

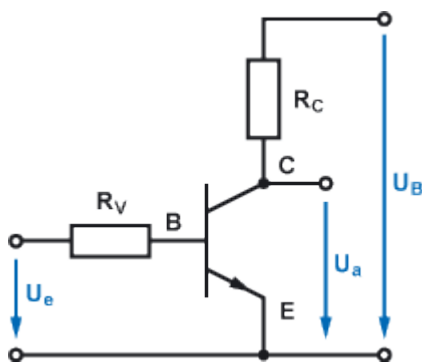
Emitterschaltung

Die Emitterschaltung ist eine Universal-Verstärkerschaltung, die im niederfrequenten Bereich (NF) zur Erzeugung sehr hoher Spannungsverstärkungen genutzt wird. Doch bei hohen Frequenzen macht sich die Frequenzabhängigkeit der Schaltung bemerkbar. Steigt die Frequenz, sinkt die Verstärkung. Aus diesem Grund wird die Emitterschaltung nur mit kleiner Spannungsverstärkung betrieben. Weil der Transistor temperaturabhängig ist und sich der Arbeitspunkt mit der Temperatur verändert, wird die Emitterschaltung mit Arbeitspunktstabilisierung durch Stromgegenkopplung betrieben.

Die Emitterschaltung wird gerne auch zur Ansteuerung von Gegentakt-Endstufen verwendet.

Hinweis: Diese Emitterschaltung ist die einfachste und auch gleich schlechteste Verstärkerschaltung.

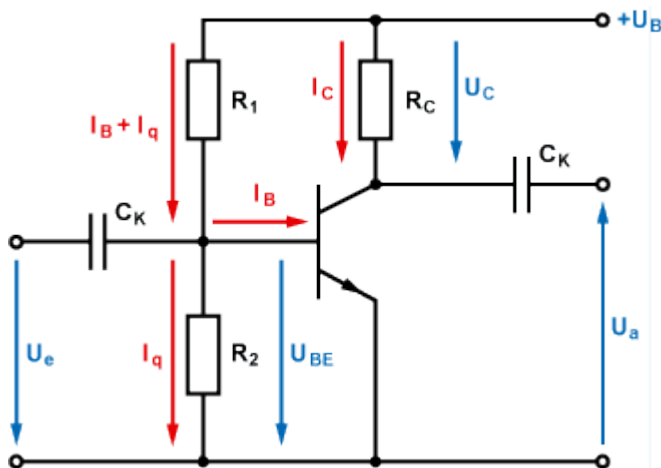
Grundschriftung



Die Emitterschaltung besteht im wesentlichen aus einem Transistor, dem Kollektorwiderstand R_c , der Eingangssignalquelle U_e mit dem Basis-Vorwiderstand R_v oder einem Spannungsteiler (R_1 und R_2) und der Betriebsspannung $+U_B$. Der Kollektoranschluss des Transistors ist der Ausgang für die Ausgangsspannung U_a . Der Emitteranschluss ist der gemeinsame Bezugspunkt von Eingangs- und Ausgangsspannung. Deshalb wird diese Schaltung Emitterschaltung genannt.

Hinweis zum Arbeitspunkt: Diesen kann man durch die Wahl von R_c und R_v optimieren in Funktion der Stromverstärkung (Exemplarstreuung und temperaturempfindlich), wenn die Umgebungstemperatur stabil ist. Die Kollektor-Emitterspannung ist davon abhängig.

Strom- und Spannungsverteilung



Die Wechsellspannung U_e wird über den Koppelkondensator C_K angelegt. Über den Spannungsteiler R_1 und R_2 wird der Arbeitspunkt eingestellt. Dadurch wird die Basis-Emitter-Spannung U_{BE} je nach Transistor auf 0,3 V (Germanium) oder 0,6 V (Silizium) eingestellt.

Der Widerstand R_C ist maßgeblich an der maximalen Spannungsverstärkung beteiligt. Und er begrenzt den Kollektorstrom I_C für den Transistor.

Die Koppelkondensatoren C_K trennen das Wechselstromsignal von der Gleichspannung. Das verstärkte Signal wird über einen weiteren Koppelkondensator C_K als Wechsellspannung U_a ausgegeben. Dabei muss man beachten, dass Eingangs- und Ausgangsspannung zueinander in der Phase um 180° verdreht sind.

Wichtig, Eingangs- und Ausgangsspannung sind **nicht phasenverschoben**, wie es in anderer Literatur zur Emitterschaltung geschrieben steht. Bei dieser Phasenverdrehung von 180° handelt es sich um eine Inversion oder Invertierung. Eine Phasenverschiebung tritt nur bei höheren Frequenzen auf, wenn der Miller-Effekt zum Wirken kommt (frequenzabhängige Phasenverschiebung).

• Amplifier-Attenuator mit symmetrischem Ausgang: Ab Kapitel "Phasenverschiebung oder Inversion, das ist hier die Frage..." (Illustration mit Bild 5)

Funktion der Koppelkondensatoren C_K

Wird Wechsellspannung verstärkt, so muss die Schaltung über die Koppelkondensatoren C_K mit der Signalquelle und der Last verbunden werden. Über die Koppelkondensatoren fließt kein Gleichstrom. Damit hat die Signalquelle bzw. Last keinen Einfluss auf den Arbeitspunkt. Die Spannungen des Arbeitspunktes lassen sich so unabhängig von den Gleichspannungen der Signalquelle und Last wählen.

