



TP N°2

Curvas características del transistor TBJ BC548C

Condiciones del trabajo

- Grupos de dos o tres estudiantes.
- La fecha de entrega y devolución es la que se indica en la página web de la materia.
- El trabajo deberá ser claro, conciso y correctamente redactado.
- Los gráficos y tablas deberán llevar títulos y estar numerados (Por ejemplo: Fig. 1)
- El trabajo completo, incluyendo la carátula o primera página, deberá tener 10 páginas o menos, y debe utilizarse tipografía de 10pt.
- No es necesaria una carátula en una hoja aparte: en la primera página, además del nombre de los autores, los datos del curso y el resumen, puede presentarse también parte de los contenidos del trabajo.

Objetivos del trabajo

Objetivos generales

- Analizar las principales características de baja frecuencia de transistores TBJ NPN.
- Familiarizarse con métodos para la obtención de parámetros a partir de curvas experimentales, y generación de modelos de simulación.
- Comparar los resultados obtenidos en forma experimental con los obtenidos mediante *Spice*.

Objetivos particulares

- A partir del dispositivo **BC548C** caracterizar transistores bipolares de juntura del tipo NPN midiendo sus curvas características.
- Medir de forma exitosa la curva de transferencia (i_C vs. v_{BE}) y de salida (i_C vs. v_{CE}) para 3 transistores distintos.
- Obtener los parámetros característicos a partir de las curvas medidas y calcular los parámetros de pequeña señal.
- Generar un modelo básico de *Spice* de los transistores medidos y obtener simulaciones para contrastar con las mediciones.



1. Obtención de las curvas mediante simulación

Obtener mediante *Spice* las siguientes curvas correspondientes al transistor **BC548C** de las bibliotecas PHIL.BJT y SIEMENS.

- I_C vs. V_{BE} para $V_{CE} = 1,25$ V
- I_C vs. V_{CE} para $I_B = cte$ tal que
 - $I_C \simeq 5$ mA en M.A.D.
 - $I_C \simeq 25$ mA en M.A.D.
- Valor del parámetro h_{FE} (parámetro BETADC del Simulation Output File)

2. Obtención de las curvas en forma experimental

Obtener en forma experimental las mismas curvas que en el punto 1. Deben relevarse las curvas de al menos tres transistores diferentes y evaluar si existen diferencias entre ellos.

A diferencia el Trabajo Práctico N°1, cada grupo deberá implementar los bancos de medición que se sugieren en las figuras 1 y 2a.

En la medición de la curva i_C vs. v_{BE} se sugiere utilizar el regulador de tensión **LM317** para obtener $V_{CE} = 1,25$ V, y utilizar el regulador de tensión **7805**, resistencias y potenciómetros para obtener las distintas tensiones V_{BE} , tal como se ilustra en la Figura 1. Utilizar resistores de valor constante (R_{B1} y R_{B2}) para limitar la tensión V_{BE} máxima y mínima admisible. Justificar los valores de las resistencias elegidos.

En la medición de curvas de I_C vs. V_{CE} utilizar el regulador de tensión **LM7805** y un resistor (R_{B1}) para obtener I_B prácticamente constante, y emplear un resistor variable conectado al terminal “colector” tal que pueda medirse la transición entre el régimen de saturación y M.A.D, y la región de I_C constante en M.A.D. (ver Figura 2).

En la medición de h_{FE} (β) emplear un multímetro que posea la capacidad de medir este parámetro. Detallar las condiciones en las que el multímetro realiza esta medición (obtener esta información del manual del multímetro).

Emplear cable telefónico y un “protoboard” para armar los circuitos experimentales. Traer los transistores, reguladores de tensión, resistores y capacitores que vaya a utilizar en los ensayos. El banco experimental a utilizar sólo dispondrá de una fuente de tensión variable, un amperímetro (sin fusible) y un voltímetro.

IMPORTANTE: Traer fusibles de 500 mA para el amperímetro, porque en el laboratorio no hay fusibles de repuesto y es probable que durante los ensayos queme varios fusibles.

SUGERENCIAS:

- Medir aproximadamente 30 puntos de cada curva con mayor densidad de puntos en las transiciones entre regímenes de operación.
- Utilizar potenciómetros multivuelta como los empleados en las placas del Trabajo Práctico N°1 para tener mayor precisión en la variación de las tensiones.
- Leer atentamente las hojas de datos de los reguladores para montarlos en el circuito de medición de manera adecuada y asegurar su funcionamiento.

