

## Trabajo Práctico N°2

### Transistor TBJ

#### Objetivos del trabajo

- Estudiar las curvas características del dispositivo y sus parámetros característicos.
- Estudiar mediante simulaciones el comportamiento del dispositivo.
- Analizar la información y parámetros brindados por los fabricantes de los dispositivos.
- Estudiar la polarización del dispositivo en forma analítica y mediante simulación.

#### Enunciado

En este trabajo práctico se estudiarán modelos teóricos y de simulación del transistor TBJ. Primero se deberá relevar las curvas características de un transistor mediante simulación utilizando *SPICE*. Luego, se llevará a cabo varios ajustes sobre estas curvas para obtener parámetros característicos del dispositivo. Se compararán con la información brindada por los fabricantes. Finalmente, se polarizará el dispositivo utilizando los parámetros obtenidos en forma teórica y se verificará mediante simulación, comparando ambos resultados.

Para todo el trabajo se debe suponer que la temperatura es de  $T = 300$  K.

El transistor TBJ tipo PNP, adoptando como convención todas sus corrientes entrantes al dispositivo, operando en M.A.D. responde a la siguiente expresión para su corriente de colector

$$i_C = -I_S \exp\left(\frac{-v_{BE}}{V_{Th}}\right) \left(1 + \frac{-v_{CE}}{V_A}\right) \quad (1)$$

y se cumple la relación entre corriente de base y colector

$$i_C = \beta i_B. \quad (2)$$

#### Parte I: Obtención de las curvas características

Se realizarán dos simulaciones, la primera para obtener la curva de transferencia y la corriente de base, y la segunda para la curva de salida. El modelo de transistor a utilizar y algunos de los parámetros para las simulaciones se presentan en la tabla 1, los cuales dependen el último dígito del número de padrón. Todos estos modelos de transistores están provistos por las bibliotecas internas de *LTSpice®*, en caso de no encontrarlo se deberá buscar el modelo y agregarlo para poder realizar la simulación correctamente.

Último dígito	TBJ PNP	$I_B/\mu A$	$V_{CEQ}/V$
0	2SA1579	-10	-3,9
1	2SAR372P5	-11	-3,8
2	2SA1514K	-12	-3,7
3	BSS63A	-13	-3,6
4	2SAR514R	-14	-3,5
5	2SA1579	-15	-3,4
6	2SAR372P5	-16	-3,3
7	2SA1514K	-17	-3,2
8	BSS63A	-18	-3,1
9	2SAR514R	-19	-3,0

TABLA 1: MODELO DE TRANSISTOR, CORRIENTE DE BASE PARA LA SIMULACIÓN DE LA CURVA DE SALIDA Y TENSION ENTRE COLECTOR Y EMISOR PARA LA POLARIZACIÓN SEGÚN EL ÚLTIMO DÍGITO DEL NÚMERO DE PADRÓN.

### Curva de transferencia

Se utilizará el circuito de la figura 1 para obtener la curva de transferencia mediante simulación. El transistor a utilizar es el correspondiente a la tabla 1, TBJ PNP. La fuente de tensión  $V_{CE}$  debe tener un valor de  $-3\text{ V}$  y la fuente de tensión  $V_{BE}$  variará en el rango  $-0,8\text{ V}$  a  $-0,4\text{ V}$ . El tipo de simulación debe ser un barrido de continua, *DC sweep*, y el incremento a utilizar debe brindar por lo menos 100 puntos.

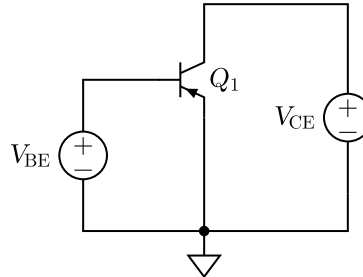


Figura 1: Circuito para la simulación de la curva de transferencia.

