

## Transistor bipolar

### MEDICIÓN DE LAS LÍNEAS CARACTERÍSTICAS RELEVANTES DE UN TRANSISTOR NPN

- Medición de la línea característica de entrada, es decir, de la corriente de base  $I_B$  en dependencia con la tensión de Base-Emisor  $U_{BE}$ .
- Medición de la línea característica de control, es decir, de la corriente de colector  $I_C$  en dependencia con la corriente de base  $I_B$ , manteniendo constante la tensión Colector-Emisor  $U_{CE}$ .
- Medición de la línea característica de salida, es decir, de la corriente de colector  $I_C$  en dependencia con la tensión de Colector-Emisor  $U_{CE}$ , manteniendo constante la corriente de base  $I_B$ .

UE3080200

06/16 UD

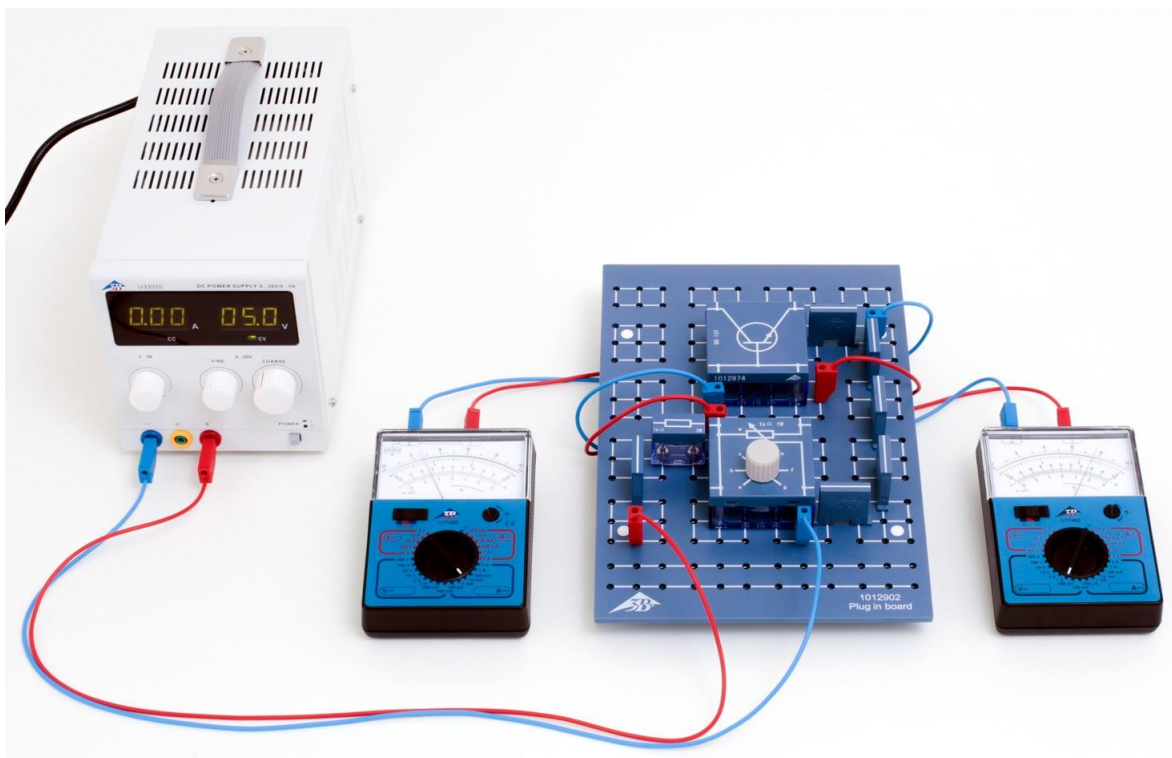


Fig. 1: Disposición de medición (Ejemplo: Línea característica de entrada).

### FUNDAMENTOS GENERALES

Un transistor bipolar es un elemento electrónico compuesto de tres capas de semiconductores dotados p y n alternantes, la base B, el colector C y el emisor E. La base se encuentra entre el colector y el emisor y sirve para el control. En principio, el transistor bipolar corresponde a dos diodos con un ánodo común,

conectados uno en contrario del otro. La bipolaridad está condicionada al hecho de que las diferentes clases de dotación hacen que tanto los electrones como los huecos formen parte del transporte de cargas.

