

TP N°2: Curvas características del transistor TBJ BC548C

Accifonte, Franco - 93799
franco.accifonte@gmail.com

Iturria, Germán - 86270
german.iturria@gmail.com

Vázquez, Matías - 91523
mfvazquez@gmail.com

30 de octubre de 2014

En el siguiente trabajo se analizan las principales características de polarización y frecuencias medias de transistores TBJ tipo NPN. Estudiando las curvas de transferencia y de salida, obtenidas en mediciones, se consiguen los parámetros característicos y se calculan los parámetros de pequeña señal. Finalmente se realiza un modelo básico de Spice con los parámetros calculados y se presentan simulaciones para contrastar con las mediciones.

1. Desarrollo

A continuación se detalla el desarrollo del trabajo realizado, tanto la realización de las simulaciones mediante *Spice*, como las mediciones realizadas.

1.1. Simulación de transistores BC548C

En primera instancia se obtuvieron con *LTSPICE* las curvas de transferencia, la ganancia de corriente entre base y colector y las curvas de salida propias al transistor. Usando las bibliotecas PHIL_BJT y SIEMENS proporcionadas por la cátedra.

1.1.1. Curva de transferencia

Se simuló I_C vs. V_{BE} para $V_{CE} = 1,25V$ para ambas bibliotecas. Se varió la tensión V_{BE} entre 0V y 0,9V con pasos de 0,01V, utilizando el circuito simulado en la figura 1.

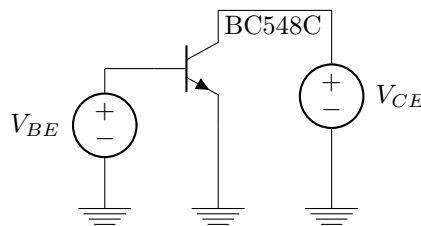


Figura 1: Circuito utilizado para la obtención de las curvas de transferencia.

1.1.2. Ganancia de corriente entre base y colector

Para ambas bibliotecas se simuló el circuito de la figura 2 bajo las condiciones de medición del multímetro que se utilizará en las mediciones. Estas son $I_B = 10\mu A$ y $V_{CE} = 2,8V$. Se obtuvo el parámetro BETADC del Simulation Output File.

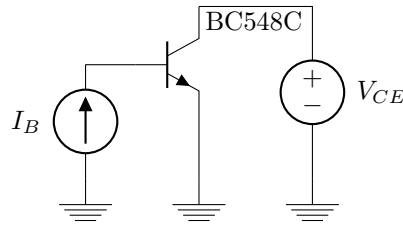


Figura 2: Circuito utilizado para la obtención de las curvas de salida y de la ganancia de corriente.

Se obtuvieron los siguientes valores:

- PHIL_BJT: $h_{FE} = 460$
- SIEMENS: $h_{FE} = 432$

1.1.3. Curva de salida

Se simuló I_C vs. V_{CE} para $I_B = \text{cte}$ para ambas bibliotecas. Se varió la tensión V_{CE} entre 0V y 5V con pasos de 0,01V, utilizando el circuito simulado en la figura 2.

La corriente I_B se determinó mediante la ecuación 2 para cada valor de I_C deseado, utilizando el parámetro h_{FE} correspondiente al transistor de cada biblioteca.

$$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} \quad (1)$$

A continuación se listan los valores de I_B utilizados.

- PHIL_BJT con $h_{FE} = 460$
 - $I_C = 5\text{mA}$: $I_B = 10,9\mu\text{A}$
 - $I_C = 25\text{mA}$: $I_B = 54,3\mu\text{A}$
- SIEMENS con $h_{FE} = 432$
 - $I_C = 5\text{mA}$: $I_B = 11,6\mu\text{A}$
 - $I_C = 25\text{mA}$: $I_B = 57,9\mu\text{A}$

1.2. Obtención de parámetros de las hojas de datos

1.3. Obtención de las curvas de forma experimental

Se obtuvieron las curvas de tres transistores **TBJ BC548C** distintos utilizando una placa experimental, un regulador de tensión **LM317** y un **LM7805**, un potenciómetro lineal de $20\text{k}\Omega$ y resistencias de valores apropiados para cada medición. También se midió para cada transistor el valor de h_{FE} utilizando un multímetro con esta función.

