **Amplificadores con TRTs.**

Respuesta en frecuencia y Realimentación.



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



Índice

1. Introducción

Objetivos y requisitos previos

2. Respuesta en frecuencia de amplificadores con transistores

1. Análisis por bandas

2. Amplificación en Baja Frecuencia

3. Amplificación en Alta Frecuencia. Efecto Miller.

4. Capacidad Miller en los AO compensados

3. Aplicación de las técnicas de Realimentación

1. Revisión conceptual

2. Topologías en amplificadores con TDTs

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

1. Introducción

□ Objetivos generales de estudio

- Dependencias con la frecuencia de los amplis. con transistores
 - *Aplicación de los modelos de transistores; técnicas de análisis a diferentes bandas; estimación de ganancias y frecuencias de corte.*
- Estimación de los parámetros y configuraciones realimentadas
 - *Identificación de topologías; estimación de los efectos de carga; estimación de los parámetros apropiados sin y con Realimentación*

□ Conocimientos previos necesarios

- Respuesta en frecuencia
 - *Funciones de ganancia en (s) y (). Polos y ceros. Frecuencias de corte. Polos dominantes. Diagramas de Bode, en módulo y fase.*
- Realimentación
 - *Propiedades generales ideales. Topologías de Realimentación en Amplifs*

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



3. Respuesta en frecuencia de A. discretos

- ❑ En todo amplificador (como los multietapa) existen numerosos parámetros dependientes de ω
 - Redes de polarización
 - Elementos de **acoplo** y **desacoplo** capacitivos, inductivos, etc.
 - Dispositivos activos semiconductores
 - Uniones, distribución de cargas, **capacidades internas** ...
 - Filtros activos, con amplificadores
 - Con redes R , L y C dispuestas para obtener una **$A(\omega)$** determinada

- ❑ Efecto de los elementos de **acoplo-desacoplo**:
 - Dependen de su ubicación y su impedancia equivalente a (ω)
 - Ejemplo típico: las **C** en **acoplo capacitivo**, rondan los **10-100 μ F**.

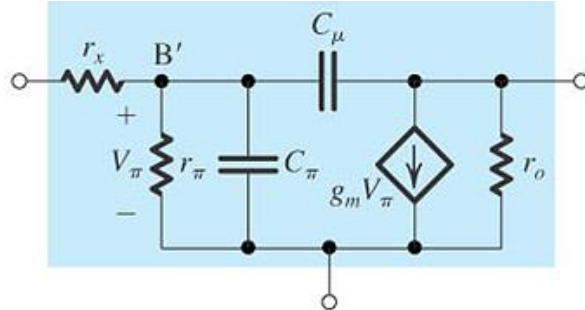
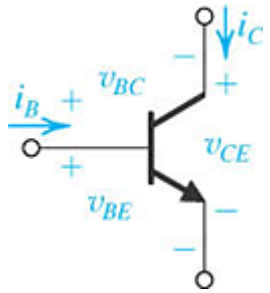
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

3. Respuesta en frecuencia de A. con TRTs

- Por su lado, los dispositivos activos (diodos y TRTs) presentan **capacidades** debidas a las distribuciones de **carga** en las **uniones**

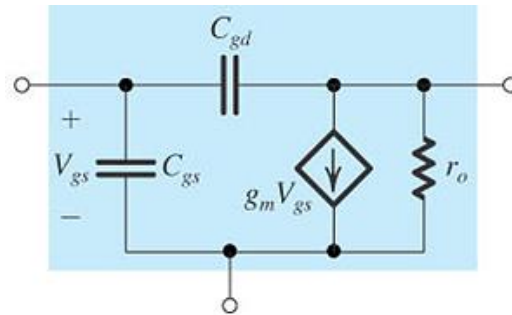
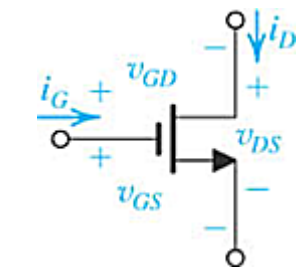


- Dependen del punto Q y otros factores,

- Son de pequeño valor, del orden de pF
- Por tanto, solo ejercen un efecto significativo en **altas frecuencias**

- Una comparativa interesante:

La tabla siguiente relaciona los valores de Z de las **C's** internas (pF), con las de acoplo (μ F)



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

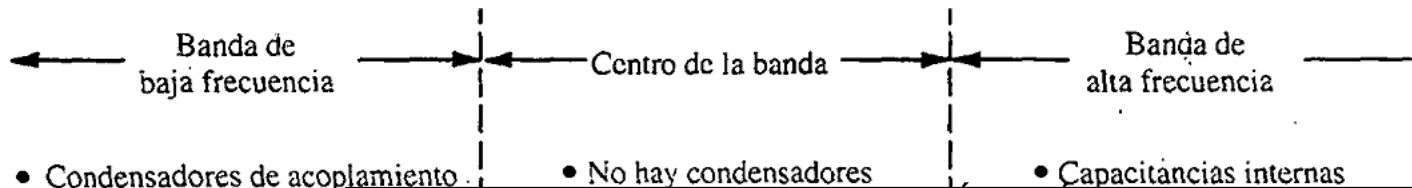
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



3.1. Análisis por Bandas: *bajas, medias, altas*

- ❑ Separación de efectos:
 - La gran diferencia de **valores típicos** entre las **C** internas y de acoplo hace que sus efectos sean notables en **bandas diferentes**.
- ❑ Un análisis por bandas, simplifica su estudio y diseño
 - Las capacidades de acoplo: significativas en **baja frecuencia**
 - Las capacidades internas: significativas en **alta frecuencia**
 - A **frecuencias medias**: cortos (**C_{acoplo}**) o abiertos (**C_{internas}**).

$$A(s) = F_L(s) \cdot A_m \cdot F_H(s) \rightarrow A_{Total} = \text{bajas}_L \cdot \text{medias}_m \cdot \text{altas}_H$$



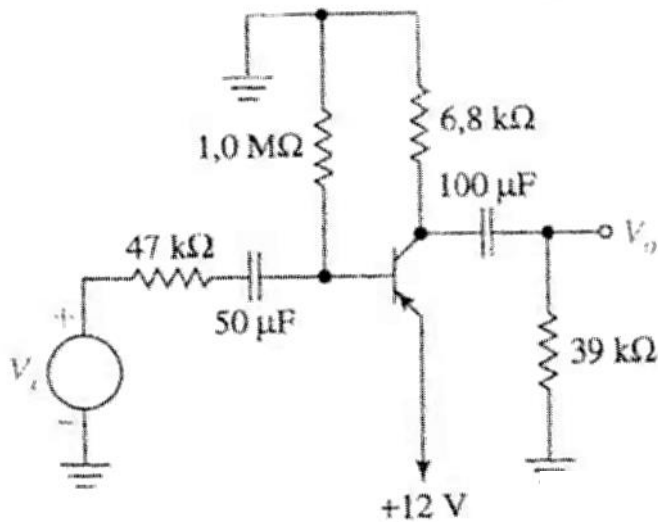
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

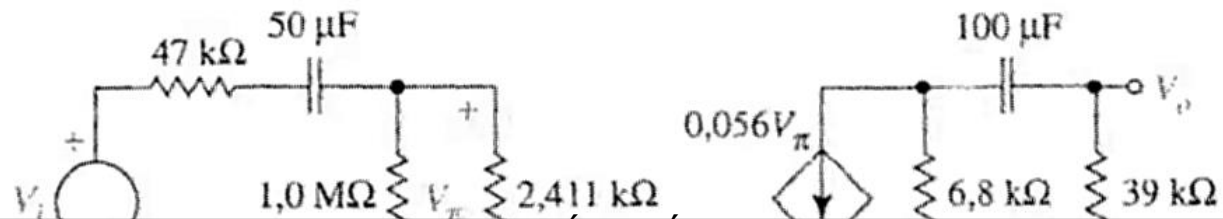
3.2. Amplificación en baja frecuencia

- Su estudio se facilita si se reconocen estructuras simples
 - Ejemplo: amplificador en Emisor Común, sin R_E, C_E .



