



HTBLuVA St. Pölten
Höhere Abteilung Elektrotechnik

3100 St. Pölten, Waldstrasse 3 Tel: 02742-75051-300
Homepage: <http://et.htlstp.ac.at> E-Mail: et@htlstp.ac.at



Projekt Titel:

OSZILLATOREN

Mitglieder:

LABENBACHER MICHAEL
KIENINGER DOMINIK
~~IBRAHIM IBRAGIMOV~~

Projektorientiert: HTBLuVA in St. Pölten

Projektdatum: 1. Juni 2015

Projektnummer: 24

Projektgruppe: 3

Unterrichtsgegenstand: Laboratorium

Jahrgang/Klasse: 2014/15 4AHET

Lehrer: Dipl.-Ing. Dr. Peter Zaniat

Protokollführer:	Unterschriften	Note
Labenbacher Michael		

Inhaltsverzeichnis

1 Verwendete Geräte & Betriebsmittel	6
2 Einleitendes über Oszillatoren	7
3 RC-Sinus-Phasenschieber-Oszillator mit Amplitudenbegrenzung	8
3.1 Aufgabenstellungen	8
3.2 Frequenzbestimmende Schaltung	8
3.2.1 Schaltungsentwurf	8
3.2.2 Berechnungen, Herleitungen & Dimensionierung	9
3.2.3 Aufbau, Inbetriebnahme & Messungen	12
3.3 Kompensationsnetzwerk mit Amplitudenbegrenzung	13
3.3.1 Schaltungsentwurf	13
3.3.2 Berechnungen, Herleitungen & Dimensionierung	14
3.4 Der fertige Sinus-Oszillator	15
3.4.1 Schaltungsentwurf	15
3.4.2 Berechnungen, Herleitungen & Dimensionierung	15
3.4.3 Aufbau, Inbetriebnahme & Messungen	16
3.5 Auswertung	18
4 Sinus-Wien-Brücken-Oszillator mit Amplitudenbegrenzung	19
4.1 Aufgabenstellungen	19
4.2 Frequenzbestimmende Schaltung	19
4.2.1 Schaltungsentwurf	19
4.2.2 Berechnungen, Herleitungen & Dimensionierung	19
4.2.3 Aufbau, Inbetriebnahme & Messungen	22
4.3 Kompensationsnetzwerk mit Amplitudenbegrenzung	23
4.3.1 Schaltungsentwurf	23
4.3.2 Berechnungen, Herleitungen & Dimensionierung	23
4.4 Der fertige Sinus-Oszillator	25
4.4.1 Schaltungsentwurf	25
4.4.2 Dimensionierung	25
4.4.3 Aufbau, Inbetriebnahme & Messungen	26
4.5 Auswertung	27

5 Rechteck-Dreieck-Generator mit Frequenz- & Offsetänderung	28
5.1 Aufgabenstellungen	28
5.2 Schaltungsentwurf	28
5.3 Herleitungen, Berechnungen & Dimensionierung	29
5.4 Aufbau, Inbetriebnahme & Messungen	31
5.5 Auswertung	32
6 Rechteck-Dreieck-Generator zur Tastverhältnis-Modulation	33
6.1 Aufgabenstellungen	33
6.2 Schaltungsentwurf	33
6.3 Berechnungen & Dimensionierung	34
6.4 Aufbau, Inbetriebnahme & Messungen	34
6.5 Auswertung	35

Tabellenverzeichnis

1	Verwendete Geräte & Betriebsmittel	6
2	Bauteilwahl der frequenzbestimmenden Schaltung	11
3	Eckdatentabelle der frequenzbestimmenden Schaltung	11
4	Messtabelle bezüglich des 3-fachen RC-Hochpasses	12
5	Messtabelle des RC-Sinus-Phasenschieber-Oszillatoren mit Amplitudenbegrenzung	16
6	Bauteilwahl der frequenzbestimmenden Schaltung	21
7	Eckdatentabelle der frequenzbestimmenden Schaltung	21
8	Messtabelle bezüglich der Wien-Brücke	22
9	Messtabelle des Sinus-Wien-Brücken-Oszillators mit Amplitudenbegrenzung	26
10	Dimensionierungstabelle des Rechteck-Dreieck-Generators mit Frequenz- & Offsetänderung	30
11	Dimensionierungstabelle des Rechteck-Dreieck-Generators zur Tastverhältnis-Modulation	34

Abbildungsverzeichnis

1	Blockschaltbild eines Oszillators	7
2	Frequenzbestimmende Schaltung (3-facher RC-Hochpass)	8
3	Oszilloskopaufnahmen der frequenzbestimmenden Schaltung bei f_{osz}	12
3.1	im x/t-Modus	12
3.2	im x/y-Modus	12
4	Kompensationsnetzwerk mit Amplitudenbegrenzung	13
5	Schaltung des RC-Sinus-Phasenschieber-Oszillator mit Amplitudenbegrenzung	15
6	Oszilloskopaufnahmen vom RC-Sinus-Phasenschieber-Oszillator mit Amplitudenbegrenzung	16
6.1	im x/t-Modus	16
6.2	im x/y-Modus	16
7	Oszilloskopaufnahmen des Amplitudenspektrums von U_a vom RC-Sinus-Phasenschieber-Oszillator mit Amplitudenbegrenzung	17
8	Oszilloskopaufnahmen des Einschwingvorganges von U_a vom RC-Sinus-Phasenschieber-Oszillator mit Amplitudenbegrenzung	18
9	Frequenzbestimmende Schaltung (Wien-Brücke)	19
10	Oszilloskopaufnahmen der frequenzbestimmenden Schaltung bei f_{osz}	22
10.1	im x/t-Modus	22
10.2	im x/y-Modus	22
11	Kompensationsnetzwerk mit Amplitudenbegrenzung	23
12	Schaltung des Sinus-Wien-Brücken-Oszillator mit Amplitudenbegrenzung	25
13	Oszilloskopaufnahmen vom Sinus-Wien-Brücken-Oszillator mit Amplitudenbegrenzung	26
13.1	im x/t-Modus	26
13.2	im x/y-Modus	26
14	Oszilloskopaufnahmen des Amplitudenspektrums von U_a vom Sinus-Wien-Brücken-Oszillator mit Amplitudenbegrenzung	27
15	Rechteck-Dreieck-Generator mit Frequenz- & Offsetänderung	28
16	Oszilloskopaufnahmen bezüglich der Frequenzverstellbarkeit	31
16.1	bei $R = 0$	31
16.2	bei $R = 100 \text{ k}\Omega$	31
17	Oszilloskopaufnahmen bezüglich der Offsetverstellbarkeit	32
17.1	im x/t-Betrieb	32
17.2	im x/y-Betrieb	32
18	Rechteck-Dreieck-Generator zur Tastverhältnis-Modulation	33
19	Aufbau eines Rechteck-Dreieck-Generators zur Tastverhältnis-Modulation	34
20	Oszilloskopaufnahmen bezüglich der Tastverhältnis-Modulation	35
20.1	Modulationssignal: Sinus	35
20.2	Modulationssignal: Dreieck	35

1 Verwendete Geräte & Betriebsmittel

Bezeichnung/Nr.	Gerät/Betriebsmittel	Beschreibung/Typ	Geräte-Nr.
<i>FG1</i>	Wobbel - Funktionsgenerator	Voltcraft® 7202 Sweep/ Function Generator	EA - 01/03
<i>N1</i>	DC- Spannungsversorgung	Leybold® 762 88 $\pm 15 V$ / 3 A	GA - 06/06
<i>O1</i>	Oszilloskop	Tektronix TDS 2004B	EA - 02/04
<i>P1</i>	Digitalmultimeter	Extech	G - 10.1/03
<i>P2</i>	HTL - Komponententester	Messen von: C, L, R, Dioden, Transistoren...	—

Tabelle 1: Verwendete Geräte & Betriebsmittel

Des Weiteren werden noch Widerstände (Potentiometer), Kondensatoren, Zener-Dioden und Operationsverstärker für die Durchführung der einzelnen Teilprojekte, sowie BNC-Strippen, Stecker und Verbindungsstrippen benötigt, welche hier auf Grund der Länge nicht angeführt werden.

Die Spannungsversorgung aller verwendeten Operationsverstärker betrug $+15 V / -15 V$ & GND und wurde immer mit Hilfe der Versorgung N1 zur Verfügung gestellt, jedoch in den einzelnen Schaltungen aus Übersichtlichkeit nicht eingezeichnet.

2 Einleitendes über Oszillatoren

Ein Oszillator ist ein selbständiger Schwingungserzeuger, welcher im Prinzip aus einem frequenzbestimmenden Netzwerk, einer Amplitudenbegrenzung/-regelung und einem Verstärker besteht. Er lässt sich durch folgendes Blockschaltbild beschreiben:

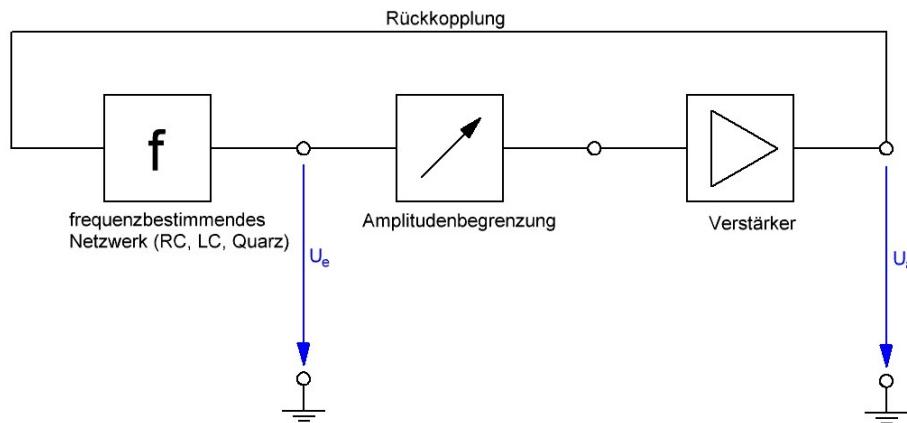


Abbildung 1: Blockschaltbild eines Oszillators

Damit nun die Schaltung selbständig schwingt, müssen im Wesentlichen folgende zwei Bedingungen erfüllt sein:

$$K_r \cdot V_u = 1 \quad \text{Amplitudenbedingung} \quad (1)$$

$$\varphi_k + \varphi_v = 0^\circ / n \cdot 360^\circ \quad \text{Phasenbedingung } (n \in \mathbb{N}) \quad (2)$$

Dabei gilt:

$$K_r = \frac{U_e}{U_a} \quad (3)$$

$$V_u = \frac{U_a}{U_e} \quad (4)$$

- $K_r \dots \dots \dots$ Rückkopplungsverstärkung (des frequenzbestimmenden Netzwerkes)
- $V_u \dots \dots \dots$ Spannungsverstärker (des Kompensationsnetzwerkes)
- $\varphi_k \dots \dots \dots$ Phasenwinkel des frequenzbestimmenden Netzwerkes & Rückkopplung
- $\varphi_v \dots \dots \dots$ Phasenwinkel des Verstärkers
- $K_{r,osz} \dots \dots \dots$ Rückkopplungsfaktor bei f_{osz}
- $V_{u,osz} \dots \dots \dots$ Spannungsverstärker des Verstärkers bei f_{osz}
- $\varphi_{k,osz} \dots \dots \dots$ Phasenwinkel des frequenzbestimmenden Netzwerkes & Rückkopplung bei f_{osz}
- $\varphi_{v,osz} \dots \dots \dots$ Phasenwinkel des Verstärkers bei f_{osz}
- $f_{osz} \dots \dots \dots$ Oszillatorkreisfrequenz (Schwingfrequenz des Oszillators)

3 RC-Sinus-Phasenschieber-Oszillator mit Amplitudenbegrenzung

3.1 Aufgabenstellungen

Die 1.Aufgabe besteht in der Untersuchung eines RC-Sinus-Phasenschieber-Oszillators, wobei ein 3-facher RC-Hochpass als frequenzbestimmende Schaltung zu verwenden ist. (Tiefpass ebenfalls möglich)

Diese Schaltung ist zu untersuchen und die Frequenz zu ermitteln, wo die Phasenverschiebung 180° beträgt. Darauf hin ist ein Kompensationsnetzwerk zu entwickeln, welches die Phasenverschiebung und die Dämpfung bei dieser rückgängig macht.

