

## Transistor bipolar

### MEDIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS RELEVANTES DE UM TRANSISTOR NPN

- Medição da curva característica de entrada, ou seja, da corrente básica  $I_B$  em dependência da tensão base-emissor  $U_{BE}$ .
- Medição da curva característica de comando, ou seja, da corrente do coletor  $I_C$  em dependência da corrente básica  $I_B$  com tensão coletor-emissor  $U_{CE}$  fixa.
- Medição da curva característica de saída, ou seja, da corrente do coletor  $I_C$  em dependência da tensão coletor-emissor  $U_{CE}$  com corrente básica  $I_B$  fixa.

UE3080200

06/16 UD

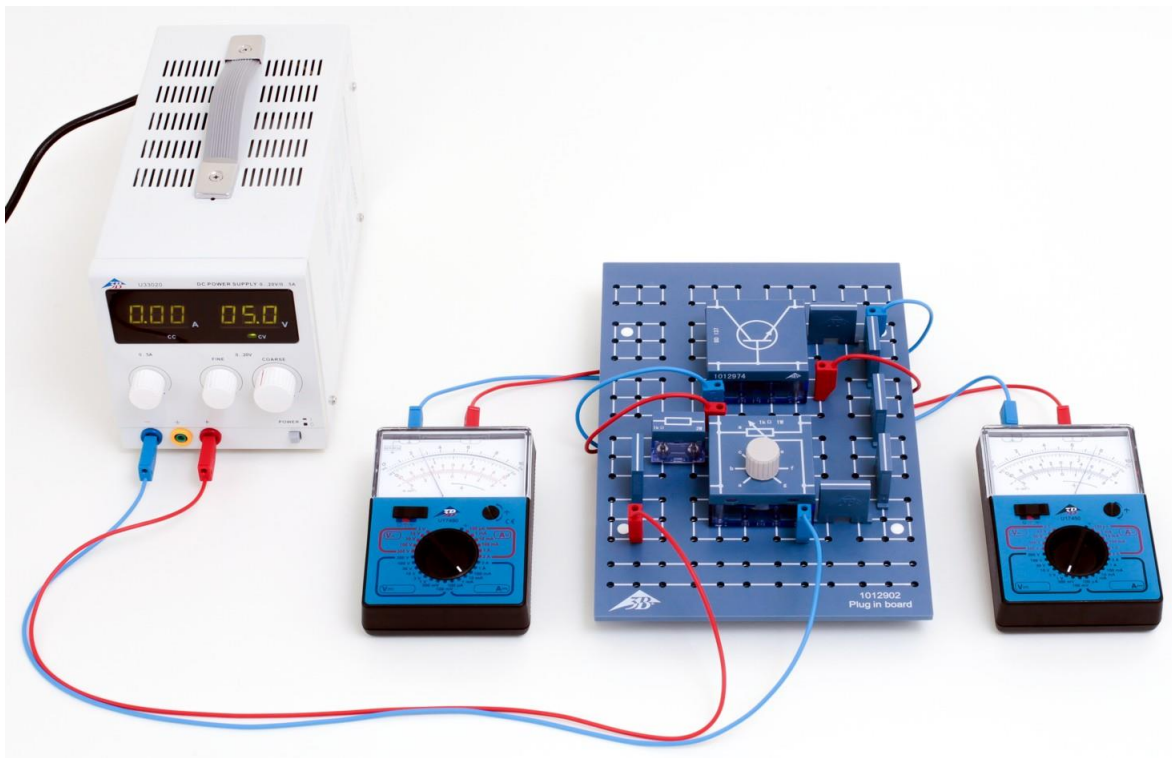


Fig. 1: Disposição de medição (exemplo: curva característica de entrada).

### FUNDAMENTOS GERAIS

Um transistor bipolar é um componente eletrônico de três camadas semicondutoras alternadamente dopadas tipo p e tipo n, base B, coletor C e emissor E. A base se encontra entre o coletor e o emissor e se destina ao comando. Em princípio, o transistor bipolar corresponde a dois diodos ligados em sentidos opostos com um anodo ou catodo

comum. A bipolaridade é condicionada pelo fato de que, por conta dos tipos diferentes de dopagem, tanto eletrodos quanto furos participam do transporte de carga.

