



BAUELEMENTE UND SCHALTUNGEN

Bipolartransistor-Kennlinien

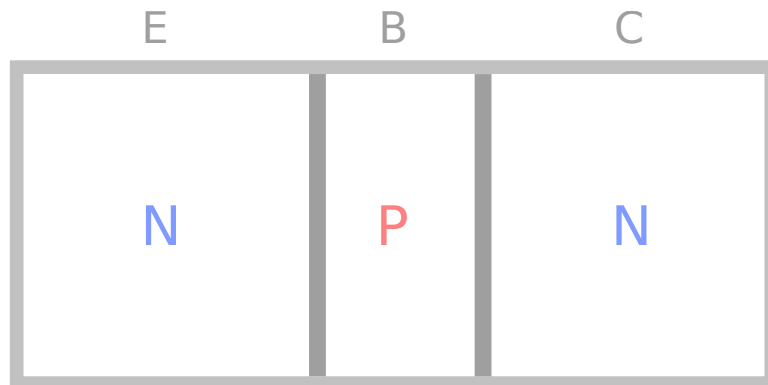
Studien- und Vorbereitungsaufgaben

Autor: Richard GRÜNERT

17.11.2019

1 Vorbereitungsaufgaben

1.1 Aufbau und Wirkungsweise des BPT

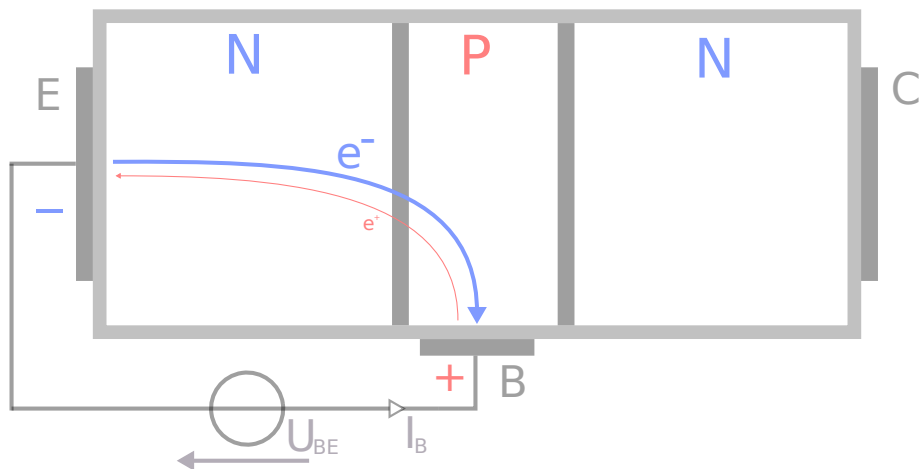


Bipolartransistoren können durch Verkettung von insgesamt 3 dotierten Halbleiterkristallen (vgl. Diode), jeweils entweder p- oder n-leitend, realisiert werden, woraus sich die beiden Kombinationsarten *npn* und *pnp* ergeben.

