



Universidad
Carlos III de Madrid
www.uc3m.es

Sesión 21

Amplificadores Multietapa

Componentes y Circuitos Electrónicos

Pablo Acedo / José A. García Souto

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

Amplificadores Multietapa

CONTENIDOS

- Justificación de la necesidad de amplificadores multietapa.
- Metodología de análisis de los amplificadores multietapa.
- Ejemplo de Amplificador Multietapa
- El par diferencial.

Justificación

Prestaciones Monoetapa

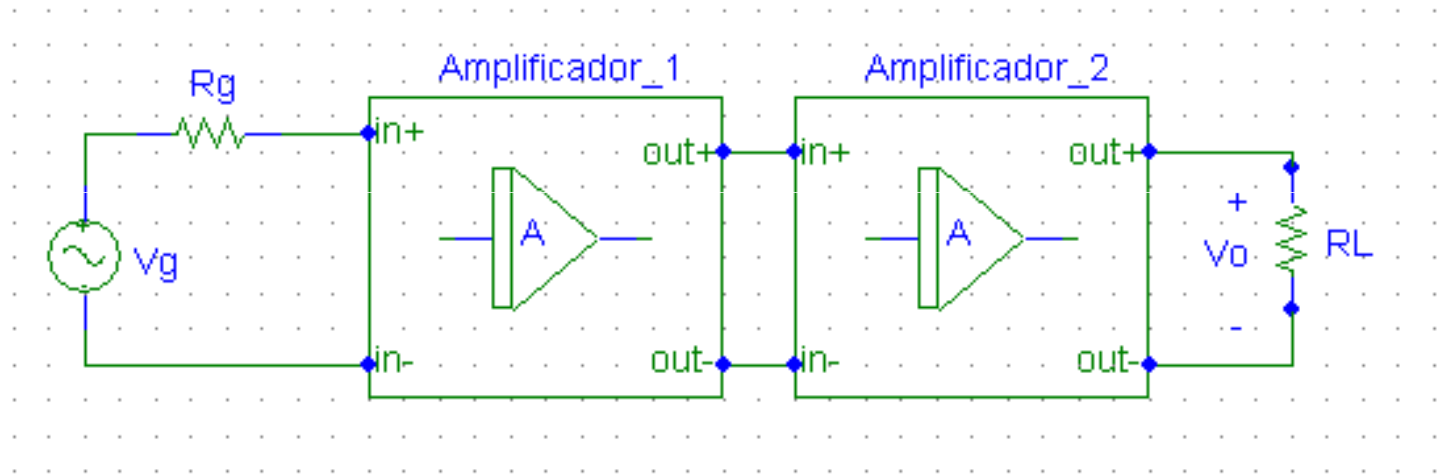
Etapa	Rin	Rout	Av	Ai(sc)
EC	$R_b // r_\pi \approx r_\pi$	$R_c // r_o$	★ $-g_m(r_o // R_c // R_L)$	$-g_m R_{in} \approx -\beta_o$
EC-RE	★ $R_b // [r_\pi + (1 + \beta_o)R_e]$	R_c	★ $-\frac{\beta_o(R_c // R_L)}{r_\pi + (1 + \beta_o)R_e}$	$-\beta_o \frac{R_b + R_{ib}}{R_b} \approx -\beta_o$
CC	★ $R_b // [r_\pi + (1 + \beta_o) \cdot R_{EM}]$	★ $\frac{r_\pi + (R_b // R_g)}{1 + \beta_o}$	$\frac{(1 + \beta_o) \cdot R_{EM}}{r_\pi + (1 + \beta_o) \cdot R_{EM}} \approx 1$	$(1 + \beta_o) \frac{R_b + R_{ib}}{R_b}$
BC	$\frac{r_\pi}{1 + \beta_o} \approx \frac{1}{g_m}$ ★	R_c	$+g_m(R_c // R_L)$	$\frac{\beta_o}{(1 + \beta_o)} = \alpha$

