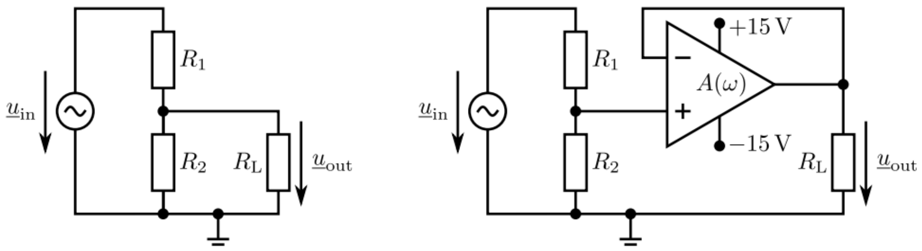
GPET Versuch 7 — Operation John Ragazzini

Gruppe: Dienstag14

Tim Luchterhand, Paul Nykiel
tim.luchterhand@uni-ulm.de, paul.nykiel@uni-ulm.de

4. Juni 2017

5.1 Untersuchung von Spannungsfolgern



(a) Versuch 1a) **(b)** Versuch 1b)

Abbildung 5.13: Spannungsfolger.

5.1.1 Belasteter Spannungsteiler

Bauen Sie zunächst die Schaltung nach Abbildung 5.13a auf. Die Eingangsspannung soll $u_{in} = 5\text{V}$ DC und die Widerstände $R_1 = R_2 = 1\text{k}\Omega$ sowie $R_L = 220\Omega$ betragen. Messen Sie mit dem Multimeter die über den Lastwiderstand abfallende Spannung u_{out}.

Erklären Sie das Ergebnis?

Protokol Durch den Lastwiderstand R_L wird der Spannungsteiler belastet und verhält sich anders, als unbeastet. Die Ausgansspannung lässt sich dann berechnen durch:

$$\begin{aligned} R_{2|L} &= \frac{R_2 R_l}{R_2 + R_L} \\ u_{out} &= u_{in} \frac{R_{2|L}}{R_{2|L} + R_1} = 0.764\text{V} \end{aligned}$$

Dieser Wert konnte durch Messung bestätigt werden:

$$u_{out,mess} = 0.755\text{V}$$

5.1.2 Belasteter Spannungsfolger

Erweitern Sie nun den Aufbau um einen Spannungsfolger wie in Abbildung 5.13b. Der OP benötigt eine Betriebsspannung von $\pm 15\text{V}$.
Messen Sie wiederum die Spannung über dem Lastwiderstand mit dem Multimeter.

Erklären Sie das Ergebnis und geben Sie ein Beispiel an, wozu diese Schaltung Verwendet werden könnte?

Protokoll Der OP belastet den Spannungsteiler durch seine hohen Eingangswiderstände nur geringfügig, weshalb sich die Schaltung auch mit Lastwiderstand wie ein unbelasteter Spannungsteiler verhält. Dementsprechend gilt für die Ausgangsspannung:

$$u_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} u_{in} = \frac{1}{2} \cdot 5\text{V} = 2.5\text{V}$$

Auch hier bestätigt die Messung die Theorie:

$$u_{out} = 2.447\text{V}$$

Bemerkung Der OP konnte im eingebauten Zustand nur bis auf ein Offset von 1.0mV abgeglichen werden.

Mit diesem Aufbau kann also von belieigen Schaltungen Leistung abgegriffen werden, ohne dass die Schaltung selbst beeinflusst wird. Ein Einsatzgebiet sind Spannungsmessinstrumente, die die untersuchte Schaltung schließlich nicht beeinflussen sollen.

5.2 Charakterisierung der Verstärkung

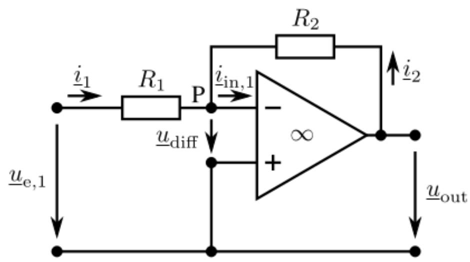


Abbildung 5.14: Invertierender Verstärker

Bauen Sie eine Schaltung nach Abbildung 5.14 mit $R_1 = 1\text{k}\Omega$ und einer Betriebsverstärkung von $A_B = 10$ auf. Schalten Sie für diesen Versuch zusätzlich zwischen dem positiven Eingang des OPs und der Masse einen 220kΩ Widerstand.

Bemerkung Um die angegebene Verstärkung zu realisieren wurde ein 10kΩ Widerstand als R_1 verwendet.

