

Transistorgrundschaltungen und Verstärker

Fragen

TC618 - TC626

TD401 - TD432

TF321 – TF323

TF415

<https://afutest.ewers.net/tests/DL4EAX/847/>



Deutscher Amateur-Radio-Club e.V.
Bundesverband für Amateurfunk in Deutschland

Henrik Meierkord – DL3YHM





Übersicht



Deutscher Amateur-Radio-Club e.V.
Bundesverband für Amateurfunk in Deutschland

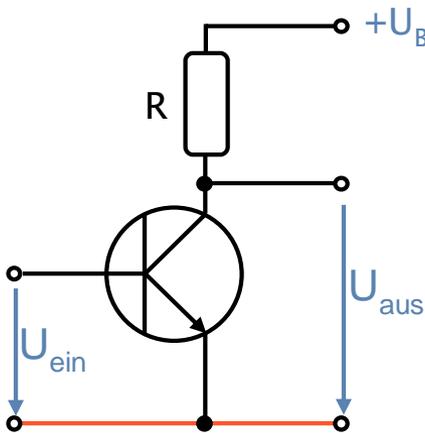


Transistorgrundschaltungen

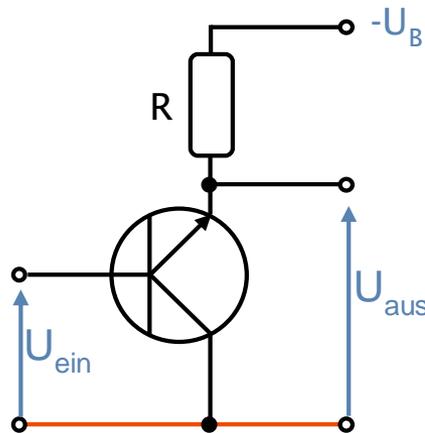
Es existieren 3 Transistorgrundschaltungen:

- **Emitterschaltung**
- **Kollektorschaltung** (manchmal auch Emitterfolger genannt)
- **Basisschaltung**

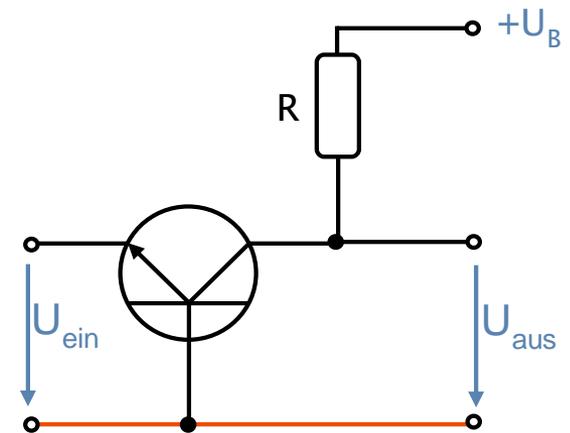
Zu erkennen sind die Schaltungen an der Elektrode des Transistors die auf demselben Bezugspotential für Ein- und Ausgang liegen.



Emitterschaltung



Kollektorschaltung
(Emitterfolger)



Basisschaltung



Emitterschaltung

TD401

TD402

TD403

TD404

TD405

TD406

TD407

TD431

TD432

TF323

<https://afutest.ewers.net/tests/DL4EAX/777/>

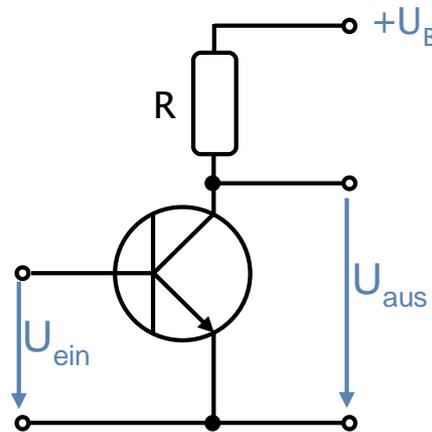


Deutscher Amateur-Radio-Club e.V.
Bundesverband für Amateurfunk in Deutschland



Emitterschaltung

Für viele Verstärker wird die Emitterschaltung verwendet, darum wird diese im folgenden näher erläutert :

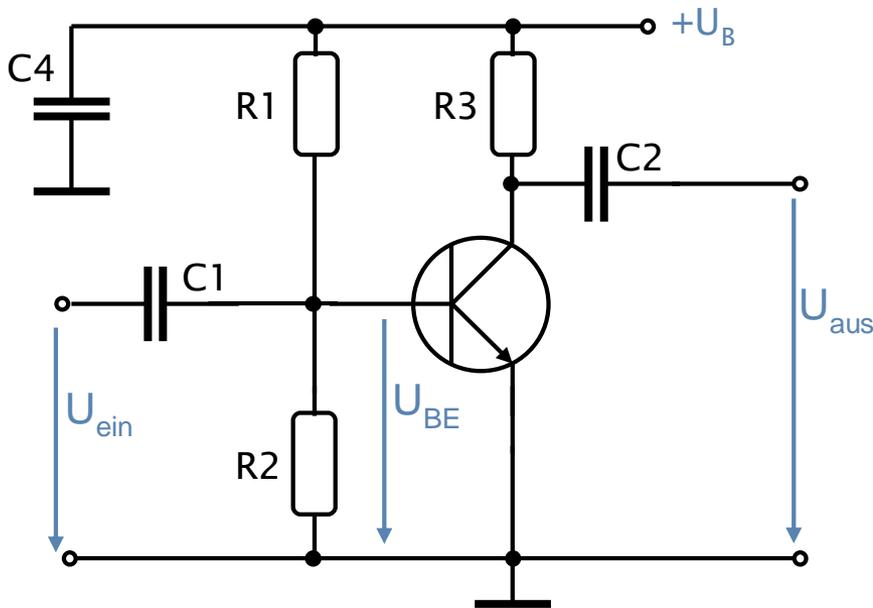


Bei dieser Schaltung wird ein relativ kleiner Eingangswechselstrom, der von der Basis zum Emitter fließt, verstärkt. Der verstärkte Strom fließt vom Kollektor zum Emitter.

Die Stromverstärkung β kann hier je nach Transistor Größenordnungen von 100 erreichen. Damit diese Schaltung wie gewünscht funktioniert, benötigt die Schaltung noch weitere externe Bauteile die den Transistor entsprechend „konfiguriert“.

Emitterschaltung

Dargestellt ist eine einfache Verstärkerschaltung mit einem NPN Transistor in Emitterschaltung.