$$G_v = A_v \frac{R_{in}}{R_g + R_{in}}$$

$$G_v|_{EC}^{max} \approx -g_m r_o = -\frac{V_A}{V_T}$$

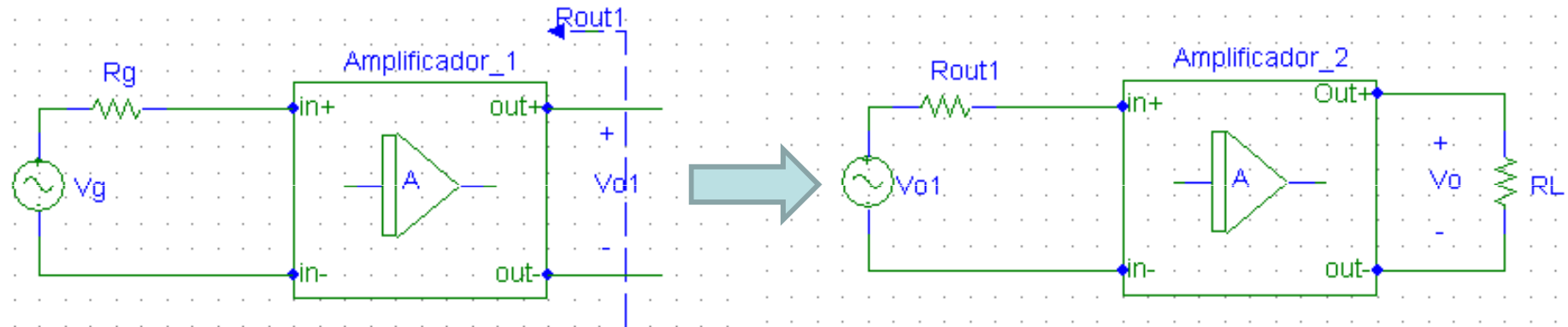
$$G_v|_{CC}^{max} \approx 1$$

Amplificadores Multietapa



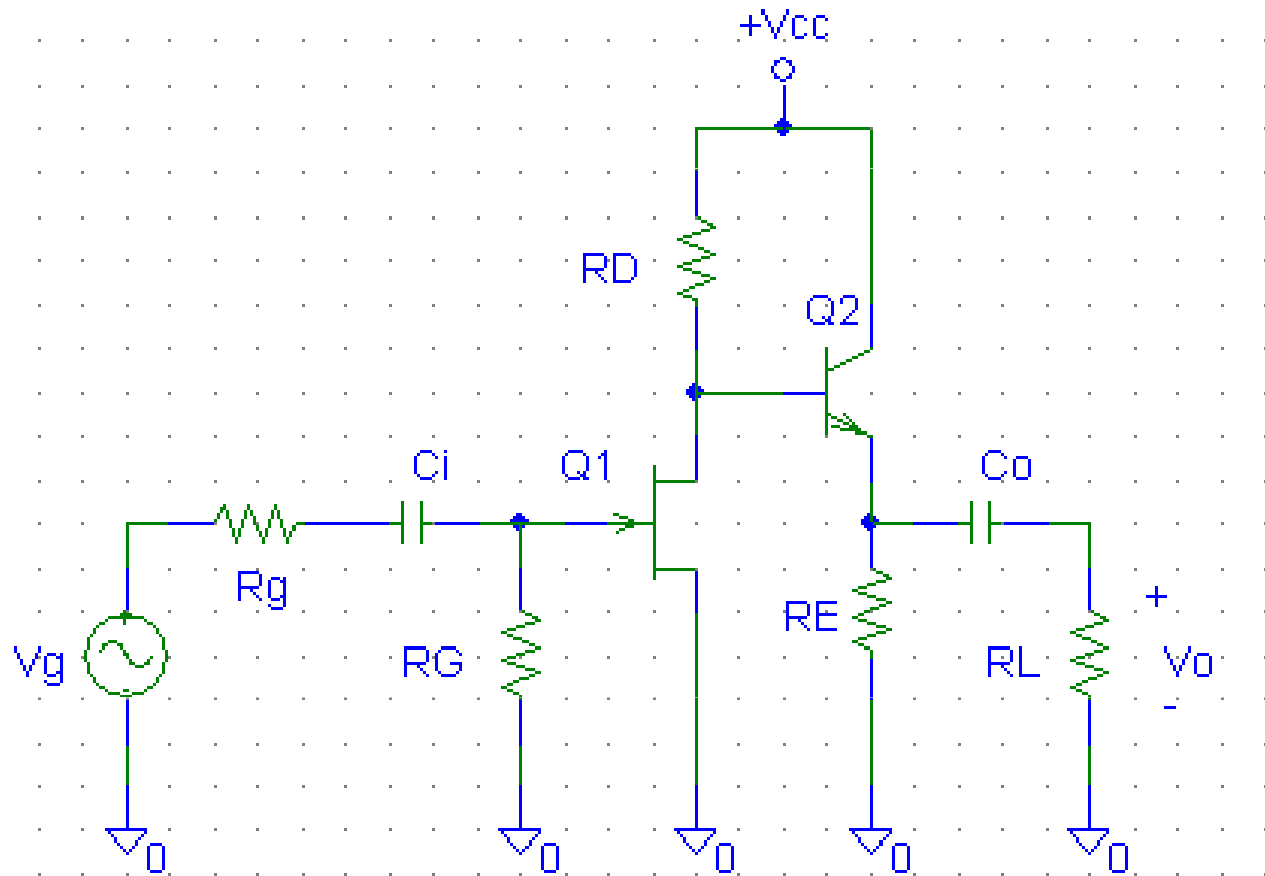
- TODOS los circuitos integrados analógicos están compuestos de diversas etapas acopladas normalmente en continua, cada una con una misión específica.
- La primera etapa (etapa de entrada) es la responsable de fijar la impedancia de entrada, luego suele haber una etapa de ganancia (o varias) y una etapa de salida fijando la impedancia de salida y suministrando la corriente a la carga.

