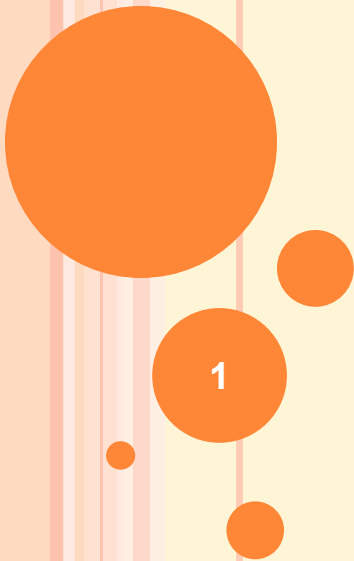


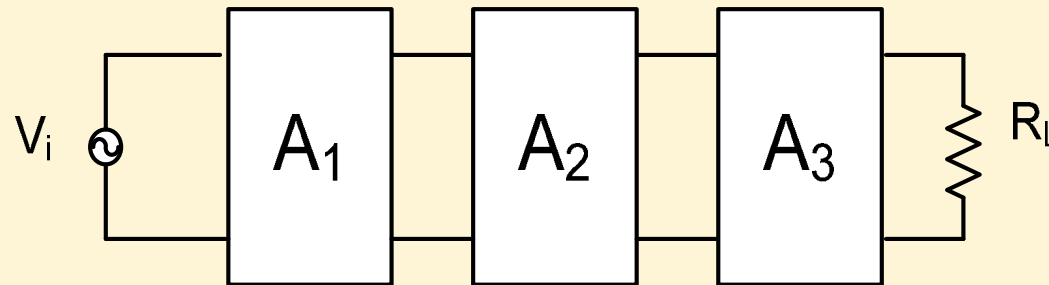
CONFIGURACIONES ESPECIALES: AMPLIFICADORES EN CASCADA



1



- Amplificador construido a partir de una serie de amplificadores, donde cada amplificador envía su salida a la entrada del amplificador siguiente de la cadena.



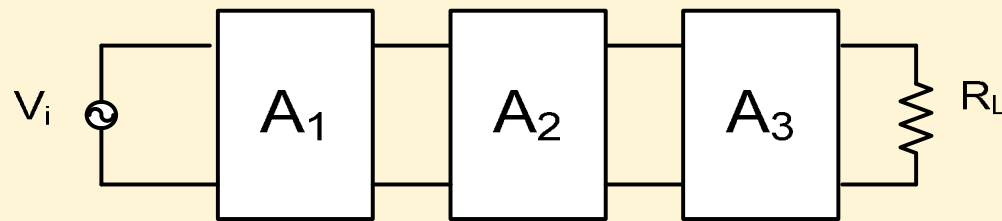
- La amplificación de la señal se efectúa por etapas: la salida de una excita la entrada de la etapa siguiente.
- La ganancia general del amplificador en cascada es el producto de las ganancias de las etapas, si la misma está expresada en “veces” o la suma si está en dB

La conexión en cascada proporciona una multiplicación de la ganancia de cada una de las etapas , logrando así una ganancia total grande.

- Primera etapa, proporciona una alta resistencia para evitar pérdida del nivel de señal cuando el amplificador se alimenta con una fuente de alta resistencia.
- La función de las etapas intermedias de la cascada de un amplificador es proporcionar la mayor parte de la ganancia de tensión.
- Etapa salida de un amplificador: proporciona una baja resistencia de salida con el fin de evitar pérdida de ganancia
- La carga del primer amplificador es la resistencia de entrada del segundo amplificador.
- La carga del segundo amplificador es la impedancia de entrada del tercero
- No es necesario que las diferentes etapas tengan las mismas ganancias de tensión o de corriente.

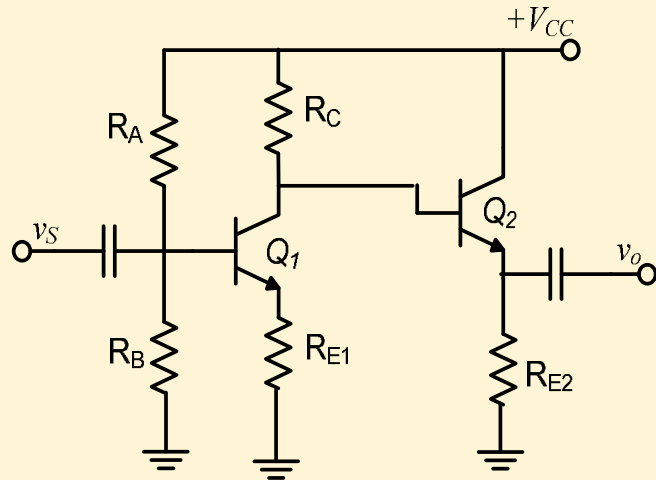
- Cuando un sistema está compuesto por más de una etapa de transistores, es necesario conectar, o acoplar, las etapas entre sí. Hay 2 maneras de acoplar:

- Directo
- Capacitivo



ACOPLE DIRECTO.

