

## Transistor bipolare

### MISURAZIONE DELLE CARATTERISTICHE RILEVANTI DI UN TRANSISTOR NPN

- Misurazione della caratteristica di ingresso, vale a dire la corrente di base  $I_B$  in funzione della tensione base – emettitore  $U_{BE}$
- Misurazione della caratteristica di controllo, vale a dire la corrente di collettore  $I_C$  in funzione della corrente di base  $I_B$  con tensione collettore-emettitore fissa  $U_{CE}$
- Misurazione della caratteristica di uscita, quindi della corrente di collettore  $I_C$  in funzione della tensione collettore - emettitore -  $U_{CE}$  con corrente di base fissa  $I_B$

UE3080200

06/16 UD

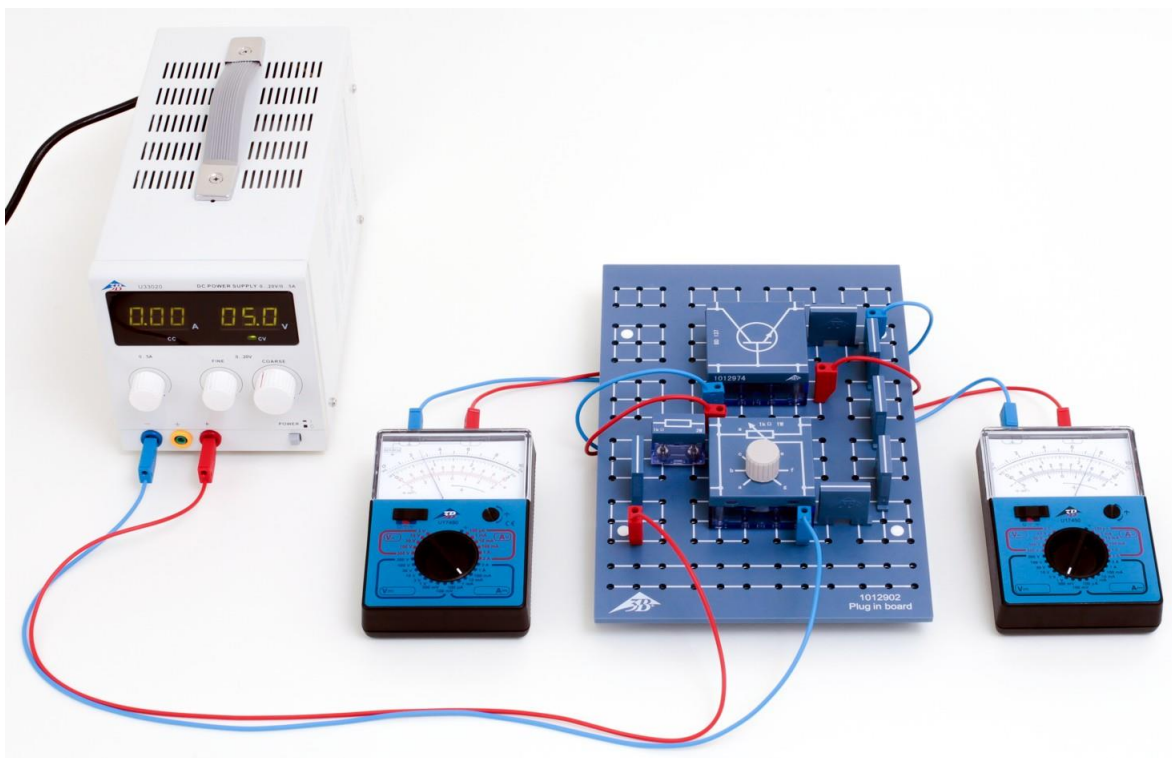


Fig. 1: Disposizione per la misurazione (Esempio: caratteristica di ingresso).

### BASI GENERALI

Un transistor bipolare è un componente elettronico costituito da tre strati semiconduttori drogati p e n alternati: la base, il collettore e l'emettitore. La base si trova tra il collettore e l'emettitore e serve per il controllo. In linea di massima il transistor bipolare corrisponde a due diodi collegati contrapposti con un anodo o un catodo co-

mune. La bipolarità è dovuta al fatto che a causa dei diversi tipi di drogaggio, sia gli elettroni, sia le lacune sono coinvolte nel trasporto della carica.

