Bipolartransistor

MESSUNG DER RELEVANTEN KENNLINIEN EINES NPN-TRANSISTORS.

- **Messung der Eingangskennlinie, d.h. des Basisstroms I_B in Abhängigkeit von der Basis-Emitter-Spannung U_{BE}.**
- **Messung der Steuerkennlinie, d.h. des Kollektorstroms I_C in Abhängigkeit vom Basisstrom I_B bei fester Kollektor-Emitter-Spannung U_{CE}.**
- **Messung der Ausgangskennlinie, also des Kollektorstroms I_C in Abhängigkeit von der Kollektor-Emitter-Spannung U_{CE} bei festem Basisstrom I_B.**

UE3080200

06/16 UD

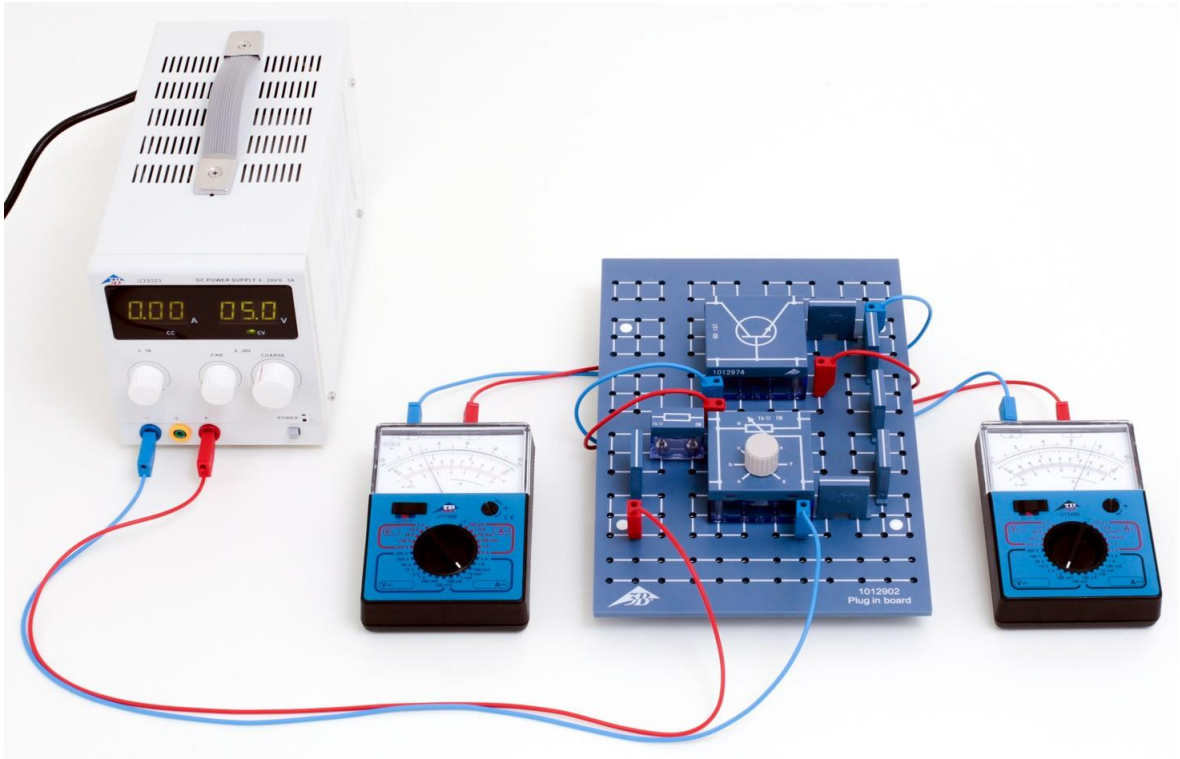

Fig. 1: Messanordnung (Beispiel: Eingangskennlinie).

ALLGEMEINE GRUNDLAGEN

Ein Bipolartransistor ist ein elektronisches Bauelement aus drei abwechselnd p- und n-dotierten Halbleiterschichten, der Basis B, dem Kollektor C und dem Emitter E. Die Basis befindet sich zwischen Kollektor und Emitter und dient der Steuerung. Im Prinzip entspricht der Bipolartransistor zwei entgegengesetzt geschalteten Dioden mit einer gemeinsamen Anode oder Kathode. Die Bipolarität ist dadurch bedingt, dass durch die unterschiedlichen Dotierungsarten sowohl Elektronen als auch Löcher am Ladungstransport beteiligt sind.

