

Auswertung

Operationsverstärker Versuch P2-59,60,61

Iris Conradi und Melanie Hauck
Gruppe Mo-02

5. Juni 2011

Inhaltsverzeichnis

1	Emitterschaltung eines Transistor	3
1.1	Einstufiger Transistorverstärker	3
1.2	Dreiecksspannung	3
1.3	Entfernen des Emitterkondensators	4
1.4	Frequenzabhängigkeit der Verstärkung	5
2	Nichtinvertierende Grundsaltung	6
2.1	Nichtinvertierender Verstärker	6
2.2	Eingangs- und Ausgangswiderstand	6
2.3	Frequenzabhängige Verstärkung	7
3	Invertierende Grundsaltung	8
3.1	Invertierender Verstärker	8
3.2	Addierer	8
3.3	Integrierer	9
3.4	Differenzierer	10
4	Komplexere Schaltungen	10
4.1	Einweggleichrichter	10
4.2	Signalgeneratoren	10
4.3	Differentialgleichung	12

1 Emitterschaltung eines Transistor

1.1 Einstufiger Transistorverstärker

Wir haben die Schaltung entsprechend Abbildung 1 aus der Vorbereitung aufgebaut. Jedoch befanden sich für drei Bauteile nicht die entsprechenden Werte am Arbeitsplatz. Für die Kondensatoren C_1 und C_2 verwendeten wir $0.47 \mu\text{F}$ Kapazitäten. Der Widerstand R_C hatte in unserem Aufbau den Wert $0.5 \text{ k}\Omega$.

1.2 Dreiecksspannung

Nun haben wir an den Eingang eine Dreiecksspannung mit $U_{SS} = 0.1 \text{ V}$ angelegt. Am Oszilloskop beobachteten wir nun gleichzeitig die Eingangs- und die Ausgangsspannung (vgl. Abbildung 1). Man erkennt, dass das Ausgangssignal gegenüber dem Eingangssignal

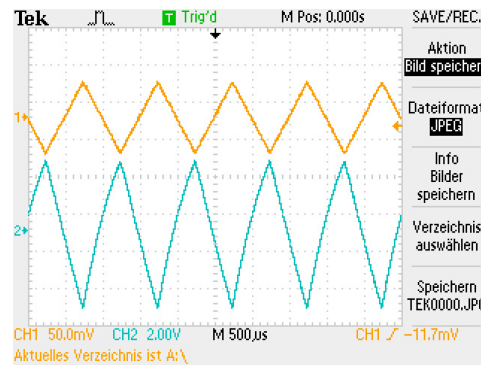


Abbildung 1: Eingangsspannung (CH1), Ausgangsspannung (CH2) (gilt für alle Versuche)

invertiert ist. Außerdem stellt man fest, dass das Signal 80fach verstärkt wurde. Am aufsteigenden Teil der Ausgangsspannung sieht man eine Verzerrung.

Während der Messung ist uns aufgefallen, dass sich das Ausgangssignal deutlich änderte, wenn wir die Kapazität C_E berührten. Das Bauteil oder die Lötstellen an den Kabeln waren also vermutlich fehlerhaft.

1.3 Entfernen des Emitterkondensators

Nun führten wir die gleiche Messung ohne den Emitterkondensator durch (vgl. Abbildung 2). Auch hier ist das Signal invertiert. Die Verstärkung ist jedoch nur 3.7fach.

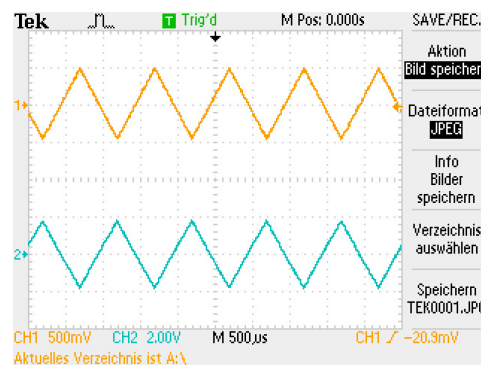


Abbildung 2: Ohne Emitterkondensator

Mit Hilfe des Kleinsignalersatzschaltbildes hatten wir eine Formel zur Bestimmung der Verstärkung hergeleitet. Nach dieser Formel erwarten wir eine 5fache Verstärkung. Diese Gleichung für den Verstärkungsfaktor wurde jedoch durch mehrfache Näherung

erhalten. Daher ist es nicht verwunderlich, dass die Aussage nur größenordnungsmäßig stimmt.