Der fertige Oszillatoren ist dann auf sein Verhalten hin zu untersuchen und eine Amplitudenbegrenzung soll zum Abschluss entwickelt werden.

3.2 Frequenzbestimmende Schaltung

3.2.1 Schaltungsentwurf

Folgende Schaltung stellt einen einfachen, passiven Hochpass 3.Ordnung, als frequenzbestimmende Schaltung dar:

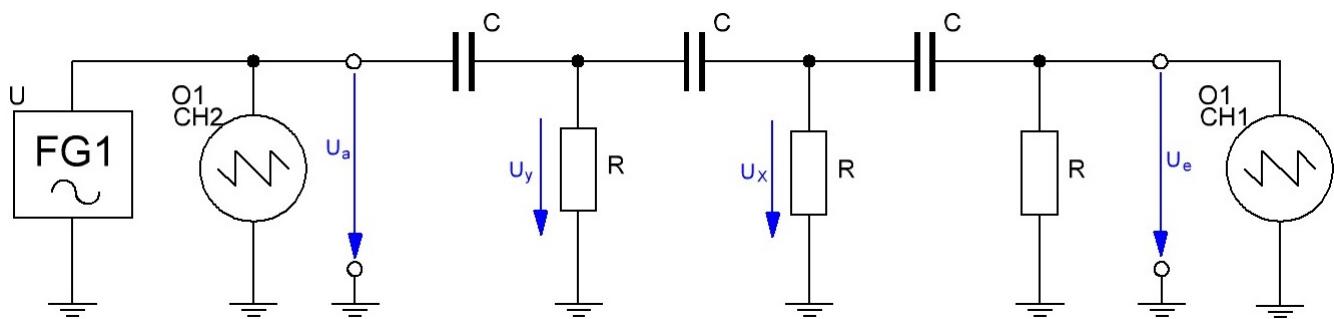


Abbildung 2: Frequenzbestimmende Schaltung (3-facher RC-Hochpass)

Die nachfolgende Aufgabe, welche im Kapitel 3.2.2 durchgeführt wird, besteht darin, den Frequenzgang der Schaltung Abb. 2 herzuleiten.

3.2.2 Berechnungen, Herleitungen & Dimensionierung

Bei der Herleitung kann folgendermaßen vorgegangen werden:

$$\frac{\underline{U_e}}{\underline{U_x}} = \frac{sRC}{1+sRC}$$

$$\frac{\underline{U_x}}{\underline{U_y}} = \frac{sCZ_1}{1+sCZ_1} \quad \text{mit } Z_1 = R \cdot \frac{1+sRC}{1+s2RC} \quad \Rightarrow \quad \frac{\underline{U_x}}{\underline{U_y}} = \frac{sRC \cdot (1+sRC)}{s^2R^2C^2 + s3RC + 1}$$

$$\frac{\underline{U_y}}{\underline{U_a}} = \frac{sCZ_2}{1+sCZ_2} \quad \text{mit } Z_2 = R \cdot \frac{1+sCZ_1}{1+sRC + sCZ_1} = R \cdot \frac{s^2R^2C^2 + s3RC + 1}{s^23R^2C^2 + s4RC + 1} \quad \Rightarrow$$

$$\frac{\underline{U_y}}{\underline{U_a}} = \frac{sRC \cdot (s^2R^2C^2 + s3RC + 1)}{s^3R^3C^3 + s^26R^2C^2 + s5RC + 1} \quad \Rightarrow \quad G_k(s) = \frac{\cancel{\underline{U_y}}}{\cancel{\underline{U_a}}} \cdot \frac{\cancel{\underline{U_x}}}{\cancel{\underline{U_y}}} \cdot \frac{\underline{U_e}}{\underline{U_x}} \quad \Rightarrow$$

$$G_k(s) = \frac{s^3R^3C^3}{s^3R^3C^3 + s^26R^2C^2 + s5RC + 1} \quad \text{Übertragungsfunktion} \quad (5)$$

$$G_k(j\omega) = \frac{(j\omega)^3R^3C^3}{(j\omega)^3R^3C^3 + (j\omega)^26R^2C^2 + j\omega5RC + 1} \quad \text{Frequenzgang} \quad (6)$$

Für K_r gilt somit mit $|G_k(j\omega)|$:

$$K_r = \frac{\omega^3R^3C^3}{\sqrt{(1-\omega^26R^2C^2)^2 + (\omega5RC - \omega^3R^3C^3)^2}} \quad (7)$$

Um nun die Oszillatofrequenz herzuleiten, wird einfach $\text{Im}\{G_k(j\omega)\} = 0$ gesetzt und die entstandene Gleichung nach ω aufgelöst:

$$\text{Im}\{G_k(j\omega)\} = 0$$

$$\frac{-j \cdot \omega^3R^3C^3 \cdot (1 - \omega^26R^2C^2)}{(1 - \omega^26R^2C^2)^2 + (\omega5RC - \omega^3R^3C^3)^2} = 0 \quad (\omega = 0 \dots \text{hier nicht von Bedeutung})$$

$$\omega^26R^2C^2 = 1 \quad \Rightarrow$$

$$\omega_{osz} = \frac{1}{\sqrt{6 \cdot RC}} \quad f_{osz} = \frac{\omega_{osz}}{2\pi} \quad (8)$$

Durch Einsetzen in die Gleichung 7 erhält man folgende Verstärkung des Systemes bei ω_{osz} :

$$K_r = \frac{\frac{1}{(\sqrt{6})^3 R^3 C^3} R^3 C^3}{\sqrt{\left(1 - \frac{1}{6R^2 C^2} 6R^2 C^2\right)^2 + \left(\frac{1}{\sqrt{6}RC} 5RC - \frac{1}{(\sqrt{6})^3 R^3 C^3} R^3 C^3\right)^2}} = \frac{\frac{1}{(\sqrt{6})^3}}{\sqrt{\left(\frac{1}{(\sqrt{6})^3} \cdot (30 - 1)\right)^2}} \Rightarrow$$

$$K_r \Bigg|_{\omega=\omega_{\text{osz}}} = K_{r,\text{osz}} = \frac{1}{29} \quad (9)$$

Für den Phasenwinkel bei der Oszillatofrequenz gilt:

$$\varphi_k \Bigg|_{\omega=\omega_{\text{osz}}} = \varphi_{k,\text{osz}} = 180^\circ \quad (10)$$

Nun folgt noch die Dimensionierung der einzelnen Bauteilwerten. Dabei wurde sich keine Frequenz f_{osz} als Ziel gesetzt, sondern lediglich Kondensatoren & Widerstände mit nur kleinen Abweichungen zueinander verwendet.

Die Wahl viel auf folgende Bauteilwahl, wobei mit Hilfe von P1 & P2 die einzelnen Bauteile zur Sicherheit vor zu großen Abweichungen gemessen wurden:

Bauteil	Einheit	Angabe	Messung
C_{Vorne}	nF	100	102,7
C_{Mitte}	nF	100	101,98
C_{Hinten}	nF	100	96
R_{Vorne}	Ω	1 000	998
R_{Mitte}	Ω	1 000	999
R_{Hinten}	Ω	1 000	996

Tabelle 2: Bauteilwahl der frequenzbestimmenden Schaltung

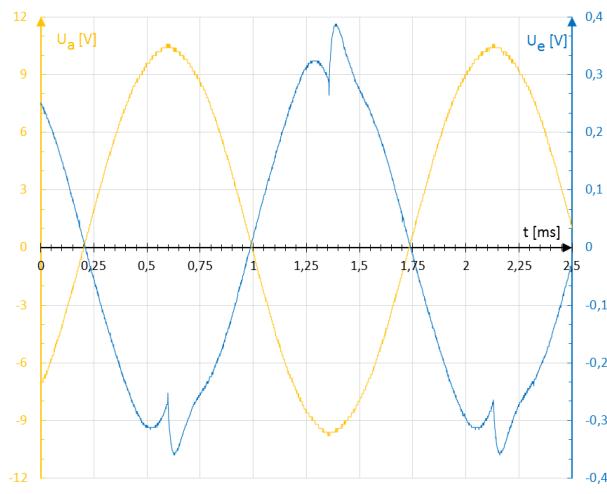
Nun kann die zu erwartende Frequenz des Oszillators mit Hilfe der Formel 8 berechnet werden und schließlich folgende Eckdatentabelle angefertigt werden:

C [nF]	R [Ω]	$K_{r,osz}$ [—]	$\varphi_{k,osz}$ [°]	f_{osz} [Hz]
100	1 000	$\frac{1}{29}$	180	649,75

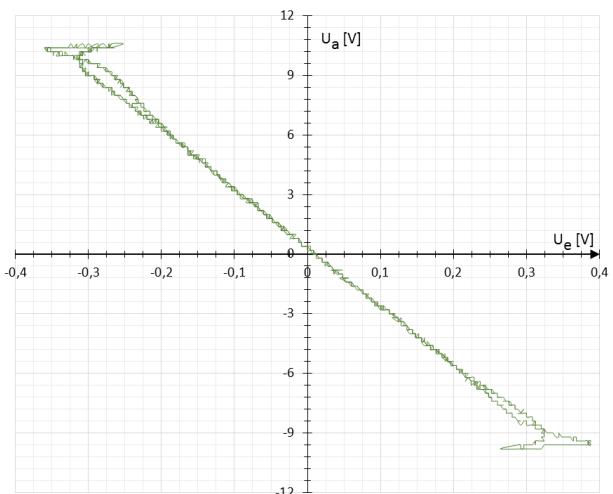
Tabelle 3: Eckdatentabelle der frequenzbestimmenden Schaltung

3.2.3 Aufbau, Inbetriebnahme & Messungen

Nach dem Aufbau der Schaltung 2 wurde am Frequenzgenerator eine Spannung von $\hat{u}_a \approx 10 V$ eingestellt. Nun wurde mit Hilfe des Frequenzgenerators die Frequenz so eingestellt, dass sich im x/y-Betrieb (x-Achse: CH1, y-Achse: CH2) am Oszilloskope eine Gerade (von links oben nach rechts unten $\Rightarrow \varphi = \pm 180^\circ$) einstellt. Dies ergab dann folgende Oszilloskopaufnahmen:



3.1 im x/t-Modus



3.2 im x/y-Modus

Abbildung 3: Oszilloskopaufnahmen der frequenzbestimmenden Schaltung bei f_{osz}

Es konnten die nachfolgenden Spitzenspitzenwerte und die zu erwartende Oszillatorkreisfrequenz erfasst werden, wobei bei der Amplitude von U_e ein gewisser Kompromiss eingegangen werden muss, da durch die starke Hochpasswirkung Einbrüche vorhanden sind, welche auch in den beiden Abbildungen 10.1 & 10.2 deutlich ersichtlich sind. Des Weiteren wurde daraus mit der Formel 3 die Verstärkung der frequenzbestimmenden Schaltung $K_{r,osz}$ und mit 1 die notwendige Verstärkung des Kompensationsnetzwerkes $V_{u,osz}$, damit die Amplitudenbedingung erfüllt ist, berechnet. Auch die Phasenverschiebung, welche das zu entwerfende System haben muss, damit die Phasenbedingung erfüllt ist, konnte mit der Formel 2 ermittelt werden.

f_{osz} [Hz]	$U_{a,ss}$ [V]	$U_{e,ss}$ [V]	$K_{r,osz}$ [—]	$\varphi_{k,osz}$ [°]	$V_{u,osz}$ [—]	$\varphi_{v,osz}$ [°]
653	20,4	0,7	0,0343	180	29,14	± 180

Tabelle 4: Messtabelle bezüglich des 3-fachen RC-Hochpasses

Die angegebenen Werte beziehen sich hier auf die zu erwartenden Eigenschaften des fertigen Oszillators.

