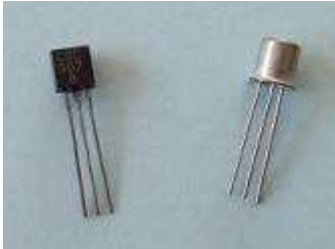


Transistor

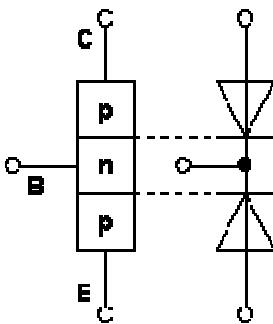


Normale Transistoren haben eine npn- oder pnp-Schichtenfolge und werden bipolare Transistoren genannt.

Bipolare Transistoren bestehen aus Silizium. Sie gibt es auch in Germanium(veraltet) oder aus Mischkristallen, die nicht sehr häufig verbreitet sind.

Alle weiteren Ausführungen beziehen sich auf den Silizium-Transistor mit npn-Schichtenfolge.

Jeder bipolare Transistor besteht aus drei dünnen Halbleiterschichten, die übereinander gelegt sind. Sie sind mit metallischen Anschlüssen versehen, die aus dem Gehäuse herausführen. Die Außenschichten des bipolaren Transistors werden Kollektor(C) und Emitter(E) genannt. Die mittlere Schicht hat die Bezeichnung Basis(B), und ist die Steuerelektrode, oder auch der Steuereingang des Transistors. Diese mittlere Schicht ist gegenüber den beiden anderen Schichten besonders dünn.



Das Schaltzeichen links wird gerne verwendet um den Prinzipaufbau des Transistors darzustellen: zwei gegeneinander geschaltete Halbleiterdioden.

Die Funktionsweise eines Transistors kann so in der Realität nicht nachgestellt werden. Der Grund liegt in dem veränderten Verhalten aufgrund der sehr dünnen p-Schicht des Transistors.

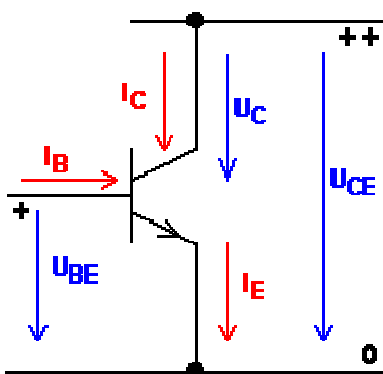
Funktionsweise eines Transistors

Durch das Anlegen einer Spannung U_{BE} von 0,7 V, ist die untere Diode(Prinzip) in Durchlassrichtung geschaltet. Die Elektronen gelangen in die p-Schicht und werden von dem Plus-Pol der Spannung U_{BE} angezogen.

Da die p-Schicht sehr klein ist, wird nur ein geringer Teil der Elektronen angezogen.

Der größte Teil der Elektronen bewegt sich weiter in die obere Grenzschicht. Dadurch wird diese leitend und der Plus-Pol der Spannung U_{CE} zieht die Elektronen an. Es fließt ein Kollektorstrom I_C .

Bei üblichen Transistoren rutschen etwa 99% der Elektronen von Emitter zum Kollektor durch. In der Basisschicht bleibt etwa 1% der Elektronen hängen.



Eigenschaften des bipolaren Transistors

U_{CE} = Kollektor-Emitter-Spannung

U_{BE} = Basis-Emitter-Spannung (Schwellwert)

I_C = Kollektorstrom

I_B = Basisstrom

Der Kollektorstrom I_C fließt nur, wenn auch ein Basisstrom I_B fließt.

Wird der Basisstrom I_B verändert, nimmt auch der Kollektorstrom I_C einen anderen Wert an. Der Transistor wirkt dabei wie ein elektrisch gesteuerter Widerstand.

Der Kollektorstrom I_C ist um ein vielfaches von 20 bis 10000 mal größer als der Basisstrom I_B . Diesen Größenunterschied nennt man Stromverstärkung B , und lässt sich aus dem Verhältnis I_C zu I_B berechnen.

- Ein Basisstrom kann erst dann fließen, wenn die Spannung an der Basis-Emitter-Strecke(-Diode) den Schwellwert von 0,6 V erreicht hat.
- Die Stromverstärkung bleibt bei schwankender Kollektor-Emitterspannung U_{CE} weithin konstant, sofern diese Spannung über 4 V liegt.
- Mittels einer Hilfsspannung U_{BE} kann der Schwellwert vorab eingestellt werden. Dieses Vorgehen wird als Arbeitseinstellung bezeichnet. Durch die eingestellte Spannung kann nun der Basisstrom den Kollektorstrom steuern.