Dass die Verstärkung deutlich geringer ist als in 1.2 haben wir erwartet, da hier alle Frequenzen stromgegeggekoppelt wurden. Bei Stromgegeggekopplung sinkt die Verstärkung. Im Gegensatz zur Messung mit Emitterkondensator ist das Ausgangssignal nicht verzerrt. Dies lässt sich dadurch erklären, dass bei Gleichstromgegeggekopplung verschiedene Frequenzen eine unterschiedliche Verstärkung erfahren. Führt man bei einem Dreieckssignal eine Fourierzerlegung durch, so erkennt man, dass es aus sehr vielen Frequenzen besteht.

1.4 Frequenzabhängigkeit der Verstärkung

In Abbildung 3 sind die Messwerte für die Verstärkung in Abhängigkeit von der Frequenz dargestellt. Wie wir es erwartet haben, zeigt die Schaltung ein Hochpassverhalten.

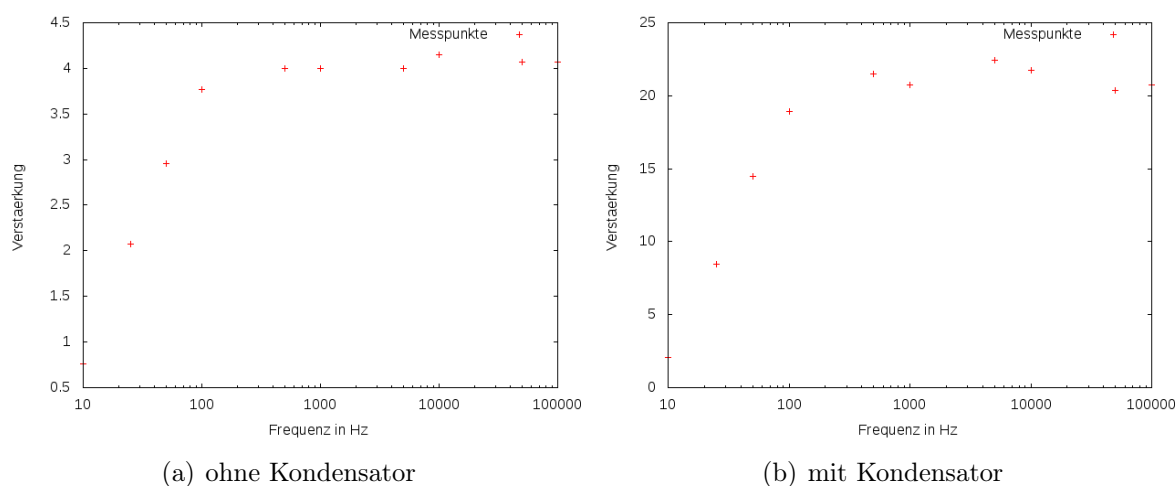


Abbildung 3: Frequenzabhängigkeit der Verstärkung

Dies entsteht durch die Kondensatoren an Ein- und Ausgang der Schaltung. Diese sollen Gleichspannungsanteile herausfiltern.

