

Auswertung

Operationsverstärker

Stefan Schierle

Carsten Röttele

Versuchsdatum: 08. 05. 2012

Inhaltsverzeichnis

1	Emitterschaltung eines Transistors	2
1.1	Einstufiger Transistorverstärker	2
1.2	Dreiecksspannung	2
1.3	Entfernen des Emittterkondensators	2
1.4	Verstärkung bei unterschiedlichen Frequenzen	3
2	Grundschtaltung eines Operationsverstärkers	5
2.1	Nichtinvertierender Verstärker	5
2.2	Ein- und Ausgangswiderstand	5
2.3	Verstärkungsabhängigkeit von der Frequenz	6
3	Invertierte Grundschtaltung	7
3.1	Invertierter Verstärker	7
3.2	Addierer	8
3.3	Integrierer	8
3.4	Differenzierer	9
4	Komplexere Schaltungen mit Operationsverstärkern	9
4.1	Idealer Einweggleichrichter	9
4.2	Generator für Dreieck- und Rechtecksignale	10
4.3	Programmierte Differenzialgleichung 2. Ordnung	11

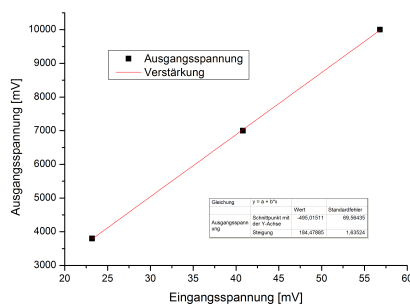
1 Emitterschaltung eines Transistors

1.1 Einstufiger Transistorverstärker

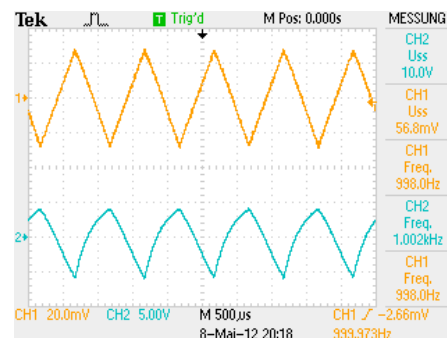
Wir haben zunächst den einstufigen gleichstromgegekoppelten Transistorverstärker aufgebaut. Danach haben wir die Lage des Arbeitspunktes des Transistors gemessen. Wir erhielten dabei einen Wert von $U_A = 2,1V$.

1.2 Dreiecksspannung

Als nächstes wurde mit der gerade in der vorherigen Aufgabe aufgebauten Schaltung zunächst das Ausgangssignal bei verschiedenen starken Amplituden an einem Oszilloskop betrachtet. Wir legten hierzu eine Dreiecksspannung mit einer mittleren Frequenz von $1kHz$ an und regelten danach die Ausgangsamplituden in einen Bereich zwischen $3,8V_{SS}$ und $10V_{SS}$. Wir fingen dabei erst bei $3,8V_{SS}$ anstatt $3V_{SS}$, weil wir eine niedrigere Ausgangsamplitude nicht realisiert bekommen haben. Um nun die Verstärkung zu erhalten, haben wir drei Messwerte im Bereich dazwischen genommen und anschließend die Ausgangs- über die Eingangsspannung aufgetragen. Dadurch bekommt man anschließend mit einer linearen Regression (ausgeführt von unserem Plotter Origin) direkt die Verstärkung, welche definiert ist über $v = \frac{U_A}{U_E}$. Wir erhalten folgenden Graphen:



Linearer Fit zur Bestimmung von v

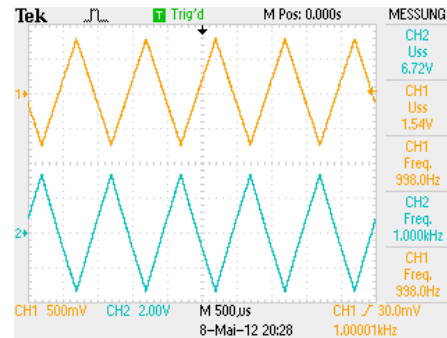


angezeigte Ein- und Ausgangsspannung

Man kann hieraus für die Verstärkung ablesen: $v = 184,48$.

