

Cálculos de las resistencias de polarización para transistores BJT en configuración emisor común.

Mauricio Orlando Gómez, *Docente Investigador del Instituto de Investigación e Innovación en Electrónica, IIIE. Universidad Don Bosco, de El Salvador.*

Abstracto—Los cálculos de las resistencias de polarización de un transistor en configuración Emisor común, es un documento dirigido a estudiantes e instructores como una herramienta de trabajo adicional, que viene a simplificar los cálculos y sobre todo el tiempo a la hora de hacer los circuitos con transistores y que muchas veces no les dan los resultados esperados, aun siguiendo los pasos de los métodos de libros. Aquí se presentan los resultados de 4 experimentos basados en dos diferentes fuentes, como lo son el libro Dispositivos electrónicos de Thomas L. Floyd, ISBN-13-978-968-18-5117-0-7.1 [1] y http://www.sc.edu/es/sbweb/electronica/elec_basica/tema8/Paginas/Pagina1.htm. [¿] Donde se muestran dos ejemplos de cálculos en circuitos con transistores en configuración emisor común y los otros dos experimentos que son los del cálculo producto de este método de trabajo. Lo que se busca es validar el método aquí descrito y para ello se realizaron cuadros comparativos entre los métodos, mostrando los resultados teóricos y experimentales, donde se podrá notar el comportamiento de los circuitos y como el método puede ser usado, obteniendo valores muy cercanos a los esperados.

Índice de términos— Beta del transistor, Corriente de base, Crocodrille clip, División de tensión, Emisor común, Punto Q de operación, resistencia de carga, resistencias de polarización, Software, Simulación, Transistores BJT, voltaje de base-emisor y de colector-emisor.

I. NOMENCLATURA

β = Beta del transistor.

I_b = Corriente de base.

I_c = Corriente de colector.

R_1 = Resistencia de polarización que se encuentra más cercana al pinto positivo. Y que es parte del divisor de tensión.

R_2 = Resistencia de polarización del divisor de tensión que está más cerca del punto negativo de la fuente y que suele ser el voltaje de referencia para el cálculo del voltaje de base.

BJT = transistor de Unión Bipolar.

LDR = Resistencia dependiente de Luz.

XTO = Transistor.

V_{be} = Voltaje Base –Emisor.

V_{ce} = Voltaje Colector –Emisor.

MA = miliamperios.

μA = microamperios.

Ω = Ohmios.

K Ω = Kilo Ohmios.

II. INTRODUCCIÓN

ESTE documento es la presentación de los resultados de las evaluaciones de un método empírico del cálculo de las resistencias de polarización de un circuito con transistores y en configuración emisor común, en el cual se pretende mostrar el método denominado 3IB, es decir 3 veces la corriente de base y que se base en el hecho de que hay muchos escritos sobre los transistores, pero no se encuentra claro como realizar el cálculo de las resistencias de polarización, de hecho, en los libros consultados para la elaboración de este informe, no queda claro como se calculan, [2] [3] [5] es más se dan por sentado que ya están en el circuito, por lo que se vuelve importante que dichos cálculos queden claros, a fin de que los lectores puedan, de forma clara y sencilla realizar sus propios diseños y obtener los valores de resistencias de polarización con un alto grado de certeza de que van a funcionar correctamente, de hecho en las pruebas realizadas y que a continuación se presentan, podrán ver lo fácil del cálculo y lo práctico que es determinar estos valores, con la ayuda del simulador Crocodile clip, se realizaron las comprobaciones de los valores encontrados y se implementaron con dispositivos de uso común en electrónica.

Como libro de referencia se tiene el de Thomas Floyd, Dispositivos electrónicos ISBN-10 968-18-5117-X. [1]

III. PROCEDIMIENTOS REALIZADOS

Como antecedente que origino el presente, cabe mencionar que fue producto de múltiples cuestionamientos por el uso indiscriminado de circuitos que se encuentran en Internet, que por no ser propios de la aplicación, presentan problemas a la hora de la implementación en físico.

Entrando en materia, la mayoría de los escritos consultados hablan de la relación ya conocida entre la corriente de base y la corriente de colector, esto es el Beta [7], por ejemplo podemos citar la página 240 del libro de Thomas Floyd (2006) [1], donde se encuentra el tema de la polarización de los transistores por medio de divisores de tensión, el análisis que realiza el autor lo base en el voltaje de polarización de la base

del transistor, donde después de un análisis y asumir que el valor de la resistencia R2 es mucho menor que el valor de la resistencia de base, es decir:

$$R2 \ll \beta R_E \quad (1)$$

De donde se desprende la fórmula de la aproximación del valor del voltaje de base, de tal forma que la ecuación queda de la siguiente manera:

$$V_b \cong \left(\frac{R2}{R1 + R2} \right) * V_{CC} \quad (2)$$

A partir de este punto se sabe que el voltaje de base-emisor será de 0.7 voltios, y esto nos lleva a obtener el valor del voltaje de Emisor, de la siguiente manera. [8]

$$V_e = V_b - V_{be} \quad (3)$$

Con este dato, se calcula la corriente de emisor,

$$I_e = \frac{V_e}{R_e} \quad (4)$$

Se aproxima la corriente de emisor a la de colector y de esa forma se obtienen los demás parámetros