In beiden Fällen bildet sich ab einer gewissen Frequenz ein Plateau aus. Im Falle der Messung ohne Kondensator ist der anfängliche Anstieg (bis ungefähr 100 Hz) nur durch die Kondensatoren an Ein- und Ausgang zu erklären. In der Schaltung mit Kondensator bildet sich das Plateau eher später aus, da die verschiedenen Frequenzen verschieden stark stromgegeggekoppelt sind. Ab einer gewissen (hohen) Frequenz (bei ungefähr 500 Hz) wird die Stromgegeggekopplung vernachlässigbar, sodass sich dennoch ein Plateau bildet. Wieder ist deutlich zu erkennen, dass die Verstärkung mit Kondensator deutlich höher

ist. Es fällt auch wieder auf, dass die Verstärkung ohne Kondensator auf dem Plateau etwa 4fach ist. Nach unserer Rechnung erwarten wir jedoch eine 5fache Verstärkung.

2 Nichtinvertierende Grundsaltung

2.1 Nichtinvertierender Verstärker

Mit dieser Schaltung soll eine zehnfache Verstärkung realisiert werden. Mit den am Arbeitsplatz vorhandenen Widerständen konnten wir jedoch nur eine 11fache Verstärkung erreichen (vgl. Abbildung 4).

Die Funktion der Schaltung überprüften wir mit einer Sinusspannung von 1 kHz. Es ergab sich eine Verstärkung von 11.1.

Anschließend legten wir an den Eingang eine Dreiecksspannung von 1 kHz an (Abbildung 4). Man erkennt, dass das Ausgangssignal gegenüber dem Eingangssignal nicht

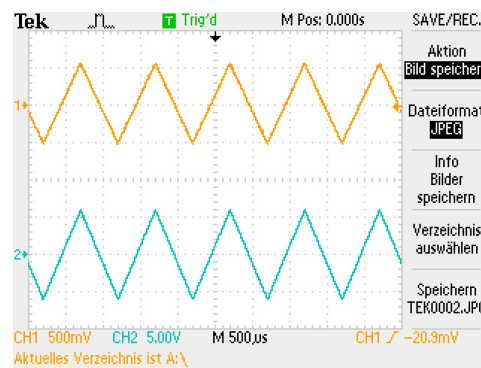


Abbildung 4: Nichtinvertierender Verstärker

invertiert wurde. Es ergibt sich ein Verstärkungsfaktor von 11.11. Das Ausgangssignal ist nicht verzerrt.

2.2 Eingangs- und Ausgangswiderstand

Den Ausgangswiderstand haben wir wie in der Vorbereitung beschrieben mit Hilfe eines Potentiometers bestimmt. Bei hohem Widerstand fiel ein Dreieckssignal mit 12 V Spitze-Spitze-Spannung über das Potentiometer ab. Man konnte das Potentiometer sehr großzügig verstellen, ohne dass sich an diesem Wert etwas geändert hat.

Nun stellten wir das Potentiometer so ein, dass die Spannung nun noch 6 V betrug. Auf dem Oszilloskop war nun ein Dreieckssignal mit abgeschnittenen Spitzen zu sehen. Wir

entfernten die Beschaltung am Potentiometer und ermittelten mit Hilfe des Multimeters den Widerstand. Dieser betrug $106.2\,\Omega$. Dies entspricht, wie in der Vorbereitung erklärt, in etwa dem Ausgangswiderstand der Schaltung.

Der Wert entspricht unseren Erwartungen, da ein Operationsverstärker einen niederohmigen Ausgang haben sollte.

Da im Oszilloskop die GND-Potentiale zusammengeschaltet sind, kann man nur zwei Spannungen im Bezug auf den gleichen GND messen. Daher konnten wir nicht wie in der Vorbereitung beschrieben die Spannung über dem bekannten Widerstand ($1\,\text{M}\Omega$) messen, sondern über den Eingangswiderstand der Schaltung. Damit ergibt sich

$$Z_E = R \cdot \frac{U_{Z_E}}{U_E - U_{Z_E}} \quad (1)$$

Mit Hilfe der Messwerte (siehe Messprotokoll) bestimmten wir den Eingangswiderstand zu $Z_E = 9.23\,\text{M}\Omega$. Dieser ist sehr hoch. Jedoch entspricht dies unseren Erwartungen. Idealerweise geht man davon aus, dass kein Strom in den Operationsverstärker fließt, d.h. dass der Eingangswiderstand im Idealfall unendlich hoch ist.

