

Vorbereitung: Operationsverstärker

Christine Dörflinger und Frederik Mayer, Gruppe Do-9

21. Juni 2012

Inhaltsverzeichnis

0	Einleitung	3
0.1	Transistor	3
0.2	Idealer Operationsverstärker	3
0.3	Prinzipschaltbild eines Operationsverstärkers	3
1	Emitterschaltung eines Transistors	5
1.0	Grundlagen	5
1.1	Emitterschaltung eines Transistors	5
1.2	Dreieckspannung	5
1.3	Entfernen des Emitterkondensators	6
1.4	Frequenzabhängigkeit der Verstärkung	6
2	Grundschialtung eines Operationsverstärkers	6
2.1	Nichtinvertierender Verstärker mit zehnfacher Verstärkung	6
2.2	Demonstration des hohen Eingangs- und des kleinen Ausgangswiderstandes	7
2.3	Verstärkung in Abhängigkeit von der Frequenz	8
3	Invertierende Grundschialtung	8
3.1	Invertierender Verstärker mit zehnfacher Verstärkung	8
3.2	'Addierer' für zwei Eingangssignale	9
3.3	Integrierer	9
3.4	Differenzierer	10
4	Komplexere Schaltungen mit Operationsverstärkern	10
4.1	Idealer Einweggleichrichter	10
4.2	Generator für Dreieck- und Rechtecksignale	11
4.3	Programmierte Differentialgleichung 2. Ordnung	12
5	Quellen	12

0 Einleitung

In diesem Versuch geht es um den Aufbau, die Funktionsweise und um die Anwendung von einfachen elektrischen Verstärkerschaltungen. Eine Verstärkung von Signalen durch einen Transistor oder den Operationsverstärker (OPV) spielen in eine große Rolle, da man damit beispielsweise schwache Signale einer Messung verstärkt werden können.

0.1 Transistor

Da bereits im P1-Praktikum ein Versuch zu Transistoren durchgeführt wurde, wird hier auf Details verzichtet. Im Allgemeinen besitzen Transistoren drei Anschlüsse: Kollektor, Basis und Emmitter.

Wenn eine geringe Basisspannung (Steuerspannung) vorhanden ist, kann die am Kollektor angelegte Spannung am Emmitter abgegriffen werden. Andernfalls ist der Widerstand des Transistors so groß, dass kein Strom fließt. Somit kann man mit dem Basisstrom I_B den Kollektorstrom I_C steuern.

Ein Transistor ist aus n- und p-dotierten Halbleitern aufgebaut (nnp oder pnp).

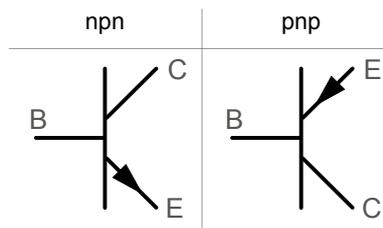


Abbildung 1: C: Kollektor, B: Basis, E: Emmitter

Als Darlington Transistor bezeichnet man eine Kombination aus zwei Transistoren: An den Emmitter vom 1. Transistor wird die Basis des 2. Transistors angeschlossen. Die Kollektoranschlüsse werden zusammengelegt. Dies führt zu einer deutlich größeren Verstärkung.

0.2 Idealer Operationsverstärker

Die folgenden ‚drei goldene Regeln‘ beschreiben den idealen Operationsverstärker (R_E : Eingangswiderstand, R_A : Ausgangswiderstand), I_A : Ausgangsstrom:

1. $v \rightarrow \infty$: Die Verstärkung ist unendlich $\implies U_N \approx U_P$
2. $R_E \rightarrow \infty$: Es fließt kein Strom in die OPV-Schaltung.
3. $R_A \rightarrow \infty$: Die Ausgangsspannung ist abhängig I_A , also von der angehängten Last (gilt nur für $I_A < I_{A\max}$).

0.3 Prinzipschaltbild eines Operationsverstärkers

Im folgenden werden die ‚Bauteile‘ 1 bis 6 aus der folgenden Skizze beschrieben.