De esta simulación, además de obtener los puntos correspondientes a la curva de transferencia,  $(V_{BE}; I_C)$ , debe exportarse la corriente de base,  $I_B$ , para luego graficarlas y realizar los ajustes necesarios mediante un software de cálculo numérico. Ambas corrientes deben presentarse en el mismo gráfico, en escala semilogarítmica, y debido a los valores de estas corrientes se debe graficar el valor absoluto de las mismas quedando las curvas en el segundo cuadrante.

### Curva de salida

Se utilizará el circuito de la figura 2 para obtener la curva de salida mediante simulación. La fuente de corriente para la base,  $I_B$ , tendrá el valor correspondiente a la tabla 1. La fuente de tensión  $V_{CE}$  variará en el rango  $-4\text{ V}$  a  $0\text{ V}$ . El tipo de simulación debe ser un barrido de continua, *DC sweep*, y el incremento a utilizar debe brindar por lo menos 100 puntos.

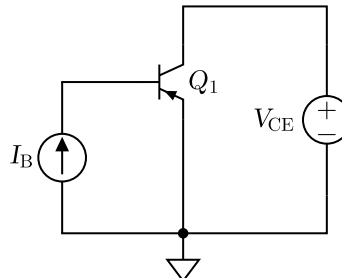


Figura 2: Circuito para la simulación de la curva de salida.

De esta simulación se debe obtener los puntos correspondientes a la curva de salida,  $(V_{CE}; I_C)$ , para luego graficarla y realizar los ajustes necesarios mediante un software de cálculo numérico. Se debe presentar un gráfico con esta curva, la cual estará en el tercer cuadrante.

## Parte II: Obtención de parámetros característicos

Se debe obtener los parámetros característicos del transistor, siendo estos  $\beta$ ,  $I_S$ ,  $V_A$  y  $V_{CE_{sat}}$ . Para esto se debe reutilizar los *scripts* de ayuda del TP1, modificando lo necesario para adecuarlos a los ajustes de sobre las curvas del dispositivo. Las expresiones a utilizar son (1) y (2) con las consideraciones a realizar para cada ajuste.

A partir de la curva de transferencia se debe obtener mediante el ajuste de  $\ln(|I_C|)$  el parámetro  $I_S$ , en este caso de (1) se despreciará el efecto Early y la corriente dependerá sólo de  $V_{BE}$ . Al realizar el ajuste se debe notar y verificar que la pendiente obtenida es la inversa de  $V_{Th}$ , y por lo tanto no puede tener cualquier valor. La curva resultante con los parámetros ajustados deberá graficarse junto con la curva de transferencia y el valor obtenido del parámetro debe presentarse en la leyenda del gráfico que contiene estas curvas.

A partir de la división entre  $I_C$  e  $I_B$ , obtenidas de la simulación de la curva de transferencia, se debe ajustar el valor de  $\beta$ , en función de  $V_{BE}$ . Para esto se debe buscar el rango tensión en el que esta relación es “constante” y realizar un ajuste de la curva en esta zona. Se deberá reducir el orden del polinomio de ajuste a 0, para que el ajuste sea contra una constante. Se debe graficar esta relación de corrientes, la recta (de pendiente nula) resultante del ajuste, y además presentar el valor de  $\beta$  obtenido en la leyenda de la curva.

A partir de la curva de salida se debe obtener el valor de  $V_A$ , el ajuste se debe realizar en la zona de M.A.D. La abscisa al origen de la recta resultante corresponde a este parámetro, considerando en este caso de (1) sólo su dependencia con  $V_{CE}$  ya que  $I_B$  es constante. Por lo tanto, de la recta obtenida del ajuste se deberá calcular sus raíces. La recta resultante deberá graficarse junto con la curva de salida y el valor del parámetro obtenido debe presentarse en la leyenda del gráfico que contiene estas curvas.