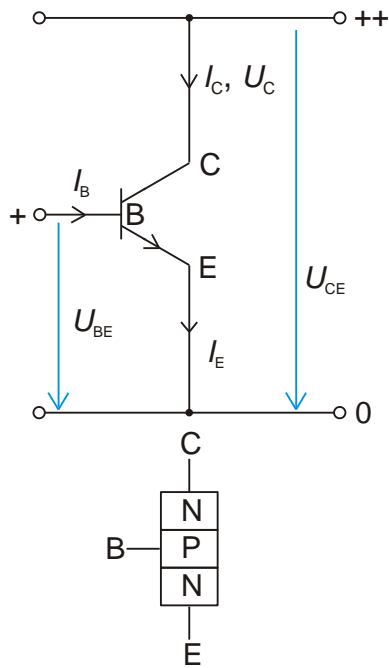


Fig. 2: Principio della struttura di un transistor npn con relativi simboli grafici e le tensioni e correnti presenti

In base alla disposizione degli strati si parla di un transistor npn oppure pnp (Fig. 2). In base al collegamento cui viene applicata la tensione di ingresso e di uscita, il transistor bipolare viene usato come quadripolo in tre configurazioni principali, ovvero le configurazioni a emettitore comune, a collettore comune o a base comune.

Qui di seguito sarà considerato solo il transistor npn.

A seconda della polarizzazione delle giunzioni base-emettitore e base-collettore in conduzione ( $U_{BE}, U_{BC} > 0$ ) o in interdizione ( $U_{BE}, U_{BC} < 0$ ), si ottengono quattro regioni operative del transistor npn (vedere la tab. 1). Nella modalità attiva diretta del transistor la giunzione BE polarizzata in conduzione ( $U_{BE} > 0$ ) inietta elettroni dall'emettitore nella base e lacune e dalla base nell'emettitore. Poiché l'emettitore ha un drogaggio molto superiore rispetto alla base, nella base sono iniettati più elettroni rispetto alle lacune iniettate nell'emettitore con ricombinazioni conseguentemente ridotte. Poiché l'ampiezza della base è molto inferiore rispetto alla lunghezza di diffusione degli elettroni, che nella base sono portatori di carica minoritari, gli elettroni si diffondono attraverso la base fino alla barriera di potenziale tra la base e il collettore e diffondono fino al collettore, poiché la barriera di potenziale rappresenta un ostacolo solo per il portatore di carica di maggioranza. Si presenta quindi una corrente di trasporto  $I_T$  dall'emettitore nel collettore, che con nella regione attiva rappresenta la parte fondamentale della corrente del collettore  $I_C$ . Il transistor può quindi essere considerato come sorgente di corrente controllata dalla tensione; la corrente  $I_C$  sull'uscita può essere controllata dalla tensione  $U_{BE}$  sull'ingresso. Gli elettroni ricombinati nella base producono una corrente  $I_B$  di base, necessaria per garantire una corrente di trasporto  $I_T$  costante e quindi la stabilità del transistor. Attraverso una piccola corrente d'ingresso  $I_B$  viene quindi controllata una corrente in uscita maggiore  $I_C$  ( $I_C \approx \beta I_B$ ) e avviene un'amplificazione di corrente.

Tab. 1: Le quattro regioni operative di un transistor npn

$U_{BE}$	$U_{BC}$	Modalità operativa
$> 0$	$< 0$	Modalità attiva diretta
$> 0$	$> 0$	Saturazione
$< 0$	$> 0$	Modalità attiva inversa
$< 0$	$< 0$	Interdizione o cutoff

Tab. 2: Le quattro caratteristiche di un transistor npn in modalità di avanzamento.

Descrizione	Dipendenza	Parametro
Caratteristica di ingresso	$I_B(U_{BE})$	
Caratteristica di controllo	$I_C(I_B)$	$U_{CE} = \text{cost.}$
Caratteristica di uscita	$I_C(U_{CE})$	$I_B = \text{cost.}$
Caratteristica di feedback	$U_{BE}(U_{CE})$	$I_B = \text{cost.}$

Il comportamento del transistor bipolare è contraddistinto da quattro caratteristiche: ingresso, controllo, uscita e feedback (vedere Tab. 2). Nell'esperimento sono misurate e rappresentate graficamente come esempio le caratteristiche di ingresso, controllo e uscita per il transistor npn.