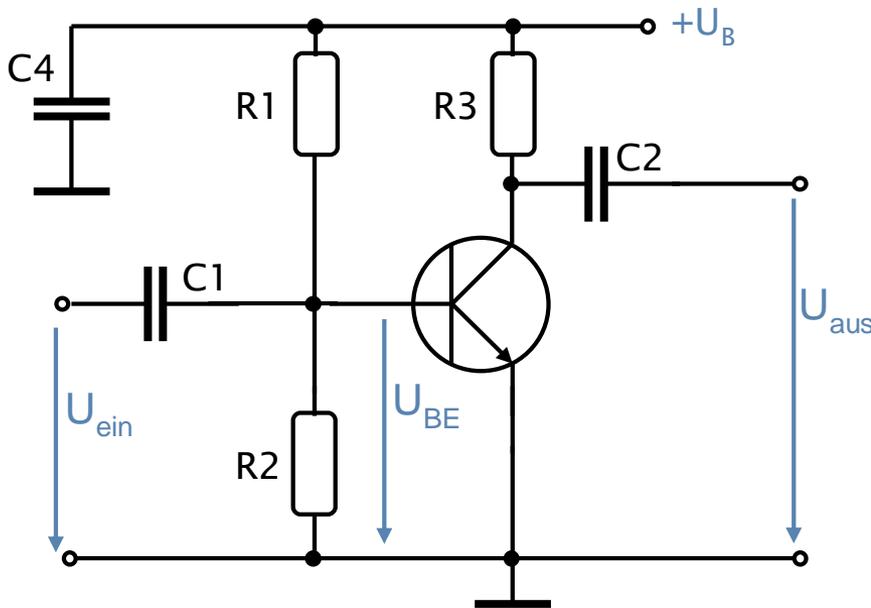


Als erstes sollte der Arbeitspunkt festgelegt werden. Dies geschieht mit dem Spannungsteiler aus den Widerständen R1 und R2. Dieser ist so dimensioniert das die Basis-Emitter Strecke des Transistors etwas leitet. Dies geschieht wenn (abhängig vom Typ des Transistors) U_{BE} ca. 0,7V beträgt.

Damit der Basis(gleich)strom des Transistors nicht durch das Eingangssignal beeinflusst wird (und damit der Arbeitspunkt verstellt wird), wird dieser mit C1 geblockt. Gleiches gilt für den Ausgang und C2. C1 und C2 dienen daher nur als Wechsellspannungskopplung.

Emitterschaltung

R3 dient als Lastwiderstand, da ansonsten bei voll durchgeschaltetem Transistor U_B direkt nach Masse kurzgeschlossen würde.



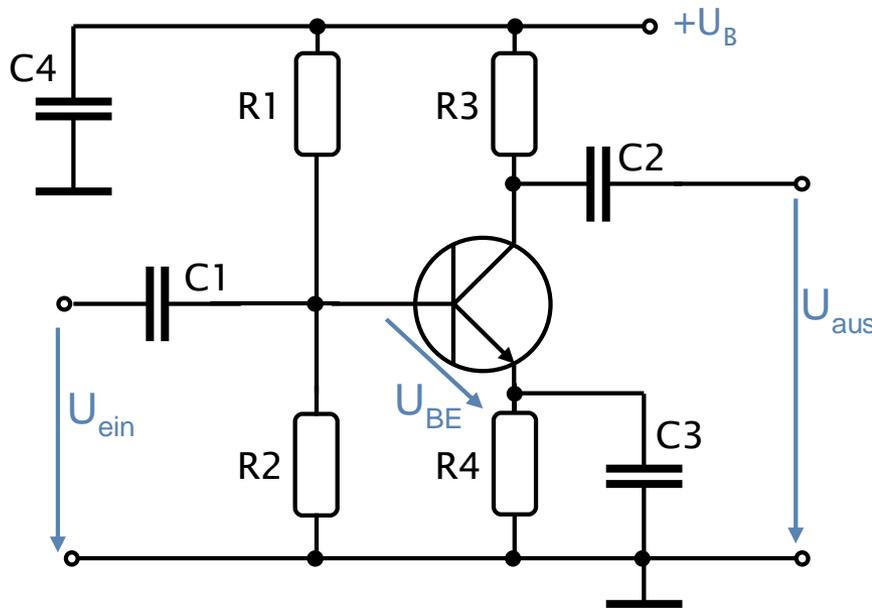
C4 dient lediglich zur Filterung und Unterstützung der Betriebsspannung U_B . Manchmal bezeichnet man solche Kondensatoren auch als „Stützkondensatoren“.

Dadurch dass durch die Arbeitspunkteinstellung bereits schon immer etwas Strom (sog. Ruhestrom) fließt, wird der Transistor warm.

Durch die Wärme verschiebt sich die Diodenkennlinie der BE-Strecke in der Weise, dass sich der Basisstrom erhöht (und dadurch auch der Kollektorstrom). Dies führt zur weiteren Erwärmung des Transistors und in einen „Teufelskreis“, der bis zur Zerstörung des Transistors gehen kann.

