

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA, COMPUTACIÓN Y CONTROL

PRE LAB 3 - Polarización del BJT

Estudiante:

Ricardo Santana C.I.29571461

Auxiliar docente:

José Tovar

11 de enero de 2024

1. Introducción

Entre las diversas estructuras que pueden conformar los semiconductores cabe destacar la del transistor de unión bipolar, conocido por sus siglas en inglés como BJT (Bipolar Junction Transistor), ésta consta de dos uniones pn construidas de manera especial y conectadas en serie, espalda con espalda.

El transistor consta de tres terminales, estos se denominan emisor (E), base (B) y colector (C); en base a estos el transistor puede implementarse en un circuito con configuración emisor común, base común o colector común, Se experimentará utilizando la configuración emisor común.

Se presentará en el escrito las nociones básicas del BJT, de tal forma que se permita establecer el punto estático de operación que relaciona a la recta de carga y la curva característica del transistor, la cual nos facilita la implementación y diseño de circuitos electrónicos más complejos con transistores.

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

- Analizar las características y el funcionamiento del BJT en la configuración emisor común.

2.2. Objetivos Específicos

- Familiarizar y estudiar topologías básicas de polarización del BJT en la configuración Emisor Común.
- Obtener nociones acerca de la polarización del BJT.
- Estudiar el punto estático de operación variando el valor de las resistencias del circuito.
- Estudiar la recta de carga estática y su relación con las curvas características del transistor.

3. Marco Teórico

3.1. Construcción del transistor

El transistor es un dispositivo de tres zonas o capas. Podemos tener una zona de material tipo n en medio de dos zonas de material tipo p, en este caso se denomina transistor pnp, o bien tener una zona tipo p con dos zonas tipo n a cada lado, en cuyo caso estaríamos hablando de un transistor npn.

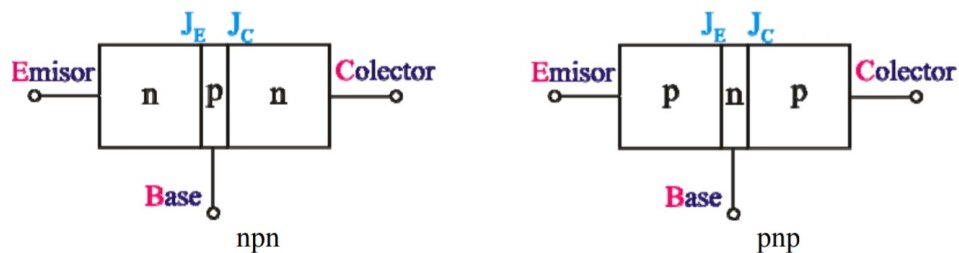


Figura 3.1: Estructura del transistor

La zona central se denomina base, y las laterales emisor y colector. Cada una de las zonas consta de un terminal por donde extraer las corrientes. Estos terminales se representan por la inicial del nombre de la zona respectiva: E (emitter), B (base) y C (colector).

3.2. Símbolos y convenio de signos

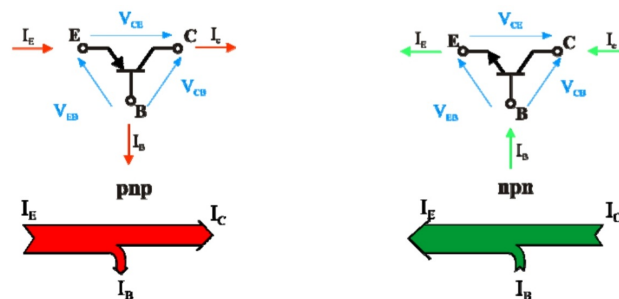


Figura 3.2: Estructura del transistor

En la figura aparecen los símbolos que se utilizan para la representación del transistor de unión bipolar. Para las corrientes se han representado los sentidos reales de circulación de las mismas.

3.3. zonas de funcionamiento

Cuando anteriormente hablábamos de la unión pn veíamos que teníamos dos posibilidades de polarización de la misma, de tal forma que el diodo tenía dos posibles estados o zonas de trabajo: en directa y en inversa. Ahora estamos ante un dispositivo que tiene dos uniones, una unión entre las zonas de emisor y base (que denominaremos a partir de ahora unión de emisor JE) y otra unión entre las zonas de base y colector (de que denominaremos unión de colector JC), cada una de las cuales puede ser polarizada en las dos formas mencionadas anteriormente. Así,

desde el punto de vista global del dispositivo tenemos cuatro zonas de funcionamiento posibles en función del estado de polarización de las dos uniones.

