

Die I07-Elektronik-AG

Kapitel 8 – Grundsaltungen

Lars-Chr. Schulze, DC0BM Ulrich Biester, DK7AU

Version 1.0

Grundschaltungen

Nachdem wir jetzt die Funktion aller wesentlichen Bauteile kennen, wollen wir uns noch ein paar Grundschaltungen zuwenden, die Euch in Eurem Elektronikerleben immer wieder begegnen werden.

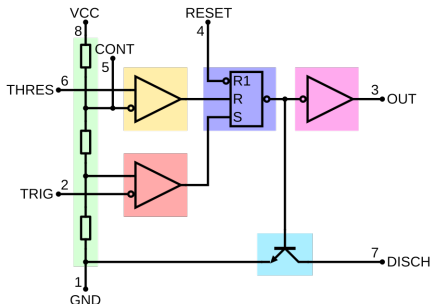
Dieses sind:

- ein einfacher Verstärker,
- der Differenz-Verstärker und der Operationsverstärker und
- der sog. Schmitt-Trigger.

Grundsaltungen

Übersicht I

- Wenn wir damit fertig sind, dann seid Ihr in der Lage, die Innenschaltung eines einfachen ICs, des NE555, zu verstehen.



- Dieses IC ist sehr flexibel und wird daher in vielen Schaltungen von uns, z. B. bei der „Nicht stören“-Ampel, eingesetzt.

Bild von Wikipedia [4]

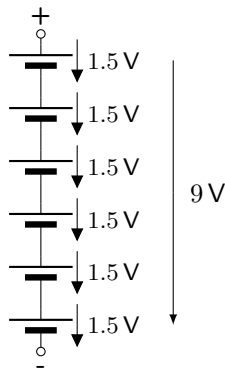
Spannungen und Bezugspotentiale

- Zuvor müssen wir aber noch auf einen Punkt eingehen, den wir bislang nur am Rande behandelt haben, nämlich Spannungen und das **Bezugspotential**.
- Ihr kennt das aus dem täglichen Leben. Wenn Ihr Batterien in ein Gerät, z. B. eine Fernbedienung, einlegt, benötigt Ihr meistens mehrere Batterien.
- Diese Batterien sind hintereinander, also **in Serie** geschaltet.
- Dass mehrere Batterien benötigt werden, liegt daran, dass Batterien nicht beliebige Spannungen erzeugen können, sondern die Spannung ist von den verwendeten chemischen Stoffen abhängig.
- Die herkömmlichen Zink-Kohle-Batterien liefern eine Spannung von 1.5 V
- Ähnlich wie bei der Serienschaltung von Widerständen **addieren** sich die **Spannungen** der einzelnen Batterien **zur Gesamtspannung**.

Grundschaltungen

Spannungen und Bezugspotentiale II

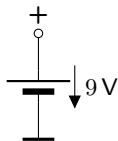
- Für die Hintereinanderschaltung muss jeweils der Pluspol der einen Batterie mit dem Minuspol der nächsten Batterie verbunden werden.
- Wenn Ihr Euch so ein Batteriefach mal genauer ansieht, werdet Ihr sehen, dass die Verdrahtung der Batterien dort bereits enthalten ist.
- Daher müssen die Batterien auch meist im „Zick-Zack“ eingelegt werden.
- In den 9V-Blockbatterien z. B. sind in Wirklichkeit 6 kleine Knopfzellen mit einer Spannung von je 1.5V enthalten.
- Schaltplantechnisch sieht das dann so aus, wie in der Zeichnung rechts.
- Dass wir in unseren Schaltplänen nur ein Batteriesymbol verwenden, ist Bequemlichkeit.



Grundschaltungen

Spannungen und Bezugspotentiale III

- Bei der Messung von Spannungen ist es, wie bei anderen Messungen auch, wichtig, dass wir ein genaues **Bezugspotential** festlegen.
- Bislang haben wir stillschweigend angenommen, dass der Minuspol der Batterie unser Bezugspotential ist.