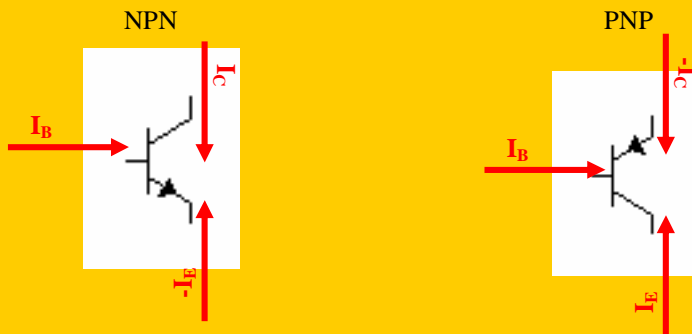
Transistor

Spannungsverteilung

Aufbau	Dotierungsfolge	Schaltzeichen und Potentialverteilung
Der NPN-Transistor besteht aus zwei N-leitenden Schichten. Dazwischen liegt eine dünne P-leitende Schicht.		
Der PNP-Transistor besteht aus zwei P-leitenden Schichten. Dazwischen liegt eine dünne N-leitende Schicht.		

Ströme und Spannungen

1. Kirchhoffsches Gesetz (Stromknotensatz)



$$\sum I = 0$$

$$0 = -I_E + I_C + I_B$$

$$I_E = I_C + I_B$$

2. Kirchhoffsches Gesetz (Maschensatz)



$$\sum U = 0$$

$$0 = U_{CE} - (U_{BE} + U_{CE})$$

$$U_{CE} = U_{BE} + U_{CB}$$

Transistor

Transistor-Kennlinienfelder

Bipolare Transistoren haben die Stromgrößen I_E , I_C , I_B und die Spannungsgrößen U_{CE} , U_{BE} , $U_{C(CB)}$. Die genauen Zusammenhänge zwischen diesen Werten werden in einem Vierquadrantenkennlinienfeld dargestellt. Für die Beschreibung des Transistors als Verstärker oder Schalter werden nur diese 4 Kennlinienfelder benötigt. Je nach Grundschaltung sehen diese Kennlinienfelder anders aus. Die Beschreibungen zu diesen Kennlinienfeldern beziehen sich auf die Emitttergrundschaltung.

Eingangskennlinienfeld $I_B = f(U_{BE})$

Die Eingangsgrößen der Emitterschaltung sind der Basisstrom I_B und die Basis-Emitter-Spannung U_{BE} . Der Zusammenhang zwischen diesen beiden Werten stellt die Durchlasskennlinie der pn-Schicht zwischen Basis und Emittter dar. Es handelt sich dabei um eine der beiden Diodenstrecken im Transistor. Die Kennlinie gibt jeweils für eine bestimmte Kollektor-Emitter-Spannung U_{CE} . Der Anstieg an einem bestimmten Punkt in der Kennlinie nennt man differentieller Eingangswiderstand r_{BE} . Der Widerstand r_{BE} ändert sich, wenn die Spannung U_{CE} nicht konstant ist, und bezieht sich auf einen bestimmten Arbeitspunkt.

Ausgangskennlinienfeld $I_C = f(U_{CE})$

Die Ausgangsgrößen der Emitterschaltung sind der Kollektorstrom I_C und die Kollektor-Emitter-Spannung U_{CE} . Der Zusammenhang zwischen diesen beiden Werten wird bei verschiedenen Basisströmen I_B angegeben.

Jede Kennlinie gilt für jeweils einen anderen Basisstrom I_B .

Der Anstieg an einem bestimmten Punkt in der Kennlinie nennt man differentieller Ausgangswiderstand r_{CE} .

Der Widerstand r_{CE} ändert sich, wenn der Strom I_B nicht konstant ist, und bezieht sich auf einen bestimmten Arbeitspunkt.

Stromsteuerkennlinienfeld $I_C = f(I_B)$

Die Stromsteuerkennlinie ergibt sich aus dem Zusammenhang von Kollektorstrom I_C und dem Basisstrom I_B . Die Stromsteuerkennlinie wird auch als Übertragungskennlinie bezeichnet.

Die Kennlinie gilt jeweils für eine bestimmte Kollektor-Emitter-Spannung U_{CE} . Die Charakteristik der Kennlinie ist anfangs nahezu linear und krümmt sich dann gegen Ende etwas.