De esta forma, si polarizamos las dos uniones en directa, diremos que el transistor está trabajando en la zona de saturación. En el caso de que la unión de emisor la polaricemos en directa y la unión de colector en inversa, estaremos en la zona activa. Cuando las dos uniones se polarizan en inversa, se dice que el transistor está en la zona de corte. Por último, si la unión de emisor se polariza en inversa y la unión de colector en directa, el transistor se encuentra en activa inversa. De las cuatro zonas, las 3 mencionadas en primer lugar son las más interesantes desde el punto de vista del funcionamiento del transistor, siendo la zona activa inversa una zona puramente teórica y sin interés práctico.

3.4. Curvas Características en Emisor Común

3.4.1. Curvas características de entrada

En la siguiente figura aparecen representados los convenios de tensiones y corrientes positivas que se han tenido en cuenta para representar las distintas curvas.



Figura 3.3: Sentido positivo de las variable en la curva característica de entrada del BJT

Como se puede ver en la figura, no hay una única curva que relacione I_B con V_{BE} , sino que hay una familia de curvas en función de V_{CE} .

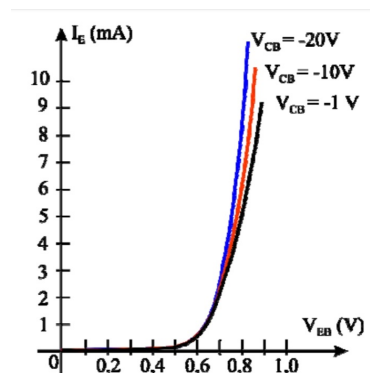


Figura 3.4: Curvas Características de Entrada en Emisor Común para un BJT npn

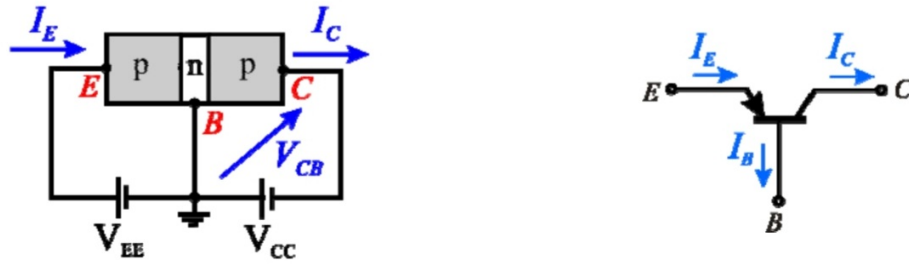


Figura 3.5: Sentido positivo de las variable en la curva característica de salida del BJT

3.4.2. Curvas características de salida

En las características de salida en emisor común se representa

$$I_C = f(V_{CE}, I_B)$$

Los sentidos positivos de tensiones y corrientes son los que aparecen representados en la figura anterior

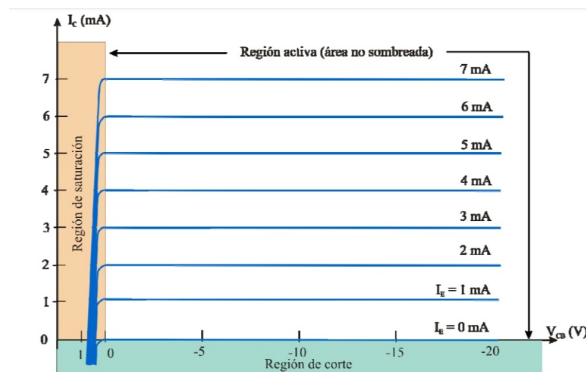


Figura 3.6: Curvas características de salida en Emisor Común en un BJT npn

4. Metodología

4.1. Trabajo Previo al Laboratorio

1. Determine el punto estático de operación y obtenga la tensión en cada uno de los terminales (tensión en el Colector (V_C), tensión en la Base (V_B) y la tensión en el Emisor (V_E)) del BJT, para los circuitos de la Figura 7, 8, 9, 10 y 11. El valor de V_{BE} y β , deben obtenerlo del manual del fabricante según el transistor a utilizar.