- Dieses Bezugspotential ist so wichtig, dass es dafür eigene Schaltsymbole gibt:

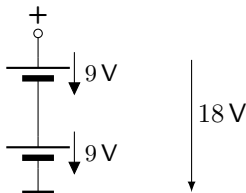


- Im europäischen Raum verwendet man eher das Symbol mit dem dicken Strich, im englischsprachigen Raum eher das andere.
- Im Rahmen elektronischer Schaltungen wird für das Bezugspotential auch der Begriff **Masse** verwendet.

Grundschaltungen

Spannungen und Bezugspotentiale IV

- Wir messen das jetzt mal und schalten dazu zwei von den 9 V-Batterien hintereinander.

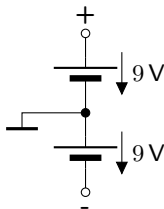


- Wenn wir aber jede Batterie einzeln messen, messen wir jeweils nur 9 V.
- Wenn wir zwischen dem Pluspol der einen Batterie und dem Minuspol der anderen Batterie messen, dann messen wir aber 18 V.

Grundsaltungen

Spannungen und Bezugspotentiale V

- Jetzt sind wir mal dreist und legen das Bezugspotential auf die Mitte zwischen den beiden 9 V-Batterien fest.



- Wir messen nun die beiden Spannungen gegen das Bezugspotential in der Mitte.
- D. h., wir verbinden den Minuspol des Messinstrumentes mit der Mitte zwischen den beiden Batterien und messen von dort aus gegen den Pluspol der einen Batterie bzw. gegen den Minuspol der anderen Batterie.

Wichtig: Diese Messung so bitte nur mit einem digitalen Messgerät durchführen !!!

Grundsaltungen

Spannungen und Bezugspotentiale VI

- Wir messen jetzt die Spannungen $+9\text{ V}$ und -9 V .
 - Dies muss auch so sein, da wir ja die eine Batterie „verpolt“ messen.
- ⇒ **Aus diesem Grund dürfen wir diese Messung so auch nur mit einem digitalen Messgerät durchführen. Ein analoges könnte beschädigt werden.**
- Wir haben also, **bezogen** auf unser **Bezugspotential** einmal eine **positive Betriebsspannung** und einmal eine **negative Betriebsspannung**.
 - Dies ist vielleicht erst einmal ein wenig gewöhnungsbedürftig, aber viele Schaltungen benötigen positive und negative Betriebsspannungen.
 - Man kann dies auch mit einem Haus vergleichen
 - Nimmt man die Erdoberfläche als Bezugspunkt, so befinden sich die Wohnräume normalerweise darüber („positiv“) und der Keller darunter („negativ“).
 - Bei Messungen von Spannungen solltet Ihr Euch immer überlegen, wo Euer Bezugspotential ist, ob die Spannung, die Ihr messt, gegenüber diesem Potential positiv oder negativ ist, und das Messgerät richtig herum anschließen.

Ein einfacher NF-Verstärker

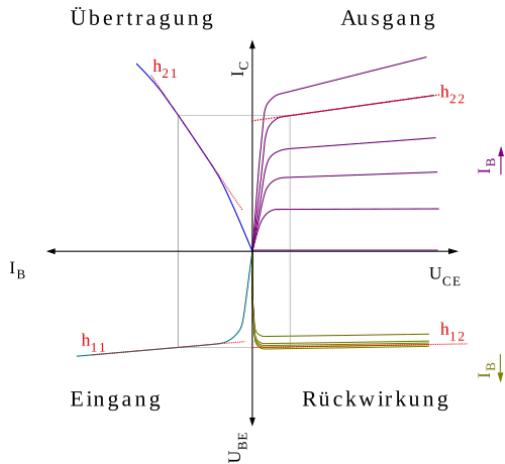


Bild von Wikipedia [5]