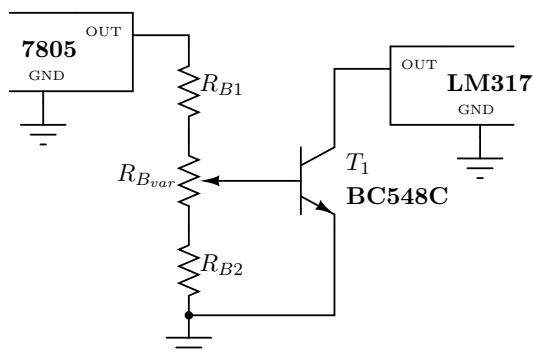


Figura 1: Circuito sugerido para la medición de la curva I_C vs. V_{BE} del transistor **BC548C**.

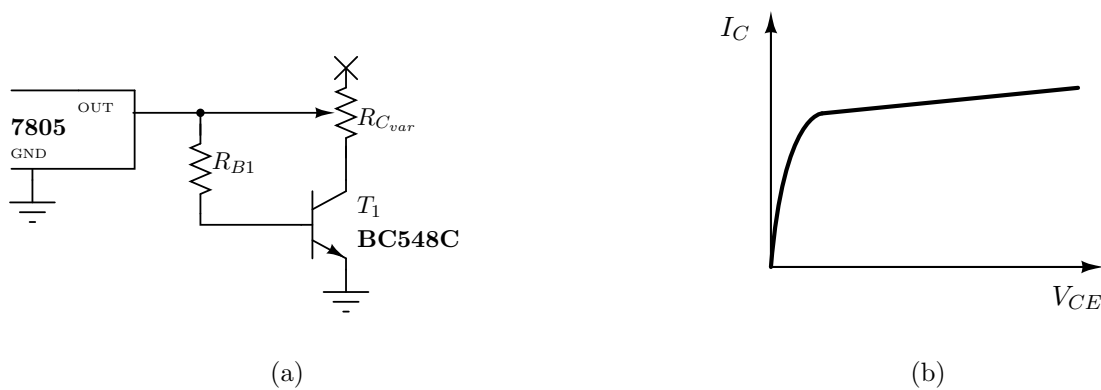


Figura 2: (a) Circuito sugerido para la medición de la curva I_C vs. V_{CE} del transistor **BC548C**. (b) Esquema del resultado que se espera obtener.

3. Obtención de parámetros de las hojas de datos

Obtener de las “hojas de datos” de los transistores la información necesaria para realizar un análisis de los parámetros obtenidos a partir de las mediciones (h_{FE} , I_S , $V_{BE(ON)}$, $V_{CE(SAT)}$, V_A , g_m , y cualquier otro parámetro que considere relevante). Analizar al menos dos hojas de datos.

Verificar que los parámetros obtenidos en forma experimental (I_S , h_{FE} y V_A) y su variabilidad se encuentran dentro del rango especificado por las hojas de datos.

4. Obtención de parámetros a partir de las mediciones

Parámetros característicos

En las curvas i_C vs v_{BE} medidas y simuladas se deben obtener a partir de ajustes los parámetros I_S y V_{th} . Para obtener los parámetros del modelo se deben realizar dos métodos de ajuste distintos.

Método 1: Ajustar los resultados mediante la expresión

$$i_C = I_S e^{\frac{v_{BE}}{V_{th}}}$$

y detallar los valores de I_S y V_{th} obtenidos. **Sugerencia:** Para ello, generar una función que encuentre el error cuadrático entre las mediciones una función exponencial genérica.

$$y = A e^{Bx}$$



Método 2: Tomar el logaritmo de la corriente

$$\ln(i_C) = \ln(I_S) + \frac{v_{BE}}{V_{th}}$$

y con el resultado, realizar un ajuste mediante una recta.

$$y = Ax + B$$

ATENCIÓN: $V_{th} = \frac{kT}{q}$, por lo tanto V_{th} no puede resultar mucho mayor a 35 mV.

En la región de modo activo directo de las curvas i_C vs v_{CE} ajustar los resultados mediante la expresión

$$i_C = I_{Csat} + \frac{v_{CE}}{r_o}$$

detallar los valores de r_o obtenidos y calcular la *Tensión de Early* V_A resultante.

Cálculo de parámetros de pequeña señal

Calcular y graficar g_m en función de la corriente I_C como

$$g_{m(k)} = \frac{I_{C(k)} - I_{C(k-1)}}{V_{BE(k)} - V_{BE(k-1)}}$$

y comparar con los valores teóricos de g_m vs. I_D para los parámetros obtenidos en el ajuste de la curva i_C vs v_{BE} .

