

V61

Der Operationsverstärker

Benjamin Schäfer
benjamin.schaefer@tu-dortmund.de

Jan Gaschina
jan.gaschina@tu-dortmund.de

Durchführung: 24.11.2021

Abgabe:

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Zielsetzung	3
2	Theorie	3
3	Fehler	3
4	Durchführung	4
4.1	Der invertierende Linearverstärker	4
4.2	Der Umkehrintegrator und der invertierender Differenzierer	4
4.3	Der Schmitt-Trigger	4
4.4	Der Signalgenerator	4
5	Auswertung	6
5.1	Der Invertierende-Linearverstärker	6
5.2	Der Umkehrintegrator und der invertierender Differenzierer	8
5.3	Nicht-invertierender-Schmitt-Trigger	13
6	Diskussion	14

1 Zielsetzung

Ziel des Versuches soll es sein die unterschiedliche Einsatzmöglichkeiten des Operationsverstärkers LM741 kennen zu lernen und aufzubauen. Dabei sollen auch die Unterschiede zwischen theoretischer Beschreibung und praktischem Einsatz untersucht werden.

2 Theorie

In diesem Kapitel sollen kurz die theoretischen Grundlagen des HeNe-Lasers erleutert werden.

3 Fehler

Der Mittelwert:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=0} x_i \quad (1)$$

Die Standardabweichung:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (2)$$

Der Fehler des Mittelwertes:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

Die Gaußsche Fehlerfortpflanzung:

$$\sigma_x = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1}\right)^2 \sigma_{x_1}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2}\right)^2 \sigma_{x_2}^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n}\right)^2 \sigma_{x_n}^2} \quad (4)$$

Die Prozentuale Abweichung:

$$Abweichung = \frac{ExperimentellerWert - Theoriewert}{Theoriewert} \times 100 \quad (5)$$

4 Durchführung

In diesem Kapitel sollen die einzelnen Schritte des Versuches erklärt werden. Alle Schaltungen werden auf einem Steckbrett, Breadboard oder Steckplatine genannten Konstrukt aufgebaut. Das vermeidet aufwändiges Löten von Lochrasterplatten.

4.1 Der invertierende Linearverstärker

Für zwei verschiedene Widerstandsverhältnisse wird die Frequenzabhängigkeit des Verstärkungsfaktors sowie der Phasenverschiebung untersucht. Dazu werden ein- und Ausgangsspannung der Schaltung gemessen und am Oszilloskop die Phasenverschiebung abgelesen. Die Schaltung wird wie in Abbildung 1 zu sehen aufgebaut.

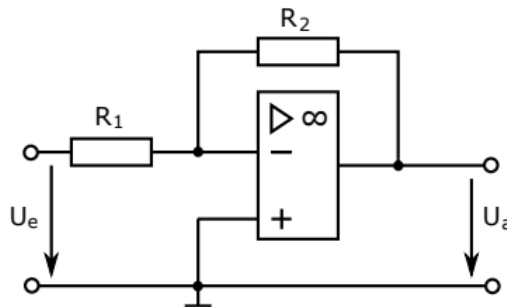


Abbildung 1: Schaltplan des invertierenden Linearverstärkers.

4.2 Der Umkehrintegrator und der invertierender Differenzierer

Für diese beiden Teilversuche werden Schaltungen nach Abbildung 2 und Abbildung 3 auf das Steckbrett gesteckt. Bei diesen beiden Schaltungen wird das Verhalten bei verschiedenen Eingangssignalformen untersucht. Dazu wird von einem Signalgenerator zunächst ein Sinussignal, dann eine Rechteckspannung und anschließend eine Dreiecksspannung erzeugt und diese als Eingangssignal für die jeweilige Schaltung genutzt. Auf einem Oszilloskop wird dann das Ausgangssignal dargestellt. Zudem wird auch hier das Frequenzverhalten des Verstärkungsfaktors untersucht.