Metodología

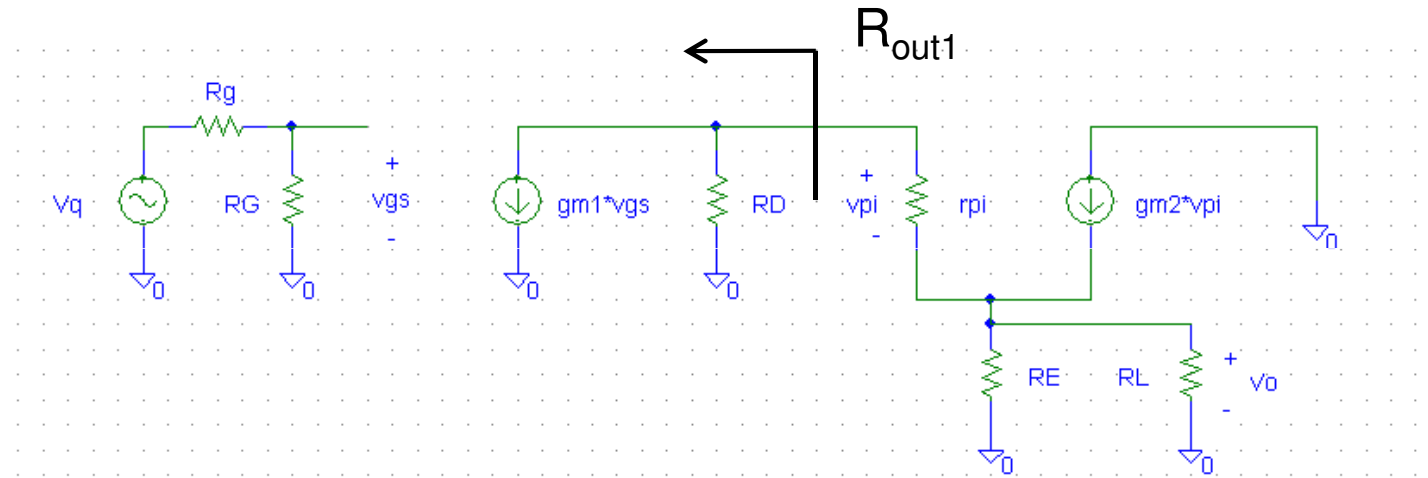


- Primero se analiza la primera etapa de forma independiente calculando la tensión de salida (en función de V_g) y la impedancia de salida (R_{out1}).
- A continuación se ataca la segunda etapa con la tensión de salida de la etapa anterior y su impedancia de salida par calcular la tensión de salida de la segunda etapa (y su impedancia de salida)
- Así sucesivamente para todas las etapas.

Ejemplo (I)



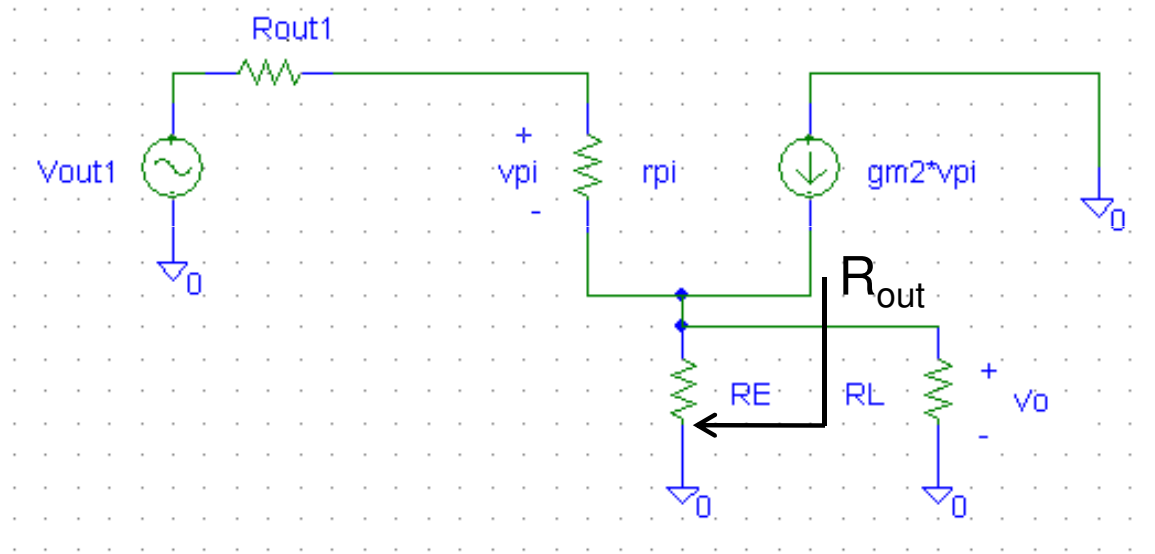
Ejemplo (II)



$$R_{out1} = R_D$$

$$V_{out1} = -\frac{R_G}{R_g + R_G} g_{m1} R_D V_g$$

Ejemplo (III)