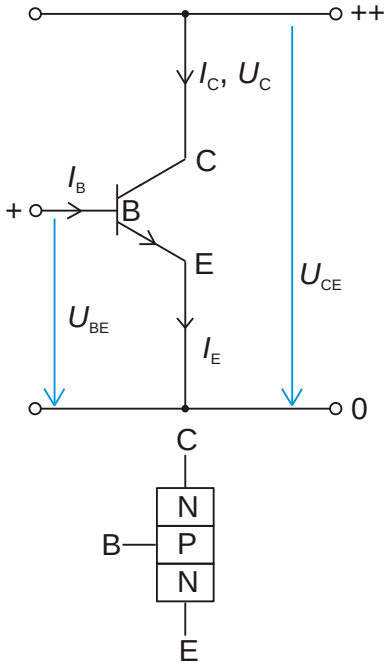

Fig. 2: Prinzipieller Aufbau eines npn-Transistors mit zugehörigen Schaltsymbolen und den auftretenden Spannungen und Strömen.

Tab. 1:Die vier Betriebsarten eines npn-Transistors

U_{BE}	U_{BC}	**Betriebsart**
> 0	< 0	Vorwärtsbetrieb / normaler Betrieb
> 0	> 0	Sättigung
< 0	> 0	Rückwärtsbetrieb / inverser Betrieb
< 0	< 0	Sperrbetrieb

Tab. 2:Die vier Kennlinien eines npn-Transistors im Vorwärtsbetrieb.

Bezeichnung	**Abhängigkeit**	**Parameter**
Eingangskennlinie	$I_B(U_{BE})$	
Steuerkennlinie	$I_C(I_B)$	U_{CE} = konst.
Ausgangskennlinie	$I_C(U_{CE})$	I_B = konst.
Rückwirkungskennlinie	$U_{BE}(U_{CE})$	I_B = konst.

Je nach Anordnung der Schichten spricht man von einem npn- oder einem pnp-Transistor (Fig. 2). Je nachdem zwischen welchen Anschlüssen die Eingangs- und die Ausgangsspannung anliegt, wird der Bipolartransistor als Vierpol in drei Grundschaltungen betrieben, der Emitterschaltung, der Kollektorschaltung und der Basisschaltung. Die Bezeichnungen der Schaltungen geben jeweils den gemeinsamen Anschluss von Eingang und Ausgang an.

Im Folgenden wird nur der npn-Transistor betrachtet.

Je nach Schaltung des Basis-Emitter- bzw. des Basis-Kollektor-Übergangs in Durchlassrichtung (U_{BE}, U_{BC} > 0) oder in Sperrrichtung (U_{BE}, U_{BC} < 0), ergeben sich vier Betriebsarten des npn-Transistors (siehe Tab. 1). Im Vorwärtsbetrieb des Transistors injiziert der in Durchlassrichtung gepolte BE-Übergang (U_{BE} > 0) Elektronen vom Emitter in die Basis und Löcher von der Basis in den Emitter. Da der Emitter deutlich höher dotiert ist als die Basis, werden entsprechend mehr Elektronen in die Basis injiziert als Löcher in den Emitter und dadurch Rekombinationen minimiert. Da die Basisweite viel kleiner ist als die Diffusionslänge der Elektronen, die in der Basis Minoritätsladungsträger sind, diffundieren die Elektronen durch die Basis in die Sperrschicht zwischen Basis und Kollektor und driften weiter zum Kollektor, da die Sperrschicht nur für Majoritätsladungsträger ein Hindernis darstellt. Es stellt sich schließlich ein Transferstrom I_T vom Emitter in den Kollektor ein, der im Vorwärtsbetrieb den wesentlichen Anteil zum Kollektorstrom I_C darstellt. Der Transistor kann daher als spannungsgesteuerte Stromquelle aufgefasst werden; der Strom I_C am Ausgang kann durch die Spannung U_{BE} am Eingang gesteuert werden. Die in der Basis rekombinierenden Elektronen werden als Basisstrom I_B aus der Basis abgeführt, um einen konstanten Transferstrom I_T und damit die Stabilität des Transistors zu gewährleisten. Durch einen kleinen Eingangsstrom I_B wird also ein großer Ausgangsstrom I_C ($I_C \approx I_T$) gesteuert, und es findet eine Stromverstärkung statt.

