

# Electrónica Avanzada 1

## Práctico 1 *Transistor Bipolar*

Los ejercicios marcados con ★ son opcionales. Además cada ejercicio puede tener un número, que indica el número de ejercicio del libro del curso (*Microelectronic Circuits, 4th. edition. Sedra/Smith.*) o una fecha, que indica en que prueba (examen o parcial) se planteó el ejercicio.

**Objetivo:** El objetivo general del presente práctico es familiarizar al estudiante con el funcionamiento del transistor bipolar. La primera parte (hasta el Ejercicio 3) repasa la ecuaciones de polarización (DC) del transistor. A partir del Ejercicio 4 se incluye el análisis en pequeña señal de amplificadores de una y dos etapas.

### Ejercicio 1. (4.69)

Se desea polarizar el transistor de la Figura 1 cuyo  $\beta$  nominal es 100 y  $V_{BE} = 0.7V$ .

- Hallar la relación  $R_B/R_E$  más grande posible que garantice que  $I_E$  permanezca dentro del 5% de su valor nominal cuando  $\beta$  se aparte de su valor nominal en un 50% ( $50 < \beta < 150$ ).  $R_B = R_1 \parallel R_2$ .
- Para  $V_{CC}$  de 6 V y  $\beta$  nominal, hallar los valores de  $R_1$ ,  $R_2$  y  $R_E$  para obtener  $I_E = 2mA$  y  $V_{BB} = 4V_{BE}$ , satisfaciendo los requerimientos de estabilidad de la parte (a).
- Hallar  $R_C$  de forma de obtener  $V_{CE} = 2V$  para  $\beta$  con su valor nominal.

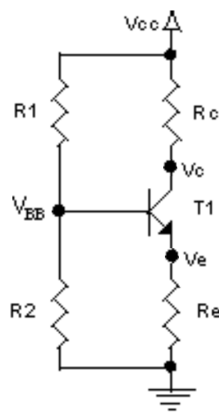


Figura 1

## Ejercicio 2.

En el circuito de la Figura 2  $R_1$ ,  $R_2$  y T2 forman lo que se conoce como “Multiplicador de  $V_{BE}$ ”<sup>1</sup> ya que generan una tensión (V) proporcional al  $V_{BE}$  del transistor. Por otro lado, T1 y el resto del circuito forman una fuente de corriente DC, independiente del valor de V siempre que T1 se mantenga en zona activa. Para resolver el Ejercicio considere D1 y D2 con  $V_D = 0.7V$  y T1 y T2 con  $V_{BE} = 0.6V$  y  $\beta > 100$ . Se pide:

- Calcular V en función de  $R_1$  y  $R_2$ .
- Calcular  $R_1$  y  $R_2$  para que  $V = 10V$ .
- Elegir  $R_1$  y  $R_2$  de la serie E12 de forma de que V sea lo más próximo posible a 10V. Hallar el valor de V obtenido.

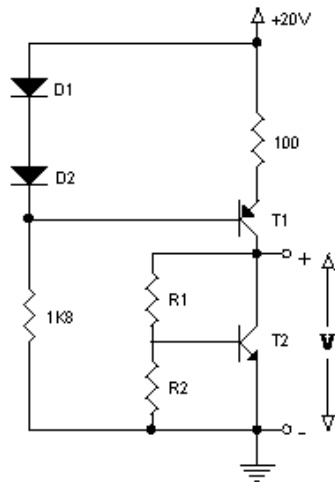


Figura 2

## Ejercicio 3.

El circuito de la Figura 3 utiliza una realimentación negativa para reducir la variación de la polarización frente a variaciones de los componentes. Se desea estudiar entonces la dependencia del voltaje de salida  $V_o$  con respecto a  $\beta_1$  y a  $V_{BE1}$ .

- Calcular  $V_o$  en función de  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $V_{BE1}$  y  $V_{BE2}$ .
- Determinar  $V_{oMAX}$  y  $V_{oMIN}$  si:  
 $0.55V \leq V_{BE1} \leq 0.65V$ ,  
 $100 \leq \beta_1 \leq 300$ ,  
 $V_{BE2} = 0.6V$ ,  
 $\beta_2 = 100$ .

<sup>1</sup>Este circuito es muy utilizado en amplificadores de potencia.