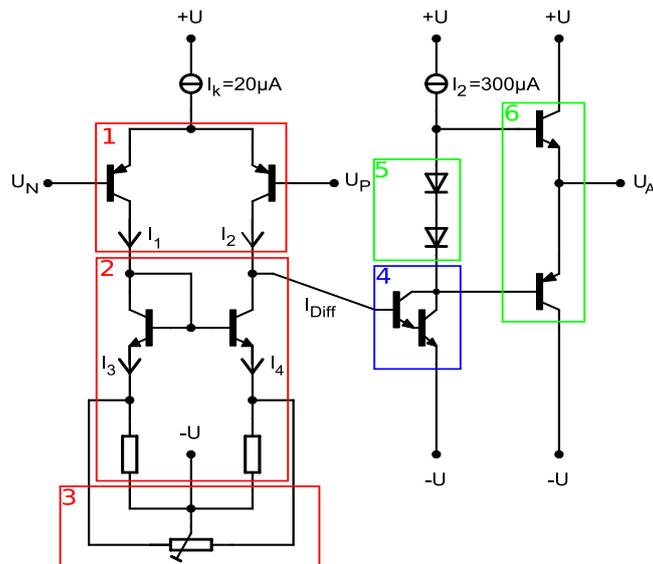


Abbildung 2: Prinzipschaltbild des Operationsverstärkers $\mu A741$

I. Die Bauteile 1 bis 3 werden als Eingangsstufe bezeichnet. Die Funktion der Eingangsstufe ist es, der Verstärkerstufe die Spannungsdifferenz der Eingänge als Differenzstrom I_{Diff} auszugeben.

(1) Differenzverstärker

Die beiden pnp-Transistoren verteilen den Strom antiproportional zum anliegenden Potential. Das bedeutet: Für hohes Eingangspotential ist die Spannungsdifferenz zwischen Basis und Emitter gering; für einen hohen Kollektor-Emitter-Widerstand ist die Differenz groß. Dadurch wird der Gesamtstrom begrenzt.

(2) Stromspiegel

Der Stromspiegel besteht aus zwei gleichen npn-Transistoren, die an das selbe Basispotential und an ein identisches Emitterpotential (identische Widerstände in Emitterleitung) angeschlossen sind. Folglich sind die Basis-Emitter-Spannungen (und Basisströme) auch der Kollektorstrom gleich.

- $I_3 = I_4$

- Falls $I_1 \neq I_2$ fließt ein Differenzstrom ab: $I_{\text{Diff}} = I_2 - I_1$ für $I_2 > I_1$

(3) Nullpunkteinstellung

Über einen regelbaren Widerstand kann man das Emitterpotential der beiden Transistoren aus (2) nachjustieren, sodass auch tatsächlich gilt: $I_3 = I_4$.

II. Das Bauteil (4) stellt die Verstärkerstufe dar:

Es handelt sich hierbei um den oben erwähnten Darlington Transistor.

III. Als Endstufe werden die Bauteile 5 und 6 zusammengefasst. Die letzte Stufe wird benötigt, weil die 2. Stufe zwar verstärkt, aber von der Last abhängig ist (geringer Lastwiderstand: Verstärkung sinkt ab). Daher benötigt man die Endstufe als Impedanzwandler.

() Spannungsteiler

Der Spannungsteiler besteht aus zwei Dioden, die das Arbeitspotential des Emitterfolgers auf das richtige Potenzial zu bringen: Am komplementären Emitterfolger fällt genau zwei mal eine Diodenknickspannung ab, daher muss das Potential des oberen Transistors um den Faktor 2 größer sein als das des unteren.

() komplementärer Emitterfolger

Um den Wirkungsgrad im Vergleich zur normalen Kollektorschaltung zu erhöhen, werden hier zwei komplementäre Transistoren (nnp und pnp) verwendet: Der eine ist immer offen, während der andere gesperrt ist.

Ansonsten funktioniert die Impedanzwandlung wie bei der Kollektorschaltung (Siehe P1: Transistorgrundschaltungen): hoher Eingangswiderstand (Verstärkerstufe wird nicht beeinflusst), extrem niedriger Ausgangswiderstand (ermöglicht hohe Ausgangsströme).

1 Emitterschaltung eines Transistors

1.0 Grundlagen

Die Emitterschaltung ist zwar die Transistorgrundschaltung mit der höchsten Strom- und Spannungsverstärkung, aber ist produktionsbedingten Schwankungen innerhalb einer Produktionsserie unterworfen. Diese Qualitätsunterschiede hängen mit dem Verstärkungsfaktor (große Serienstreuung) zusammen. Hinzu kommt, dass der Basis-Emitter-Widerstand sehr stark Temperaturabhängig ist.