✓ Efectos de los Condensadores fácilmente analizables por separado:

→ ¿Se pueden identificar las τ de cada parte del cto.!



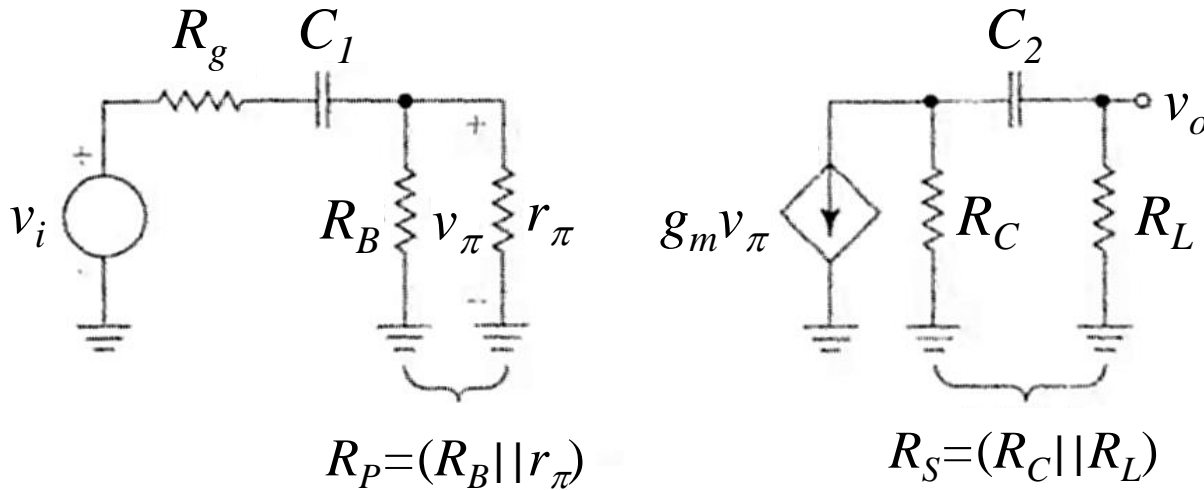
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

3.2. Amplificación en baja frecuencia

- Las estructuras de C_1 y C_2 son *paso-alto* (*)



Paso-Alto → cada capacidad introduce:
Un cero en origen y un polo en $\omega = (1/\tau)$ rad/s

$$A_{Vm} = \frac{-R_P}{R_g + R_P} g_m R_S$$

$$A_V(s) = \frac{V_O}{V_I}(s) = \frac{-R_P}{R_g + R_P} g_m R_S \cdot \frac{s}{s + 1/\tau_1} \cdot \frac{s}{s + 1/\tau_2}$$

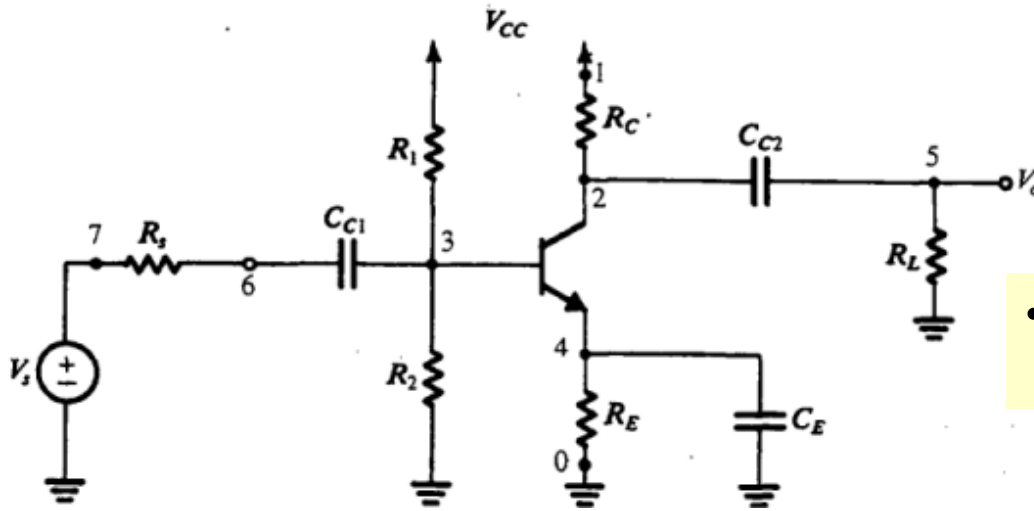
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

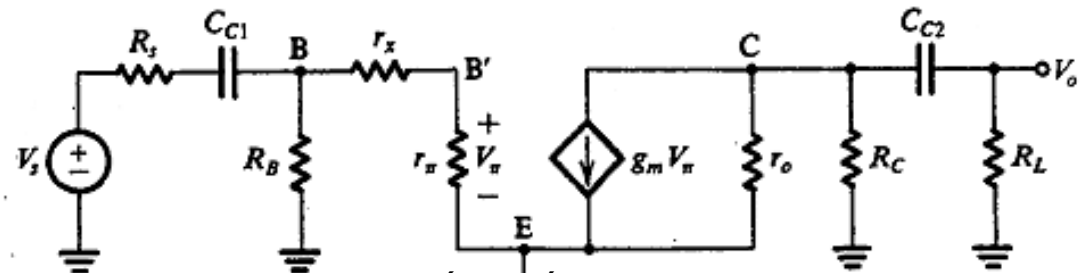
Cartagena99

3.2. Amplificación en baja frecuencia

- ❑ Pero un amplificador en Emisor Común, **suele tener R_E y C_E** .



- Efectos de los Condensadores **NO son fáciles** de separar.