5.2.1 Abhängigkeit von der Eingangsamplitude

Verwenden Sie als Eingangsspannung ein sinusförmiges Signal mit $f = 1$kHz und Amplituden gemäß der unten stehenden Tabelle. Tragen Sie die gemessene Ausgangsamplitude in die Tabelle ein und berechnen Sie anschließend die Verstärkung.
Erklären Sie das Ergebnis insbesondere ab 3V Eingangsspannung? Wie könnte man das Problem lösen? Beschreiben Sie die Phasenbeziehung zwischen Ein- und Ausgangssignal. Führen Sie nun mithilfe der Matlab-GUI dieselbe Messung noch einmal durch und übernehmen Sie das Diagramm in ihre Auswertung.

Protokoll

u_{in} V	u_{out} V	$A_B = u_{out}/u_{in}$	$20dB \log_{10}(A_B)$ dB
0.5	5.1	10.2	20.17
1.0	10.1	10.1	20.09
1.5	14.9	9.93	19.94
2.0	19.5	9.75	19.78
2.5	24.9	9.96	19.97
3.0	27.5	9.17	19.25
3.5	27.7	7.91	17.96
4.0	27.5	6.88	16.75
4.5	27.5	6.1	15.71
5.0	27.5	5.5	14.81

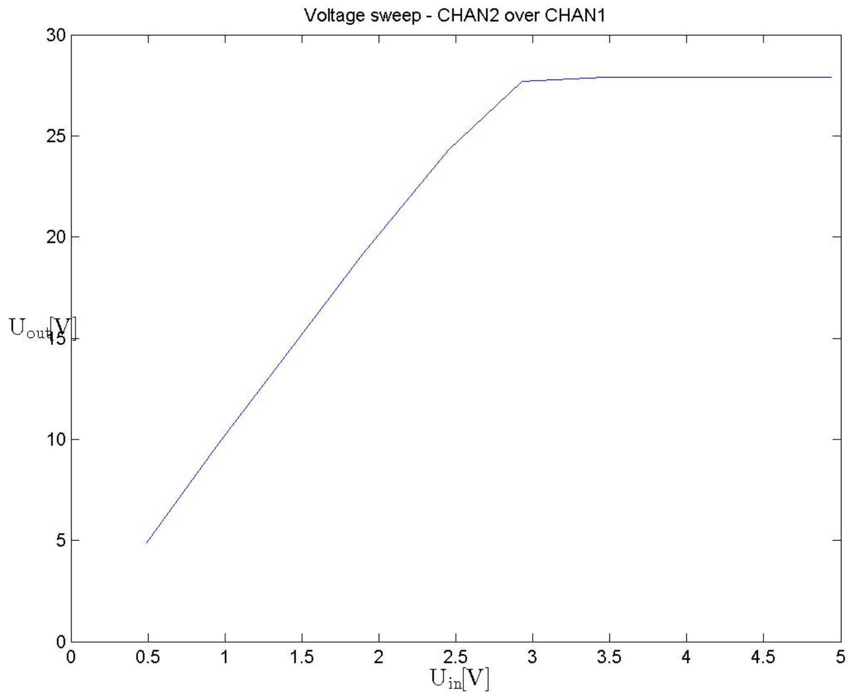


Abbildung 5.15: Voltage sweep des invertierten Verstärkers

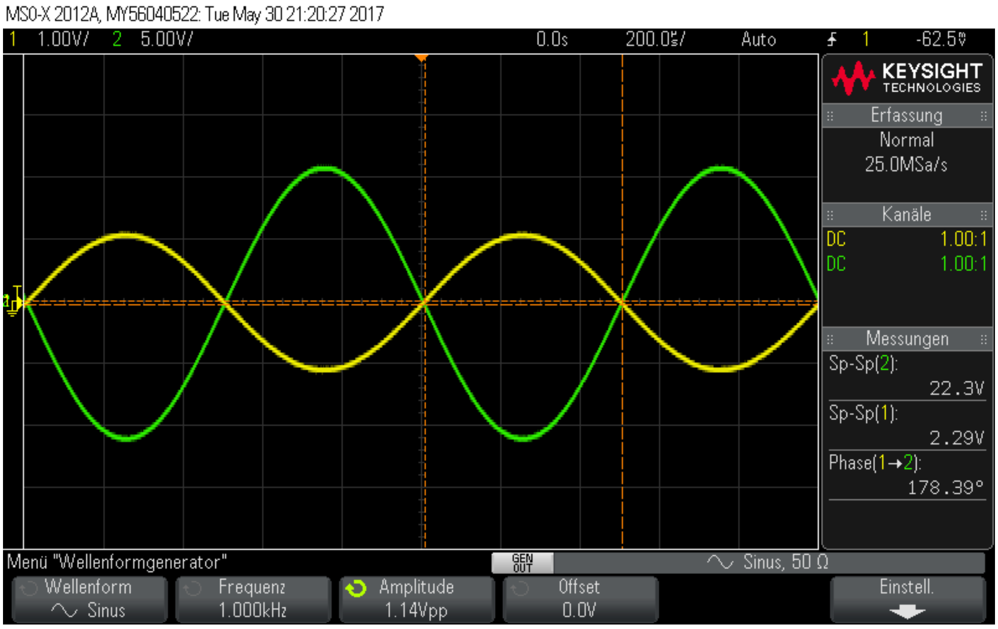


Abbildung 5.16: Phasenbeziehung zwischen Ein- und Ausgangsspannung

Erklärung zur Verstärkung Bei einer Eingangsspannung mit Spitze-Spitze-Spannung zwischen 0.5V und 3V Liegt die Ausgangsspannung des OPs unter der Versorgungsspannung. Der OP arbeitet also wie erwartet und verstärkt das Eingangssignal um den Faktor 10. Die Ausgangsspannung ist also wie zu erkennen 10 mal höher, als die Eingangsspannung.
Ab einer Spitze-Spitze-Spannung von über 3V müsste der OP eine Ausganśgsspanung von über 15V liefern, was nicht möglich ist, da dieser Wert über der bereitgestellten Versorgungsspannung liegt. Der OP stellt also immer die höchstmögliche Ausgansspannung von 15VPP zur Verfügung.

Erklärung zur Phase Wie in Grafik 5.16 zu erkennen, sind Ein- und Ausgangsspannung um ca. 180° phasenverschoben. Die verwendete Schaltung ist ein invertierender Verstärker. D.h. Ein- und Ausgangsspannung haben ein unterschiedliches Vorzeichen, was genau einer Phasenverschiebung von 180° entspricht.

5.2.2 Abhängigkeit von der Eingangsfrequenz

Stellen sie nun bei einer Eingangsspannung von $u_{in} = 2V_{pp}$ verschiedene Frequenzen gemäß unten stehender Tabelle ein. Tragen Sie wiederum die gemessenen Amplitu-

den der Ausgangsspannung in die Tabelle ein und berechnen Sie anschließend die Verstärkung.
Bei welcher Frequenz ist die Ausgangsspannung um 3 dB abgesunken und wie nennt man diese Frequenz? Führen Sie mit Matlab einen automatischen Frequenzsweep durch und fügen Sie das resultierende Diagramm in die Auswertung ein.

Protokoll

f Hz	u_{in} V	u_{out} V	$A_B = u_{out}/u_{in}$	$20dB\log_{10}(A_B)$ dB
10	2	20.1	10.05	20.04
100	2	20.1	10.05	20.04
1×10^3	2	20.1	10.05	20.04
10×10^3	2	19.9	9.95	19.96
100×10^3	2	4.4	2.2	6.85
1×10^6	2	0.42	0.21	-13.56