4.3 Der Schmitt-Trigger

Für die Untersuchung des Schmitttriggers wird der Operationsverstärker nach Abbildung 4 als Schwellwertschalter beschaltet. Durch allmähliches Erhöhen der Amplitude des eingespeisten Sinussignals wird durch gleichzeitige Spannungsmessung der Kippunkt ermittelt an welchem der Trigger durchschaltet und sperrt.

4.4 Der Signalgenerator

Beim Signalgenerator werden weder Schmitttrigger noch Umkehrintegrator hintereinander geschaltet und die Signalformen werden genauer untersucht. Die Schaltung wird hier

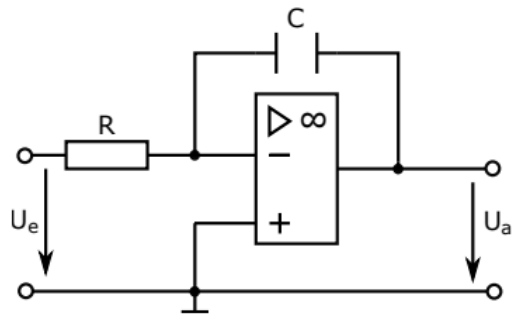


Abbildung 2: Schaltplan des Umkehrintegrators.

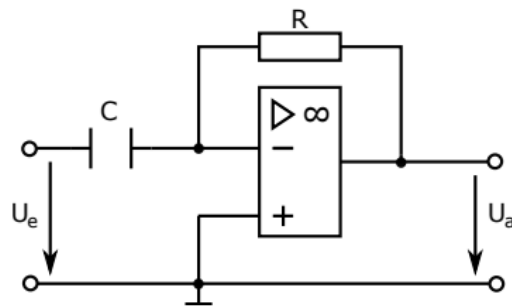


Abbildung 3: Schaltplan des invertierenden Differenzierers.

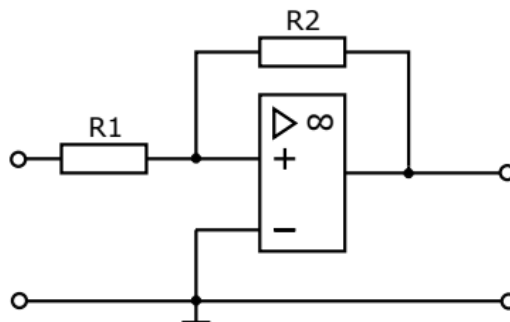


Abbildung 4: Schaltplan des Schmitt-Triggers.

nach Abbildung 5 aufgebaut.

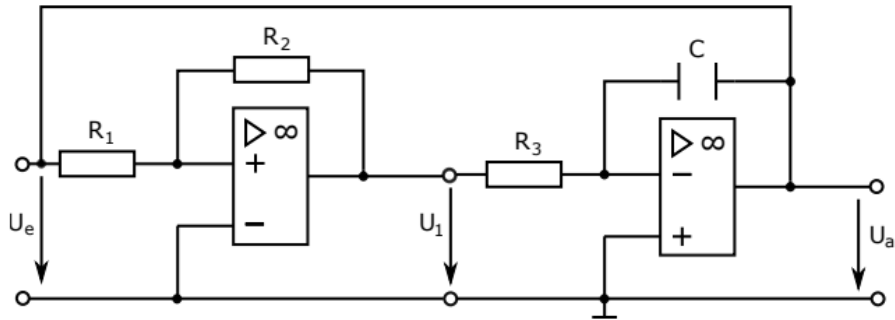


Abbildung 5: Schaltplan des Signalgenerators.

5 Auswertung

In diesem Kapitel werden die aufgenommenen Messwerte ausgewertet.