- En los textos recomendados se tratan con profundidad

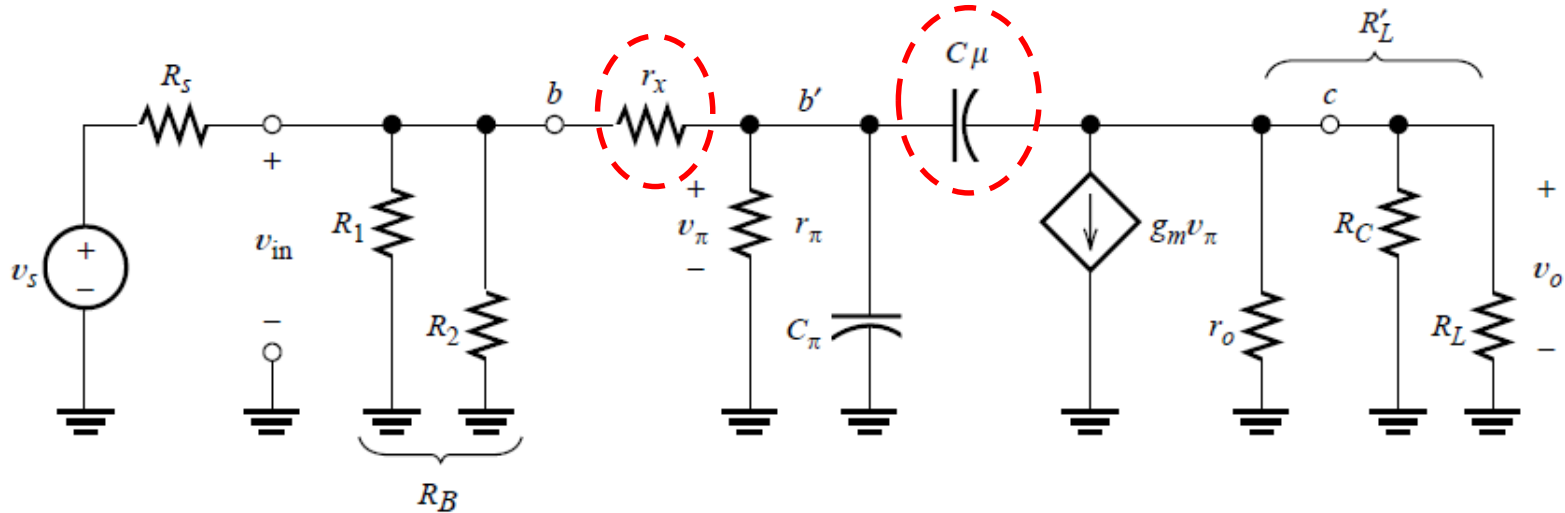
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

3.3. Amplificación en alta frecuencia (AF)

- ❑ Ejemplo de análisis: el amplificador en EC de la transp. anterior. Para obtener su circuito equivalente para señal variable en A.F.
 - En los elementos de acoplo las ω son ya muy altas $\rightarrow |Z_{Cext}| \approx 0$
 - En los dispositivos activos \rightarrow incluimos elementos reactivos internos



- ¡Nótese que el modelo del transistor incluye además la r_x !

Cartagena99

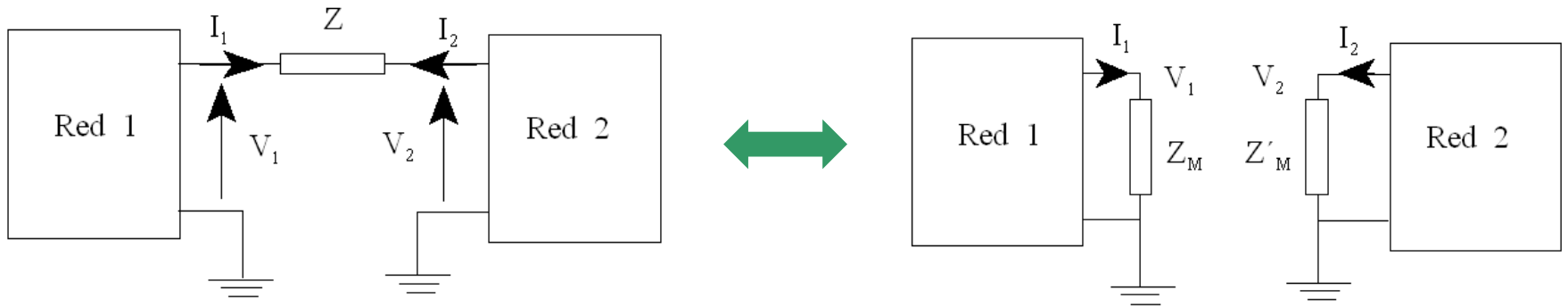
CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

3.3. AF: Miller, un teorema interesante

Teorema de Miller

- Permite sustituir una impedancia entre dos redes, bajo ciertas condiciones \rightarrow *útil para trabajar con la C_μ del transistor!*



Sea conocida $k = (V_2/V_1)$; entonces:

$$Z = \frac{V_1 - V_2}{I_1} = \frac{1 - (V_2/V_1)}{I_1/V_1} = \frac{1 - k}{1/Z_M} = Z_M \cdot (1 - k) \quad \Rightarrow \quad \text{Si } Z = \frac{1}{j\omega C} \Rightarrow C_M = C \cdot (1 - k)$$

Cartagena99

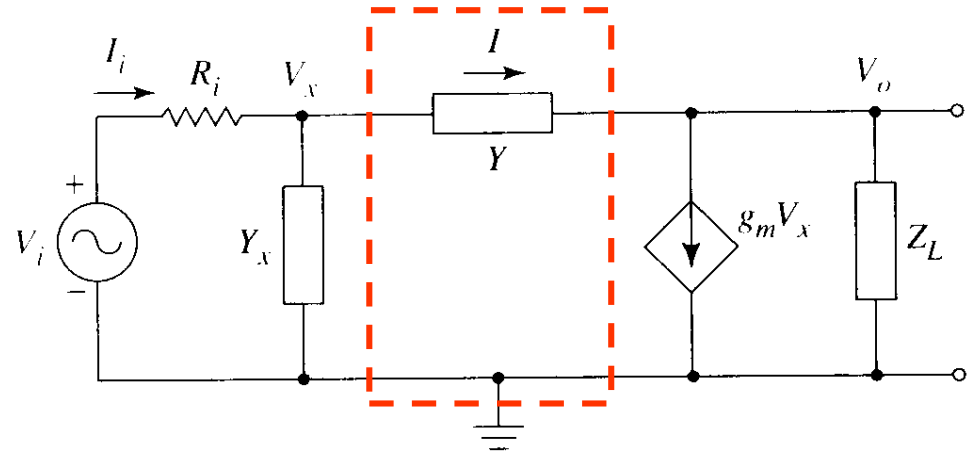
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

3.3. AF: aplicación práctica del efecto Miller

□ Aplicación del Teorema de Miller a un amp. discreto:

- Aproximación: $k \rightarrow A_M$
- Ojo:
 $A_M = \text{Ganancia Miller.}$
- Importante:
 $A_M \neq A_{medias}$



$$A_M = \frac{V_o}{V_x} \Big|_{\text{Sin la } Y} = -g_m Z_L$$

□ En los casos de interés:

- $A_M \in \mathbb{R}$
- A_M grande y negativa



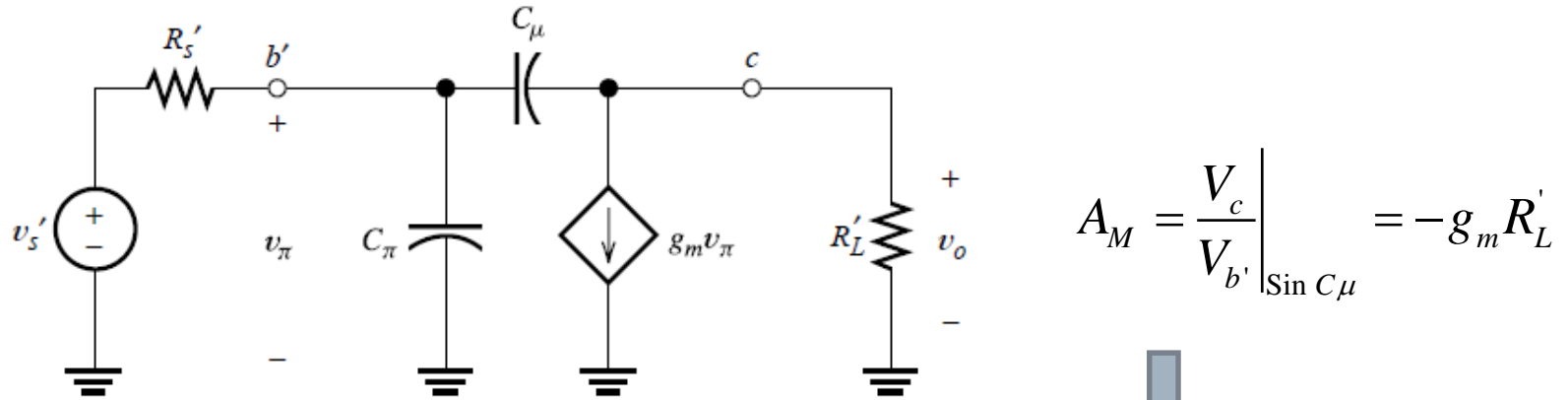
CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