Das Verhalten eines Bipolartransistors wird durch vier Kennlinien charakterisiert, die Eingangs-, Steuer-, Ausgangs- und Rückwirkungskennlinie (siehe Tab. 2). Im Experiment werden die Eingangs-, Steuer- und Ausgangskennlinie beispielhaft für den npn-Transistor gemessen und graphisch dargestellt.

GERÄTELISTE

1	Steckplatte für Bauelemente	1012902 (U33250)
1	Satz 10 Brückenstecker, P2W19	1012985 (U333093)
1	Widerstand 1 kΩ, 2 W, P2W19	1012916 (U333024)
1	Widerstand 47 kΩ, 0,5 W, P2W19	1012926 (U333034)
1	Potentiometer 220 Ω, 3 W, P4W50	1012934 (U333042)
1	Potentiometer 1 kΩ, 1 W, P4W50	1012936 (U333044)
1	NPN-Transistor BD 137, P4W50	1012974 (U333082)
1	AC/DC-Netzgerät 0…12 V / 3 A @230V	1002776 (U117601-230)
oder		
1	AC/DC-Netzgerät 0…12 V / 3 A @115V	1002775 (U117601-115)
3	Analog-Multimeter Escola 30	1013526 (U8557330)
1	Satz 15 Experimentierkabel, 75 cm, 1 mm²	1002840 (U13800)

AUFBAU UND DURCHFÜHRUNG

Hinweise:

Der Widerstand 1 kΩ dient in allen Schaltungen als Schutzwiderstand und muss immer eingesteckt sein.

Netzgerät erst einschalten und Spannung erst hochregeln, wenn die Schaltungen fertig aufgebaut sind.

Spannung am Netzgerät bei allen Experimenten auf 5 V einstellen.

Gewünschte Messgrößen (Spannung, Strom) und geeignete Messbereiche an den Analog-Multimetern auswählen. Auf richtige Polarität achten.

Eingangskennlinie

- Schaltung gemäß Fig. 3 aufbauen. Die beiden angeschlossenen Analog-Multimeter dienen der Messung der Basis-Emitter-Spannung U_{BE} und des Basisstroms I_B.
- Potentiometer 1 kΩ so einstellen, dass die Basis-Emitter-Spannung 0 V beträgt.
- Basis-Emitter-Spannung mit Hilfe des Potentiometers in geeigneten Schritten langsam hochregeln, jeweils die Basisstromstärke messen und die Werte in Tab. 3 eintragen.

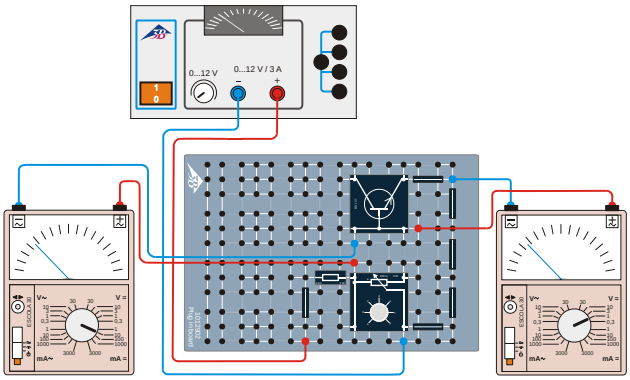

Fig. 3: Schaltskizze zur Aufnahme der Eingangskennlinie.

Steuerkennlinie

- Schaltung gemäß Fig. 4 aufbauen. Die drei angeschlossenen Analog-Multimeter dienen der Kontrolle der Kollektor-Emitter-Spannung U_{CE} sowie der Messung der Basisstromstärke I_B und der Kollektorstromstärke I_C.
- Kollektor-Emitter-Spannung ablesen und notieren.
- Potentiometer 1 kΩ so einstellen, dass die Basisstromstärke minimal ist.
- Basisstromstärke mit Hilfe des Potentiometers in geeigneten Schritten langsam hochregeln, jeweils die Kollektorstromstärke messen und die Werte in Tab. 4 eintragen.

