

Versuchsprotokoll

Modulation und Demodulation elektrischer Schwingungen

Versuch 59

Jennifer Bolle

jennifer.bolle@tu-dortmund.de

Kevin Moch

kevin.moch@udo.edu

18. Mai 2015

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Theorie	1
2.1 Amplitudenmodulation	1
2.2 Frequenzmodulation	2
2.3 Schaltungen zur Modulation	3
2.3.1 Amplitudenmodulation	3
2.3.2 Frequenzmodulation	3
2.4 Schaltungen zur Demodulation	4
2.4.1 Amplitudenmodulation	4
2.4.2 Frequenzmodulation	4
3 Durchführung und Aufbau	6
4 Auswertung	6
4.1 Amplitudenmodulation mit Ringmodulator	6
4.2 Amplitudendemodulation mit Ringmodulator	8
4.3 Amplitudendemodulation mit Diode	10
4.4 Amplitudenmodulaton mit Diode	11
4.5 Frequenzmodulation	14
4.6 Frequenzdemodulation	17
5 Diskussion	18
Literatur	19

1 Einleitung

Zur Informationsübertragung mittels elektromagnetischer Wellen bedarf es hochfrequenter Trägerwellen. Die Veränderung des Trägersignals durch das Informationssignal wird Modulation genannt. Um die Informationen zurückzugewinnen wird die Demodulation benutzt. In der Hochfrequenztechnik gibt es eine Reihe von Modulationsverfahren. Diese unterscheiden sich in Störsicherheit, Wirkungsgrad, Verzerrungsfreiheit und Breite der Frequenz. Grob lassen sich die Modulationsverfahren in Amplitudenmodulation und Phasenmodulation einteilen. In diesem Versuch sollen zwei Methoden zur Amplitudenmodulation und eines zur Frequenzmodulation, sowie zwei Verfahren zur Amplitudendemodulation und eines zur Frequenzdemodulation untersucht werden.

2 Theorie

2.1 Amplitudenmodulation

Die Amplitudenmodulation in ihrer einfachsten Form wird durch eine hochfrequente Trägerwelle $U_T(t)$ dargestellt, deren Amplitude durch den Rhythmus eines niederfrequenten Modulationssignals $U_M(t)$ verändert wird. Für die Trägerschwingung und das Modulationssignal gilt:

$$U_T(t) = U_T \cos \omega_T t \quad (1)$$

$$U_M(t) = U_M \cos \omega_M t \quad (2)$$

Hierbei sind ω_T und ω_M die entsprechenden Kreisfrequenzen und U_T , U_M die Amplituden. Für die amplitudenmodulierte Schwingung gilt dementsprechend:

$$U(t) = U_T(1 + m \cos \omega_M t) \cdot \cos \omega_T t \quad (3)$$

Die Größe m ist der Modulationsgrad und ist definiert über:

$$m = \gamma U_M \quad (4)$$

Der Modulationsgrad kann nur zwischen 0 und 1 liegen. Die Amplitude der modulierten Schwingung schwanken deshalb von $U_T(1 - m)$ und $U_T(1 + m)$. Unter Verwendung trigonometrischer Beziehungen lässt sich der Ausdruck (3) so umformen, dass deutlich wird wie diese modulierte Welle im Frequenzraum aussieht:

$$U(t) = U_T \left[\cos(\omega_T t) + \frac{\gamma U_M}{2} \cos((\omega_T + \omega_M)t) + \frac{\gamma U_M}{2} \cos((\omega_T - \omega_M)t) \right] \quad (5)$$

Es existieren drei Peaks im Frequenzspektrum, bei ω_T und bei $\omega_T \pm \omega_M$. Die komplette Information steckt in einem Seitenband. Die Realisierung dieser Modulationstechnik bezeichnet man als Einseitenbandmodulation.