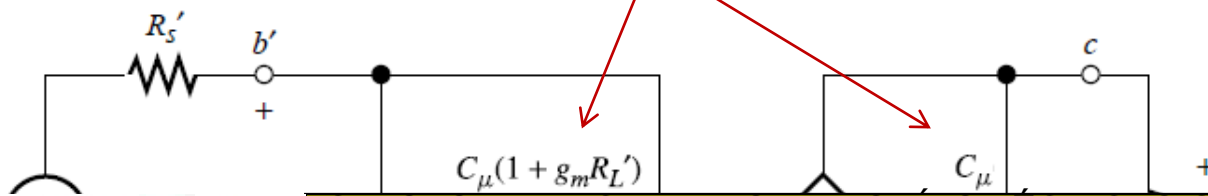
3.3. AF: análisis del EC (1)

- Proseguimos el análisis del cto. EC de la trp. 19:
 - Simplificamos → Eq. Thévenin a izquierda de b' y derecha de c



$$A_M = \frac{V_c}{V_{b'}} \Big|_{\text{Sin } C_\mu} = -g_m R_L'$$

Aplicando **Miller** a C_μ obtenemos estas **dos capacidades** ...



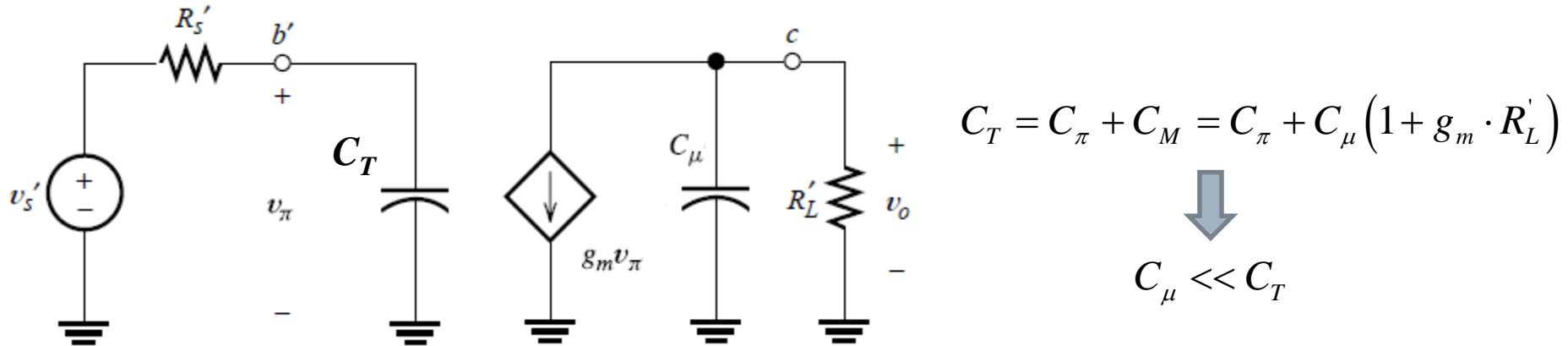
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

3.3. AF: análisis del EC (2)

- Asociando las dos capacidades de base identificamos claramente dos estructuras paso-bajo \rightarrow sendos polos a $\omega_i = 1/\tau_i = 1/(R_i \cdot C_i)$.



$$C_T = C_\pi + C_M = C_\pi + C_\mu (1 + g_m \cdot R_L')$$

↓

$$C_\mu \ll C_T$$

$$A_V(s) = \frac{V_o}{V_i}(s) = A_{Vm} \cdot \frac{1}{1 + \frac{s}{\omega_1}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{s}{\omega_2}}$$



$$\omega_1 = \frac{1}{\tau_1} = \frac{1}{R_s' \cdot C_T}$$

$$\omega_2 = \frac{1}{\tau_2} = \frac{1}{R_L' \cdot C_\mu}$$

- El polo de C_T suele ser dominante (esto es $\omega_1 \ll \omega_2$) con lo que la frecuencia de corte superior la fija C_μ en la que C_μ es importante.

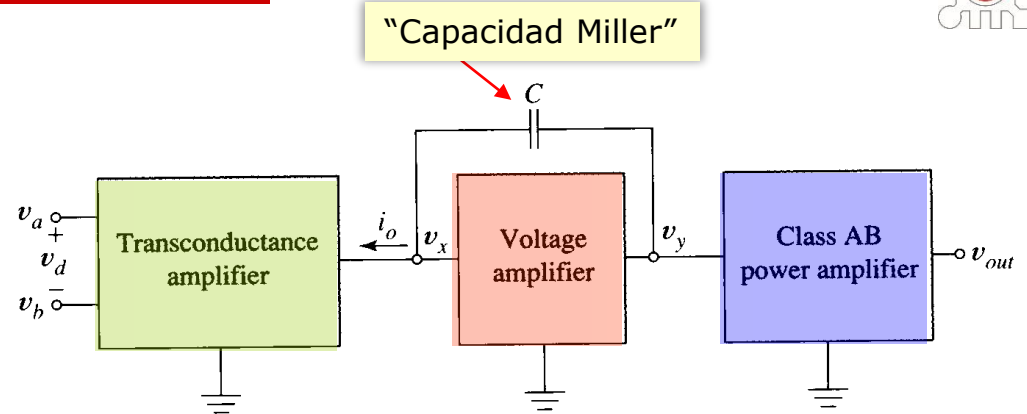
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

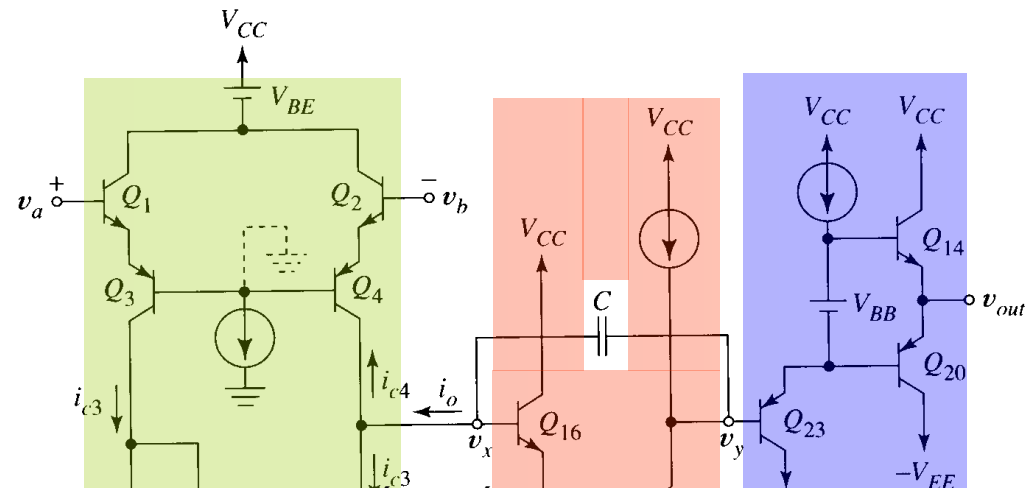
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