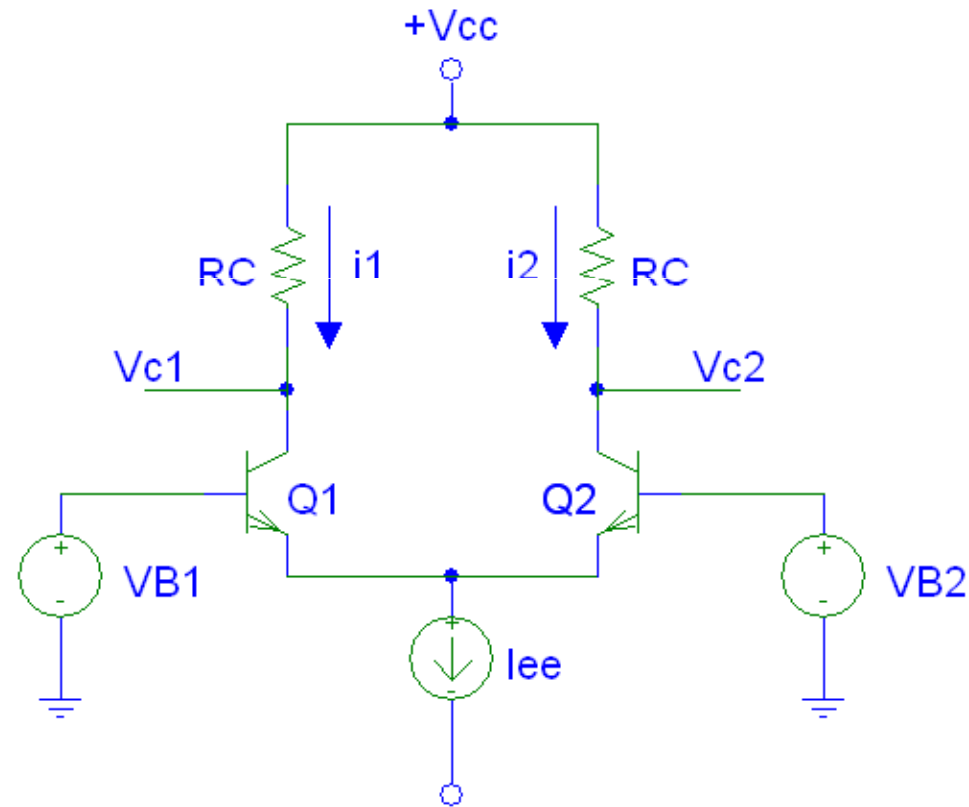
$$R_{out} = R_E // \frac{r_{\pi} + R_{out1}}{1 + \beta_0}$$

$$V_o = \frac{(1 + \beta_0) R_E // R_L}{R_{out1} + r_{\pi} + (1 + \beta_0) R_E // R_L} V_{out1}$$

Amplificador Diferencial

- Circuito Básico en Electrónica Analógica (y digital).
- Permite la amplificación de señales diferenciales, además de acoplo directo entre etapas (sin necesidad de condensadores de acoplo). Posibilidad de obtener amplificadores con ganancia en continua.
- Circuito base de los amplificadores operacionales (utilizados en el laboratorio).