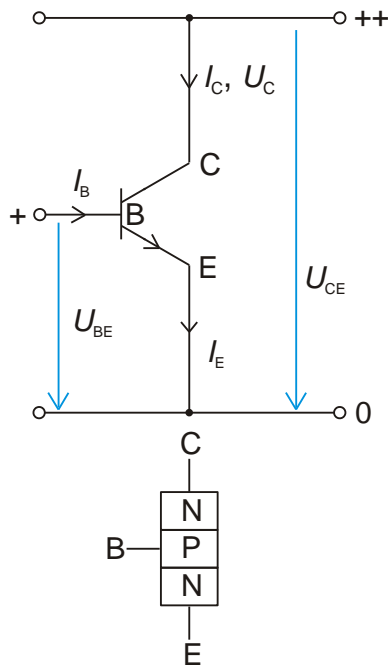


Fig. 2: Estructura básica de un transistor npn con sus correspondientes símbolos de conexión y las tensiones y corrientes que aparecen

Según la ordenación de las capas se habla de un transistor npn o de un transistor pnp (Fig. 2). Dependiendo entre qué contactos está conectada la tensión de entrada y la tensión de salida el transistor bipolar trabaja como elemento de cuatro polos en tres variantes de conexión características; conexión de emisor, conexión de colector o conexión de base. Las denominaciones de las conexiones indican cada vez el conector común de entrada y de salida. .

A continuación se considerará sólo el transistor npn.

Dependiendo si la conexión de la unión base-emisor resp. la unión base-colector está en dirección de paso ( $U_{BE}, U_{BC} > 0$ ) o de bloqueo ( $U_{BE}, U_{BC} < 0$ ), se tienen cuatro modos de operación del transistor npn (ver Tab. 1). En la operación hacia adelante del transistor ( $U_{BE} > 0$ ), la unión BE polarizada en dirección de paso inyecta electrones del emisor hacia la base y huecos de la base hacia el emisor. Como el emisor está mucho más dotado que la base, se inyectan correspondientemente más electrones en la base que huecos en el emisor y por lo tanto así se minimizan las recombinaciones. Como la anchura de la base es mucho menor que la longitud de difusión de los electrones, los cuales son portadores de carga minoritarios, los electrones difunden a través de la base en la capa de bloqueo entre la base y el colector y se mueven más en avance hacia el colector, porque la capa de bloque sólo representa un obstáculo para los portadores de carga mayoritarios. Se establece al final una corriente de transmisión  $I_T$  del emisor en el colector que en funcionamiento hacia adelante representa la parte principal de la corriente de colector  $I_C$ ; la corriente  $I_C$  a la salida puede ser controlada por la tensión  $U_{BE}$  a la entrada. Los electrones que recombinan en la base son extraídos de la base como corriente de base  $I_B$ , para garantizar una corriente de  $I_T$  transmisión constante y así una estabilidad del transistor. Por medio de una corriente de entrada  $I_B$  pequeña se puede controlar una corriente de salida  $I_C$  ( $I_C \approx I_T$ ) mayor y tiene lugar una amplificación de corriente.

Tab. 1: Los cuatro modos de trabajo de un transistor npn

$U_{BE}$	$U_{BC}$	Modo de trabajo
$> 0$	$< 0$	Trabajo en avance / funcionamiento normal
$> 0$	$> 0$	Saturación
$< 0$	$> 0$	Trabajo en retroceso / funcionamiento inverso
$< 0$	$< 0$	Operación en bloqueo

Tab. 2: Las cuatro características de un transistor npn en funcionamiento en avance.

Denominación	Dependencia	Parámetros
Característica de entrada	$I_B(U_{BE})$	
Característica de control	$I_C(I_B)$	$U_{CE} = \text{const.}$
Característica de salida	$I_C(U_{CE})$	$I_B = \text{const.}$
Característica de relación de retroceso	$U_{BE}(U_{CE})$	$I_B = \text{const.}$

El comportamiento de un transistor bipolar está definido por cuatro líneas características, la de entrada, la de control, la de salida y la de relación de retroceso (ver Tab. 2). En el experimento se miden y se representan gráficamente las líneas características de entrada, de control y de salida tomando como ejemplo el transistor npn.