3.4. Capacidad Miller en un A.O. compensado

- ❑ AO compensado: el **741**
 - Ver **C** en estructura interna
 - Se aprovecha el efecto Miller en la etapa 2:
 - $A_{M2} \approx -400$ (V/V)*
 - Esto multiplica el efecto de un **C** integrado pequeño, para no ocupar mucha superficie de chip



- ❑ ¿Por qué insertar un **C**?
 - **Estabilidad** del AO
 - Impone **Polo dominante**
 - El AO realimentado será



CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99



3.4. Capacidad Miller en el 741 → GBW

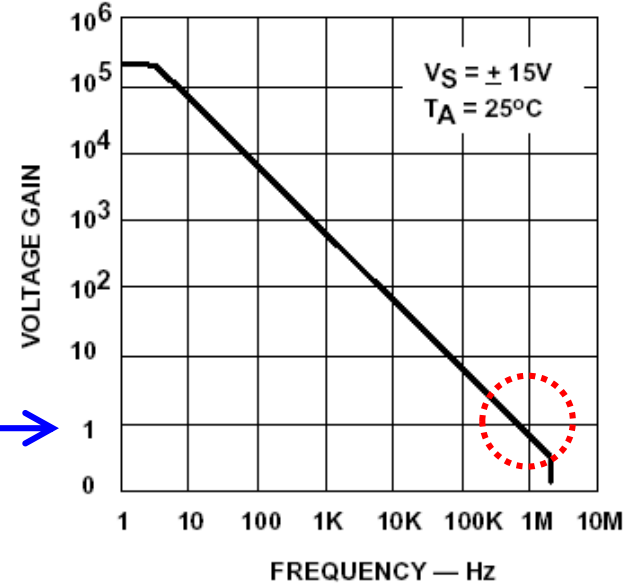
Recordemos el **polo dominante** del AO 741

- Aparece en los *data-sheet* a través de la **frec. de ganancia unidad: f_t**

$$A_V(s) = A_m \frac{1}{1 + (s / \omega_H)}$$

$$f_t = A_m f_H = G \cdot BW$$

Open-Looped Voltage Gain as a Function of Frequency



AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

TA=25°C, VS = ±15V, unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	μA741, μA741C			UNIT
			Min	Typ	Max	
R _{IN}	Parallel input resistance	Open-loop, f=20Hz	0.3			MΩ
C _{IN}	Parallel input capacitance	Open-loop, f=20Hz		1.4		pF

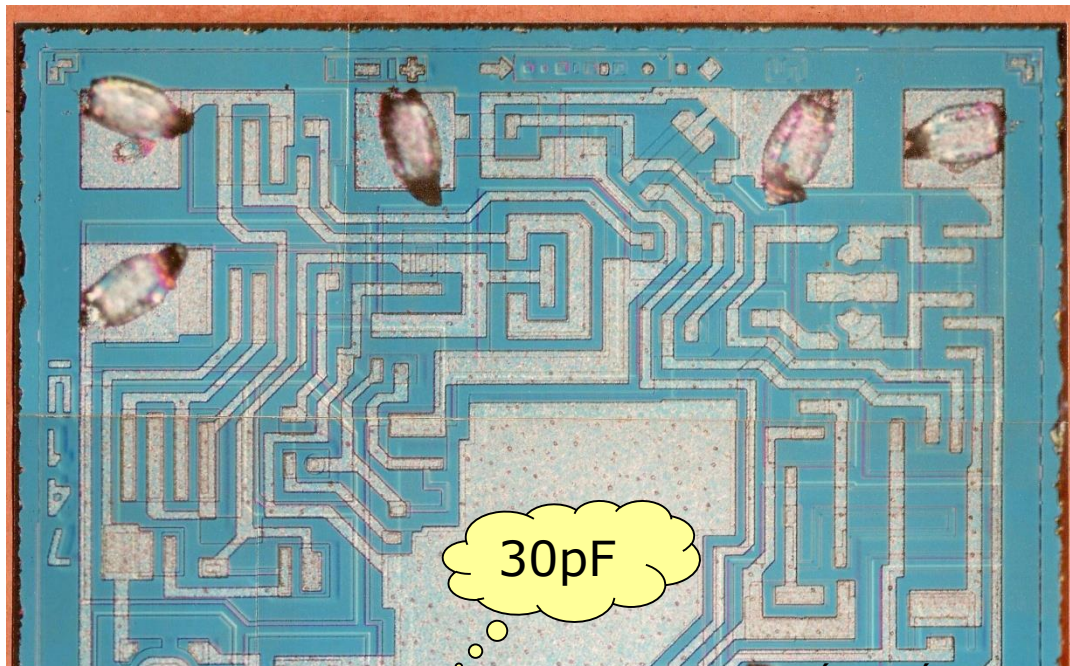
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

3.4. Capacidad Miller en el AO 741.

- Vista interna del circuito integrado del Operacional 741:
 - Observe el gran tamaño ocupado por el C de compensación, a pesar de su pequeño valor...



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



4. Realimentación en amplificación con TRTs

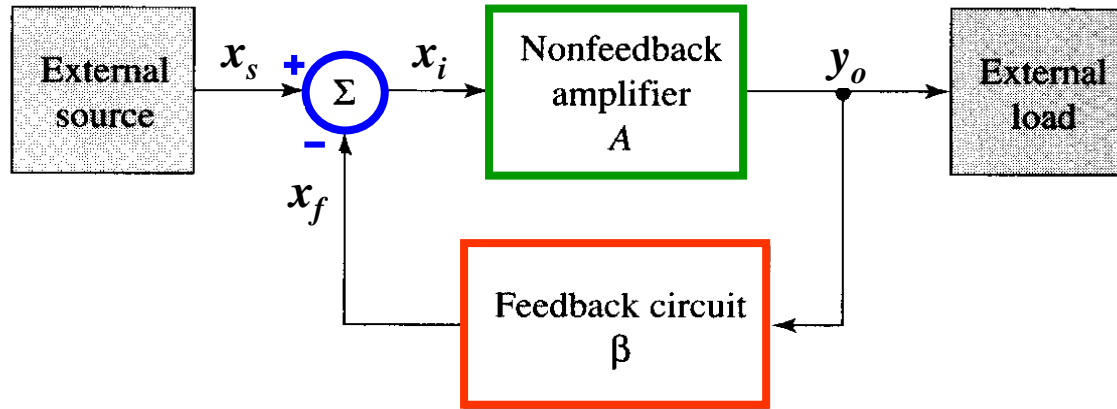
- ❑ La realimentación es esencial en amplificación
 - **Mejora y linealiza** los parámetros de ganancia, margen dinámico, impedancias terminales, respuesta en frecuencia, etc.
 - **Disminuye la sensibilidad** de los parámetros del amplificador respecto a las variaciones de los parámetros de los TRTs
- ❑ Estudio de la Realimentación en ctos. con TRTs
 - Recordemos que en amplificadores con TRTs, es frecuente separar su análisis o diseño en dos fases:
 1. **Polarización** (DC), para ubicar los TRTs en la zona de trabajo deseada
 2. **Señal variable** (AC), usando el modelo del TRT correspondiente al punto de trabajo ajustado en el paso 1
 - Es frecuente independizar ambos comportamientos (DC y AC) usando redes apropiadas de *acoplo/desacoplo*