Mit diesen Ergebnissen kann nun das Kompensationsnetzwerk konstruiert werden, welches sozusagen die Phasenverschiebung und Dämpfung rückgängig machen soll.

3.3 Kompensationsnetzwerk mit Amplitudenbegrenzung

3.3.1 Schaltungsentwurf

Da es, laut den Messergebnissen im Kapitel 3.2.3, ein invertierendes & verstärkendes Netzwerk sein soll, wurde folgende Schaltung mit Amplitudenbegrenzung entworfen:

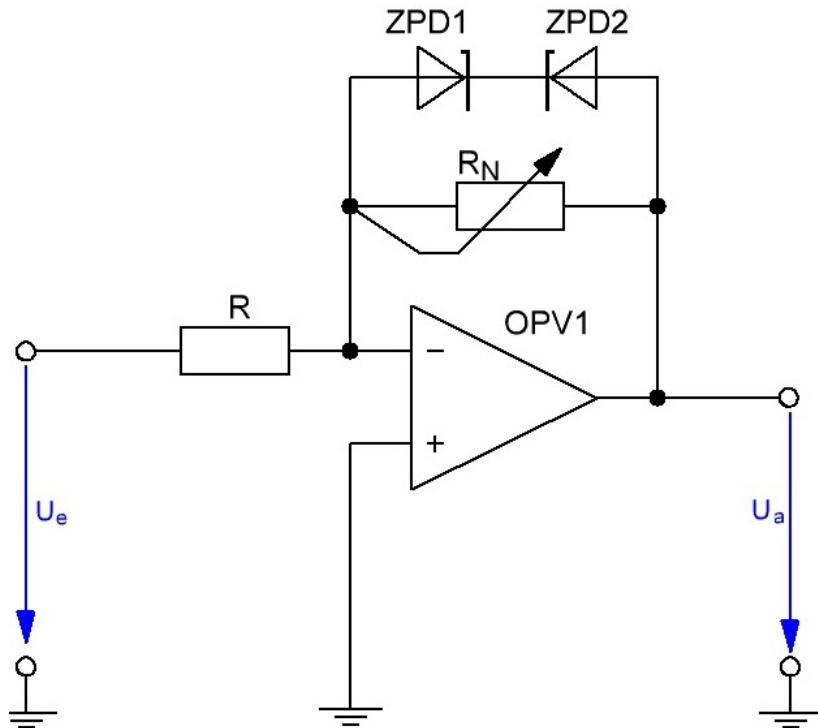


Abbildung 4: Kompensationsnetzwerk mit Amplitudenbegrenzung

Besser wäre es noch einen Widerstand als Schutz in Serie zu den Zener-Dioden zu schalten, auf was aber vergessen wurde, jedoch keine Auswirkungen hatte.

Natürlich hat der OPV auch eine Spannungsversorgung von $+15\text{ V} / -15\text{ V}/GND$, welche nicht eingezeichnet, aber immer vorhanden war.

3.3.2 Berechnungen, Herleitungen & Dimensionierung

Ohne Berücksichtigung der Begrenzung gilt:

$$G_v(j\omega) = -\frac{R_N}{R} \quad \text{Frequenzgang} \quad (11)$$

Für die Verstärkung ($|G_v(j\omega)|$) und die Phasendrehung gilt laut der Abb. 4:

$$V_u = \frac{R_N}{R} \quad (12)$$

$$\varphi_v = 180^\circ \quad (13)$$

Nun soll bei der Oszillatorkreisfrequenz f_{osz} folgendes gelten:

$$V_{u,osz} = V_u = \frac{1}{K_{r,osz}} = \frac{1}{0,0343} = 29,14$$

$$\varphi_{v,osz} = \varphi_v = n \cdot 360^\circ - \varphi_k = n \cdot 360^\circ - 180^\circ = \text{mit } n = 1 \Rightarrow 360^\circ + 180^\circ = 180^\circ$$

Damit lässt sich der noch unbekannte Widerstand R_N berechnen:

$$R_N = V_u \cdot R = 29,14 \cdot 1000\Omega = 29,14 k\Omega$$

Es wurde nun ein $47 k\Omega$ -Potentiometer verwendet, um ein Anschwingen der Schaltung mit einer etwas höheren Verstärkung des Kompensationsnetzwerkes zu ermöglichen.

Zur Begrenzung der maximalen Amplitude werden zwei gleich große ZPD6, 2 V-Zener-Dioden von hps verwendet, was dann eine Ausgangsspannung von $\approx 7 V$ ($6,2 V + (0,6 \text{ bis } 0,8) V$) liefern wird.

3.4 Der fertige Sinus-Oszillator

3.4.1 Schaltungsentwurf

Die gesamte Schaltung des RC-Phasenschiebers hat nun folgende Form:

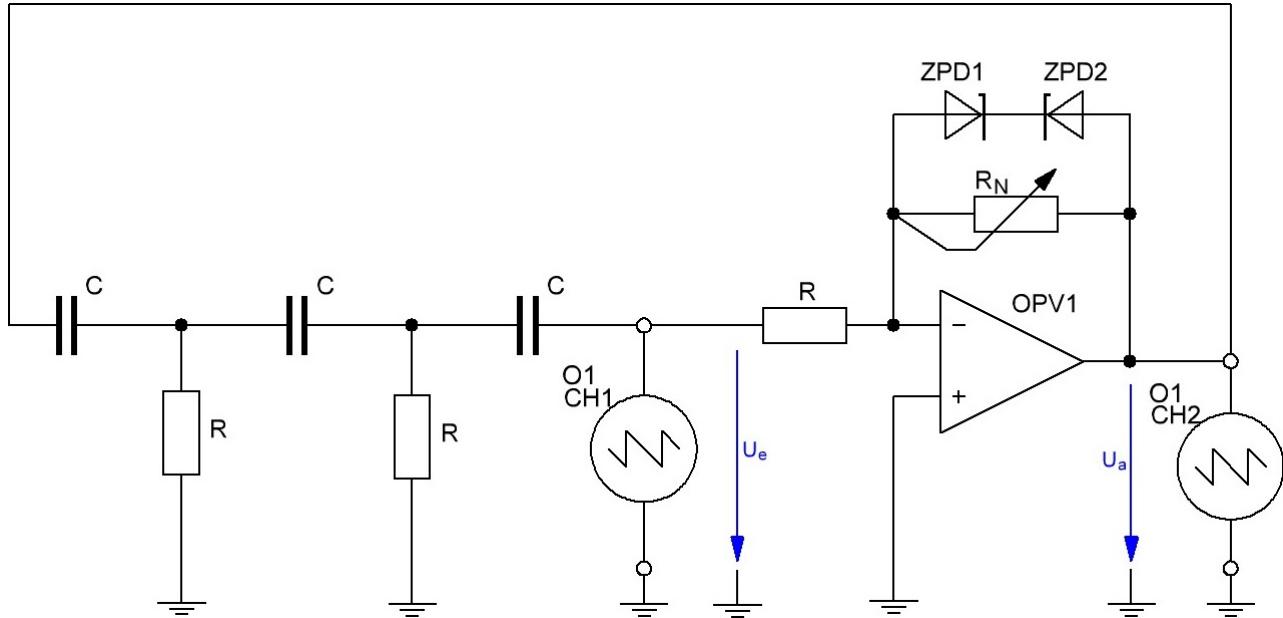


Abbildung 5: Schaltung des RC-Sinus-Phasenschieber-Oszillatormit Amplitudenbegrenzung

3.4.2 Berechnungen, Herleitungen & Dimensionierung

Die Übertragungsfunktion dieser rückgekoppelten Schaltung hat nun folgende Form:

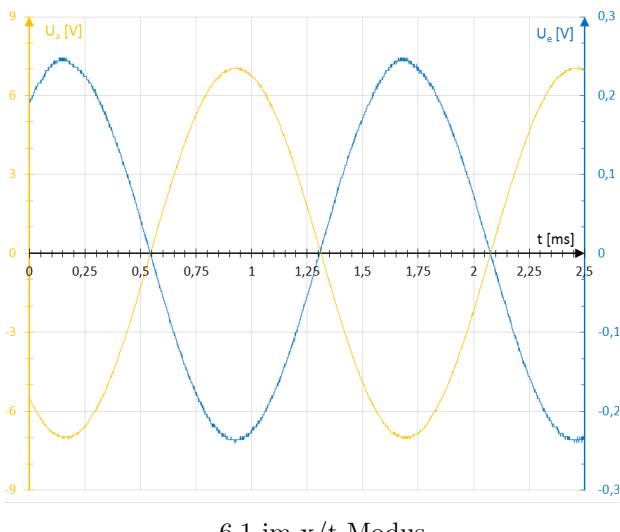
$$G(s) = \frac{s^3 R^2 R_N C^3}{s^3 R^2 C^3 (R + R_N) + s^2 6 R^2 C^2 + s 5 R C + 1} \quad (14)$$

Zusammenfassende Dimensionierung der einzelnen Bauteile:

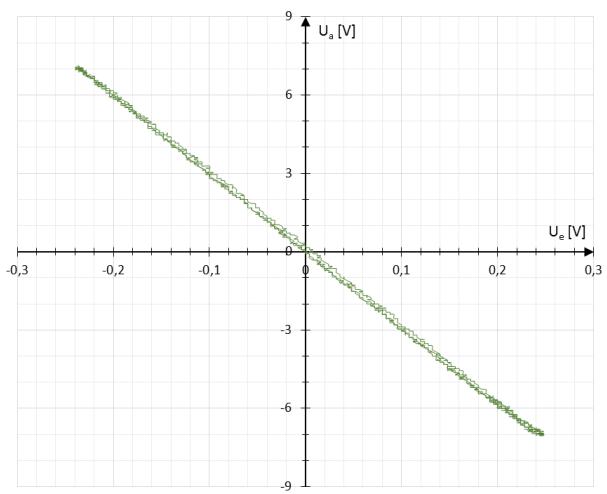
Bauteil	Beschreibung
R	$1 k\Omega$
C	$100 nF$
R_N	$47 k\Omega$ (gemessen: $48,7 k\Omega$) $0,5 W$ hps
ZPD1/2	ZPD 6,2 V 64 mA hps 9114.15

3.4.3 Aufbau, Inbetriebnahme & Messungen

Nach dem erfolgreichen Aufbau des Oszillators Abb. 5 konnten mit Hilfe des Oszilloskops die nachfolgenden Bilder aufgenommen werden. Dabei musst die notwendige Verstärkung des Kompensationsnetzwerkes über $V_{u,osz}$ erhöht werden, um eine Schwingung zu erzeugen. Als der wirkende Widerstand $R_N = 29,2 \text{ k}\Omega$ betrug, war eine Schwingung vorhanden und ergab folgende Osziaufnahmen:



6.1 im x/t-Modus



6.2 im x/y-Modus

Abbildung 6: Oszilloskopaufnahmen vom RC-Sinus-Phasenschieber-Oszillator mit Amplitudenbegrenzung

Es wurden nun die Spitzenspitzenwerte der zwei Schwingungen bei der Potentiometerstellung von $R_N = 29,2 \text{ k}\Omega$, sprich da wo gerade noch eine Schwingung vorlag, und die Frequenz mit der das System schwingt gemessen:

f_{osz} [Hz]	$U_{a,ss}$ [V]	$U_{e,ss}$ [V]	$K_{r,osz}$ [—]	$\varphi_{k,osz}$ [°]	$V_{u,osz}$ [—]	$\varphi_{v,osz}$ [°]
653	14,16	0,488	0,0344	180	29,02	180

Tabelle 5: Messtabelle des RC-Sinus-Phasenschieber-Oszillator mit Amplitudenbegrenzung

In der Abbildung 6.2 ist deutlich erkennbar, dass die Phasenverschiebung zwischen dem Ein- & Ausgangssignal $\pm 180^\circ$ beträgt und auch die Spitzenwerte können direkt in dieser x/y-Darstellung gemessen werden.