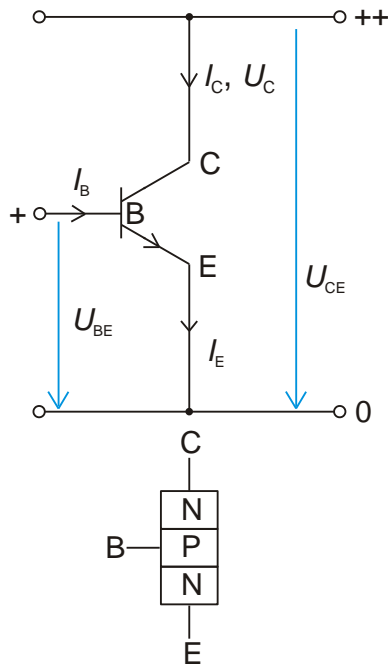


Fig. 2: Estrutura básica de um transistor npn com símbolos de ligação pertinentes e as tensões e correntes que surgem

Conforme a disposição das camadas, fala-se em transistor npn ou pnp. (Fig. 2). Dependendo dos conectores entre os quais a tensão de entrada e de saída é aplicada, o transistor bipolar é operado como tetrapolo em três ligações básicas, a ligação de emissor, a ligação de coletor e a ligação básica. As designações das ligações indicam respectivamente a ligação comum de entrada e saída.

A seguir, somente o transistor npn será observado.

Conforme a ligação da transição base-emissor ou base-coletor na direção da passagem ( $U_{BE}, U_{BC} > 0$ ) ou em direção oposta ( $U_{BE}, U_{BC} < 0$ ), resultam quatro formas de operação do transistor npn (vide Tab. 1). Na operação avante do transistor, a transição BE polarizada na direção da passagem ( $U_{BE} > 0$ ) injeta elétrons do emissor na base e furos da base no emissor. Como o emissor é significativamente mais dopado que a base, correspondentemente mais elétrons são injetados na base que furos no emissor e, assim, as recombinações são minimizadas. Como a largura da base é muito menor que o comprimento de difusão dos elétrons que são portadores minoritários de carga na base, os elétrons se difundem através da base para a camada de barreira entre a base e o coletor e continuam até o coletor, pois a camada de barreira somente é um obstáculo para portadores majoritários de carga. Finalmente, institui-se uma corrente de transferência  $I_T$  do emissor para o coletor, que representa, na operação adiante, uma parcela significativa da corrente do coletor  $I_C$ . O transistor, portanto, pode ser interpretado como fonte de corrente comandada por tensão; a corrente  $I_C$  na saída pode ser comandada pela tensão  $U_{BE}$  na entrada. Os elétrons recombinantes na base são desviados como corrente básica  $I_B$  da base, para gerar uma corrente constante de transferência  $I_T$  e, assim, garantir a estabilidade do transistor. Através de uma pequena corrente de entrada  $I_B$ , então, é comandada uma grande corrente de saída  $I_C$  ( $I_C \approx I_T$ ) e uma amplificação de corrente ocorre.

Tab. 1: As quatro formas de operação de um transistor npn

$U_{BE}$	$U_{BC}$	Tipo de operação
$> 0$	$< 0$	Operação adiante / normal
$> 0$	$> 0$	Saturação
$< 0$	$> 0$	Operação reversa / inversa
$< 0$	$< 0$	Operação de bloqueio

Tab. 2: As quatro curvas características de um transistor npn em operação adiante.

Denominação	Dependência	Parâmetro
Curva característica de entrada	$I_B(U_{BE})$	
Curva característica de comando	$I_C(I_B)$	$U_{CE} = \text{const.}$
Curva característica de saída	$I_C(U_{CE})$	$I_B = \text{const.}$
Curva característica de retroatividade	$U_{BE}(U_{CE})$	$I_B = \text{const.}$

O comportamento de um transistor bipolar é caracterizado por quatro curvas características, a curva característica de entrada, comando e saída e de retroatividade (vide Tab. 2). Na experiência, as curvas características de entrada, comando e saída são medidas e representadas graficamente no exemplo do transistor npn.