1.3 Entfernen des Emitterkondensators

Hier wurde als erstes der Emitterkondensator entfernt, um anschließend die gleiche Messung wie in der vorherigen Aufgabe durchzuführen. Wir haben dabei allerdings fünf Messwerte anstatt drei aufgenommen. Man konnte im Vergleich zur Messung mit dem Kondensator ein stabileres Ausgangssignal erkennen, wobei auch deutlich zu erkennen war, dass die Verstärkung viel kleiner als in der vorherigen Aufgabe ist. Man erhält mit der gleichen Vorgehensweise wie oben folgenden Graphen:



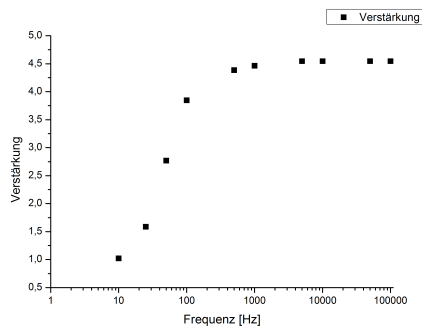
angezeigte Ein- und Ausgangsspannung

1.4 Verstärkung bei unterschiedlichen Frequenzen

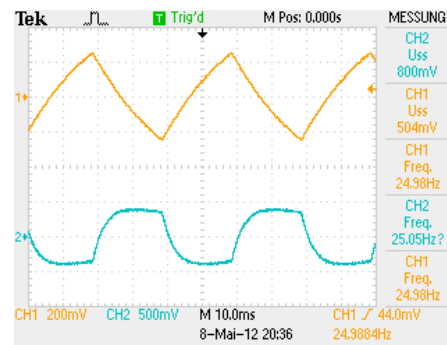
- **Stromgegegengkoppelte Schaltung:** Auch hier wurden wieder die Eingangsspannungen und die Ausgangsspannungen am Oszilloskop gemessen, um anschließend die zum Teil verschiedenen Verstärkungen für die jeweilige Frequenz zu berechnen. Man konnte bei niedrigen Frequenzen starke Verzerrungen des Eingangssignals betrachten. Dies ist auch auf dem unteren Bild sichtbar. Je höher wir allerdings die Frequenz drehten, desto stabiler wurde das Signal und gleichzeitig die Verstärkung. Dies ist eigentlich auch zu erwarten, da die Verstärkung unabhängig von der Frequenz ist, falls diese nicht sehr klein ist. Wir erhielten dabei folgende Messwerte und den daraus resultierenden Graphen:

Frequenz in Hz	10	25	50	100	500	1000	5000	10000	50000	100000
Verstärkung	1,02	1,59	2,77	3,85	4,38	4,46	4,55	4,55	4,55	4,55

Messwerte



Verstärkung in Abhängigkeit der Frequenz

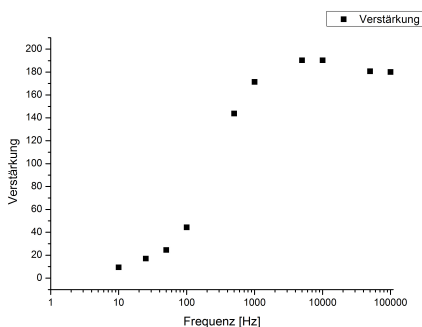


verzerrtes Ausgangssignal bei niedriger Frequenz

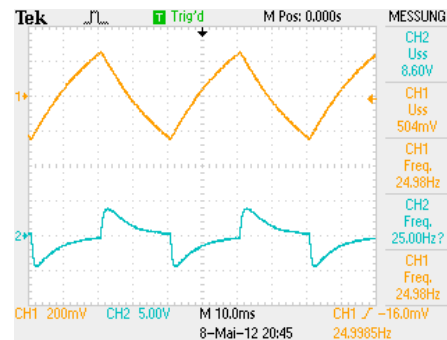
- **Gleichstromgegekoppelte Schaltung:** Nun schalteten wir wieder den Emittterkondensator dazu und wiederholten die Messung wieder mit den gleichen Frequenzen. Wir konnten hier auch wieder bei niedrigen Frequenzen eine Verzerrung des Signals bemerken. Zudem mussten wir hier bei höheren Frequenzen die Eingangsamplitude verringern, da es sonst zu einer des Signals gekommen wäre. Wir erhielten dabei folgende Messwerte und Graphen:

Frequenz in Hz	10	25	50	100	500	1000	5000	10000	50000	100000
Verstärkung	9,39	17,06	24,62	44,37	143,75	171,43	190,32	190,32	180,65	180

Messwerte



Verstärkung in Abhängigkeit der Frequenz



verzerrtes Ausgangssignal bei niedriger Frequenz

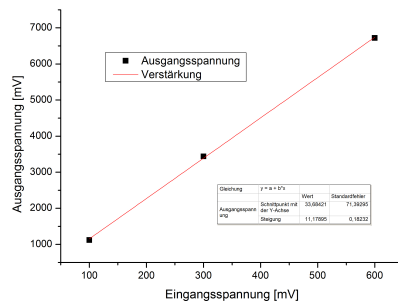
Wie man schon anhand der beiden vorherigen Aufgabenteilen sehen konnte, ist hier die Verstärkung deutlich größer als bei der stromgegekoppelten Schaltung. Dadurch ergibt sich auch eine viel stärkere Abhängigkeit der Verstärkung von der Frequenz, wobei auch hier für kleine Frequenzen die Verstärkung gering ist. Sie

geht dann gegen den in der Aufgabe 1.2 gemessenen Wert, nimmt dann jedoch bei den größten Frequenz wieder ein bisschen ab. Dies liegt vermutlich an den stark auftretenden Verzerrungen bei diesen hohen Frequenzen.

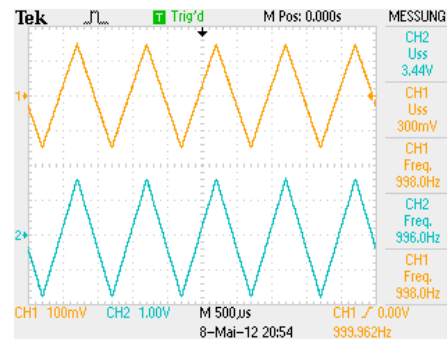
2 Grundsaltung eines Operationsverstärkers

2.1 Nichtinvertierender Verstärker

Im nächsten Versuchsteil wurde zunächst ein nichtinvertierender Verstärker gemäß Schaltplan aufgebaut, um anschließend bei drei verschiedenen Eingangsspannungen die jeweilige dazugehörige Ausgangsspannung zu messen. Mit dem gleichen Verfahren, wie in den Aufgabenteilen 1.2 und 1.3 haben wir nun aus den Messwerten die Verstärkung bestimmt:



Linearer Fit zur Bestimmung von v



angezeigte Ein- und Ausgangsspannung

Wir erhalten demnach hier eine Verstärkung von etwa $v = 11,18$, welche verglichen mit dem in der Vorbereitung berechneten Wert von $v_{theo} = 11$ sehr nahe kommt, was für eine gute Messung und einen guten Verstärker spricht.

2.2 Ein- und Ausgangswiderstand

Eingangswiderstand

Um den in dieser Aufgabe gesuchten Eingangswiderstand zu bestimmen, haben wir zunächst den in der Vorbereitung abgebildeten Schaltplan aufgebaut. Allerdings haben wir anstatt die Spannung U_M direkt zu messen, die Spannungsdifferenz $U_E - U_M$ gemessen. Wir erhielten dabei die Messwerte:

U_E	$U_E - U_M$
592 mV	288 mV

Wir erhalten demnach: $U_M = 592mV - 288mV = 304mV$. Dies eingesetzt in die bereits in der Vorbereitung hergeleiteten Formel für den Eingangswiderstand ergibt:

$$R_X = R_M \cdot \left(\frac{U_E}{U_M} - 1 \right) = 1M\Omega \left(\frac{592mV}{304mV} - 1 \right) \approx 947,37M\Omega$$

Dies deckt sich mit der zweiten goldenen Regel von einem sehr großen Innenwiderstand.