Mit dem Verstärkungsfaktor β und dem Eingangswiderstand r_B gilt:

$$v_u = -\beta \frac{R_C}{r_B} \quad (1)$$

Um diese Abhängigkeiten zu beseitigen wird die Emitterschaltung modifiziert:

- Der Widerstand R_E wird in die Emitterleitung eingefügt, sodass bei höher angelegtem Potential Basis- und Kollektorstrom größer sind, wodurch eine höhere Spannung an R_E abfallen kann: Das Emitterspotential wird angehoben. Somit wird die Spannungsdifferenz zwischen Basis und Emittter geringer, man spricht von Stromgegenkopplung. Das bedeutet, dass die Spannungsverstärkung reduziert wird, aber auch nicht mehr von den Eigenschaften des Transistors abhängen.

$$v_u = -\beta \frac{R_C}{r_B} \rightarrow v_u = -\frac{R_C}{R_E} \quad (2)$$

- Der Kondensator C_E wird genutzt um den Widerstand R_E zu überbrücken. Dadurch werden sich schnell ändernde Signale stark verstärkt, während Gleichstromanteile oder langsame Veränderungen durch die Gegenkopplung unterdrückt werden. Erklären lässt sich das über die Frequenzabhängigkeit der Impedanz:

$$Z_C = (i\omega C)^{-1} \quad (3)$$

- Die Widerstände $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ und $R_2 = 5.6 \text{ k}\Omega$ werden als Spannungsteiler verwendet, um den Arbeitspunkt des Transistors so einzustellen, dass durch einen npn-Transistor nicht nur positive Signale größer U_D (Diodenknickepotential) durchgelassen werden, sondern auch die negative Halbwelle des Eingangssignals berücksichtigt wird. Das gesamte Eingangssignal kann so verstärkt werden. (Ausgang ist positiver \rightarrow Offset beachten!)
- Die Kondensatoren C_1 und C_2 werden zur Potentialtrennung genutzt: Nur die Wechselanteile von Eingangs- bzw. Ausgangssignal werden durchgelassen (\rightarrow Offset des Ausgangs muss nicht beachtet werden)

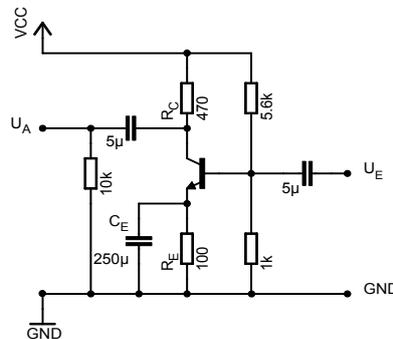


Abbildung 3: Schaltbild: einstufiger Transistorverstärker

1.1 Emitterschaltung eines Transistors

In der Teilaufgabe 1.1 soll die oben beschriebene Schaltung aufgebaut werden.

1.2 Dreiecksspannung

Hier wird eine Dreiecksspannung von ca. 1kHz angeschlossen und mit dem Oszilloskop das Ausgangssignal beobachtet und die Verstärkung bestimmt.

Die Qualität des Verstärkers soll beurteilt werden, indem das Eingangssignal so eingestellt wird, dass das Ausgangssignal etwa $3 V_{SS}$ und $10 V_{SS}$ beträgt.

$$v_U = \frac{U_A}{U_E} \quad (4)$$

1.3 Entfernen des Emittorkondensators

Hier wird zunächst der Emittorkondensator (C_E im Schaltbild) entfernt, sodass wir eine stromgegekoppelte Schaltung (statt gleichstromgegekoppelt) erhalten, da wir nun auch die Wechselstromanteile gegenkoppeln.

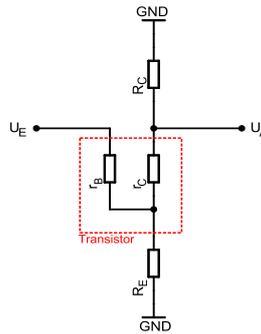


Abbildung 4: Ersatzschaltbild ohne C_E

Es wird verwendet, dass der Basiswiderstand r_B viel kleiner ist als alle anderen Widerstände und der Basiskollektorwiderstand r_C viel größer ist.