### LISTA DE APARELHOS

- 1 Placa de encaixe p. elementos 1012902 (U33250)
  - 1 Kit de 10 plugues de tiras, P2W19 1012985 (U333093)
  - 1 Resistor 1 kΩ, 2 W, P2W19 1012916 (U333024)
  - 1 Resistor 47 kΩ, 0,5 W, P2W19 1012926 (U333034)
  - 1 Potenciômetro 220 Ω, 3 W, P4W50 1012934 (U333042)
  - 1 Potenciômetro 1 kΩ, 1 W, P4W50 1012936 (U333044)
  - 1 Transistor NPN BD 137, P4W50 1012974 (U333082)
  - 1 Fonte de alimentação AC/DC...12 V / 3 A @230V 1002776 (U117601-230)
- ou
- 1 Fonte de alimentação AC/DC 0...12 V / 3 A @115V 1002775 (U117601-115)
  - 3 Multímetro analógico Escola 30 1013526 (U8557330)
  - 1 Conjunto de cabos para experiências, 75 cm, 1 mm<sup>2</sup> 1002840 (U13800)

## MONTAGEM E EXECUÇÃO

### Orientações:

O resistor de 1 k $\Omega$  serve como resistor de proteção em todas as ligações e precisa estar sempre inserido.

Somente ligar a fonte e aumentar a tensão quando as conexões estiverem prontas.

Para todas as experiências, ajustar a tensão da fonte para 5 V.

Selecionar as grandezas de medição desejadas (tensão, corrente) e as faixas de medição adequadas nos multímetros analógicos. Atentar para a polaridade correta.

### Curva característica de entrada

- Montar a ligação conforme a Fig 3. Ambos os multímetros analógicos conectados destinam-se à medição da tensão básica do emissor  $U_{BE}$  e da corrente básica  $I_B$ .
- Ajustar o potenciômetro 1 k $\Omega$  de forma que tensão básica do emissor seja 0 V.
- Elevar lentamente a tensão básica do emissor com auxílio do potenciômetro em intervalos adequados, sempre medir a força básica da corrente e anotar os valores na Tab. 3.

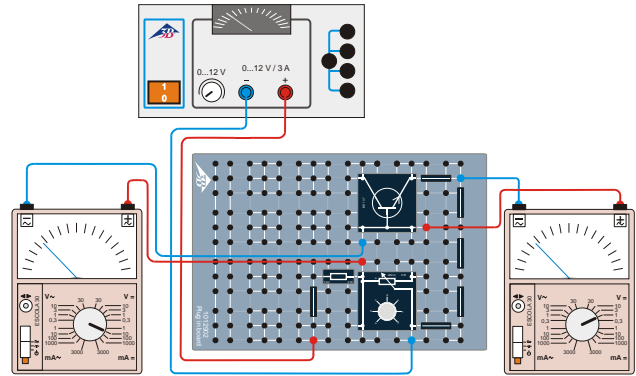


Fig. 3: Esquema de ligação para registro da curva característica de entrada.

### Curva característica de comando

- Montar a ligação conforme a Fig 4. Os três multímetros analógicos conectados destinam-se ao controle da tensão básica do emissor  $U_{CE}$  e à medição da corrente básica  $I_B$  e da força da corrente do coletor  $I_C$ .
- Ler e anotar a tensão coletor-emissor
- Ajustar o potenciômetro 1 k $\Omega$  de forma que a força da corrente básica seja mínima.
- Elevar lentamente a força da corrente básica com auxílio do potenciômetro em intervalos adequados, medir a respectiva força da corrente básica e anotar os valores na Tab. 4.

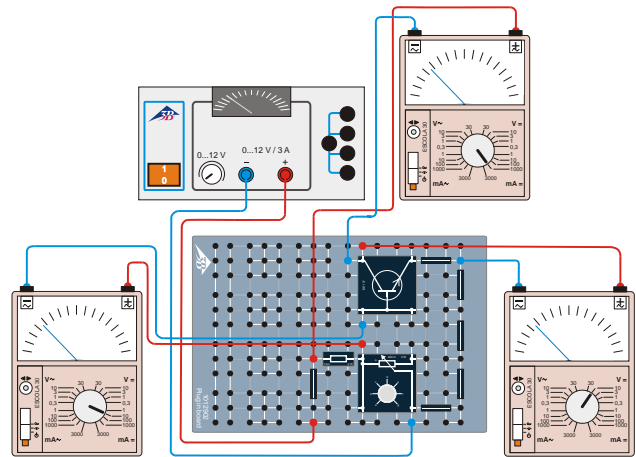


Fig. 4: Esquema de ligação para registro da curva característica de comando.