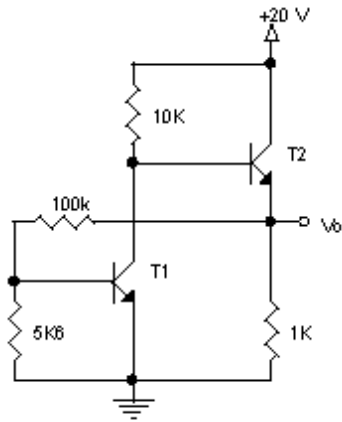


Figura 3

#### Ejercicio 4.

La configuración utilizada en el amplificador de una etapa de la Figura 4 es conocida como “emisor común con resistencia de emisor”.

- El transistor es un BC546 y se desea polarizarlo de forma de obtener corriente de colector  $I_C = 1mA$  y excursión a la salida  $V_o = 6V_{pp}$ . La fuente es de 9 V, el condensador se considera infinito y los datos del transistor deberán obtenerse de la hoja de datos. Hallar los valores de las resistencias.
- ¿Qué ganancia tiene el circuito?
- Al implementar el circuito deben utilizarse resistencias estándar (serie E12), ¿cómo varían las características del circuito diseñado al hacer este cambio?
- ¿Cómo implementaría una etapa equivalente, pero con un transistor BC556 (PNP)?

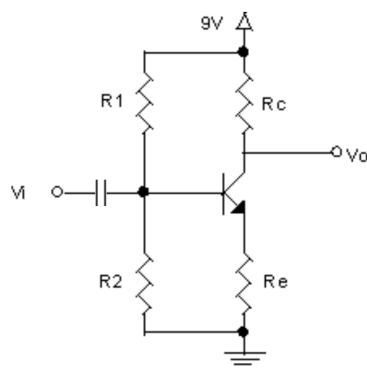


Figura 4

### Ejercicio 5.

En el amplificador de la Figura 5 se desea estudiar la configuración “emisor-común” en 2 casos: con resistencia de emisor sin desacoplar ( $C_E = 0$ ) y con resistencia de emisor completamente desacoplada ( $C_E = \infty$ )<sup>2</sup>. El transistor utilizado es un 2N2222 de uso general y  $R_E = 470\Omega$ . Para ambos casos se pide:

- Calcular en pequeña señal  $A_V = V_o/V_i$ ,  $A_{VS} = V_o/V_S$  y  $R_i$  a frecuencias medias.
- Calcular la máxima excursión en  $V_o$ .
- Calcular  $C_1$ , de manera que la frecuencia de corte inferior de la ganancia del amplificador sea 30 Hz.

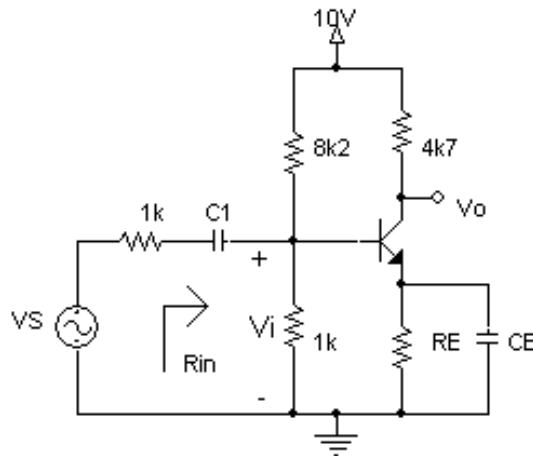


Figura 5

### Ejercicio 6.

Se implementa la versión PNP del Ejercicio 5 (utilizando un transistor PN2907) como se muestra en la Figura 6. Determine las ganancias  $A_V = V_o/V_i$  y  $A_{VS} = V_o/V_S$  a frecuencias medias.

### Ejercicio 7.

El amplificador de la Figura 7 es un amplificador de dos etapas. Ambas etapas utilizan una configuración del tipo “emisor común”. La primer etapa tiene resistencia de emisor parcialmente desacoplada, mientras que la segunda etapa tiene resistencia de emisor completamente desacoplada. El circuito utiliza una realimentación negativa a los efectos de fijar la polarización. Determinar las corrientes y tensiones de reposo de ambos transistores así como la ganancia en tensión. Los transistores son BC548.

<sup>2</sup>Toda capacidad es un circuito abierto en DC, sin importar su valor. Sin embargo, note que una capacidad de valor  $\infty$  es además un cortocircuito en AC (señal).