Ausgangswiderstand

Um nun auch noch den Ausgangswiderstand des Verstärkers zu bestimmen, haben wir die Schaltung aufgebaut, die in der Vorbereitung zu sehen ist. Danach haben wir den parallel geschalteten Potentiometer solange heruntergeregelt, bis nur noch die Hälfte der Eingangsspannung angezeigt wurde, da in genau diesem Fall die Hälfte der Spannung am Ausgangswiderstand und die andere Hälfte am Potentiometer abfällt. Nun konnten wir den Widerstand mit einem Messgerät messen, welches uns anzeigte:

$$R_A = 106\Omega$$

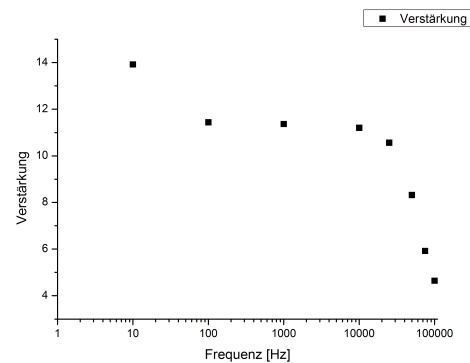
Dieser sehr kleine Widerstand beweist auch die dritte goldene Regel, die für einen Widerstand, welcher gegen null geht, aussagt.

2.3 Verstärkungsabhängigkeit von der Frequenz

In diesem Aufgabenteil haben wir wie in der Aufgabe 1.4 die Abhängigkeit der Verstärkung der Grundsaltung bei verschiedenen Frequenzen einer Sinuswechselspannung untersucht. Dabei wurde die Verstärkung wieder über die gemessene Ausgangsspannung sowie die gleich gebliebene Eingangsspannung bestimmt. Wir erhielten dabei folgende Messwerte und den daraus resultierenden Graphen:

Frequenz in Hz	10	100	1000	10000	25000	50000	75000	100000
Verstärkung	13,92	11,44	11,36	11,20	10,56	8,32	5,92	4,64

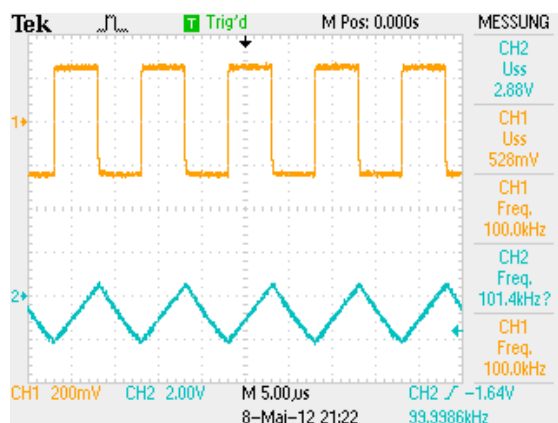
Messwerte



Verstärkung in Abhängigkeit der Frequenz

Man erkennt, dass die Verstärkung bis zu einer bestimmten Grenzfrequenz von etwa $f_{\text{grenz}} = 25kHz$ konstant bleibt, ab der sie dann immer weiter abfällt. Dies deckt sich mit unseren in der Vorbereitung beschriebenen Erwartungen.

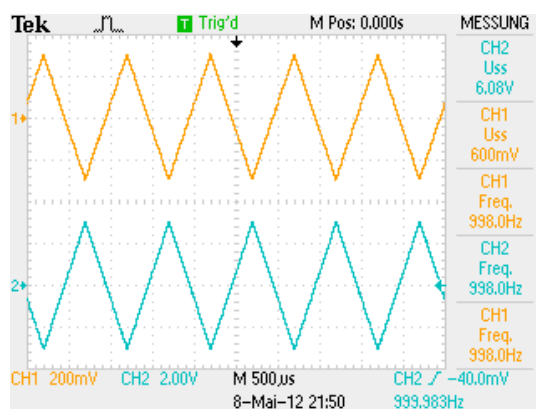
Die zwar in der Aufgabenstellung beschriebenen großen Verzerrungen bei hohen Frequenzen konnten wir hingegen bei einem Sinussignal nicht beobachten. Nur als wir das Eingangssignal in ein Rechtecksignal umwandelten, konnten wir diese erkennen, was man am folgenden Bild erkennt:



3 Invertierte Grundsaltung

3.1 Invertierter Verstärker

Wir bauten den invertierten Verstärker wie im Schaltbild der Vorbereitung auf und maßen die Eingangsspannung (U_{ESS}), sowie die Ausgangsspannung (U_{ASS}).