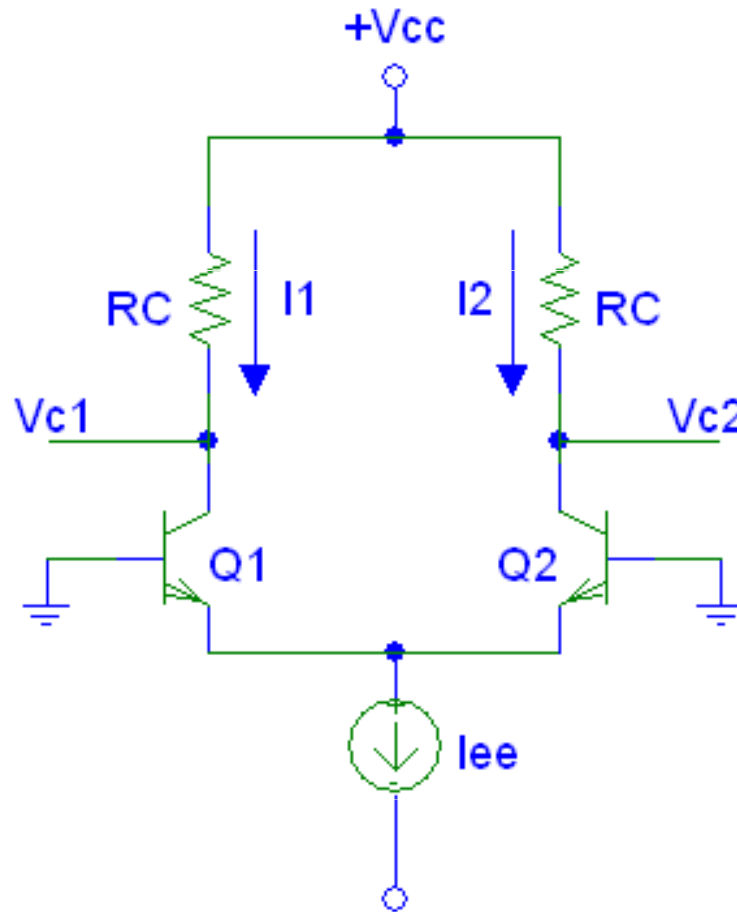
Amplificador Diferencial



$$v_{id} = v_{B1} - v_{B2}$$

$$v_c = \frac{v_{B1} + v_{B2}}{2}$$

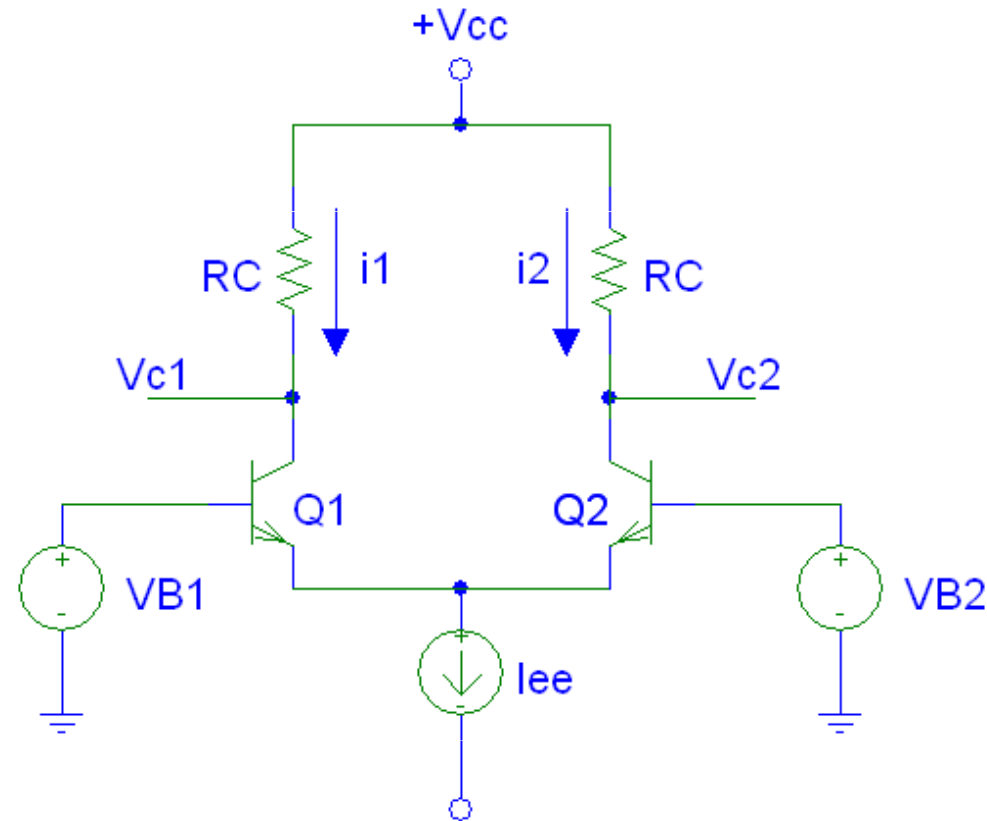
Amplificador Diferencial en Continua



$$I_{C1} = I_{C2} = \frac{I_{ee}}{2}$$

Amplificador Diferencial