$$I_c \cong I_e \quad (5)$$

$$V_c = V_{CC} - I_c R_c \quad (6)$$

$$V_{ce} = V_c - V_e \quad (7)$$

Revisando las fórmulas y los detalles del cálculo y denota que no se hace uso de la corriente de base "I_b", al menos no de forma explícita lo mismo que el beta, y se da por sentado que hay valores dados para las resistencias R1, R2, R_e y R_c, cuando son los datos que se desconocen en los circuitos reales, es en este punto donde se nos pierde el cálculo ya que se asumen presentes, veamos el ejemplo marcado como 5-7 en la página 242, esto siempre del libro de Thomas Floyd, que será nuestra referencia a lo largo del documento.

A. Caso 1, ejemplo tomado del libro dispositivos electrónicos de Floyd...

Para este primer caso, se presenta en la fig. 1, la imagen hecha en el software de simulación Crocodile clip, como para ejemplificar el caso planteado en el libro, y que se ve la siguiente manera:

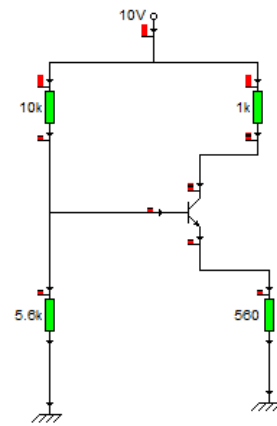


Fig. 1 Circuito del ejemplo 5-7, del libro Dispositivos Electrónicos

El ejercicio, dice: "Determine V_{ce} e I_c en la figura 5-24, donde β = 100 para un transistor de silicio.

SOLUCIÓN

$$R_{ENT}(\text{base}) = \beta * R_e = (100) (560 \Omega) = 56 \text{ K}\Omega$$

Una regla práctica común es que si dos resistencias están en paralelo y una de ellas es mucho mayor o mucho menor que la otra se adoptan que la relación debe de ser del orden de las 10 veces el valor del otro, en este caso se considera que el dato es aproximadamente el valor de la menor de las resistencias; sin embargo en algunos casos este dato se vuelve inexacto y por consiguiente inaceptable.

Para el ejercicio planteado el valor es mucho mayor que el valor mostrado de R_e que es de 560 Ω. De aquí que se utiliza la fórmula de la aproximación de V_b que está en la ecuación Ec 2, donde:

$$V_b \cong \left(\frac{5.6 \text{ K}\Omega}{15.6 \text{ K}\Omega} \right) 10v$$

Donde

$$V_b \text{ sería de } 3.59 \text{ V.}$$

Así

$$V_e = V_b - V_{be} = 3.59 \text{ v} - 0.7 \text{ v} = 2.89 \text{ v}$$

Después de este paso, se deduce la corriente de emisor y se aproxima a la corriente de base, es en este punto donde nuestros métodos difieren, pero sigamos viendo el cálculo completo.

$$I_e = \frac{V_e}{R_e} = \frac{2.89 \text{ V}}{560 \Omega} = 5.16 \text{ mA}$$

Este resultado, nos sirve para hacer la aproximación de lo que sería la corriente de colector y esto quedaría de la siguiente manera

$$I_c \cong I_e = 5.16 \text{ mA}$$

Por KVL se obtiene el valor del voltaje de colector a emisor, y esto queda de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} V_{ce} &= V_{cc} - I_e (R_c + R_e) \\ &= 10 \text{ V} - 5.16 \text{ mA} \cdot (1.56 \text{ K}\Omega) \\ &= 1.95 \text{ V} \end{aligned}$$

Este dato nos indica que V_{ce} no está cercano a los 0 voltios por consiguiente no está saturado sino en la región activa.

Hasta acá terminaría el ejercicio, sin embargo, Nunca se nos dice de donde salieron las resistencias de polarización R_1 y R_2 , estas ya están dadas por el ejercicio y no son sujetas de cálculo. Y es este el punto y sujeto del presente estudio.

TABLA I

DATOS TANTO SIMULADOS COMO EXPERIMENTALES "CASO 1"

PARÁMETRO	TEÓRICO	SIMULACIÓN	EXPERIMENTAL
VOLT. DE BASE	3.59	3.42	3.48
VOLT. BASE EMISOR	0.7	0.67	0.67
VOLT. COLECTOR EMISOR	1.95	2.38	2.9
VOLT RES. COLECTOR	5.16	4.86	4.27
VOLT. EMISOR	2.89	2.75	2.82
I DE BASE	51.6 μA	48.6 μA	44 μA
I DE COLECTOR	5.16 MA.	4.86 MA.	4.3 MA.
I_{R1}	641 μA	658 μA	661 μA
I_{R2}	641 μA	610 μA	612 μA
I TOTAL	5.801 MA.	5.518 MA.	4.961 MA.

Notas aclaratorias

Para los experimentos se utilizó un transistor 2N3439 [11]. El beta del transistor es de 101.

B. Caso 2, ejemplo tomado de la web:

http://www.sc.ehu.es/sbweb/electronica/elec_basica/tema8/Paginas/Pagina1.htm

El curso se llama Electrónica básica, por Andrés Aranzábal Olea, del departamento de electrónica y telecomunicaciones de la **Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial, España**.