## ELENCO DEGLI STRUMENTI

1	Scheda per componenti	1012902 (U33250)
1	Set di 10 connettori a nastro, P2W19	1012985 (U333093)
1	Resistenza 1 kΩ, 2 W, P2W19	1012916 (U333024)
1	Resistenza 47 kΩ, 0,5 W, P2W19	1012926 (U333034)
1	Potenziometro 220 Ω, 3 W, P4W50	1012934 (U333042)
1	Potenziometro 1 kΩ, 1 W, P4W50	1012936 (U333044)
1	Transistor NPN BD 137, P4W50	1012974 (U333082)
1	Alimentatore CA/CC 0...12 V / 3 A @230V	1002776 (U117601-230)
0		
1	Alimentatore CA/CC 0...12 V / 3 A @115V	1002775 (U117601-115)
3	Multimetro analogico Escola 30	1013526 (U8557330)
1	Set di 15 cavi per esperimenti, 75 cm, 1 mm <sup>2</sup>	1002840 (U13800)

## MONTAGGIO E ESECUZIONE

### Note:

La resistenza  $1\text{ k}\Omega$  funge in tutti i circuiti da resistenza di protezione e deve sempre essere inserita.

Accendere l'alimentatore e alzare la tensione solo quando i circuiti sono stati approntati.

Per tutti gli esperimenti impostare sull'alimentatore una tensione di  $5\text{ V}$ .

Selezionare sui multimetri analogici le grandezze desiderate (tensione, corrente) e gli opportuni range di misura. Rispettare la polarità corretta.

### Caratteristica di ingresso

- Realizzare il circuito secondo Fig. 3. I due multimetri analogici collegati servono per la misurazione della tensione dell'emettitore base  $U_{BE}$  e della corrente base  $I_B$ .
- Impostare il potenziometro  $1\text{ k}\Omega$  di modo che la tensione dell'emettitore base ammonti a  $0\text{ V}$ .
- Con l'ausilio del potenziometro, aumentare lentamente la tensione dell'emettitore base a passi adeguati, misurando ogni volta l'intensità di corrente base e registrando i valori nella Tab. 3.

### Caratteristica di controllo

- Realizzare il circuito secondo Fig. 4. I tre multimetri analogici collegati servono per il controllo della tensione dell'emettitore-collettore  $U_{CE}$  così come per la misurazione dell'intensità di corrente di base  $I_B$  e dell'intensità di corrente del collettore  $I_C$ .
- Rilevare e annotare la tensione dell'emettitore-collettore.
- Impostare il potenziometro  $1\text{ k}\Omega$  di modo che l'intensità di corrente di base risulti minima.
- Con l'ausilio del potenziometro aumentare lentamente l'intensità di corrente di base a passi adeguati, misurando ogni volta l'intensità di corrente del collettore e registrando i valori nella Tab. 4.

### Caratteristica di uscita

- Realizzare il circuito secondo Fig. 5. Sostituire il potenziometro  $1\text{ k}\Omega$  con la resistenza  $47\text{ k}\Omega$ . Inserire inoltre il potenziometro  $220\ \Omega$  a monte del collettore. I tre multimetri analogici collegati servono per il controllo dell'intensità di corrente di base  $I_B$  così come per la misurazione della tensione dell'emettitore-collettore  $U_{CE}$  e dell'intensità di corrente del collettore  $I_C$ .
- Leggere e annotare l'intensità di corrente di base.
- Impostare il potenziometro  $220\ \Omega$  di modo che la tensione dell'emettitore-collettore risulti minima.
- Con l'ausilio del potenziometro, aumentare lentamente la tensione dell'emettitore-collettore a passi adeguati misurando ogni volta l'intensità di corrente del collettore  $I_C$  e registrando i valori nella Tab. 5.