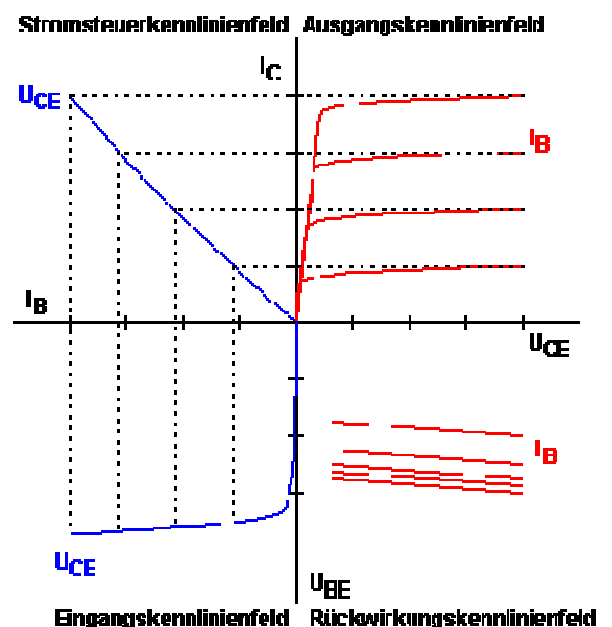
Aus der Steilheit der Kennlinie kann die Stromverstärkung B und β abgelesen werden. Je steiler die Kennlinie, desto größer die Stromverstärkung. Ist die Kennlinie stark gekrümmt, dann ist die Verstärkung nicht konstant. Dadurch entstehen Verzerrungen am Ausgang der Verstärkerschaltung.

Der Gleichstromverstärkungsfaktor B ergibt sich direkt aus dem Kollektorstrom I_C und dem Basisstrom I_B .

Rückwirkungskennlinienfeld

Die Rückwirkung vom Ausgang(Spannung U_{CE}) auf den Eingang(Spannung U_{BE}) wird im Rückwirkungskennlinienfeld dargestellt. Eine Änderung der Kollektor-Emitter-Spannung U_{CE} führt zu einer Änderung der Basis-Emitter-Spannung U_{BE} . Diese Rückwirkung sollte möglichst klein gehalten werden. Dies ist nicht durch schaltungstechnische Maßnahmen möglich. Einfluß hat nur der Transistor-Hersteller.

Die Rückwirkungskennlinie bezieht sich auf einen bestimmten Basisstrom I_B .



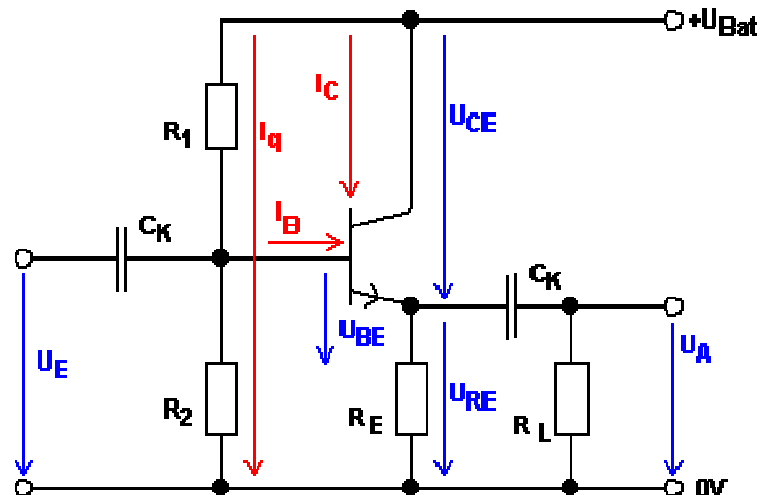
Das Maß für die Rückwirkung ist der differentielle Rückwirkungsfaktor D . Der Rückwirkungsfaktor D ändert sich, wenn der Basisstrom I_B nicht konstant ist, und bezieht sich auf einen bestimmten Arbeitspunkt

Transistor

Kollektorschaltung

In dieser Schaltung ist der Kollektoranschluß der Bezugspunkt für das Ein- und Ausgangssignal. Sie wird deswegen Kollektorschaltung oder auch Emitterfolger genannt.

Eine Phasenverschiebung zwischen der Eingangsspannung U_E und der Ausgangsspannung U_A tritt nicht auf. Über die Widerstände R_1 , R_2 und R_E wird der Arbeitspunkt eingestellt. Durch den Widerstand R_E wird der Arbeitspunkt immer mit Gegenkopplung stabilisiert.