Emitterschaltung – Stromgegenkopplung

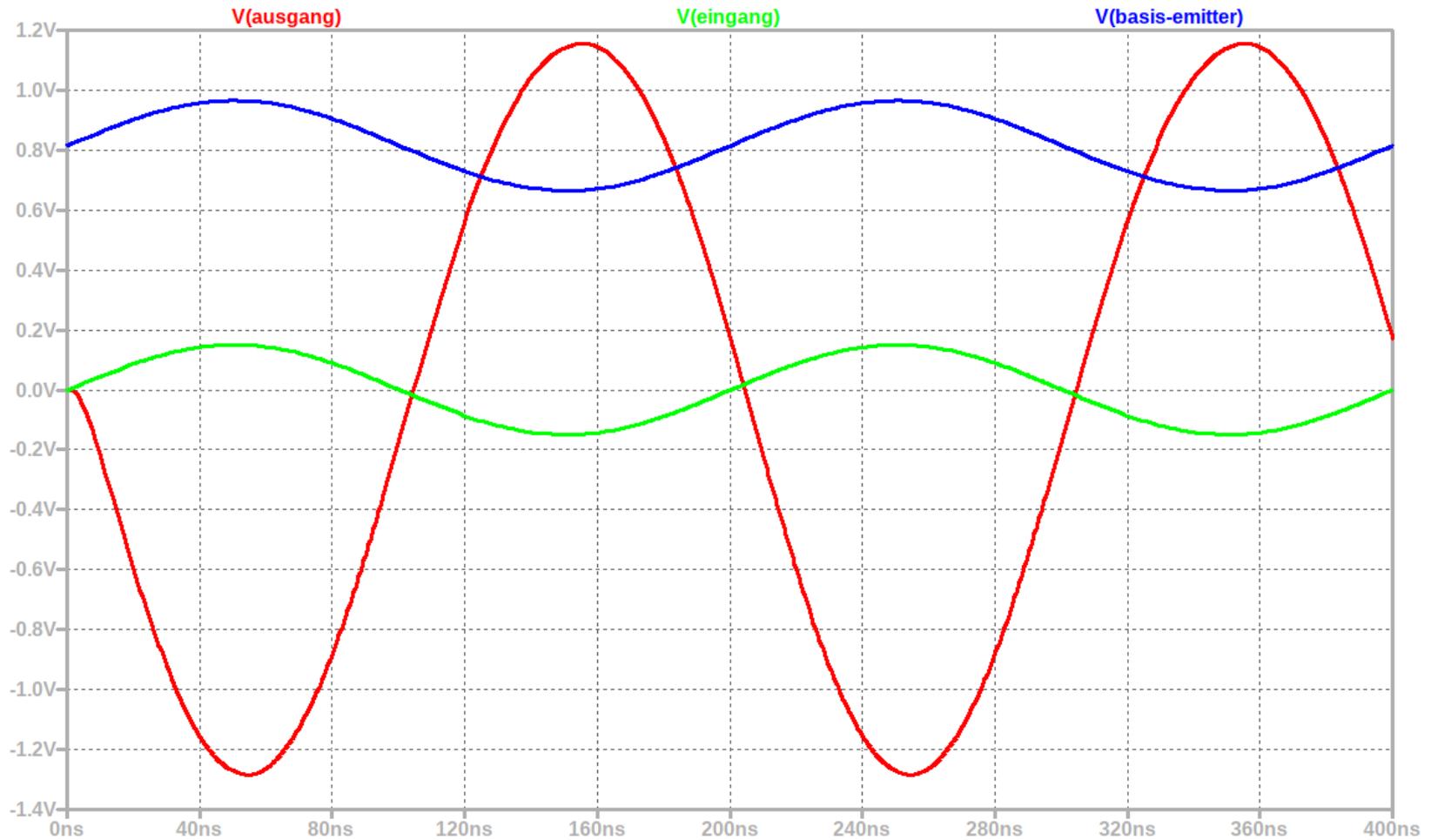
Dieser Effekt kann durch zwei weitere Bauteile R4 und C3 kompensiert werden, die parallel zwischen Emitter und Masse geschaltet werden.



Steigt nun durch die erhöhte Bauteiltemperatur der Kollektorstrom, steigt auch der Spannungsabfall an R4. Dies hat zur Folge das U_{BE} kleiner wird (Potential an der Transistorbasis bleibt gleich). Durch die geringere Spannung U_{BE} verringert sich auch der Basisstrom der wiederum eine Verringerung des Kollektorstroms nach sich zieht. Dadurch wird der Arbeitspunkt des Transistors stabilisiert.

Da nun ein zusätzlicher Widerstand R4 eingefügt, wurde verringert sich die Spannungsverstärkung der ganzen Schaltung, da das Ausgangssignal jetzt nicht mehr komplett auf Masse „gezogen“ werden kann. Dies umgeht man mit C3 der R4 jetzt wechsellspannungsmäßig kurzschließt.

Emitterschaltung – Spannungsverläufe



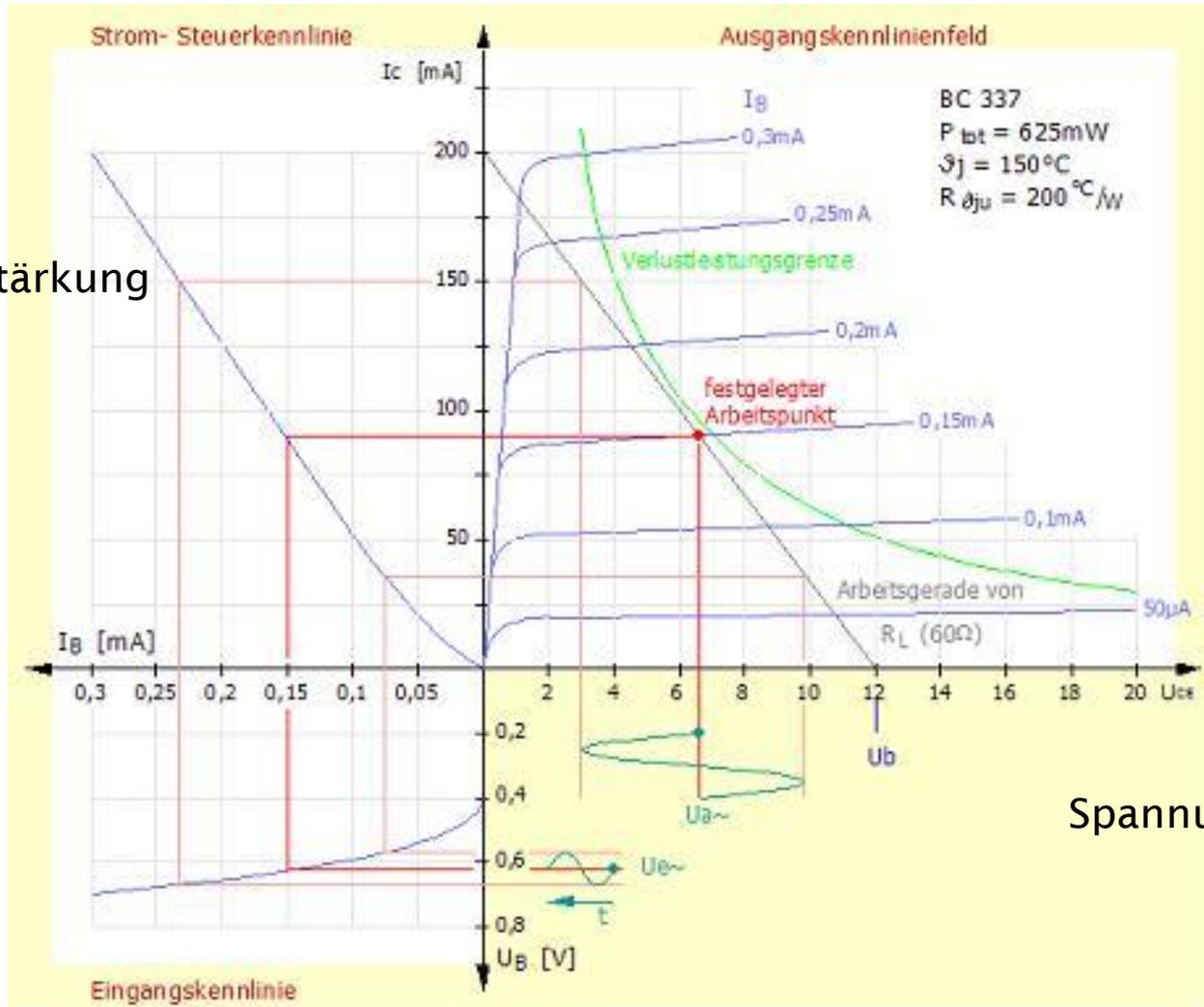
Emitterschaltung – Eigenschaften

Jede Transistorgrundschaltung hat bestimmte Eigenschaften:

- die Spannungsverstärkung v_u
 - die Stromverstärkung v_i
 - die Phasenverschiebung φ
 - den (Wechselstrom) Eingangswiderstand r_e
 - den (Wechselstrom) Ausgangswiderstand r_a
 - die Grenzfrequenz bis zu der die Schaltung funktioniert f_g
- Bei der Emitterschaltung ist die Spannungsverstärkung, sowie die Stromverstärkung hoch (~ 100 -fach).
 - Die Phasenverschiebung zwischen Ein- und Ausgang beträgt 180° .
 - Der Eingangswiderstand ist mit bis zu $5\text{k}\Omega$ recht klein gegenüber dem Ausgangswiderstand der bis zu $50\text{k}\Omega$ betragen kann.
 - Die Grenzfrequenz beträgt im Mittel um die 10MHz , sodass die Schaltung als NF, aber auch als HF Verstärker dienen kann.

Emitterschaltung – Kennlinienfeld

Nicht prüfungsrelevant, aber gut zu wissen weil die Eigenschaften von Transistoren in Datenblättern so beschrieben werden.



Stromverstärkung

Ausgangswiderstand

Eingangswiderstand

Spannungsverstärkung



Emitterschaltung Berechnungen

TC618

TC619

TC620

TC621

TC622

TC623

TC624

TC625

TC626

<https://afutest.ewers.net/tests/DL4EAX/778/>



Deutscher Amateur-Radio-Club e.V.
Bundesverband für Amateurfunk in Deutschland

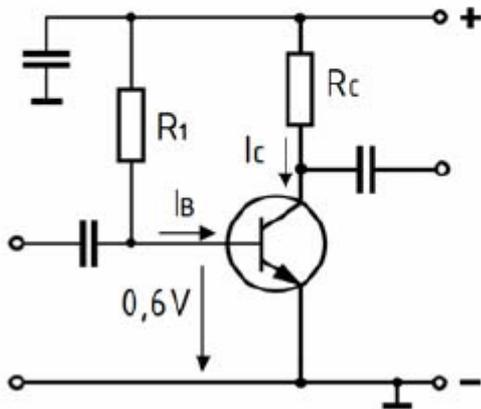


Emitterschaltung Berechnungen

(Ergänzung durch DL4EAX)

In den Fragen TC618 bis TC626 gibt es diverse Berechnungen, hier die Herangehensweise für TC618.

Die Betriebsspannung beträgt 10 V, der Kollektorstrom soll 2 mA betragen, die Gleichstromverstärkung des Transistors beträgt 200. Berechnen Sie den Vorwiderstand R_1 .



Gesucht ist R_1 , berechnen wir zunächst den Strom der durch R_1 fließt. Bei einer Verstärkung von 200 ist es der Kollektorstrom geteilt durch 200, also $2\text{mA} / 200 = 0,01\text{ mA}$.

Als nächstes benötigen wir die Spannung an R_1 . Dazu ziehen wir von der Betriebsspannung die 0,6 V Basisspannung ab, also $10\text{V} - 0,6\text{V} = 9,4\text{ V}$.

Nun haben wir den Strom der durch R_1 hindurchfließt und die Spannung die anliegt, also können wir im nächsten Schritt den Widerstand mit dem ohmschen Gesetz ausrechnen: $R = U/I = 9,4\text{V} / 0,01\text{ mA} = 940\text{ k}\Omega$.



Kollektorschaltung

TD408

TD409

TD410

TD411

TD412

TD413

TF321

<https://afutest.ewers.net/tests/DL4EAX/779/>

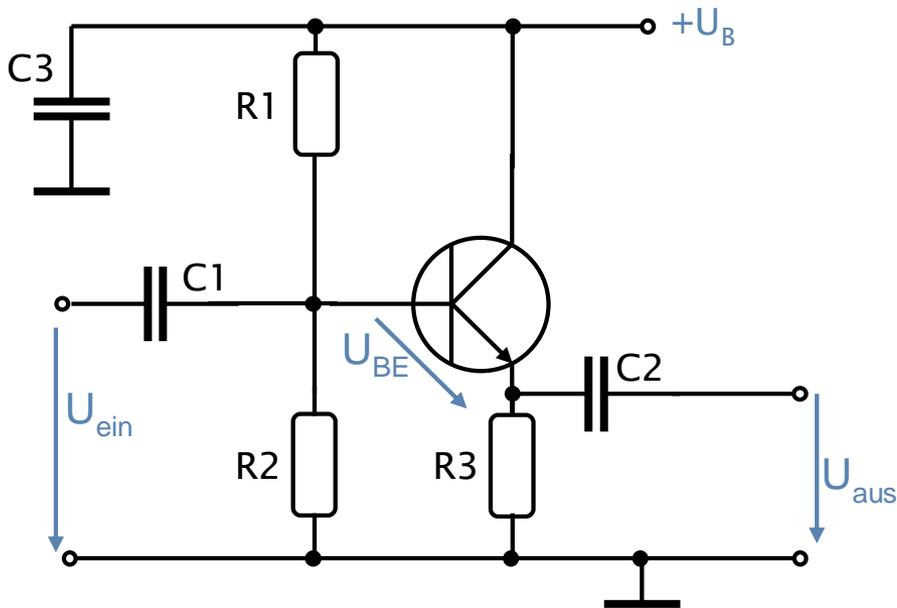


Deutscher Amateur-Radio-Club e.V.
Bundesverband für Amateurfunk in Deutschland



Kollektorschaltung

Die Kollektorschaltung sieht auf den ersten Blick der Emitterschaltung zum Verwechseln ähnlich. Hier ist der Kollektor jedoch immer direkt mit der Spannungsversorgung verbunden.



Die Schaltung wird auch **Emitterfolger** genannt. Dies liegt daran, dass die Ausgangsspannung nur um U_{BE} kleiner ist als die Eingangsspannung, und ihr entsprechend ‚am Emitter folgt‘.

Die Kondensatoren und Widerstände haben im Prinzip dieselbe Funktion wie bei der Emitterschaltung.

Die Spannungsverstärkung bei dieser Schaltung ist kleiner als 1, dafür ist die Stromverstärkung aber sehr hoch > 100 -fach.