5.1 Der Invertierende-Linearverstärker

Bei dieser ersten Schaltung wurden für zwei verschiedene Widerstandsverhältnisse Eingangs- und Ausgangsspannung, U_a und U_e , sowie der zeitliche Versatz Δt der beiden Signalamplituden vom Oszilloskop abgelesen. Zunächst wird dann der reale Verstärkungsfaktor x mithilfe der von Gleichung 6 berechnet und in Abbildung 6 gegen die Frequenz f des Eingangssignals aufgetragen. Der Phasenverschiebungswinkel ϕ wurde dann über Gleichung 7 errechnet und in Abbildung 7 ebenfalls gegen die Frequenz aufgetragen.

$$x = \frac{U_a}{U_e} \quad (6)$$

$$\phi = 2\pi f \Delta t \quad (7)$$

Der theoretische Wert für die Verstärkung ist durch ?? gegeben und beträgt für die Widerstandskombination $R_1 = 1 \text{ k}$, $R_2 = 100 \text{ k}$, $x_1 = 100$. Für die Widerstandskombination $R_1 = 1 \text{ k}$, $R_2 = 10 \text{ k}$, beträgt er $x_2 = 10$. An die konstanten Plateaubereiche der Verstärkungskurve wurde je eine Gerade nach der Vorschrift $x(f) = af + b$ mit den Parametern:

$$\begin{aligned} a_{1/100} &= 0.001 \pm 0.003 \\ b_{1/100} &= 85.819 \pm 2.946 \\ a_{1/10} &= 0.000 \pm 0.000 \\ b_{1/10} &= 9.834 \pm 0.095 \end{aligned}$$

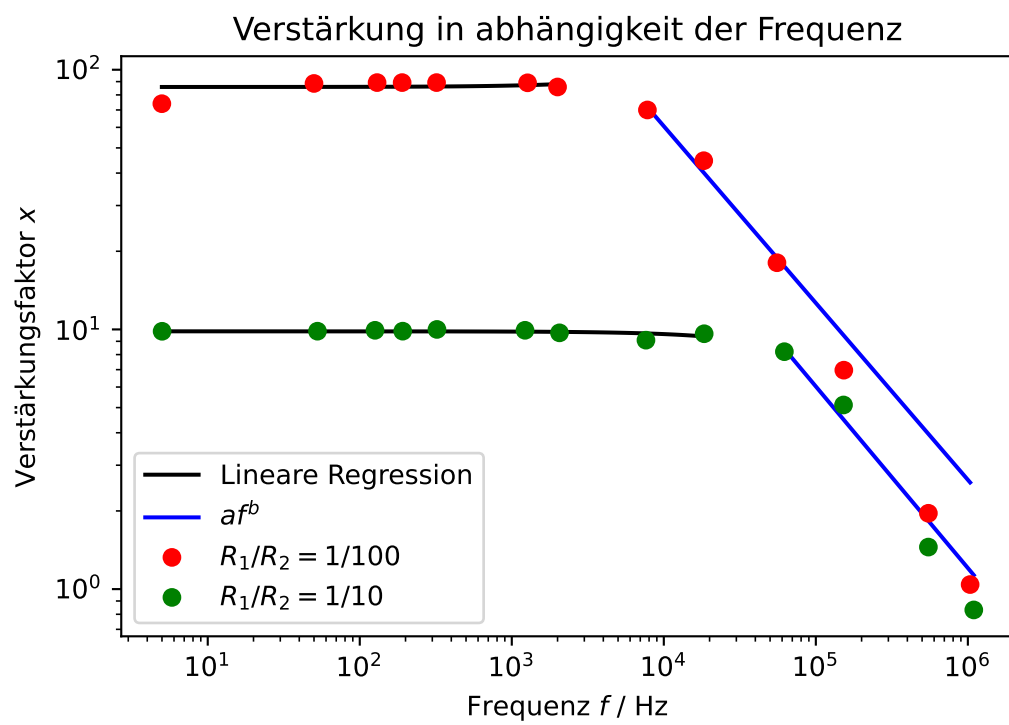


Abbildung 6: Verstärkungskurve des als invertierenden Linearverstärker geschalteten Operationsverstärkers nach Eingangsfrequenz.

angepasst. Die Steigungen $a_{1/100}$ und $a_{1/10}$ sind vernachlässigbar klein so das die Verstärkung hier als Konstant betrachtet werden kann. An die in der gewählten doppelt-logarithmischen Darstellung Funktionsabfälle wurden hingegen Kurven der Vorschrift:

$$x = cf^d \quad (8)$$

angepasst. Daraus folgen die Parameter:

$$\begin{aligned} c_{1/100} &= 32076.147 \pm 16619.806 \\ d_{1/100} &= -0.681 \pm 0.056 \\ c_{1/10} &= 18911.087 \pm 21201.677 \\ d_{1/10} &= -0.699 \pm 0.099 \end{aligned}$$