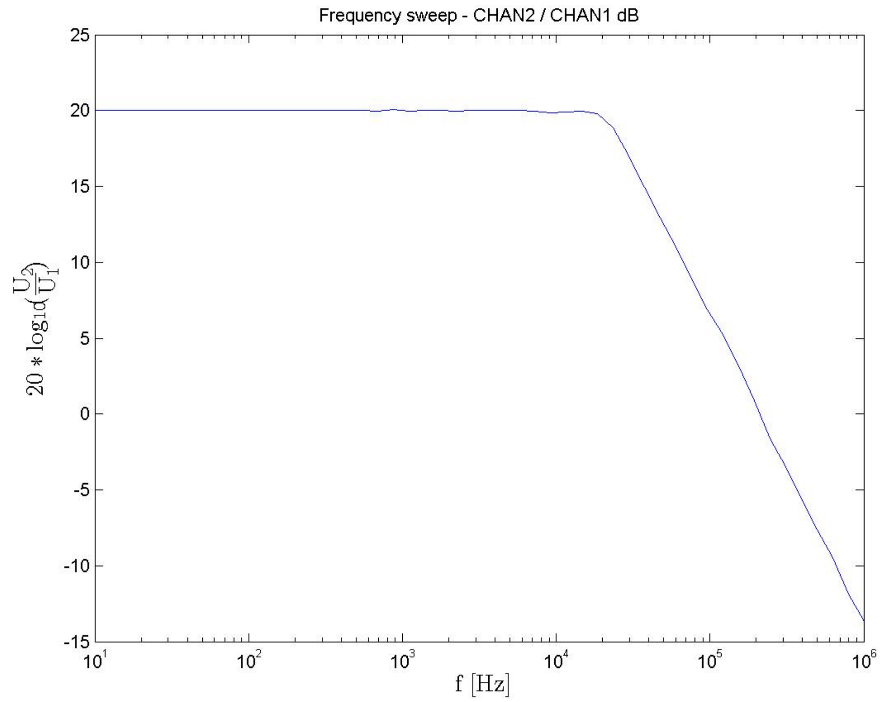


Abbildung 5.17: Frequenzsweep mit Matlab

Wie in Grafik 5.17 zu erkennen, bleibt die Verstärkung des OPs bis zur Grenzfrequenz $f_g \approx 50$kHz konstant bei 20db und fällt dann mit 20dB pro Dekade ab.
Bei einer Frequenz von ca. 50kHz ist die Ausgangsspannung um 3dB gesunken. Diese Frequenz nennt man Grenzfrequenz.

5.3 Auswertung einer Addierer-Schaltung

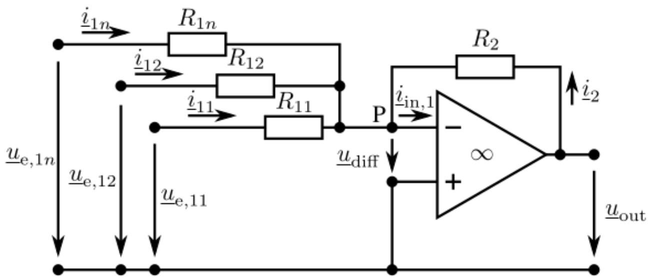


Abbildung 5.18: Addier-Schaltung

Bauen Sie eine Schaltung gemäß Abbildung 5.18 mit lediglich zwei Eingängen auf. Verwenden Sie dazu $R_{11} = 300\Omega$, $R_{12} = 200\Omega$ und $R_2 = 500\Omega$. Schalten Sie wiederum zusätzlich zwischen dem positiven Eingang des OPs und der Masse einen 220kΩ Widerstand. Legen Sie nun eine Wechselspannung von $u_{e,1} = 2.5\mathrm{V}_{pp}$ und einer Frequenz von 1kHz an. Dazu soll eine Gleichspannung von $u_{e,2} = 2.5\mathrm{V}$ addiert werden. Berechnen Sie die jeweiligen Verstärkungsfaktoren der einzelnen Eingangspfade. Messen Sie nun die Ausgangsspannung und vergleichen Sie die berechneten Ergebnisse mit den praktisch gemessenen.

Protkoll

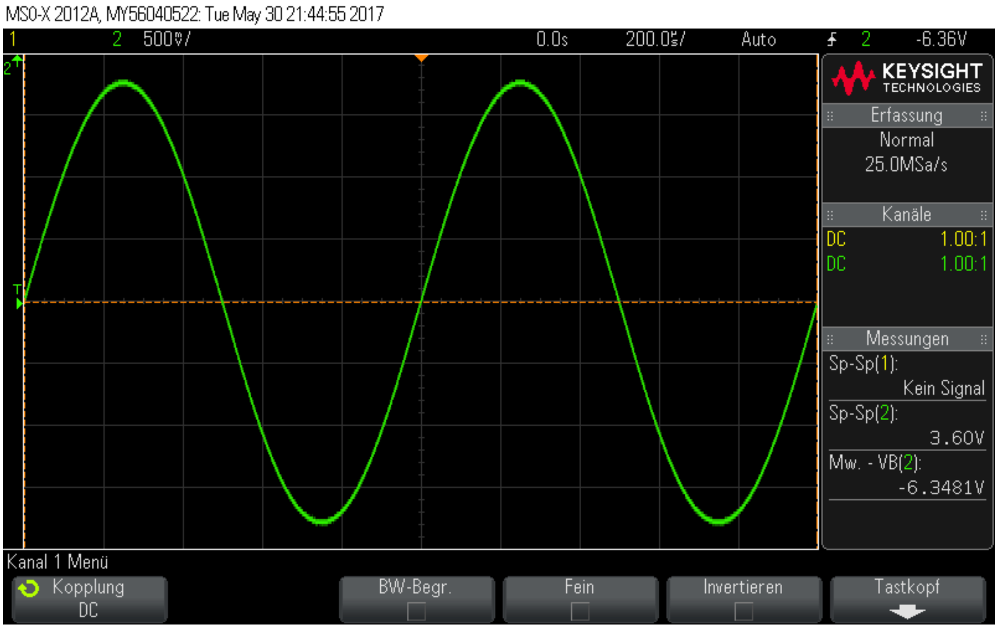


Abbildung 5.19: Gleichanteil des Summensignals

Die Verstärkungsfaktoren der einzelnen Eingänge lassen sich wie folgt berechen:

$$\begin{aligned} A_1 &= -\frac{R_2}{R_{11}} = -\frac{5}{3} \\ A_2 &= -\frac{R_2}{R_{12}} = -\frac{5}{2} \end{aligned}$$