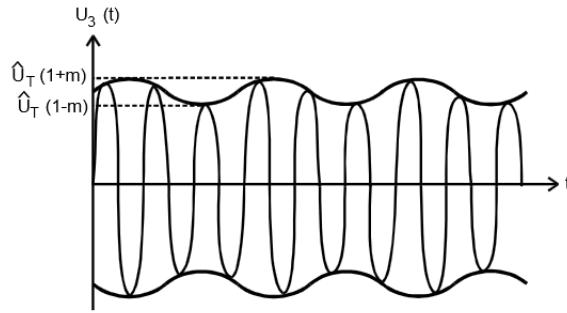


Abbildung 1: Amplitudenmodulierte Schwingung

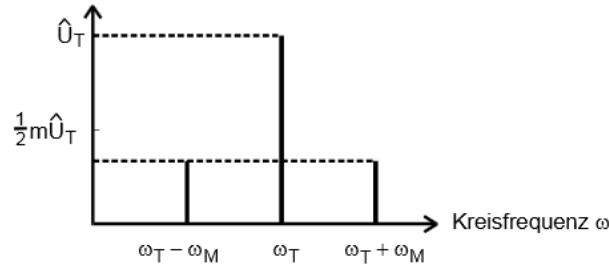


Abbildung 2: Frequenzspektrum einer modulierten Schwingung

2.2 Frequenzmodulation

Bei der Frequenzmodulation wird die Frequenz der Trägerwelle leicht moduliert, hierbei trägt die Modulation die Information. Die frequenzmodulierte Schwingung lässt sich darstellen als:

$$U(t) = U \sin \left(\omega_T t + m \frac{\omega_T}{\omega_M} \cos(\omega_M t) \right) \quad (6)$$

Die Momentanfrequenz hat die Form:

$$f(t) = \frac{\omega_T}{2\pi} (1 - m \sin \omega_M t) \quad (7)$$

Mit einer Reihenentwicklung und trigonometrischer Beziehungen lässt sich Gleichung (6)

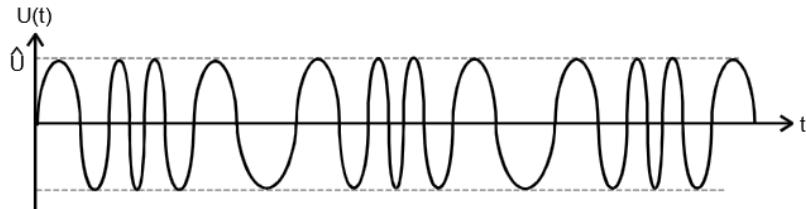


Abbildung 3: Beispiel eines frequenzmodulierten Signals

umformen zu:

$$U(t) = U \left[\sin(\omega_T t) + \frac{m\omega_T}{2\omega_M} \cos((\omega_T + \omega_M)t) + \frac{m\omega_T}{2\omega_M} \cos((\omega_T - \omega_M)t) \right] \quad (8)$$

Hierbei sind die Seitenlinien um $\pi/2$ um die Trägerschwingung verschoben.

2.3 Schaltungen zur Modulation

2.3.1 Amplitudenmodulation

Prinzipiell kann eine Schaltung zu Amplitudenmodulation verwendet werden, die aus einer Träger-Spannung und Modulations-Spannung in Reihe mit einem Bauelement mit nicht-linearer Kennlinie besteht. Dies führt zu Mischtermen zwischen den beiden Spannungen, d.h. es entsteht eine Proportionalität zum Produkt der beiden Spannungen, was einer Modulation entspricht. Diese Schaltung ist jedoch nicht effizient, da eine große Anzahl

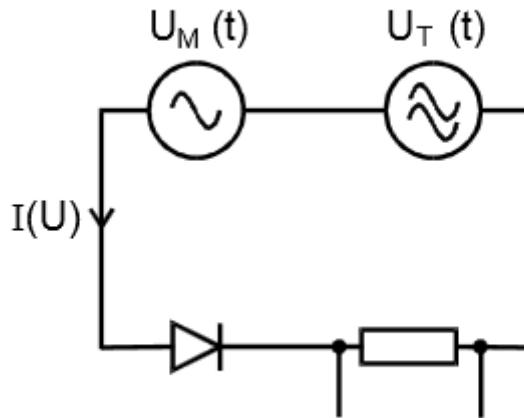


Abbildung 4: Primitive Amplitudenmodulation

von anderen Frequenzen entsteht. Eine effizientere Lösung stellt der Ringmodulator dar. Bei einem Ringmodulator wird die Trägerfrequenz unterdrückt. Eine solche Schaltung lässt sich so kalibrieren, dass die resultierende Spannung U_R proportional zum Produkt der beiden Spannungen U_L und U_M ist.

2.3.2 Frequenzmodulation

Zur Frequenzmodulation wird erneut der Ringmodulator benutzt. Hierbei wird zum Ausgang R eine um 90° -phasenverschobene, unmodulierte Trägerspannung addiert.