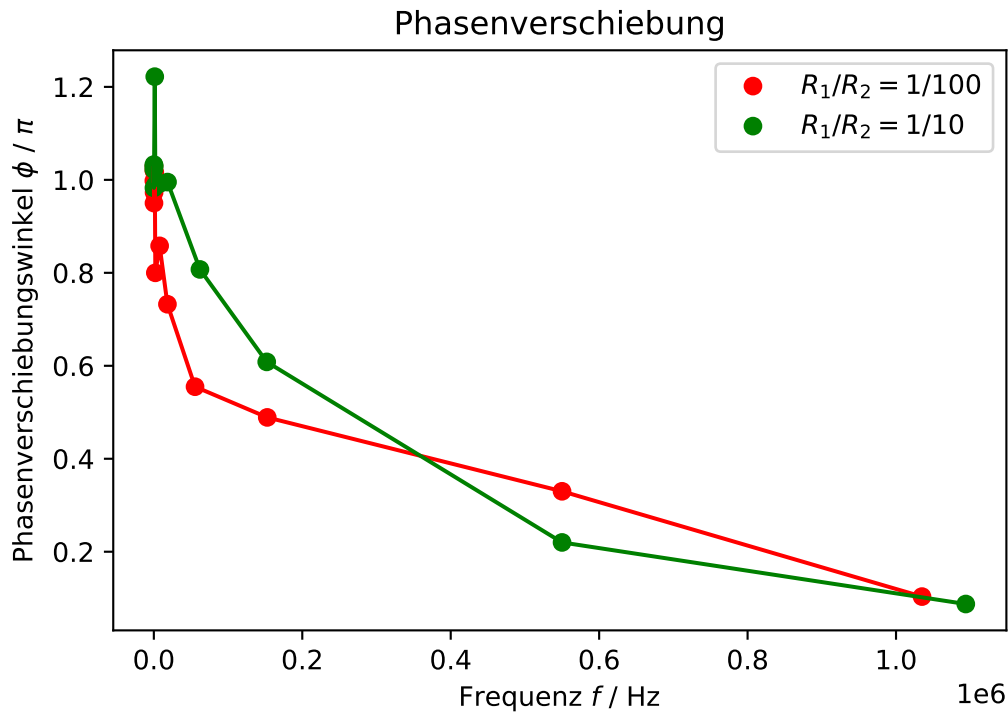


Abbildung 7: Phasenverschiebung am invertierenden Linearverstärker in Abhängigkeit der Zugangsfrequenz.

Der Frequenzabhängige Verlauf des Phasenverschiebungswinkels gleicht dem eines LR-Gliedes. Er beginnt bei kleinen Frequenzen bei etwa π und strebt dann gegen null.

5.2 Der Umkehrintegrator und der invertierender Differenzierer

Für den Aufbau des Umkehrintegrators nach Abbildung 2 wurde ein Widerstand von $R = 10\text{ k}$ und ein Kondensator mit der Kapazität $C = 100\text{ nF}$ verwendet. Es wurde mit

Gleichung 6 erneut der Verstärkungsfaktor berechnet und gegen die Frequenz aufgetragen. Im niedrigen Frequenzbereich wurde eine Kurve nach Gleichung 8 angepasst. Die Parameter lauten hier:

$$\begin{aligned} c_{Int} &= 191.631 \pm 17.526 \\ d_{Int} &= -1.006 \pm 0.034 \end{aligned}$$

Das Ergebnis ist in Abbildung 8 dargestellt.