Kollektorschaltung – Eigenschaften

- Bei der Kollektorschaltung ist die Spannungsverstärkung kleiner als 1 (da Ausgangsspannung immer um U_{BE} kleiner ist als Eingangsspannung).
- Die Stromverstärkung hingegen ist sehr groß, da der Kollektor direkt (ohne Widerstand) an die Versorgungsspannung angeschlossen ist.
- Der Eingangswiderstand ist hier sehr groß (kann bis zu $1\text{ M}\Omega$ betragen), während der Ausgangswiderstand sehr klein ist ($\sim 1\text{ k}\Omega$).
- Die Kollektorschaltung arbeitet gleichphasig. Die Phasenverschiebung ist also 0° .
- Daher wird die Schaltung auch gerne als Impedanzwandler eingesetzt. Oder auch als Pufferstufe zwischen Oszillatoren und deren Last.



Basisschaltung

TF322

<https://afutest.ewers.net/tests/DL4EAX/780/>

(Der Test enthält vorherige Unterkapitel)

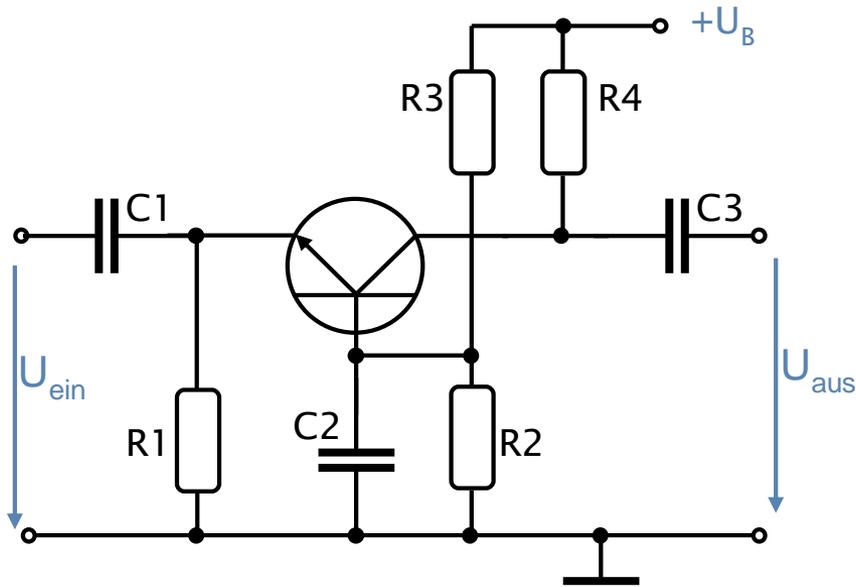


Deutscher Amateur-Radio-Club e.V.
Bundesverband für Amateurfunk in Deutschland



Basisschaltung

Bei der Basisschaltung ist der Emitter der Eingang und der Kollektor der Ausgang. Demzufolge besitzt sie keine Stromverstärkung, aber eine hohe Spannungsverstärkung.



C1 und C3 dienen hier wieder zur Wechsellspannungskopplung, C2 dient zur Pufferung der Basisspannung, die über R3 und R2 eingestellt werden kann. R4 dient hier als Lastwiderstand.

Basisschaltung – Eigenschaften

- Bei der Basisschaltung ist die Spannungsverstärkung recht groß. (~100-fach).
- Die Stromverstärkung hingegen ist kleiner als 1, da der Basisstrom vom Eingangsstrom noch abgezogen wird.
- Der Eingangswiderstand ist hier sehr klein (bis zu 500Ω betragen), während der Ausgangswiderstand sehr groß ist (bis zu $1\text{M}\Omega$).
- Die Basisschaltung arbeitet gleichphasig. Die Phasenverschiebung ist also 0° .
- Daher wird die Schaltung besitzt eine hohe Grenzfrequenz und wird auch gerne in Oszillatoren eingesetzt.



Linearität

TD414

TD415

TD427

<https://afutest.ewers.net/tests/DL4EAX/781/>



Deutscher Amateur-Radio-Club e.V.
Bundesverband für Amateurfunk in Deutschland



Linearität – Harmonische Schwingungen

Wie beim Kennlinienfeld der Emitterschaltung bereits ersichtlich, sind die Transistorkennlinien nicht gerade, oder linear.

Jede nicht-lineare Kennlinie erzeugt zusätzliche Oberwellen, oder sogenannte Harmonische !

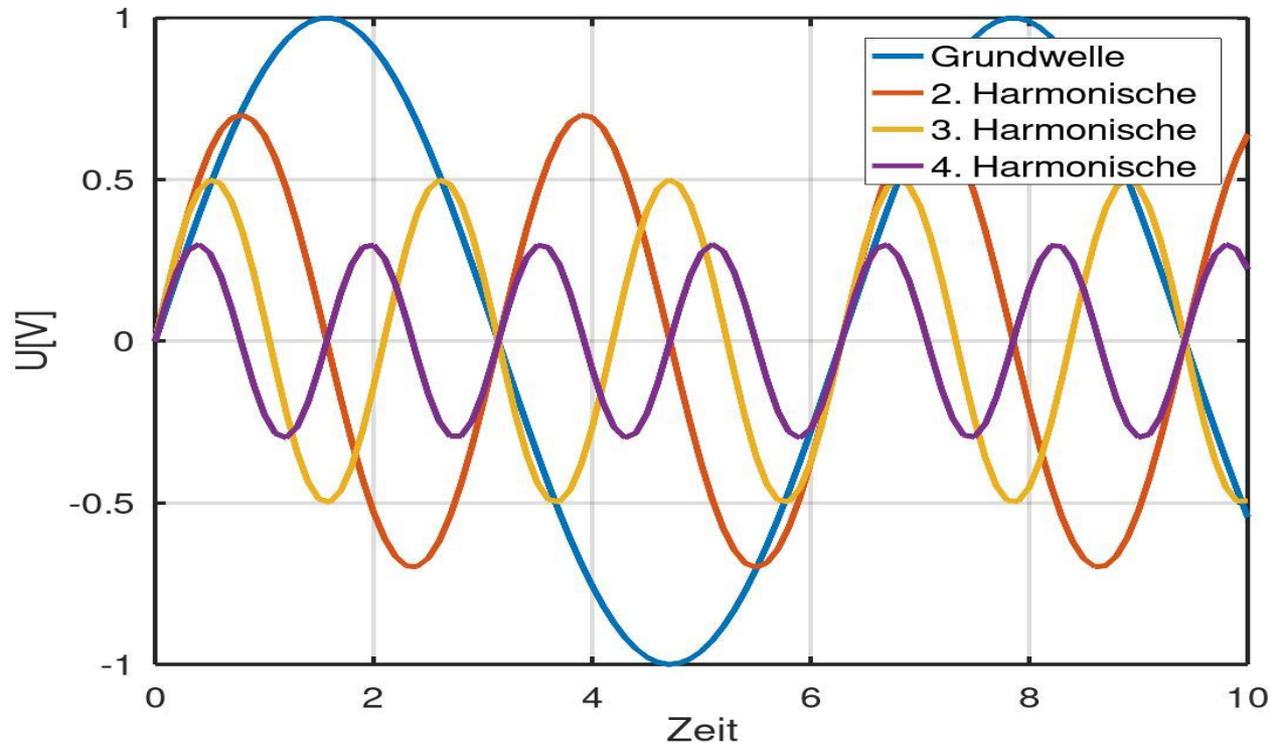
Die Harmonischen sind ganzzahlige Vielfache der Eingangsfrequenz und führen zu Verzerrungen in der Ausgangsspannung.