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

4.1. Revisión: enfoque del problema



- ❑ Es fundamental determinar la topología existente:
 - Hay que reconocer generador, carga y redes **A** y β poder aplicar las ecuaciones fundamentales → **Topología de Realimentación**
- ❑ Para reconocer la topología hay que **buscar**:
 - Un *restador* de señales a la entrada (variables que se suman...)
 - Un *muestreador* de señales a la salida (variable común)

Cartagena99

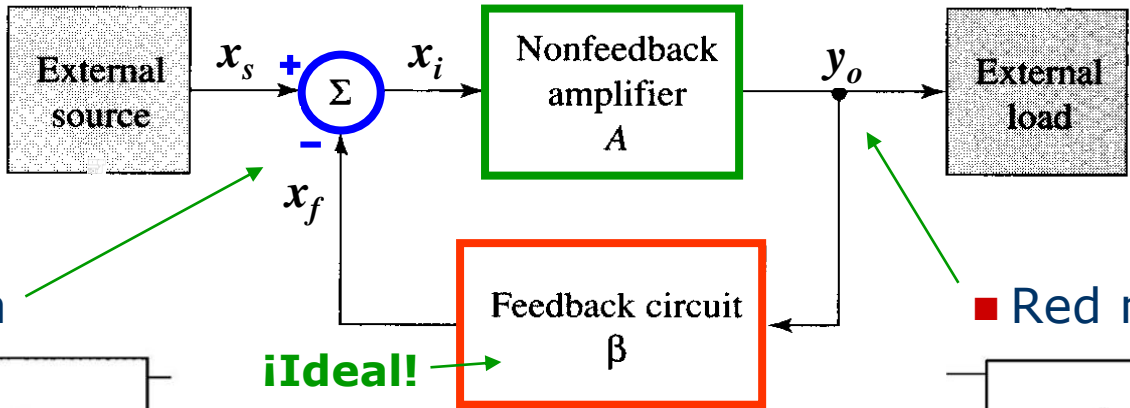
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



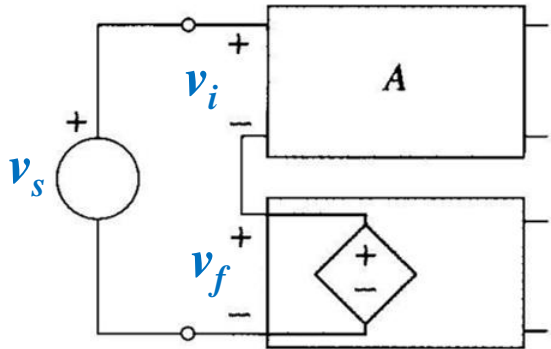
4.1. Revisión: topologías y variables

iIdeal!

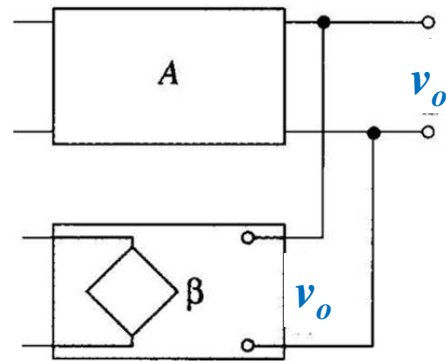


iIdeal!

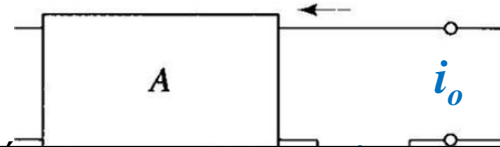
■ Red sumadora



■ Red muestreadora



Entrada	Salida
Serie Tensión	Paralelo Tensión
Paralelo Corriente	Serie Corriente

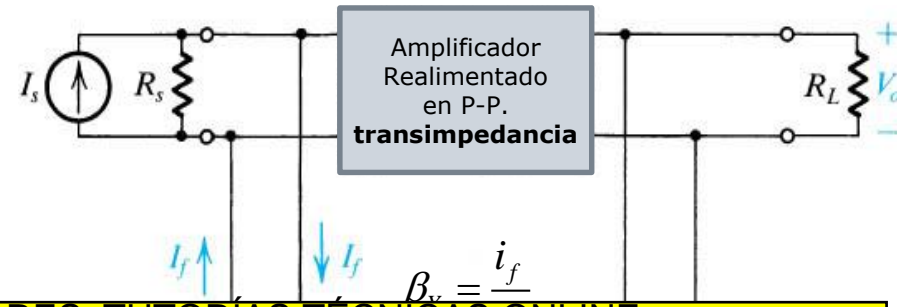
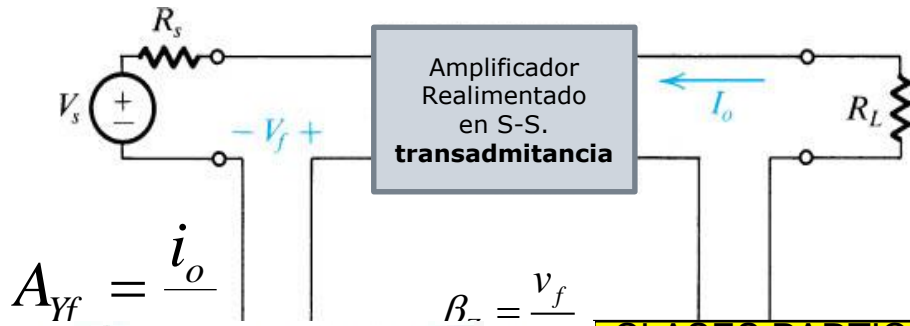
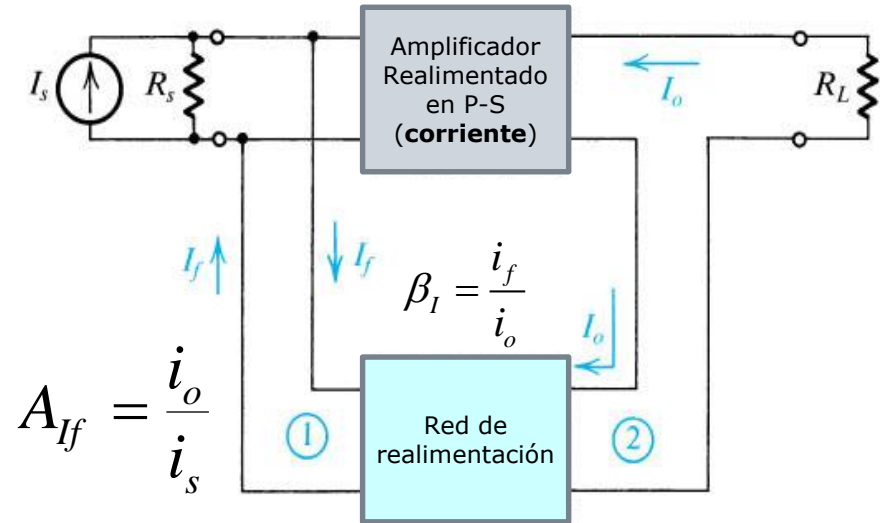
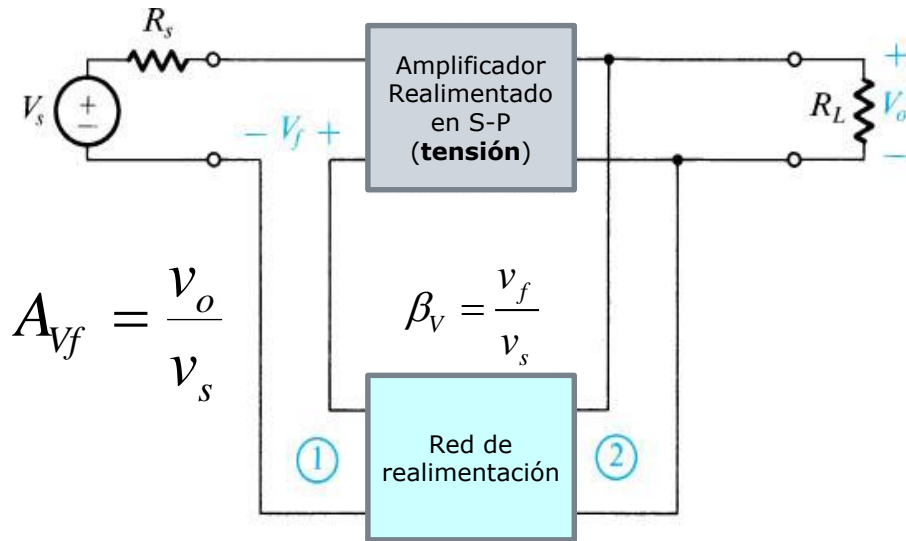


