

Maqueta: Trazador de curvas

1. Introducción

En esta práctica se desarrolla un trazador de curvas para transistores bipolares NPN. El trazador permite obtener las curvas de salida del transistor en emisor común: $I_c = f(V_{ce})$.

El sistema consta de dos partes: (1) una “maqueta” que se conecta a la placa Altair mediante un cable estándar; (2) un SW incorporado en la aplicación Uviterm.exe que se ejecuta en el PC. El trabajo a realizar consiste en escribir el SW adecuado para el microcontrolador de la placa Altair.

El microcontrolador debe programarse de forma que realice las tareas necesarias para obtener una tabla de valores de la función $I_c = f(V_{ce})$ y enviarla al PC por el puerto serie con el formato que se indica en el apartado 2.

En el apartado 3 se describe el HW de la maqueta. En el apartado 4 se describe el formato de la comunicación entre el uC y el DAC MAX550ACPA. En el apartado 5 se describe el formato de la comunicación entre el uC y el ADC TLC1549. En esta maqueta no se utiliza el convertidor ADC incorporado en el microcontrolador. En el apartado 6 se describe el proceso de obtención de las curvas del transistor (Device Under Test = DUT).

2. Formato de la trama a enviar al PC.

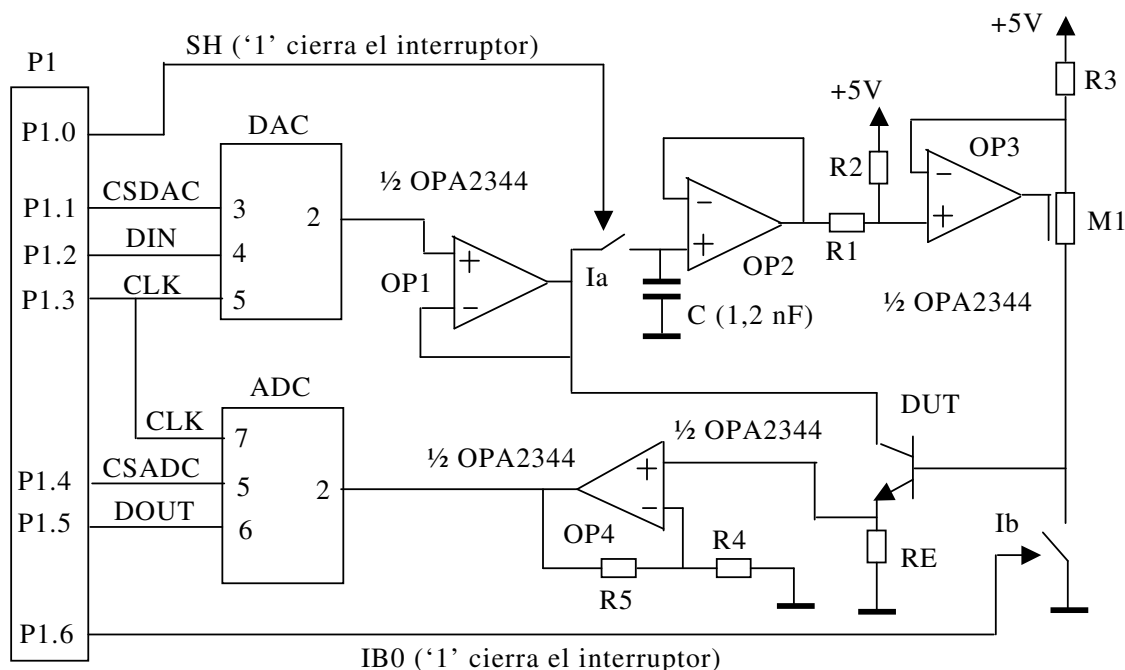
El programa Uviterm.exe, que se ejecuta en el PC, espera recibir una trama por el puerto serie con el formato siguiente:

Nº del byte	Longitud	Valor
1	3	Cabecera con las letras “TRA”
4	1	IB . Este valor se muestra en la pantalla del PC para indicar el incremento de IB entre curvas contiguas.
5	1	nc= Número de curvas que hay que representar (8 max) (Nº de valores de IB ensayados). Los valores son: IB, 2*IB, 3*IB, etc.
6	1	np= Número de puntos que conforman cada curva (100 max). Para cada punto se da el valor de VCE y el de IC (un byte por valor)
7	2*np*nc	Pares de valores de VCE e IC (VCE va primero)
7+2*np*nc	1	Checksum de todo lo anterior (excepto la cabecera)

Los valores de VCE se expresan en unidades de tensión (UT). 1 UT= 20 mV.