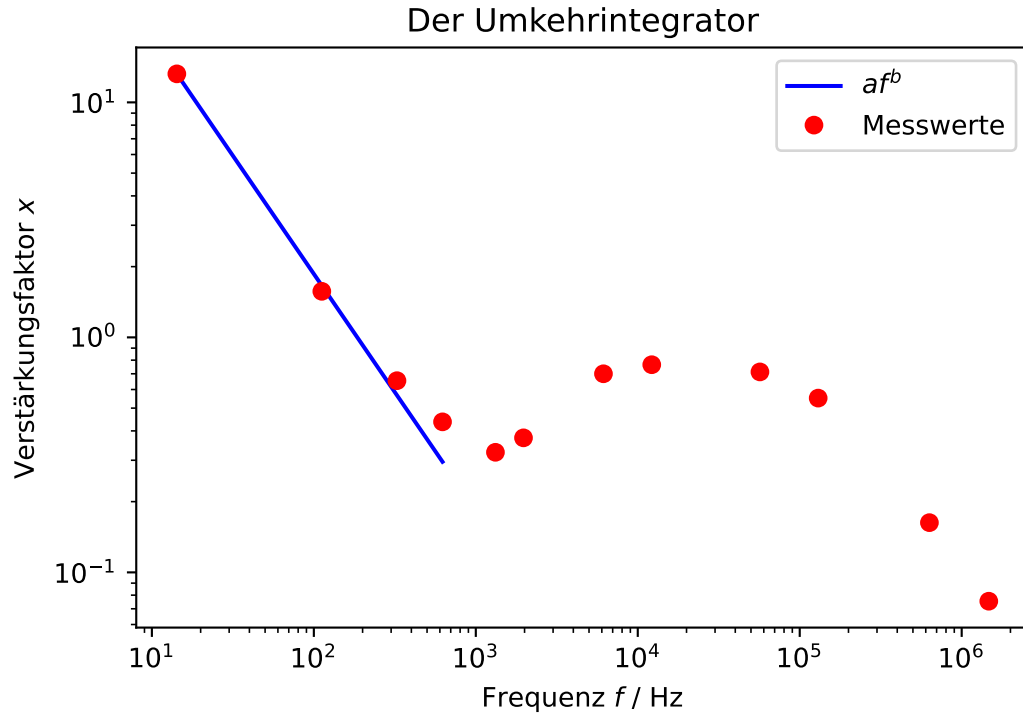


Abbildung 8: Verstärkungskurve des Umkehrintegrators nach Eingangsfrequenz

Im Anschluss daran wurde zunächst ein Sinus-, dann ein Dreiecks- und am Ende ein Rechtecksignal auf den Eingang der Schaltung gegen und dann das Eingangs- mit dem Ausgangssignal auf dem Oszilloskop dargestellt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 9, Abbildung 10 und Abbildung 11 zu sehen.

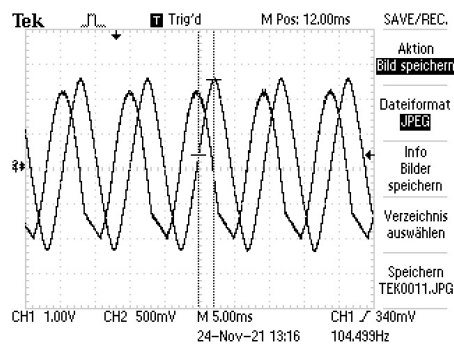


Abbildung 9: Oszilloskopbeild des Umkehrintegrators bei einer sinusförmigen Eingangsspannung.

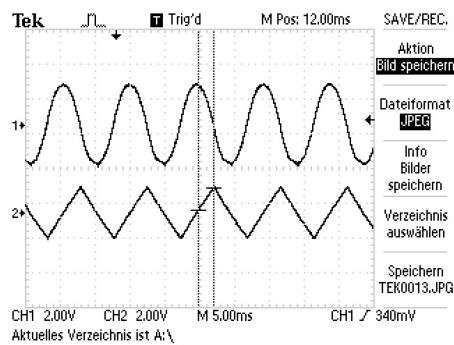


Abbildung 10: Oszilloskopbeild des Umkehrintegrators bei einer dreieckförmigen Eingangsspannung.