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

4.1. Tipo y dimensiones de las ganancias



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99



4.1. Revisión: análisis en ctos. prácticos

- ❑ **Identificar** la topología:
 - Ella impone los tipos de ganancias A y β correspondientes, y
 - la asignación en serie o paralelo de los efectos de carga sobre A

- ❑ **Idealizar** la estructura:
 - Convertir todo, salvo A , en **ideal**. Para ello...
 - Asignar las impedancias de fuente y carga a A .
 - Obtener el efecto de carga β sobre A en la entrada (R_{11})
 - Anular la variable común a la salida en la red β
 - Efecto de carga en la salida (R_{22}) y valor de β
 - Anular la variable común a la entrada en la red β
 - El nuevo amplificador resultante será: **A'**

- ❑ **Aplicar** la teoría general de realimentación sobre A' y β ideal

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

4.2. Topologías en circuitos con TRTs

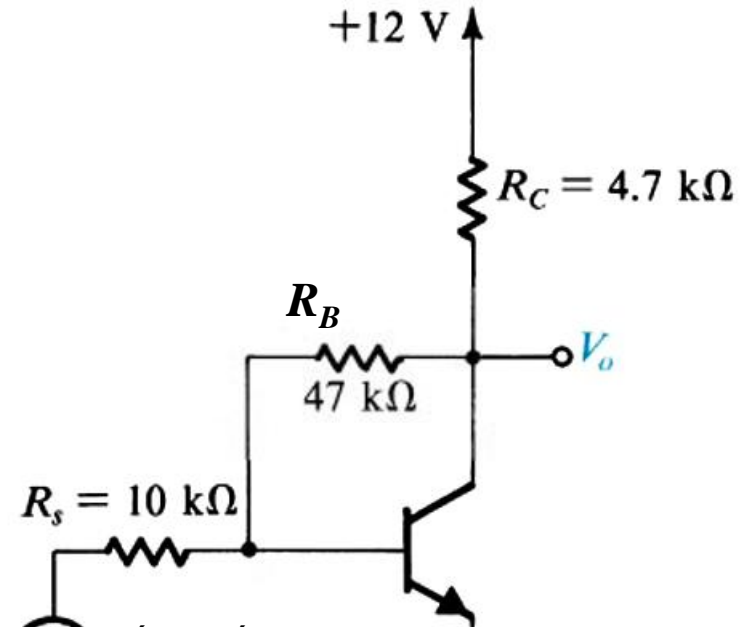
- ❑ Identificación correcta de las variables en entrada y salida
 - La conexión *paralelo* se identifica fácilmente → ***inudo*** de corrientes!
 - Por exclusión, si no existe o no se identifica un *nudo*, busquemos una conexión en *serie*

- ❑ Ejemplos:

- Veamos diversas alternativas de interconexión en los amplificadores con TRTs

→ Ejemplo 1:

- Identifique la topología y



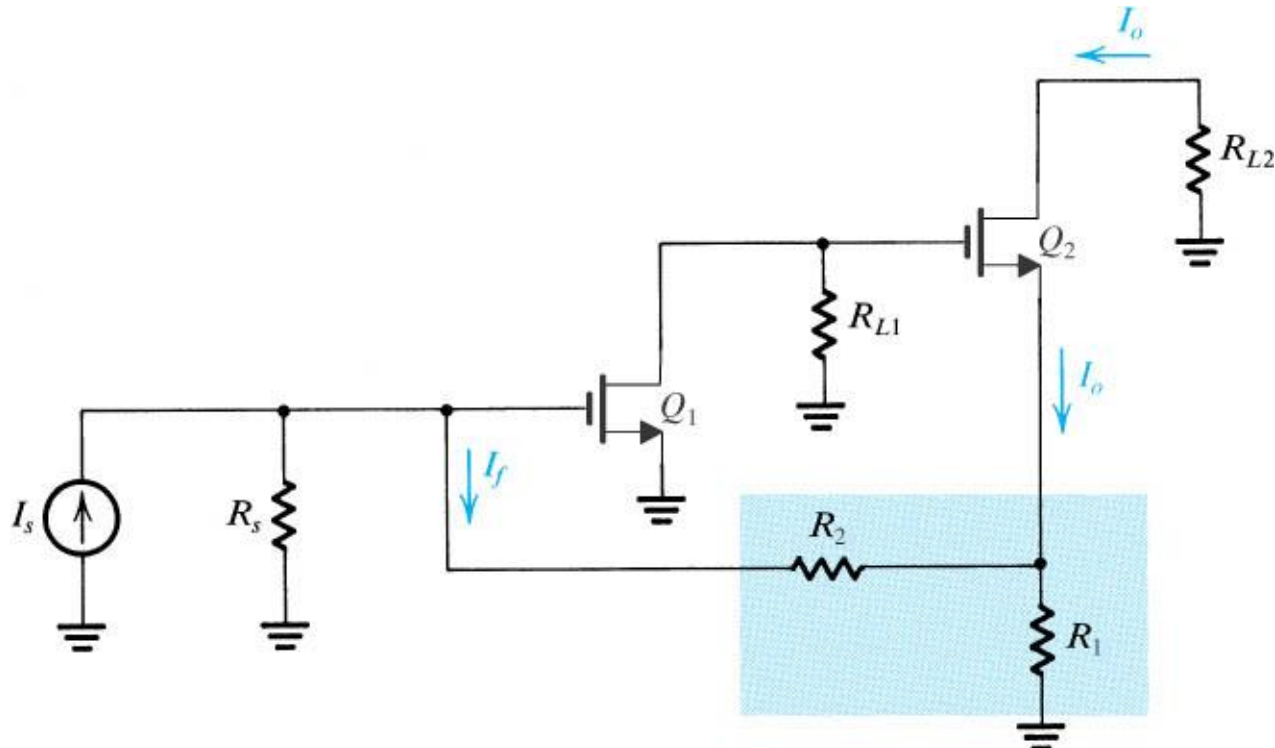
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