- Dos amplificadores están acoplados directamente si la salida del primer amplificador se conecta en forma directa a la entrada del segundo sin utilizar condensadores.
- La salida en CA de la primera etapa está superpuesta con el nivel de CD estático de la segunda etapa.
- El acoplamiento directo se pueden utilizar de manera efectiva al acoplar en amplificador Emisor Común a uno Emisor Seguidor.
- **VENTAJA:** Buena respuesta en frecuencias pues no existen capacitores en serie



Las etapas se conectan en forma directa, permite una amplificación tanto de la componente de señal como de la componente continua del circuito.

Para la corriente continua se tiene

$$V_{CC} = R_C (I_{B2} + I_{C1}) + V_{BE2} + R_{E2} I_{E2}$$

$$I_{E2} = I_{B2} + I_{C2} \longrightarrow I_{B2} = \frac{V_{CC} - V_{BE2} - I_{C1} R_C}{(\beta_2 + 1) R_{E2}} = \frac{I_{C2}}{\beta_2}$$

$$V_{CC} \frac{R_B}{R_A + R_B} = V_{BE1} + I_{E1} R_{E1} = V_{BE1} + \left(1 + \frac{1}{\beta_1}\right) I_{C1} R_{E1}$$

$$I_{C1} = \frac{V_{CC} \frac{R_B}{R_A + R_B} - V_{BE1}}{\left(1 + \frac{1}{\beta_1}\right) R_{E1}}$$

De esta forma se determinan V_{CEQ1} y V_{CEQ2} .

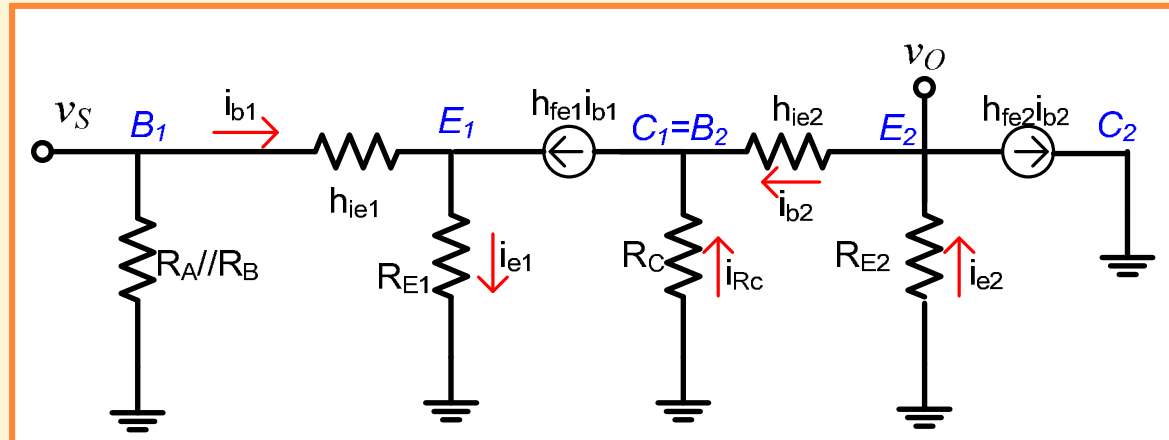
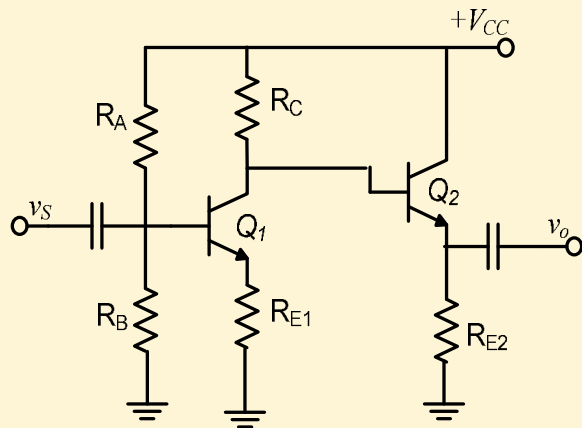
Observar que al hacer análisis en cc, los efectos de la polarización de una etapa afectan a la otra.

ACOPLAMIENTO DIRECTO

TEMA 8

Para el cálculo de la ganancia de tensión se puede proceder de dos maneras.

Método 1:



$$1) v_O = -i_{e2} R_{E2} = -(1 + h_{fe2}) i_{b2} R_{E2}$$

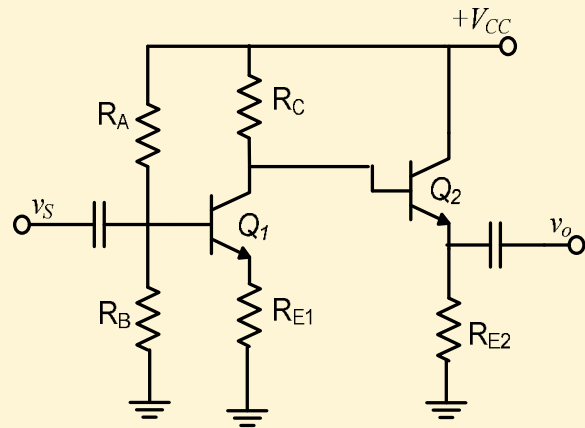
$$2) i_{RC} R_C = i_{b2} h_{ie2} + (1 + h_{fe2}) i_{b2} R_{E2} = i_{b2} (h_{ie2} + (1 + h_{fe2}) R_{E2})$$

$$i_{RC} = -i_{b2} + h_{fe1} i_{b1} \Rightarrow i_{b2} = \frac{h_{fe1} R_C i_{b1}}{h_{ie2} + (1 + h_{fe2}) R_{E2} + R_C}$$