Eingangswiderstand r_e

Die Kollektorschaltung hat einen großen Eingangswiderstand r_e , der sich durch die Widerstände R_1 , R_2 , R_E , R_L und der Wechselstromverstärkung β bildet.

$$r_e = \frac{\Delta U_B}{\Delta I_B}$$

Ausgangswiderstand r_a

Die Kollektorschaltung hat einen kleinen Ausgangswiderstand r_a .

$$r_a = \frac{\Delta U_A}{\Delta I_C}$$

Spannungsverstärkung v_U

Die Spannungsverstärkung v_U beträgt 1. Dadurch eignet sich die Kollektorschaltung besonders als Impedanzwandler zwischen hochohmigen Signalquellen und niederohmigen Verbrauchern.

$$v_U = \frac{\Delta U_A}{\Delta U_B}$$

Transistor

Emitterschaltung

Die Emitterschaltung ist eine Universal-Verstärkerschaltung, die im niederfrequenten Bereich zur Erzeugung sehr hoher Spannungsverstärkungen genutzt wird. Bei höheren Frequenzen macht sich die Frequenzabhängigkeit der Wechselspannungsverstärkung β und der Basis-Emitter-Widerstand r_{BE} bemerkbar.

Wird die Emitterschaltung mit dem Emitter-Widerstand R_E betrieben, so kann der Emitteranschluß als Ausgang genutzt werden. Die Ausgangsspannungen U_{A1} und U_{A2} sind gleich groß. Bei $R_C = R_E$ sind sie zueinander um 180° phasenverschoben.

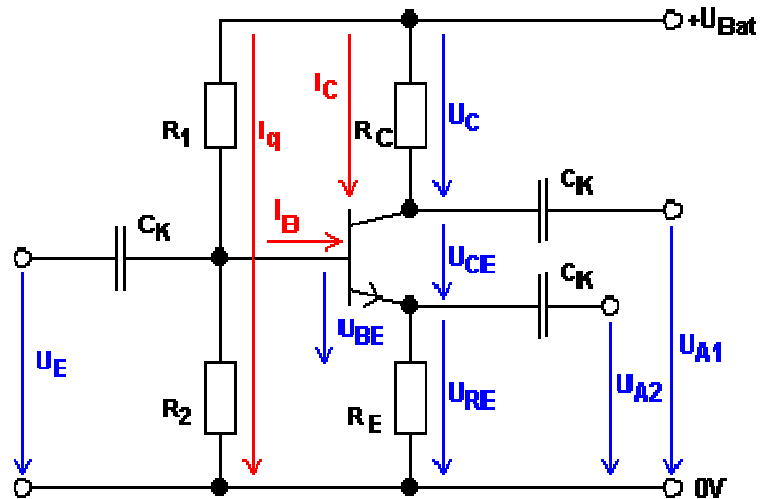
In dieser Schaltung ist der Emitteranschluß für das Ein- und Ausgangssignal der Bezugspunkt. Sie wird deshalb Emitterschaltung genannt.

Der Widerstand R_E wird nur zur thermischen Stabilisierung benötigt und hat für die Funktion der Emitterschaltung keine Bedeutung.

Über den Spannungsteiler R_1 und R_2 wird der Arbeitspunkt eingestellt. Dadurch erhält der Transistor die Basis-Emitterspannung $U_{BE} = 0,7 \text{ V}$.

Der Widerstand R_C begrenzt den Kollektorstrom I_C für den Transistor.

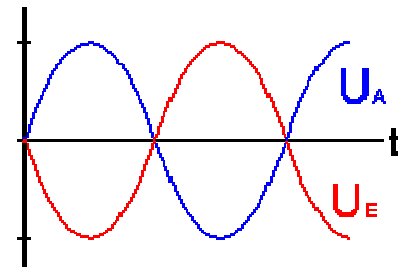
Die Koppelkondensatoren C_K trennen das Wechselstromsignal von der Gleichspannung.



Während des Betriebs der Schaltung bildet sich in der Schaltung eine Mischspannung; ein Gleichspannungsanteil wird vom Wechselspannungsanteil überlagert.

Es findet dabei eine Phasenverschiebung um 180° zwischen dem Eingangs- und Ausgangssignal statt.