Grundsaltungen

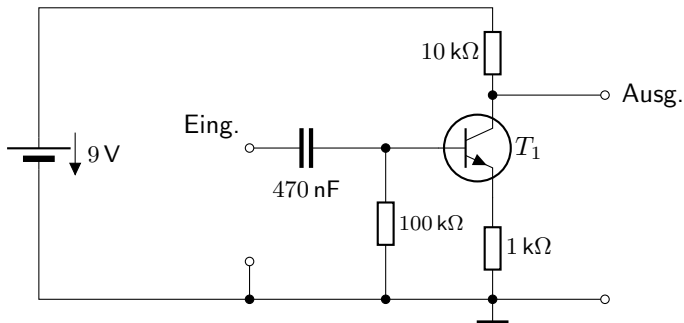
Ein einfacher NF-Verstärker II

- Wir haben ja schon gesehen, wie wir einen Transistor als Schalter bzw. als Helligkeitsregler für eine LED einsetzen können.
- Aber Transistoren sind auch ein wichtiges Bauelement in Funkempfängern aller Art.
- Hier geht es zuerst darum geht, die schwachen Signale von der Antenne so weit zu verstärken, dass sie weiter verarbeitet werden können.
- Dann muss das Signal, z. B. im Falle von Tonsignalen, so weit verstärkt werden, dass man damit einen Lautsprecher betreiben kann.
- Als Beispiel wollen wir uns einen einfache NF-Verstärker, also einen Verstärker für hörbare Töne anschauen.

Grundsaltungen

Ein einfacher NF-Verstärker III

- Dazu bauen wir mal folgende Schaltung auf (sh. auch Bauanleitung 019).

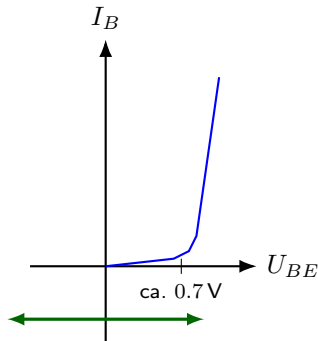


- Wenn wir das Signal von unserem Signalgenerator auf den Eingang der Schaltung (= die Basis des Transistors) geben und das Ausgangssignal am Kollektor des Transistors messen, sehen wir, dass diese Schaltung kein wirklich guter Verstärker ist.

Grundschaltungen

Ein einfacher NF-Verstärker IV

- Das Ausgangssignal hat mit dem Eingangssignal nur wenig zu tun.
- Aber weshalb ist das so?
- Dazu schauen wir uns einmal die sog. **Eingangskennlinie** des des Transistors an.
- Der Übergang von der Basis zum Emitter ist im Prinzip ja eine normale Diode, und genauso verhält sich der Transistor auch.
- Wenn wir jetzt das Wechselspannungssignal direkt auf die Basis des Transistors geben, dann liegt dieses Signal in dem Bereich, der in dem Diagramm gekennzeichnet ist.
- Es ist also kein Wunder, dass der Verstärker nicht vernünftig arbeitet.



Grundsaltungen

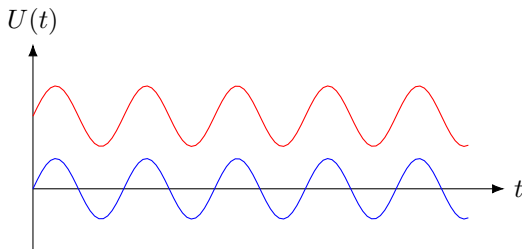
Ein einfacher NF-Verstärker V

- Im Falle einer positiven Halbwelle beginnt der Transistor erst ab einer Spannung 0.7V zu leiten
- Von unserem Signal sehen wir also nur die Spitzen.
- Und bei der negativen Halbwelle ist die Basis-Emitter-Diode gar in Sperrrichtung gepolt. In diesem Fall passiert also gar nichts.
- Nebenbei bemerkt ist unser **Eingangssignal** in diesem Fall **viel zu groß**. Unser Verstärker ist daher hoffnungslos **übersteuert**.
- Was wir machen müssen ist, dass wir unser **Wechselspannungssignal** in einen Bereich **verschieben**, in dem der Transistor vernünftig arbeitet.
- Das machen wir, indem wir unserem Wechselspannungssignal eine **Gleichspannung überlagern**.
- Dadurch bleibt das Signal zwar ein Signal mit veränderlicher Spannung, es nimmt aber keine negativen Werte mehr an.