Die Ausgangsspannung lässt sich dann folgendermaßen berechnen:

$$\begin{aligned} & u_{out} && = A_1 u_1 + A_2 u_2 = -\frac{5}{3} u_1 - \frac{5}{2} u_2 = (-\frac{25}{12} \sin(\omega t) - \frac{25}{4})\mathrm{V} \\ \Rightarrow \quad & u_{out,Gleichanteil} && = -\frac{25}{4}\mathrm{V} = -6.25\mathrm{V} \\ & abs u_{out,Wechselanteil} && = \frac{25}{12}\mathrm{V} = 4,17\mathrm{Vpp} \end{aligned}$$

Aus der Messung ergeben sich folgende Werte:

$$\begin{aligned} u_{out,Gleichanteil} &= -6.35\mathrm{V} \\ u_{out,Wechselanteil} &= -3.60\mathrm{V} \end{aligned}$$

Hierbei ist zu erkennen, dass der Messwert der Gleichanteilsspannung nur um ca. 2% vom theoretischen Wert abweicht, der Wert für den Wechselanteil jedoch um fast 14%. Die höhere Messungenauigkeit beim zweiten Wert lässt sich durch die frequenzabhängige Verstärkung des OPs erklären.

5.4 Auswertung einer Integrator-Schaltungen

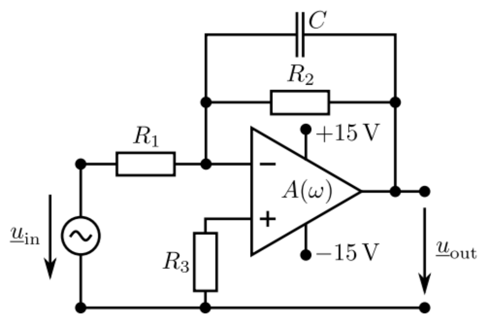


Abbildung 5.20: Integrator-Schaltung.

Bauen Sie die Schaltung aus Abbildung 5.20 auf. Verwenden Sie dazu $u_{in} = 2\text{V}_{pp}$, $R_1 = R_2 = 1\text{k}\Omega$, $R_3 = 220\text{k}\Omega$ und $C = 1.5\text{nF}$. Stellen Sie verschiedene Frequenzen für die Eingangsspannung ein und beobachten Sie mit dem Oszilloskop was passiert.

- Ab wie viel Hz funktioniert die Integration? (ab wann sieht die Ausgangsspannung wie erwartet aus?)
- Welche Phasenverschiebung liegt zwischen Eingangs- und Ausgangsspannung und warum?
- Was passiert wenn man statt dem Sinus einen Dreieck oder ein Rechteck auf den Eingang des Integrators gibt und warum?

Nehmen Sie mit Matlab den Frequenzgang von $100\text{Hz} - 1\text{MHz}$ auf und fügen Sie das Diagramm in die Auswertung ein. Machen Sie mit dem Oszilloskop einen Screenshot von der Integration einer Dreiecks- und einer Rechtecksspannung und diskutieren Sie Ihre Ergebnisse.