Invertierter Verstärker

Eingangsspannung	Ausgangsspannung
mV	mV
25,4	240
196	2040
600	6080

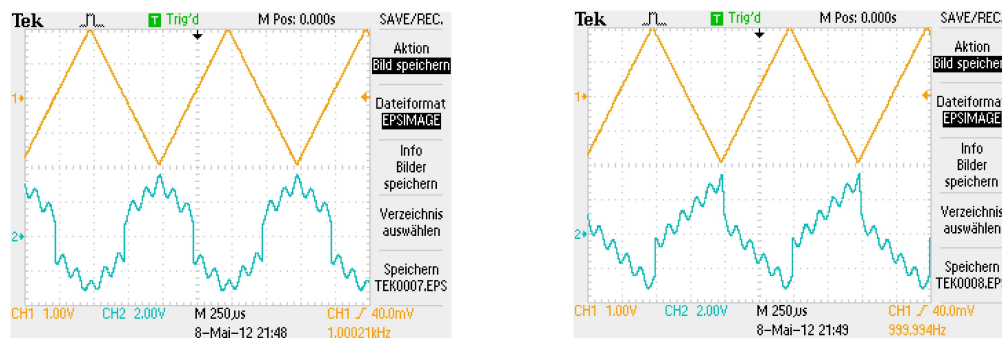
Messwerte

Wie schon im Bild an den angegebenen Spannungen für $f \approx 1kHz$ zu erkennen ist, beträgt der Verstärkungsfaktor in etwa 10. Um ein repräsentativeres Ergebnis zu erhalten, untersuchten wir noch bei zwei weiteren Spannungen den Verstärkungsfaktor. Wie man anhand obiger Tabelle sehen kann, ist in jedem Fall eine Verstärkung um den Faktor 10

gegeben, wenn auch mit minimalen Toleranzen. Somit wäre die Wirkung des invertierten Verstärkers nachgewiesen.

3.2 Addierer

Bei diesem Versuch sollte ein Signaladdierer aus Operationsverstärkern aufgebaut werden. Hier arbeiteten alle drei Praktikumsgruppen zusammen, da man so alle drei im Raum vorhandenen Frequenzgeneratoren als Eingangssignale nutzen konnte um ein schöneres Ergebnis zu erzielen.

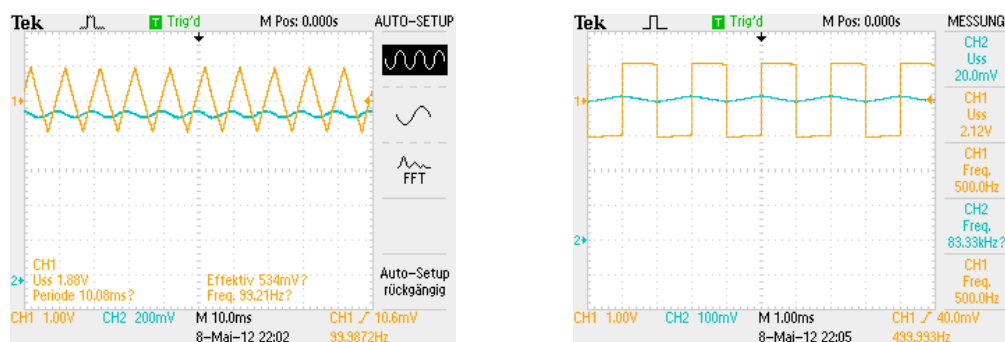


Hierbei haben wir bei allen drei Eingangssignalen eine Frequenz von 1 kHz. Überlagert wurden eine Dreiecksspannung, eine Rechteckspannung und einen Sinusspannung, mit unterschiedlichen Amplituden. Man sieht sehr schön, dass der OPV als Addierer funktioniert.

3.3 Integrierer

In dieser Teilaufgabe war es das Ziel mit einem Operationsverstärker eine Integriererschaltung aufzubauen.

Nach der theoretischen Herleitung der Funktionsweise in der Vorbereitung bleibt die Funktion experimentell zu überprüfen. Hierfür verwendeten wir eine Dreiecksspannung mit 100 Hz und eine Rechteckspannung mit 500 Hz.