Se parte del mismo caso, se hace un análisis aproximado de cómo se deben de tratar las resistencias y nos coloca la siguiente imagen:

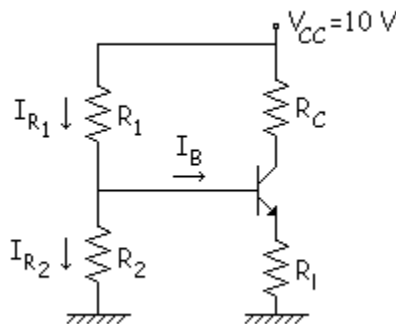


Fig. 2 Estructura del circuito de estudio del caso 2.

veces menor que la corriente que pasa por R_1 o por R_2 , entonces se puede hacer uso de las aproximaciones expresadas en la siguiente fórmula.

$$I_b \ll I_{R1} \text{ ó } I_b \ll I_{R2} \quad (8)$$

Haciendo análisis de mallas se llega a la siguiente expresión:

$$I_{R1} \approx I_{R2} = \frac{V_{cc}}{R_1 + R_2} \quad (9)$$

Donde es claro que si se hace la corriente del divisor de tensión muy grande en este caso 20 veces, es factible despreocuparse de la corriente que puede ir hacia la base del transistor y por lo tanto validar la expresión Ecuación 8, esto se puede ver en la figura 3.

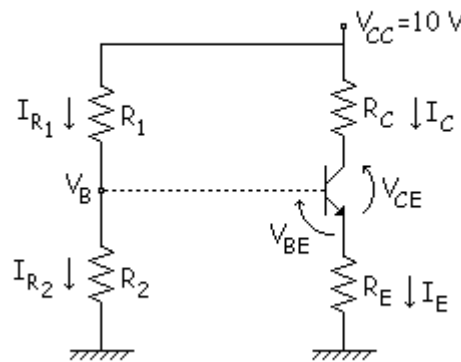


Fig. 3 Circuito de estudio del caso 2, con análisis de corrientes.

Bajo este argumento se puede calcular el valor del voltaje en la base, siendo este el mismo que se refleja en la resistencia R_2 , quedando la ecuación de la siguiente manera:

$$I_{R1} \approx I_{R2} = \frac{V_{cc}}{R_1 + R_2} \quad (9)$$

De esta expresión se deduce el voltaje de la base, dando como resultado la siguiente expresión.

$$V_B = \frac{V_{cc}}{R_1 + R_2} \cdot R_2 \quad (2)$$

Esta debería de ser la ecuación EC 10, sin embargo si nos remontamos al inicio veremos que esta expresión fue considerada también en el ejemplo inicial.

El autor plantea que si la corriente de base (I_B), es 20

Luego de encontrar el voltaje de base, se utiliza LKV, para encontrar el valor del voltaje de emisor de tal manera que la expresión a utilizar queda de la siguiente manera:

$$V_E = V_B - V_{BE}$$

Y se deduce la corriente de colector por medio de saber de ante mano el valor de la resistencia de emisor, para ello se utiliza la expresión:

$$I_E = \frac{V_B - V_{BE}}{R_E} \quad (4)$$

$$I_C \approx I_E \quad (5)$$

$$-V_{CC} + R_C \cdot I_C + I_E \cdot R_E + V_{CE} = 0 \quad (6) \text{ y } (7)$$

Como se puede apreciar, en esta parte las ecuaciones son las mismas, están amarradas a las expresiones tradicionales de la mayoría de los libros, seguimos con el caso de que ya se conocen los valores de las resistencias y lo que se hace es encontrar los valores de la corriente de colector y el voltaje entre colector y emisor.

Desarrollando las ecuaciones y el método nos queda de la siguiente manera los cálculos del ejercicio.

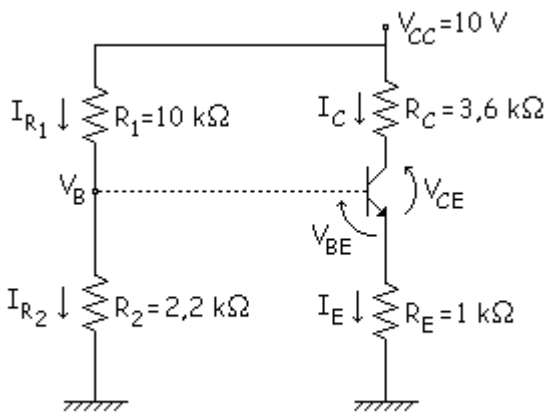


Fig. 4 Circuito del caso 2, con valores para el análisis.