Asumiendo que los valores de h_{FE} obtenidos se mantienen constantes para toda corriente I_C , y a partir de los valores de $g_m(k)$ calculados, obtener las curvas de $r_{\pi}(k)$ en función de I_C , así como también a partir de los parámetros obtenidos en los ajustes.

5. Generación del modelo de *Spice* a partir de las mediciones

Crear un modelo de *Spice* del TBJ NPN genérico y ajustarlo a los datos β , I_S , y V_A obtenidos de la medición experimental de uno de los transistores **BC548C**.

Más detalles sobre el informe

Resumen del trabajo

El trabajo deberá estar encabezado por un breve resumen que detalle su contenido (objetivos, lo realizado, resultados y conclusiones). El resumen debe ser escrito de forma tal de despertar el interés y la curiosidad del lector por el trabajo.

Desarrollo

En el informe se debe:

- listar los parámetros principales empleados en cada simulación y presentar los circuitos esquemáticos correspondientes.
- presentar los circuitos esquemáticos de los bancos de medición empleados, indicando no sólo la conexión del transistor, fuentes de tensión y resistencias, sino también de los instrumentos empleados.
- presentarse los parámetros resultantes de **TODOS** los ajustes realizados.
- presentar el detalle del modelo de *Spice* creado por el grupo de trabajo.



Análisis y comparación de los resultados

Todo resultado presentado en el informe debe estar analizado. Se deben comparar los resultados experimentales, los obtenidos mediante simulación y los del modelo de *Spice* creado.

La comparación debe hacerse superponiendo en un único gráfico todos los resultados obtenidos para cada curva. Los gráficos deben ser claros y compactos. Debe analizarse si los resultados son compatibles o no. De existir diferencias éstas deben ser cuantificadas y deben presentarse posibles explicaciones para estas diferencias.

Deben presentarse un total de 6 gráficos:

- Curva de transferencia en escala semilogarítmica (comando `semilogy()` de *Octave*) con ajustes exponenciales.
- Curva de transferencia en escala semilogarítmica (comando `semilogy()` de *Octave*) con ajustes lineales.
- Curva de salida: i_C vs. v_{CE} para $I_{C_{MAD}} = 5 \text{ mA}$.
- Curva de salida: i_C vs. v_{CE} para $I_{C_{MAD}} = 25 \text{ mA}$.
- Curva de transconductancia: g_m vs. I_C .
- Curva de resistencia de entrada: r_π vs. I_C .

y cada gráfico estará compuesto por 9 curvas:

- 3×mediciones experimentales.
- 3×ajustes (de cada una de las mediciones experimentales).
- 2×simulación del modelo de las bibliotecas `PHIL_BJT` y `SIEMENS`.
- 1×simulación del modelo creado a partir de las simulaciones.

En todos los gráficos debe figurar una leyenda indicando a qué corresponde cada curva (medición y simulación) y los parámetros calculados de la misma (I_S , β , V_{th} , V_A , r_o , según el caso). Las curvas de ajuste no deben aparecer en la leyenda. Se recomienda graficar las mediciones con *markers*, mientras que los ajustes deben graficarse con línea continua del mismo color que la medición a la cual ajusta. Graficar las simulaciones con línea continua de mayor espesor.

Armar una tabla comparativa para los valores de h_{FE} (β) de todos los transistores (medidos y simulados). Para la simulación de este parámetro, se deben emular las condiciones de medición del multímetro para que los resultados sean comparables.

Para el análisis de las hojas de datos, prestar atención a las condiciones bajo las cuales se informan cada uno de los datos. Analizar los gráficos presentes en las hojas de datos si éstos brindan alguna información comparable con lo medido en el laboratorio.

Conclusiones

El informe debe culminar con las conclusiones, que deben ser breves y conceptuales. Deben estar focalizadas en los objetivos que se cumplieron en el trabajo y eventualmente en resultados interesantes adicionales que se hubieran obtenido.



Contenidos adicionales optativos

Pueden agregarse curvas o contenidos adicionales que resulten de interés al grupo, siempre que el trabajo completo no exceda las 10 páginas. Algunas sugerencias son:

- I_C vs V_{BE} para $V_{CE} = 5$ V.
- I_C vs V_{BE} para $V_{CE} = 9$ V.
- I_C vs V_{CE} para I_B constante obtenida a partir del LM7809 en lugar del LM7805.
- I_C vs V_{CE} para V_{BE} constante.
- I_B vs V_{BE} para V_{CE} constante.
- medición de h_{FE} a partir de $\frac{I_C}{I_B}$ para V_{CE} constante.