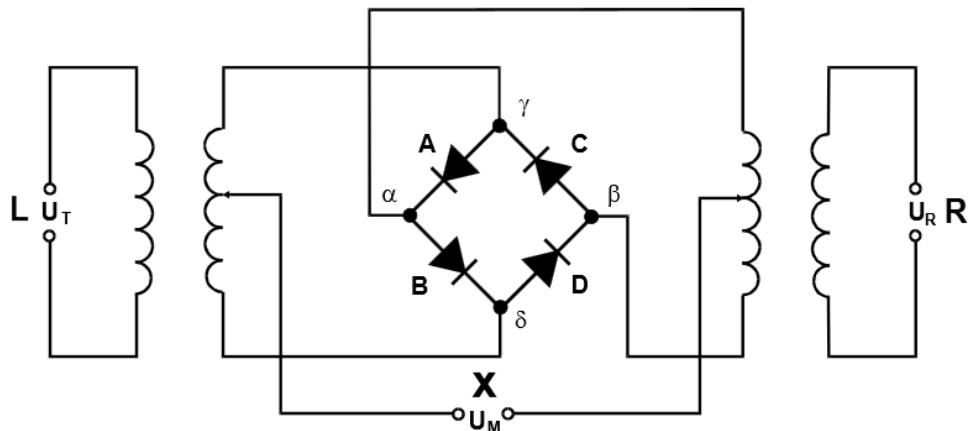


Abbildung 5: Schaltbild eines Ringmodulators

2.4 Schaltungen zur Demodulation

2.4.1 Amplitudenmodulation

Zur Demodulation eines amplitudenmodulierten Signals kann wiederum eine Ringmodulator-Schaltung verwendet werden. Die Schaltung wird ähnlich wie in Abbildung (5) aufgebaut. Das demodulierte Signal wird an der Stelle U_M abgegriffen. Hierbei ist es wichtig, dass die Phasenbeziehung zwischen den beiden Trägerwellen erhalten bleibt. Hierzu wird ein Phasenregelkreis nachgeschaltet, welcher auftretende negative Halbwellen abschneidet. Das resultierende Signal ist gleichgerichtet. Mit einem Tiefpass wird das Modulationssignal gewonnen.

2.4.2 Frequenzmodulation

Ein frequenzmoduliertes Signal wird demoduliert, indem zunächst die Frequenzmodulation in eine entsprechende Amplitudenmodulation überführt wird. Hierzu wird ein Flankenmodulator verwendet. Bei dem Flankenmodulator wird die Resonanzfrequenz des Schwingkreises so eingestellt, dass die Trägerfrequenz in der steilen Flanke der Resonanzkurve des LC-Schwingkreises liegt. Somit werden die Frequenzen mit unterschiedlicher Amplitude verstärkt. Damit ist das Signal in ein amplitudenmoduliertes Signal überführt.