Aus dem Ersatzschaltbild lässt sich die Eingangsimpedanz näherungsweise bestimmen:

$$Z_E = r_B + (R_E \parallel r_C)(\beta + 1) \approx r_B + R_E(\beta + 1) \approx R_E(\beta + 1) \quad (5)$$

Für die Eingangsimpedanz gilt:

$$Z_A = R_C \parallel \left(r_C + (R_E \parallel \frac{r_B}{\beta}) \right) \approx R_C \parallel \left(r_C + \frac{r_B}{\beta} \right) \approx R_C \parallel r_C \approx R_C \quad (6)$$

Aus Eingangs- und Ausgangsimpedanz lässt sich die Verstärkung bestimmen (mit $v_I = \frac{I_A}{I_E} = \beta$, negativ, da invertierende Schaltung):

$$|v_U| = \left| \frac{U_A}{U_E} \right| = \frac{Z_A \cdot I_A}{Z_E \cdot I_E} = \frac{R_C \cdot I_A}{R_E(\beta + 1)I_E} = \frac{R_C}{R_E} \cdot \frac{\beta}{\beta + 1} \approx \frac{R_C}{R_E} \rightarrow v_U = -\frac{R_C}{R_E} \quad (7)$$

Aus dem gegebenen Versuchsaufbau ist zu erwarten:

$$v_U = -\frac{470\Omega}{100\Omega} = -4.7 \quad (8)$$

1.4 Frequenzabhängigkeit der Verstärkung

In diesem Teilversuch wird die Verstärkung von den beiden oben verwendeten Verstärkern bei verschiedenen Frequenzen untersucht.

Erwartungen:

1. Da die Kopplungskondensatoren am Eingang bzw. Ausgang als Hochpass fungieren, ist zu erwarten, dass bei niedrigen Frequenzen (beide Schaltungen) die Verstärkung abnimmt.
2. Bei der gleichstromgegekoppelten Schaltung ist zu erwarten, dass die Verstärkung bei größeren Frequenzen zunimmt, da die Impedanz des Emittorkondensators mit steigender Frequenz abnimmt und die Gegenkopplung immer geringer wird.
3. Für hohe Frequenzen erreicht die Verstärkung der stromgegekoppelten Schaltung den Maximalwert von $v_U = -4.7$ aus Aufgabe 1.3.

2 Grundsaltung eines Operationsverstärkers

2.1 Nichtinvertierender Verstärker mit zehnfacher Verstärkung

In diesem Versuch soll ein OPV als Verstärker verwendet werden. Wegen der hohen Verstärkung (goldene Regeln) kann ein OPV an sich nur als Schalter verwendet werden, möchte man ihn als Verstärker verwenden, ist eine Gegenkopplung erforderlich: Über einen Widerstand wird das Ausgangssignal auf den negativen Eingang des OPV gelegt. Das Eingangssignal wird somit 'gedämpft'. Bei dem in diesem Versuch gebauten Verstärker soll das Ausgangssignal das selbe Vorzeichen haben wie das Eingangssignal (nichtinvertierend).

Ein nichtinvertierender Verstärker ist folgendermaßen aufgebaut:

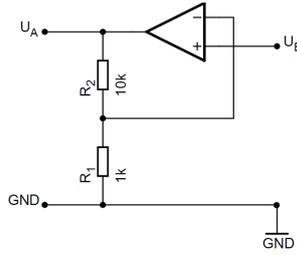


Abbildung 5: Schaltbild eines nichtinvertierenden Verstärkers

Die zweite goldene Regel besagt, dass die Verstärkung eines OPV unendlich ist. Möchte man am Ausgang des OPV kein unendlich hohes Signal haben, muss die Spannungsdifferenz der Eingänge also 0 sein.

Dann gilt:

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{U_1}{R_1} = I_1 \Leftrightarrow \frac{U_2}{U_1} = \frac{R_2}{R_1} \quad (9)$$

Für die Ausgangsspannung gilt zudem $U_A = U_1 + U_2$. Erweitert man die vorige Gleichung mit 1, lässt sich U_A einsetzen:

$$\frac{U_1 + U_2}{U_1} = \frac{U_A}{U_1} = \frac{R_2}{R_1} + 1 \quad (10)$$

U_1 entspricht genau der Eingangsspannung und $\frac{U_A}{U_E}$ dem Verstärkungsfaktor v . Deshalb:

$$v = \frac{U_A}{U_E} = \frac{R_2}{R_1} + 1 \quad (11)$$

Für die im Schaltbild verwendeten Widerstände ergibt sich also $v=11$. Im Versuch soll eine Dreiecksspannung als Eingangsspannung verwendet und der Verstärkungsfaktor bestimmt werden. Dieser soll mit dem theoretischen Wert von $v=11$ verglichen werden.