Es zeigte sich, dass die gemessene Oszillatorkreisfrequenz und die Kompensationsverstärkung relativ exakt mit der Berechnung übereinstimmt. Die zwei Zener-Dioden begrenzen die Amplitude des Ausgangssignales bei $+7,08 \text{ V} / -7,08 \text{ V}$ und wenn die Verstärkung des Kompensationsnetzwerkes, durch Vergrößern des Widerstandes R_N , stieg, dann wurde das Ausgangssignal auf Grund der Dioden „etwas weniger sinusförmig“.

Nun folgt noch das Amplitudenspektrum des Ausgangssignales bei $R_N = 29,2 \text{ k}\Omega$, wodurch der Einfluss der Oberschwingungen auf die Schwingung, durch die Höhe der einzelnen Amplituden, erkennbar ist.

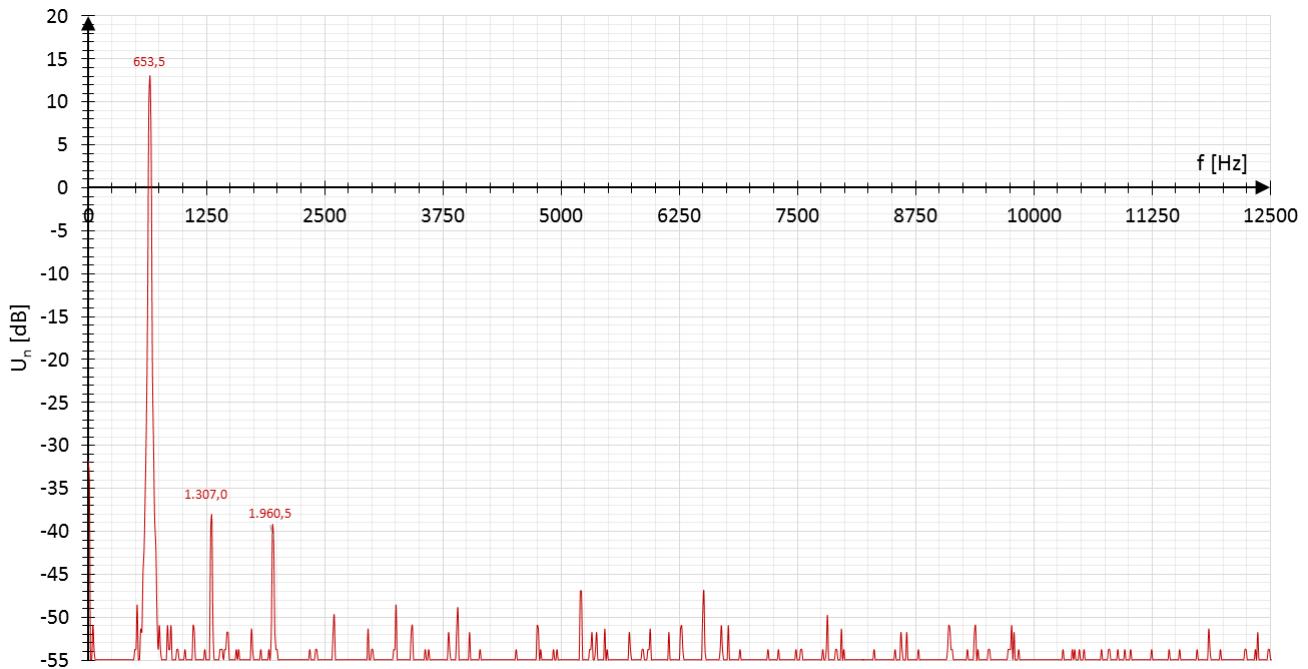


Abbildung 7: Oszilloskopaufnahmen des Amplitudenspektrums von U_a vom RC-Sinus-Phasenschieber-Oszillatormit Amplitudenbegrenzung

Durch die FFT erhielten wir die Amplitudenwerte der beteiligten Frequenzen, wobei die Samplerate 25 kS/s ($25\,000$ Abtastungen pro Sekunde) betrug und die Fensterfunktion war Hanning.

Aus der Abb. 7 lässt sich erkennen, dass im Wesentlichen das Ausgangssignal nur sehr wenige, unbedeutende Oberschwingungen enthält. Eventuell nennenswerte Anteile sind das 2- & 3-Fache der Grundschwingung.

Nun wurde noch der Einschwingvorgang aufgenommen, indem der Widerstand R_N „langsam“ erhöht wurde und bei $\approx 29,2 \text{ k}\Omega$ ($\approx 60\%$ von $R_{N,\max}$) begann sich die Schwingung rasch aufzubauen, bis die Zener-Dioden die Amplitude des Ausgangssignales begrenzten. Davon wurde nun folgende Oszilloskopaufnahme gemacht:

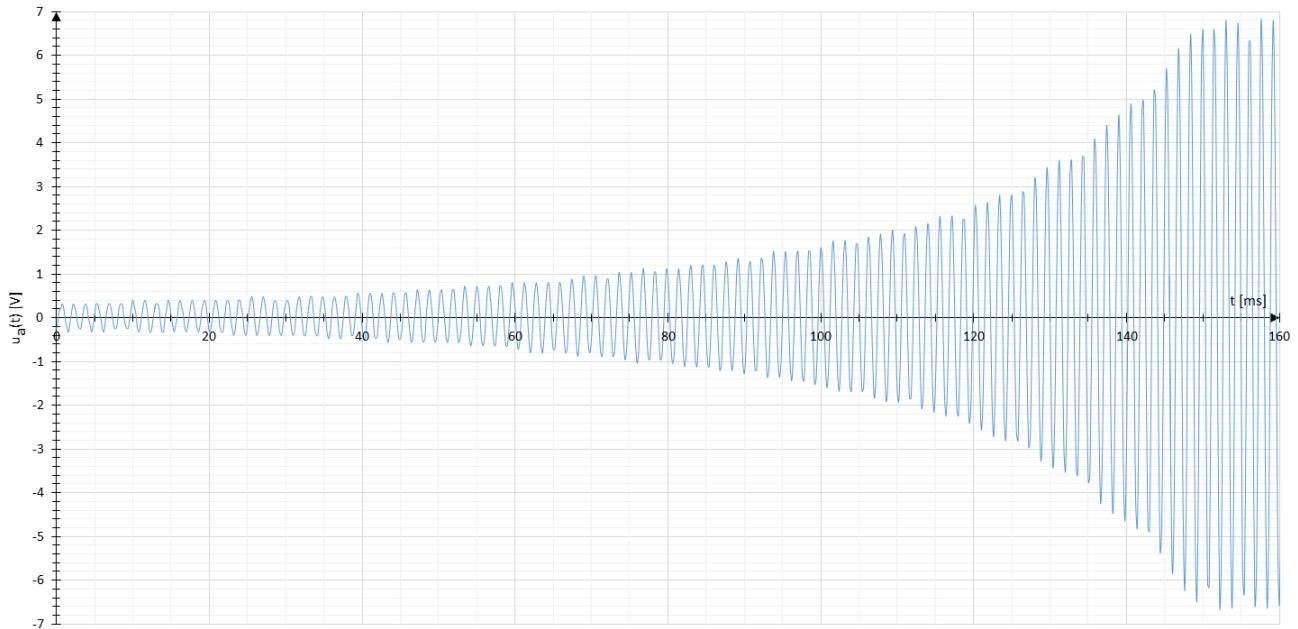


Abbildung 8: Oszilloskopaufnahmen des Einschwingvorganges von U_a vom RC-Sinus-Phasenschieber-Oszillatator mit Amplitudenbegrenzung

In der Abb. 8 lässt sich die Wirkung der Zener-Dioden deutlich erkennen, welche die Amplitude bei ca. 7 V begrenzen und so einen weiteren Anstieg der Amplitude verhindern und es kommt zu einer gleichmäßigen „Sinusschwingung“ solange die Verstärkung nicht zu groß wird. Für eine stabile Amplitude bei kleinstmöglicher Verzerrung wäre eine Amplitudenregelung zu entwerfen, was hier nicht gemacht wurde, jedoch empfehlenswert ist.

3.5 Auswertung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass ein solcher RC-Phasenschieber einfach aufzubauen ist und für niedrige Frequenzen gut geeignet ist. Die Änderung der erzeugten Frequenz ist jedoch schwierig, da immer drei Widerstände/Kondensatoren gleichzeitig & gleichartig geändert werden müssen.

Der nachfolgende Wien-Oszillatator wird hierfür leichter handzuhaben sein.

4 Sinus-Wien-Brücken-Oszillatoren mit Amplitudenbegrenzung

4.1 Aufgabenstellungen

Die Hauptaufgabe ist es einen Wien-Brücken-Oszillatoren zu entwerfen, welcher ein sinusförmiges Signal erzeugt. Dabei ist am Beginn die frequenzbestimmende Schaltung (Wien-Brücke) zu untersuchen & dimensionieren und im Anschluss darauf ist ein Kompensationsnetzwerk zu konstruieren, welches die Dämpfung & Phasenverschiebung rückgängig macht.

Für den fertigen Oszillatoren ist dann eine Amplitudenbegrenzung zu entwerfen und Oszilloskopaufnahmen sollen dann Auskunft über den Oszillatoren und dessen Verhalten geben.

4.2 Frequenzbestimmende Schaltung

4.2.1 Schaltungsentwurf

Wie der Name schon vermuten lässt, ist die frequenzbestimmende Schaltung eine Wien-Brücke folgender Form:

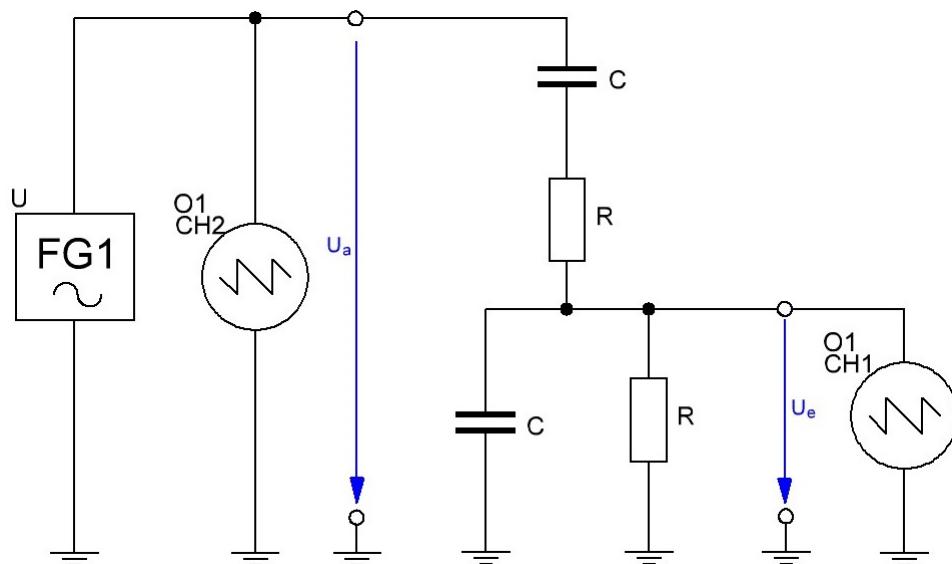


Abbildung 9: Frequenzbestimmende Schaltung (Wien-Brücke)