$$I_{R1} \approx I_{R2} = \frac{V_{CC}}{R_1 + R_2} = \frac{10}{10 + 2,2} = 0,8 \text{ mA}$$

$$V_B = \frac{V_{CC}}{R_1 + R_2} \cdot R_2 = \frac{10}{10 + 2,2} \cdot 2,2 = 1,8 \text{ V}$$

$$I_E = \frac{V_B - V_{BE}}{R_E} = \frac{1,1 \text{ V}}{1 \text{ k}\Omega} = 1,1 \text{ mA}$$

$$I_C \approx I_E = 1,1 \text{ mA}$$

$$V_E = V_B - V_{BE} = 1,8 - 0,7 = 1,1 \text{ V}$$

$$-V_{CC} + R_C \cdot I_C + I_E \cdot R_E + V_{CE} = 0$$

$$V_{CE} = 10 - 3,6 \cdot 1,1 - 1,1 \cdot 1 = 4,94 \text{ V}$$

Solo faltaría la comprobación de que el valor de la corriente de base, sea o este su valor por debajo de la corriente de R1 ó R2 según la expresión:

$$I_B \leq \frac{I_{R1}}{20} \text{ (o } \frac{I_{R2}}{20}) \quad (10)$$

Entonces se concluye que la corriente de base está dentro de estos parámetros y que por los datos robustos del cálculo se puede considerar que no importa el valor del Beta del transistor el cálculo es tan bueno que se puede utilizar cualquier transistor y los datos no van a variar de manera significativa.

TABLA II

DATOS TANTO SIMULADOS COMO EXPERIMENTALES "CASO 2"

PARÁMETRO	TEÓRICO	SIMULACIÓN	EXPERIMENTAL
VOLT. DE BASE	1.8	1.78	1.58
VOLT. BASE EMISOR	0.7	0.62	0.63
VOLT. COLECTOR EMISOR	4.94	4.72	5.67
VOLT RES. COLECTOR	3.96	4.12	3.38
VOLT. EMISOR	1.1	1.16	0.96
I DE BASE	11 μ A	11.4 μ A	12 μ A
I DE COLECTOR	1.1 MA.	1.14 MA.	0.95 MA.
IR1	800 μ A	822 μ A	853 μ A
IR2	800 μ A	810 μ A	841 μ A
ITOTAL	1.9 MA.	1.97 MA.	1.79 MA.

Hasta aquí se han tomado dos ejemplos ya resueltos donde se nos propone solventar los valores de los cálculos de un circuito con resistencias de polarización por divisor de tensión en configuración emisor común y con resistencia de emisor, en los siguientes dos ejemplos vamos a tomar los valores de resistencia de colector y de emisor para hacer los cálculos utilizando el método de las 3IB, y con los resultados que obtengamos vamos a crear un cuadro comparativo entre estos dos métodos y el que se propone, la idea no es desvirtuar los

métodos hasta hora vistos, sino por el contrario validar el método propuesto, de tal forma que se pueda utilizar como un método alternativo en cuanto al diseño de soluciones donde se requiere el uso de resistencias de polarización, particularmente por divisor de tensión y en configuración de emisor común.

C. Caso 3, desarrollo del método 3IB aplicado al caso 1

Para el caso 3 y 4, se van a considerar como ya se apuntó los dos ejercicios anteriores y se realizar los cálculos de las resistencias de polarización.

El método, consiste en trabajar de la salida hacia la entrada, los métodos anteriores van de la entrada hacia la salida, esto de por sí ya genera un cambio conceptual, en los casos anteriores se asume despreciable a la corriente de base y el análisis parte de conocer el valor de la tensión del emisor para encontrar la corriente de colector; de igual manera los cálculos se basan en suponer un valor, en base a la presunción de un comportamiento ya sea del valor del voltaje o de la corriente.

Para el estudio veremos las formulas que se desarrollan en este proceso, la corriente de base, está siempre en función del beta y de la corriente de colector, el beta del transistor se le obtienen por medio de un multímetro digital, quedará la corriente de base dependiendo de la corriente de colector de la siguiente manera:

$$I_b = \frac{I_c}{\beta} \quad (11)$$

Con esta fórmula, se desprende las otras, esto es como se dijo antes que se debe de considerar la R_c , es decir la resistencia de carga o de colector, y el valor de corriente que se espera esté circulando por esa resistencia, de tal manera que se debe de conocer lo que se quiere controlar antes de hacer los cálculos de los elementos de control, y esto es así por el hecho de que el cálculo busco minimizar las suposiciones y trabajar con datos reales, de tal suerte que podamos obtener las resistencias de polarización R_1 y R_2 , lo mismo que la R_c ya dada por el dispositivo a controlar, las otras ecuaciones a utilizar son las siguientes:

$$I_{R2} = 2I_b \quad (12)$$

$$I_{R1} = 3I_b \quad (13)$$

Para el cálculo del divisor de tensión se considera que el voltaje de trabajo de la juntura base-emisor del transistor será de 0.71 voltios, esta será la única cosa que se asumirá, ya que los libros dan por sentado que el valor del voltaje entre la base y el emisor es de 0.7 voltios. Por lo tanto el valor de la resistencia R_2 del divisor de tensión se calcula con esta consideración.

$$R_2 = \frac{V_{be}}{2I_b} = \frac{0.71}{2I_b} \quad (14)$$

Es de hacer notar que no se está considerando la R_e , ya que para esta primera parte se asume que no lo hay. Se podría

considerar el cálculo y de hecho se realiza más adelante, pero asumiendo el valor propuesto de las resistencias de emisor.