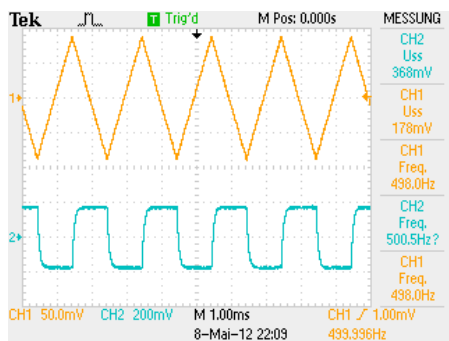
Dreiecksspannung

Rechteckspannung

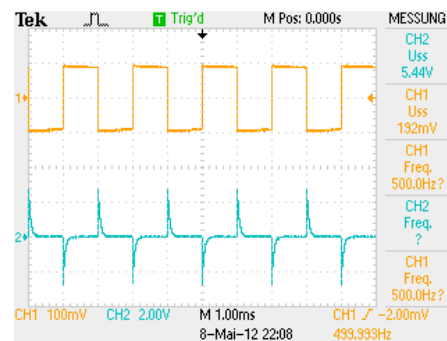
Leider ließ sich die Skalierung des Ausgangssignals nicht besser einstellen, jedoch kann man erkennen, dass aus der angelegten Dreiecksspannung ein aus Parabeln bestehender Funktionsverlauf und aus dem Rechtecksignal ein Dreieckssignal wurden. Dies sind die jeweiligen Stammfunktionen des Eingangssignals, daher gilt die Funktion des Integrierers als bestätigt.

3.4 Differenzierer

Analog zu Aufgabe 3.3 musste auch hier die Theorie der Vorbereitung überprüft werden.



Dreiecksspannung (500 Hz)



Rechteckspannung (500 Hz)

Aus der konstanten Steigung der Geraden der Dreiecksspannung ergibt sich durch das Differenzieren logischerweise eine Rechteckspannung, deren Sprung gerade an der Spitze des Dreiecks zu finden ist, da hier die Ableitungen nicht stetig sind.

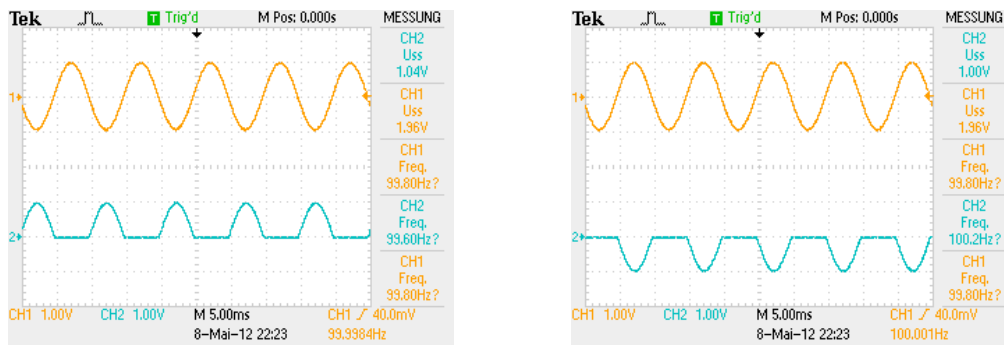
Differenziert man nun die Dreiecksspannung, so müsste man an den Sprüngen einen unendlich großen Wert für die differenzierte Funktion erhalten. Im Messgraphen kann man dies gut erkennen, dass an den Sprüngen der Rechteckspannung eine hohe aber zeitlich sehr kurze Spannung gemessen wird.

Wir können also sagen, dass die Differenziererschaltung funktioniert.

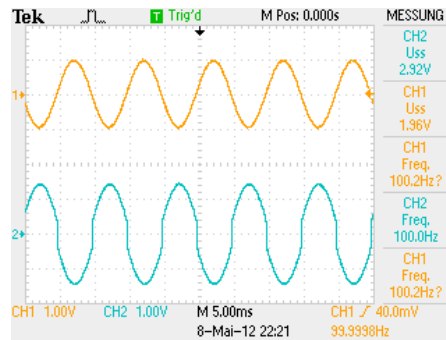
4 Komplexere Schaltungen mit Operationsverstärkern

4.1 Idealer Einweggleichrichter

Der ideale Einweggleichrichter hat gegenüber der normalen Einweggleichrichterschaltung den entscheidenden Vorteil dass durch diese Schaltung die Schwellenspannung, die an der Diode abfallen würde, wieder mit berücksichtigt.