Protokoll

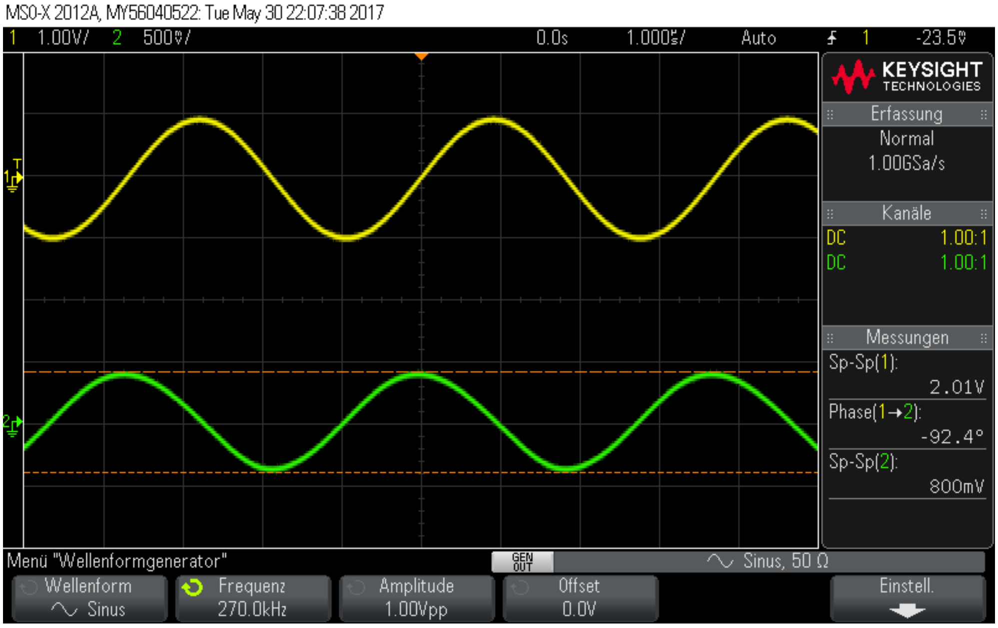


Abbildung 5.21: Integration eines Sinussignals

Bei ca. 270kHz funktioniert der Integrator ordnungsgemäß, da dann Ein- und Ausgangsspannung um 90° phasenverschoben sind. Diese Phasenverschiebung entsteht durch die Integration des Sinus, der zu einem Kosinus wird.