2.2 Demonstration des hohen Eingangswiderstandes

(a) Eingangswiderstand

Der hohe Eingangswiderstand kann mit folgender Schaltung demonstriert werden:

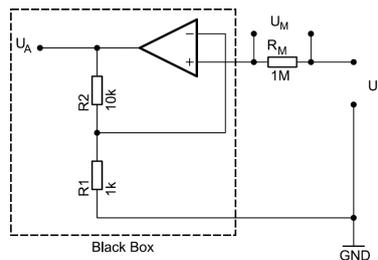


Abbildung 6: Schaltung zur Demonstration des Eingangswiderstandes

In dieser Schaltung ist am Eingang ein bekannter Widerstand R_M in Reihe eingebaut, über dem die Spannung U_{RM} gemessen werden kann. Für den Eingangswiderstand X gilt analog wie in der vorhergehenden Aufgabenstellung (Betrachtung der Stromstärke):

$$I = \frac{U_E}{X + R_M} = \frac{U_{RM}}{R_M} \Leftrightarrow \frac{U_E}{U_{RM}} = \frac{X + R_M}{R_M} \quad (12)$$

Umgeformt:

$$X = R_M \cdot \left(\frac{U_E}{U_{RM}} - 1 \right) \quad (13)$$

Hiermit kann der Eingangswiderstand X leicht bestimmt werden.

(b) Ausgangswiderstand

Die Ausgangsimpedanz ist nicht so einfach zu bestimmen wie der Eingangswiderstand, da sie nicht konstant ist. Sie kann jedoch grob abgeschätzt werden, indem parallel zum Ausgang ein Potentiometer angeschlossen wird. Solange man am Potentiometer regelt und die Ausgangsspannung nicht absinkt, ist die Ausgangsimpedanz viel kleiner als der am Potentiometer eingestellte Widerstand. Sinkt die Ausgangsspannung ungefähr auf die Hälfte ab, entspricht die Einstellung am Potentiometer ungefähr der Ausgangsimpedanz des OPV.

2.3 Verstärkung in Abhängigkeit von der Frequenz

In diesem Versuchsteil soll die Frequenzabhängigkeit der Verstärkung untersucht werden.

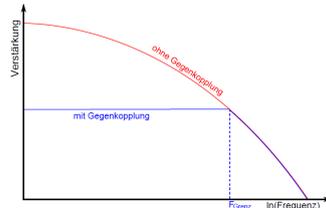


Abbildung 7: Frequenzabhängigkeit des Verstärkungsfaktors in Abhängigkeit von der Frequenz der angelegten Spannung

Wie in der Abbildung zu sehen ist, sinkt der Verstärkungsfaktor bei OPVs ohne Gegenkopplung mit zunehmender Frequenz recht schnell ab. Dieser Effekt kann durch eine Gegenkopplung bis zu einer Grenzfrequenz verschoben werden, aber der ebenfalls einbricht.

Im Versuch werden an den OPV Sinusspannungen unterschiedlicher Frequenzen angelegt und am Oszilloskop beobachtet.

3 Invertierende Grundsaltung

3.1 Invertierender Verstärker mit zehnfacher Verstärkung

In dieser Aufgabe soll wie in Aufgabe 2.1 ein Verstärker mit zehnfacher Verstärkung aufgebaut werden. Die Schaltung ist folgendermaßen aufgebaut:

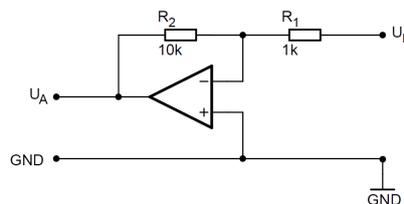


Abbildung 8: Schaltbild eines invertierenden Verstärkers

Der Verstärkungsfaktor dieser Schaltung soll nun berechnet werden. Die dritte goldene Regel besagt, dass die Eingangsspannungen des Operationsverstärkers ungefähr gleich sein sollen ($\Rightarrow U_N = U_P$). Erdet man den + Eingang, regelt somit der - Eingang ebenfalls ungefähr auf 0 (GND) nach und die Spannungsdifferenz zwischen den Eingängen wird ≈ 0 . Am Operationsverstärker selbst fällt also nur eine vernachlässigbare Spannung ab und es gilt