4.2.2 Berechnungen, Herleitungen & Dimensionierung

Für diese Herleitung wird nur der Spannungsteiler angewandt:

$$G_k(s) = \frac{U_e}{U_a} = \frac{\frac{R}{1+sRC}}{\frac{R}{1+sRC} + R + \frac{1}{sC}} = \frac{\frac{sRC}{1+sRC}}{\frac{sRC}{1+sRC} + sRC + 1} \Rightarrow \text{nächste Seite}$$

$$G_k(s) = \frac{sRC}{s^2 R^2 C^2 + s 3RC + 1} \quad \text{Übertragungsfunktion} \quad (15)$$

$$G_k(j\omega) = \frac{j\omega RC}{(j\omega)^2 R^2 C^2 + j\omega 3RC + 1} \quad \text{Frequenzgang} \quad (16)$$

Für die Verstärkung des frequenzbestimmenden Netzwerkes gilt somit:

$$K_r = \frac{\omega RC}{\sqrt{(1 - \omega^2 R^2 C^2)^2 + \omega^2 9 R^2 C^2}} \quad (17)$$

Für die Ermittlung der Oszillatofrequnez wird wie im Kap. 3.2.2 vorgegangen:

$$\text{Im}\{G_k(j\omega)\} = 0$$

$$\frac{\omega RC \cdot (1 - \omega^2 R^2 C^2)}{(1 - \omega^2 R^2 C^2)^2 + \omega^2 9 R^2 C^2} = 0 \quad (\omega = 0 \dots \text{hier nicht von Bedeutung})$$

$$\omega^2 R^2 C^2 = 1 \quad \Rightarrow$$

$$\underline{\omega_{osz} = \frac{1}{RC} \quad f_{osz} = \frac{\omega_{osz}}{2\pi}} \quad (18)$$

Durch Einsetzen in die Gleichung 17 erhält man folgende Verstärkung des Systemes bei ω_{osz} :

$$K_r = \frac{\frac{1}{RC} RC}{\sqrt{\left(1 - \frac{1}{R^2 C^2} R^2 C^2\right)^2 + \frac{1}{RC} 9 RC}} = \frac{1}{\sqrt{9}} \Rightarrow$$

$$\underline{K_r \Big|_{\omega=\omega_{osz}} = K_{r,osz} = \frac{1}{3}} \quad (19)$$

Für den Phasenwinkel bei der Oszillatofrequenz gilt:

$$\underline{\varphi_k \Big|_{\omega=\omega_{osz}} = \varphi_{k,osz} = 0^\circ} \quad (20)$$

Im Anschluss darauf folgt die Dimensionierung der Bauteilwerte. Wie schon im vorherigen Abschnitt wurde keine f_{osz} angestrebt, sondern wieder nur Widerstände und Kondensatoren gewählt, welche sich nur geringfügig unterschieden.

Die Wahl viel nun auf folgende Bauteile, wobei mit dem Komponententester P2 und dem Ohmmeter P1 die Bauteilgrößen gemessen wurden:

Bauteil	Einheit	Angabe	Messung
C_{Oben}	nF	100	102,7
C_{Unten}	nF	100	101,98
R_{Oben}	Ω	1 000	999
R_{Unten}	Ω	1 000	998

Tabelle 6: Bauteilwahl der frequenzbestimmenden Schaltung

Nun kann die zu erwartende Frequenz des Oszillators mit Hilfe der Formel 18 berechnet werden und schließlich folgende Eckdatentabelle angefertigt werden:

C [nF]	R [Ω]	$K_{\text{r,osz}}$ [—]	$\varphi_{\text{k,osz}}$ [°]	f_{osz} [Hz]
100	1 000	$\frac{1}{3}$	0	1591,55

Tabelle 7: Eckdatentabelle der frequenzbestimmenden Schaltung

4.2.3 Aufbau, Inbetriebnahme & Messungen

Nach dem Aufbau der Schaltung 9 wurde am Frequenzgenerator eine Spannung von $\hat{u}_a \approx 10 V$ eingestellt. Nun wurde mit Hilfe des Frequenzgenerators die Frequenz so eingestellt, dass sich im x/y-Betrieb (x-Achse: CH1, y-Achse: CH2) am Oszilloskope eine Gerade (von rechts oben nach links unten $\Rightarrow \varphi = 0^\circ$) einstellt. Dies ergab dann folgende Oszilloskopaufnahmen:

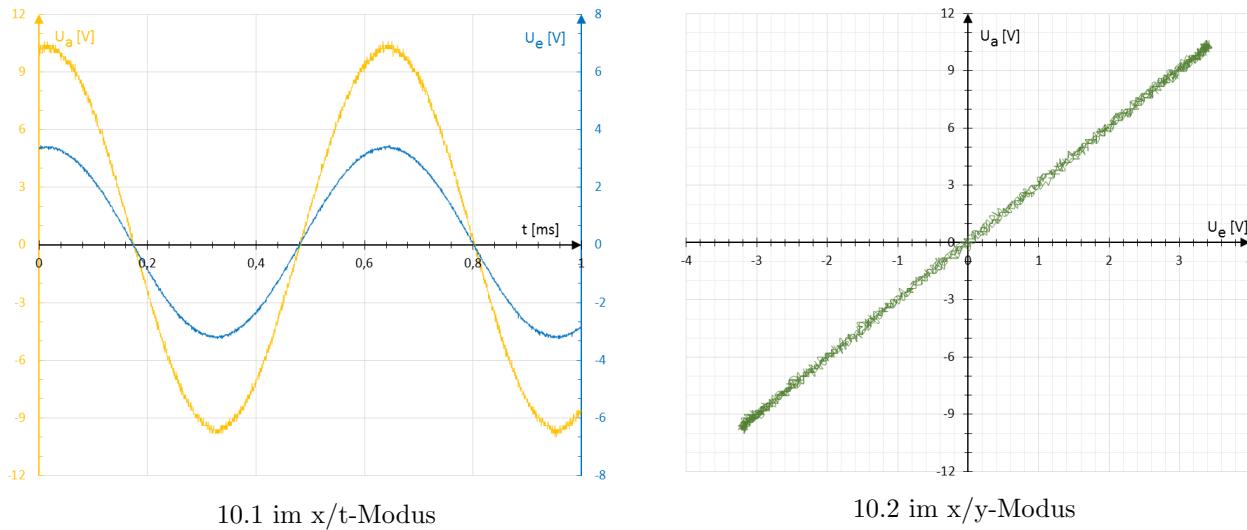


Abbildung 10: Oszilloskopaufnahmen der frequenzbestimmenden Schaltung bei f_{osz}

Nun wurden die Spitzenspitzenwerte der einzelnen Schwingungen mit Hilfe des Oszilloskopes erfasst daraus wurde mit der Formel 17 die Verstärkung der frequenzbestimmenden Schaltung $K_{r,osz}$ und mit 1 die notwendige Verstärkung des Kompensationsnetzwerkes $V_{u,osz}$, damit die Amplitudenbedingung erfüllt ist, berechnet. Auch die Phasenverschiebung, welches das zu entwerfende System haben muss, damit die Phasenbedingung erfüllt ist, konnte mit der Formel 2 ermittelt werden.

f_{osz} [Hz]	$U_{a,ss}$ [V]	$U_{e,ss}$ [V]	$K_{r,osz}$ [—]	$\varphi_{k,osz}$ [°]	$V_{u,osz}$ [—]	$\varphi_{v,osz}$ [°]
1593	20,6	6,72	0,3262	0	3,065	0

Tabelle 8: Messtabelle bezüglich der Wien-Brücke

Die angegebenen Werte beziehen sich hier auf die zu erwartenden Eigenschaften des fertigen Oszillators.

4.3 Kompensationsnetzwerk mit Amplitudenbegrenzung

4.3.1 Schaltungsentwurf

Das Kompensationsnetzwerk muss also eine Phasenverschiebung von 0° aufweisen, sowie eine Verstärkung von ≈ 3 . \Rightarrow nicht-invertierende Verstärkerschaltung:

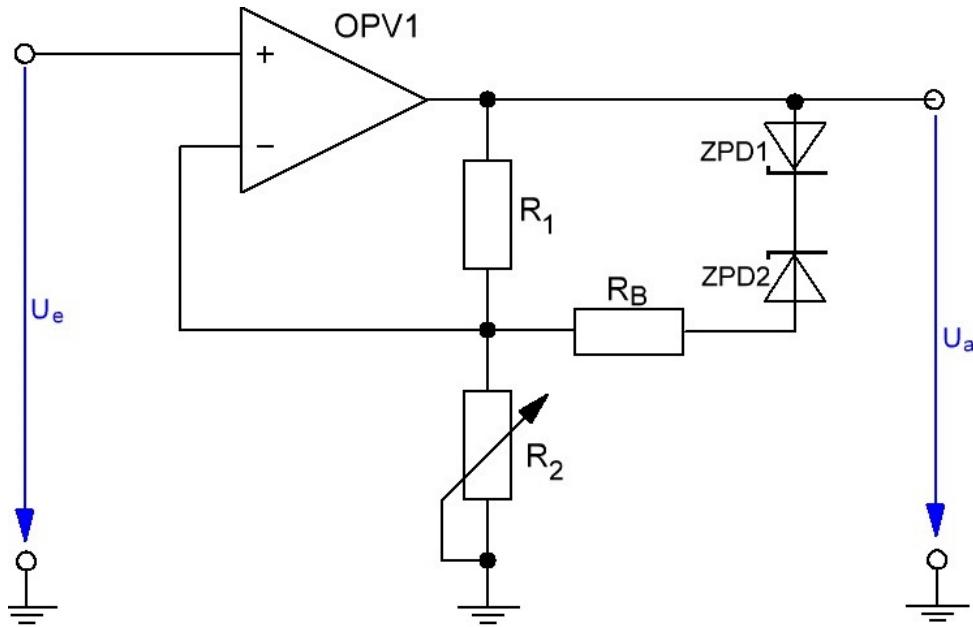


Abbildung 11: Kompensationsnetzwerk mit Amplitudebegrenzung

4.3.2 Berechnungen, Herleitungen & Dimensionierung

Ohne Berücksichtigung der Begrenzung gilt:

$$G_v(j\omega) = 1 + \frac{R_1}{R_2} \quad \text{Frequenzgang} \quad (21)$$

Für die Verstärkung ($|G_v(j\omega)|$) und die Phasendrehung gilt laut der Abb. 11:

$$V_u = 1 + \frac{R_1}{R_2} \quad (22)$$

$$\varphi_v = 0^\circ \quad (23)$$

Nun soll bei der Oszillatortfrequenz f_{osz} folgendes gelten:

$$V_{u,\text{osz}} = V_u = \frac{1}{K_{r,\text{osz}}} = \frac{1}{0,3262} = 3,065$$

$$\varphi_{v,\text{osz}} = \varphi_v = 0^\circ - \varphi_k = 0^\circ$$

Damit lassen sich die noch unbekannte Widerstände R_1 und R_2 berechnen. Für R_1 wird dabei ein $100\text{ k}\Omega$ -Widerstand verwendet.

$$R_2 = \frac{R_1}{V_u - 1} = \frac{100\,000\,\Omega}{3,065 - 1} = 48,4\text{ k}\Omega$$

Für R_2 wurde nun ein $47\text{ k}\Omega$ -Potentiometer und in Serie ein $10\text{ k}\Omega$ -Widerstand verwendet, um ein Anschwingen der Schaltung mit einer etwas höheren Verstärkung des Kompensationsnetzwerkes zu ermöglichen.

Um so größer der Widerstand R_B gewählt wird, desto weniger wirkt dieser bezüglich der Begrenzung, jedoch darf er auch nicht zu klein sein, da er ja als Schutz für die Z-Dioden dient und somit wurde ein $R_B = 1\text{ k}\Omega$ gewählt.