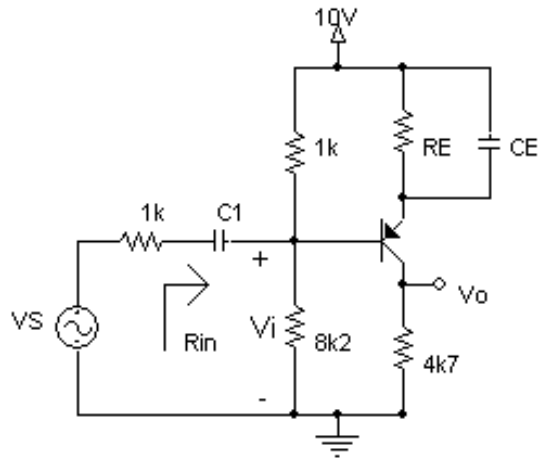


Figura 6

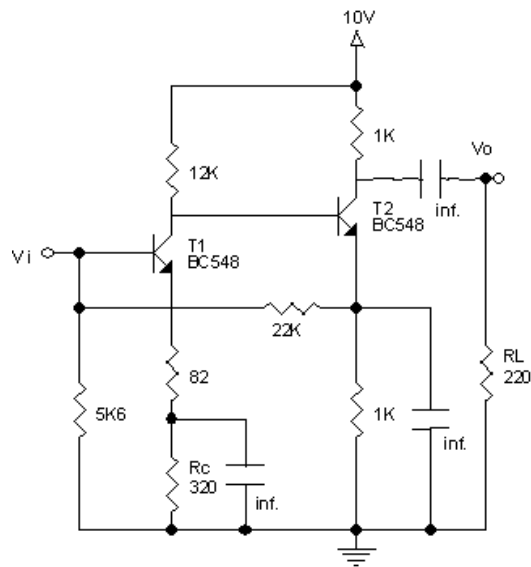


Figura 7

**Ejercicio 8.** (4.83)

El amplificador de la Figura 8 consta de dos etapas idénticas conectadas en cascada. El ejercicio ilustra cómo analizar etapas en cascada, considerando el efecto de la carga de la etapa siguiente.

- (a) Suponiendo que los transistores tienen un  $\beta_{min} = 100$  y  $V_{BE} = 0.7V$ , determinar la corriente de colector y la tensión de colector de ambos transistores.
- (b) Para  $R_s = 5k\Omega$ , hallar  $R_{in1}$  y  $V_{b1}/V_s$ .

- (c) Idem para  $R_{in2}$  y  $V_{b2}/V_{b1}$ .
- (d) Para  $R_L = 2k\Omega$ , hallar  $V_o/V_{b2}$ .
- (e) Hallar la ganancia total,  $V_o/V_s$ .

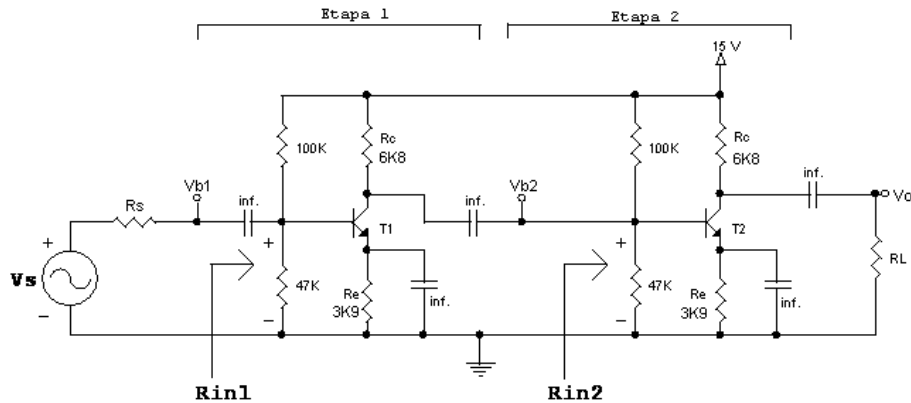


Figura 8

### Ejercicio 9.

En el amplificador de la Figura 9, T1 y T2 son transistores 2N2222 y T3 es un BC337. T1 y T2 están conectados en una configuración conocida como “Darlington”. En esta configuración, se logra reducir la corriente de base obteniendo un  $\beta$  equivalente a  $\beta_1 \times \beta_2$ .

- (a) Demuestre que  $I_{B1} \simeq I_{C2}/\beta^2$ .
- (b) Calcular la impedancia de entrada y la ganancia de tensión  $A_V = V_o/V_i$ .
- (c) Se conecta a la entrada del amplificador un generador sinusoidal con impedancia interna de  $600\Omega$  y que genera una señal  $V_s$  de  $100mV$  eficaces, calcular la tensión de salida pico a pico.