### Curva característica de saída

- Montar a ligação conforme a Fig 5. Substituir o potenciômetro 1 k $\Omega$  pelo resistor 47 k $\Omega$ . Inserir, adicionalmente, potenciômetro 220  $\Omega$  antes do coletor. Os três multímetros analógicos conectados destinam-se ao controle da força da corrente básica  $I_B$  e à medição da tensão coletor-emissor básica  $U_{CE}$  e da força da corrente do coletor  $I_C$ .
- Ler e notar a força da corrente básica.
- Ajustar o potenciômetro 220 k $\Omega$  de forma que tensão básica coletor-emissor seja mínima.
- Elevar lentamente a tensão coletor-emissor com auxílio do potenciômetro em intervalos adequados, medir a respectiva força da corrente do coletor  $I_C$  e anotar os valores na Tab. 5.

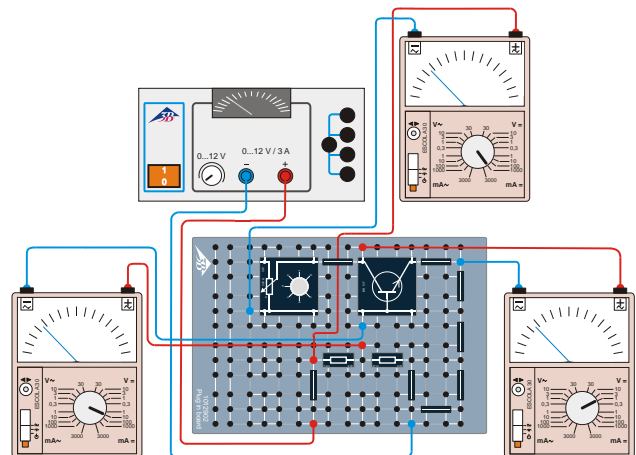


Fig. 5: Esquema de ligação para registro da curva característica de saída.

## EXEMPLO DE MEDIÇÃO

Tab. 3: Curva característica de entrada. Dados de medição para  $U_{BE}$  e  $I_B$ .

$U_{BE} / \text{mV}$	$I_B / \text{mA}$
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: Curva característica de comando. Dados de medição para  $I_B$  e  $I_C$ ,  $U_{CE} = 5,2 \text{ V}$ .

$I_B / \text{mA}$	$I_C / \text{mA}$
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: Curva característica de saída. Dados de medição para  $U_{CE}$  e  $I_C$ ,  $I_B = 4,2 \text{ mA}$ .

$U_{CE} / \text{mV}$	$I_C / \text{mA}$
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

### AVALIAÇÃO

A curva característica de entrada (Fig. 6) corresponde, conforme esperado, da curva característica de passagem de um diodo Si. Um diodo semiconductor se torna condutor na tensão de limiar na direção de passagem. Para a determinação da tensão de limiar a partir dos pontos de medição, a parte ascendente da curva característica de entrada é extrapolada para a abscissa e a tensão  $U_S$  é lida na interseção:

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

O valor coincide bem com o valor típico de aprox. 0,7 V para o silício.

O percurso da curva característica de comando (Fig. 7) é quase linear, com inclinação ascendente para correntes de coletor maiores que  $I_C \approx 300 \text{ mA}$ . O fator de amplificação da corrente é calculado conforme

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

e, em média, é de aprox. 240. O valor máximo, com as condições correspondentes de testes, está especificado em 250.

A curva característica de saída (Fig. 8) ascende com o aumento de  $U_{CE}$  até cerca de 200 mV de forma íngreme, para então passar a um âmbito quase horizontal. A perda de potência é determinada conforme

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

No âmbito horizontal, ela é de aprox. 0,5 W. O valor máximo absoluto está especificado em 8 W.