1.3.1. Curva de transferencia

Para obtener la curva i_C vs v_{BE} se utilizó el banco de mediciones presentado en la figura 3. El regulador de tensión **LM317** fija la tensión $V_{CE} = 1,25\text{V}$ y el regulador de tensión **LM7805** provee una alimentación constante de 5V. El potenciómetro utilizado es de $20\text{k}\Omega$.

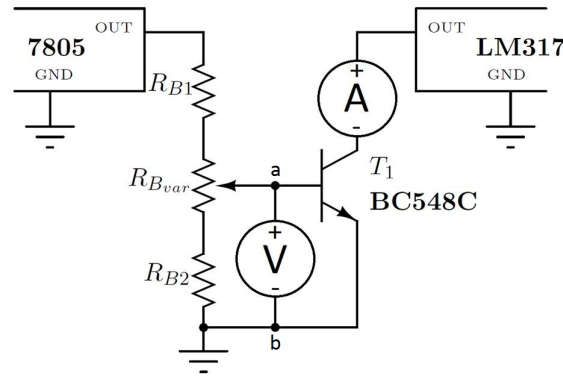


Figura 3: Circuito para la medición de la curva de transferencia I_C vs. V_{BE}

Para la obtención de las resistencias R_{B1} y R_{B2} se partió planteando el rango de la corriente I_C deseado y suponiendo $h_{FE} = 200$ se obtuvo el rango de I_B .

$$0\text{mA} \leq I_C \leq 50\text{mA} \quad \Rightarrow \quad 0\mu\text{A} \leq I_B \leq 250\mu\text{A}$$

Luego se obtuvo el equivalente de Thévenin entre los terminales a y b . Para simplificar las ecuaciones se utilizó $R_1 = R_{B1} + R_{B1var}$ y $R_2 = R_{B2} + R_{B2var}$ con $R_{Bvar} = R_{B1var} + R_{B2var} = 20\text{k}\Omega$. Siendo R_{Bvar} el potenciómetro de $20\text{k}\Omega$.

$$V_{TH} = V_{DD} \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad R_{TH} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Siendo V_{DD} la salida del regulador de tensión **LM7805**.

Del circuito mostrado en la figura 3 obtenemos la ecuación 2

$$I_B = \frac{V_{TH} - V_{BEON}}{R_{TH}} \quad (2)$$

Reemplazando la ecuación 2 en el rango de valores deseado.

Para el mínimo valor de I_B :

$$\frac{V_{TH} - V_{BEON}}{R_{TH}} \geq 0\mu\text{A}$$

Entonces:

$$V_{TH} \geq V_{BEON} \quad (3)$$

Para el máximo valor de I_B :

$$\frac{V_{TH} - V_{BEON}}{R_{TH}} \leq 250\mu\text{A} \quad (4)$$

Con las inecuaciones 3 y 4 se buscaron valores de R_{B1} y R_{B2} que las cumplan. Teniendo en cuenta que para cada inecuación los valores de V_{TH} y R_{TH} son distintos ya que dependen de R_1 y R_2 que varían por estar conectados a un potenciómetro y $0,5\text{V} \leq V_{BEON} \leq 0,7\text{V}$.

Se propusieron los siguientes valores $R_{B1} = 5\text{k}\Omega$ y $R_{B2} = 25\text{k}\Omega$:

- Para $I_B \geq 0\mu\text{A}$: $V_{BEON} = 0,5\text{V}$, $R_1 = R_{B1} = 5\text{k}\Omega$ y $R_2 = R_{B2} + 20\text{k}\Omega = 45\text{k}\Omega$