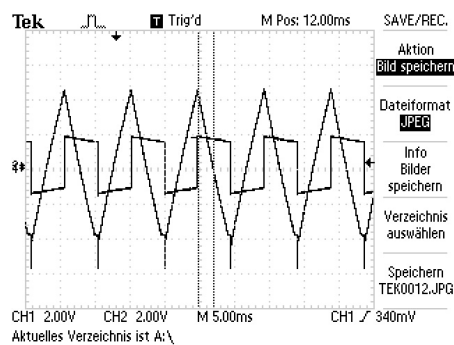


Abbildung 11: Oszilloskopbeild des Umkehrintegrators bei einer rechteckförmigen Eingangsspannung.

Beim invertierenden-Differenzierer wurde exakt analog vorgegangen. Die Bauteilwerte des Widerstandes und des Kondensators betrugen hier $R = 100\text{ k}$ und $C = 22\text{ nF}$. Die nach Gleichung 8 angepasste Kurve hat die Parameter:

$$\begin{aligned}c_{dif} &= 0.012 \pm 0.000 \\d_{dif} &= 0.981 \pm 0.005\end{aligned}$$

und ist im x - f -Diagramm in Abbildung 12 dargestellt. Die Oszilloskopbilder für die verschieden förmigen Eingangssignale sind in Abbildung 13, Abbildung 14 und Abbildung 15 zu sehen.

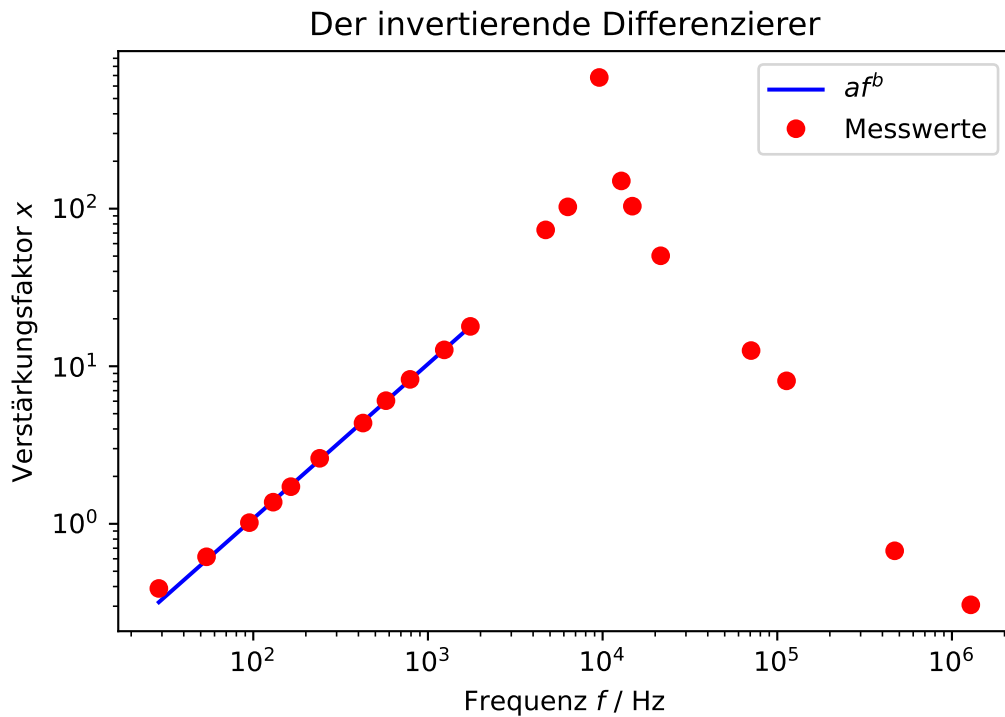


Abbildung 12: Verstärkungskurve des invertierenden Differenzierers nach Eingangsfrequenz.