### LISTA DE APARATOS

- 1 Placa enchufable p. componentes. 1012902 (U33250)
- 1 Juego de 10 enchufes puente, P2W19 1012985 (U333093)
- 1 Resistencia 1 kΩ, 2 W, P2W19 1012916 (U333024)
- 1 Resistencia 47 kΩ, 0,5 W, P2W19 1012926 (U333034)
- 1 Potenciómetro 220 Ω, 3 W, P4W50 1012934 (U333042)
- 1 Potenciómetro 1 kΩ, 1 W, P4W50 1012936 (U333044)
- 1 Transistor NPN BD 137, P4W50 1012974 (U333082)
- 1 Fuente de alimentación de CA/CC 0...12 V / 3 A @230V 1002776 (U117601-230)
- 0
- 1 Fuente de alimentación de CA/CC 0...12 V / 3 A @115V 1002775 (U117601-115)
- 3 Multímetro analógico Escola 30 1013526 (U8557330)
- 1 Juego de 15 cables de experimentación, 75 cm, 1 mm² 1002840 (U13800)

## MONTAJE Y REALIZACIÓN

### Observaciones:

La resistencia de 1 kΩ sirve en todos los circuitos como resistencia de protección y siempre debe insertarse.

Se enciende la fuente de alimentación y la tensión se eleva a su nivel de trabajo sólo cuando los circuitos ya se han terminado de montar.

La tensión en la fuente de alimentación en todos los experimentos se ajusta en 5 V.

Las magnitudes de medida deseadas (Tensión, Corriente) y los alcances de medida apropiados se eligen en los multímetros analógicos. Se tiene en cuenta la polaridad correcta.

### Línea característica de entrada

- Se monta el circuito de acuerdo con la Fig. 3. Los dos multímetros analógicos conectados sirven para la medición de la tensión  $U_{BE}$  de base-emisor y de la corriente de base  $I_B$ .
- El potenciómetro de 1kΩ se ajusta de forma que la tensión base-emisor  $U_{BE}$  sea de 0 V.
- La tensión base-emisor se aumenta lentamente, en pasos apropiados, por medio del potenciómetro y se mide cada vez la intensidad de la corriente de base, los valores se anotan en la Tab. 3.

### Línea característica de control

- Se monta el circuito de acuerdo con la Fig. 4. Los tres multímetros analógicos conectados sirven para el control de la tensión colector-emisor  $U_{CE}$  así como para la medición de la intensidad de la corriente de base  $I_B$  y la intensidad de la corriente de colector  $I_C$ .
- Se lee y se anota la tensión  $U_{CE}$  de colector-emisor.
- Se ajusta el potenciómetro de 1kΩ así que la intensidad de la corriente de base  $I_B$  sea mínima.
- Por medio del potenciómetro se aumenta lentamente, en pasos apropiados, la intensidad de corriente de base y se mide cada vez la intensidad de corriente de colector, los valores se anotan en la Tab. 4.

### Línea característica de salida

- El circuito se monta de acuerdo con la Fig. 5. El potenciómetro de 1 kΩ se reemplaza por la resistencia de 47 kΩ. Adicionalmente se inserta el potenciómetro de 220 Ω antes del colector. Los tres multímetros analógicos sirven para el control de la intensidad de corriente de base  $I_B$  así como para la medición de la tensión colector-emisor  $U_{CE}$  y la intensidad de corriente de colector  $I_C$ .
- Se lee y se anota la intensidad de la corriente de base.
- El potenciómetro de 220 Ω se ajusta así que la tensión de colector-emisor sea mínima.
- La tensión de colector-emisor se aumenta lentamente, por medio del potenciómetro, en pasos apropiados, se mide cada vez la intensidad de la corriente de colector  $I_C$  y se anotan los valores en la Tab. 5.