A partir de la curva de salida se debe obtener el valor de  $V_{CEsat}$ , este se determinara por inspección de la curva, siendo la tensión en la que se encuentra el cambio de modo de operación del transistor. El valor hallado debe presentarse en la leyenda del gráfico que contiene esta curva.

### Parte III: Información de los fabricantes

A partir de las hojas de datos de los fabricantes se debe localizar la información que se corresponda con los parámetros característicos estudiados en este trabajo, todos los que sean posibles. Se puede analizar varios fabricantes distintos en caso de existir. Recordar que el parámetro  $h_{FE}$  que brindan los fabricantes se asocia con el  $\beta$  de nuestro modelo. En general, parámetros como  $I_S$  y  $V_A$  se pueden obtener por ajuste visual de las curvas relevadas por el fabricante. Se debe citar las hojas de datos utilizadas y aclarar de que sección, tabla o gráfico fue obtenido cada parámetro. Estos deben compararse con los obtenidos mediante ajuste y presentarlos en una tabla.

### Parte IV: Polarización del transistor

Se debe polarizar el transistor utilizando los parámetros obtenidos y el circuito de la figura 3. Para determinar el punto de trabajo la corriente de base será la utilizada para la obtención de la curva de salida y la tensión  $V_{CEQ}$  corresponderá a la presentada en la tabla 1. La fuente de tensión continua será  $V_{CC} = -5\text{ V}$  y se debe determinar el punto Q del transistor, todas sus tensiones y corrientes. Los valores de los resistores deberán ser adoptados para que el transistor se encuentre en el punto de operación determinado. Se debe presentar todo el desarrollo realizado para estos cálculos.

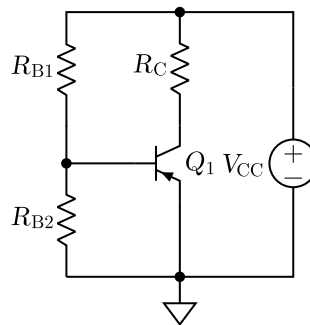


Figura 3: Circuito a utilizar para la polarización del transistor.

El circuito obtenido deberá ser simulado y sus resultado comparado con el obtenido en forma analítica. Para esto, el tipo de simulación de ser del punto de operación en continua, *DC op pnt*. La comparación de los resultados de los puntos de trabajo deberá se comparada en forma cuantitativa y presentada en una tabla.

### Requisitos del informe

- El informe es **individual** y **no** debe contener más de **4 páginas**. Si el trabajo supera ese límite, las páginas sobrantes no serán tenidas en cuenta en la corrección.
- **Todo resultado presentado en el informe debe estar analizado. Las comparaciones deben ser realizadas cuantitativamente.**

- Explicar todas las suposiciones realizadas y justificarlas.
- Se deben incluir como mínimo las siguientes figuras y tablas:
  1. Una captura de cada esquemático de simulación utilizado, 3 circuitos, con su correspondiente directiva de simulación visible.
  2. Un gráfico en escala semilogarítmica que contenga superpuestas:
    - La curva de transferencia del transistor en valor absoluto de la corriente y la correspondiente curva resultante del ajuste.
    - La curva de la corriente de base en valor absoluto.

Se debe presentar la leyenda con la información correspondiente.

3. Un gráfico que contenga la relación de corriente de colector y de base en función de la tensión entre base y emisor, la correspondiente recta de ajuste, y la leyenda correspondiente.
4. Un gráfico que contenga la curva de salida del transistor, la correspondiente recta de ajuste y la leyenda correspondiente.
5. Una tabla que contenga la comparación de los parámetros obtenidos por ajuste y los obtenidos de los fabricantes.
6. Una tabla que contenga toda la información del punto Q obtenido en forma analítica y por simulación con su correspondiente comparación.

Todos los gráficos deben tener el tamaño adecuado, tener leyendas indicando las curvas e incluir variables y unidades en los ejes.

- Se debe presentar el desarrollo de los cálculos de polarización del transistor.