Si se considera el valor de R_e , la formula sufriría cambios y quedaría de la siguiente manera:

$$R_2 = \frac{V_b}{2I_b} = \frac{V_{be} + V_e}{2I_b} = \frac{0.71 V + I_b * (\beta + 1) R_e}{2I_b} \quad (15)$$

Usar o no R_e , dependerá de la aplicación, por ejemplo si se quiere manejar luminarias o relés no se necesita tener resistencia en el emisor, esta resistencia en el emisor, es para estabilidad del circuito y mejorar el punto Q de operación en los casos de amplificadores de pequeñas señales, donde se le coloca junto con un condensador que nos ayude a mejorar la ganancia en circuitos que manejan frecuencia.

Pero ese no es el caso, para nuestro estudio se utilizaran los valores como se dijo antes de las dos resistencias que tienen tanto en el colector como en el emisor, se realizarán los cálculos también sin la resistencia de emisor y se presentaran los datos de funcionamiento tanto en el simulador como en la práctica. Continuando con las ecuaciones se presentan la del cálculo de lo que sería la resistencia R_1 , que también se presenta en sus dos versiones con R_e y sin ella, quedando de la siguiente manera:

$$R_1 = \frac{V_{cc} - V_{be}}{3I_b} \quad (16)$$

$$R_1 = \frac{V_{cc} - V_b}{3I_b} = \frac{V_{cc} - (0.71 V + I_b * (\beta + 1) R_e)}{3I_b} \quad (17)$$

Como se puede apreciar el método busca darle protagonismo a la corriente de base, y haciendo uso de lo que es la ley de corrientes de Kirchoff, hacer un divisor de corrientes, asumiendo que la máxima corriente de trabajo será 3 veces la corriente de base, y que la R_2 se encargara de modular la diferencia de corriente, esto con la idea de que del sistema se tome la menor cantidad de corriente de la fuente de suministro, a diferencia del caso 2 donde se propone que la corriente de base sea 20 veces menor de lo que sería la corriente que maneje tanto al R_1 ó la R_2 , esto provoca un alto consumo de corriente que vuelve un tanto ineficiente el circuito y esto por tomar más corriente de la que necesita para operar.

Para darle forma a los cálculos, hay que hacer referencia al caso uno, veamos la figura 1, veamos los cálculos en primer lugar respetando el que tiene resistencia en el emisor y en segundo lugar que está no existe.

Para el ejercicio se considerará, que la corriente de colector es la que resultado de los cálculos hechos, y para el caso sería de 5.16 mA., supondremos también dadas las resistencias de colector y de emisor, de tal manera que la $R_c = 1 \text{ K}\Omega$ y $R_e = 560 \Omega$, el β se considera de 100 unidades.

Utilizando las ecuaciones desde la 13 en adelante, se tiene

que el valor de los componentes de la siguiente manera:

$$\text{Usando la ecuación 11} \quad I_b = \frac{5.16 \text{ mA}}{100} = 51.6 \text{ } \mu\text{A}.$$

$$\text{Usando la ecuación 12} \quad I_{R2} = 2 (I_b) = 103.2 \text{ } \mu\text{A}.$$

$$\text{Usando la ecuación 13} \quad I_{R1} = 3 (I_b) = 154.8 \text{ } \mu\text{A}.$$

Para determinar el valor de la resistencia R2, utilizamos la ecuación 15, donde el valor sería:

$$R2 = \frac{V_{be} + V_e}{2I_b} = \frac{0.71 \text{ V} + (51.6 \text{ } \mu\text{A} * (101) * 560 \Omega)}{2(51.6 \text{ } \mu\text{A})} = 35,159.8 \Omega$$

Para el caso de la R1 sería con la ecuación 17 así:

$$R1 = \frac{10 \text{ V} - (0.71 \text{ V} + 51.6 \text{ } \mu\text{A} * (101) * 560)}{154.8 \text{ } \mu\text{A}} = 41,149.9 \Omega$$

La simulación del circuito quedaría de la siguiente forma:

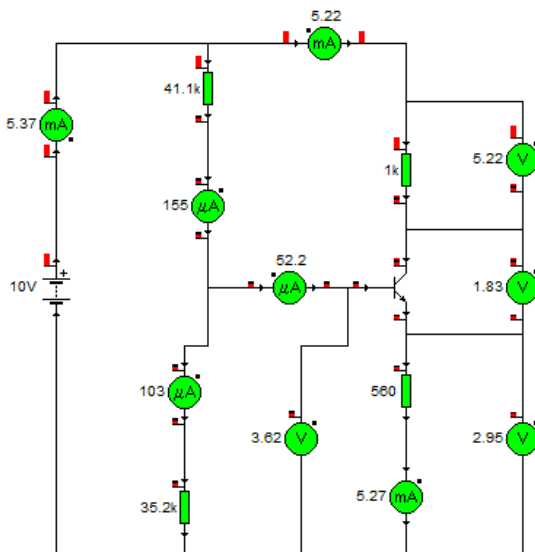


Fig. 5 Circuito del caso 3, con valores para el análisis

TABLA III

DATOS TANTO SIMULADOS COMO EXPERIMENTALES "CASO 3"

PARÁMETRO	TEÓRICO	SIMULACIÓN	EXPERIMENTAL
VOLT. DE BASE	3.59	3.62	3.53
VOLT. BASE EMISOR	0.7	0.67	0.67
VOLT. COLECTOR EMISOR	1.95	1.83	1.72
VOLT RES. COLECTOR	5.16	5.22	5.36
VOLT. EMISOR	2.89	2.95	2.93
I DE BASE	51.6 μA	52.2 μA	56 μA
I DE COLECTOR	5.16 MA.	5.22 MA.	5.6 MA.
IR1	641 μA	155 μA	156 μA
IR2	641 μA	103 μA	102 μA
I TOTAL	5.801 MA.	5.37 MA.	5.57 MA.