4.4 Der fertige Sinus-Oszillator

4.4.1 Schaltungsentwurf

Zusammengefasst hat dieser Oszillatator nun folgende Form:

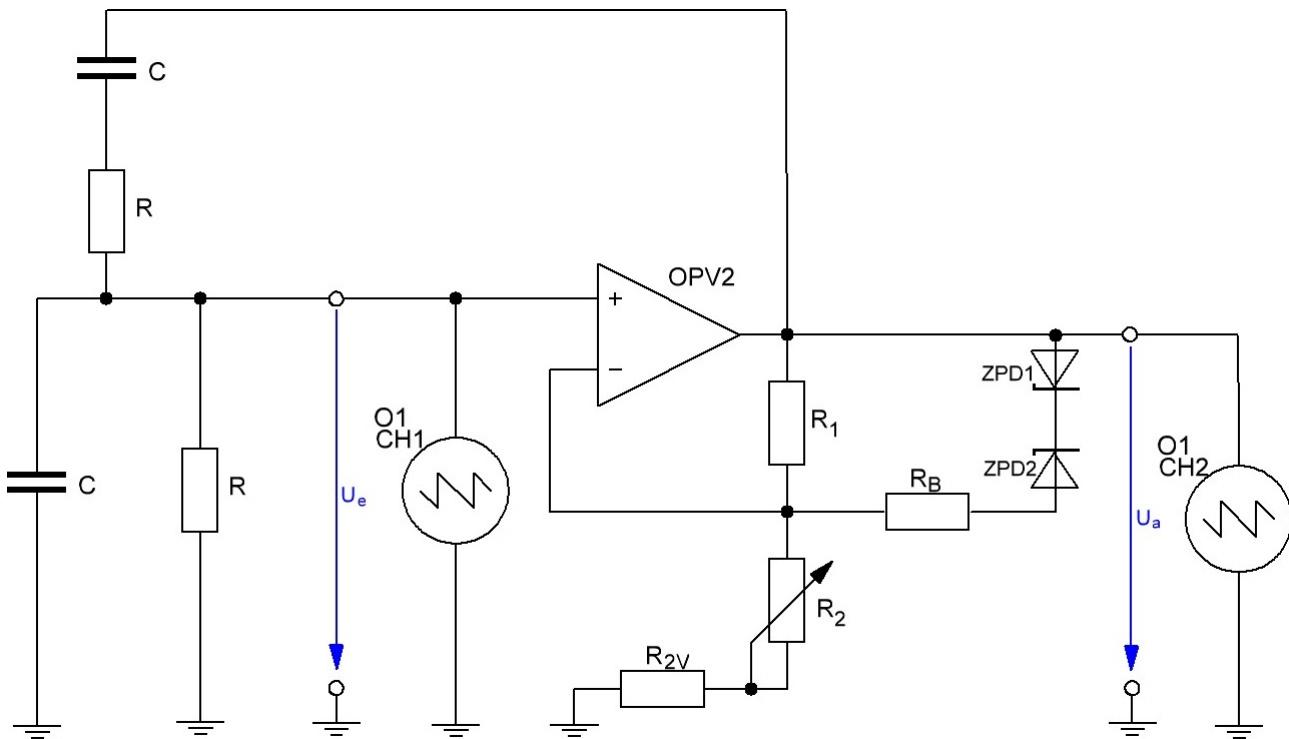


Abbildung 12: Schaltung des Sinus-Wien-Brücken-Oszillatoren mit Amplitudenbegrenzung

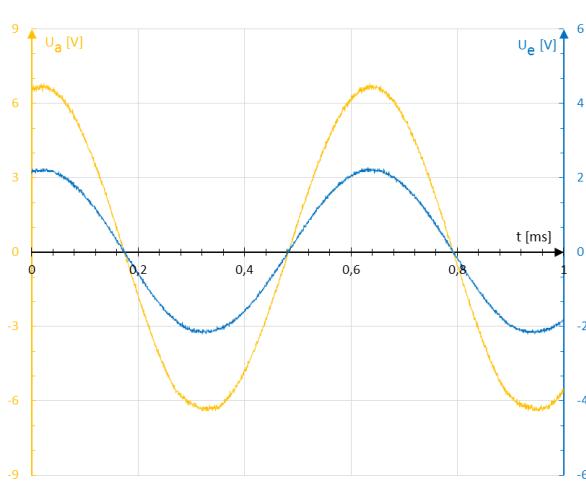
Der Widerstand R_{2V} dient dabei auch dazu, dass die Verstärkung nicht zu groß wird und die Amplitudenbegrenzung übernehmen die Z-Dioden.

4.4.2 Dimensionierung

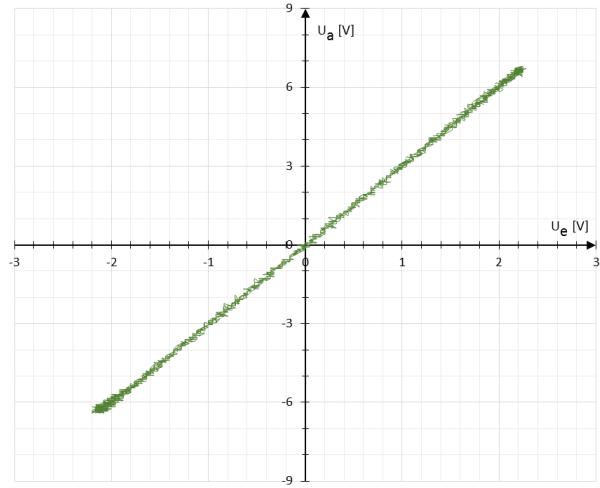
Bauteil	Beschreibung
R	$1 k\Omega$
C	$100 nF$
R_1	$100 k\Omega$
R_2	$47 k\Omega$ (gemessen: $48,7 k\Omega$) $0,5 W$ hps
R_{2V}	$10 k\Omega$
$ZPD1/2$	zB. $ZPD 6,2 V \ 64 mA$ hps 9114.15 & $1 k\Omega$
R_B	$1 k\Omega$

4.4.3 Aufbau, Inbetriebnahme & Messungen

Nach dem erfolgreichen Aufbau des Oszillators Abb. 12 konnten mit Hilfe des Oszilloskops die nachfolgenden Bilder aufgenommen werden. Um ein Schwingen zu erzeugen musste dabei die notwendige Verstärkung des Kompensationsnetzwerkes über $V_{u,osz}$ erhöht werden. Als der wirkende Widerstand $R_2 = 23,4\text{ k}\Omega$ betrug, war eine Schwingung vorhanden und ergab folgende Osziaufnahmen:



13.1 im x/t-Modus



13.2 im x/y-Modus

Abbildung 13: Oszilloskopaufnahmen vom Sinus-Wien-Brücken-Oszillatormit Amplitudenbegrenzung

Es wurden nun die Spitzenspitzenwerte der zwei Schwingungen bei der Potentiometerstellung von $R_2 = 23,4\text{ k}\Omega$, sprich da wo gerade eine Schwingung vorlag, und die Frequenz mit der das System schwingt gemessen:

f_{osz} [Hz]	$U_{a,ss}$ [V]	$U_{e,ss}$ [V]	$K_{r,osz}$ [—]	$\varphi_{k,osz}$ [°]	$V_{u,osz}$ [—]	$\varphi_{v,osz}$ [°]
1608	13,4	4,4	0,3284	0	3,05	0

Tabelle 9: Messtabelle des Sinus-Wien-Brücken-Oszillators mit Amplitudenbegrenzung

Es ergaben sich bei der Oszillatorm Frequenz kleine, aber noch tolerierbare Abweichungen zu den Rechenwerte und zur Messung im Kap. 4.2.3.

Nun folgt noch das Amplitudenspektrum des Ausgangssignales bei $R_2 = 23,4 \text{ k}\Omega$, hier lag gerade eine Schwingung vor, wodurch der Einfluss der Oberschwingungen auf die Schwingung, durch die Höhe der einzelnen Amplituden, erkennbar gemacht werden soll.

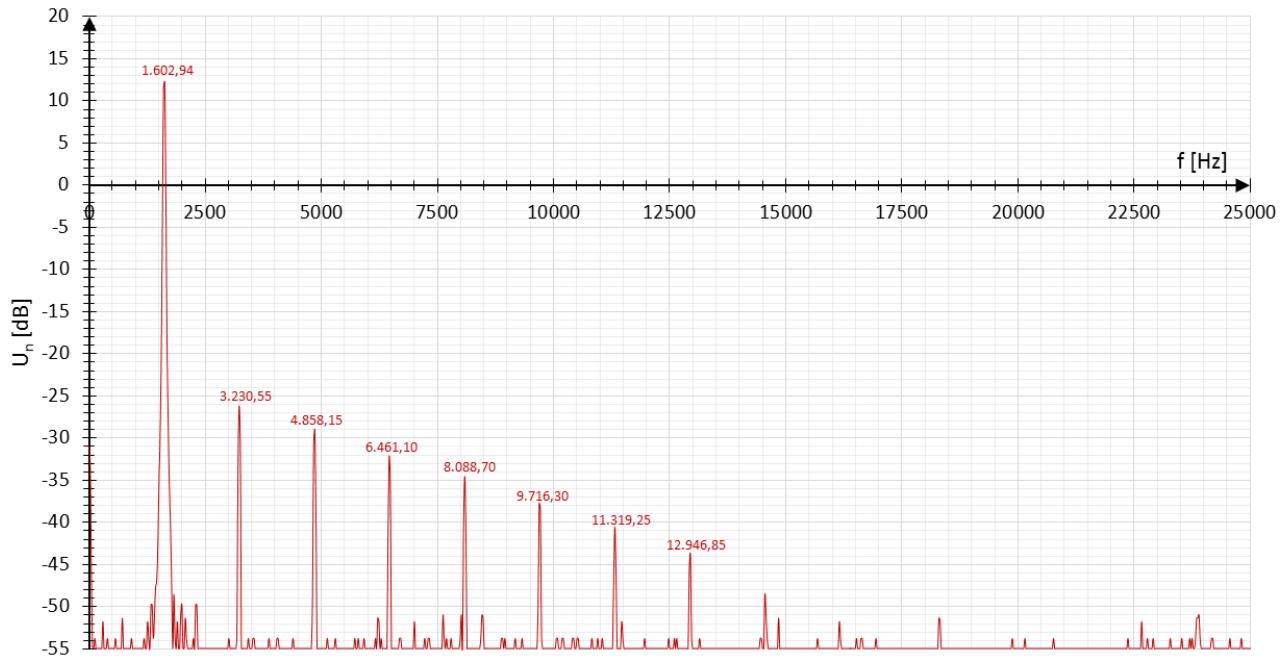


Abbildung 14: Oszilloskopaufnahmen des Amplitudenspektrums von U_a vom Sinus-Wien-Brücken-Oszillatormit Amplitudenbegrenzung

Durch die FFT erhielten wir die Amplitudenwerte der beteiligten Frequenzen, wobei die Samplerate 50 kS/s ($50\,000$ Abtastungen pro Sekunde) betrug und die Fensterfunktion war Hanning.

Es lassen sich deutlich die einzelnen Oberwellen in der Abb. 14 erkennen. Die einzelnen Frequenzen dieser sind wieder Vielfache ($2 - 8$ hervorgehoben) der Grundfrequenz.

4.5 Auswertung

Es zeigte sich, dass auch dieser Sinus-Oszillatormit einfach aufzubauen ist und eine Änderung der Frequenz mit der dieser Oszillatormit schwingt, kann durch Ändern beider Widerstandswerte/Kondensatorwerte (R/C) erreicht werden.

Der Vorteil gegenüber dem RC-Sinus-Phasenschieber-Oszillatormit ist die geringere Verstärkung die das Kompensationsnetzwerk aufweisen muss.

5 Rechteck-Dreieck-Generator mit Frequenz- & Offsetänderung

5.1 Aufgabenstellungen

Als Ziel wird sich ein Rechteck-Dreieck-Generator mit verstellbarer Frequenz im Bereich von $10 - 250\text{ Hz}$, sowie mit einstellbarer Offsetspannung von -10 V bis $+10\text{ V}$ gesetzt. Die Differenzspannung zwischen max. & min. Dreiecksspannung soll dabei konstant $+2,5\text{ V}$ betragen.