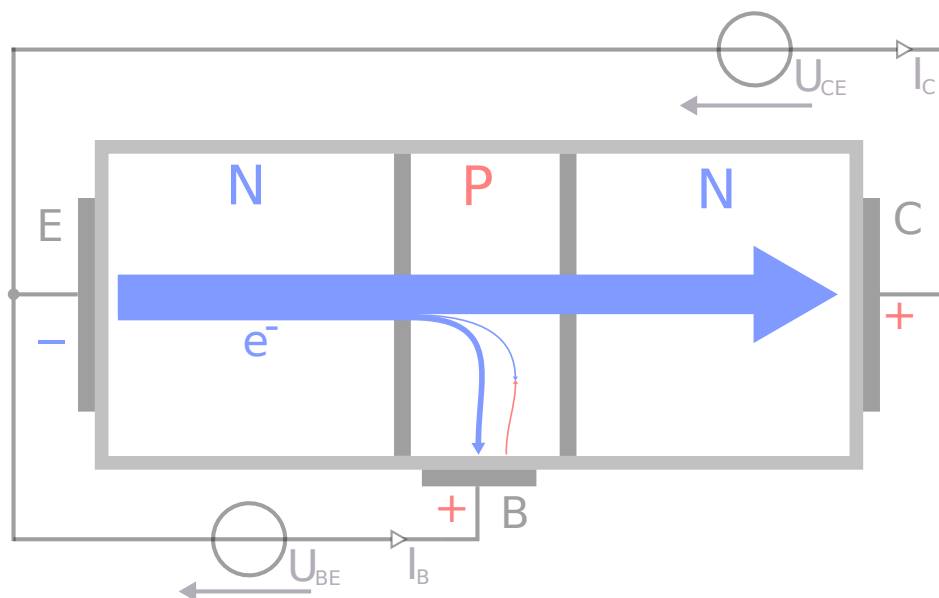
Die 3 Regionen bezeichnet man als

- Emitter (E)
- Basis (B)
- Kollektor (C)

welche in der Regel unterschiedliche Dotierungskonzentrationen aufweisen. So ist der Emitter höher als die Basis und die Basis höher als der Kollektor dotiert.



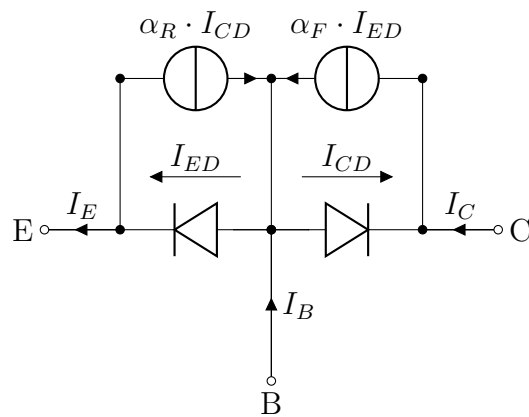
Legt man von außen eine Spannung U_{BE} an den Basis-Emitter-Übergang des Transistors, sodass er in Durchlassrichtung geschaltet ist¹, so wird dieser leitend und lässt einen (kleinen) Basisstrom I_B fließen. Da der Emitter deutlich höher dotiert ist als die Basis, überwiegt beim Basisstrom der Majoritätsträgerstrom der Elektronen vom Emitter in die Basis (gegenüber dem Strom der Defektelektronen von der Basis in den Emitter).



¹ $U_{BE} > U_D$, U_D : Diffusionsspannung (0.7 V)

Legt man nun eine zusätzliche Spannung U_{CE} an die Kollektor-Emitter-Strecke, gelingt ein deutlich höherer Diffusionsstrom I_C (im Vergleich zum Basisstrom) durch den hohen Dotierungskonzentrationsunterschied zwischen Emitter und Kollektor; Die Elektronen des Emitters diffundieren durch die Basis in den Kollektor. Um Rekombinationen der Emitterelektronen mit den Fehlstellen in der Basis zu vermeiden, sollte die Basis eine geringe Weite besitzen.

Ein mathematisches Modell zur Beschreibung des Bipolartransistors bietet das *Ebers-Moll-Modell*.