2.3 Frequenzabhängige Verstärkung

Wir verwendeten eine Sinuswechselspannung um die Frequenzabhängigkeit der Verstärkung zu demonstrieren. In Abbildung 5 ist die Verstärkung über die Frequenz aufgetragen. Wie erwartet zeigt sich ein deutliches Tiefpassverhalten. Bis zu einer Frequenz von

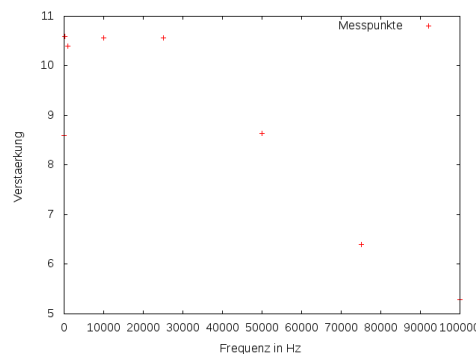


Abbildung 5: Frequenzabhängigkeit der Verstärkung

ca. 30 kHz erkennt man ein Plateau. Dort liegt etwa eine 10.5fache Verstärkung vor. Wir erwarteten eine 11fache Verstärkung.

Der Wert für 10 Hz liegt nicht auf dem Plateau. Dies können wir nicht erklären.

Bei Frequenzen größer als ca. 30 kHz haben wir am Oszilloskop eine zunehmende Verzerrung des Ausgangssignals feststellen können. Zum einen verschob sich das Ausgangssignal gegenüber dem Eingangssignal leicht nach rechts. Außerdem wurde aus dem Sinussignal ein Dreieckssignal mit abgerundeten Ecken.

3 Invertierende Grundsaltung

3.1 Invertierender Verstärker

Wir haben die Schaltung wie in Abbildung 5 in der Vorbereitung aufgebaut. Abbildung 6 zeigt den Vergleich von Eingangs- und Ausgangssignal. Man erkennt, dass

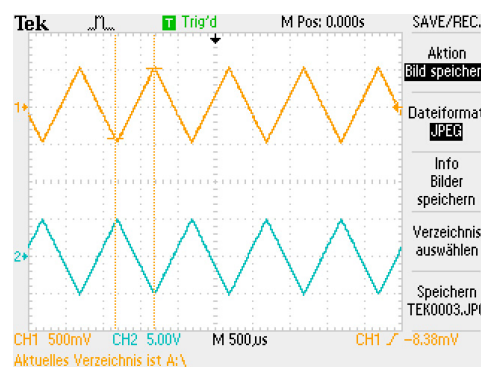


Abbildung 6: Invertierender Verstärker

das Ausgangssignal invertiert und im Bezug zum Eingangssignal 10fach verstärkt ist.

3.2 Addierer

Die Funktion des Addierers haben wir demonstriert, indem wir zum Dreieckssignal über ein Potentiometer variierte Gleichspannungen addiert haben. Dies ist in Abbildung 7 zu sehen. Auch hier erkennt man wieder die invertierende Wirkung der Schaltung.

Die Wahl der Widerstände wurde so vorgenommen, dass nur eine Addition durchgeführt wird, keine Multiplikation. Daher ist die Amplitude der Dreiecksspannung auch nach der Addition unverändert, nur die Nulllage wurde verändert.