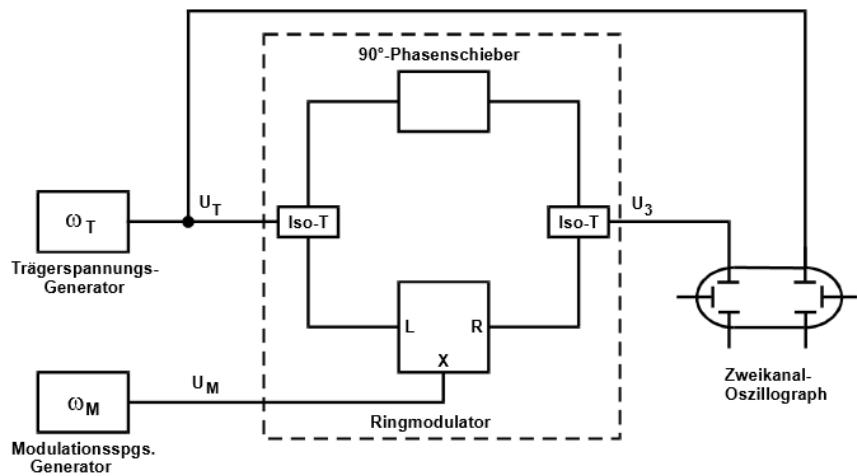


Abbildung 6: Schaltbild einer Frequenzmodulation mit Ringmodulator

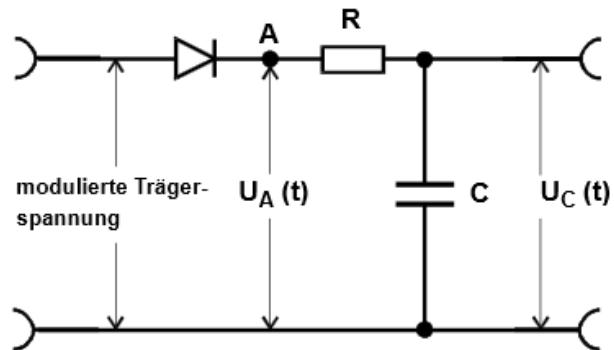


Abbildung 7: Phasenregelkreis

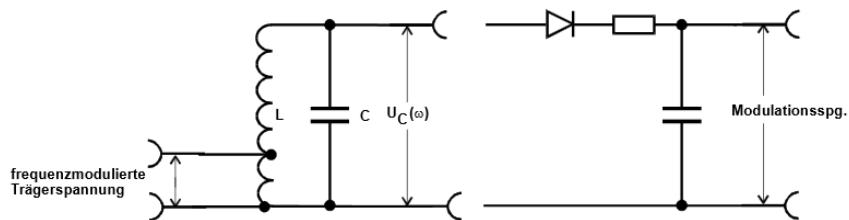


Abbildung 8: Flankenmodulator

3 Durchführung und Aufbau

In dem Versuch sollen hochfrequente Schwingungen moduliert und auch demoduliert werden, wobei hier sowohl Amplitudenmodulation als auch Frequenzmodulation genutzt werden.

- Es wird ein amplitudenmoduliertes Signal mittels eines Ringmodulators erzeugt und mit Hilfe eines Oszilloskops abgebildet.
- Dieses Signal wird mit Hilfe eines Frequenz-Analysators untersucht.
- Schließlich wird dieses Signal wieder mit der Ringmodulator-Methode demoduliert und auf dem Oszilloskop abgebildet, und mit dem ursprünglichen Modulationssignal verglichen.
- Die Amplitudenmodulation wird mit Hilfe einer Diode durchgeführt.

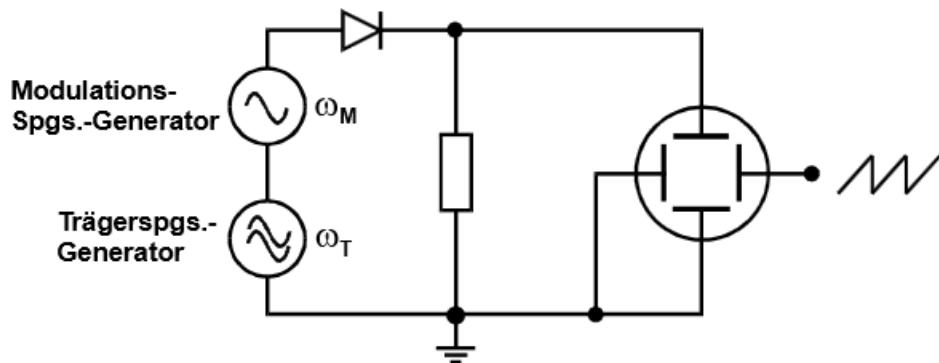


Abbildung 9: Amplitudenmodulation mit einer Diode

- Es wird die Proportionalität der Gleichspannung zur Phase zwischen den beiden Eingängen des Ringmodulators geprüft
- Es wird ein frequenzmoduliertes Signal erzeugt und mit Hilfe eines Oszilloskops betrachtet
- Das frequenzmodulierte Signal wird demoduliert und mit der Modulationsspannung verglichen.

4 Auswertung

4.1 Amplitudenmodulation mit Ringmodulator

Mit Hilfe eines Ringmodulators wird ein amplitudenmoduliertes Signal mit Trägerunterdrückung erzeugt. Die Frequenzen f und Amplitudenspannungen U von Träger- und Modulationssignal lauten hierbei:

- Träger: $f_T = 5 \text{ MHz}$, $U_T = 2,5 \text{ V}$
- Modulation: $f_M = 130 \text{ kHz}$, $U_M = 0,5 \text{ V}$

Das Ergebnis dieser Amplitudenmodulation ist in Abb. 10 zu sehen. Eine Aufnahme des