Beim Differentiator wird die Ableitung des Eingangssignal erwartet während beim Integrator die Stammfunktion des Eingangssignals erwartet wird. Für die Dreiecksspannung wird beim Differentiator eine Rechteckspannung mit Spannungsspitzen an den Flanken erwartet. Für die Sinusspannung wird eine Kosinusspannung erwartet und für die Rechteckspannung eine weitere Rechteckspannung. Beim Integrator wird für die Dreiecksspannung ebenfalls eine Sinusspannung erwartet. Für die Rechteckspannung wird eine Dreiecksspannung erwartet während beim der Sinusspannung eine Kosinusspannung erwartet wird

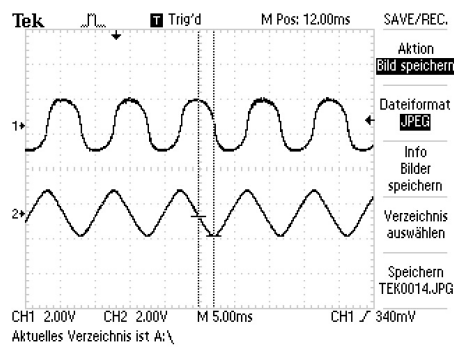


Abbildung 13: Oszilloskopbild des invertierenden Differenzierers bei einer sinusförmigen Eingangsspannung.

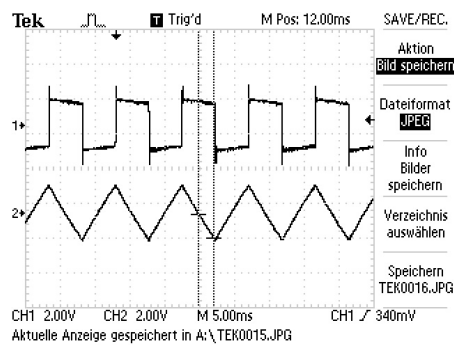


Abbildung 14: Oszilloskopbild des invertierenden Differenzierers bei einer dreieckförmigen Eingangsspannung.

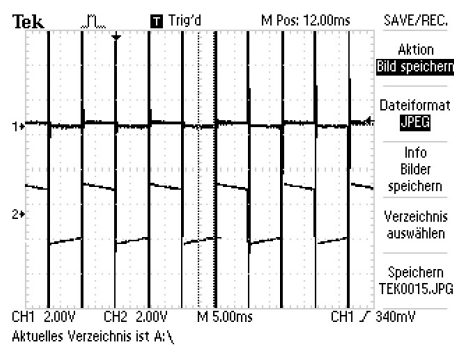


Abbildung 15: Oszilloskopbild des invertierenden Differenzierers bei einer rechteckförmigen Eingangsspannung.

5.3 Nicht-invertierender-Schmitt-Trigger

Zur Realisierung des Schmitttriggers wurde eine Schaltung nach Abbildung 4 mit drei Verschiedenen Widerstandsverhältnissen aufgebaut und jeweils der Kippunkt an welchem die Schaltung durchschaltet bestimmt. In Abbildung 16 ist das Oszilloskopbild der Schaltung an dem Punkt dargestellt an dem die Spannung grade die Schwelle überschreitet. Hieraus können die Kippspannungen abgelesen werden. Sie sind zusammen mit den Widerstandsverhältnissen in Tabelle 1 dargestellt.