$$U_E = R_1 \cdot I_E \Leftrightarrow I_E = \frac{U_E}{R_1} \quad (14)$$

Weiterhin besagt eine goldene Regel, dass die Eingangswiderstände des OPV unendlich hoch sind. Damit fließt ein Strom von U_E nach U_A (der I_E entgegengesetzt ist, da über den OPV ein vernachlässigbarer Strom fließt):

$$U_A = R_2 \cdot I_A \Leftrightarrow U_A = -R_2 \cdot I_E \quad (15)$$

Setzt man I_E ein:

$$U_A = -R_2 \frac{U_E}{R_1} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot U_E \quad (16)$$

Der Verstärkungsfaktor ergibt sich aus $v = \frac{U_A}{U_E}$:

$$v = \frac{U_A}{U_E} = -\frac{R_2}{R_1} \quad (17)$$

Setzt man die im Versuch verwendeten Widerstände R_2 und R_1 ein, so erhält man $v=10$.

3.2 'Addierer' für zwei Eingangssignale

In diesem Versuch sollen zwei Eingangsspannungen addiert werden: Als Eingangssignale können Dreiecks-, Rechtecks, Sinus- und Gleichspannungen verwendet werden. Die Ausgangsspannung soll mit einem Oszilloskop (DC) betrachtet werden.

Der Schaltplan eines Addierers sieht folgendermaßen aus:

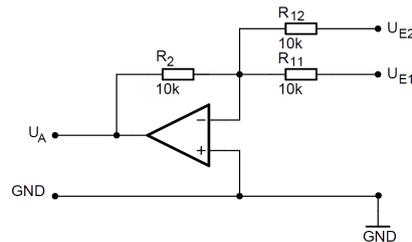


Abbildung 9: Schaltbild eines Addierers

Im Schaltbild ist zunächst zu erkennen, dass es zwei Eingänge mit unterschiedlichen Eingangswiderständen gibt, mit denen die zwei Eingangssignale gewichtet werden können.

Für die Ausgangsspannung überlegt man sich analog zum vorhergehenden Aufgabenteil:

$$U_A = -R_2 \cdot (I_{11} + I_{22}) = -R_2 \cdot \left(\frac{U_{E1}}{R_{11}} + \frac{U_{E2}}{R_{22}} \right) \quad (18)$$

Verwendet man gleiche Eingangswiderstände, ist die Ausgangsspannung also proportional zur negativen Summe der beiden Eingangsspannungen.

3.3 Integrierer

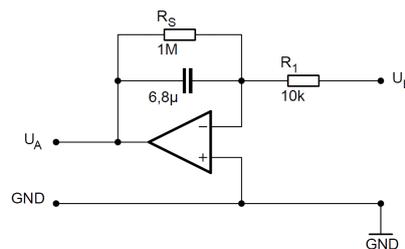


Abbildung 10: Schaltbild eines Integrierers

Diese Schaltung ist wieder ähnlich mit den vorhergehenden Schaltungen. Der Unterschied besteht darin, dass zur Stromgegenkopplung statt einem Widerstand hier ein Kondensator verwendet wurde (R_S soll nicht beachtet werden). Mit der dritten goldenen Regel erhält man wieder, dass der negative Eingang des OPV auf GND liegt. Für die Eingangsstromstärke gilt daher wieder:

$$I_E = \frac{U_E}{R_1} \quad (19)$$

und für die Spannung am Kondensator:

$$U_C = U_A = \frac{Q}{C} = \frac{1}{C} \left(\int_0^t I_C(t) dt + Q_0 \right) \quad (20)$$

Wobei Q die Ladung ist, die sich zum Zeitpunkt $t=0$ bereits auf dem Kondensator befand. Setzt man $I_A = -I_E$ ein:

$$U_A = -\frac{R_1}{C} \left(\int_0^t dt U_E(t) + U_A(0) \right) \quad (21)$$

Die Ausgangsspannung ist also proportional zum zeitlichen Integral der Eingangsspannung.

Im Versuch sollen Rechtecks- und Dreiecksspannungen niedriger Frequenz und großer Amplitude als Eingangsspannung verwendet werden und die Ausgangsspannung am Oszilloskop (AC) betrachtet werden.