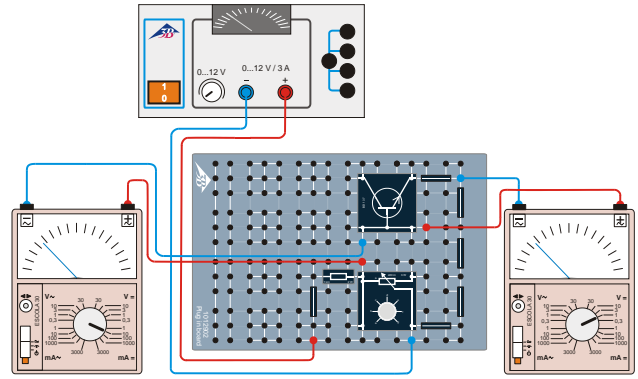


Fig. 3: Esquema del cableado para registrar la línea característica de entrada

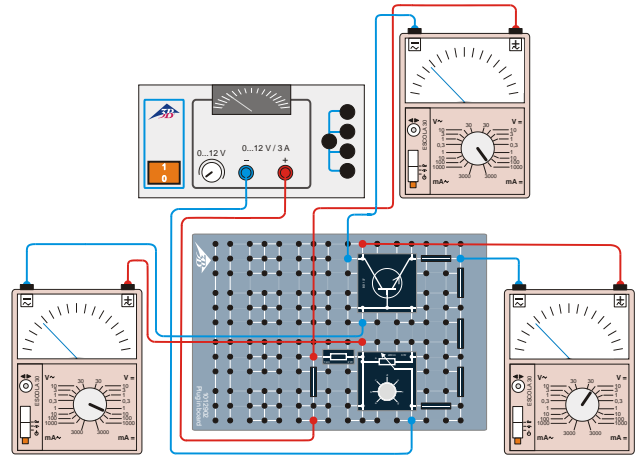


Fig. 4: Esquema del cableado para registrar la línea característica de control.

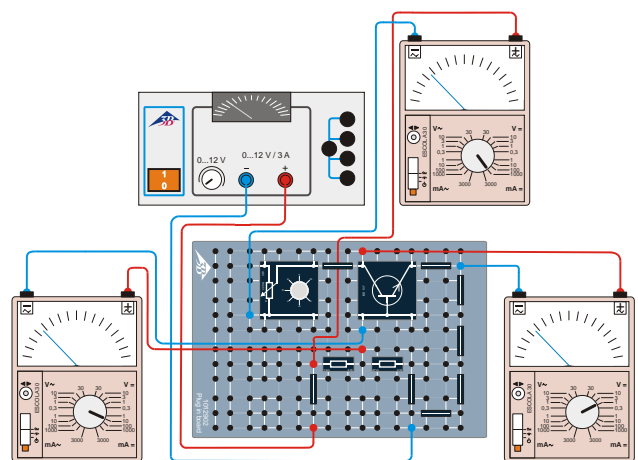


Fig. 5: Esquema del cableado para el registro de la línea característica de salida.

## EJEMPLO DE MEDICIÓN

Tab. 3: Línea característica de entrada. Datos de medida para  $U_{BE}$  e  $I_B$ .

$U_{BE}$ / mV	$I_B$ / mA
0	0,0
100	0,0
200	0,0
300	0,0
400	0,0
500	0,0
600	0,0
660	0,1
690	0,3
720	0,6
740	1,0
750	1,5
760	2,0
770	2,6
780	3,4

Tab. 4: Línea característica de control. Datos de medida para  $I_B$  e  $I_C$ ,  $U_{CE} = 5,2$  V.

$I_B$ / mA	$I_C$ / mA
0,0	0
0,1	20
0,2	40
0,3	80
0,4	100
0,5	130
0,6	150
0,7	180
0,8	200
0,9	230
1,0	260
1,1	280
1,2	300
1,3	320
1,4	340
1,5	360
1,6	380
1,7	400
1,8	410
1,9	425
2,0	440

Tab. 5: Línea característica de salida. Datos de medida para  $U_{CE}$  e  $I_C$ ,  $I_B = 4,2$  mA.

$U_{CE}$ / mV	$I_C$ / mA
0	0
30	50
50	100
70	160
90	210
110	260
130	310
150	430
170	380
190	410
220	440
260	480
350	520
430	540
560	560
700	580
890	600

### EVALUACIÓN

La línea característica de entrada (Fig. 6) corresponde, como era de esperar, a la línea característica de paso de un diodo de Si. Un diodo semiconductor se hace conductor al alcanzar la tensión de umbral en dirección de paso. Para determinar la tensión de umbral a partir de los puntos de medida, se hace una extrapolación en la abscisa de la parte fuertemente creciente de la línea característica de entrada se lee la tensión  $U_s$  en el punto de corte con la abscisa:

$$(1) \quad U_s = 720 \text{ mV} = 0,72 \text{ V} .$$

El valor concuerda muy bien con el valor típico de 0,7 V para el silicio.

El curso de la línea característica de control (Fig. 7) es aproximadamente lineal con pendiente decreciente para corrientes de colector mayores que  $I_C \approx 300 \text{ mA}$ . El factor de amplificación de la corriente se calcula de acuerdo con

$$(2) \quad B = \frac{I_C}{I_B}$$

y es en promedio aprox. 240. El valor máximo en condiciones de prueba correspondientes se especifica como 250.