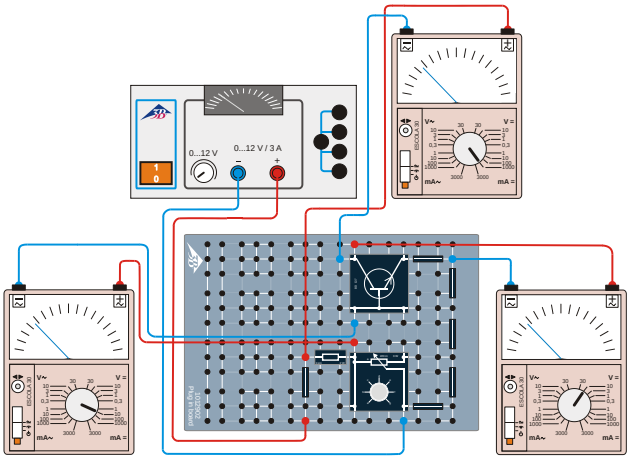

Fig. 4: Schaltskizze zur Aufnahme der Steuerkennlinie.

Ausgangskennlinie

- Schaltung gemäß Fig. 5 aufbauen. Potentiometer 1 kΩ durch den Widerstand 47 kΩ ersetzen. Zusätzlich Potentiometer 220 Ω vor den Kollektor einstecken. Die drei angeschlossenen Analog-Multimeter dienen der Kontrolle der Basisstromstärke I_B sowie der Messung der Kollektor-Emitter-Spannung U_{CE} und der Kollektorstromstärke I_C.
- Basisstromstärke ablesen und notieren.
- Potentiometer 220 Ω so einstellen, dass die Kollektor-Emitter-Spannung minimal ist.
- Kollektor-Emitter-Spannung mit Hilfe des Potentiometers in geeigneten Schritten langsam hochregeln, jeweils die Kollektorstromstärke I_C messen und die Werte in Tab. 5 eintragen.

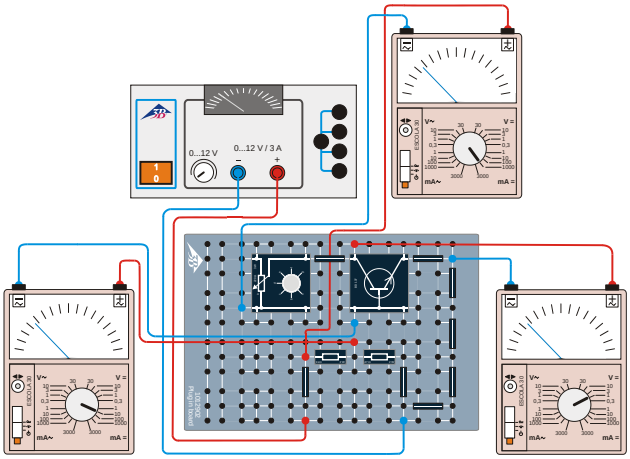

Fig. 5: Schaltskizze zur Aufnahme der Ausgangskennlinie.

MESSBEISPIEL

Tab. 3:Eingangskennlinie. Messdaten für U_{BE} und 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:Steuerkennlinie. Messdaten für I_B und 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:Ausgangskennlinie. Messdaten für U_{CE} und 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

AUSWERTUNG

Die Eingangskennlinie (Fig. 6) entspricht erwartungsgemäß der Durchlasskennlinie einer Si-Diode. Eine Halbleiterdiode wird bei der Schwellspannung in Durchlassrichtung leitend. Zur Bestimmung der Schwellspannung aus den Messpunkten wird der steil ansteigende Teil der Eingangskennlinie auf die Abszisse extrapoliert und die Spannung U_S am Schnittpunkt abgelesen:

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

Der Wert stimmt gut mit dem typischen Wert von ca. 0,7 V für Silizium überein.

Der Verlauf der Steuerkennlinie (Fig. 7) ist annähernd linear, mit abnehmender Steigung für Kollektorströme größer als $I_C \approx 300$ mA. Der Stromverstärkungsfaktor wird gemäß

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

berechnet und beträgt im Mittel ca. 240. Der Maximalwert bei entsprechenden Testbedingungen ist mit 250 spezifiziert.