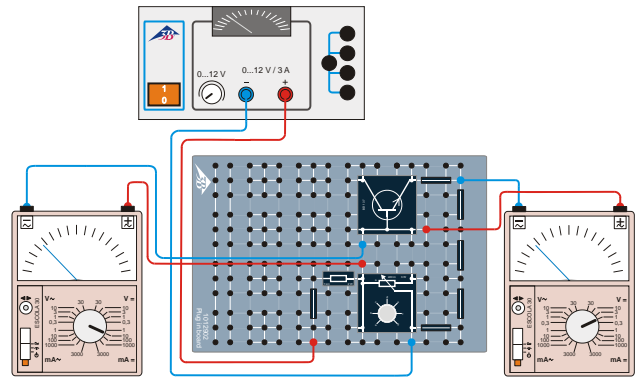


Fig. 3: Schema elettrico per la registrazione della caratteristica di ingresso.

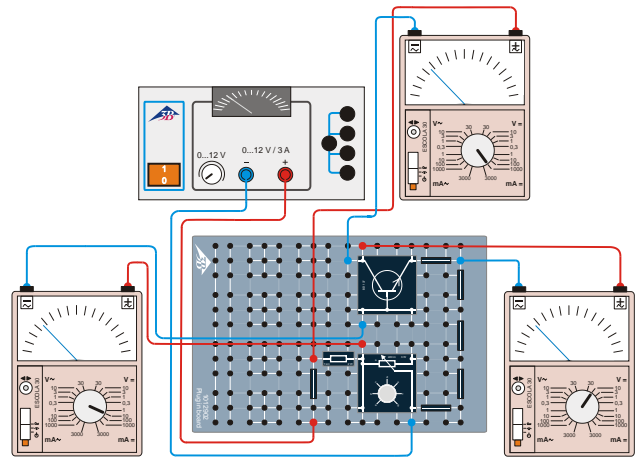


Fig. 4: Schema elettrico per la registrazione della caratteristica di controllo.

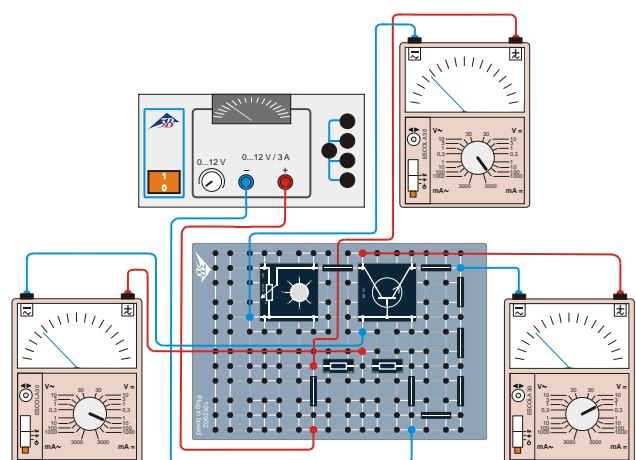


Fig. 5: Schema elettrico per la registrazione della caratteristica di uscita.

## ESEMPIO DI MISURAZIONE

Tab. 3: Caratteristica di ingresso. Dati di misurazione per  $U_{BE}$  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: Caratteristica di controllo. Dati di misurazione per  $I_B$  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: Caratteristica di uscita. Dati di misurazione per  $U_{CE}$  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

**ANALISI**

La caratteristica di ingresso (Fig. 6) corrisponde come previsto alla caratteristica diretta di un diodo Si. Un diodo semiconduttore diventa conduttivo con una tensione di soglia in senso di conduzione. Per determinare la tensione di soglia a partire dai punti di misurazione, si estrapola la parte fortemente crescente della caratteristica d'ingresso sull'asse delle ascisse e si rileva la tensione  $U_s$  presso il punto d'intersezione:

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

Il valore concorda con il valore tipico del silicio pari a circa 0,7 V.

L'andamento della caratteristica di controllo (Fig. 7) è pressoché lineare, con pendenza decrescente per correnti del collettore superiori a  $I_C \approx 300 \text{ mA}$ . Il guadagno di corrente viene calcolato in base a

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

e ammonta mediamente a circa 240. Il valore massimo specificato in condizioni di prova adeguate è 250.

La caratteristica di uscita (Fig. 8) sale fortemente all'aumentare di  $U_{CE}$  fino a circa 200 mV per poi proseguire in modo pressoché orizzontale. La perdita di potenza viene determinata in base a

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

Nella zona orizzontale essa ammonta a circa 0,5 W. Il valore massimo assoluto specificato è 8 W.