Der Koppelkondensator C_k am Ausgang bildet mit dem nachfolgendem Lastwiderstand einen Hochpass. Der Koppelkondensator C_k am Eingang bildet mit dem Eingangswiderstand der Verstärkerschaltung, der sich zur Hauptsache aus dem Parallelwiderstandswert aus R_1 und R_2 ergibt, einen Hochpass. Die Koppelkondensatoren müssen so dimensioniert werden, dass die kleinste Frequenz des zu übertragenden Signals noch durch den Hochpass hindurch kommt. Gleichspannungen (0 Hz) gelangen nicht hindurch.

Formel zur Berechnung der Gleichstromverstärkung B

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

Die Emitterschaltung verstärkt den Gleichstromanteil der Eingangsspannung U_e . Die Gleichstromverstärkung beträgt 10...50.

Wechselstromverstärkung β

Häufig sind die Gleichstromverstärkung und die Wechselstromverstärkung ähnlich. Daher wird in den Transistor-Datenblättern nur die Gleichstromverstärkung angegeben.

Arbeitspunkteinstellung bei der Emitterschaltung

Damit die Emitterschaltung richtig funktioniert, müssen Spannungs- und Stromwerte richtig eingestellt sein. Dabei müssen die Kollektor- und Basisstromwerte des Transistors beachtet werden. Generell unterscheidet man zwischen zwei Möglichkeiten der Arbeitspunkteinstellung.

- Arbeitspunkteinstellung mit Basis-Vorwiderstand
- Arbeitspunkteinstellung mit Basis-Spannungsteiler

Arbeitspunktstabilisierung bei der Emitterschaltung

Alle Transistorwerte sind temperaturabhängig. Das bedeutet, auch der Arbeitspunkt des Transistors ist temperaturabhängig. Je nach Anwendung des Transistors und Ort des Betriebs, kann die Temperatur auf die Emitterschaltung einwirken und den Arbeitspunkt verschieben. Das Verschieben des Arbeitspunktes führt am Ausgang der Emitterschaltung zu nichtlinearen Verzerrungen.

In der Regel nimmt bei steigender Temperatur der Kollektorstrom I_C zu. Um dem entgegen zu wirken verkleinert man die Basis-Emitter-Spannung U_{BE} und

verhindert so den Anstieg des Kollektorstroms I_c . Die Schwierigkeit ist, die Basis-Emitter-Spannung U_{BE} so zu verkleinern bzw. zu vergrößern, dass eine Arbeitspunktstabilisierung eintritt.

Bei der Arbeitspunktstabilisierung unterscheidet man zwischen Temperaturkompensation und Gegenkopplung.

•Stabilisierung mit Temperaturkompensation

- Temperaturkompensation mit einem Heißleiter
- Temperaturkompensation mit einer Diode

•Stabilisierung durch Gegenkopplung

- Emitterschaltung mit Stromgegenkopplung
- Emitterschaltung mit Spannungsgegenkopplung

Der Arbeitspunkt wird dann stabiler, wenn die Stromgegenkopplung mit einem Emitter-Widerstand ins Spiel kommt. Es findet ein Regelprozess statt, der dazu führt, dass u.a. die nichtlineare Verzerrung reduziert wird.

Anwendungen der Emitterschaltung

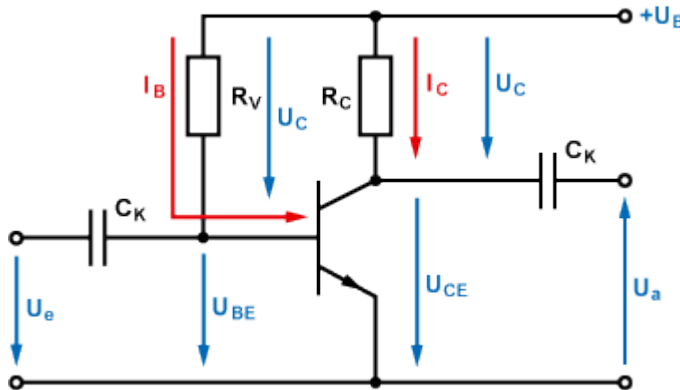
- NF- und HF-Verstärker
- Leistungsverstärker
- Transistor als Schalter

Übersicht: Die Emitterschaltung im Vergleich

Schaltung	Emitterschaltung	Basisschaltung	Kollektorschaltung
Eingangswiderstand r_e	100 Ω ... 10 k Ω	10 Ω ... 100 Ω	10 k Ω ... 100 k Ω
Ausgangswiderstand r_a	1 k Ω ... 10 k Ω	10 k Ω ... 100 k Ω	10 Ω ... 100 Ω
Spannungsverstärkung V_u	20 ... 100 fach	100 ... 1000 fach	≤ 1
Gleichstromverstärkung B	10 ... 50 fach	≤ 1	10 ... 4000 fach
Phasendrehung	180°	0°	0°
Temperaturabhängigkeit	groß	klein	klein
Leistungsverstärkung V_p	sehr groß	mittel	klein
Grenzfrequenz f_g	niedrig	hoch	niedrig
Anwendungen	NF- und HF-Verstärker Leistungsverstärker Schalter	HF-Verstärker	Anpassungsstufen Impedanzwandler

Arbeitspunkteinstellung mit Basis-Vorwiderstand

Damit die Emitterschaltung richtig funktioniert, müssen Spannungs- und Stromwerte richtig eingestellt werden. Dabei müssen die Kollektor- und Basisstromwerte des Transistors beachtet werden. Ein Vorwiderstand an der Basis des Transistors ist eine Möglichkeit der Arbeitspunkteinstellung.