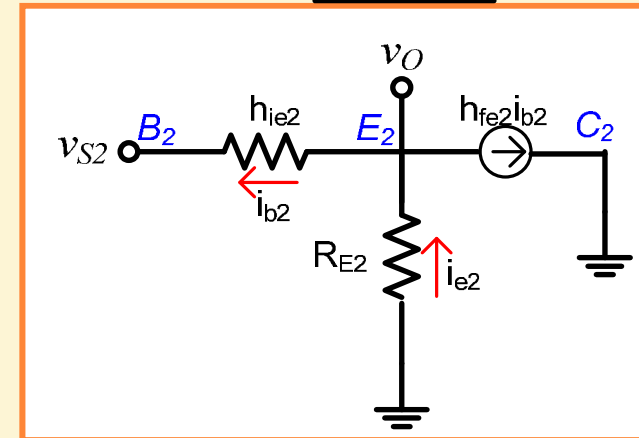
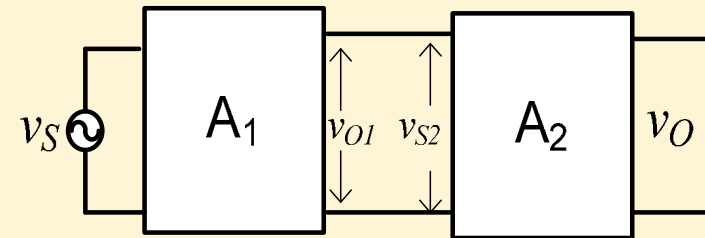
$$3) v_S = i_{b1} h_{ie1} + (1 + h_{fe1}) i_{b1} R_{E1}$$

$$4) A_v = - \frac{(1 + h_{fe2}) h_{fe1} R_C R_{E2}}{[h_{ie1} + (1 + h_{fe1}) R_{E1}] [h_{ie2} + (1 + h_{fe2}) R_{E2} + R_C]}$$

Se observa que en el valor de la ganancia intervienen elementos de las 2 etapas



METODO 2:



Como la etapa 2 carga al amplificador 1, se debe calcular primero la ganancia e impedancia de entrada del amplificador 2.

→ Siempre se empieza calculando desde atrás hacia adelante.

Calculo de la 2° etapa o etapa de salida:

$$1) v_{S2} = -i_{b2} h_{ie2} - (1 + hfe_2) i_{b2} R_{E2}$$

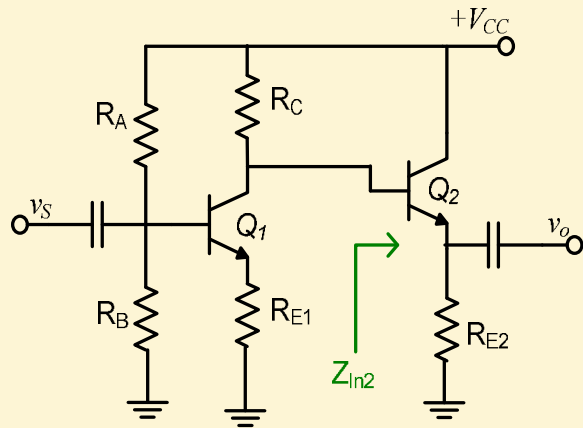
$$2) v_O = -i_{e2} R_{E2} = -(1 + hfe_2) i_{b2} R_{E2}$$

$$4) i_{S2} = -i_{b2}$$

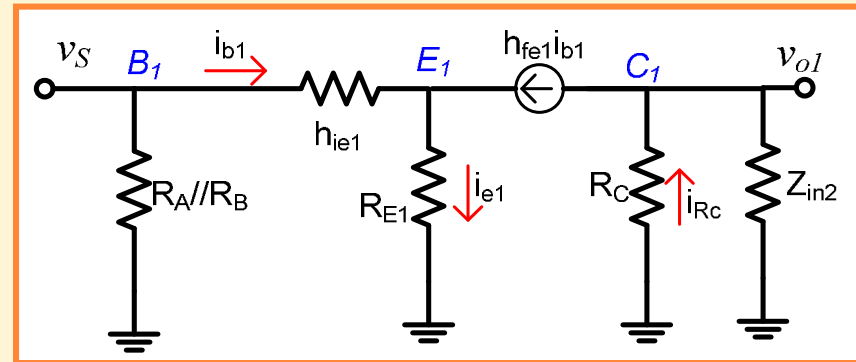
$$5) Z_{in2} = \frac{v_{S2}}{i_{S2}} = h_{ie2} + (1 + hfe_2) R_{E2}$$

$$3) A_{V2} = \frac{(1 + hfe_2) R_{E2}}{h_{ie2} + (1 + hfe_2) R_{E2}}$$

ACOPLAMIENTO DIRECTO



Calculo de la 1° etapa:



Se calcula la ganancia e impedancia de entrada del amplificador 1 cargado con la impedancia de entrada del Amplificador 2

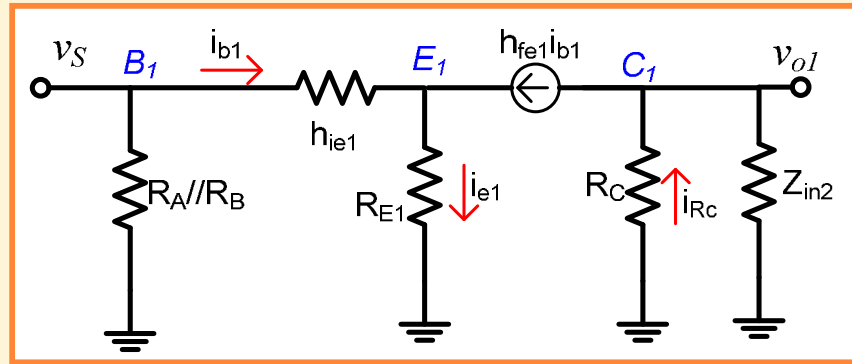
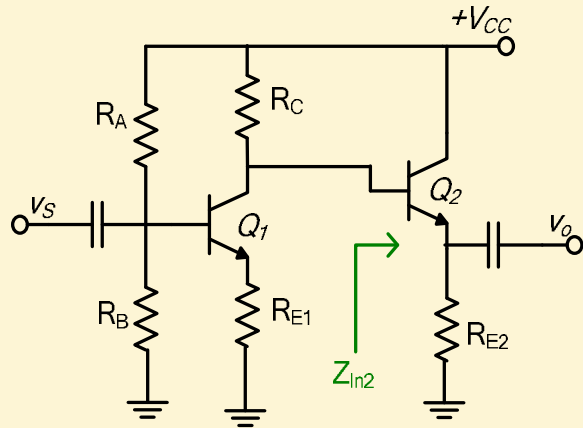
Muy importante!!

$$1) v_S = i_{b1} h_{ie1} + (1 + h_{fe1}) i_{b1} R_{E1}$$

$$2) v_O = -h_{fe1} i_{b1} (R_C // Z_{IN2})$$

$$3) A_{V1} = -\frac{h_{fe1} (R_C // Z_{in2})}{h_{ie1} + (1 + h_{fe1}) R_{E1}}$$

$$4) A_V = A_{V1} \cdot A_{V2} = -\frac{(1 + h_{fe2}) R_{E2}}{h_{ie2} + (1 + h_{fe2}) R_{E2}} \cdot \frac{(1 + h_{fe1}) (R_C // Z_{in2})}{h_{ie1} + (1 + h_{fe1}) R_{E1}}$$



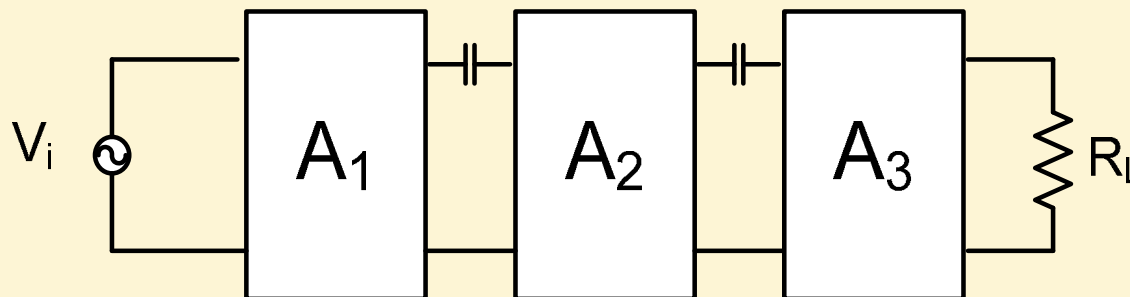
$$R_C // Z_{in2} = \frac{R_C (h_{ie2} + (1 + h_{fe2}) R_{E2})}{R_C + h_{ie2} + (1 + h_{fe2}) R_{E2}}$$