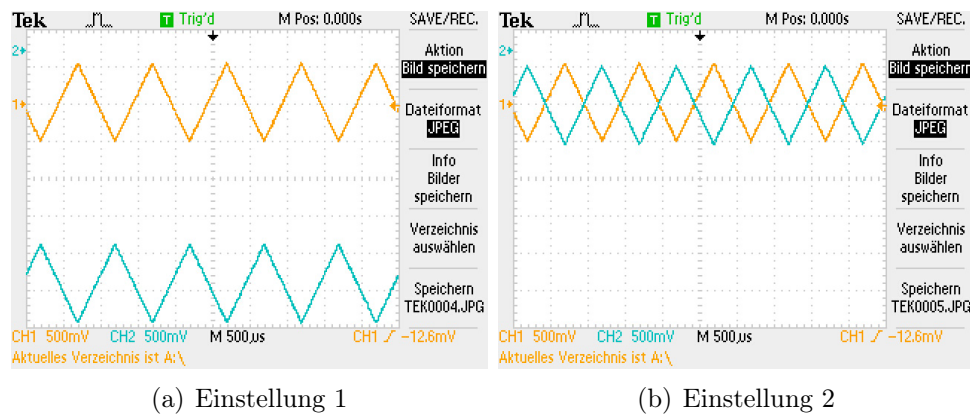


Abbildung 7: Addierer

3.3 Integrierer

Wir haben den Integrierer aufgebaut und seine Funktion mit Hilfe einer Rechtecksspannung und einer Dreiecksspannung mit hohen Amplituden und niedriger Frequenz (75 Hz) demonstriert.

In Abbildung 8 sind die entsprechenden oszilloskopischen Aufnahmen zu sehen. Die Aus-

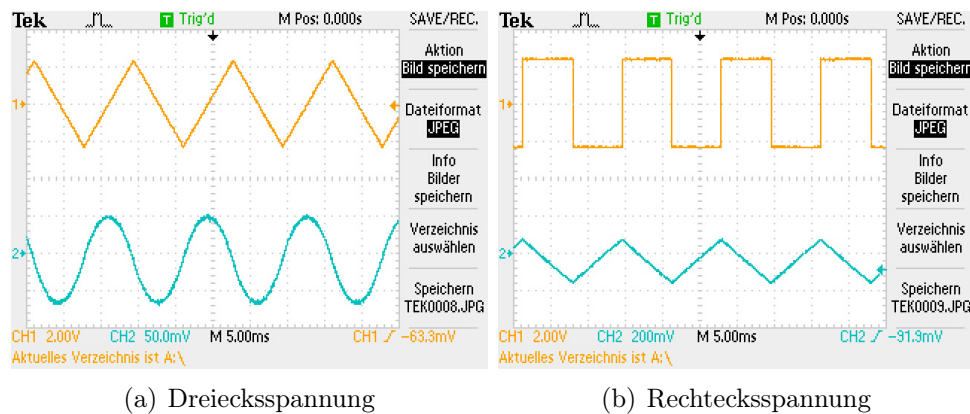


Abbildung 8: Integrierer

gangssignale haben die erwartete Form. Beim Dreieckssignal besteht das Ausgangssignal aus zusammengesetzten Parabeln. Auch hier erkennt man den invertierenden Charakter der Schaltung, da unter ansteigenden Geraden nach unten geöffnete Parabeln liegen. Genauso wurde aus dem Rechteckssignal das invertierte Dreieckssignal.

3.4 Differenzierer

Im Aufbau, wie er in Abbildung 8 in der Vorbereitung zu sehen ist, erhielten wir sehr verrauschte Ausgangssignale. Nach dem wir vor der Kapazität einen $5.6\text{ k}\Omega$ Widerstand in Reihe geschaltet haben, wurden die Signale deutlich besser. Der eingefügte Widerstand reduziert die Schwingneigung des Systems und sorgt daher für die nötige Stabilität des Regelkreises (vgl. Tietze Schenk Abschnitt 10.5.2).

Abbildung 9 zeigt die Ergebnisse für eine Rechtecks- und eine Dreiecksspannung.