Der Eingangswiderstand r_e und der Ausgangswiderstand r_a sind jeweils hochohmig



Kollektorwiderstand R_C

$$R_C = \frac{U_{Bat} - U_{CE}}{I_C}$$

Gleichstromverstärkung B

Der Transistor verstärkt den Gleichstromanteil der Eingangsspannung U_E . Die Gleichstromverstärkung beträgt $10 \dots 50$.

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

Querstrom I_q

Der Querstrom I_q wird etwa 3 bis 10 mal größer gewählt als der Basisstrom I_B .

$$I_q = 3 \dots 10 * I_B$$

Vorwiderstand R_1

$$R_1 = \frac{U_{Bat} - U_{BE}}{I_q + I_B}$$

Basis-Emitter-Widerstand R_B

$$R_2 = \frac{U_{BE}}{I_q}$$

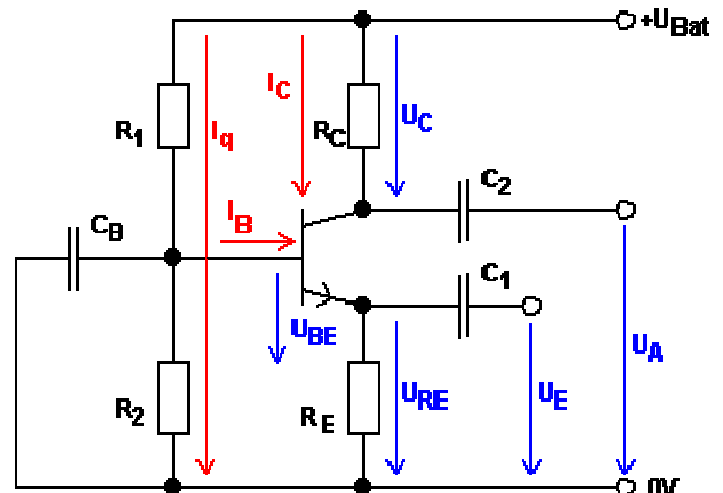
Anwendungen

- NF- und HF-Verstärker
- Leistungsverstärker
- Schalter

Transistor

Basisschaltung

In dieser Schaltung ist der Basisanschluß der Bezugspunkt für das Ein- und Ausgangssignal. Sie wird deswegen auch Basisschaltung genannt. Über den Kondensator C_B liegt der Basis-Anschluß des Transistors auf 0V. Die Kondensatoren C_1 und C_2 trennen das Signal von der Gleichspannung. Die Basisschaltung entspricht grundsätzlich der Emitterschaltung mit Stromgegenkopplung und der Arbeitspunkteinstellungen. Eine Phasenverschiebung zwischen Eingangsspannung U_E und Ausgangsspannung U_A tritt nicht auf.



Eingangswiderstand r_e

Der Eingangswiderstand r_e der Basisschaltung ist sehr klein.

$$r_e \approx \frac{r_{BE}}{\beta}$$

Ausgangswiderstand r_a

Der Ausgangswiderstand r_a der Basisschaltung ist hoch. Bei niederen Frequenzen entspricht er etwa dem Kollektorwiderstand R_C .

$$r_a \approx R_C$$

Spannungsverstärkung v_U

Die Basisschaltung hat eine hohe Spannungsverstärkung v_U von ca. 100 bis 1000. Sie entspricht der Emitterschaltung. Die Gleichstromverstärkung B beträgt ungefähr 1.

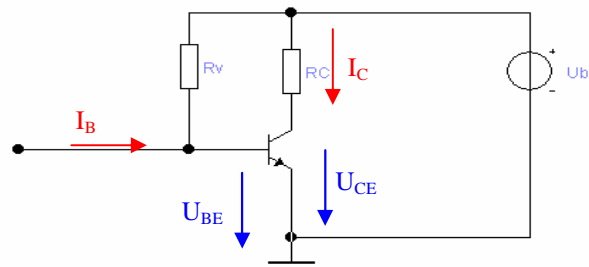
Anwendungen

Die Basisschaltung eignet sich für die Verstärkung von Hochfrequenzsignalen.

Transistor

Aufgaben zum bipolaren Transistor

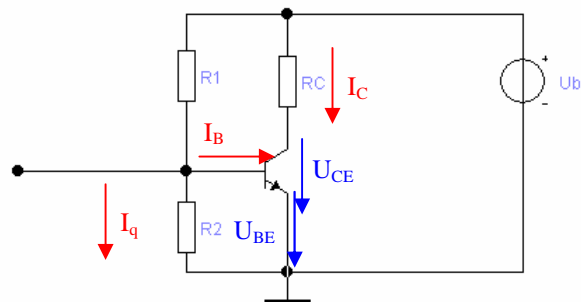
Ermitteln Sie aus dem Kennlinienfeld links bei $U_{CE} = 12V$ und $I_B = 20mA$ die fehlenden Werte für I_C und U_{BE} . Berechnen Sie danach das Gleichstromverhältnis.