Los valores de IC se expresan en unidades de corriente (UC). 1 UC= 20 μ A.

3. Descripción del circuito de la maqueta y su funcionamiento



NOTA: DUT quiere decir “dispositivo sometido a ensayo” (Device Under Test)

La figura muestra el esquema del circuito de la maqueta. Se han omitido las conexiones de alimentación del DAC, el ADC y los operacionales por simplicidad. Todos ellos se alimentan entre +5V y masa. Las entradas de referencia de tensión del DAC y del ADC se conectan a +5V a través de un filtro LC para reducir el ruido.

La salida del DAC se encuentra en el terminal 2 y se lleva a OP1 que actúa como seguidor de tensión. Las señales CSDAC, DIN y CLK se emplean para enviar al DAC el valor numérico N a convertir en tensión. La tensión de salida del DAC (y del OP1) es:

$$V_c = N \cdot 5 / 256 \quad (\text{de } 0 \text{ a } 4.98 \text{ V})$$

El mismo DAC que permite definir V_c , se emplea también para definir la corriente de base I_B . En este caso, es necesario enviar el valor N adecuado al DAC. La expresión de la corriente es:

$$I_B (\mu\text{A}) = 256 - N \quad (\text{de } 1 \text{ a } 256 \mu\text{A}) \quad \text{o bien} \quad N = 256 - I_B (\mu\text{A})$$

Para ajustar la corriente I_B se debe mantener la señal IB0 a ‘1’ para asegurar que el DUT (device under test) esté en corte. Si estuviera en activa, la señal V_c podría caer dado que OP1 no puede entregar más de aproximadamente 10 mA. Además, se pone a ‘1’ la señal SH para cargar el condensador C, proceso que puede tardar unos 10 μ s. Una vez cargado, se pone SH a ‘0’ para retener la tensión en el condensador (circuito S&H), y a continuación se pone la señal IB0 a ‘0’. A partir de ese momento, la tensión en el condensador se mantiene prácticamente constante durante unos 10 ms.

OP2, OP3 y el transistor MOS M1 convierten la tensión del condensador en una corriente I_B que se envía a la base del DUT.

La resistencia R_E se emplea para medir la corriente de emisor del transistor. La tensión de emisor se amplifica con OP4 y se lleva a la entrada del convertidor ADC. Los valores de R_E , R_4 y R_5 se han elegido de forma que el valor numérico leído por el ADC (de 10 bits) es:

$N = I_E(\mu A) / 12,5$, con un valor máximo de 1023 que equivale a 12,7875 mA. Si se conoce N , la corriente es:

$$I_E = N * 12,5 = N * 25 / 2$$

Una vez conocida I_E , V_E se puede determinar como:

$$V_E = I_E * R_E = I_E * 82\Omega \quad (V_E \text{ en } \mu V \text{ e } I_E \text{ en } \mu A), \text{ o bien}$$

$$V_E = I_E * 82 / 1000 \quad (V_E \text{ en mV e } I_E \text{ en } \mu A)$$

La corriente de colector se obtiene mediante:

$$I_C = I_E - I_B$$

y la tensión V_{CE} mediante:

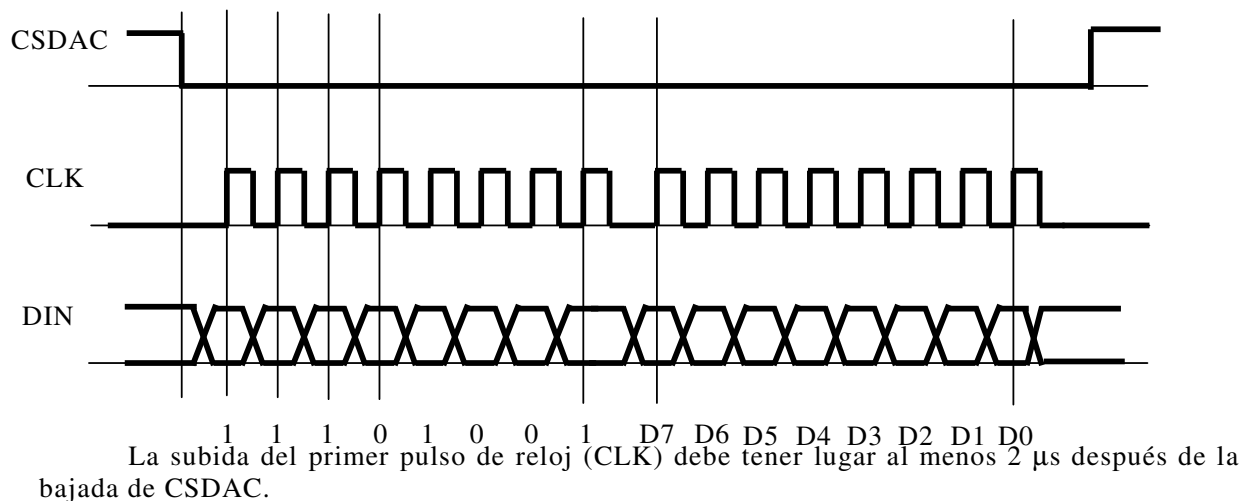
$$V_{CE} = V_C - V_E \quad (V_C \text{ es la que se aplica mediante el DAC y } V_E \text{ la que se mide con el ADC})$$