Die Pegel der einzelnen Harmonischen können stark voneinander abweichen. Beispielsweise kann die dritte Harmonische einen höheren Pegel haben als die zweite Harmonische.

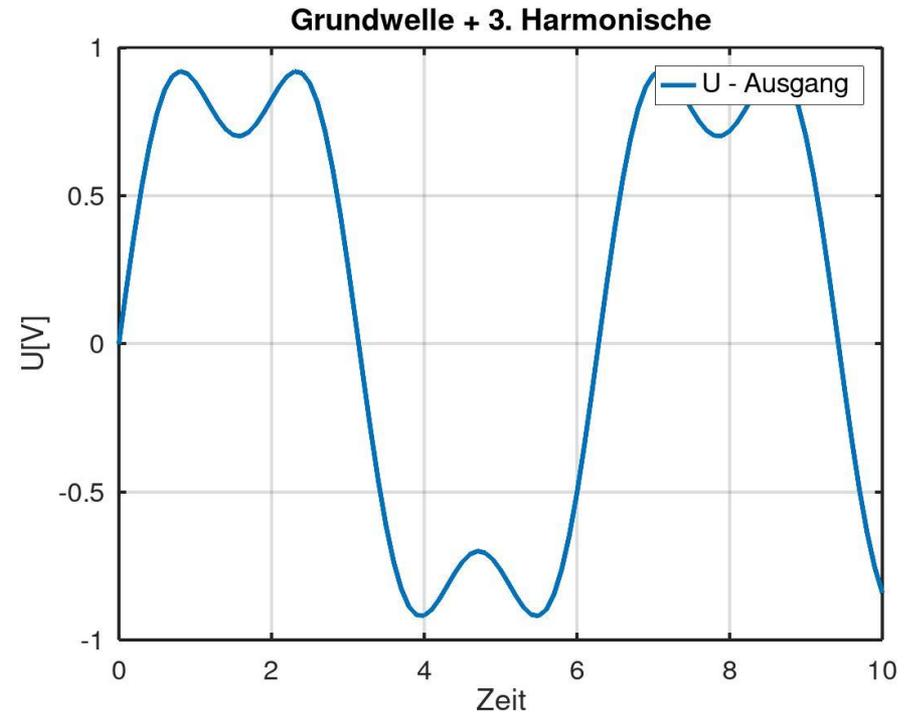
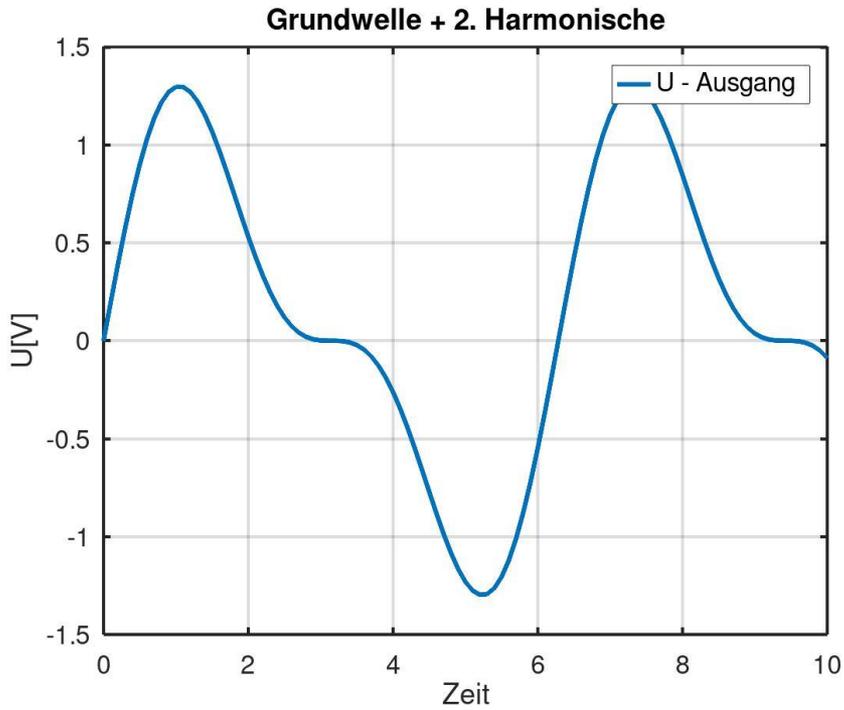
Um welche Harmonische sich es handelt kann mit einem Oszilloskop überprüft werden.

Linearität – Harmonische Schwingungen

Dargestellt ist eine Grundwelle (1. Harmonische) mit weiteren Harmonischen. Diese bestehen aus der doppelten, dreifachen und vierfachen Frequenz der Grundwelle. Bei einem nicht-linearen Verstärker können sich diese Harmonischen der Grundwelle additiv überlagern.