Der Arbeitspunkt wird durch den Basisstrom I_B festgelegt. Der Vorwiderstand R_V bestimmt den Basisstrom I_B . Da der Vorwiderstand R_V in der Regel sehr hochohmig ist, wird bei Erwärmung des Transistors der Basisstrom I_B konstant bleiben. Der Basis-Vorwiderstand R_V stellt zusammen mit dem Durchlasswiderstand der Basis-Emitter-Strecke einen Spannungsteiler dar. Die Arbeitspunkteinstellung mit Basis-Vorwiderstand eignet sich vor allem für Vorverstärker. Vorausgesetzt, es werden keine hohen Anforderungen an die Arbeitspunktstabilität gestellt.

Ein typischer Anwendungsfall ist ein Mikrofonverstärker. Hierbei muss man beachten, dass das Mikrofon nur eine sehr niedrige Spannung mit maximal wenigen 10 mV liefern darf, weil sonst die lästigen nichtlinearen Verzerrung leicht hörbar werden. Wichtig sind dabei die beiden Koppelkondensatoren C_K am Eingang und am Ausgang der Schaltung.

Funktion der

Koppelkondensatoren C_k

Wird eine Wechselspannung verstärkt, so muss die Schaltung über die Koppelkondensatoren C_k mit der Signalquelle und der Last verbunden werden. Über die Koppelkondensatoren fließt kein Gleichstrom. Damit hat die Signalquelle bzw. Last keinen Einfluss auf den Arbeitspunkt. Die Spannungen des Arbeitspunktes lassen sich so unabhängig von den Gleichspannungen der Signalquelle und Last wählen.

Der Koppelkondensator C_k am Ausgang bildet mit dem Eingangswiderstand der Last einen Hochpass.

Die Koppelkondensatoren müssen so dimensioniert werden, dass die kleinste Frequenz des zu übertragenden Signals noch durch den Hochpass hindurch kommt. Gleichspannungen (0 Hz) gelangen nicht hindurch.

Formel zur Berechnung des Kollektorwiderstandes R_C

$$R_C = \frac{U_B - U_{CE} - U_{RE}}{I_C}$$

Die Werte für den Kollektorstrom I_C und die Kollektor-Emitter-Spannung U_{CE} werden durch die Anwendung oder die Nutzung der Emitterschaltung festgelegt.

Wenn die Emitterschaltung keinen Emitterwiderstand hat, dann beträgt die Emitterspannung U_{RE} 0 V.

Formel zur Berechnung des Basisstroms I_B

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

Der Basisstrom I_B wird aus dem Ausgangskennlinienfeld (unter Berücksichtigung von I_C und U_{CE}) entnommen oder bei gegebener Gleichstromverstärkung B berechnet. Dabei muss man beachten, dass die Gleichstromverstärkung B temperaturabhängig ist.

Formeln zur Berechnung des Basis-Vorwiderstandes R_V

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

$$R_V = \frac{U_B}{I_B} \quad (\text{vereinfacht})$$

Die Basis-Emitter-Spannung U_{BE} wird aus dem Eingangskennlinienfeld für I_B ermittelt. Sie liegt je nach Transistor bei 0,3 V (Germanium) oder 0,6...0,7 V (Silizium). Bei ausreichend großer Betriebsspannung U_B hat die Basis-Emitter-Spannung U_{BE} kaum Einfluss bei der Berechnung des Vorwiderstandes R_V .

Frequenzabhängigkeit

Bei hohen Frequenzen macht sich die Frequenzabhängigkeit der differentiellen Stromverstärkung β , die sich auf die Spannungsverstärkung auswirkt, durch den Vorwiderstand R_V , Basis-Emitter-Widerstand r_{BE} und ausgeprägt durch die Kollektor-Basis-Kapazität, die man auch als Millerkapazität bezeichnet, bemerkbar.

Vorteile

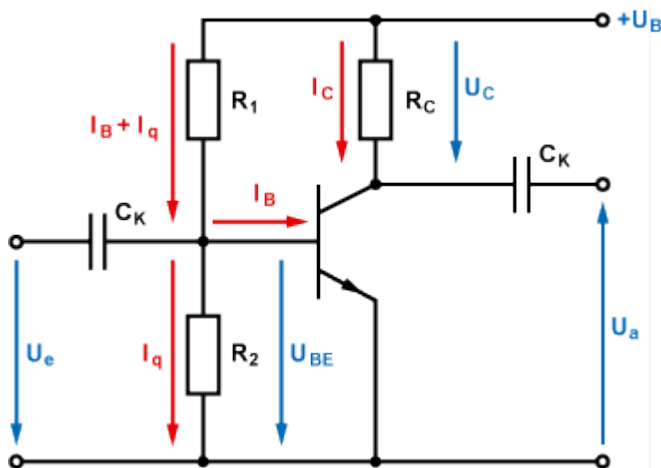
- Wenn die Stromverstärkung B bekannt ist, dann lässt sich die Schaltung zuverlässig dimensionieren. Es ist jedoch die Exemplantreuung der Gleichstromverstärkung B zu beachten.
- Ist die Betriebsspannung U_B groß genug, dann hängt der Basisstrom I_B im wesentlichen von der Betriebsspannung U_B und dem Vorwiderstand R_V ab.
- Die Temperaturabhängigkeit der Basis-Emitter-Spannung U_{BE} hat nur einen geringen Einfluss auf den Arbeitspunkt.
- Der Vorwiderstand R_V hat keinen nennenswerten Einfluss auf den Eingangswiderstand der Schaltung.

Nachteile

- Bei großer Exemplantreuung der Gleichstromverstärkung B muss der Arbeitspunkt durch einen veränderbaren Vorwiderstand R_V eingestellt werden.
- Die Temperaturabhängigkeit der Gleichstromverstärkung B hat direkten Einfluss auf die Arbeitspunktstabilität.