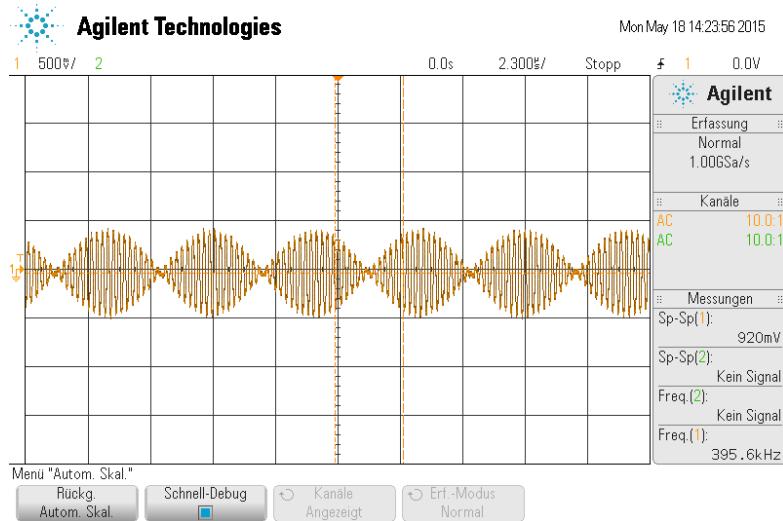


Abbildung 10: Oszilloskopaufnahme des amplitudenmodulierten Signals mittels Ringmodulator. Die Schwebung zeigt Aufgrund des unterdrückten Trägers Nulldurchgänge.

Frequenzspektrums dieses amplitudenmodulierten Signals ist in Abb. 11 wiedergegeben. Das Frequenzspektrum wurde mit Hilfe eines Frequenzanalysators aufgenommen. Aus dem Frequenzspektrum ist zu erkennen, dass der Träger bei 5 MHz ein um eine Dekade geringeren Anteil als die Seitenbänder besitzt.

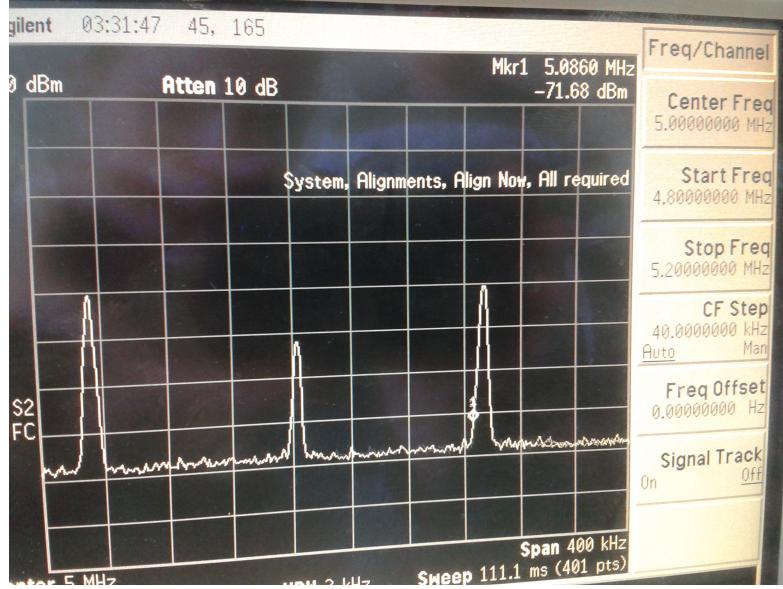


Abbildung 11: Frequenzspektrum des amplitudinemodulierten Signals mittels Ringmodulator. Die Trägerfrequenz ist um eine Dekade unterdrückt.

4.2 Amplitudendemodulation mit Ringmodulator

In diesem Versuchsteil wird zunächst einmal überprüft, ob die Gleichspannung U_{ph} am Ausgang eines phasenempfindlichen Gleichrichters der Relation (9) folgt, wobei ϕ die Phasendifferenz zwischen den beiden Eingangssignalen bezeichnet.

$$U_{\text{ph}}(\phi) = A \cos(\phi + B) \quad (9)$$

In Tabelle 1 sind die zu diesem Versuchsteil aufgenommenen Messwerte einzusehen. Dabei werden die Phasendifferenzen ϕ aus den an der Verzögerungsleitung eingestellten Zeitverzögerungen t mit Formel (10) berechnet. Um mit der begrenzt einstellbaren Verzögerung t den größtmöglichen Phasenverschiebungsbereich abzudecken, wird die Trägerfrequenz auf 12,3 MHz eingestellt, was der maximalen Frequenz des Generators entspricht.