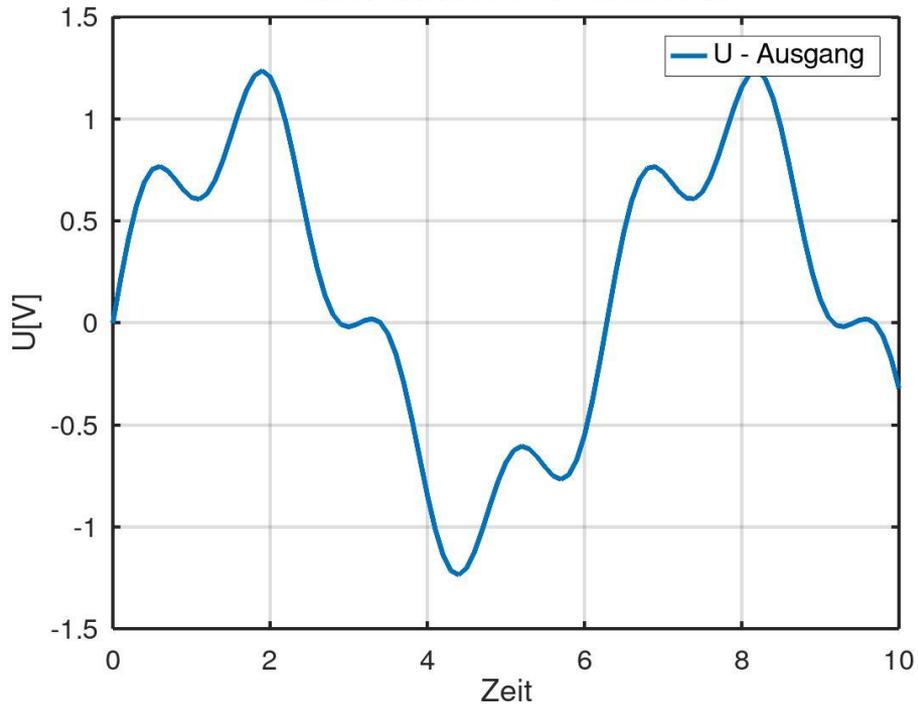


Linearität – Harmonische Schwingungen

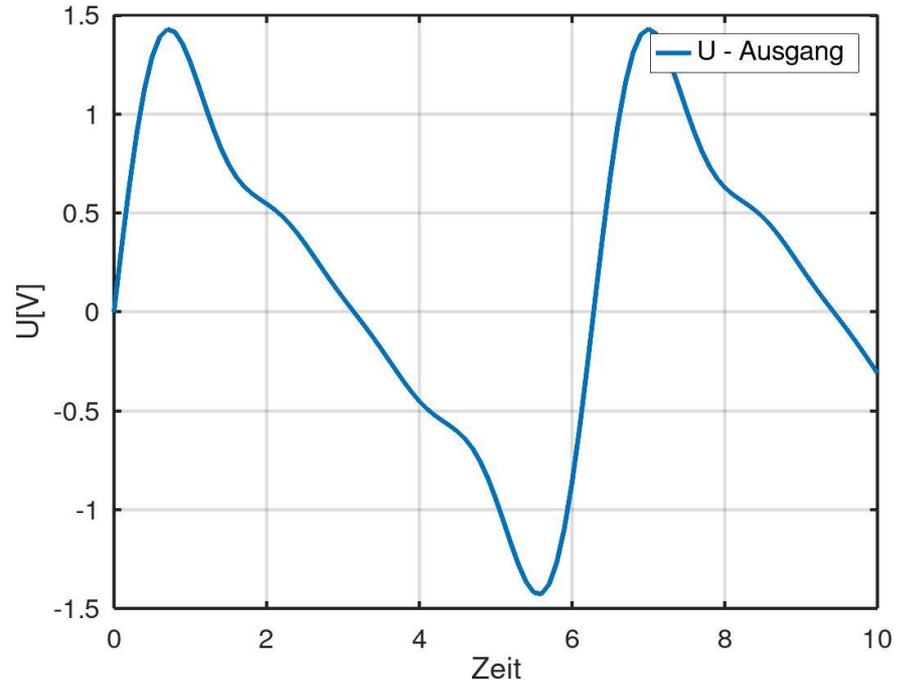


Linearität – Harmonische Schwingungen

Grundwelle + 4. Harmonische



Grundwelle + alle 4 Harmonische



Übersteuerung / Ansteuerung von Verstärkern

Neben dem richtigen Arbeitspunkt des Verstärkers spielt auch die Ansteuerung eine große Rolle. Ist der Spannungspegel des Eingangssignals zu hoch, so werden die Spannungsspitzen begrenzt, bzw. gekappt. Dies führt dazu das mehr Bandbreite für die Übertragung des Signals benötigt wird, und dies als „Splatter“ zu hören ist.

Ebenso ist es wichtig das Spektrum des Eingangssignals zu begrenzen. Für eine verständliche Sprachübertragung ist es ausreichend wenn das **Eingangssignal eine Bandbreite von ca. 300Hz bis ca. 2700Hz** aufweist. Diese Bandbegrenzung kann nach dem Mikrofon durch einen Bandpassfilter geschehen.

Des weiteren ist es nötig Eingang und Ausgang entsprechend voneinander zu entkoppelt. Sonst könnte es sein das Energie vom Ausgang in den Eingang zurückkoppelt und der Verstärker anfängt zu schwingen.



Arbeitspunkte / Betriebsarten

TD416
TD417
TD418
TD419
TD420
TD421
TD422
TD423
TD424
TD425
TD426
TD427
TF430
TG508

<https://afutest.ewers.net/tests/DL4EAX/782/>

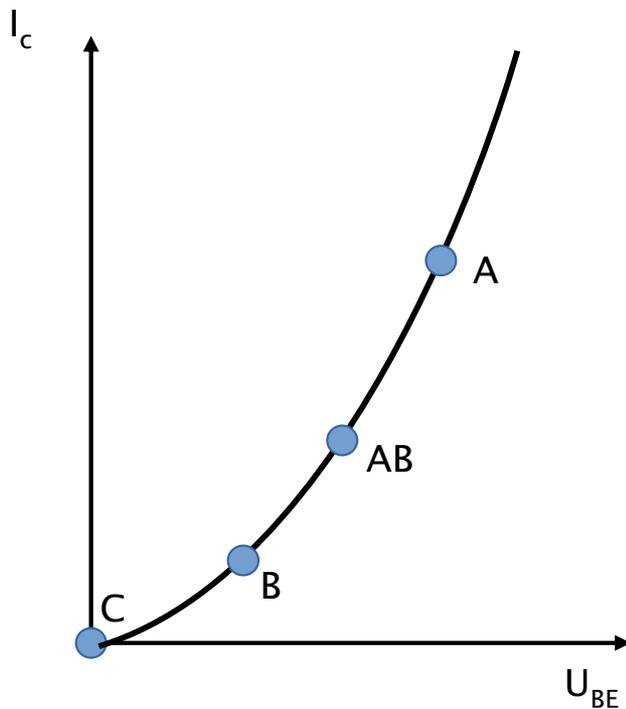


Deutscher Amateur-Radio-Club e.V.
Bundesverband für Amateurfunk in Deutschland



Verstärker – Betriebsarten

Ein Verstärker kann in verschiedenen Betriebsarten arbeiten. Die Betriebsarten unterscheiden sich anhand des Arbeitspunktes auf der Steuerkennlinie des Transistors. Man unterscheidet hier zwischen A, AB, B und C Betrieb eines Transistors. Die jeweiligen Arbeitspunkte für die Betriebsarten sind unten dargestellt.