Die Ausgangskennlinie (Fig. 8) steigt mit Erhöhung von U_{CE} bis etwa 200 mV steil an und geht dann in einen annähernd horizontalen Bereich über. Die Verlustleistung wird gemäß

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

bestimmt. Sie beträgt im horizontalen Bereich ca. 0,5 W. Der absolute Maximalwert ist mit 8 W spezifiziert.

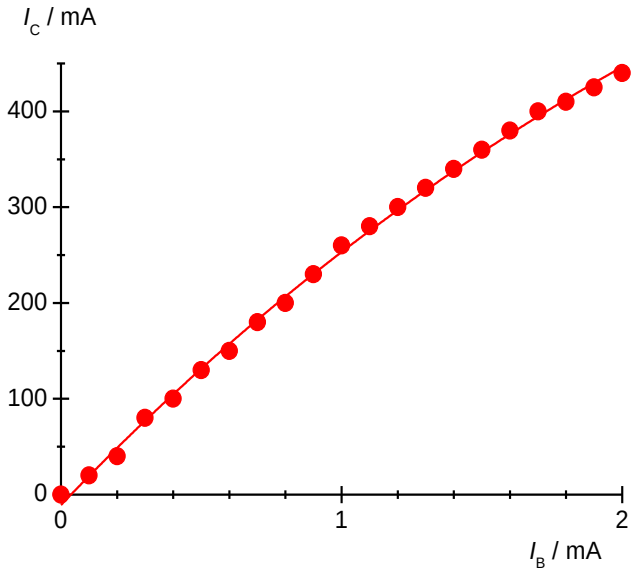

Fig. 7: Steuerkennlinie für U_{CE} = 5,2 V.

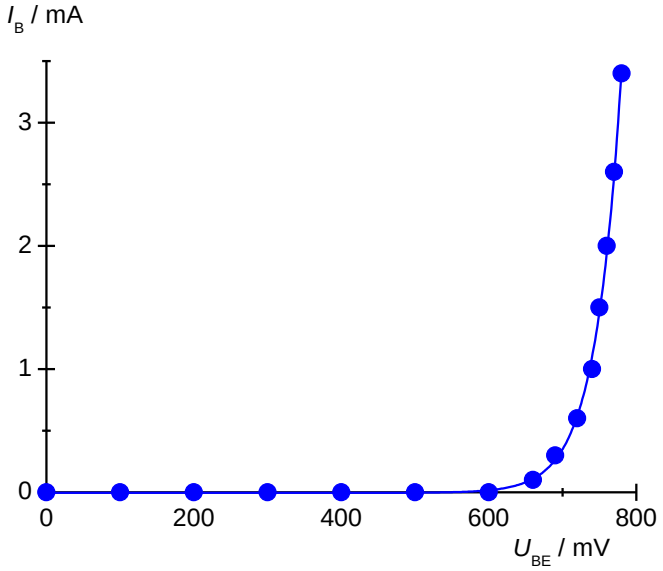

Fig. 6: Eingangskennlinie.

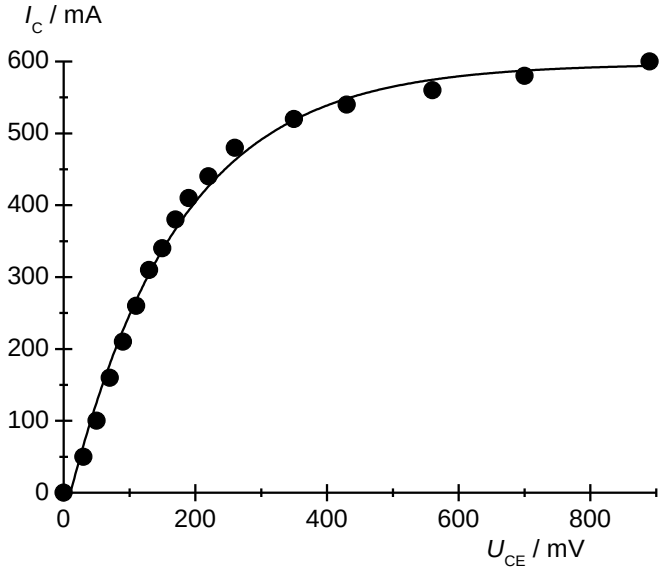

Fig. 8: Ausgangskennlinie für I_B = 4,2 mA.

© Copyright 2016 3B Scientific GmbH