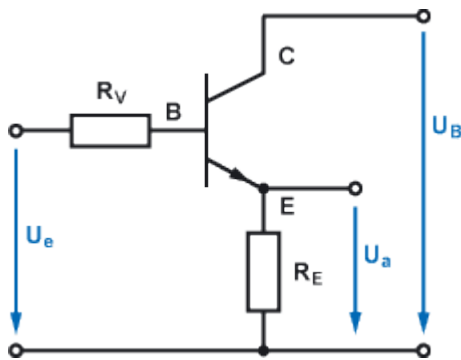


Kollektorschaltung (Emitterfolger)

Die Kollektorschaltung ist die Transistor-Grundschialtung, die in der Praxis am häufigsten verwendet wird, auch wenn einem das nicht so vorkommt. Die zweithäufigste Grundschialtung ist die Emitterschaltung gefolgt von der eher selten eingesetzten Basisschaltung.

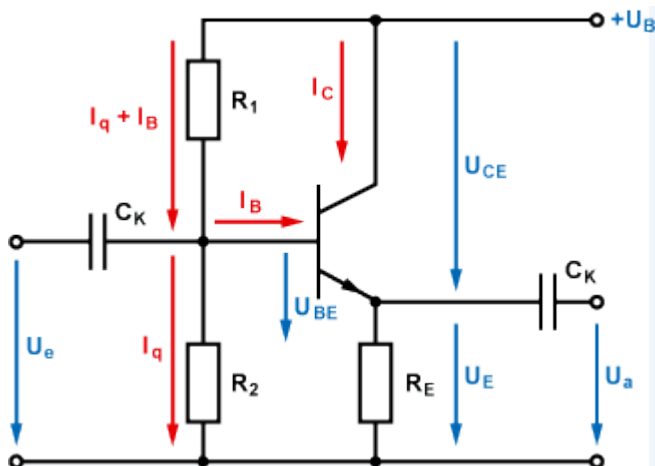
Die Kollektorschaltung wird auch als Emitterfolger bezeichnet. Das kommt daher, weil der Emitter scheinbar der Spannung an der Basis folgt. Die besonderen Merkmale dieser Schaltung ist eine Spannungsverstärkung von kleiner als 1, aber eine sehr große Stromverstärkung, die vom differentiellen Stromverstärkungsfaktor β des Transistors abhängig ist.

Die Bezeichnung Emitterfolger wurde aus der Röhrentechnik übernommen. Hier ist es die Kathodenfolgerschaltung. Jedoch ist bei Transistoren das Äquivalent zur Kathode einer Röhre eben der Emitter.



Eine einfache Kollektorschaltung besteht aus einem Transistor, dem Emitterwiderstand R_E , dem Basis-Vorwiderstand R_V und der Betriebsspannung U_B . Der Emitter ist der Ausgang. Der Kollektor ist für Eingangs- und Ausgangsspannung über die Betriebsspannung U_B der gemeinsame Bezugspunkt.

Strom- und Spannungsverteilung



Bei der Kollektorschaltung stellen die Widerstände R_1 , R_2 und R_E den Arbeitspunkt ein. Die Berechnung des Arbeitspunktes erfolgt wie bei der Emitterschaltung, nur ohne Kollektorwiderstand. Bei der Arbeitspunkteinstellung unterscheidet man generell zwischen Kleinsignalübertragung und Großsignalübertragung.

Der Emitterwiderstand R_E ist fester Bestandteil der Schaltung. Durch ihn wird der Arbeitspunkt bei der Kollektorschaltung immer durch Stromgegenkopplung stabilisiert. Im Gegensatz zur Emitterschaltung kann bei der Kollektorschaltung die Gegenkopplung nicht unterdrückt werden. Hier muss man damit leben, dass die Gegenkopplung sich sowohl auf die Gleichspannungen als auch auf die Signalspannungen auswirken.

Wird Wechselfspannung 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.

Bei der Kollektorschaltung sind die Eingangsspannung U_e und Ausgangsspannung U_a phasengleich.

Emitterfolger als Impedanzwandler (nur bei ohmscher Belastung)

Zwei weitere Eigenschaften zeichnen den Emitterfolger aus. Das ist der sehr große Eingangswiderstand und der sehr kleine Ausgangswiderstand. Unter anderem deshalb wird diese Schaltung gerne als Impedanzwandler bezeichnet und auch verwendet.