La línea característica de salida (Fig. 8) sube fuertemente con el aumento de  $U_{CE}$  y luego llega a más o menos 200 mV, luego pasa a una sección más menos horizontal. La pérdida de potencia se determina de acuerdo con

$$(3) \quad P = U_{CE} \cdot I_C$$

ésta es de aprox. 0,5 V en la sección horizontal. El valor absoluto máximo se especifica con 8 W.

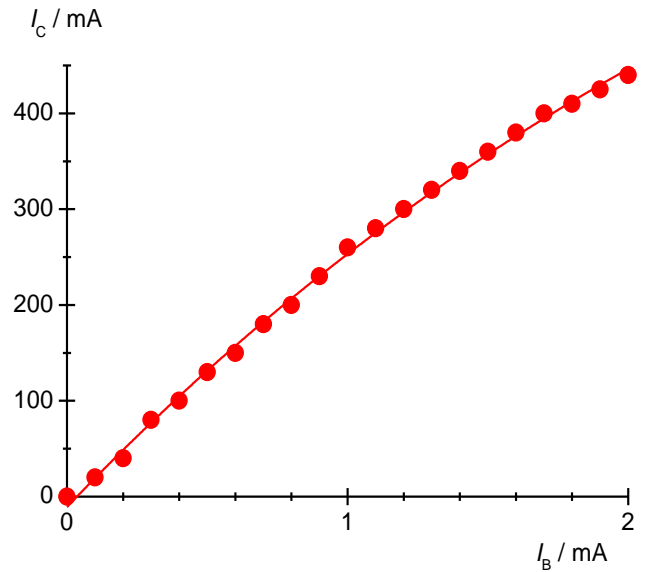


Fig. 7: Característica de control para  $U_{CE} = 5,2 \text{ V}$

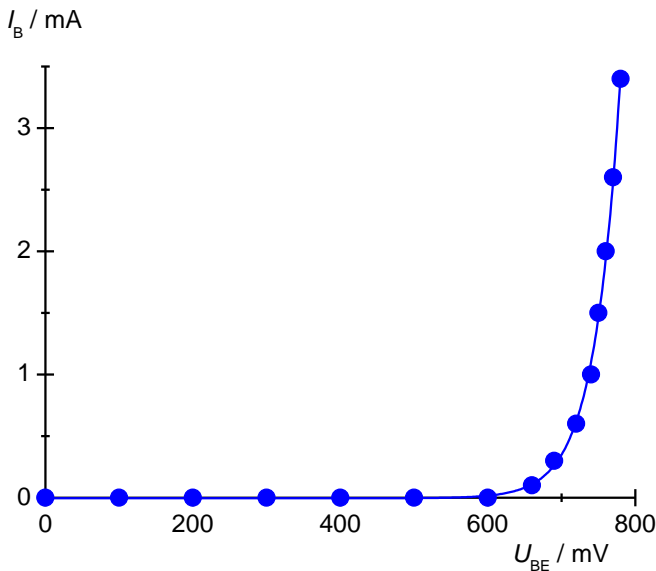


Fig. 6: Característica de entrada

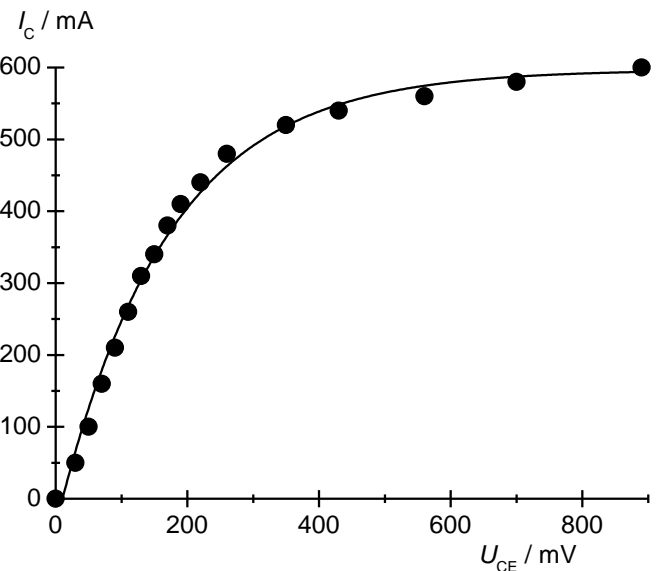


Fig. 8: Característica de salida para  $I_B = 4,2 \text{ mA}$