4.2. Trabajo de Laboratorio

1. Mida la tensión en cada uno de los terminales del transistor y obtenga el punto estático de operación para el circuito de la Figura 7, 8 y 9.
2. Para el circuito de la Figura 10 realice lo siguiente:
 - a) mida la tensión en cada uno de los terminales del transistor y obtenga el punto estático de operación.
 - b) mida la tensión en cada uno de los terminales del transistor y obtenga el punto estático de operación con los siguientes valores de resistencia en el circuito:
 - 1) $R_B = 82k\Omega, R_C = 2k\Omega, R_E = 200\Omega$.
 - 2) $R_B = 36k\Omega, R_C = 2k\Omega, R_E = 200\Omega$.
 - 3) $R_B = 56k\Omega, R_C = 3k\Omega, R_E = 200\Omega$.
 - 4) $R_B = 56k\Omega, R_C = 1,3k\Omega, R_E = 200\Omega$.
 - 5) $R_B = 56k\Omega, R_C = 2k\Omega, R_E = 300\Omega$.
 - 6) $R_B = 56k\Omega, R_C = 2k\Omega, R_E = 130\Omega$.
3. Para el circuito de la Figura 11 realice lo siguiente:
 - a) mida la tensión en cada uno de los terminales del transistor y obtenga el punto estático de operación.
 - b) mida la tensión en cada uno de los terminales del transistor y obtenga el punto estático de operación con los siguientes valores de resistencia en el circuito:
 - 1) $R_1 = 82k\Omega, R_2 = 10k\Omega, R_C = 510\Omega, R_E = 200\Omega$.
 - 2) $R_1 = 39k\Omega, R_2 = 10k\Omega, R_C = 510\Omega, R_E = 200\Omega$.
 - 3) $R_1 = 56k\Omega, R_2 = 15k\Omega, R_C = 510\Omega, R_E = 200\Omega$.
 - 4) $R_1 = 56k\Omega, R_2 = 6,8k\Omega, R_C = 510\Omega, R_E = 200\Omega$.
 - 5) $R_1 = 56k\Omega, R_2 = 56k\Omega, R_C = 750\Omega, R_E = 200\Omega$.
 - 6) $R_1 = 56k\Omega, R_2 = 56k\Omega, R_C = 360\Omega, R_E = 200\Omega$.
4. Para el circuito de la Figura 12, varíe el potenciómetro de un extremo a otro, observe que ocurre con la tensión en cada uno de los terminales del transistor y el punto estático de operación. Anote en cada extremo la tensión en cada uno de los terminales del transistor y obtenga el punto estático de operación. Coloque el potenciómetro aproximadamente en la mitad de su recorrido y realice las mediciones respectivas.

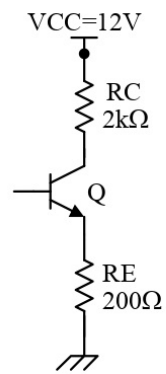


Figura 4.1: Circuito 1

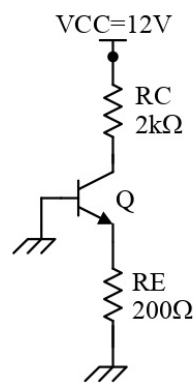


Figura 4.2: Circuito 2

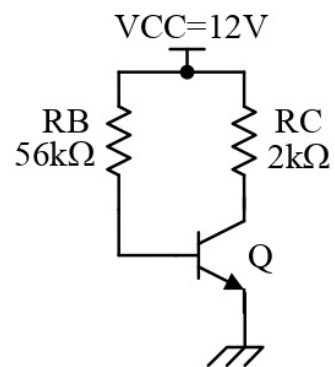


Figura 4.3: Circuito 3

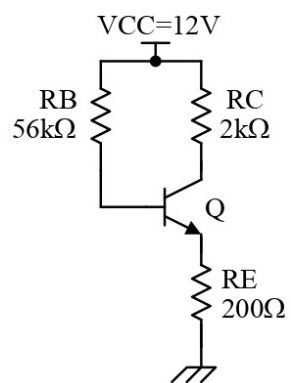


Figura 4.4: Circuito 4

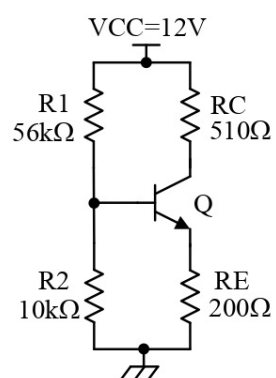


Figura 4.5: Circuito 5

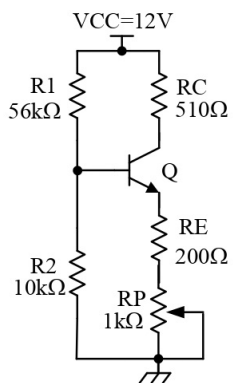


Figura 4.6: Circuito 6

5. Cálculos previos

Se trabajará con el transistor npn PN2222A, el cual posee las siguientes especificaciones:

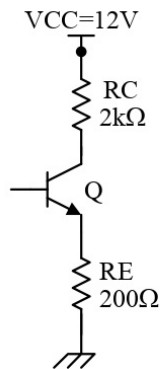
SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
I_{CBO}	collector cut-off current	$I_E = 0; V_{CB} = 60\text{ V}$	–	10	nA
		$I_E = 0; V_{CB} = 60\text{ V}; T_{amb} = 125\text{ }^{\circ}\text{C}$	–	10	μA
I_{EBO}	emitter cut-off current	$I_C = 0; V_{EB} = 3\text{ V}$	–	10	nA
h_{FE}	DC current gain	$I_C = 0.1\text{ mA}; V_{CE} = 10\text{ V}$	35	–	
		$I_C = 1\text{ mA}; V_{CE} = 10\text{ V}$	50	–	
		$I_C = 10\text{ mA}; V_{CE} = 10\text{ V}$	75	–	
		$I_C = 10\text{ mA}; V_{CE} = 10\text{ V}; T_{amb} = -55\text{ }^{\circ}\text{C}$	35	–	
		$I_C = 150\text{ mA}; V_{CE} = 1\text{ V}$	50	–	
		$I_C = 150\text{ mA}; V_{CE} = 10\text{ V}$	100	300	
		$I_C = 500\text{ mA}; V_{CE} = 10\text{ V}$	40	–	
V_{CEsat}	collector-emitter saturation voltage	$I_C = 150\text{ mA}; I_B = 15\text{ mA}$	–	300	mV
		$I_C = 500\text{ mA}; I_B = 50\text{ mA}$	1	–	V
V_{BEsat}	base-emitter saturation voltage	$I_C = 150\text{ mA}; I_B = 15\text{ mA}$	0.6	1.2	V
		$I_C = 500\text{ mA}; I_B = 50\text{ mA}$	–	2	V
C_c	collector capacitance	$I_E = i_e = 0; V_{CB} = 10\text{ V}; f = 1\text{ MHz}$	–	8	pF
C_e	emitter capacitance	$I_C = i_c = 0; V_{EB} = 500\text{ mV}; f = 1\text{ MHz}$	–	25	pF
f_T	transition frequency	$I_C = 20\text{ mA}; V_{CE} = 20\text{ V}; f = 100\text{ MHz}$	300	–	MHz
F	noise figure	$I_C = 100\text{ }\mu\text{A}; V_{CE} = 5\text{ V}; R_S = 1\text{ k}\Omega; f = 1\text{ kHz}$	–	4	dB

de las cuales se deduce que:

$$\beta = h_{FE} = 100 @ I_C = 150\text{mA}; V_{CE} = 10\text{V (mínimo)}$$

$$V_{BEsat} = 0,6\text{V} @ I_C = 150\text{mA}; I_B = 15\text{mA (mínimo)}$$

5.1. Analisis del circuito de la figura 7



Circuito 1

V_B : indeterminado (circuito abierto) \rightarrow asumiendo $V_B = 0\text{V}$ Como $I_C = \beta I_B \rightarrow I_C = 0\text{A}$, por lo tanto

$$V_C = 12\text{V}$$

Además $I_E = (\beta + 1)I_B \rightarrow I_E = 0\text{A}$, por lo tanto

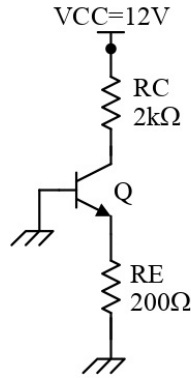
$$V_E = 0\text{V}$$

$$V_{CE} = V_C - V_E = 12\text{V}$$

El transistor no se encuentra en la zona de saturación, entonces el punto de operación de la figura 7 es:

$$Q : (12V, 0A)$$

5.2. Analisis del circuito de la figura 8



estimando $V_C > 0 \rightarrow V_B = 0 < V_C$, por tanto el transistor está polarizado inversamente, que indica que se encuentra en su zona de corte, entonces

$$V_B = 0V$$

Como $I_C = \beta I_B \rightarrow I_C = 0A$, por lo tanto

$$V_C = 12V$$

Además $I_E = (\beta + 1)I_B \rightarrow I_E = 0A$, por lo tanto

$$V_E = 0V$$

$$V_{CE} = V_C - V_E = 12V$$

El transistor no se encuentra en la zona de saturación, entonces el punto de operación de la figura 7 es:

$$Q : (12V, 0A)$$

5.3. Analisis del circuito de la figura 9

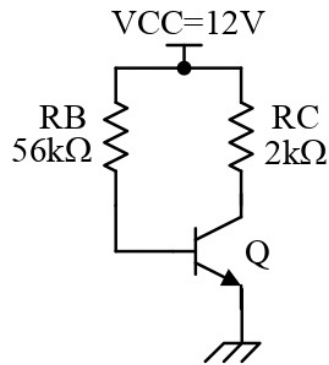
aplicando ley de tensiones de Kirchoff se tiene

$$R_B I_B + V_{BE} = V_{CC}$$

despejando I_B

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$

sustituyendo valores



$$I_B = \frac{12V - 0,6V}{56k\Omega} = 0,204mA$$

aplicando ley de tensiones de Kirchoff a la malla faltante

$$R_C I_C + V_{CE} = V_{CC}$$

sabiendo que $I_C = \beta I_B$

$$R_C \beta I_B + V_{CE} = V_{CC}$$

despejando V_{CE}

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C \beta I_B \quad (1)$$

sustituyendo valores

$$V_{CE} = 12V - 2k\Omega(100)(0,204mA) = -38,8V$$

El transistor no se encuentra en estado de saturacion, entonces aplicando la lógica de los circuitos 1 y 2:

$$V_C = 12V$$

$$V_B = 12V$$

$$V_E = 0V$$

$$V_{CE} = 12V$$

$$Q : (12V, 0A)$$

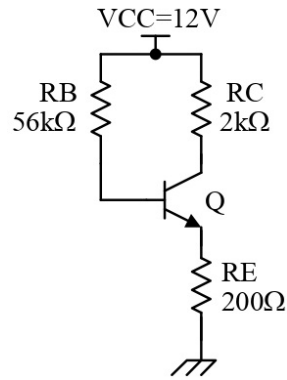
por convención de signos los valores que puede llegar a tomar V_{CE} quedan establecidos en $V_{CE} > 0$

por tanto si $V_{CE} = 0$ en (1):

$$0 = 12V - R_C(100)(0,204mA)$$

$$R_C = 588\Omega$$

Entonces se debería cumplir que para $R_C < 588\Omega$ el transistor se encuentra saturado y circula corriente por el circuito



5.4. Analisis del circuito de la figura 10

aplicando ley de tensiones de Kirchoff se tiene

$$R_B I_B + V_{BE} + R_E I_E = V_{CC}$$

sabiendo que $I_E = (\beta + 1)I_B$

$$R_B I_B + V_{BE} + R_E (\beta + 1)I_B = V_{CC}$$

despejando I_B

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + R_E (\beta + 1)}$$

sustituyendo valores

$$I_B = \frac{12V - 0,6V}{56k\Omega + 200\Omega(100 + 1)} = 0,150mA$$

aplicando ley de tensiones de Kirchoff a la malla faltante

$$R_C I_C + V_{CE} + R_E I_E = V_{CC}$$

sabiendo que $I_C = \beta I_B$ y $I_E = (\beta + 1)I_B$

$$R_C \beta I_B + V_{CE} + R_E (\beta + 1)I_B = V_{CC}$$

despejando V_{CE}

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C \beta I_B - R_E (\beta + 1)I_B \quad (2)$$

sustituyendo valores

$$V_{CE} = 12V - 2k\Omega(100)(0,204mA) - 200\Omega(100 + 1)(0,150mA) = -31,8V$$

El transistor no se encuentra en estado de saturacion, entonces aplicando la lógica de los circuitos 1 y 2:

$$V_C = 12V$$

$$V_B = 12V$$

$$V_E = 0V$$

$$V_{CE} = 12V$$

$$Q : (12V, 0A)$$

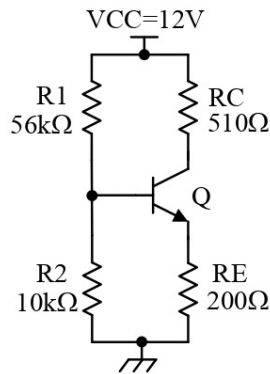
por convención de signos los valores que puede llegar a tomar V_{CE} quedan establecidos en $V_{CE} > 0$ por tanto si $V_{CE} = 0$ en (2):

$$0 = 12V - R_C(100)(0,204mA) - R_E(100 + 1)(0,150mA)$$

$$0,0204R_C + 0,0151R_E < 12$$

Quedando así un sistema compatible indeterminado de una ecuación con dos incógnitas, en el cual se pueden variar los valores de las resistencias de manera que el transistor se sature.

5.5. Analisis del circuito de la figura 11



Calculando equivalente de thevelin entre la base del transistor y la referencia

$$R_{Th} = R_1 // R_2 = 56k\Omega // 10k\Omega = 8,48k\Omega$$

por divisor de voltaje

$$V_{Th} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} = \frac{10k\Omega}{56k\Omega + 10k\Omega} (12V) = 1,81V$$

aplicando ley de tensiones de Kirchoff

$$R_{Th}I_B + V_{BE} + R_E I_E = V_{Th}$$

si $I_E = (\beta + 1)I_B$, entonces

$$R_{Th}I_B + V_{BE} + R_E(\beta + 1)I_B = V_{Th}$$

$$I_B = \frac{V_{Th} - V_{BE}}{R_{Th} + R_E(\beta + 1)}$$

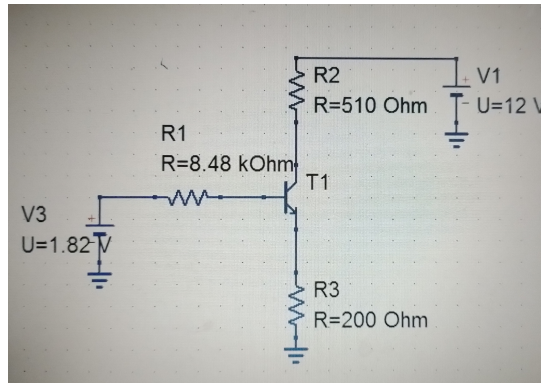


Figura 5.1: Circuito 5 con equivalente de Thevelin

Sustituyendo valores

$$I_B = \frac{1,82V - 0,6V}{8,48k\Omega + 200\Omega(100 + 1)} = 0,043mA$$

sabiendo que $I_C = \beta I_B$

$$I_C = 100(0,043mA) = 4,3mA$$

por otra parte

$$I_E = (\beta + 1)I_B = (100 + 1)0,043mA = 4,343mA$$

aplicando ley de tensiones de Kirchoff a la otra malla

$$R_C I_C + V_{CE} + R_E I_E = V_{CC}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C - R_E I_E$$

sustituyendo

$$V_{CE} = 12V - 510\Omega(4,3mA) - 200\Omega(4,343mA) = 8,94V$$

por ley de ohm

$$V_E = R_E I_E = 200\Omega(4,343mA) = 0,87V$$

además

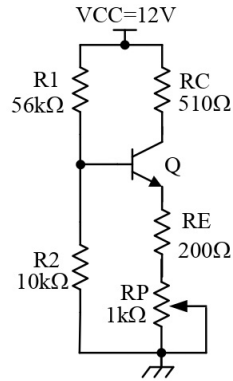
$$V_B = V_{BE} + V_E = 0,6V + 0,87V = 1,47V$$

$$V_C = V_{CE} + V_E = 8,94V + 0,87V = 9,81V$$

punto de operacion

$$Q = (8,94V, 4,30mA)$$

5.6. Analisis del circuito de la figura 12



Se aplicará una lógica semejante al circuito anterior, donde:

$$R_{Ecircuito5} = R_{Ecircuito6} + R_P$$

Calculando equivalente de thevelin entre la base del transistor y la referencia

$$R_{Th} = R_1 // R_2 = 56k\Omega // 10k\Omega = 8,48k\Omega$$

por divisor de voltaje

$$V_{Th} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} = \frac{10k\Omega}{56k\Omega + 10k\Omega} (12V) = 1,81V$$