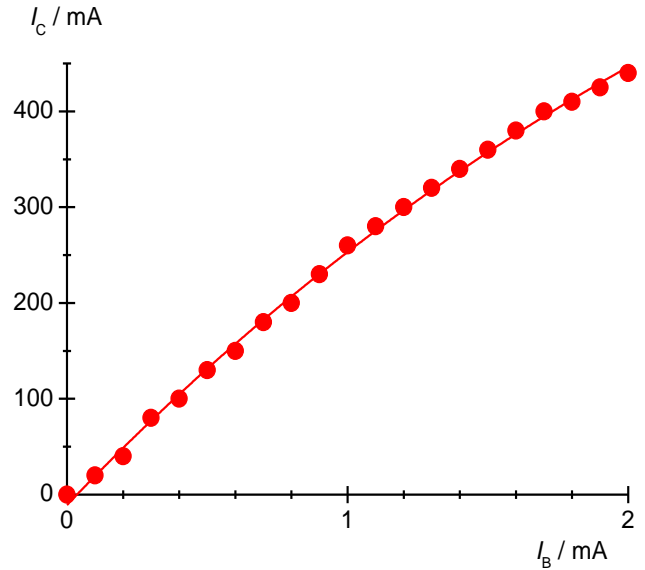


Fig. 7: Caratteristica di controllo per  $U_{CE} = 5,2 \text{ V}$

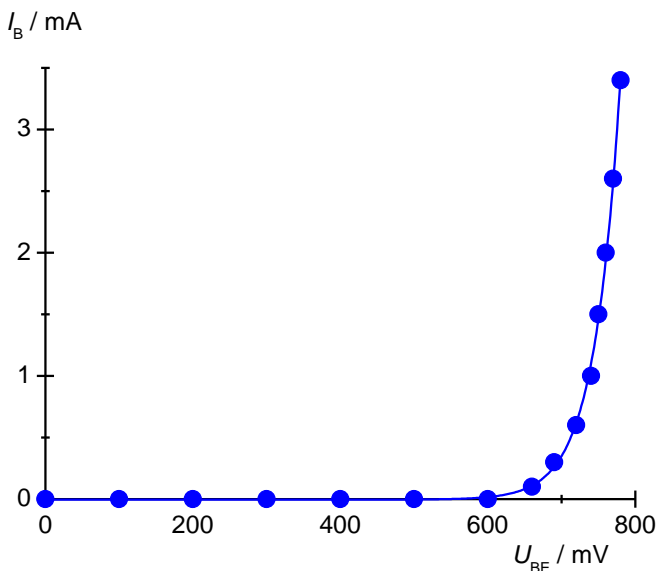


Fig. 6: Caratteristica di ingresso

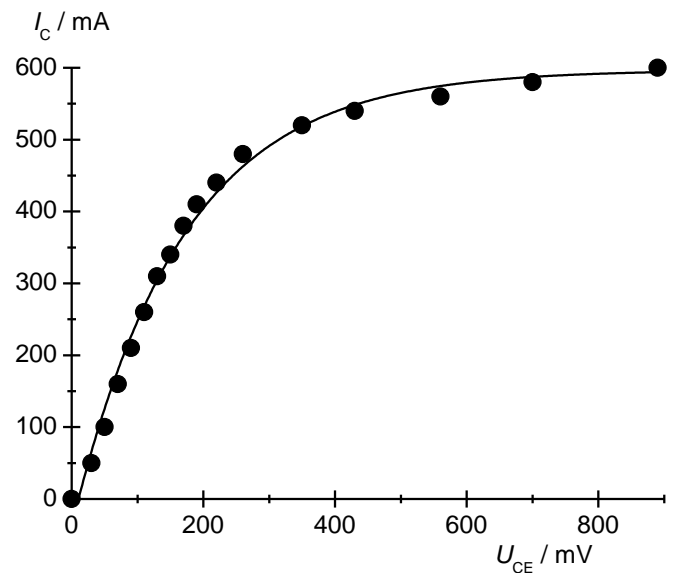


Fig. 8: Caratteristica di uscita per  $I_B = 4,2 \text{ mA}$