3.4 Differenzierer

Ein Differenzierer ist folgendermaßen aufgebaut:

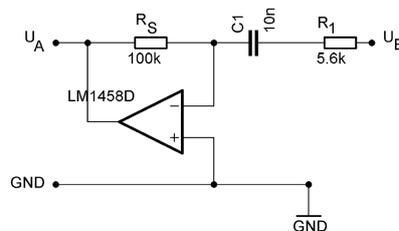


Abbildung 11: Schaltbild eines Differenzierers

Im Vergleich mit dem Integrierer sind beim Differenzierer Widerstand und Kondensator vertauscht. Es gilt wieder $I_A = -I_E$.

Für U_A gilt:

$$U_A = R_S \cdot I_A = -R_S \cdot I_E \quad (22)$$

I_E erhält man über folgende Überlegung am Kondensator:

$$Q = C \cdot U_E \Rightarrow \frac{dQ}{dt} = I_E = C \cdot \frac{dU_E}{dt} \quad (23)$$

Einsetzen:

$$U_A = -R_S \cdot C \cdot \frac{dU_E}{dt} \quad (24)$$

Die Ausgangsspannung ist also proportional zur negativen zeitlichen Ableitung der Eingangsspannung. Dies soll erneut mit Rechteck- und Dreiecksspannungen am Oszilloskop betrachtet werden.

4 Komplexere Schaltungen mit Operationsverstärkern

4.1 Idealer Einweggleichrichter

Ein einfacher Einweggleichrichter ist aus einer Diode und einem Widerstand aufgebaut:

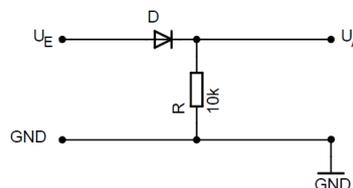


Abbildung 12: Schaltbild eines einfachen Gleichrichters aus Diode und Widerstand

Je nach Vorzeichen der Eingangsspannung fällt diese entweder komplett an der Diode oder am Widerstand ab. Diese Schaltung hat allerdings den Nachteil, dass an der Diode immer mindestens eine bestimmte Spannung, die Diodenknickspannung, abfällt, selbst wenn die Diode in Durchlassrichtung gepolt ist.

Deshalb soll nun ein Idealer Einweggleichrichter gebaut werden, bei dem keine Diodenknickspannung verloren geht:

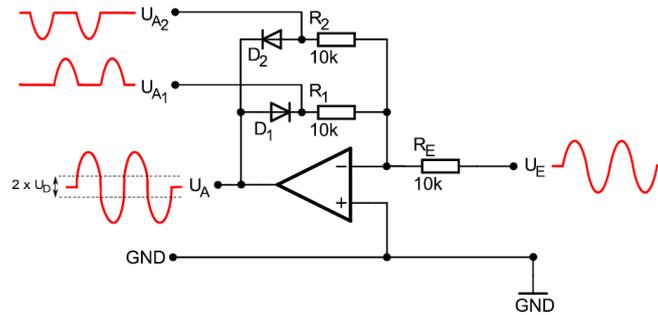


Abbildung 13: Schaltbild eines idealen Gleichrichters

In dieser Schaltung hat der OPV zwei Gegenkopplungswege, die jeweils aus einer Diode und einem Widerstand bestehen, bei denen jedoch die Dioden unterschiedlich gepolt sind. Durch einen der zwei Gegenkopplungswege gehen also die 'positiven' Halbwellen der Eingangsspannung und durch den anderen Zweig die Negativen.

Analog zu den vorhergehenden Aufgaben gilt $I_A = -I_E$. Deshalb muss die Ausgangsspannung ansteigen, bis R_1 oder R_2 gerade den Eingangsstrom führen. Da zudem in den Zweigen noch die Diodenknickspannung abfällt, ist U_A immer jeweils (pos. und neg.) um die Diodenknickspannung erhöht (Siehe Skizze). An U_{A1} und U_{A2} lassen sich dann negative und positive Halbwellen abgreifen.

Diese Schaltung ist ähnlich mit der invertierenden Verstärkerschaltung: Für den Verstärkungsfaktor gilt $v = \frac{R_2}{R_1}$. Da diese Widerstände gleich sind, gilt tatsächlich $v=1$ und es findet keine Spannungsverstärkung sondern nur eine Gleichrichtung statt.

Die Funktion des Gleichrichters soll nun mit unterschiedlichen Eingangssignalen untersucht werden.