Arbeitspunkteinstellung mit Basis-Spannungsteiler

Damit die Emitterschaltung richtig funktioniert, müssen Spannungs- und Stromwerte richtig eingestellt werden. Dabei müssen die Kollektor- und Basisstromwerte des Transistors beachtet werden. Ein Spannungsteiler an der Basis des Transistors ist eine Möglichkeit der Arbeitspunkteinstellung.

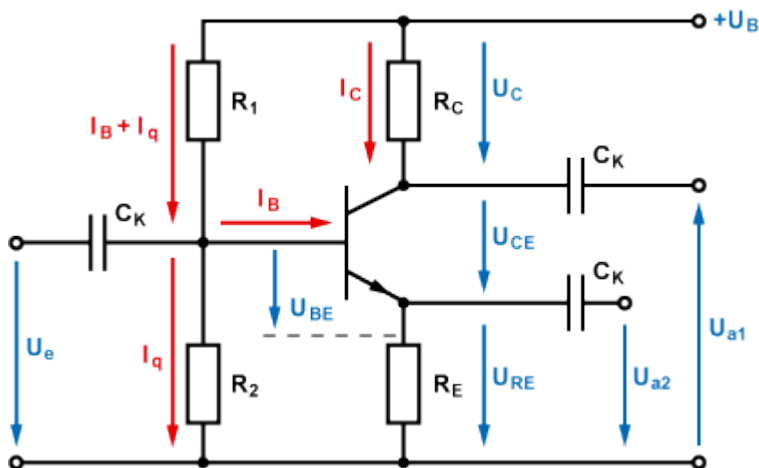


Bei der Arbeitspunkteinstellung mit Spannungsteiler wird dem Transistor ein Spannungsteiler aus mindestens 2 Widerständen vorgeschaltet. Der Spannungsteiler aus R_1 und R_2 muss so dimensioniert werden, dass am Widerstand R_2 die Basis-Emitter-Spannung U_{BE} je nach Transistor von 0,3 V (Germanium) oder 0,6...0,7 V (Silizium) anliegt.

Der Basis-Spannungsteiler senkt den Eingangswiderstand r_e der Schaltung, was nicht gewünscht ist. Im Regelfall ist ein hoher Eingangswiderstand bei z.B. dieser Verstärkerschaltung von Vorteil. Deshalb bestehen solche Verstärkerschaltungen häufig aus mehreren Stufen.

Wegen der Exemplarstreuung bei den Transistoren und der Toleranz der Widerstände ist es schwer, den vorausberechneten Arbeitspunkt exakt einzustellen. Daher empfiehlt es sich für R_1 und R_2 einen regelbaren Widerstand zu verwenden, um den Arbeitspunkt beim Abgleich fein einstellen zu können.

Emitterschaltung mit Gleichstromgegenkopplung



Mit dem Basis-Spannungsteiler wird allerdings nur der Arbeitspunkt eingestellt. Er sollte stabil bleiben. Ein Problem ist dabei, dass die Basis-Emitter-Spannung U_{BE} temperaturabhängig ist.

Die Basis-Emitter-Strecke des Transistors ist eine Diode und hat einen eigenen Widerstand, der temperaturabhängig ist. Dieser ist aber typischerweise extrem niederohmig, wie bei einer normalen Diode. Doch was bedeutet das?

Wie bei einer normalen Diode ändert sich die Flussspannung. Diese beträgt bei Silizium etwa 600 bis 700 mV bzw. 0,6 bis 0,7 V. Die Temperaturdrift liegt dabei sehr linear bei etwa -2 mV/K (hier identisch mit -2 mV/°C). Bei einer Temperaturänderung von 30 °C sind das -60 mV. Das ist etwa 10 % von U_{BE} und das wirkt sich deutlich auf die Stromverstärkung aus. Das bedeutet, je niedriger U_{BE} durch eine Temperaturerhöhung, um so höher ist die Stromverstärkung und in der Folge auch der Kollektorstrom.

Der Widerstand von Halbleitern wird mit steigender Temperatur kleiner. Dadurch erhöht sich der Stromfluss in der Basis-Emitter-Strecke und damit verschiebt sich auch der Arbeitspunkt. Deshalb wählt man einen 3 bis 10-mal größeren Basisstrom im Spannungsteiler. So wird die Arbeitspunktverschiebung weitestgehend vermieden.

Doch dadurch stimmt der Arbeitspunkt nur bei bestimmten Temperaturen. Jede Temperaturänderung verändert den Arbeitspunkt. Es ist zusätzlich eine Arbeitspunktstabilisierung notwendig. Beispielsweise durch eine Gleichstromgegenkopplung. Hier wird ein Widerstand zwischen Emitteranschluss und Masse geschaltet. Der Widerstand wird als Emitterwiderstand R_E bezeichnet.

- [Mehr zum Emitterwiderstand in "Emitterschaltung mit Stromgegenkopplung"](#)

Einfluss der Betriebsspannung U_B auf den Arbeitspunkt

Beim Thema Arbeitspunktstabilisierung ist auch ein Wort über die Betriebsspannung U_B zu verlieren. Denn die spielt eine große Rolle. Wer eine Festspannungsquelle oder eine andere stabilisierte Spannungsquelle verwendet, der dürfte weniger Probleme haben. Problematisch ist eine Spannung aus einer Batterie oder einem Akkus. Hier muss man berücksichtigen, dass die Batteriespannung im Laufe der Entladung auf den halben Wert ihrer Nennspannung sinken kann. So verschiebt sich auch der Arbeitspunkt mit sinkender Nennspannung. In der Regel legt man den Arbeitspunkt auf 3/4 der Betriebsspannung fest. Bei voll geladener oder fast entladener Batterie liegt er dann eben nicht ganz optimal.