$$\phi = 2\pi ft \quad (10)$$

Ein Plot der Messwerte, zusammen mit einem Fit¹ mit der Funktion aus Gl. (9), ist in Abb. 12 zu sehen. Der Fit liefert folgende optimale Kosinuskurve durch die Messwerte:

$$U_{\text{ph,fit}} = (26,7 \pm 1,0) \text{ mV} \cos(\phi - (0,44 \pm 0,04)) \quad (11)$$

¹Zum Fitten der Messwerte wird die Funktion `optimize.curve_fit` aus der Bibliothek `scipy` in python verwendet

t/ns	ϕ	U_{ph}/mV	t/ns	ϕ	U_{ph}/mV
0	0	28,3	55	4,25	-21,1
5	0,39	30,5	60	4,64	-5,2
10	0,77	27,2	65	5,02	-2,2
15	1,16	21,1	70	5,41	3,8
20	1,55	13,7	75	5,80	12,7
25	1,93	5,7	80	6,18	21,0
30	2,32	-4,6	85	6,57	25,5
35	2,71	-16,9	90	6,96	21,8
40	3,09	-26,9	95	7,34	16,8
45	3,48	-30,6	100	7,73	12,8
50	3,86	-26,7	105	8,11	5,8

Tabelle 1: Aufgenommene Spannungen am Ausgang des Gleichrichters in Abhängigkeit der Phasenverschiebung der Eingangssignale. Es ist eine Kosinusabhängigkeit zu erwarten.

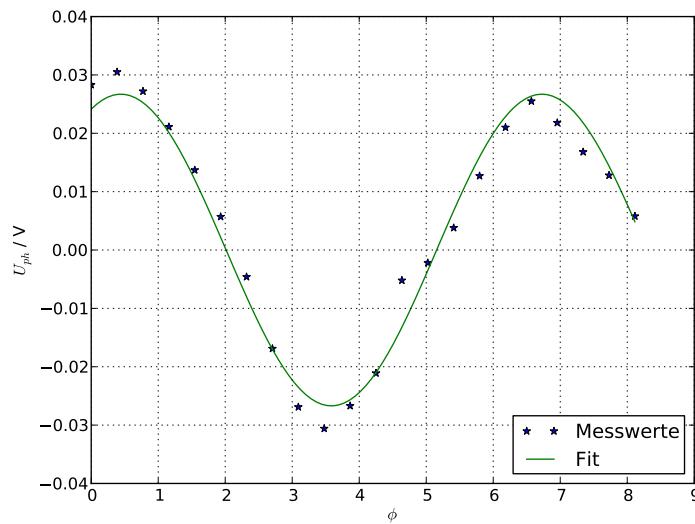


Abbildung 12: Messwerte und Fit durch diese mit einer Kosinusfunktion. Es ist eine Abweichung vom Kosinusverlauf festzustellen.

Nun wird das im vorherigen Unterkapitel amplitudenmodulierte Signals mittels eines weiteren Ringmodulators wieder demoduliert. Das Ergebnis dieser Demodulation ist in der Oszilloskopaufnahme in Abbildung 13 zu sehen.

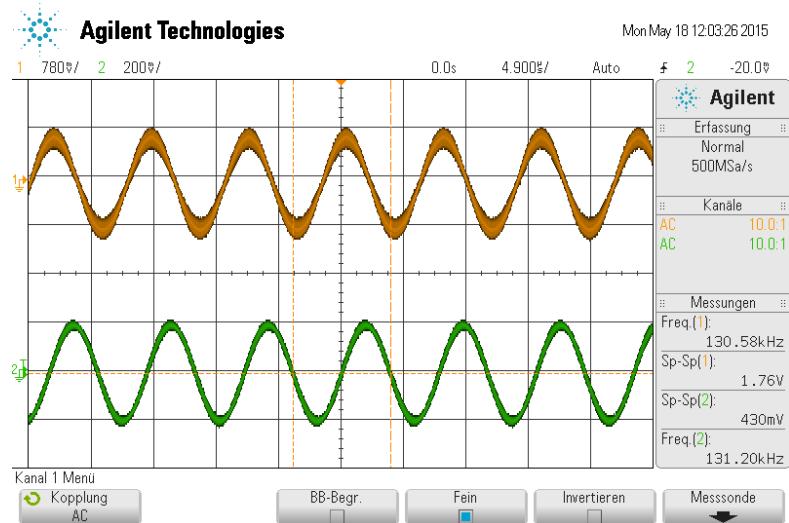


Abbildung 13: Das obere Signal ist das Modulationssignal. Das untere Signal entsteht am Ausgang des zweiten Ringmodulators, welcher das zuvor amplitudenmodulierte Signal demoduliert hat. Die Amplitudenspannung des zweiten Signals ist geringer.