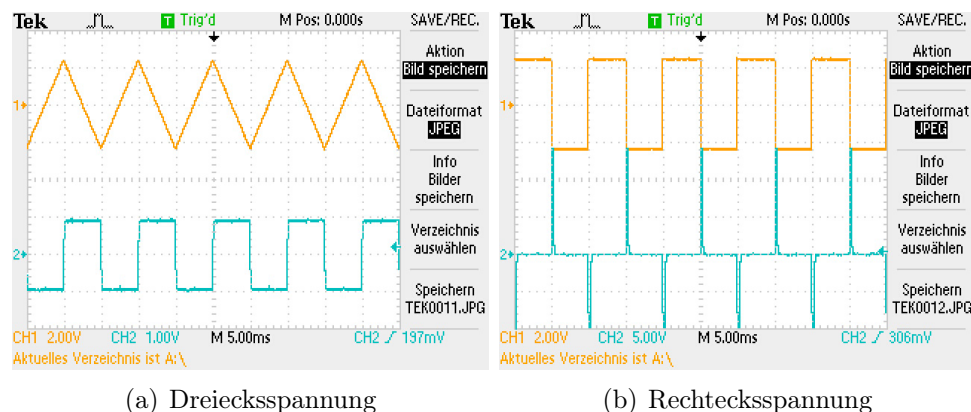


Abbildung 9: Differenzierer

4 Komplexere Schaltungen

4.1 Einweggleichrichter

Wir haben den Gleichrichter wie vorgegeben aufgebaut und die auf Abbildung 9 in der Vorbereitung dargestellten Ausgangssignale nachgemessen. Sie zeigen genau den erwarteten Verlauf (vgl. Abbildung 10,11). Anhand der Streckung der Spannung U_A kann man abschätzen, dass die Dioden etwa eine Knickspannung von 0.5 V haben. Außerdem kann man erkennen, dass dieser Gleichrichter die Halbwellen vollständig ausgibt.

4.2 Signalgeneratoren

Auch diese Schaltung haben wir wie vorgegeben aufgebaut. In Abbildung 12 erkennt man, dass die erwarteten Signale abgegriffen werden konnten.

Die Rechtecksspannung hat auch die erwartete Spitze-Spitze-Spannung von ca. 30 V .

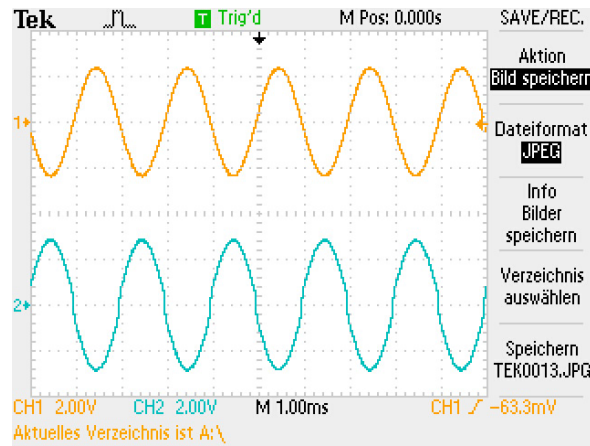
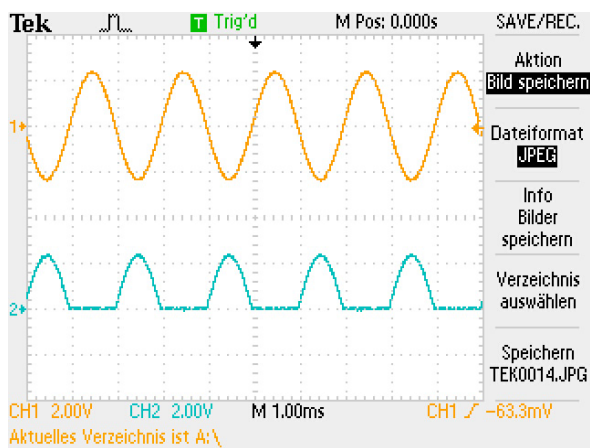
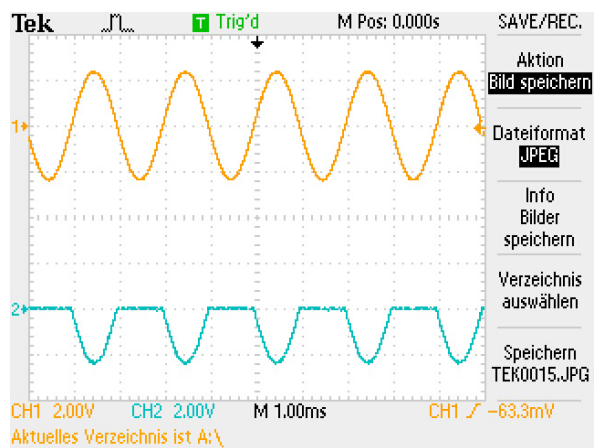