Formel zur Berechnung des Kollektorwiderstandes R_C

$$R_C = \frac{U_B - U_{CE} - U_{RE}}{I_C}$$

Die Werte für den Kollektorstrom I_C und die Kollektor-Emitter-Spannung U_{CE} werden durch die Anwendung oder die Nutzung der Emitterschaltung festgelegt.

Wenn die Emitterschaltung keinen Emitterwiderstand hat, dann beträgt die Emitterspannung U_{RE} 0 V.

Formel zur Berechnung des Basisstroms I_B

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

Der Basisstrom I_B kann aus dem Ausgangskennlinienfeld mit Kollektorstrom I_C und Kollektor-Emitter-Spannung U_{CE} ermittelt werden oder bei bekannter Gleichstromverstärkung B (aus dem Datenblatt) berechnet werden.

Formel zur Berechnung des Querstroms I_q

$$I_q = 3...10 \cdot I_B$$

Der Basis-Spannungsteiler wird so niederohmig gemacht, dass sich die Basis-Emitter-Spannung U_{BE} kaum ändert, wenn sich der Basisstrom I_B ändert. Das hat zur Folge, dass der Basisstrom I_B im Verhältnis zum Querstrom I_q des Basis-Spannungsteilers sehr klein ist. Der Querstrom I_q muss zwischen 3 bis 10 mal so groß sein wie der Basisstrom I_B . Der Faktor 5, 6 oder 7 ist eine gute Mitte.

Formeln zur Berechnung des Widerstandes R₁

$$R_C = \frac{U_B - U_{CE} - U_{RE}}{I_C}$$

Die Basis-Emitter-Spannung U_{BE} muss aus dem Eingangskennlinienfeld ermittelt werden. Oder man geht je nach Transistor von 0,3 V (Germanium) oder 0,6...0,7 V (Silizium) aus. Bei einer rein mathematischen Berechnung ist der Wert der Basis-Emitter-Spannung U_{BE} nicht so wichtig. Soll jedoch eine Emitterschaltung für eine echte Anwendungen dimensioniert werden, dann muss die Einstellung der Basis-Emitter-Spannung U_{BE} sehr genau erfolgen. Schon eine geringe Fehleinstellung führt zu einer starken Arbeitspunktabweichung.

Für die praktische Berechnung von R_1 genügt es, wenn man nur I_q berücksichtigt und I_B vernachlässigt. Die Stromverstärkung bei Kleinsignal-Transistoren ist sowieso grösser als 100 für DC- und AC-Anwendungen im unteren Frequenzbereich.

Formeln zur Berechnung des Widerstandes R₂

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

Der Spannungsteiler aus R_1 und R_2 muss so dimensioniert werden, dass am Widerstand R_2 die Basis-Emitter-Spannung U_{BE} je nach Transistor von 0,3 V (Germanium) oder 0,6...0,7 V (Silizium) plus die Spannung, die über den Widerstand R_E anliegt.

Wenn die Emitterschaltung keinen Emitterwiderstand hat, dann beträgt die Emitterspannung U_{RE} 0 V.

Abgleichvorgang

Nach jeder Berechnung und dem anschließenden Aufbau muss vor der Inbetriebnahme der Emitterschaltung mit Spannungsteiler ein Abgleich erfolgen. Das heißt, die Toleranzen bei der Berechnung und echten Bauteile müssen ausgeglichen werden. Dazu schließt man die Emitterschaltung an die Betriebsspannung U_B an. Der Eingang bleibt unbeschaltet. Mit einem Vielfachmessgerät misst man die Spannung zwischen Kollektor und Masse (0 V). Optimal ist es, wenn man in Reihe zum Widerstand R_1 ein Potentiometer schaltet. Dann kann man das Potentiometer so einstellen, dass das Messgerät halbe Betriebsspannung anzeigt. Dann ist der Arbeitspunkt gleichspannungsmäßig optimal eingestellt. Das ermöglicht eine symmetrische Aussteuerung einer ausgangsseitigen Wechselspannung mit einer maximal möglichen Amplitude.

Ergänzender Hinweis: Was bei dieser Anwendung wirklich interessiert, ist die Gleichspannungseinstellung. Die ist dann optimal, wenn eine Wechselspannung am Ausgang symmetrisch angesteuert werden kann. Das bedeutet, man erhöht am Eingang eine Sinus- oder Dreiecksspannung und beobachtet am Oszilloskop das Ansteigen der Ausgangsspannung. Wenn dann gleichzeitig die Wechselspannung an der maximal möglichen positiven Spannung und in GND-Nähe begrenzt wird, ist die maximale Aussteuerbarkeit der Amplitude erreicht bzw. schon überschritten.

Anwendbarkeit der Emitterschaltung mit Basis-Spannungsteiler

Eine Schaltung wie diese (einstufig) eignet sich in der Praxis nur für eine niedrige Spannungsverstärkung. Bedingt durch das Verhältnis von R_C zu R_E . Dies hat den Vorteil, dass die Schaltung durch eine relativ gute Stromgegenkopplung zweckorientiert ausreichend stabil ist.

Wenn man nur AC-Spannungen verstärken will, kann man, so wie diese Schaltung ist, es bei gleich niedriger DC-Verstärkung belassen, zum Wohle der guten Stromgegenkopplung. Man schaltet parallel zu R_E ein zusätzliches RC-Glied, das dann dafür sorgt, dass die Schaltung im AC-Bereich deutlich höher verstärkt. Natürlich mit einer Frequenzbandbreite, deren unteres Ende durch die RC-Grenzfrequenz bestimmt wird. Das obere Ende wird durch die Dimensionierung der gesamten Schaltung bestimmt. Hierbei kommen Basis- und Kollektorstrom ins Spiel und mit der so genannten Miller-Kapazität zwischen Kollektor und Basis.