### Ejercicio 10. ★

Dado el circuito de la Figura 10 (transistores con  $V_{EB} = 0.65V$  y  $\beta = 150$ ), se pide:

- (a) Calcular las corrientes y tensiones de continua en los tres transistores.
- (b) Calcular la ganancia en tensión  $V_o/V_i$ .
- (c) Calcular la impedancia de entrada  $Z_i$ .
- (d) Calcular la impedancia de salida  $Z_o$ .

### Lista de ejercicios de parciales recomendados:

- Segundo parcial de Electrónica 1 del 2004. Problema 2.
- Segundo parcial de Electrónica 1 del 2003. Problema 1.

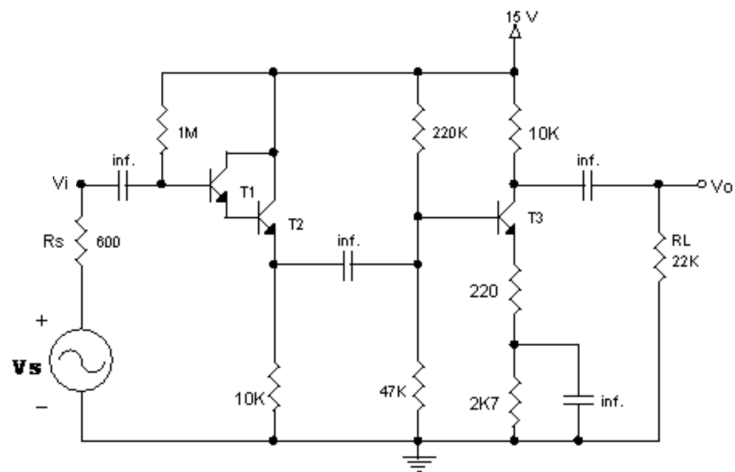


Figura 9

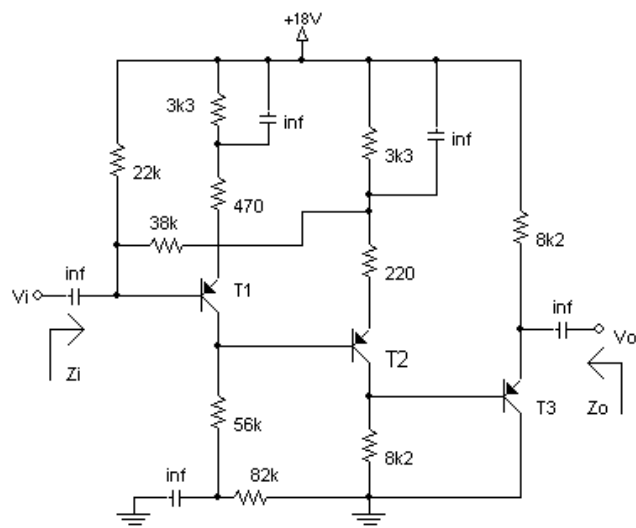


Figura 10

# Solución

## Ejercicio 1

- (a)  $\frac{R_B}{R_E} \leq 5.56$
- (b)  $R_E = 1k\Omega, R_1 = 11.5k\Omega, R_2 = 10.8k\Omega$
- (c)  $R_C = 1k\Omega$

## Ejercicio 2

- (a)  $V = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) V_{BE}$
- (b)  $R_1 = 11.75k\Omega, R_2 = 750\Omega$
- (c)  $R_1 = 12k\Omega, R_2 = 820\Omega, V = 9.38V$

## Ejercicio 3

- (a)  $V_o = \frac{100k\Omega}{10k\Omega} \left( \frac{20V - V_{BE2}}{\beta_1} \right) + \frac{100k\Omega V_{BE1}}{5.6k\Omega}$
- (b)  $V_o^{max}(\beta_1^{min}; V_{BE1}^{max}) = 13V \quad V_o^{min}(\beta_1^{max}; V_{BE1}^{min}) = 11V$

## Ejercicio 4

- (a) Tomo como criterio para la excursión  $V_E = 1V$  y  $V_C = 6V$ .  
 $R_E = 1k\Omega, R_C = 3k\Omega$ .  
Tomo  $I_{R1} = 0.9mA \gg I_B$  para independizarme del valor de  $\beta$ .  
 $R_2 = 1.8k\Omega, R_1 = 8.2k\Omega$ .