Grundschaltungen

Ein einfacher NF-Verstärker VI

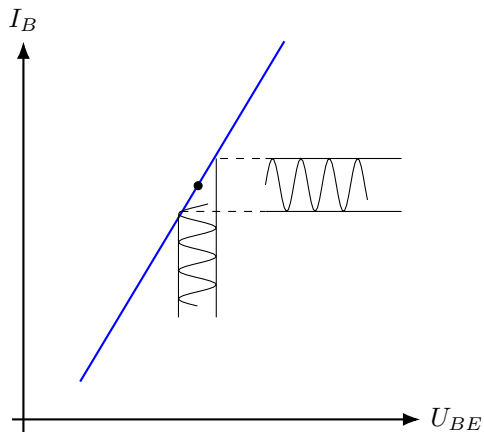
- Wie das dann aussieht, ist in dem folgenden Diagramm dargestellt.
- Das Signal bleibt das gleiche, nur ist es „nach oben“ verschoben.



- Man nennt diese Verschiebung **den Arbeitspunkt einstellen**.

Grundschaltungen

Ein einfacher NF-Verstärker VII



- Wir schauen uns das an einer idealisierten Kennlinie im Detail an.
- Die Kennlinie der Basis-Emitter-Diode ist hier vereinfacht als Gerade dargestellt.
- Wenn wir jetzt eine kleine Wechsellspannung auf die Basis des Transistors geben, welche um den Arbeitspunkt herum schwankt, so ändert sich dadurch der Basisstrom in viel größerem Maße!

- Unser Eingangssignal wird an der Kennlinie **gespiegelt**.

Grundschaltungen

Ein einfacher NF-Verstärker VIII

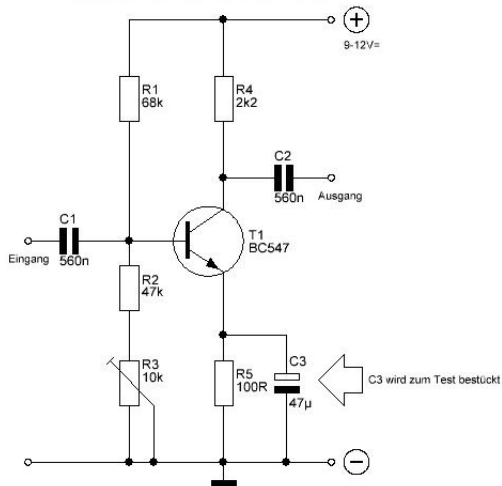
- Eine kleine Änderung der Basis-Emitter-Spannung hat also eine deutlich größere Änderung des Basisstrom zur Folge.
- Der Kollektorstrom, der ja noch um den Stromverstärkungsfaktor größer ist als der Basisstrom, ändert sich entsprechend stärker.
- Dadurch haben wir also eine Verstärkung unseres Wechselspannungssignals erreicht.

- Das Bild auf Folie 18 zeigt nun eine funktionsfähige Standardschaltung für einen einfachen NF-Verstärker.
- Der Arbeitspunkt, also die unserer Wechselspannung zu überlagernde Gleichspannung, wird über den aus R_1 , R_2 und R_3 bestehenden Spannungsteiler eingestellt.
- Die Werte hierfür müssen anhand der technischen Daten des Transistors berechnet werden.
- Zur Demonstration verschiedener Effekte kann der Spannungsteiler über das Potentiometer R_3 variiert werden.