Arbeitspunktstabilisierung bei der Emitterschaltung (ohne Emitterwiderstand R_E)

Alle Transistorwerte sind temperaturabhängig. Das bedeutet, auch der Arbeitspunkt des Transistors ist temperaturabhängig. Je nach Anwendung des Transistors und Ort des Betriebs, kann die Temperatur auf die Emitterschaltung einwirken und den Arbeitspunkt verschieben. Das Verschieben des Arbeitspunktes führt am Ausgang der Emitterschaltung zu nichtlinearen Verzerrungen.

In der Regel nimmt bei steigender Temperatur der Kollektorstrom I_C zu. Um dem entgegenzuwirken verkleinert man die Basis-Emitter-Spannung U_{BE} und verhindert so den Anstieg des Kollektorstroms I_C . Die Schwierigkeit ist, die Basis-Emitter-Spannung U_{BE} so zu verkleinern bzw. zu vergrößern, dass eine Arbeitspunktstabilisierung eintritt.

Bei der Arbeitspunktstabilisierung unterscheidet man zwischen Temperaturkompensation und Gegenkopplung.

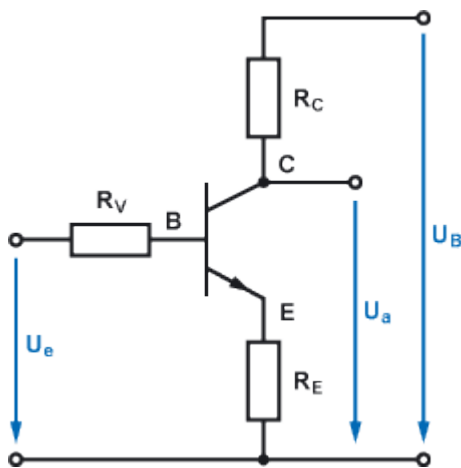
•Stabilisierung mit Temperaturkompensation

- Temperaturkompensation mit einem Heißleiter
- Temperaturkompensation mit einer Diode

Emitterschaltung mit Stromgegenkopplung

Eine einfache Emitterschaltung leidet unter Temperaturabhängigkeit. Das heißt, erhöht sich die Temperatur im Transistor, führt das zu einem Anstieg des Kollektorstroms I_C . Dabei verschiebt sich der Arbeitspunkt, den man vorher sauber berechnet und eingestellt hat. Und auf einmal stimmt in der Schaltung nichts mehr. Deshalb findet man eine reine Emitterschaltung (ohne Emitterwiderstand) selten vor.

Man löst das Problem mit der Temperaturabhängigkeit dadurch, dass man bei steigender Temperatur die Basis-Emitter-Spannung U_{BE} durch eine schaltungstechnische Maßnahme verkleinert und so den Anstieg des Kollektorstroms I_C verhindert. Mit Hilfe eines Widerstandes zwischen Emitter und Masse (0 V) wird die Arbeitspunktstabilisierung hergestellt. Dieser Widerstand wird als Emitterwiderstand R_E bezeichnet.

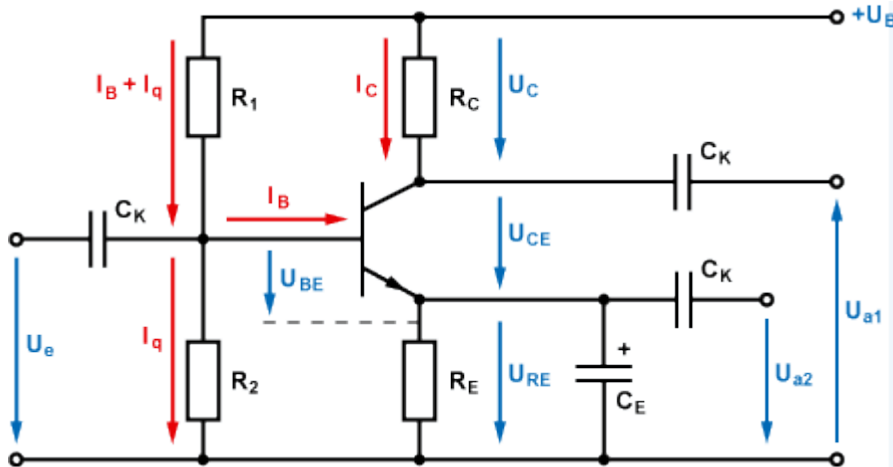


Wird die Emitterschaltung mit dem Emitterwiderstand R_E betrieben, spricht man von Gleichstromgegenkopplung oder nur Stromgegenkopplung. Bei der Stromgegenkopplung geht es darum, dem Anstieg des Kollektorstroms bei ansteigender Temperatur im Transistor entgegenzuwirken.

Der Emitterwiderstand R_E ist massgeblich an einem wesentlich höheren Eingangswiderstand zwischen Basis und GND beteiligt. Er befindet sich funktionell in Reihe zum Basis-Emitter-Widerstand r_{BE} . Dieser Eingangswiderstand bildet sich aus der Multiplikation von Emitterwiderstand R_E und Wechselstromverstärkung β .

Der Emitterwiderstand R_E wirkt auch als Signalgegenkopplung. Vernachlässigt man die Leerlaufverstärkung bildet sich die durch R_E gegengekoppelte Verstärkung aus R_C/R_E .