Es zeigt sich, dass an den einzelnen Dioden, dank des OPV, jeweils wirklich die volle Sinushalbwellen der Eingangsspannung abgegriffen werden kann. Dieser Effekt ist sehr hilfreich, wenn man nur eine Polarität bei Wechselspannungen messen will, da bei einer Gleichrichterschaltung ohne OPV wird die Schwellenspannung der Diode nicht berücksichtigt. Es lässt sich natürlich auch näherungsweise die Knickspannung der Diodenkennlinie der verwendeten baugleichen Dioden ermitteln.

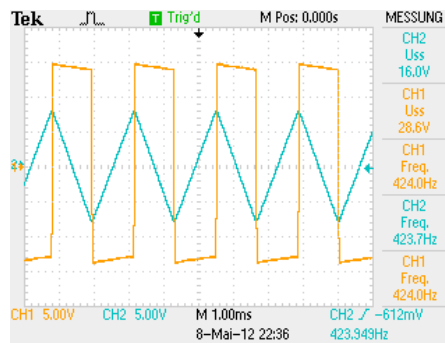


Spannung unter dem Einfluss beider Dioden

Wie man unschwer am unteren gemessenen Signal erkennen kann, findet durch den Operationsverstärker eine Spannungsüberhöhung zur Überbrückung der Schwellenspannung der Dioden statt. Die hierfür benötigte Spannung kann man fast einfach ablesen, indem man von der Spitze-Spitze-Spannung der Ausgangsspannung die der Eingangsspannung abzieht. Teilt man diese durch die Anzahl der verwendeten Dioden, so kann man annähernd die Schwellenspannung dieser Dioden ermitteln. In unserem Fall wäre dies eine Schwellenspannung von ca 0,5 Volt, was auf eine Silizium-Diode hindeutet, da diese ab ungefähr 0,5 Volt beginnen Strom durchzulassen.

4.2 Generator für Dreieck- und Rechtecksignale

Die Funktionsweise dieses Generators wurde bereits in der Vorbereitung erläutert, daher mussten wir die Theorie nur noch experimentell überprüfen.

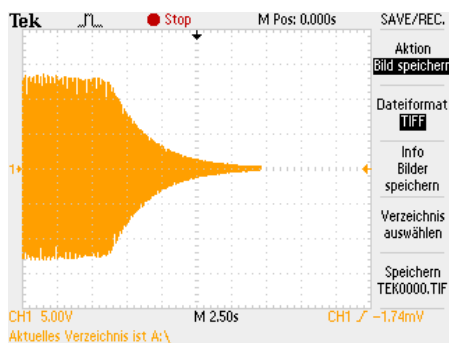


Beide Signale des Generators

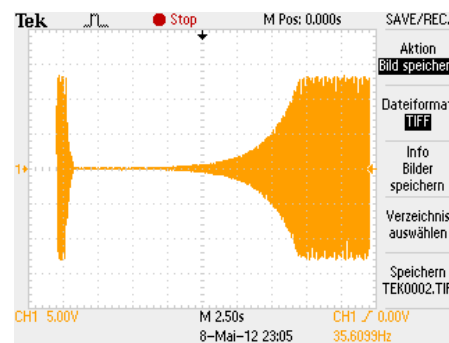
Nach dem Aufbau der Generatorschaltung erhielten wir tatsächlich die gewünschten Ausgangssignale. Hierbei ist jedoch anzumerken, dass die Rechteckspannung kein exaktes Rechteck liefert, da die Horizontalen leicht abfallen.

4.3 Programmierte Differenzialgleichung 2. Ordnung

Als Letzte Schaltung untersuchten wir die Programmierte Differenzialgleichung 2. Ordnung. Als diese aufgebaut war, konnten wir durch das Verstellen des Potentiometers nur zwei der drei Schwingfälle der Differenzialgleichung darstellen.



Dämpfungsfall



Schwingfall

Beim Schaubild des Schwingfalles ist am linken Rand auch noch eine sehr stark gedämpfte Schwingung zu erkennen. In allen dargestellten Fällen sieht man schön einen Schwingungsverlauf der wie eine e-Funktion ansteigt, bzw. abfällt. Um die ansteigende Schwingung zu erzeugen musste das Potentiometer auf einen geeigneten Widerstand eingestellt und anschließend das Experimentierboard aus- und eingeschaltet werden, damit ein Startimpuls für die sich selbst anregende Schwingung erzeugt wird.

Aus technischen Gründen lässt sich der aperiodische Grenzfall mit dieser Schaltung nicht erzeugen.