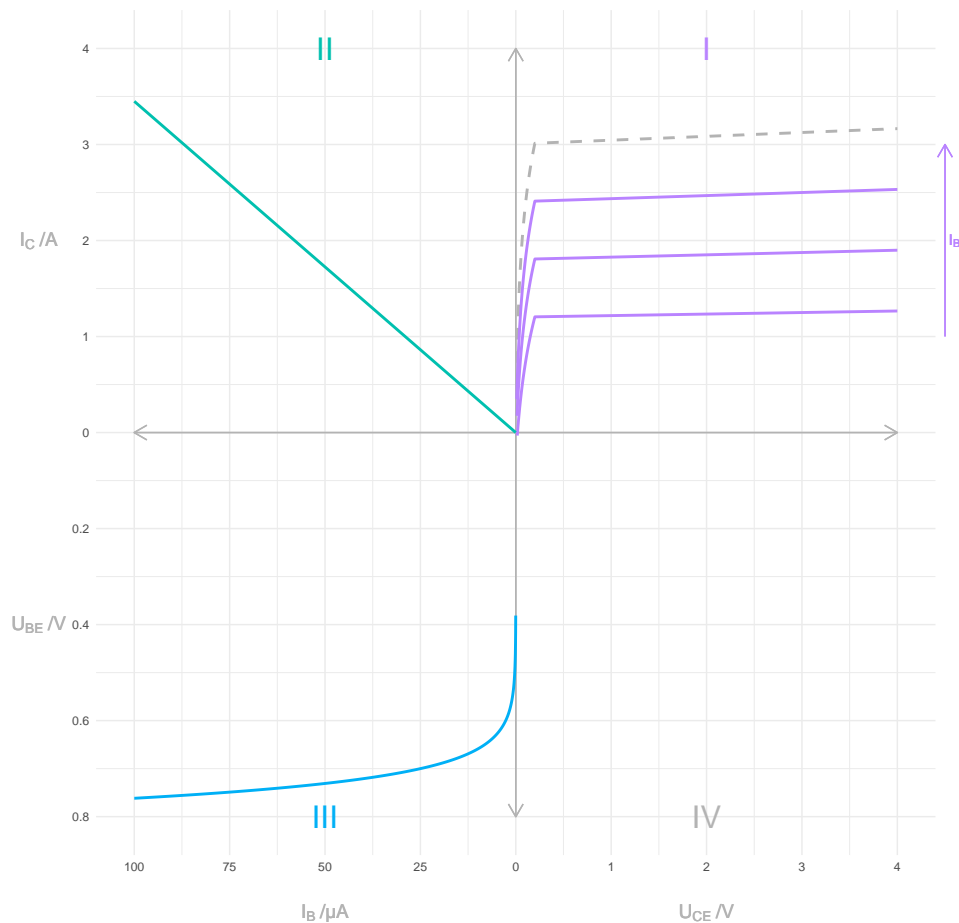


$$I_E = I_{ES} \cdot \left(e^{\frac{U_{BE}}{U_T}} - 1 \right)$$

$$I_C = \alpha_F \cdot I_E$$

$$I_B = (1 - \alpha_F) \cdot I_E$$

1.2 4-Quadranten-Kennlinienfeld



Quadrant I stellt die Abhängigkeit des Kollektorstroms I_C von der Kollektor-Emitter-Spannung U_{CE} dar. Da diese zusätzlich stark vom Basisstrom I_B abhängig ist, kann keine einzelne Kennlinie angegeben werden und es ergibt sich ein Kennlinienfeld, von dem ausgewählte Kennlinien dargestellt werden.

Die *Stromsteuerkennlinie* in Quadrant II zeigt den Zusammenhang zwischen Eingangsstrom (Basis) und Ausgangsstrom (Kollektor). Das Verhalten ist hier annäherungsweise linear; der statische Verstärkungsfaktor,

auch Gleichstromverstärkungsfaktor, kann daher als

$$B = \frac{I_C}{I_B}$$

ausgedrückt werden, welcher demnach nur für *einen* statisch eingestellten Arbeitspunkt gilt.

Im Quadranten III, auch *Eingangskennlinienfeld*, kann durch Verfolgen der Eingangsgrößen Basis-Spannung und -Strom das Diodenverhalten des Basis-Emitter-pn-Übergangs erkannt werden.

Quadrant IV stellt die Rückwirkung der Kollektor-Emitter-Spannung auf die Basis-Emitter-Spannung dar, meist beschränkt man sich jedoch auf die Quadranten I, II und III.



BAUELEMENTE UND SCHALTUNGEN

Bipolartransistor-Kennlinien

Versuchsaufgaben

Autoren: Richard GRÜNERT
Pascal HAMAIIDIA
Stefan KLOBE

24.11.2019

1 Versuchsaufgaben

1.1

I_C/mA	B	U_{CE}/V	U_{BE}/V	R_{CE}/Ω
2.863	286.3	0.3	0.661	104.79
2.877	287.7	0.5	0.662	173.79
2.905	290.5	0.8	0.661	275.39
2.927	292.7	1	0.661	341.65
3.008	300.8	2	0.658	664.89
3.18	318.0	4	0.653	1257.86
3.38	338.0	6	0.646	1775.15
3.49	349.0	8	0.643	2292.26
3.66	366.0	10	0.637	2732.24
3.85	385.0	12	0.631	3116.88