Abbildung 10: U_A



(a) U_{A1}



(b) U_{A2}

Abbildung 11: Gleichgerichtete Spannungen

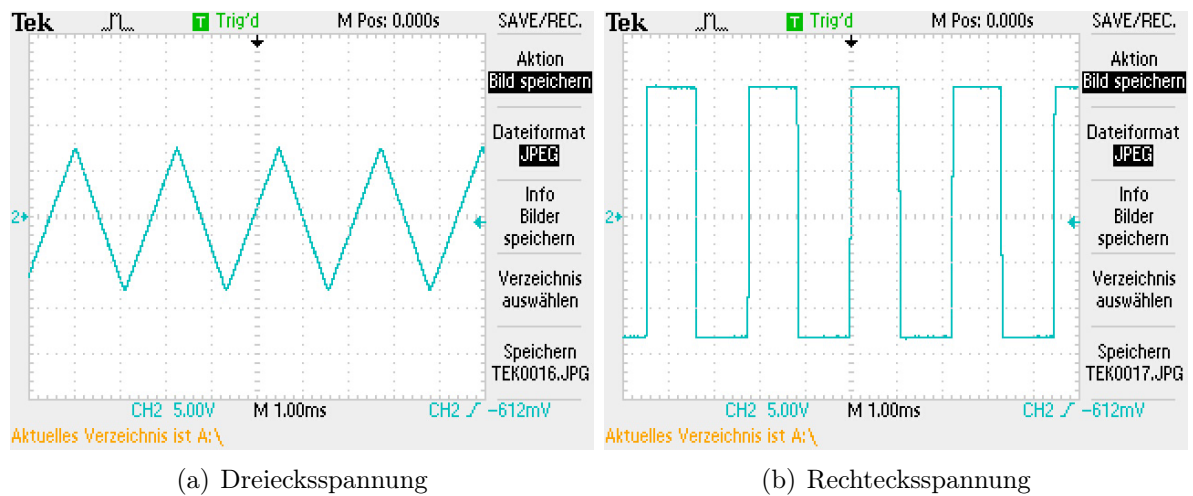


Abbildung 12: Signalgenerator

Dies entspricht der doppelten Sättigungsspannung. Wie zu erwarten war, ist die Frequenz der beiden Signale gleich. Sie beträgt 448 Hz.

4.3 Differentialgleichung

Wenn die linke Seite des Potentiometers einen sehr kleinen Widerstand hatte, so sah man eine ungedämpfte Sinusschwingung.

In Abbildung 13 ist eine Demonstration des Schwingfalls zu sehen. Um diesen erkennen zu können, mussten sehr viele Perioden dargestellt werden.

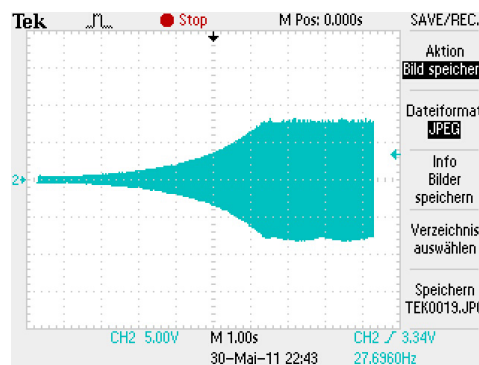


Abbildung 13: Schwingfall