4.3 Amplitudendemodulation mit Diode

Als nächstes wird das im ersten Unterkapitel der Auswertung amplitudenmodulierte Signal mit einer Gleichrichterdiodenschaltung demoduliert. Das Ergebnis dieser Demodulation ist in Bild 14 zu sehen.

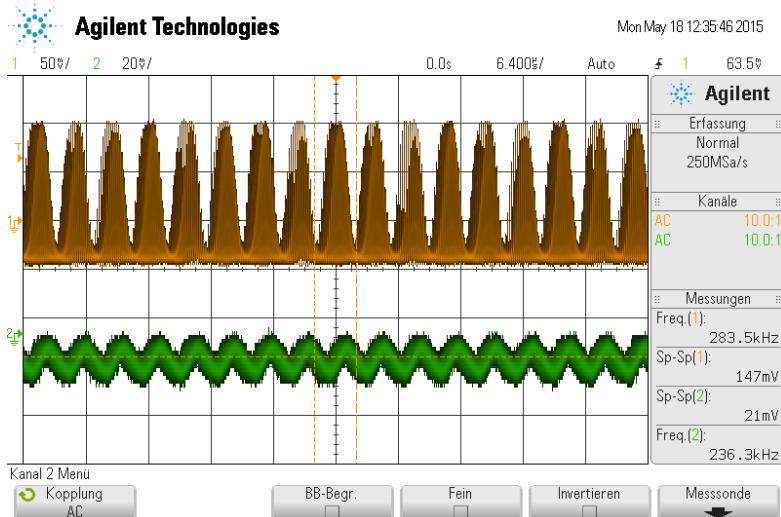


Abbildung 14: Mit Hilfe einer Diode amplitudendemoduliertes Signal. Das obere Signal zeigt den Spannungsverlauf hinter der Diode, wodurch die unteren Halbwellen abgeschnitten werden. Das untere Signal wird hinter einem Tiefpass abgegriffen und stellt somit das demodulierte Signal dar.

4.4 Amplitudenmodulation mit Diode

Eine simplere Methode eine Amplitudenmodulation durchzuführen wird nun untersucht: die Amplitudenmodulation mit Hilfe einer Diode. Bei diesem Modulationsverfahren kommt es zur Trägerabstrahlung, welche hier insbesondere untersucht werden soll. Das nach der Modulation entstehende Ausgangssignal ist in Abb. 15 zu sehen. Für die maximale und minimale Spannung wird abgelesen:

- $U_{\max} = (0,42 \pm 0,05) \text{ V}$
- $U_{\min} = (0,14 \pm 0,05) \text{ V}$

Dadurch ergibt sich der Modulationsgrad zu

$$m = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\max} + U_{\min}} = \frac{0,28}{0,56} = 0,50 \pm 0,01 \quad (12)$$

Der angegebene Fehler stammt dabei aus der Gaußschen Fehlerfortpflanzung

$$\Delta m = \sqrt{\left(\frac{2U_{\max}\Delta U_{\min}}{(U_{\max} + U_{\min})^2} \right)^2 + \left(\frac{2U_{\min}\Delta U_{\max}}{(U_{\max} + U_{\min})^2} \right)^2} \quad (13)$$

Das entsprechende Frequenzspektrum ist ebenfalls aufgenommen worden. In Abbildung 16 ist das Spektrum in der Nähe der Trägerfrequenz zu sehen, wohingegen Abbildung 17 eine Aufnahme über einen größeren Frequenzbereich zeigt, in welchem die Oberschwingungen des Trägers zu erkennen sind.