Strom- und Spannungsverteilung



Betreibt man die Emitterschaltung mit Emitterwiderstand (ohne Emitterkondensator C_E), dann kann der Emitter als zusätzlicher Ausgang benutzt werden. Die Ausgangsspannungen U_{a1} und U_{a2} sind gleich groß, wenn der Emitterwiderstand R_E und der Kollektorwiderstand R_C gleich groß sind. Hinweis: Die Ausgangsspannungen U_{a1} und U_{a2} sind gegeneinander um 180° in der Phase gedreht (nicht phasenverschoben).

Wie wirkt sich der Emitterwiderstand R_E auf die Schaltung aus?

Eine einfache Emitterschaltung leidet unter Temperaturabhängigkeit, was die Erwärmung des Transistors als Ursache hat. Die Erwärmung des Transistors führt zu einem Anstieg des Basisstroms I_B . Das hat den Anstieg des Kollektorstroms I_C zur Folge. Dabei erhöht sich auch der Emitterstrom I_E . Das heißt, durch den Emitterwiderstand R_E fließt ein größerer Strom I_E . Nach dem Ohmschen Gesetz fällt dort eine größere Spannung U_{RE} ab. Dadurch wird die Basis-Emitter-Spannung U_{BE} kleiner. Dadurch wird auch der Basisstrom I_B kleiner. Wodurch sich auch der Kollektorstrom I_C und der Emitterstrom I_E verringern. Am Emitterwiderstand R_E fällt eine kleinere Spannung U_{RE} ab. Die Basis-Emitter-Spannung U_{BE} wird dadurch wieder etwas größer. Dem Kollektorstromanstieg wird also entgegengewirkt. Dadurch bleibt der Kollektorstrom weitestgehend konstant und der Arbeitspunkt des Transistors stabil.

Diese automatische Regelung tritt bei jeder Stromänderung im Transistor auf. Dieser Regelkreis arbeitet selbständig und wird als Stromgegenkopplung bzw. Gleichstromgegenkopplung bezeichnet.

Formel zur Berechnung des Emitterstroms I_E

$$I_E = I_C + I_B$$

$$I_E \approx I_C \text{ (vereinfacht)}$$

Wichtiger Hinweis: Der Emitterstrom I_E beträgt ungefähr so viel wie der Kollektorstrom I_C . Nur wer pingelig ist berechnet I_E aus $I_C + I_B$. Der Grund, der I_B ist gegenüber I_C verhältnismäßig klein und kann somit "fast" vernachlässigt werden. Es stört wenig, wenn zum Kollektorstrom mit 100 mA noch 0,5 mA Basisstrom dazukommt, also der Emitterstrom I_E 100,5 mA beträgt. Der Unterschied zwischen I_C und I_E ist wegen dem geringen Basisstrom minimal. In der Praxis ist die Toleranz und die Schrittweite (E-Reihe) der Widerstände und deren Einfluss auf die Stromwerte um ein Vielfaches größer.

Dimensionierung des Emitterwiderstandes R_E

Der Emitterwiderstand R_E bestimmt die Güte der Stabilisierung. Je größer der Emitterwiderstand R_E , desto stabiler ist der Arbeitspunkt. Die üblichen Werte für den Emitterwiderstand R_E liegen zwischen 10 Ohm und 1 kOhm. Man orientiert sich dabei am Basis-Emitter-Widerstand r_{BE} des Transistors. Dessen Wert ermittelt man am besten aus dem Transistor-Datenblatt.

$$R_E \approx r_{BE}$$

Bei einem sehr großen Emitterwiderstand R_E kommt es schon bei einem sehr kleinen Stromanstieg zu einem Absinken der Basis-Emitter-Spannung U_{BE} . Aber, der Arbeitspunkt ist erst stabil, wenn auch Kollektorstrom I_C und Kollektorspannung U_C stabil sind. Wenn der Kollektorwiderstand R_C sehr groß ist, dann kann schon eine kleine Änderung des Kollektorstroms I_C zu einer großen Änderung der Kollektorspannung U_C führen.

Funktion des Emitterkondensators C_E

Üblicherweise wird die Emitterschaltung immer mit Stromgegenkopplung betrieben und dabei ein Kondensator parallel zum Emitterwiderstand R_E geschaltet. Der Grund: Wenn der Emitterwiderstand R_E einer Kollektorstromänderung durch thermische Einflüsse entgegenwirkt, wirkt er natürlich auch einer Kollektorstromänderung durch das Eingangssignal U_e entgegen. Der Emitterkondensator C_E führt zu dem Effekt, dass er alle Wechselspannungen kurzschließt, die das Eingangssignal U_e am Emitter erzeugen würde.

Der Emitterkondensator C_E ist als Wechselstromwiderstand (kapazitiver Blindwiderstand X_C) zu verstehen, der parallel zum Emitterwiderstand R_E liegt. Bei einer Parallelschaltung von zwei Widerständen ist der Gesamtwiderstand kleiner als der kleinste Teilwiderstand. Da der Kondensator frequenzabhängig ist, heißt das, je höher die Frequenz, desto niedriger ist sein Widerstand

(kapazitiver Blindwiderstand X_C). Durch den kleineren Widerstandswert des Emitterkondensators C_E (X_C) wird der Emitterwiderstand R_E wechselstrommäßig kurzgeschlossen. Anders ausgedrückt, für den Wechselstrom ist der Emitterwiderstand R_E bzw. der Widerstand durch die Parallelschaltung aus Emitterwiderstand R_E und Emitterkondensator C_E sehr klein. Die Verstärkung steigt an.