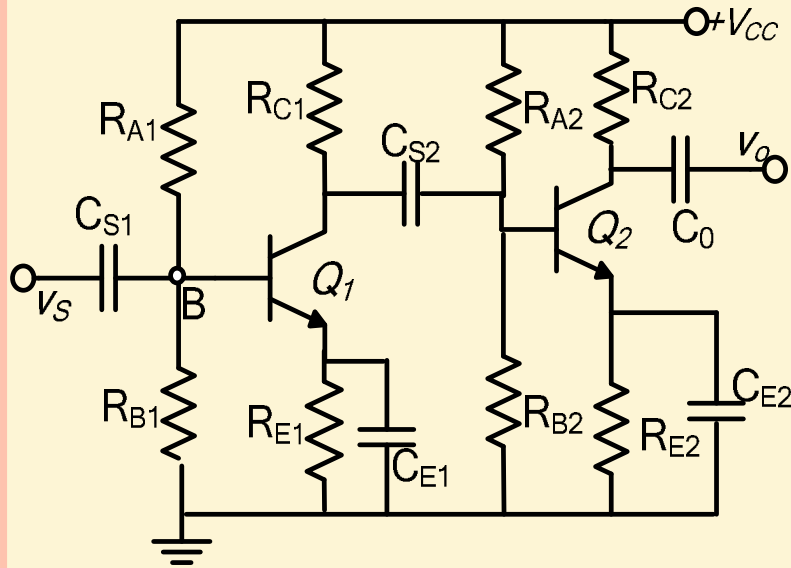
$$A_V = - \frac{(1 + h_{fe2}) R_{E2}}{h_{ie2} + (1 + h_{fe2}) R_{E2}} \cdot \frac{(1 + h_{fe1})}{h_{ie1} + (1 + h_{fe1}) R_{E1}} \cdot \frac{R_C (h_{ie2} + (1 + h_{fe2}) R_{E2})}{R_C + h_{ie2} + (1 + h_{fe2}) R_{E2}}$$

$$A_V = - \frac{(1 + h_{fe2}) (1 + h_{fe1}) R_C R_{E2}}{(R_C + h_{ie2} + (1 + h_{fe2}) R_{E2}) h_{ie1} + (1 + h_{fe1}) R_{E1}}$$

Observar que se llega al mismo resultado por ambos caminos.

- Método más simple y efectiva de desacoplar los efectos del nivel de CD de la primera etapa amplificador
- El condensador separa el componente de CD de la señal de CA
- La etapa anterior no afecta la polarización de la siguiente





a) Calcule el punto de polarización de cada etapa.

Datos: $V_{cc} = 20V$, $R_{A1} = R_{A2} = 15K \Omega$; $R_{B1} = R_{B2} = 4,7K \Omega$; $V_{be} = 0.7V$; $R_{C1} = R_{C2} = 2,2K \Omega$; $R_{E1} = R_{E2} = 1K \Omega$; $C_{S1} = C_{S2} = C_O = 10\mu f$; $C_{E1} = C_{E2} = 20\mu f$; $\beta_1 = \beta_2 = 200$

Análisis en DC

$$1) V_{RB1} = \frac{R_{B1}}{R_{A1} + R_{B1}} V_{CC} = 4,77V$$

$$2) V_{RB1} = V_{BE1} + V_{RE1} = 4,77V \Rightarrow V_{RE1} = V_{RB1} - V_{BE1} = 4,07V$$

$$3) I_{E1} = \frac{V_{RE1}}{R_{E1}} = 4,07mA \cong I_{C1}$$

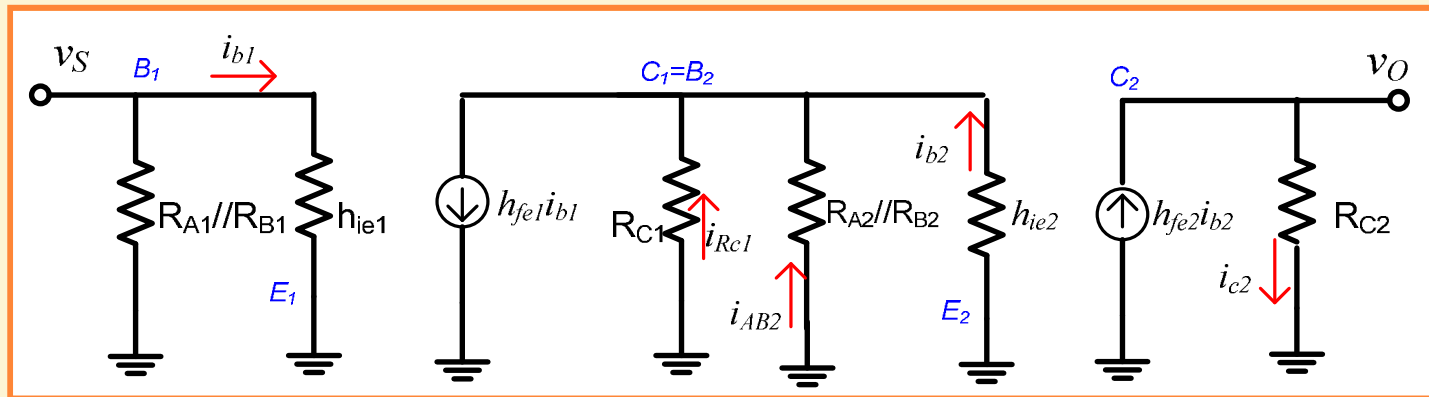
$$4) V_{CE1} = V_{CC} - I_{C1} (R_{C1} + R_{E1}) = 6,98V$$

Observar el punto de polarización de la 2° etapa es el mismo, pues para la continua ambas etapas están separadas y los valores de resistencias son idénticos.

b) Calcule ganancia de tensión e impedancia de entrada del amplificador.