Como se puede apreciar en la simulación podemos obtener los datos de corrientes y voltajes dados por el circuito, por lo que podemos dejar estos en un cuadro para luego hacer las comparaciones del caso y ver la efectividad de los métodos.

Para no alterar el documento, se deja en los anexos las imágenes de la simulación de los casos 1 y 3, de tal manera que podamos hacer comparaciones efectivas y en los mismos términos, de hecho se espera que podamos contar con 10 parámetros de comparación, esto bajo la idea que solo podemos comparar el caso 1 con el 3 y el caso 2 con el 4, los casos 1 y 2 no se pueden comparar pues no hay manera de colocar datos en ambos métodos, se insiste que esta comparación es de carácter académico, y tiene por misión la validación del método que les estamos presentado.

D. Caso 4, desarrollo del método 3IB aplicado al caso 2.

Para el ejercicio se considerará, que la corriente de colector es la que resultado de los cálculos hechos, y para el caso sería de 1.1 mA., consideraremos también, dadas las resistencias de colector y de emisor, de tal manera que al $R_c = 3.6 \text{ K}\Omega$ y $R_e = 1 \text{ K}\Omega$, el β se considera de 100 unidades.

Utilizando las ecuaciones desde la 13 en adelante, se tiene que el valor de los componentes de la siguiente manera:

$$\text{Usando la ecuación 11} \quad I_b = \frac{1.1 \text{ mA}}{100} = 11 \text{ } \mu\text{A}.$$

$$\text{Usando la ecuación 12} \quad I_{R2} = 2 (I_b) = 22 \text{ } \mu\text{A}.$$

$$\text{Usando la ecuación 13} \quad I_{R1} = 3 (I_b) = 33 \text{ } \mu\text{A}.$$

Para determinar el valor de la resistencia R2, utilizamos la ecuación 15, donde el valor sería:

$$R2 = \frac{V_{be} + V_e}{2I_b} = \frac{0.71 \text{ V} + (11 \text{ } \mu\text{A} * (101) * 1 \text{ K}\Omega)}{2(11 \text{ } \mu\text{A})} = 82.77 \text{ K}\Omega$$

Para el caso de la R1 sería con la ecuación 17 así:

$$R1 = \frac{10 \text{ V} - (0.71 \text{ V} + 11 \text{ } \mu\text{A} * (101) * 1000)}{33 \text{ } \mu\text{A}} = 247.85 \text{ K}\Omega$$

La simulación del circuito quedaría de la siguiente forma:

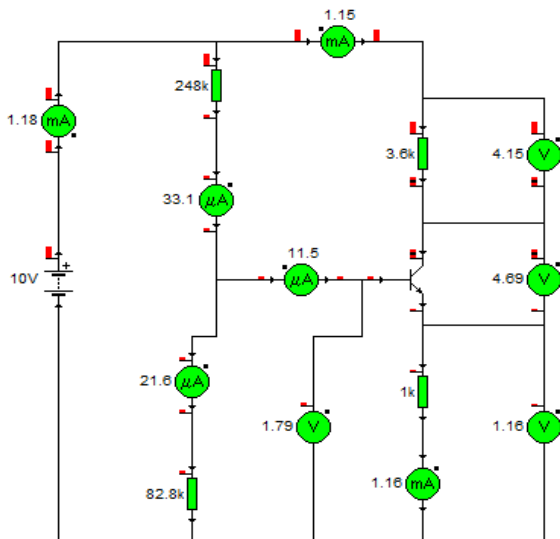


Fig. 6 Circuito del caso 4, con valores para el análisis

Como se puede apreciar en la simulación podemos obtener los datos de corrientes y voltajes dados por el circuito, por lo que podemos dejar estos en un cuadro para luego hacer las comparaciones del caso y ver la efectividad de los métodos.

TABLA IV

DATOS TANTO SIMULADOS COMO EXPERIMENTALES "CASO 4"

PARÁMETRO	TEÓRICO	SIMULACIÓN	EXPERIMENTAL
VOLT. DE BASE	1.8	1.79	1.65
VOLT. BASE EMISOR	0.7	0.63	0.62
VOLT. COLECTOR EMISOR	4.94	4.69	4.92
VOLT RES. COLECTOR	3.96	4.14	3.98
VOLT. EMISOR	1.1	1.16	1.1
I DE BASE	11 μ A	11.5 μ A	13 μ A
I DE COLECTOR	1.1 MA.	1.15 MA.	1.12 MA.
IR1	33 μ A	33.1 μ A	35 μ A
IR2	22 μ A	21.6 μ A	22 μ A
I TOTAL	1.13 MA.	1.18 MA.	1.14 MA.