4.2. Ejemplo 2: topología Paralelo-Serie

- En los siguientes amplificadores se ha destacado ya la red de realimentación. Identifique el resto de bloques (A , carga, gen.):



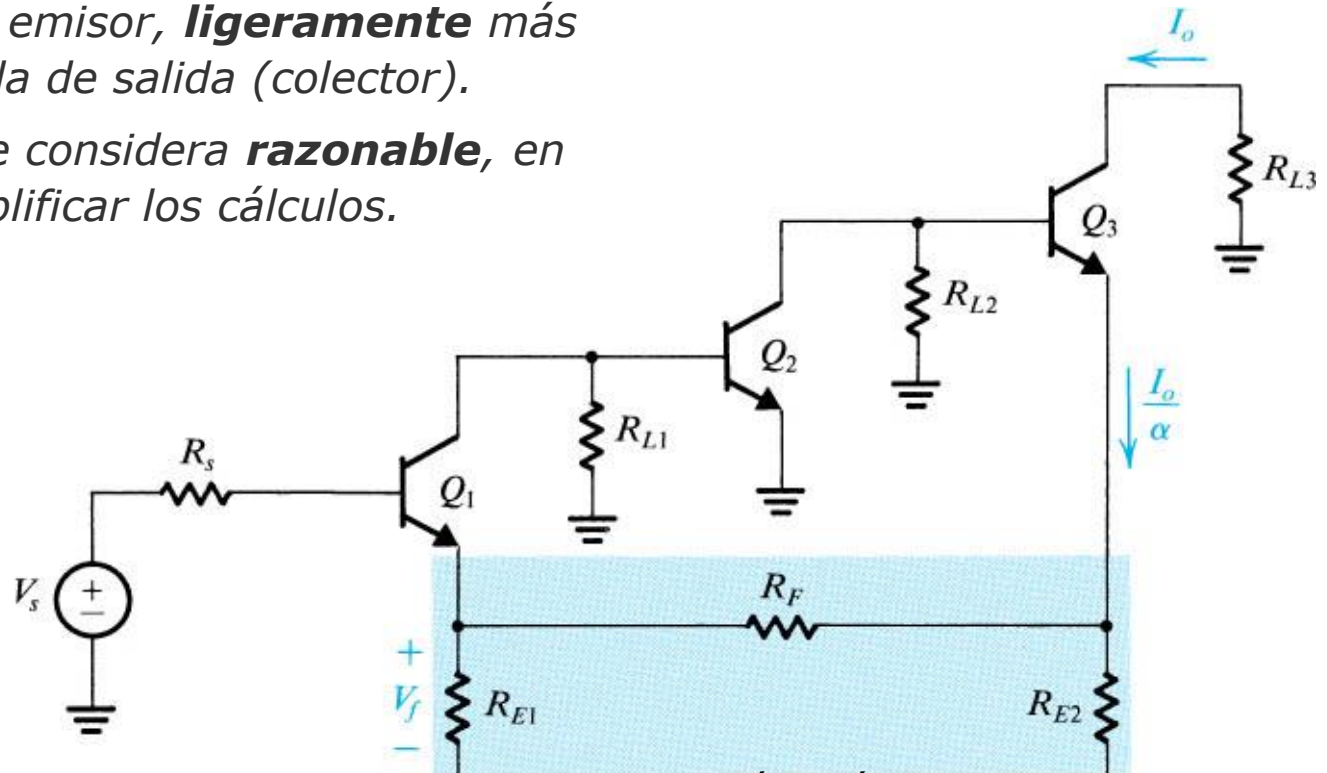
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

4.2. Ejemplo 3: topología Serie-Serie

- En este caso la salida del amplificador es a través de Q_3 , un BJT
 - Por tanto, la corriente en la red β es la corriente de emisor, **ligeramente** más grande que la de salida (colector).
 - Este error se considera **razonable**, en aras de simplificar los cálculos.



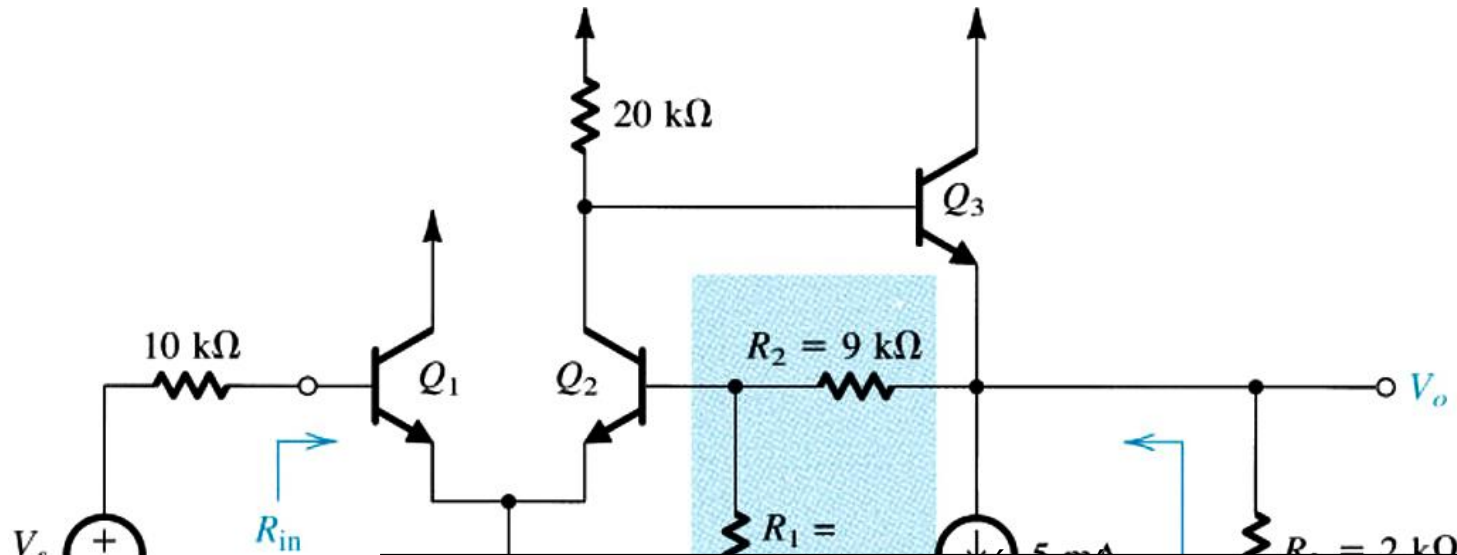
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

4.2. Ejemplo 4: topología Serie-Paralelo

- El amplificador mostrado es un diferencial (*similar al del Laboratorio*)
 - Al tener dos entradas (no-inversora e inversora) la conexión serie de la red beta se simplifica notablemente.
 - En este caso, se muestra la red polarización pues el diferencial es un **amplificador de continua**, igual que el A. Operacional.



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99



Referencias

- ❑ Material de estudio:
 - Hambley, capítulo 7.
 - Malik, secciones: 6.7, 7.8.3, 7.8.5 y 7.9.(2-4)
 - Sedra-Smith, capítulo 6, secciones 6.1-5.

- ❑ Gráficas extraídas de los textos y secciones detallados.

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



Control de revisiones

- 2017-03-13: versión preliminar
 - *Sólo secciones 'Introducción' y 'Respuesta en Frecuencia'*
- 2017-03-15: versión final
 - *Se incluye la sección 3.4-Capacidad Miller en los Amplificadores Operacionales. Se incluye la sección 4-Realimentación.*

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70