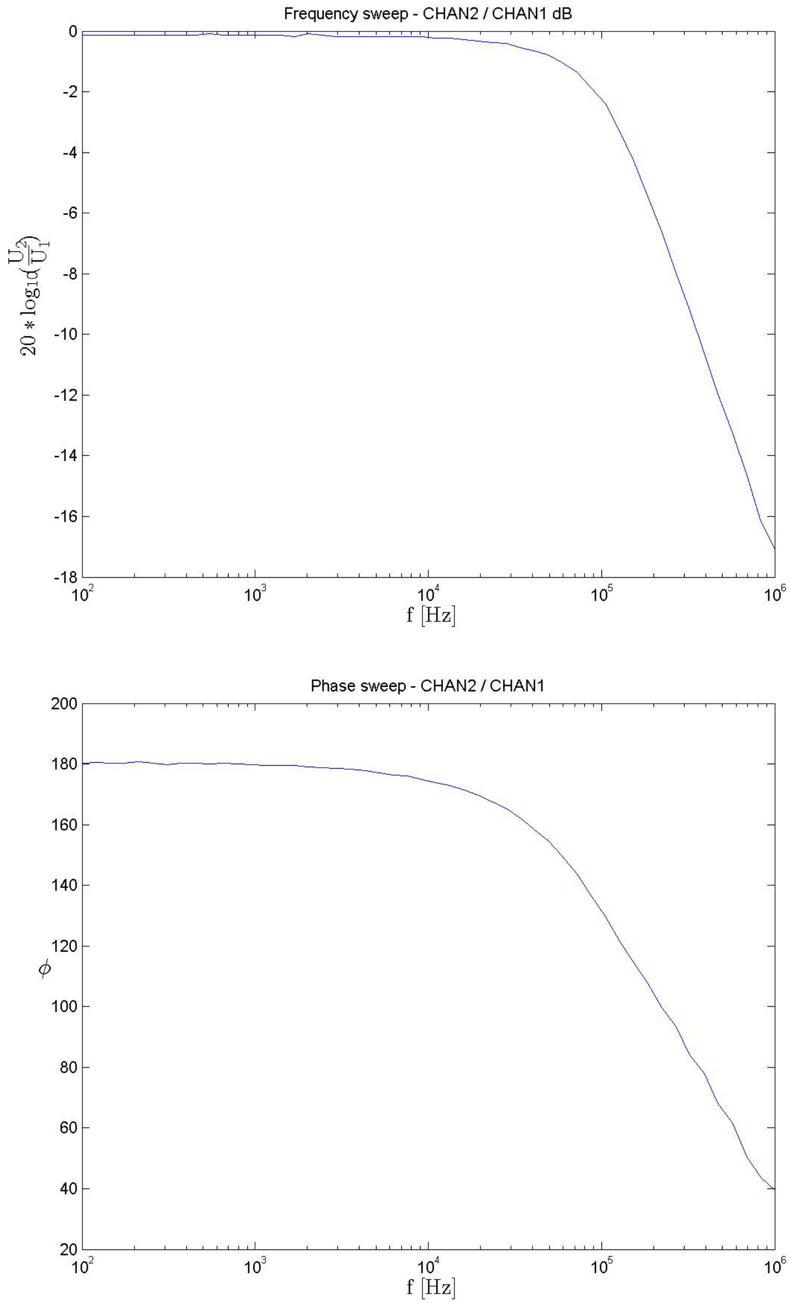


Abbildung 5.22: Bode-Diagramm des Integrators

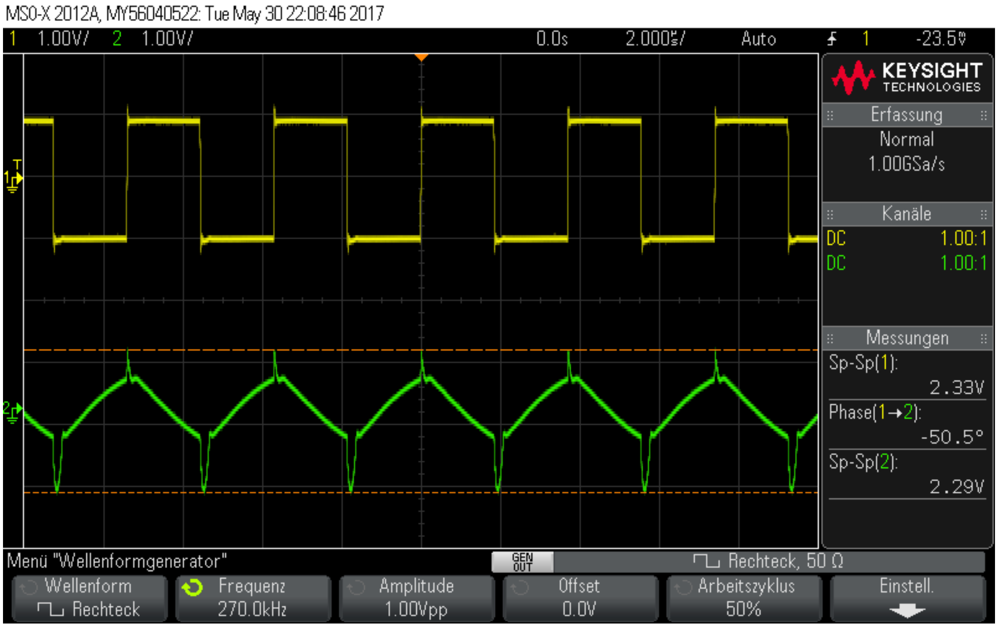


Abbildung 5.23: Integration eines Rechtecksignals

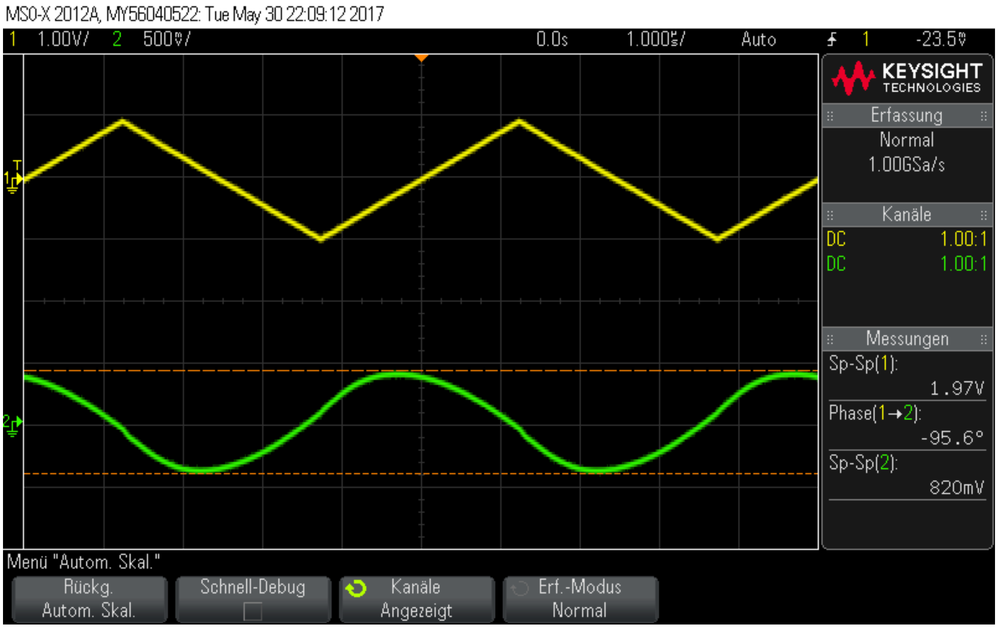


Abbildung 5.24: Integration eines Sägezahnsignals

Durch den Integrator ändert sich ein am Eingang angelegtes Rechtscksignal zu einem dreiecksförmigen Signal.
Integriert man über ein Dreieck, so erhält man eine Parabel. Genau dies ist in Grafik 5.4 zu sehen: Das integrierte Signal besteht aus abwechselnd nach oben und nach unten geöffneten Parabeln, die aneinandergehängt wie ein Sinus-Signal erscheinen.