A-Betrieb:

Im A-Betrieb liegt der Arbeitspunkt auf der Mitte der Kennlinie. Dadurch werden positive und negative Halbwellen gleichermaßen verstärkt. Die Verstärkung ist jedoch nicht groß und die Hälfte der Leistung wird im Transistor in Wärme umgesetzt, da ständig ein hoher Ruhestrom fließt.

Im Betrieb arbeitet der Verstärker jedoch **sehr linear**.

Der **Wirkungsgrad liegt bei etwa 40%**.

Verstärker – Betriebsarten

B-Betrieb:

Im B-Betrieb liegt der Arbeitspunkt im Knickbereich der Kennlinie. Dadurch kann eine größere Spannungsverstärkung erreicht werden, jedoch nur von einer Halbwelle. Die andere muss durch einen zweiten Transistor verstärkt werden. Im Übergangsbereich der beiden Transistoren kommt es dann zu Verzerrungen. Der **Wirkungsgrad (ca. 80%)** ist jedoch besser als beim A-Betrieb.

AB-Betrieb:

Liegt zwischen A- und B-Betrieb und wird häufig bei Gegentaktendstufen eingesetzt. Im Übergangsbereich sind hier beide Transistoren leitend, welches die Verzerrungen gegenüber dem B-Betrieb reduziert, jedoch den **Wirkungsgrad (ca. 70%)** verschlechtert.

C-Betrieb:

Im C-Betrieb fließt kaum Ruhestrom und der **Wirkungsgrad mit ca. 85%** ist hier am höchsten. Jedoch erzeugt dieser Betrieb auch die meisten Oberwellen und wird nur da eingesetzt wo keine Linearität gebraucht wird (etwa bei Radargeräten).



Gegentaktverstärker

TD430

<https://afutest.ewers.net/tests/DL4EAX/783/>

(Der Test enthält vorherige Unterkapitel)

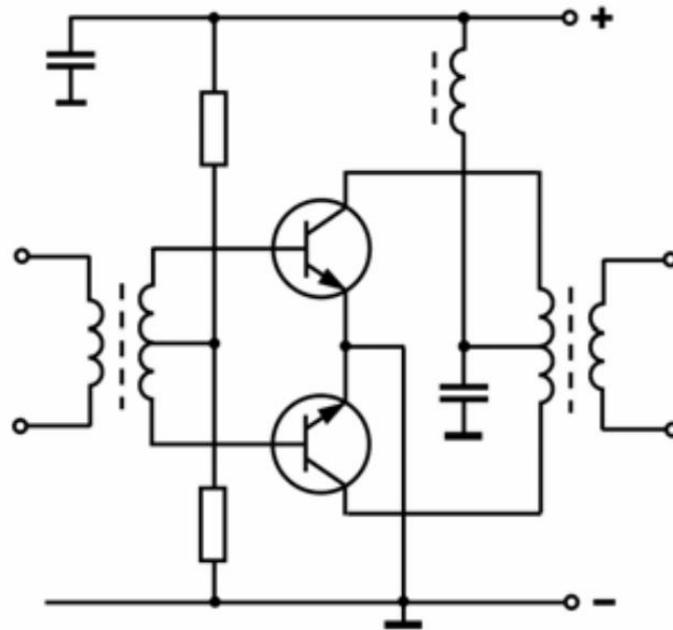


Deutscher Amateur-Radio-Club e.V.
Bundesverband für Amateurfunk in Deutschland



Gegentaktverstärker

Dargestellt ist ein Breitband-Gegentaktverstärker. Das Eingangssignal wird über den ersten Transformator geleitet und so aufgeteilt, das jede Halbwelle von ihrem eigenen Transistor verstärkt wird. Über den Ausgangstransformator werden die verstärkten Halbwellen dann wieder zusammengefügt. Über die Widerstände wird der AB-Arbeitspunkt des Verstärkers eingestellt.





Impedanzanpassung

TF415

<https://afutest.ewers.net/tests/DL4EAX/784/>

(Der Test enthält vorherige Unterkapitel)



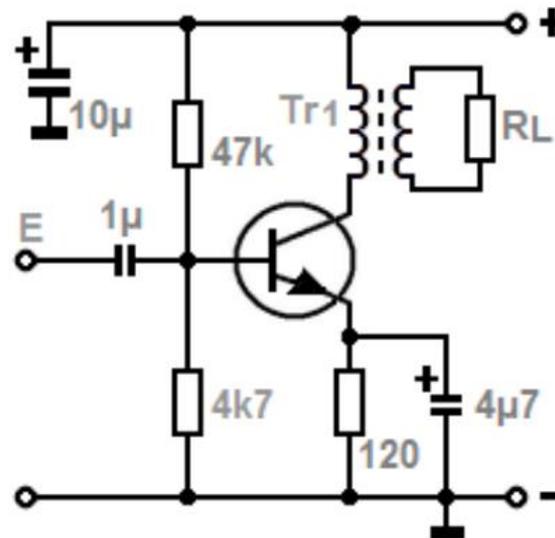
Deutscher Amateur-Radio-Club e.V.
Bundesverband für Amateurfunk in Deutschland



Impedanzanpassung

Durch Impedanzanpassung, auch Leistungsanpassung genannt, wird in der Wechselstromtechnik die Quelle optimal an die Last angepasst. Ist die Lastimpedanz nicht optimal angepasst, führt das in der Wechselstromtechnik zu stehenden Wellen, wodurch z.B. nicht die vollständige Leistung vom Sender zur Antenne übertragen werden kann.

Beispiel: Ein Transformator am Ausgang einer NF-Verstärkerschaltung kann zur Impedanzanpassung verwendet werden, **hier Tr1**.



Initiales Autorenteam:

Henrik Meierkord - DL3YHM

Michael Funke - DL4EAX

Änderungen durch:



Sie dürfen:

Teilen: Das Material in jedwedem Format oder Medium vervielfältigen und weiterverbreiten.

Bearbeiten: Das Material verändern und darauf aufbauen.

Unter folgenden Bedingungen:

Namensnennung: Sie müssen angemessene Urheber- und Rechteangaben machen, einen Link zur Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden. Diese Angaben dürfen in jeder angemessenen Art und Weise gemacht werden, allerdings nicht so, dass der Eindruck entsteht, der Lizenzgeber unterstütze gerade Sie oder Ihre Nutzung besonders.

Nicht kommerziell: Sie dürfen das Material nicht für kommerzielle Zwecke nutzen.

Weitergabe unter gleichen Bedingungen: Wenn Sie das Material verändern oder anderweitig direkt darauf aufbauen, dürfen Sie Ihre Beiträge nur unter derselben Lizenz wie das Original verbreiten.

Der Lizenzgeber kann diese Freiheiten nicht widerrufen solange Sie sich an die Lizenzbedingungen halten.

Details: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/de/>