5.2 Schaltungsentwurf

Folgende Schaltung wurde mit den Kenntnissen aus dem Theorieunterricht für diesen Versuch entworfen:

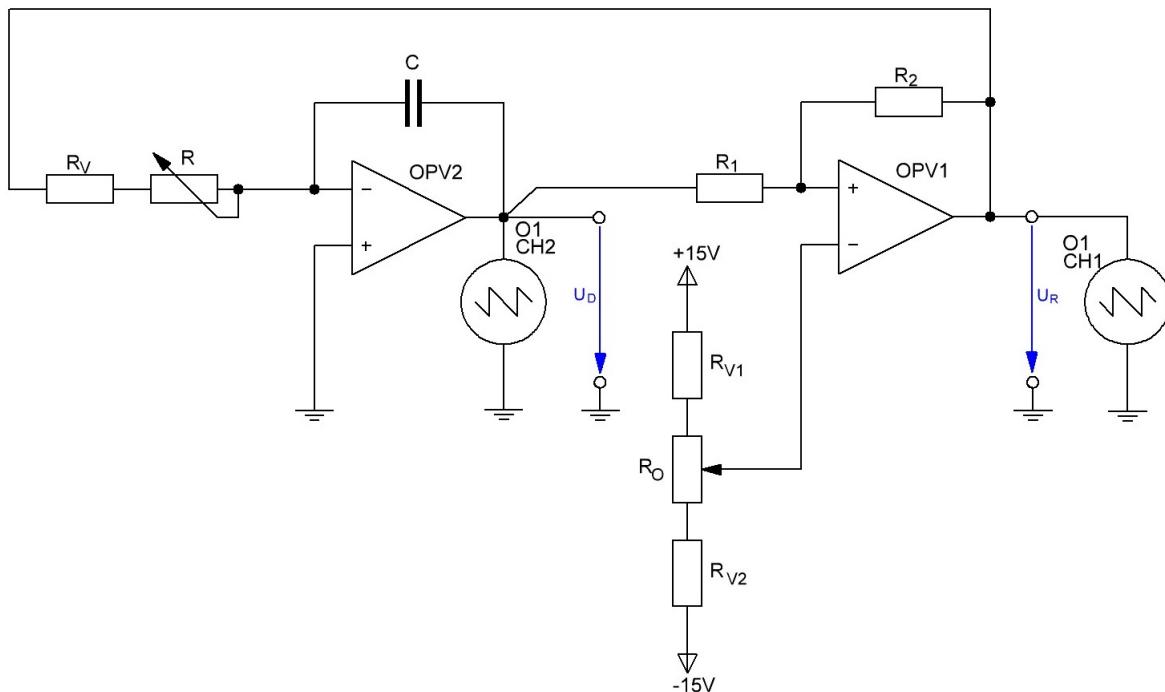
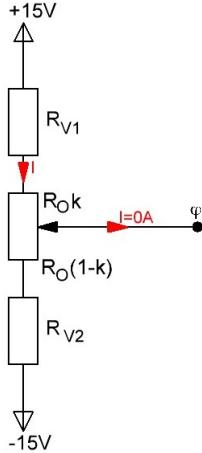


Abbildung 15: Rechteck-Dreieck-Generator mit Frequenz- & Offsetänderung

- $U_R \dots\dots\dots$ Rechteckspannung
- $U_D \dots\dots\dots$ Dreieckspannung
- $U_{D,\max} \dots\dots\dots$ maximale Dreicksspannung (pos. Schaltschwelle)
- $U_{D,\min} \dots\dots\dots$ minimale Dreicksspannung (neg. Schaltschwelle)
- $U_{\text{Off}} \dots\dots\dots$ Offsetspannung ($\hat{=} \varphi$)

5.3 Herleitungen, Berechnungen & Dimensionierung

Für die Berechnung wurde zuerst folgender „unbelasteter“ Spannungsteiler berechnet & dimensioniert:



$$\text{Es gilt: } I = \frac{15 V - \varphi}{R_{V1} + R_O \cdot k} = \frac{\varphi + 15}{R_{V1} + R_O \cdot (1 - k)} \Rightarrow \text{ mit } R_{V1} = R_{V2} \Rightarrow$$

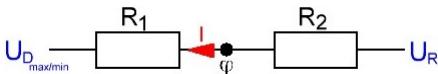
$$\varphi = \frac{15 V \cdot R_O (1 - 2k)}{2 R_{V1} + R_O} \quad (24)$$

Wenn nun eine Offsetspannung ($\hat{=} \varphi$) im Bereich von $-10 V$ bis $+10 V$ angestrebt wird und R_O mit $100 k\Omega$ gewählt wird, dann folgt für die Vorwiderstände, da k im Bereich von $0 - 1$ liegen kann:

$$R_{V2} = R_{V1} = R_O \cdot \frac{15 V \cdot (1 - 2k) - \varphi}{2 \varphi} = 25 k\Omega$$

Für die Berechnung der Schaltschwellen des Schmitt-Triggers kann folgendermaßen vorgegangen werden:

$$\text{Es gilt: } I = \frac{U_R - \varphi}{R_2} \Rightarrow$$



$$U_{D,\max/\min} = -\frac{R_1}{R_2} \cdot (U_R - \varphi) + \varphi \quad (25)$$

Dabei wird im Vorfeld angenommen, dass $U_R \approx +12 V / -12 V$ bei einer Versorgung der OPVs von $+15 V$, $-15 V$ & GND liegen wird.

Wird nun eine Differenz $U_{Diff} = U_{D,max} - U_{D,min}$ von $2,5 V$ angestrebt, so kann bei der Berechnung φ einmal weggelassen, da dies nur für Offset sorgt, und folgendermaßen vorgegangen werden:

$$\begin{aligned} U_{D,max} - U_{D,min} &= 2,5 V \\ \frac{R_1}{R_2} \cdot 12 V + \frac{R_1}{R_2} \cdot 12 V &= 2,5 V \end{aligned}$$

$$R_1 = R_2 \cdot \frac{2,5 V}{2 \cdot 12 V} \quad (26)$$

Gewählt wurden dann: $R_2 = 100 k\Omega \& \Rightarrow R_1 = 10 k\Omega \Rightarrow U_{Diff} = 2,4 V$

Für den Integrator kann bei konstanter Eingangsspannung U_R gesagt werden:

$$U_D = \pm \frac{1}{RC} \int_0^t U_e dt = \pm \frac{1}{RC} \cdot U_R \cdot t \quad \text{mit } k = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{2 \hat{u}}{\frac{T}{2}} \quad \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{4 \hat{u}}{T} = \frac{U_R}{RC}$$

$$T = 4 RC \cdot \frac{\hat{u}}{U_R} \Rightarrow$$

$$T = 4 RC \cdot \frac{R_1}{R_2} \quad f = \frac{1}{T} \quad (27)$$

Somit gilt für die zu erwartenden Frequenzen, wenn $C = 1 \mu F$ und $R_{\min} = R_V = 10 k\Omega / R_{\max} = R_V + R = 110 k\Omega$ gewählt wird:

$$f_{\min} = 22,73 \text{ Hz} \quad f_{\max} = 250 \text{ Hz}$$

Zusammenfassend:

Bauteil	Bauteilgröße	
R_O	[$k\Omega$]	100
R_{V1}	[$k\Omega$]	25
R_{V2}	[$k\Omega$]	25
R_1	[$k\Omega$]	10
R_2	[$k\Omega$]	100
R_V	[$k\Omega$]	10
R	[$k\Omega$]	100
C	[μF]	1

Tabelle 10: Dimensionierungstabelle des Rechteck-Dreieck-Generators mit Frequenz- & Offsetänderung

5.4 Aufbau, Inbetriebnahme & Messungen

Nach dem Aufbau und der Inbetriebnahme wurde eine Offsetspannung einmal weggelassen und die kleinste & größte mögliche Frequenz eingestellt bzw. gemessen, was folgende Oszilloskopaufnahmen lieferte:

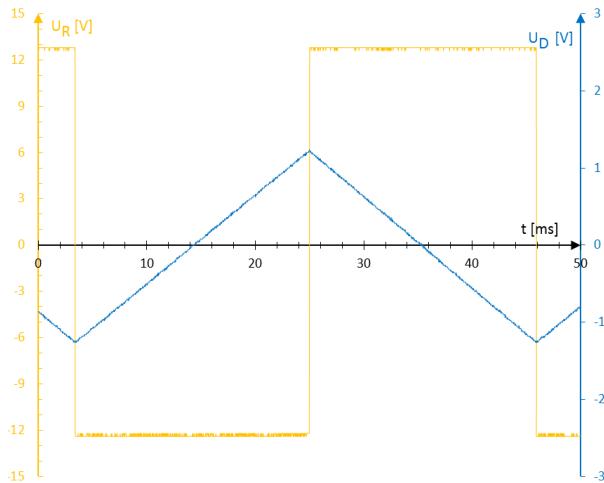
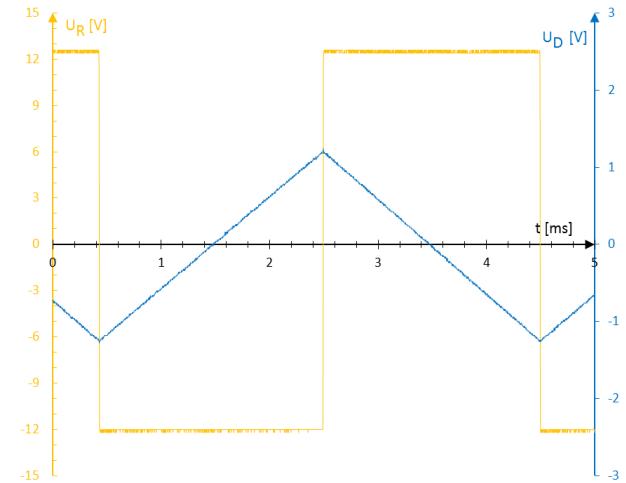
16.1 bei $R = 0$ 16.2 bei $R = 100 k\Omega$

Abbildung 16: Oszilloskopaufnahmen bezüglich der Frequenzverstellbarkeit

Es konnten dabei folgende Frequenzen gemessen werden:

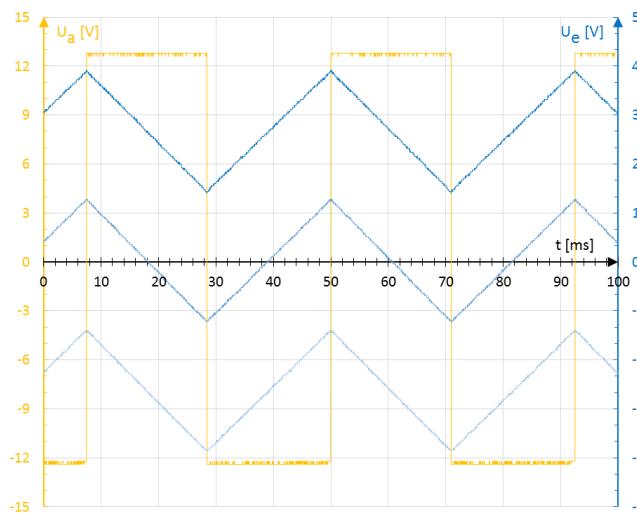
$$f_{\min} = 23,5 \text{ Hz} \quad f_{\max} = 245,9 \text{ Hz}$$

Die Abweichungen lassen sich im Wesentlichen auf div. Toleranzen der verwendeten Bauelementen zurückführen. Des Weiteren wurde je eine Differenzspannung von

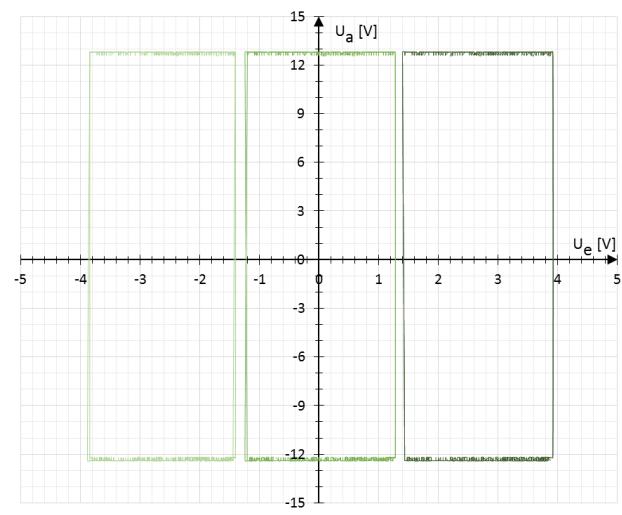
$$U_{\text{Diff}} = 2,5 \text{ V}$$

gemessen.