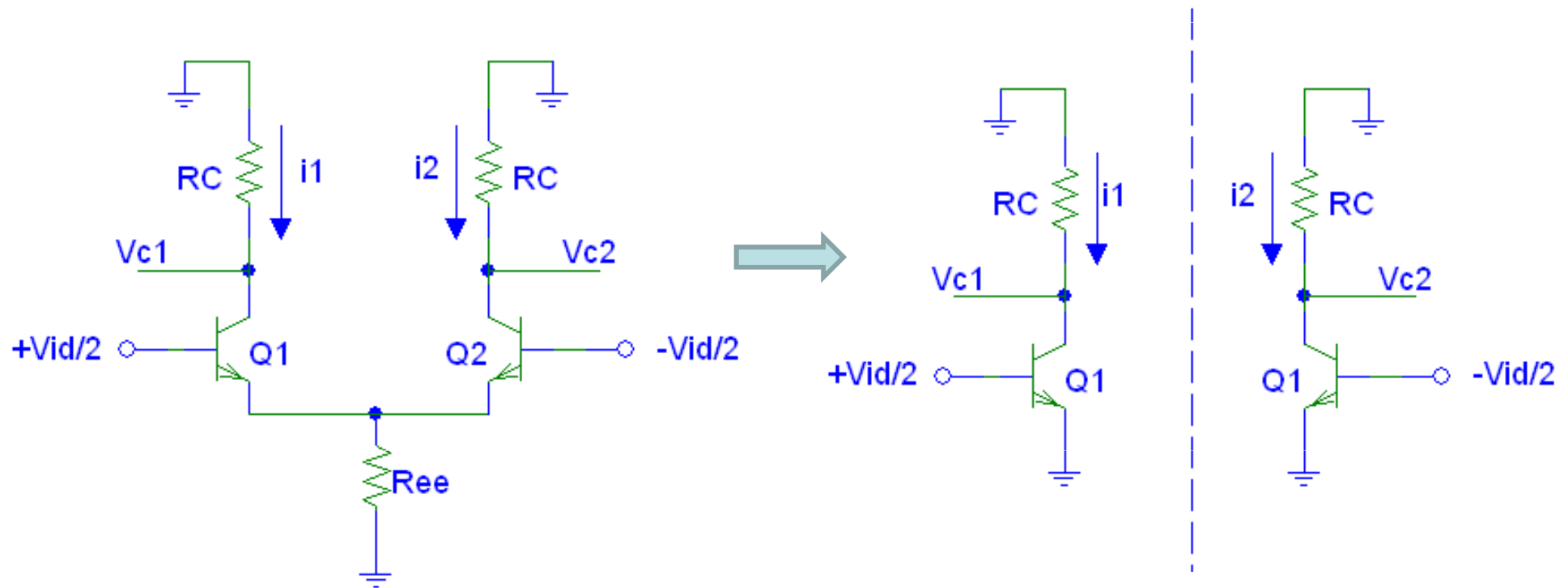
Pequeña señal



$$v_{c1} = A v_{B1} + B v_{B2} \quad \Rightarrow \quad v_{c1} = A_{DM} v_{id} + A_{CM} v_c$$

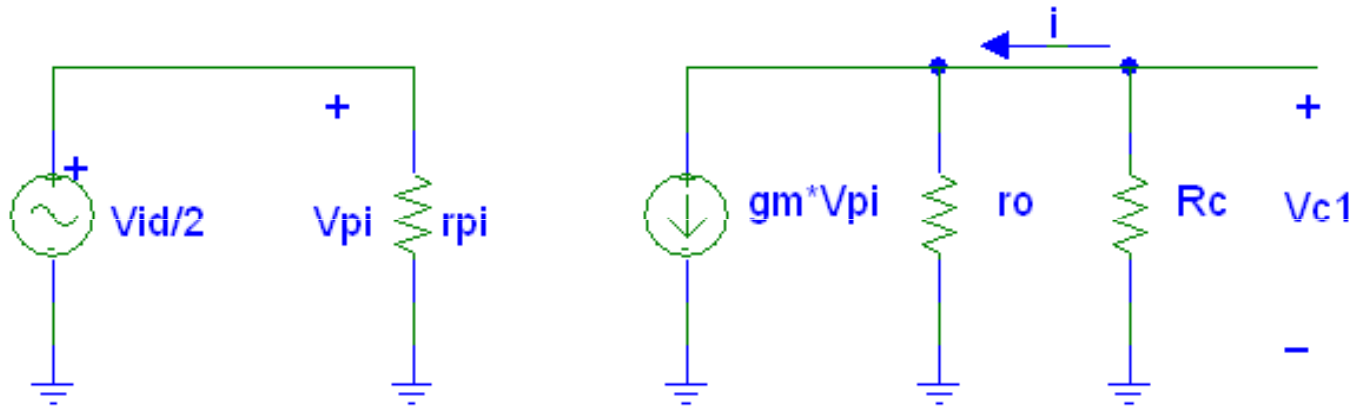
Amplificador Diferencial

Pequeña señal. Modo diferencial (I)



Amplificador Diferencial

Pequeña señal. Modo diferencial (II)