Tabelle 1: Messwerte für $I_B = 10\mu\text{A}$

I_C/mA	B	U_{CE}/V	U_{BE}/V	R_{CE}/Ω
5.35	267.5	0.3	0.663	56.07
5.68	284.0	0.5	0.669	88.03
5.75	287.5	0.8	0.673	139.13
5.79	289.5	1	0.675	172.71
5.95	297.5	2	0.674	336.13
6.7	335.0	4	0.658	597.01
6.91	345.5	6	0.654	868.30
7.32	366.0	8	0.643	1092.90
7.83	391.5	10	0.633	1277.14
8.24	412.0	12	0.624	1456.31

Tabelle 2: Messwerte für $I_B = 20\mu\text{A}$

I_C/mA	B	U_{CE}/V	U_{BE}/V	R_{CE}/Ω
7.66	255.33	0.3	0.676	39.165
8.6	286.67	0.5	0.682	58.14
8.94	298	0.8	0.685	89.49
8.96	298.67	1	0.686	111.61
9.26	308.67	2	0.682	215.98
9.84	328	4	0.674	406.50
10.65	355	6	0.657	563.38
11.67	389	8	0.642	685.52
12.87	429	10	0.617	777.00
14.5	483.33	12	0.584	827.59

Tabelle 3: Messwerte für $I_B = 30\mu\text{A}$

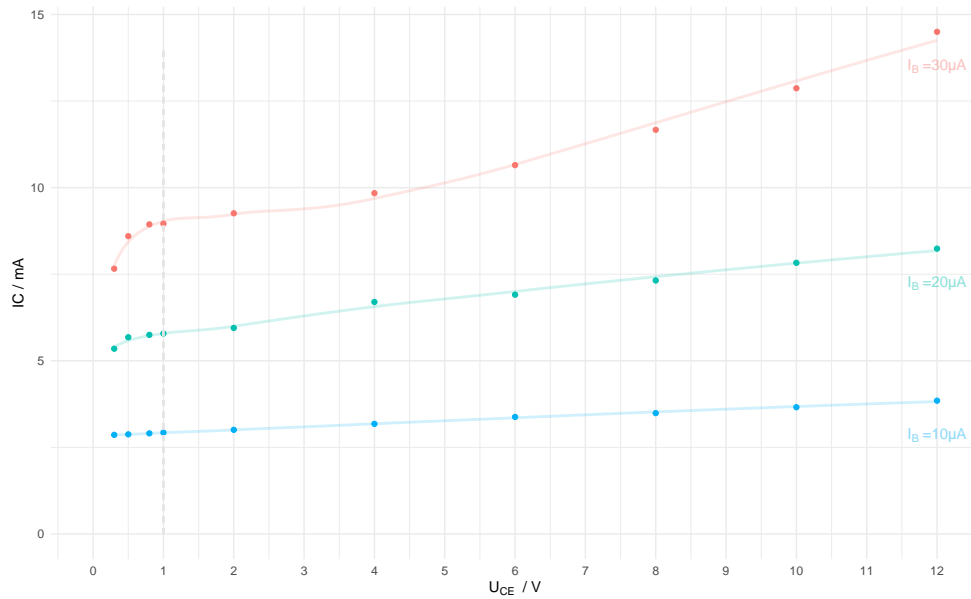


Abbildung 1: Ausgangskennlinien nach den Messungen aus Aufgabe 1

Der dynamische Widerstand r_{CE} bei den jeweiligen Basisströmen wurde durch angenommenes lineares Verhalten ab einer Kollektor-Emitter-Spannung von 1V mit dem letzten Wertepaar der Messreihe berechnet:

$$r_{\text{CE}} = \frac{U_{\text{CE}} - 1\text{V}}{I_{\text{CL}} - I_{\text{C}}(1\text{V})}$$

$$r_{\text{CE}10} = 11918 \ \Omega$$

$$r_{\text{CE}20} = 4489.8 \ \Omega$$

$$r_{\text{CE}30} = 1985.6 \ \Omega$$

Die sichtbar abweichende Linearität der Kennlinie bei $I_{\text{B}} = 30\mu\text{A}$ ist auf die steigende Temperatur des Transistors bei höheren Kollektorströmen zurückzuführen.