Análisis en AC

Datos: $V_{cc} = 20V$, $C_{S1} = C_{S2} = C_O = 10\mu f$; $C_{E1} = C_{E2} = 20\mu f$; $h_{fe1} = h_{fe2} = 200$; $h_{ie1} = h_{ie2} = 3K\Omega$; $h_{re1} = h_{re2} = 0$; $h_{oe1} = h_{oe2} = 200M\Omega$



$$1) v_O = i_{c2} R_{C2} = h_{fe2} i_{b2} R_{C2}$$

$$2) v_S = i_{b1} h_{ie1}$$

Se busca relación entre i_{b1} e i_{b2} :

$$3) i_{RC} R_{C1} = i_{b2} h_{ie2} = i_{AB2} R_{A2} \parallel R_{B2}$$

$$h_{fe1} i_{b1} = i_{RC1} + i_{AB2} + i_{b2} \Rightarrow h_{fe1} i_{b1} = i_{b2} \left(1 + \frac{h_{ie2}}{R_{C1}} + \frac{h_{ie2}}{R_{A2} \parallel R_{B2}} \right)$$

$$4) A_v = \frac{h_{fe2} i_{b2} R_{C2}}{h_{ie1} i_{b1}} = \frac{h_{fe2} R_{C2}}{h_{ie1}} \frac{h_{fe1}}{1 + \frac{h_{ie2}}{R_{C1}} + \frac{h_{ie2}}{R_{A2} \parallel R_{B2}}} \cong \frac{h_{fe2} h_{fe1} R_{C2}}{h_{ie1}}$$

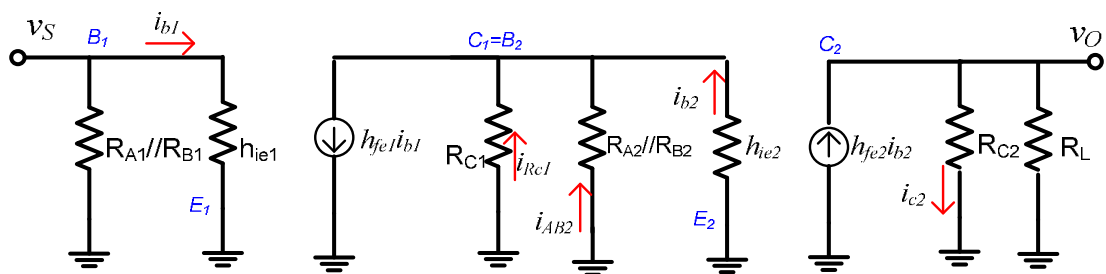
Cálculo de la impedancia de entrada:

$$5) Z_{in} = \frac{v_S}{i_S} \quad 6) i_S = \frac{v_S}{h_{ie1}} + \frac{v_S}{R_{A1} \parallel R_{B1}}$$

$$7) Z_{in} = \frac{v_S}{i_S} = \frac{v_S}{\frac{v_S}{h_{ie1}} + \frac{v_S}{R_{A1} \parallel R_{B1}}} = h_{ie1} \parallel R_{A1} \parallel R_{B1}$$

Observar: A la impedancia de entrada la determina el primer amplificador.

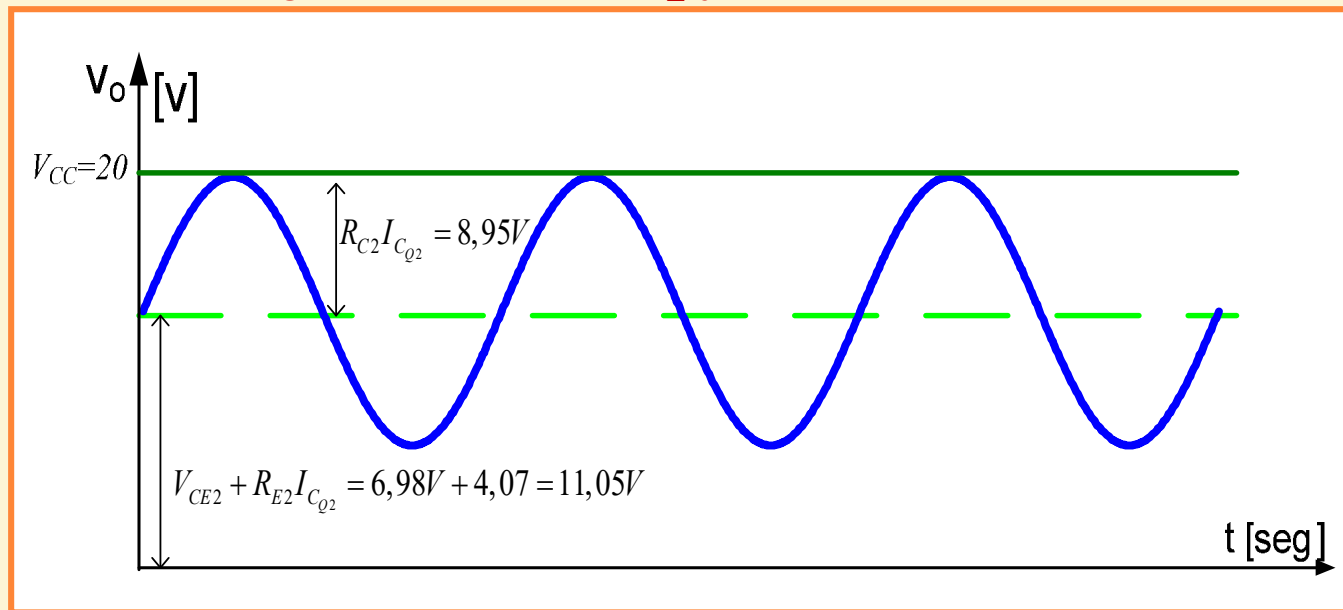
c) Calcule la ganancia si se conecta una carga de 10K a la salida del segundo amplificador.