- (b) Expresión exacta:

$$\frac{v_o}{v_i} = -\frac{\beta R_C}{r_\pi + (\beta + 1)R_E} \simeq -\frac{g_m R_C}{1 + g_m R_E} = -2.92V/V$$

Si se cumple  $g_m R_E \gg 1$  (en este caso  $g_m R_E = 38.6 \gg 1$ ) se aproxima como:

$$\frac{v_o}{v_i} \simeq -\frac{R_C}{R_E} = -3V/V$$

- (c)  $R_E = 1.0k\Omega, R_C = 3.3k\Omega, R_2 = 1.8k\Omega, R_1 = 8.2k\Omega$ .  
Resultado:  
 $I_C = 1mA, G = -v_o/v_i = -3.3V/V$  (exacta:  $-3.22V/V$ )

- (d) El BC556 tiene valores similares para  $\beta$  y  $V_{EB}$ , por lo que con los mismos valores de resistencias se obtiene un diseño análogo, sin diferencias notorias en la performance.



### Ejercicio 5

(a) Hoja de Datos, Fig. 3:  $\beta = 150|_{@I_C=1mA, T=25^\circ C}$ , Fig. 11:  $V_{BE}|_{@I_C=1mA} = 0.6V$

$$V_B = 1.09V, V_E = 0.49V, V_C = 5.1V, I_C = 1.04mA$$

$$C_E = 0: A_V = -9.5V/V, A_{VS} = -4.5V/V, R_i = 880\Omega$$

$$C_E = \infty: A_V = -187V/V, A_{VS} = -78V/V, R_i = 720\Omega$$

(b) Hoja de Datos, Fig. 11:  $V_{CEsat}|_{@I_C=1mA} < 50mV$  (tomo  $50mV$  como un peor caso)

$$C_E = 0: \hat{V}_{oMAX} = 4.13V$$

$$C_E = \infty: \hat{V}_{oMAX} = 4.56V$$

(c)  $C_E = 0: C_1 \geq 2.8\mu F$

$$C_E = \infty: C_1 \geq 3.1\mu F$$

### Ejercicio 6

El análisis es idéntico al del Ejercicio 5. Solo hay pequeñas variaciones numéricas en los parámetros ( $V_{EB} = 0.65, \beta_{min} = 100$ ) que no se reflejan significativamente en los resultados.

### Ejercicio 7

$$V_{E1} = 0.17V, V_{E2} = 4.3V, V_i = 0.87V, I_{C1} = 0.4mA, I_{C2} = 4.4mA$$

$$A_V = \frac{g_{m1}R_{C1}/r_{\pi 2}}{g_{m1}R_{E1} + 1} g_{m2}(R_{C2}/R_L) = 133V/V$$

### Ejercicio 8

(a)  $I_C = 1.05mA, V_C = 7.9V$

(b)  $R_{in1} = r_{\pi}/R_B = 2.3k\Omega, V_{b1}/V_s = 0.32V/V$

(c)  $R_{in2} = R_{in1}, V_{b2}/V_{b1} = -g_{m1}R_{L1} = -69.4V/V, R_{L1} = R_C/R_{in2}$

(d)  $V_o/V_{b2} = -g_{m2}R_{L2} = -62.4V/V, R_{L1} = R_C/R_L$

(e)

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{V_o}{V_{b2}} \frac{V_{b2}}{V_{b1}} \frac{V_{b1}}{V_s} = 1364V/V$$

### Ejercicio 9

(b)  $R_{in2} = 220k\Omega//47k\Omega/(r_{\pi 3} + \beta(220\Omega))$

$$R_{in} \approx 1M\Omega//(\beta_{@0.1mA}\beta_{@1mA}(10k\Omega/R_{in2})) = 1M\Omega//12.5M\Omega = 925k\Omega$$

$$G_{1erEtapa} \simeq 1V/V, G_{2daEtapa} = -38.6V/V$$

$$A_V = V_o/V_{in} = G_{1erEtapa} \times G_{2daEtapa} = -38.6V/V$$

(c)  $V_{pp} = 100mV \times 2 \times \sqrt{2} \times 38.6V/V = 11V$

### Ejercicio 10

(a)  $V_{E1} = 17.6V, V_{E2} = 14.95V, V_i = 16.95V, I_{C1} = 0.1mA, I_{C2} = 0.86mA,$   
 $V_{E3} = 7.7V, I_{C3} = 1.26mA$

(b)  $v_o/v_{c2} \simeq 1V/V, v_{c2}/v_{c1} = -32.8V/V, v_{c1}/v_i = -31.3V/V$   
 $v_o/v_i = 1027V/V \simeq 60dB$

(c)  $Z_i = 12.3k\Omega$

(d) Asumo tensión de Early  $V_A = \infty$ :  $Z_o = 75\Omega$