Grundsaltungen

Ein einfacher NF-Verstärker IX

Transistorverstärker E-AG



Grundsaltungen

Ein einfacher NF-Verstärker X

- Das zu verstärkende Signal wird über C_1 eingekoppelt.
- Wir erinnern uns, dass ein Kondensator Gleichspannung abblockt, Wechselspannung aber durchlässt.
- Wichtig sind die beiden Widerstände R_4 und R_5 .
- R_4 ist der sog. **Arbeitswiderstand**. Dieser ist dafür zuständig, einen Kurzschluss im Kollektor-Emitter-Zweig zu verhindern, so dass am Kollektor des Transistors das verstärkte Signal abgegriffen werden kann.
- Das verstärkte Signal wird über C_2 ausgekoppelt. Auch dieser Kondensator dient wieder zum Abblocken der Gleichspannung.
- R_5 ist ein sog. **Gegenkopplungswiderstand**.
- Den Kondensator C_3 lassen wir erst einmal weg.

Die Gegenkopplung

- Was macht aber nun die Gegenkopplung?
- Die Gegenkopplung hilft, den **Arbeitspunkt** zu **stabilisieren**.
- Zur Erläuterung stellen wir uns jetzt vor, dass sich durch unser **überlagertes Wechselsignal** die **Spannung** an der Basis von T_1 ein wenig **vergrößert**.
- Dadurch **steigt** aber die **Spannung** zwischen **Basis und Emitter** des Transistors ein wenig **an**, was einen **größeren Basisstrom** zur Folge hat.
- Dieser **größere Basisstrom** bewirkt nun aber auch einen **größeren Strom im Kollektor-Emitter-Zweig**, wodurch sich an R_5 gemäß dem Ohmschen Gesetz $U = R \cdot I$ ein **höherer Spannungsabfall** ergibt.
- Dadurch **verringert** aber wieder die **Basis-Emitter-Spannung**, so dass der Basisstrom wieder ein wenig absinkt.
- Wir haben also eine sog. **Gegenkopplung**, weil sie dem ursprünglichen Signal entgegen wirkt.
- Die Gegenkopplung erfüllt in Verstärkerschaltungen drei wichtige Aufgaben.

1. Einstellung der Verstärkung.

- Über die Widerstände R_4 und R_5 kann die Verstärkung der Schaltung eingestellt werden.
- Die Stromverstärkungsfaktoren von Transistoren weisen **sehr starke Toleranzen** auf. Damit ließe sich kein Verstärker mit reproduzierbaren Eigenschaften aufbauen.
- Widerstände sind aber mit deutlich geringeren Toleranzen verfügbar, wenn es sein muss 1 %.
- Dadurch kann der Verstärkungsfaktor der Schaltung nun relativ genau und reproduzierbar eingestellt werden.
- Für den Verstärkungsfaktor v gilt.

$$v = \frac{R_4}{R_5},$$

in dieser Schaltung mit $R_4 = 2200 \Omega$ und $R_5 = 100 \Omega$ also ungefähr 22.

2. Stabilisierung des Arbeitspunktes.

- Die Eigenschaften von Halbleitern sind **stark temperaturabhängig**.
- Mit **steigender Temperatur erhöht** sich die **Leitfähigkeit** von Halbleitern teilweise deutlich.
- Dies würde ein „**Weglaufen**“ des Arbeitspunktes bedeuten. Auch diesem Effekt wirkt die Gegenkopplung entgegen.
- Ein durch höhere Temperaturen erhöhter Kollektor-Emitter-Strom bedeutet wieder einen höheren Spannungsabfall an R_5 und damit eine geringere Basis-Emitter-Spannung, wodurch der Basisstrom wieder sinkt.

3. Linearisierung der Kennlinie.

- In der Praxis ist eine Kennlinie leider keine exakte Gerade, sondern immer leicht gekrümmt.
- Das bedeutet, dass unser **Signal nicht exakt verstärkt** wird, sondern es wird etwas **verformt**, so ähnlich, wie wenn wir in einen Zerrspiegel gucken.