Estos son los datos tomados experimentalmente el mismo día con los mismos elementos y en el mismo ambiente, de tal manera que las condiciones fueron las mismas para los cuatro experimentos, se utilizó un único transistor para hacer los ejercicios, el beta del mismo es de 101 unidades, las resistencias en su mayoría fueron formadas por potenciómetros para garantizar que los valores estuvieran dentro de rangos y que sus variaciones no fuesen superiores a 10 unidades.

E. Tablas comparativas de resultados.

Los resultados esperados por cada experimento ya están dados, sin embargo hace falta hacer los análisis entre los datos teóricos, los simulados y los experimentales entre los métodos, esto para validar los datos y verificar cual método se acerca más, para ello se presentan los siguientes cuadros donde se hacen las comparaciones de los datos tanto simulados como experimentales, la comparación sería entre los casos 1 y 3, y entre el 2 y 4, con ello se espera ver el comportamiento y

validación del método presentado.

TABLA V

CUADRO COMPARATIVO ENTRE LOS "CASOS 1 Y 3"

PARÁMETRO	TEÓRICO	SIMULA. 1	SIMULA. 3	EXP 1	EXP 3
V. DE BASE	3.59	3.42	3.62	3.48	3.53
V. B-E	0.7	0.67	0.67	0.67	0.67
V. C-E	1.95	2.38	1.83	2.9	1.72
V. RC	5.16	4.86	5.22	4.27	5.36
V. EMISOR	2.89	2.75	2.95	2.82	2.93
I B	51.6 μ A	48.6 μ A	52.2 μA	44 μ A	56 μA
I C	5.16 MA.	4.86 MA.	5.22 MA.	4.3 MA.	5.6 MA.
IR1	641 μ A	658 μ A	155 μ A	661 μ A	156 μ A
IR2	641 μ A	610 μ A	103 μ A	612 μ A	102 μ A
I TOTAL	5.801 MA.	5.518 MA.	5.37 MA.	4.961 MA.	5.57 MA.

En "negrito", están los datos que quedaron más cerca de lo esperado teóricamente, es de hacer notar que la parte del consumo se colocó para ver la cantidad de corriente que demanda el proceso entero y no solo el divisor de tensión.

El siguiente cuadro presenta la comparación entre los experimentos pares es decir el 2 y el 4, para hacer el mismo ejercicio de comparación.

TABLA VI

CUADRO COMPARATIVO ENTRE LOS "CASOS 2 Y 4"

PARÁMETRO	TEÓRICO	SIMULA. 2	SIMULA. 4	EXP 2	EXP 4
V. DE BASE	1.8	1.78	1.79	1.58	1.65
V. B-E	0.7	0.62	0.63	0.63	0.62
V. C-E	4.94	4.72	4.69	5.67	4.92
V. RC	3.96	4.12	4.14	3.38	3.98
V. EMISOR	1.1	1.16	1.16	0.96	1.1
I B	11 μ A	11.4 μA	11.5 μ A	12 μA	13 μ A
I C	1.1 MA.	1.14 MA.	1.15 MA.	0.95 MA.	1.12 MA.
IR1	33 μ A	822 μ A	33.1 μ A	853 μ A	35 μ A
IR2	22 μ A	810 μ A	21.6 μ A	841 μ A	22 μ A
I TOTAL	1.13 MA.	1.97 MA.	1.18 MA.	1.79 MA.	1.14 MA.

Es claro que en este cuadro comparativo, los valores, son más cercanos y las diferencias son menores, lo que se puede interpretar como que la validación es posible y entre estos dos métodos es muy buena. De hecho los datos en negrito de la tabla nos indican cual dato tienen menor diferencia con lo esperado, con esto se puede ver claramente que aunque son diferentes métodos de trabajo, el 3IB es un método válido de trabajo, que puede ser menos tedioso a la hora de hacer cálculos y que estos no van a variar tanto en la práctica.

Cabe mencionar que el método 3IB, por tomar mucho en cuenta el BETA del transistor, **los datos van a diferir si al momento de realizar los cálculos se considera 100 como beta y no se mide el real del transistor a utilizar**, para muestra se presentan los datos al hacer cambio de transistor y utilizando el popular 2N2222 [12], cuyo beta es usualmente cercano a los 300. Si los cálculos se hicieron con un beta de 100 y para el caso se utiliza un transistor con un beta de 294,

estos serían los resultados:

TABLA VII

DATOS SIMULADOS CON BETAS DIFERENTES EN EL "CASO 4"

PARÁMETRO	TEÓRICO	BETA =100	BETA = 294
VOLT. DE BASE	1.8	1.79	2.18
VOLT. BASE EMISOR	0.7	0.63	0.64
VOLT. COLECTOR EMISOR	4.94	4.69	2.92
VOLT RES. COLECTOR	3.96	4.14	5.54
VOLT. EMISOR	1.1	1.16	1.54
I DE BASE	11 μ A	11.5 μ A	5.15 μ A
I DE COLECTOR	1.1 MA.	1.15 MA.	1.54 MA.
IR1	33 μ A	33.1 μ A	31.5 μ A
IR2	22 μ A	21.6 μ A	26.4 μ A
I TOTAL	1.13 MA.	1.18 MA.	1.58 MA.