$$8) A_v \cong \frac{h_{fe2} h_{fe1} R_{C2} \parallel R_L}{h_{ie1}}$$

d) Calcule la máxima tensión de entrada que no produce distorsión.

Para ello se debe representar la tensión de salida en función del tiempo. La misma está montada sobre un nivel de continua dado por la tensión C_E + la tensión de carga del capacitor C_E y el límite superior es la tensión de fuente:



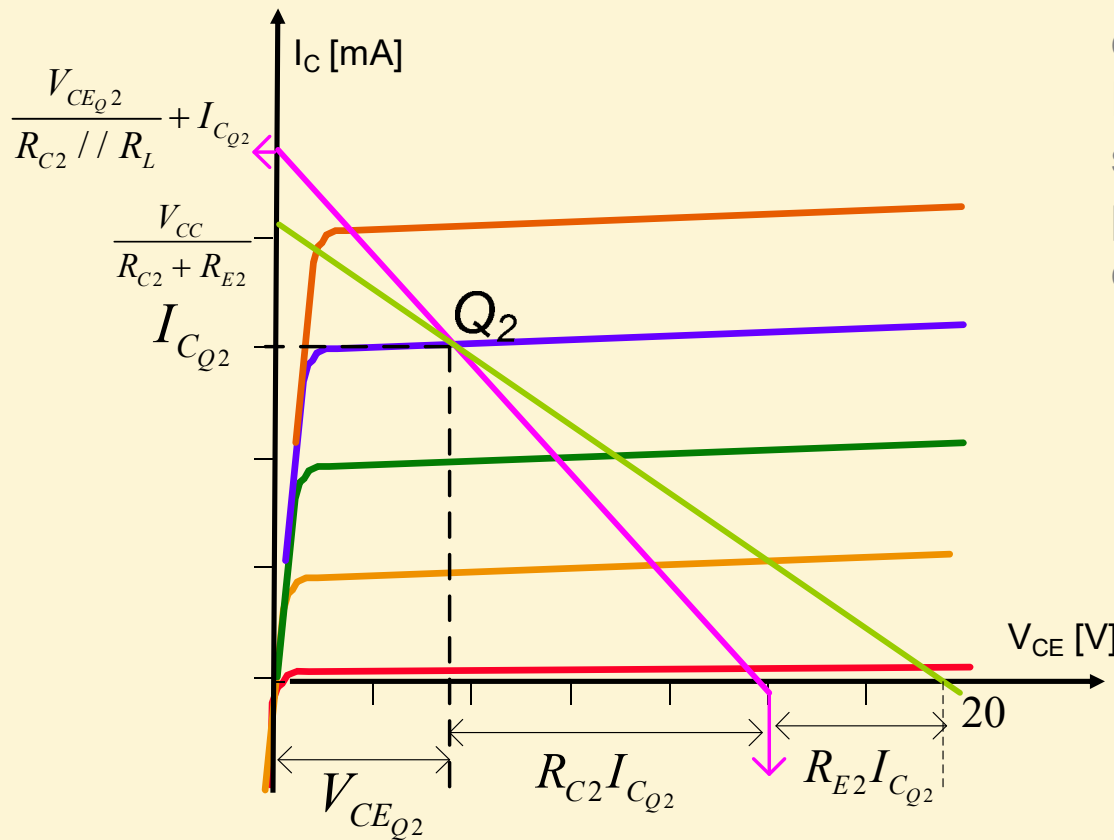
La máxima tensión de salida será el valor más chico: $V_{om\acute{a}x} = 8,95V$

$$v_{S\ máx} = \frac{v_{O\ máx}}{A_v} \cong \frac{h_{ie1}}{h_{fe2} h_{fe1} R_{C2} \parallel R_L} v_{O\ máx} = 372\ \mu V$$

Si se excita el amplificador con una tensión mayor a 372uV, la señal de salida saldrá recortada.

e) Modifique el circuito para obtener máxima tensión de salida sin cambiar la ganancia.