Nun konnte mit Hilfe des Potentiometers die Offsetspannung verstellt werden. Es wurde eine Offsetspannung von $\approx +2,5 \text{ V} / -2,5 \text{ V}$ eingestellt und eine Oszilloskopaufnahme davon gemacht:



17.1 im x/t-Betrieb



17.2 im x/y-Betrieb

Abbildung 17: Oszilloskopaufnahmen bezüglich der Offsetverstellbarkeit

In der Abbildung 17.2 ist deutlich erkennbar, wie sich eine Offsetspannung in der x/y-Darstellung auswirkt. Es tritt nämlich eine Verschiebung des Rechteckes nach rechts bzw. links auf.

5.5 Auswertung

Zusammenfassend lässt sich über den Rechteck-Dreieck-Generator sagen, dass er relativ einfach zu realisieren ist. Im nachfolgenden Kapitel wird ebenfalls ein solcher Generator untersucht, jedoch für einen anderen Zweck.

6 Rechteck-Dreieck-Generator zur Tastverhältnis-Modulation

6.1 Aufgabenstellungen

In diesem Versuch soll gezeigt werden, wie man mit dem Rechteck-Dreieck-Generator im Kap. 5 das Tastverhältnis des Rechtecks verändern kann.

Um das Tastverhältnis zu modulieren, wird am Summierpunkt vom Integrator ein Strom eingespeist und somit wird der Anstieg des Dreiecks, je nach Größe und Polarität des Modulationsstromes I_M , größer oder kleiner, was sich natürlich in der Symmetrie des Dreiecks bemerkbar macht. Da nun die Symmetrie des Dreiecks mit dem Tastverhältnis des Rechteckes zusammenhängt, wird auch die Breite des Rechteckes dementsprechend geändert.

Wird also am Eingang (Summierpunkt des Integrators) ein Modulationssignal mit relativ großer Periodendauer im Verhältnis zu der Periodendauer des Generators angelegt, so wird das Signal sozusagen in ein zugehöriges PWM-Signal umgewandelt und man kann mit Hilfe eines RC-Tiefpasses am Ausgang (des Schmitt-Triggers) das Modulationssignal wieder zurückgewinnen.

Die Aufgabe besteht nun darin einen solchen Rechteck-Dreieck-Generator zu dimensionieren und im Anschluss darauf Messungen durchzuführen, um dessen Funktion kennen zu lernen.

6.2 Schaltungsentwurf

Die Schaltung hat nun folgende Form:

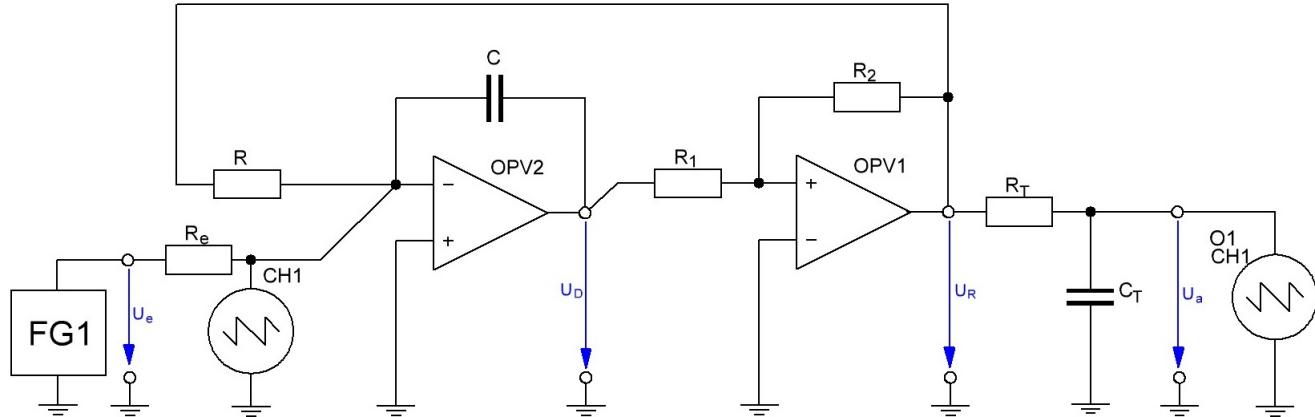


Abbildung 18: Rechteck-Dreieck-Generator zur Tastverhältnis-Modulation

$U_R \dots\dots\dots$ Rechteckspannung

$U_D \dots\dots\dots$ Dreieckspannung

$U_e \dots\dots\dots$ Eingangsspannung (Modulationssignal))

$U_a \dots\dots\dots$ Ausgangsspannung (Rückgewinnung des Modulationssignales)

6.3 Berechnungen & Dimensionierung

Für die einfache Berechnung einmal ohne dem Modulationssignal kann wie im Kapitel 5.3 vorgegangen werden. Versucht wurde nun eine Frequenz des Rechteck-Dreieck-Generators ohne Modulation zwischen $f \approx 2 \text{ kHz} - 2,5 \text{ kHz}$ zu erreichen, sowie eine Differenzspannung von $U_{\text{Diff}} \approx 10 \text{ V} - 12 \text{ V}$, was schließlich auf folgende Bauteilwahl und Berechnung aus den Messwerten, der Frequenz des Generators, sowie Differenzspannung zwischen min. & max. Amplitude des Dreiecksignales bei Annahme einer Spannung $U_R \approx +12 \text{ V} / -12 \text{ V}$, führte:

Bauteil	Bauteilgröße	
R_1	[$k\Omega$]	4,7 (gemessen: 4,89)
R_2	[$k\Omega$]	10
R	[$k\Omega$]	4,7 (gemessen: 4,82)
C	[nF]	50 (gemessen: 52,8)
R_e	[$k\Omega$]	10
R_T	[$k\Omega$]	100
C_T	[nF]	50 (gemessen: 47,9)

$\Rightarrow f = 2009 \text{ Hz}, U_{\text{Diff}} = 11,74 \text{ V}$

Tabelle 11: Dimensionierungstabelle des Rechteck-Dreieck-Generators zur Tastverhältnis-Modulation

6.4 Aufbau, Inbetriebnahme & Messungen

Nun einmal ein Bild bezüglich des Aufbaues:

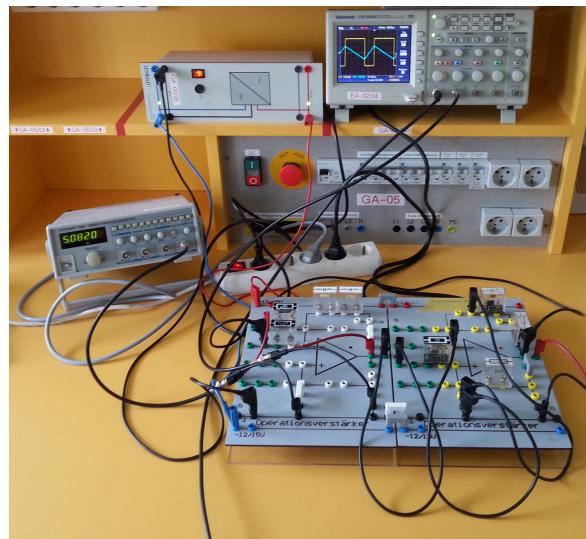
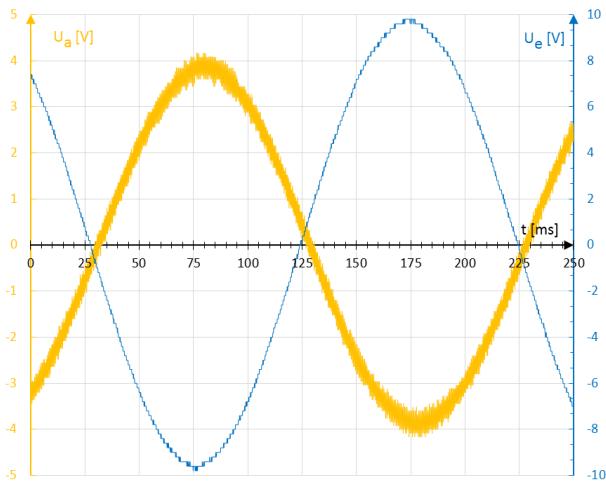
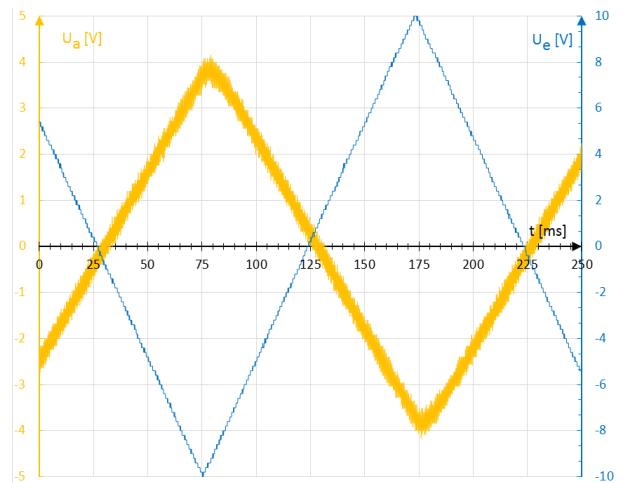


Abbildung 19: Aufbau eines Rechteck-Dreieck-Generators zur Tastverhältnis-Modulation

Nach dem Aufbau wurde als Modulationssignal ein Sinus und Dreieck verwendet mit einer Frequenz von 5 Hz und einer Amplitude von $\hat{u}_e \approx 10 \text{ V}$. Somit konnte am Oszi O1 folgendes zur Anzeige gebracht werden:



20.1 Modulationssignal: Sinus



20.2 Modulationssignal: Dreieck

Abbildung 20: Oszilloskopaufnahmen bezüglich der Tastverhältnis-Modulation

Des Weiteren wurde auch das Rechteck- und Dreiecksignal mit dem Oszi O1 zur Anzeige gebracht, jedoch wegen der schnellen Änderung der Breite des Rechteckes, konnte kein vernünftiges Oszilloskopbild angefertigt werden. Die Frequenz des Rechtecksignals/Dreiecksignals betrug:

$$f \approx 2046 \text{ Hz}$$

Die Differenzspannung zwischen min. & max. Amplitude des Dreieckes am Ausgang des OPV1 konnte ebenfalls mit

$$U_{\text{Diff}} = 11,82 \text{ V}$$

gemessen werden.

6.5 Auswertung

Wir stellten durch diesen Versuch fest, dass es mit Hilfe dieses Rechteck-Dreieck-Generators möglich ist ein PWM-Signal eines Eingangssignales zu erzeugen. Es sollte dabei aber die Frequenz des Rechteck-Dreieck-Generators ohne Modulationssignal nicht zu klein sein, da sich sonst die Periodendauer des Rechteckes zu stark mitverändert, wenn ein Signal am Summierpunkt eingespeist wird.