En esta tabla es claro lo expuesto en el párrafo anterior donde se planteaba que se debe de conocer el beta real del transistor, en estos casos y aunque afecta a todos los métodos, el que más se ve afectado es el de 3IB, por lo que se hace énfasis en este dato y deja plasmado los resultados al hacer los cambios de este parámetro tan importante.

IV. CONCLUSIONES.

Es muy gratificante poder concluir que los experimentos salieron como se esperaban, es decir el método 3IB, ofrece una nueva opción para el cálculo de lo que son los valores de las resistencias de polarización de los circuitos de transistores en configuración emisor común y con o sin resistencia en el emisor.

Los cuadros V y VI, son muy reveladores y nos permiten observar la efectividad del método, en ellos se puede ver como los datos son bastante cercanos tanto en lo teórico como en lo experimental, de hecho queda bastante cerca de lo esperado, los datos en negritas nos indican cual de los dos métodos fue más efectivo.

Sin duda hay que seguir viendo cómo se puede contribuir con este método, para otros cálculos como lo pueden ser en circuitos de amplificación de pequeñas señales, donde también se experimentan dificultades a la hora de la realización de circuitos y donde los temas de resistencia de emisor y de polarización son complicados de calcular y son un dolor de cabeza a la hora de hacer las experimentaciones, por lo que queda a la consideración del lector su uso.

Es importante saber, los valores de Beta del transistor y de la resistencia de colector, para poder hacer los cálculos de los valores de las siguientes resistencias.

V. AGRADECIMIENTOS.

El autor agradece las contribuciones de personal del Instituto de Investigación e Innovación en Electrónica, por su trabajo en la versión original de este documento.

VI. REFERENCIAS

Libros:

- [1] Thomas Floyd, "Dispositivos electrónicos / Electronic devices,," vol. 3, pp. 240-245, abril 2006... ISBN 10: 968-18-5117-X
- [2] Circuitos Microelectrónicos, Adel Sedra, Kennet C. Smith, USA: Mc Gran Hill Interamericana, 4ta edición, Capítulo 4 Transistores de unión bipolar BJT, pp. 221,2006
- [3] J.M.Ambella, J.M.Martinez-Duart, "Fundamentos de electrónica física y microelectrónica", USA. Astro Data, 1era edición, Capítulo 6 Transistores bipolares; pp160, 1996.
- [4] J. Jones. (1991, Mayo 10). *Networks*. (2a ed.) [Online]. Disponible en: <http://www.atm.com>
- [5] R. Boylestad, L...Nashelsky "Electrónica: Teoría de Circuitos y Dispositivos Electrónicos", México: Pearson Educación, 10 edición, Capítulo 3 Transistores de unión bipolar, pp. 131, 2009.
- [6] Charles A .Schurler, "Electrónica Principios y aplicaciones", Editorial Reverté, Edición original, Capítulo 5, Transistores de unión, pp. 65 2002.n m
- [7] Albert Paul Malvino, Principios de Electrónica, Editorial Esmeralda Mora, 6ta edición, Capítulo7 polarización de los transistores, pp. 277, 2000.
- [8] Carmelo A. González, Electrónica Básica, Curso por Internet, Capítulo 8 : Polarización y estabilización del Transistor bipolar http://www.sc.edu.es/sbweb/electronica/elec_basica/default.htm

Reportes técnicos:

- [9] C. Amaya, M. Díaz, and P. Peralta, "Circuitos amplificadores en cascada con transistores y Jfet," Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Occidente. Cali, Colombia, Nov. 2017.
- [10] J. Choque, J. Encalada, R. del Águila. "Circuito Amplificador con BJT en Emisor Común" (2016, Apr.). Universidad de Palma, Perú. [Online]. Disponible en: https://www.academia.edu/25722543/Circuito_Amplificador_con_BJT_en_Emisor_Com%C3%BA
- [11] <http://html.alldatasheet.com/html-pdf/21681/STMICROELECTRONICS/2N3439/1620/1/2N3439.html>
- [12] <http://html.alldatasheet.com/html-pdf/15067/PHILIPS/2N2222/245/1/2N2222.html>

VII. BIOGRAFÍAS



Mauricio Gómez, nació en Ciudad Delgado, el 23 de junio de 1969. Se graduó del Instituto Técnico Ricaldone, estudió en la Universidad Evangélica de El Salvador la Ingeniería en Electrónica y en la Universidad Católica de Ávila, España la Maestría.

Su experiencia laboral incluye la Compañía Americana de Xerox, Elektra de México, Teleonda Musical en San Salvador, Universidad Evangélica de El Salvador y la Universidad Don Bosco. Sus campos de interés de especialización incluyen la educación virtual izada.

M. Gómez, a realizado conferencias a nivel Centroamericano, sobre manufactura integrada por computadora, programación de robot industriales y robótica lúdica, recibió certificación de FESTO DIDACTIC, sobre programación de robot industriales y programación de PLC y CNC. A participado en competencias nacionales sobre automatización y robótica lúdica con sus estudiantes, ganando los primeros lugares en varias de ellas.

Gracias por su consideración.