4. Comunicación con el DAC MAX550CPA

Este DAC es de 8 bits y se conecta al uC mediante una interfaz serie a tres hilos:

P1.1 = CSDAC P1.2 = DIN P1.3 = CLK

El diagrama temporal para enviar un valor al DAC es el siguiente (para más detalles ver las hojas de características del fabricante en www.maxim-ic.com).



Los datos (DIN) deben ser estables durante el flanco de subida de CLK, ya que es el momento en que el DAC los captura. CLK debe permanecer en cada nivel (alto o bajo) al menos 2 μ s. Los 8 primeros bits deben tener la secuencia 11101001 (E9 hex). Los 8 últimos bits contienen el valor N que se quiere enviar al DAC. El bit más significativo (MSB) va primero.

Al terminar la trama, la señal CSDAC vuelve a '1' con CLK a '0'. 2 μ s después de que CSDAC sube a '1', se puede subir CLK sin que tenga ningún efecto sobre el DAC. Esto es importante para el caso de esta maqueta, ya que se emplea la misma señal CLK para el DAC y el ADC.

5. Comunicación con el ADC TLC1549

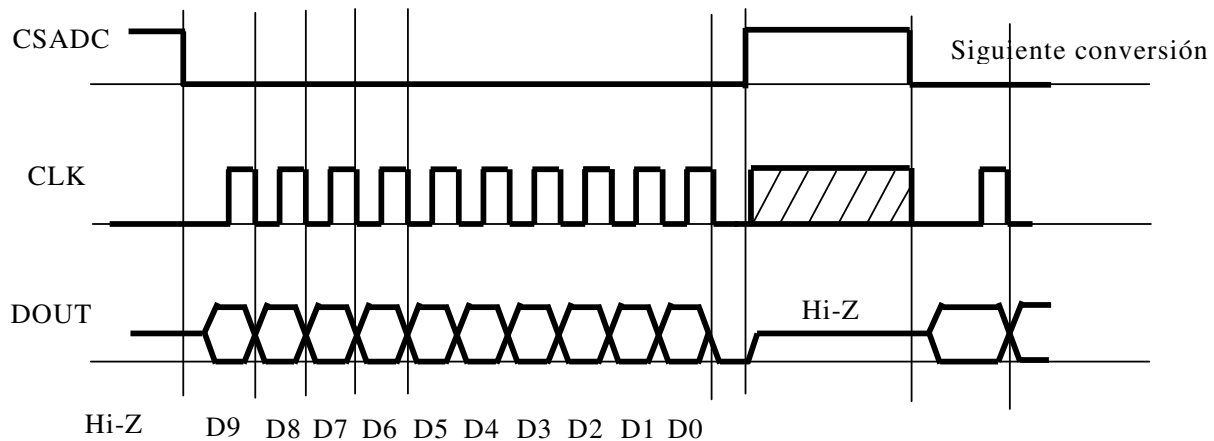
Este ADC es de 10 bits y se conecta al uC mediante una interfaz serie a tres hilos:

P1.4 = CSADC

P1.5 = DOUT

P1.3 = CLK (la misma que para el DAC)

El diagrama temporal para leer un valor del ADC es el siguiente (para más detalles ver las hojas de características del fabricante en www.ti.com).



Cada vez que se envía esta trama (señales CSADC y CLK) al ADC, el ADC responde con la señal DOUT. Unos 3 μ s después de bajar CSADC ya está disponible D9 (MSB) en DOUT. A continuación, el uC debe generar impulsos en CLK (al menos 2 μ s a nivel alto seguidos de 2 μ s a nivel bajo). Cuando finaliza el pulso de CLK (aprox 2 μ s después de la caída de CLK) ya está disponible el siguiente bit (D8). El proceso se repite hasta leer D0. Una vez leído D0, ya se puede poner CSADC a '1'. A partir de este momento no se permite iniciar otra conversión hasta transcurridos al menos 21 μ s.