1.2

$I_{\text{B}}/\mu\text{A}$	I_{C}/mA	U_{BE}/V
0.5	0.142	0.583
1	0.292	0.6
2	0.558	0.612
4	1.195	0.63
6	1.882	0.638
8	2.575	0.644

Tabelle 4: Messwerte der Aufgabe 2, $U_{\text{CE}} = \text{konst} = 6\text{V}$

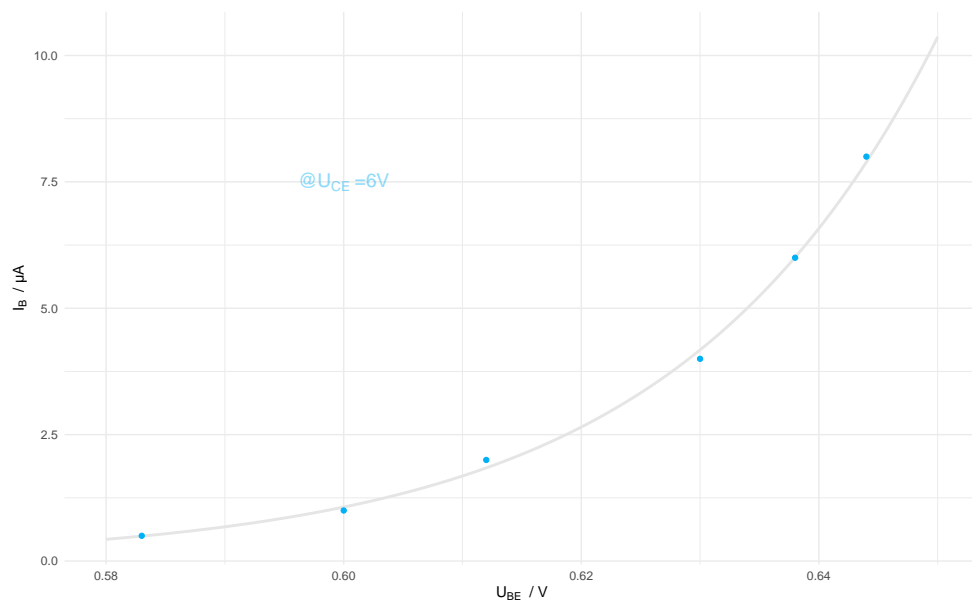


Abbildung 2: Eingangskennlinie nach den Messungen aus Aufgabe 2

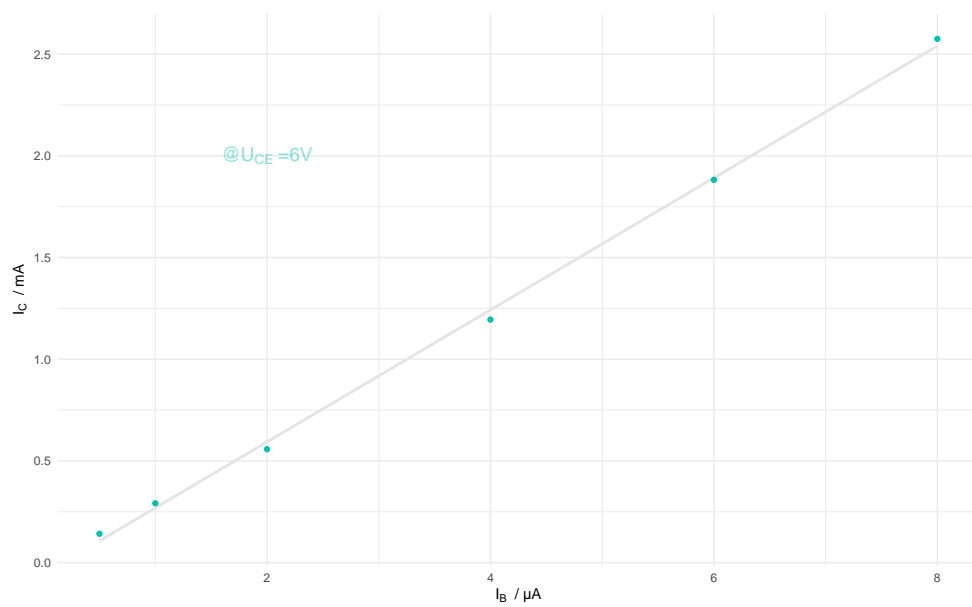


Abbildung 3: Stromübertragungskennlinie nach den Messungen aus Aufgabe 2