Das gilt allerdings nur, wenn der Lastwiderstand bei den üblichen Transistorschaltungen nicht komplex ist. "Komplex" bedeutet, dass die Last einen induktiven oder kapazitiven Anteil hat. Beispielsweise ist beim Betrieb eines Lautsprechers die Phasenverschiebung nicht vorhersehbar. Hier sind

sowohl die Amplitude als auch die Frequenz extrem variabel, was den Sound eines Verstärkers zerstört.

Andererseits kann am Ausgang, durch die induktive oder kapazitive Last, die Spannung größer sein, als der Emitterfolger gerade liefert. Das treibt den Transistor in den

stromlosen Zustand. Die komplexe Last liegt offen am Emitteranschluss. Ist in diesem Moment die Spannung hoch genug, kommt es zum Emitter-Basis-Strom in umgekehrter Richtung und der Transistor verabschiedet sich.

Bei zu verstärkenden Wechsellspannungen empfiehlt es sich mit einem Gegentakt-Emitterfolger spannungssymmetrisch zu arbeiten. In der selben Situation liefern und senken die beiden Transistoren des Gegentakt-Emitterfolgers den Strom, je nach dem, wer gerade Quelle spielt. Endstufe oder komplexe Last.

Kleinsignalübertragung

Die Emitterspannung U_E kann klein gewählt werden, muss aber mindestens 1 V betragen, wenn der Arbeitspunkt stabil sein soll. Ebenso muss die Emitterspannung U_E größer sein, als die Amplitude der Ausgangsspannung.

$$U_E = U_B - U_{CE}$$

Die Größe des Kollektorstroms I_C richtet sich nach der Signalgröße und den geforderten Übertragungseigenschaften. Grundsätzlich sollte der Kollektorstrom I_C größer sein, als die Amplitude des Ausgangsstroms.

Großsignalübertragung

Bei Großsignalübertragungen wählt man für die Emitterspannung U_E in der Regel etwa halbe Betriebsspannung U_B .

$$U_E \approx \frac{1}{2} \cdot U_B$$

Der Kollektorstrom I_C richtet sich nach dem Lastwiderstand R_L . Der Kollektorstrom I_C ist als Ausgangsstrom zu verstehen. Hier gilt häufig die Leistungsanpassung. Das bedeutet, der Emitterwiderstand R_E wird gleich groß wie der Lastwiderstand R_L gewählt.

$$R_E = R_L$$

$$I_C = \frac{1}{2} \cdot \frac{U_B}{R_L}$$

Eingangswiderstand r_e

$$r_e = \frac{u_e}{i_e}$$

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

Ausgangswiderstand r_a

$$r_a = \frac{u_a}{i_C}$$

Die Kollektorschaltung hat einen kleinen Ausgangswiderstand r_a .

Spannungsverstärkung V_u

$$V_u = \frac{u_a}{u_e} \approx 1$$

Die Ausgangsspannung ist immer kleiner als die Eingangsspannung. Die Spannungsverstärkung V_u beträgt ungefähr 1.

Stromverstärkung V_i

$$V_{i\max} \approx 1 + \beta$$

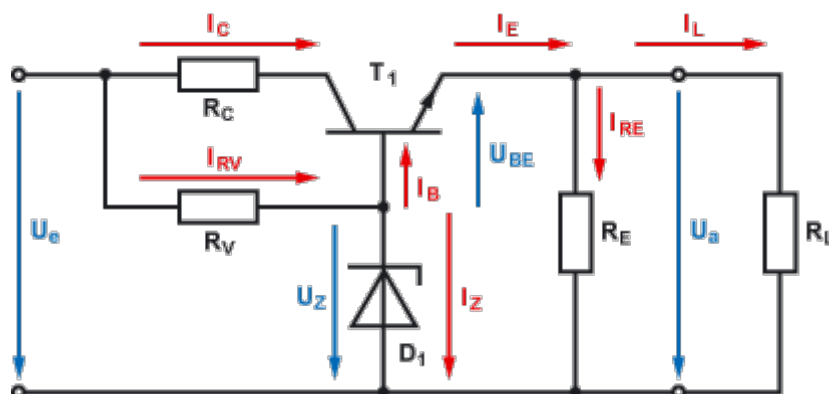
Die Kollektorschaltung hat eine hohe Stromverstärkung. Die Leistungsverstärkung ist gleich der Stromverstärkung. Die größte Stromverstärkung erreicht man, wenn der Lastwiderstand der Emitterwiderstand R_E ist.