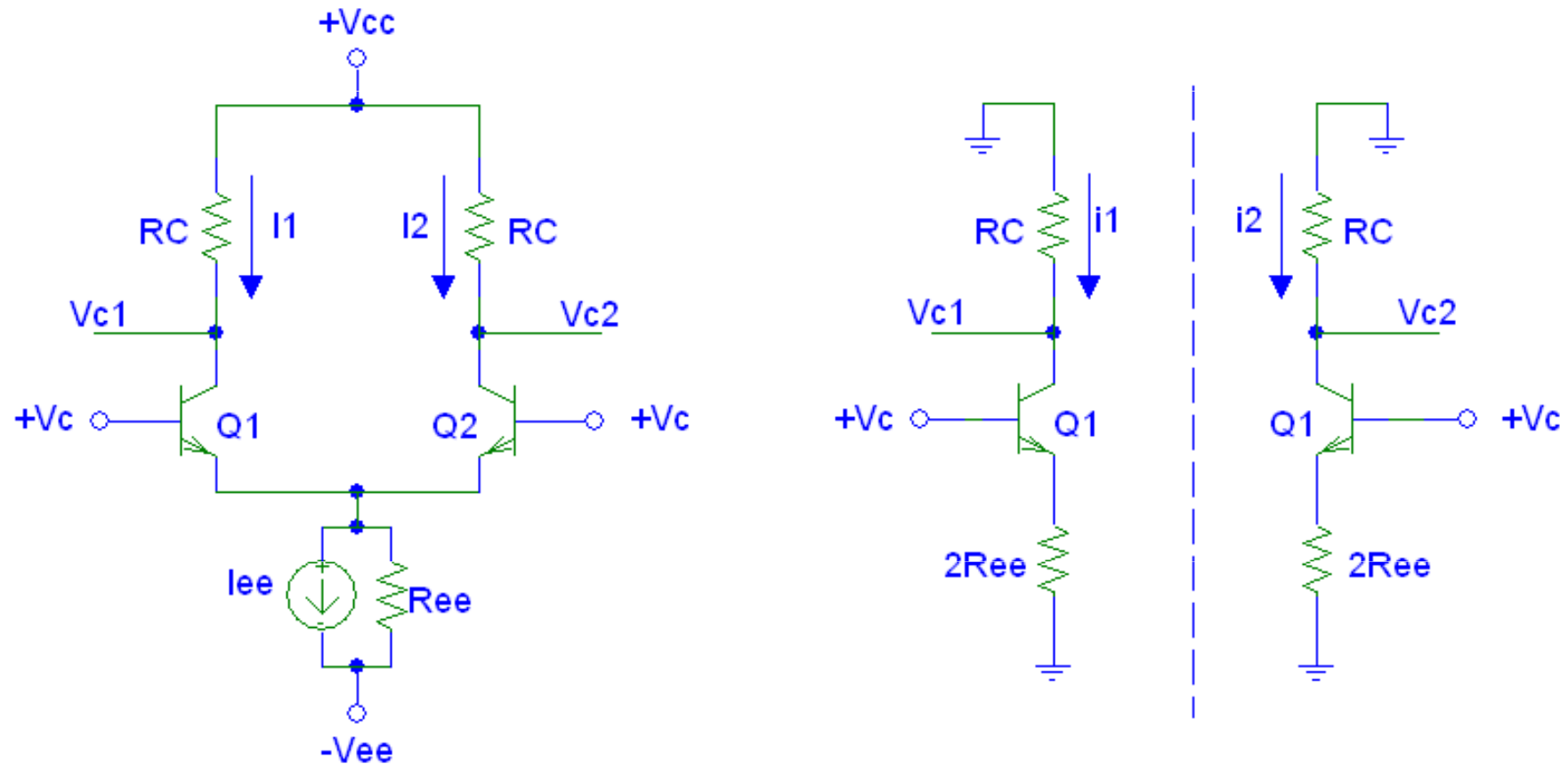
- La salida se puede tomar entre los dos colectores (diferencial):

$$v_o = v_{c1} - v_{c2}$$

- O sólo de uno de ellos (salida unipolar)

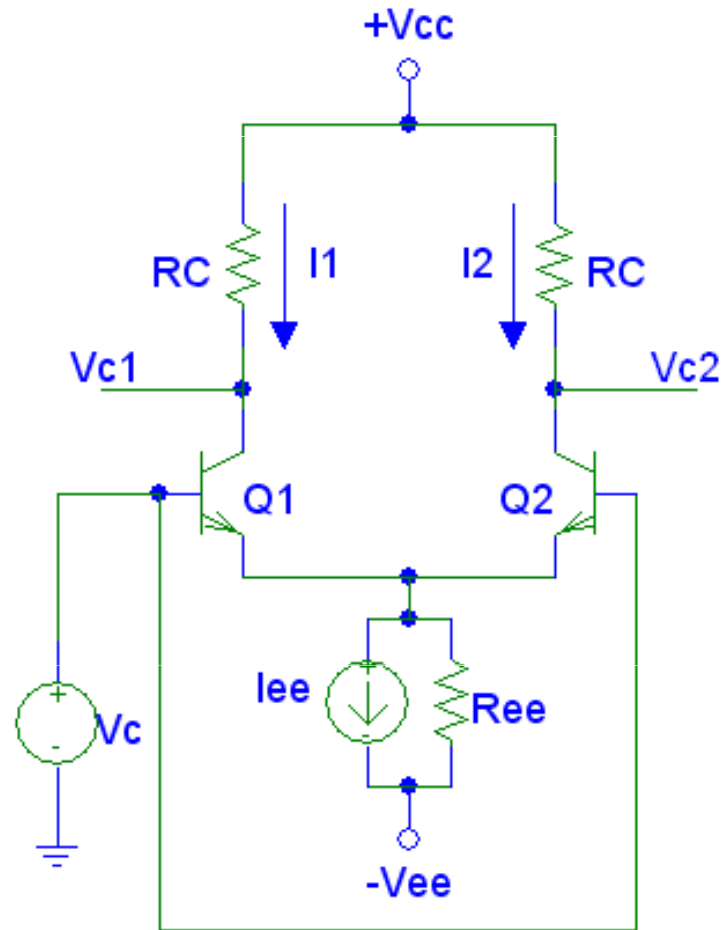
Amplificador Diferencial

Pequeña señal. Modo Común (I)