4.2 Generator für Dreieck- und Rechtecksignale

In dieser Aufgabe soll ein Generator für Dreieck- und Rechtecksignale gebaut werden. Dieser Generator soll mit Gleichspannung betrieben werden, es handelt sich um eine selbsterregende Schaltung.

Er ist folgendermaßen aufgebaut:

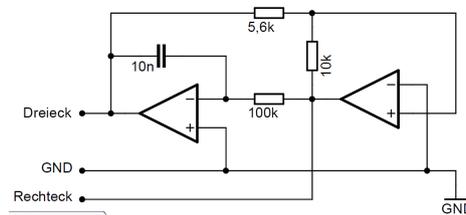


Abbildung 14: Schaltbild eines Generators für Dreiecks- und Rechtecksignale

Wie in der Abbildung zu erkennen ist, verwendet diese Schaltung zwei Operationsverstärker, von denen der Linke als Integrator und der rechte als sog. Schmitt-Trigger dient. Ein Schmitt-Trigger gibt abhängig davon, ob die Spannung am invertierenden Eingang oder die am nicht invertierenden Eingang höher ist, -15 V oder $+15\text{ V}$ aus.

Um die Schaltung zu verstehen, geht man von dem Zustand aus, dass die Spannung am invertierenden Eingang höher ist und der Trigger somit -15 V ausgibt. In diesem Fall liegen somit am linken OPV über den 100k -Widerstand 15 V am Invertierenden Eingang an. Somit gibt dieser OPV eine positive Spannung aus, mit der Kondensator aufgeladen wird. Das Potential auf der linken Seite des Integrators / Kondensators steigt somit immer weiter an.

Betrachtet nun den '+'-Eingang des Triggers, so erkennt man, dass sowohl der Ausgang des Integrators (wo das Potential immer weiter ansteigt) als auch der Ausgang des Triggers (negatives Potential) selbst jeweils über Widerstände angeschlossen sind. Die Spannung am Ausgang des Integrators steigt so lange an, bis am Schmitt-Trigger am '+'-Eingang eine höhere Potential anliegt als am '-'-Eingang. Somit schaltet der Trigger um und gibt in der Folge -15 V aus.

Nun beginnt ein umgekehrter Prozess: Das Potential am Ausgang des Integrators sinkt immer weiter ab, bis der Schmitt-Trigger wieder umschaltet. Somit haben wir den Ausgangszustand unserer Überlegungen wieder erreicht.

Am Ausgang des Schmitt-Triggers kann nun eine Rechteckspannung (zwischen -15V und 15V) abgegriffen werden. Da diese Rechteckspannung als Eingangsspannung am Integrator dient, kann man an ihm eine Dreieckspannung abgreifen.

4.3 Programmierte Differentialgleichung 2. Ordnung

Die sogenannte 'Programmierte Differentialgleichung 2. Ordnung' ist folgendermaßen aufgebaut:

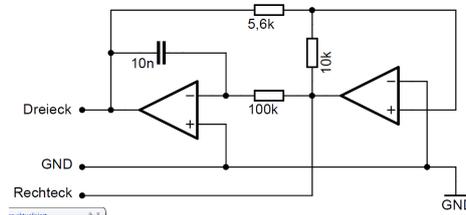


Abbildung 15: Programmierte Differentialgleichung 2. Ordnung

Diese Schaltung folgt einer linearen Differentialgleichung 2. Ordnung

$$\ddot{x}(t) + 2\beta\dot{x}(t) = -\omega_0^2 x(t) \quad (25)$$

Um diese Differentialgleichung zu realisieren, verwendet man zwei hintereinander geschaltete Integrierer (rechts) und ein negativ verstärkendes Glied, das wiederum den rechten Integrierer ansteuert. Über die verbauten Widerstände können die Koeffizienten in der Differentialgleichung bestimmt werden; insbesondere die Dämpfung Beta durch das Potentiometer. Damit können die drei Dämpfungsfälle des Harmonischen Oszillators realisiert werden.

Im Versuch soll das Potentiometer verstellt werden. Je nach Einstellung dieser Dämpfung sollte die abgegriffene Amplitude (Ausgang des Verstärkers links entspricht $\omega_0^2 \cdot x(t)$ -Term) steigen oder abklingen.

5 Quellen

- <http://de.wikipedia.org/wiki/Transistor>
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Transistorgrundschaltungen>
- Vorbereitungs- und Literaturliste
- Schaltpläne, wenn nicht anders angegeben: Aus Vorbereitungshilfe.