Grundsaltungen

Die Gegenkopplung IV

- Diese Signalverformung eines Verstärkers wird als **Klirrfaktor** bezeichnet und macht sich bei Sprache oder Musik im Radio als knarrender oder kratzender Unterton bemerkbar.
- Klirrfaktoren unter 1 %, d. h. 1 % dessen, was aus dem Lautsprecher kommt, war im ursprünglichen Signal nicht vorhanden, hört man im täglichen Leben nicht.
- Moderne Verstärker erreichen problemlos Klirrfaktoren von 0.1 % oder weniger.
- Weitere Voraussetzungen, einen niedrigen Klirrfaktor zu erreichen, sind eine gute Einstellung des Arbeitspunktes und die Vermeidung der Übersteuerung.

Man opfert also einen nicht unerheblichen Teil der möglichen Verstärkung des Transistors, um die drei genannten Ziele zu erreichen.

Weitere Schaltungen

- Für die Erläuterung der anderen Grundsaltungen sei auf die entspr. Bauanleitungen verwiesen.
- Das dort dargestellte wäre hier nur eine Wiederholung mit der Gefahr von Unterschieden und Fehlern.
- Die folgende Tabelle listet auf, welche Schaltungen vorauss. in welcher Bauanleitung beschrieben sind:

Der Differenzverstärker:	BAL-EAG-020
Grundsaltung des NE555:	BAL-EAG-021
Der Schmitt-Trigger	BAL-EAG-022
OP-Grundsaltungen	BAL-EAG-023

Für Experten und solche, die es werden wollen

- Es bleibt jetzt noch die Frage, welche Aufgabe C_3 in der Schaltung hat.
- Dieser dient ganz einfach dazu, die **Gegenkopplung** für die Verstärkung von **Wechselspannung** zu **reduzieren**.
- Ein Kondensator ist ja für Wechselspannung durchlässig.
- Dadurch kann die **Verstärkung** für Wechselspannung **unabhängig** von der Arbeitspunktstabilisierung und der Temperaturkompensation eingestellt werden.
- Und noch ein Hinweis zu dem Bild auf Folie 10. Dieses Bild zeigt das vollständige Kennlinienfeld eines Transistors in der sog. **Vier-Quadranten-Darstellung**.
- Diese Darstellung wird häufig verwendet, weil dort alle Zusammenhänge zwischen dem Eingang und dem Ausgang eines Transistorverstärkers gemeinsam dargestellt werden können.
- Die Eingangskennlinie, die Basis-Emitter-Diodenkennlinie, ist links unten zu erkennen.
- Eine genaue Erläuterung des Diagramms muss aber leider auf einen Fortgeschrittenenkurs verschoben werden.

Grundschaltungen

Referenzen

- [1] Der Deutsche Amateur-Radio-Club e.V.: www.darc.de
- [2] Die Webseite des OV I07: www.amateurfunk-leer.de
- [3] Verband der Funkamateure in Telekommunikation und Post e.V. (früher: Vereinigung der Funkamateure der Deutschen Bundespost): www.vfdb.org, z31.vfdb.org
- [4] https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:NE555_Bloc_Diagram.svg. Verwendung gemeinfrei.
- [5] https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Kennlinienfeld_Transistor_h-Parameter.svg. Verwendung gem [6].
- [6] creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.de

© Alle Rechte beim DARC OV I07 bzw. den Autoren. Für Ausbildungs- und Lehrzwecke frei verwendbar. Die gewerbliche oder kommerzielle Nutzung bedarf der schriftlichen Genehmigung.

Nicht referenzierte Bilder von DJ1FC, DK7AU oder vom Author.

Version 1.0, Juni 2026. Dokument erstellt mit L^AT_EX unter Verwendung der Pakete TikZ, CircuiTikZ und Beamer.