Obteniendo los siguientes valores para el equivalente de Thévenin:

$$V_{TH} = 0,5\text{V} \geq 0,5\text{V} = V_{BEON}$$

- Para $I_B \leq 250\mu\text{A}$: $V_{BEON} = 0,7\text{V}$, $R_1 = R_{B1} + 20\text{k}\Omega = 25\text{k}\Omega$ y $R_2 = R_{B2} = 25\text{k}\Omega$

$$V_{TH} = 2,5\text{V} \quad R_{TH} = 12,5\text{k}\Omega$$

$$\frac{V_{TH} - V_{BE_{ON}}}{R_{TH}} = \frac{2,5V - 0,7V}{12,5k\Omega} = 144\mu A \leq 250\mu A$$

Entonces el valor maximo medido de I_C será: $I_{C_{MAX}} = I_B h_{FE} = 144\mu A \cdot 200 = 28,8mA$

Como se ve los valores R_{B1} y R_{B2} elegidos cumplen las condiciones esperadas.

1.3.2. Ganancia de corriente entre base y colector

Para obtener h_{FE} se utilizó un multímetro que realiza la medición bajo las condiciones $I_B = 10\mu A$ y $V_{CE} = 2,8V$

Se obtuvieron los siguientes valores para cada transistor:

- Transistor 1: $h_{FE} = 361$
- Transistor 2: $h_{FE} = 326$
- Transistor 3: $h_{FE} = 253$

1.3.3. Curva de salida

Para obtener la curva i_C vs v_{CE} se utilizó el banco de mediciones presentado en la figura 4. El regulador de tensión **LM7805** provee una alimentación constante de 5V. El potenciómetro utilizado es de 20k Ω .

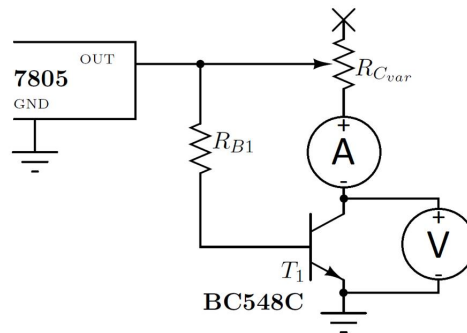


Figura 4: Circuito para la medición de la curva de salida I_C vs. V_{CE}

Para la obtención de la resistencia R_{B1} planteamos la ecuación obtenida del circuito mostrado en la figura 4:

$$R_{B1} = \frac{V_{DD} - V_{BE_{ON}}}{I_B}$$

Y teniendo en cuenta que $I_B = \frac{I_C}{h_{fe}}$ se llegó a la ecuación 5

$$R_{B1} = \frac{(V_{DD} - V_{BE_{ON}})h_{FE}}{I_C} \quad (5)$$

Siendo $V_{DD} = 5V$ la salida del regulador de tensión **LM7805** y $V_{BE_{ON}} = 0,7V$
A continuación listamos los valores de R_{B1} para cada transistor y para cada I_C :

- Transistor 1: $h_{FE} = 361$
 - Para $I_C = 5mA$: $R_{B1} \approx 310k\Omega$
 - Para $I_C = 25mA$: $R_{B1} \approx 62k\Omega$
- Transistor 2: $h_{FE} = 326$
 - Para $I_C = 5mA$: $R_{B1} \approx 280k\Omega$
 - Para $I_C = 25mA$: $R_{B1} \approx 56k\Omega$
- Transistor 3: $h_{FE} = 253$
 - Para $I_C = 5mA$: $R_{B1} \approx 217k\Omega$
 - Para $I_C = 25mA$: $R_{B1} \approx 43k\Omega$

1.4. Obtención de parámetros a partir de las mediciones

1.4.1. Parámetros característicos

1.4.2. Parámetros de pequeña señal

1.5. Simulación del modelo modificado

Se diseñó un modelo modificado basado en el modelo de *Spice* del TBJ NPN genérico ajustado a los parámetros característicos del Transistor 1. Realizamos las mismas simulaciones que para las bibliotecas PHIL_BJT y SIEMENS incluyendo la siguiente directiva:

```
.MODEL MiModelo NPN (BF=361 IS=106.239f VAF=86.67009)
```

Para la simulación de la ganancia de corriente entre base y colector se obtuvo $h_{FE} = 370$

2. Análisis y comparación de los resultados

2.1. Curvas obtenidas

2.2. Comparación de los resultados

3. Conclusiones