Ein Transistor BC 107 in Emitterschaltung soll eine Basis-Emitterspannung $U_{BE} = 0,62$ Volt bei einem Basisstrom $I_B = 0,2$ mA durch einen Vorwiderstand R_V oder einen Betriebsspannungsteiler erhalten. Die Betriebsspannung beträgt $U_B = 16V$.

Wie groß ist der Basisvorwiderstand R_V ?

Wie groß sind die Widerstände R_1 und R_2 , wenn



Basisvorwiderstand:

$$R_V = \frac{U_B - U_{BE}}{I_B}$$

Basisspannungsteiler:

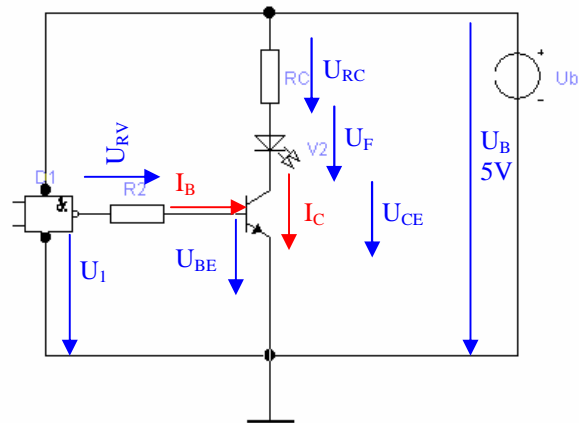
$$R_1 = \frac{U_B - U_{BE}}{I_q + I_B} \quad R_2 = \frac{U_{BE}}{I_q}$$

$$q = \frac{I_q}{I_B}$$

Transistor

Aufgaben zum bipolaren Transistor als Schalter

Die typische Ausgangsspannung eines NAND-Gatters beträgt bei 1-Signal $U_1 = 3,4$ Volt. Bei der Durchlassspannung $U_F = 1,65$ V beträgt der Strom durch die LED CQX 35 $I_F = 20$ mA. Der Transistor BC107 hat folgende Werte: $U_{be} = 0,65$ V, $B_{min} = 120$, $U_{cesat} = 0,2$ V. Bestimmen Sie aus der Reihe E12 : den Kollektorwiderstand, den Basisvorwiderstand R_V bei einem Übersteuerungsfaktor $\ddot{u} = 3$.



$$I_B = \frac{\ddot{u} \cdot I_C}{B_{min}}$$

$$I_B = \ddot{u} \cdot I_{B_{min}}$$

$$R_V = \frac{(U_1 - U_{BE}) \cdot B_{min}}{\ddot{u} \cdot I_C}$$

\ddot{u} = Übersteuerungsfaktor, I_B = Basisstrom, $I_{B_{min}}$ = min. erforderlicher Basisstrom an Übersteuerungsgrenze,
 B_{min} = min. Gleichstromverhältnis, I_C = Kollektorstrom, R_V = Basisvorwiderstand, U_1 = Eingangsspannung,
 U_{BE} = Basis-Emitter-Spannung

Transistor

1. Der Basisstrom eines Transistors beträgt $25\mu\text{A}$. Der Kollektorstrom ist mit $1,2\text{ mA}$ angegeben. Berechnen Sie den Emitterstrom!
2. Welcher Kollektorstrom stellt sich ein, wenn $I_B = 0,1\text{mA}$ und $I_E = 19,9\text{mA}$ betragen?
3. Laut Datenbuch soll die Basisvorspannung für einen Transistor $0,65\text{V}$ betragen. Sie wird mit einem Basisvorwiderstand eingestellt. Berechnen Sie die Größe des Widerstandes, wenn der Basisstrom mit $24\mu\text{A}$ und die Betriebsspannung mit 9V angegeben sind.
4. Bei dem Transistor BC 108 ist der Kollektorstrom mit 2mA angegeben. Die Gleichstromverstärkung B beträgt 290 . Berechnen Sie die Größe des Vorwiderstandes bei einer Betriebsspannung von 10V und einer Basis-Emitterspannung von $0,55\text{V}$.