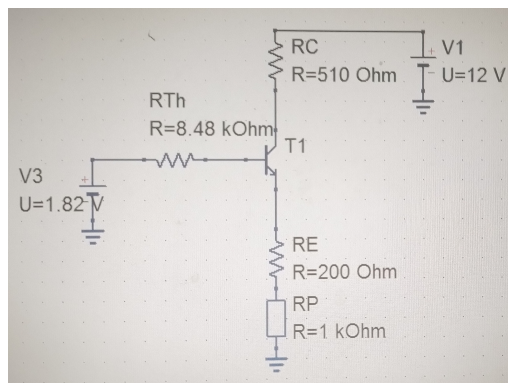


Figura 5.2: Circuito 6 con equivalente de Thevelin

aplicando ley de tensiones de Kirchoff

$$R_{Th}I_B + V_{BE} + (R_E + R_P)I_E = V_{Th}$$

si $I_E = (\beta + 1)I_B$, entonces

$$R_{Th}I_B + V_{BE} + (R_E + R_P)(\beta + 1)I_B = V_{Th}$$

$$I_B = \frac{V_{Th} - V_{BE}}{R_{Th} + (R_E + R_P)(\beta + 1)}$$

Sustituyendo valores

$$I_B = \frac{1,82V - 0,6V}{8,48k\Omega + (200\Omega + R_P)(100 + 1)} = \frac{1,22}{28680 + 101R_P}A$$

sabiendo que $I_C = \beta I_B$

$$I_C = 100\left(\frac{1,22}{28680 + 101R_P}\right)A = \frac{122}{28680 + 101R_P}A$$

por otra parte

$$I_E = (\beta + 1)I_B = (100 + 1)\left(\frac{1,22}{28680 + 101R_P}\right)A = \frac{123,22}{28680 + 101R_P}A$$

aplicando ley de tensiones de Kirchoff a la otra malla

$$R_C I_C + V_{CE} + R_E I_E = V_{CC}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C - R_E I_E$$

sustituyendo

$$V_{CE} = 12V - 510\Omega\left(\frac{122}{28680 + 101R_P}A\right) - 200\Omega\left(\frac{123,22}{28680 + 101R_P}A\right)$$

$$V_{CE} = \left(12 - \frac{86864}{28680 + 101R_P}\right)V$$

para caso extremo $R_P = 1k\Omega$

$$V_{CE} = \left(12 - \frac{86864}{28680 + 101(1000)}\right)V = 11,33V$$

por ley de ohm

$$V_E = R_E I_E = 200\Omega(0,950mA) = 0,19V$$

además

$$V_B = V_{BE} + V_E = 0,7V + 0,19V = 0,89V$$

$$V_C = V_{CE} + V_E = 11,33V + 0,19V = 11,52V$$

punto de operacion

$$Q = (11,33V, 0,940mA)$$

6. Materiales

- Transistor npn PN2222A
- Resistencia de carbon de $82k\Omega$ serie del 5 % y potencia de $1/4WW$.
- Resistencia de carbon de $2k\Omega$ serie del 5 % y potencia de $1/4WW$.
- Resistencia de carbon de 200Ω serie del 5 % y potencia de $1/4WW$.
- Resistencia de carbon de $36k\Omega$ serie del 5 % y potencia de $1/4WW$.
- Resistencia de carbon de $3k\Omega$ serie del 5 % y potencia de $1/4WW$.
- Resistencia de carbon de $39k\Omega$ serie del 5 % y potencia de $1/4WW$.
- Resistencia de carbon de $82k\Omega$ serie del 5 % y potencia de $1/4WW$.
- Resistencia de carbon de $10k\Omega$ serie del 5 % y potencia de $1/4WW$.
- Resistencia de carbon de $15k\Omega$ serie del 5 % y potencia de $1/4WW$.
- Resistencia de carbon de $6,8k\Omega$ serie del 5 % y potencia de $1/4WW$.
- Resistencia de carbon de 300Ω serie del 5 % y potencia de $1/4WW$.
- Resistencia de carbon de 130Ω serie del 5 % y potencia de $1/4WW$.
- Resistencia de carbon de 300Ω serie del 5 % y potencia de $1/4WW$.
- Resistencia de carbon de 300Ω serie del 5 % y potencia de $1/4WW$.
- Resistencia de carbon de 300Ω serie del 5 % y potencia de $1/4WW$.