Anwendungen

- Kollektorschaltung als Impedanzwandler
- Bootstrap-Schaltung
- Darlington-Schaltung
- Spannungsstabilisierung mit Kollektorschaltung

Übersicht: Die Kollektorschaltung 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



Welchem Zweck dient der Widerstand Rc?

Ein Kurzschluss am Ausgang führt zur Zerstörung des Transistors. Deshalb sollte ein Schutzwiderstand R_c von ca. 10 Ohm in den Laststromkreis eingebaut sein. Die Stabilisierung lässt dann etwas nach, aber der Lastwiderstand darf dann kleiner sein.

Das zeigt, dass es nur einen kleinen Spielraum für die Wahl von R_c gibt und im unteren Widerstandsbereich bleiben muss. Aber, Dauerkurzschlussfest ist diese Schaltung nicht. Dazu bräuchte es kompliziertere regeltechnische Maßnahmen. Wer mehr dazu wissen will, der kann das unter [Spannungsregelschaltung mit elektronischer Brummsiebung](#) von Thomas Schaerer nachlesen.

Welchem Zweck dient der Widerstand R_E ?

Der Widerstand R_E dient zum Einstellen des Arbeitspunkts des Transistors, wenn keine Last dran hängt. Der Grund: Wenn R_E nicht existiert und kein R_L angeschlossen ist, fließt kein Basis-Strom und so kann sich auch keine Basis-Emitter-Spannung von 0,7 V bilden.

Der Widerstand R_E muss so niedrig sein, dass die Spannung U_{BE} etwa bei 0,7 V liegt. Wenn ein Strom durch R_L fließt und der Kollektor-, bzw. Emitterstrom größer wird, dann steigt auch U_{BE} ein bisschen an.

Warum eine Z-Diode?

Die Z-Diode ist deshalb notwendig, um die Ausgangsspannung auch bei schwankender Eingangsspannung einigermaßen stabil zu halten. Sie kann deshalb nicht einfach so gegen einen Widerstand ausgetauscht werden.

Wer am Ausgang eine stabilisierte Spannung braucht, der verwendet eine Z-Diode. Anders macht diese Schaltung nicht sehr viel Sinn.

Zur Erinnerung: Um eine vergleichsweise gute Stabilität zu erreichen, sollte der Querstrom I_Z durch die Z-Diode mindestens 5 mal größer sein, als der Basisstrom bei maximalem I_L .

Berechnung der Ausgangsspannung

$$U_a = U_Z - U_{BE}$$

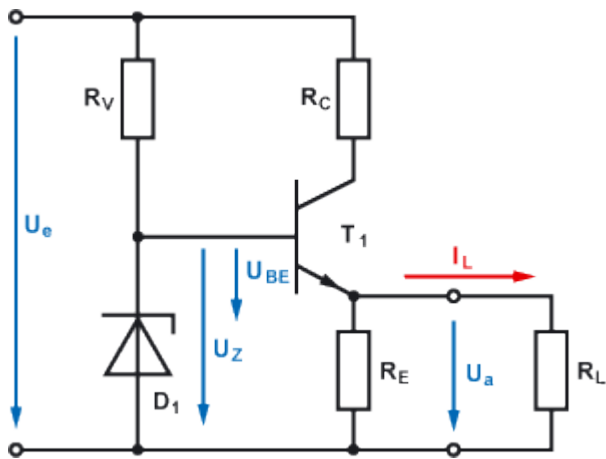
Die Ausgangsspannung U_a wird durch die Zenerspannung U_Z abzüglich der Basis-Emitter-Spannung U_{BE} bestimmt.

Lastwiderstand der Z-Diode

$$R_{LZ} = B \cdot R_L$$

Mit dieser Schaltung sinkt die Belastung der Z-Diode um den Faktor der Stromverstärkung des Transistors.

Dimensionierte Beispiel-Schaltung



U_e +15 V

D_1 Z6

T_1 Kleinsignaltransistor

R_V 390 Ω

R_C 10 Ω

R_E 10 k Ω