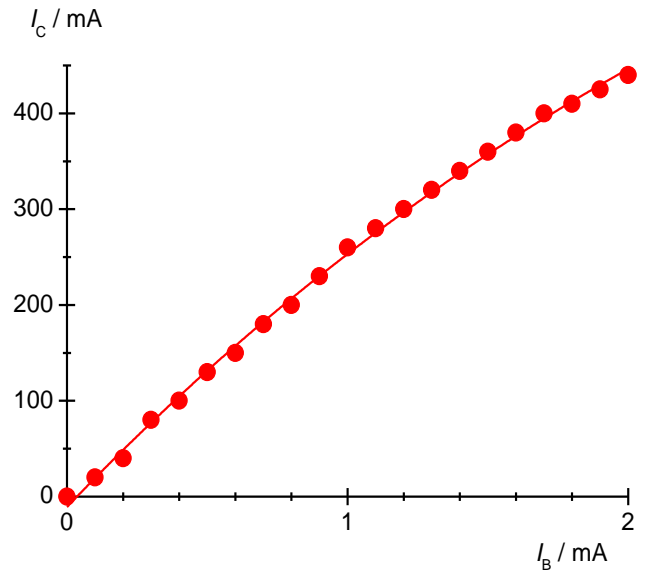


Fig. 7: Curva característica de comando para  $U_{CE} = 5,2 \text{ V}$

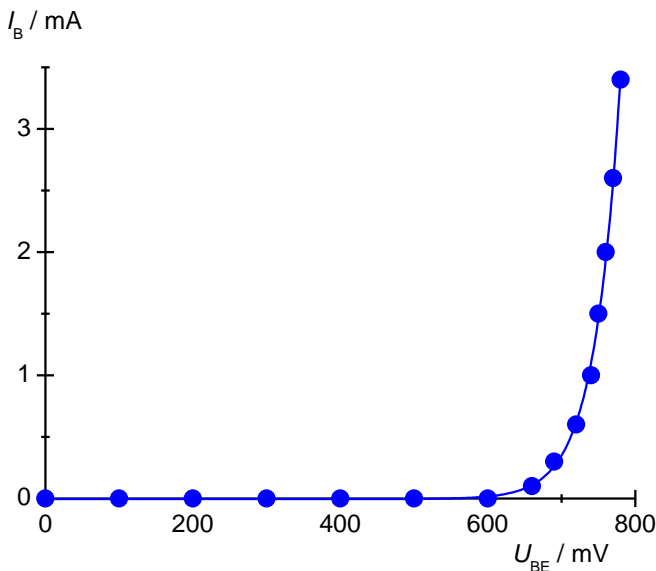


Fig. 6: Curva característica de entrada

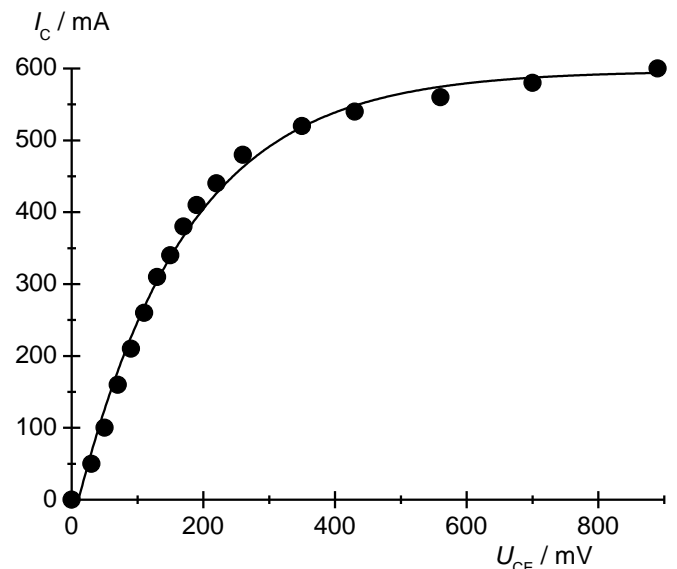


Fig. 8: Curva característica de saída para  $I_B = 4,2 \text{ mA}$