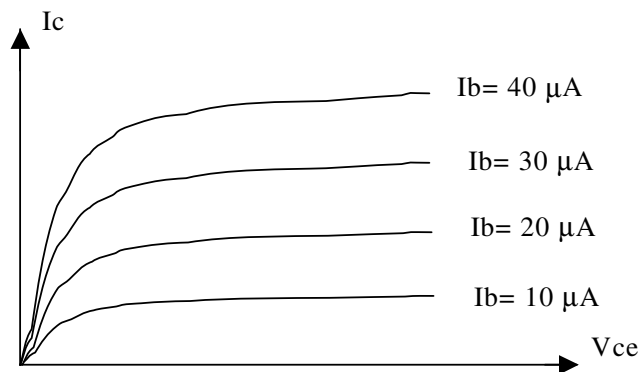
Es esencial tener en cuenta que el valor numérico leído del ADC corresponde a la conversión anterior. Por lo tanto, para obtener una conversión actualizada hay que hacer la conversión dos veces. La primera vez se lee un valor no válido (void) pero sirve para generar la conversión. La segunda vez se lee un valor válido (el de la primera conversión) y se ordena una nueva conversión cuyo valor carece de interés. Este es el procedimiento que se recomienda para

esta aplicación (recordar el tiempo de espera mínimo de 21 μs entre el fin de una conversión y el comienzo de la siguiente).

Merece la pena comentar, sin embargo, que es frecuente trabajar en aplicaciones en las que se toman conjuntos de muestras consecutivas. En ese caso todas las muestras son válidas, excepto la primera.

6. Obtención de las curvas de salida de EC de un transistor bipolar

Se denominan “curvas de salida de la configuración de emisor común de un transistor bipolar” a una familia de curvas que se obtienen representando la corriente de colector (I_c) frente a la tensión colector-emisor (V_{ce}) para diferentes valores de la corriente de base (I_b). La figura representa un ejemplo.



En esta práctica se recomienda utilizar 4 curvas y tomar del orden de 20 puntos en cada una. El primer valor de I_b se debe elegir de forma que el cuarto valor ($4 \cdot I_b$) genere una corriente de colector inferior o igual a 5 mA. Para ello es conveniente hacer un ensayo previo con una corriente de base pequeña (por ejemplo 10 μA) y determinar beta ($\beta = I_c / I_b$). Entonces, se puede tomar para la primera curva un valor de I_b aproximadamente igual a:

$$I_b = 1000 \mu\text{A} / \beta$$

Con lo que $4 \cdot I_b$ generaría una I_c de aproximadamente 4 mA.

También es posible redondear el valor de I_b elegido a un valor de la secuencia 2-5-10, es decir a uno de los siguientes:

1 μA 2 μA 5 μA 10 μA 20 μA 50 μA 100 μA 200 μA

Se recuerda que la corriente I_b máxima que puede generar la maqueta es de 256 μA .

La secuencia para obtener la tabla de valores de $I_c = f(V_{ce}, I_b)$ es la siguiente:

- 1) Ajustar I_b al primer valor (el menor) siguiendo las recomendaciones del apartado 3, y empleando el formato de trama descrito en el apartado 4.
- 2) Ajustar V_c al menor valor de los que se van a emplear. Esperar a que el DUT se estabilice (100 μs es suficiente). Medir I_c empleando el formato de trama descrito en el apartado 5. Calcular I_c y V_{ce} y guardarlos en una tabla.

- 3) Repetir el paso 2 para los demás valores de V_c .
- 4) Repetir los pasos del 1 al 3 para los otros valores de I_b .
- 5) Enviar la tabla de valores al PC siguiendo el formato descrito en el apartado 2.

Para el manejo del trazador se puede optar por varias alternativas. La más simple sería mantener un bulce en el que se capturan los datos y se envían al PC de forma continua. Otra opción sería la de crear una interfaz de usuario con el teclado matricial y la pantalla LCD para que el usuario pueda ordenar la obtención y envío de las curvas al PC. También es posible ampliar las posibilidades de la maqueta permitiendo que el usuario defina cuantos valores de I_b se van a emplear (nº de curvas) y cual es el valor de I_b para la primera curva (la I_b menor).

En cualquier caso, se debe tener en cuenta que el SW del PC (LSPTRACE.EXE) representa las corrientes de colector hasta un valor máximo de 5 mA. Además, limita el nº de curvas a un máximo de 8 y el nº de puntos de cada curva a un máximo de 100.