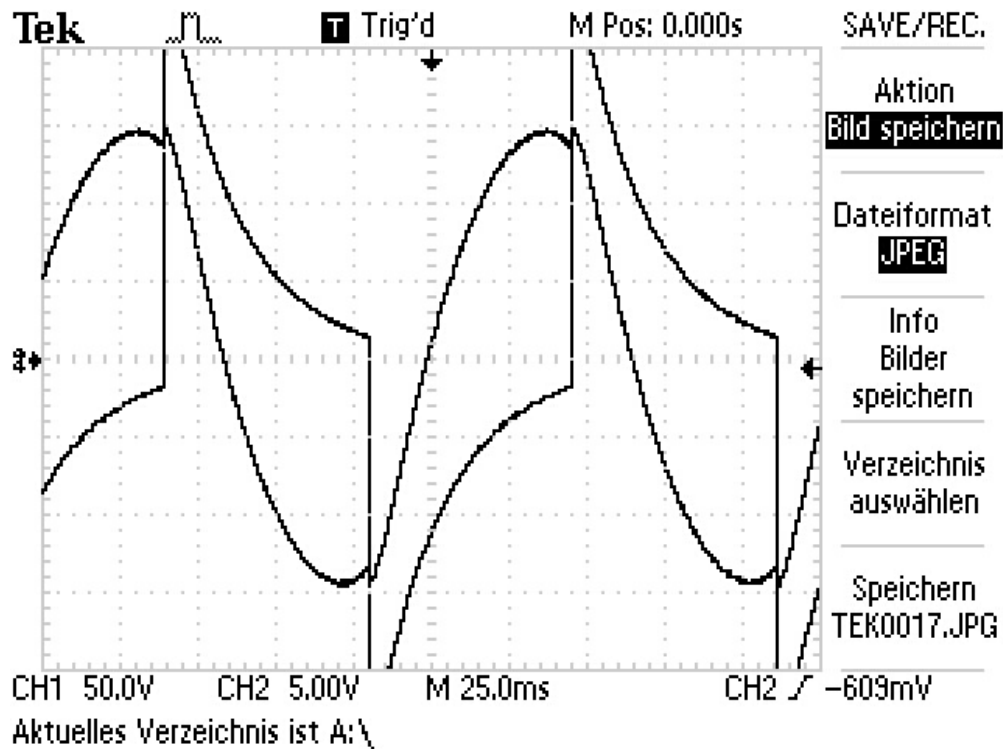


Abbildung 16: Oszilloskopbild des Spannungsverlaufs am invertierenden Schmitttrigger.

Tabelle 1: In der Tabelle sind die Kippspannungen und die Widerstandsverhältnisse zu sehen.

$R_1/[K]$	$R_2/[K]$	$U_{kipp}/[V]$
1	15	1.1
1	100	0.2
15	100	1.35

6 Diskussion

Dieses Kapitel befasst sich mit der Diskussion der im Abschnitt 5 erhaltenen Ergebnisse. In Unterabschnitt 5.1 liegen die Steigungen der an die Plateaus angepassten Funktionen bei Null oder werden von ihrem eigenen Fehler betragsmäßig um ein Vielfaches übertroffen. Dies entspricht absolut der theoretischen Erwartung. Die theoretischen Verstärkungsfaktoren liegen bei $x_{1t} = 100$ und $x_{2t} = 10$. Die experimentell gemessenen entsprechen etwa dem Y-Achsenabschnitt der Ausgleichsgeraden aus Abbildung 6 und liegen bei $x_{1e} = (85.819 \pm 2.946)$ und $x_{2e} = (9.834 \pm 0.095)$. Das entspricht Abweichungen von 14,818 % und 1,66 %. Diese Fehler entstehen vermutlich dadurch dass es sich nicht um einen Idealen Operationsverstärker mit unendlichem Eingangs- und null Ausgangswiderstand handelt, sondern um eine reale Schaltung mit hohem Eingangs und geringem Ausgangswiderstand der die optimalwerte nicht erreicht.

In Unterabschnitt 5.3 wurde der Kippunkt des Schmitttriggers gemessen.

Mögliche Fehler können durch schlechte Messwerte des Oszilloskops erklärt werden. Das Oszilloskop misst die Spannung immer von der untersten zur obersten Signalspitze. Diese Spannungen liegen oft weit oberhalb der theoretisch messbaren Werte welche durch die Einganspannung beschränkt sind. Sie sind vermutlich auf die interne Schaltung des Operationsverstärkers zurückzuführen und würden in einem zum Beispiel durch ein Niederohmiges Messgeräten belasteten Stromkreis vermutlich nicht auftreten. Zudem kann es schwierig sein das exakte Maximum eines Signals zu finden um den zeitlichen Abstand zu einem anderen Maximum zu bestimmen. Das kann zu Fehlern in der Phasenverschiebung führen. Zudem waren die Ausgangssignale des Operationsverstärkers oft mit einem hochfrequenten Rauschen überlagert was bei der exakten vermessung der Signale zu Problemen führt.