Modifizieren Sie im Weiteren obige Schaltung folgendermaßen: $u_{in} = 2\mathrm{V}_{pp}$, $R_1 = R_2 = 10\mathrm{k}\Omega$, $R_3 = 0\Omega$ und $C = 1.5\mathrm{nF}$. Nehmen Sie mit Matlab den Frequenzgang von $10\mathrm{Hz} - 100\mathrm{kHz}$ auf und fügen Sie das Diagramm in die Auswertung ein. Wozu kann diese Schaltung noch verwendet werden? Erklären Sie die Funktion der Schaltung.

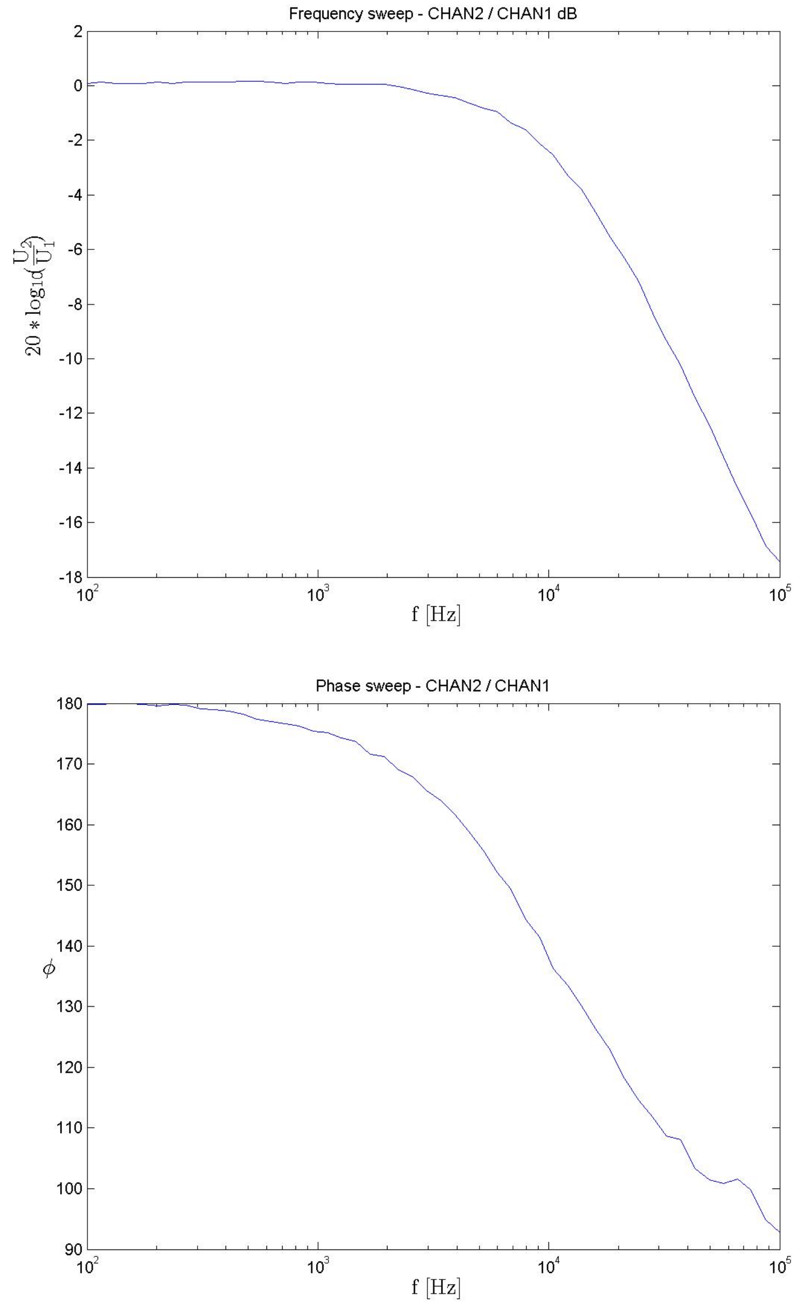


Abbildung 5.25: Bode-Diagramm des modifizierten Integrators

Vergleicht man Grafik 5.4 und Grafik 5.25, so erkennt man, dass der modifizierte Integrator eine deutlich niedrigere Grenzfrequenz (bei ca. 10kHz) besitzt.