Se dibuja las rectas de carga dinámica y estática:



Se observa que el punto Q no está ubicado en forma simétrica. Por lo tanto se debe modificar su posición, sin cambiar R_c , pues la ganancia depende de ella.

$$R_{C2} \parallel R_L = 1800\Omega$$

$$\frac{V_{CE_{Q2}}}{R_{C2} \parallel R_L} + I_{C_{Q2}} = 7,94mA$$

$$\frac{V_{CC}}{R_{C2} + R_{E2}} = 6,25mA$$

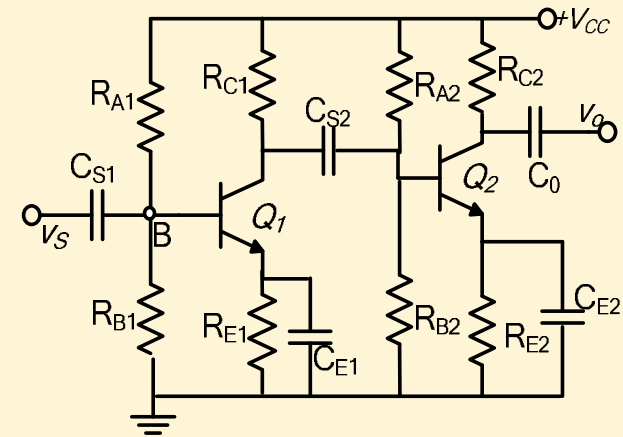
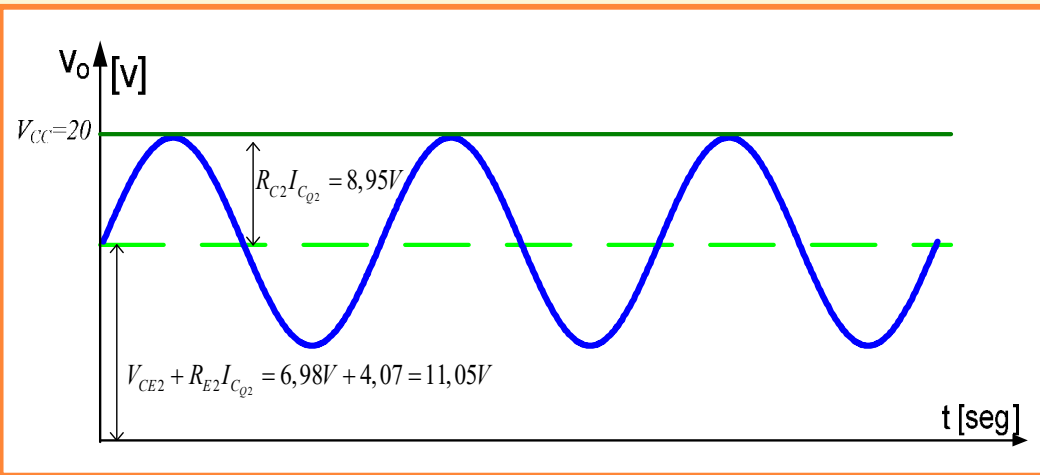
$$R_{C2} I_{C_{Q2}} = 8,95V$$

$$R_{E2} I_{C_{Q2}} = 4,07V$$

$$V_{CE2} = 6,98V$$

ACOPLAMIENTO CAPACITIVO- EJEMPLO

Para la excursión de salida sea máxima, la continua sobre la que se monta la variacional debería estar, en este caso en $V_{CC}/2$



$$\Rightarrow V_{CE\acute{o}p} + R_{E2} I_{C_{Qop}} = \frac{V_{CC}}{2} \quad (1)$$

Del desarrollo para máxima excursión, se tiene:

$$I_{C_{Qop}} = \frac{V_{CC}}{(R_L // R_C) + R_C + R_E} \quad (2)$$

$$V_{CE_{Qop}} = \frac{(R_C // R_L) V_{CC}}{(R_C // R_L) + R_C + R_E} \quad (3)$$

De (1), (2) y (3):

$$R_E = R_C - R_L // R_C = 400\Omega$$

El punto optimo será:

$$V_{CE_{Qop}} = 8,18V$$

$$I_{C_{Qop}} = 4,54mA$$

Se recalcula el circuito de polarización de entrada:

$$4) V_{RB} = V_{BE} + V_{RE} = 0,7 + 1,82 = 2,52V$$

$$5) I_B = \frac{I_{C_{op}}}{\beta} = 22,7 \mu A$$

Adopto $I_p \gg I_B$: $6) I_p > 10I_B = 0,3mA$

$$7) V_{RB} = I_p R_B = 2,52V \Rightarrow R_B = 8,4K\Omega$$

$$8) V_{RA} = V_{CC} - V_{RB} = I_p R_A \Rightarrow R_A = 58,2K\Omega$$

Observar que como ambas etapas son idénticas se deben cambiar las resistencias en ambas etapas.