Vereinfacht ausgedrückt führt der Kondensator C_E zu einem wechselstrommäßigen Kurzschluss am Widerstand R_E , der den Ausgangswiderstand auf wenige Ohm verringert. Dabei erfolgt eine Verstärkung um ein Vielfaches. Vorausgesetzt die Frequenz ist nicht so hoch, dass die Schaltung selbst frequenzbegrenzend (Millereffekt) wirkt.

Mit dem Emitterkondensator C_E ist das Signal am Ausgang größer (lauter) als ohne. Trotz dieser Wirkungsweise hat der Emitterkondensator C_E keinen Einfluss auf die Arbeitspunkteinstellung.

Der Nachteil des Emitterkondensators ist, dass bei sehr tiefen Frequenzen sehr große Kapazitäten notwendig sind. Deshalb ist der Emitterkondensator C_E ein Elektrolytkondensator. Sein Wert liegt zwischen 10 μF und 1000 μF . Die Spannung, die anliegt beträgt nur wenige Volt.

Funktion der Koppelkondensatoren C_k

Wird Wechselspannung verstärkt, so muss die Schaltung jeweils über die Koppelkondensatoren C_k mit der Signalquelle und der Last verbunden werden. Über die Koppelkondensatoren fließt kein Gleichstrom. Damit hat die Signalquelle bzw. Last keinen Einfluss auf den Arbeitspunkt. Die Spannungen des Arbeitspunktes lassen sich so unabhängig von den Gleichspannungen der Signalquelle und Last wählen.

Der Koppelkondensator C_k am Ausgang bildet mit dem nachfolgendem Lastwiderstand einen Hochpass. Der Koppelkondensator C_k am Eingang bildet mit dem Eingangswiderstand der Verstärkerschaltung, der sich zur Hauptsache aus dem Parallelwiderstandswert aus R_1 und R_2 ergibt, einen Hochpass.

Die Koppelkondensatoren müssen so dimensioniert werden, dass die kleinste Frequenz des zu übertragenden Signals noch durch den Hochpass hindurch kommt. Gleichspannungen (0 Hz) gelangen nicht hindurch.

Formel zur Berechnung der Spannungsverstärkung

$$V_U = \frac{U_a}{U_e} \approx \frac{R_C}{R_E}$$

Die Spannungsverstärkung kann vom Kollektorwiderstand R_C und Emitterwiderstand R_E festgelegt werden.

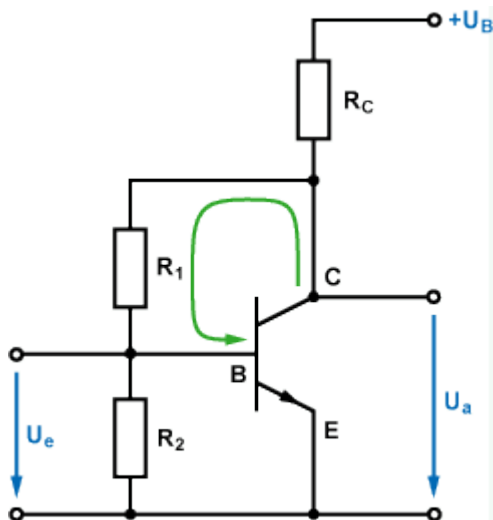
Eigenschaften der Emitterschaltung mit Stromgegenkopplung

- Verringerung der Temperaturabhängigkeit.
- Es entsteht ein sauberes, verzerrungsfreies Ausgangssignal.
- Geringere Spannungsverstärkung im Vergleich zur Emitterschaltung ohne Stromgegenkopplung.
- Der Eingangswiderstand r_e der Schaltung steigt.

Emitterschaltung mit Spannungsgegenkopplung

Eine einfache Emitterschaltung leidet unter Temperaturabhängigkeit. Das heißt, erhöht sich die Temperatur im Transistor, führt das zu einem Anstieg des Kollektorstroms I_c . Dabei verschiebt sich der Arbeitspunkt, den man vorher sauber berechnet und eingestellt hat. Und auf einmal stimmt in der Schaltung nichts mehr.

Man löst das Problem dadurch, dass man bei steigender Temperatur die Basis-Emitter-Spannung U_{BE} durch eine schaltungstechnische Maßnahme verkleinert und so den Anstieg des Kollektorstroms I_c verhindert.



Die Emitterschaltung mit Spannungsgegenkopplung sieht einen Widerstand zwischen Kollektor und Basis vor. Es entsteht ein Basisspannungsteiler durch R_1 und R_2 . Bei der Spannungsgegenkopplung wird ein Teil der Ausgangsspannung am Kollektoranschluss auf die Basis des Transistors zurückgeführt.

Der Grundgedanke bei dieser Form der Arbeitspunktstabilisierung ist, den Basis-Spannungsteiler nicht an der Betriebsspannung U_B , sondern an der

Spannung anzuschließen, die bei steigender Temperatur abnimmt und bei sinkender Temperatur ansteigt. Das hat zur Folge, dass sich die Basis-Emitter-Spannung U_{BE} mit ändern muss und dabei der Kollektorstrom stabil bleibt. Die Widerstandswerte lassen sich zur Einstellung des Arbeitspunktes vorausberechnen. Auf einen Abgleich kann verzichtet werden, wenn die Gleichstromverstärkung B bekannt ist. Dann erfolgt die Arbeitspunktstabilisierung automatisch durch die Spannungsgegenkopplung. Aber, die Temperaturabhängigkeit der Gleichstromverstärkung B wirkt sich ungünstig auf den Arbeitspunkt aus. Die Stabilisierung mit Spannungsgegenkopplung ist schlechter als bei der Stromgegenkopplung. Deshalb nimmt man bevorzugt die Arbeitspunktstabilisierung mit Stromgegenkopplung.