Amplificador Diferencial

Pequeña señal. Modo Común (II)



Amplificador Diferencial

Consideraciones Finales (I)

- Rechazo al Modo Común:

$$CMRR = \frac{A_{DM}}{A_{CM}}$$

- De manera que:

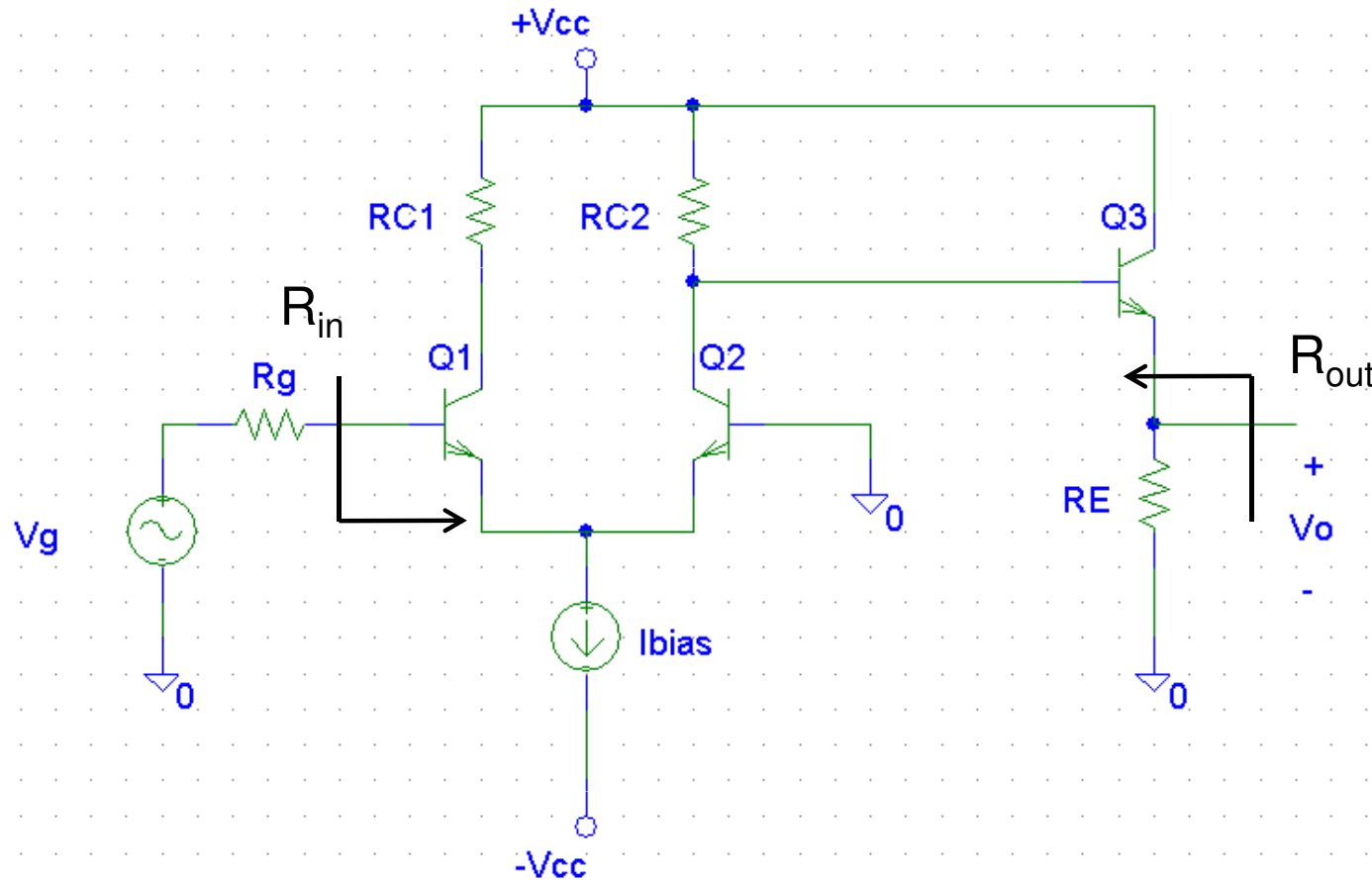
$$v_o = A_{DM} \left(v_{id} + \frac{v_c}{CMRR} \right)$$

Amplificador Diferencial

Consideraciones Finales (II)

- El cálculo de las distintas impedancias asociadas a los circuitos planteados quedan como ejercicio.
- La respuesta en frecuencia se tratará en el ejercicio propuesto

Ejercicio Propuesto



$$V_{CC} = 15 \text{ V}$$

$$I_{bias} = 1 \text{ mA}$$

$$R_{C1} = R_{C2} = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_E = 560 \Omega$$

$$R_g = 50 \Omega$$

Transistores: $\beta_0 = \beta_F = 250$, $V_T = 25 \text{ mV}$, $V_{BE} = 0.6 \text{ V}$, $C_\pi = 2 \text{ pF}$, $C_\mu = 0.7 \text{ pF}$