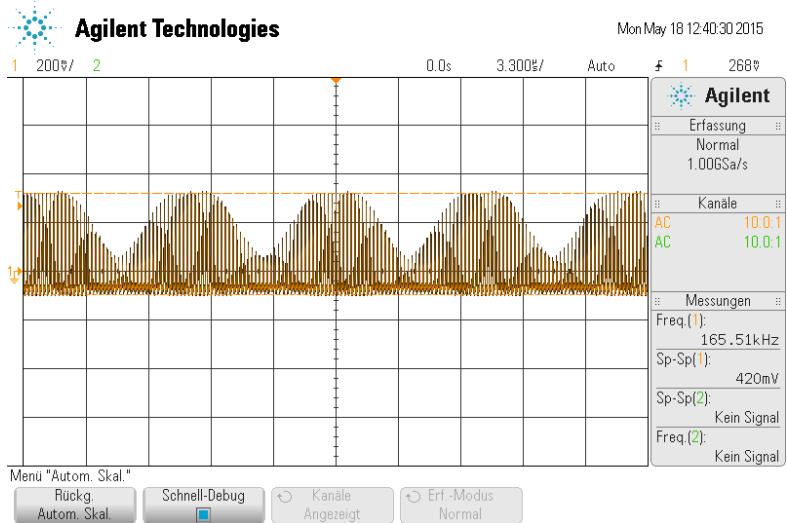


Abbildung 15: Mit Hilfe einer Diode amplitudenmoduliertes Signal.

Aus dem Frequenzspektrum aus Abb. 16 wird nun ebenfalls der Modulationsgrad bestimmt. Dazu werden die Höhen der Peaks der Trägerspannung A_T und der Modulationsspannung A_M des Frequenzspektrums benötigt. Der Modulationsgrad m_f ergibt sich dann mittels Formel (16), welche durch Abb. 2 des Theorieteils ersichtlich ist. Hierbei ist aufgrund der Messung in der dBm-Skala Formel (14) zur Umrechnung in eine lineare Skala zu verwenden. Der abgelesene Wert in der dBm-Skala wird mit W bezeichnet. Die Ablesegenauigkeit beträgt $\Delta W = 1 \text{ dBm}$.

$$W = 10 \log_{10} \left(\frac{A^2}{10^{-3}} \right) \Leftrightarrow A = \sqrt{10^{\frac{W}{10} + 3}} = 10^{\frac{W+30}{20}} \quad (14)$$

$$\Delta A = \frac{\ln(10)}{20} 10^{\frac{W+30}{20}} \Delta W \quad (15)$$

$$m_f = 2 \frac{A_M}{A_T} \quad (16)$$

$$\Delta m_f = \sqrt{\left(2 \frac{\Delta A_M}{A_T} \right)^2 + \left(2 \frac{A_M \Delta A_T}{(A_T)^2} \right)^2} \quad (17)$$

Es ergibt sich:

- Träger: $W_T = -26 \text{ dBm}$, $A_T \approx 1,58 \pm 0,18$
- Modulationssignal: $W_m = -34 \text{ dBm}$, $A_M \approx 0,63 \pm 0,07$
- $m_f = 0,80 \pm 0,13$

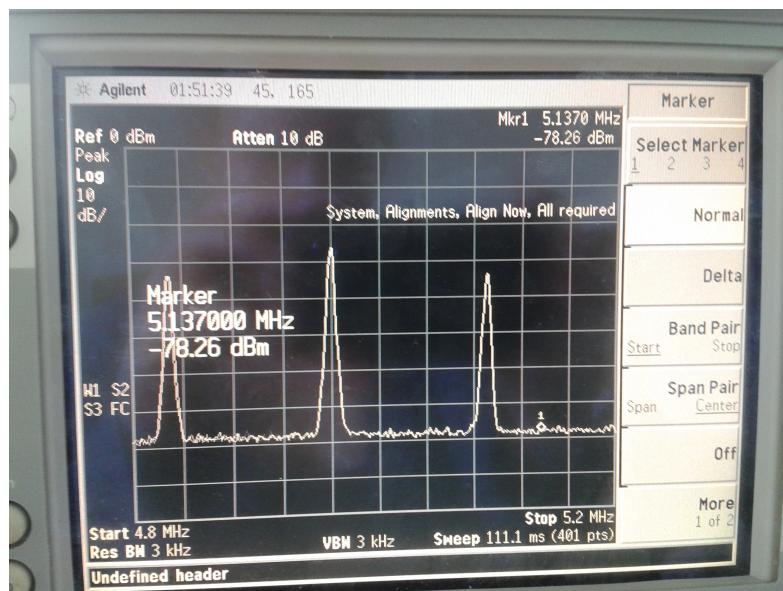


Abbildung 16: Frequenzspektrum des mit Hilfe einer Diode amplitudenmodulierten Signals in der Nähe der Trägerfrequenz. Im Gegensatz zur Amplitudenmodulation mit einem Ringmodulator tritt hier keine Trägerunterdrückung auf.

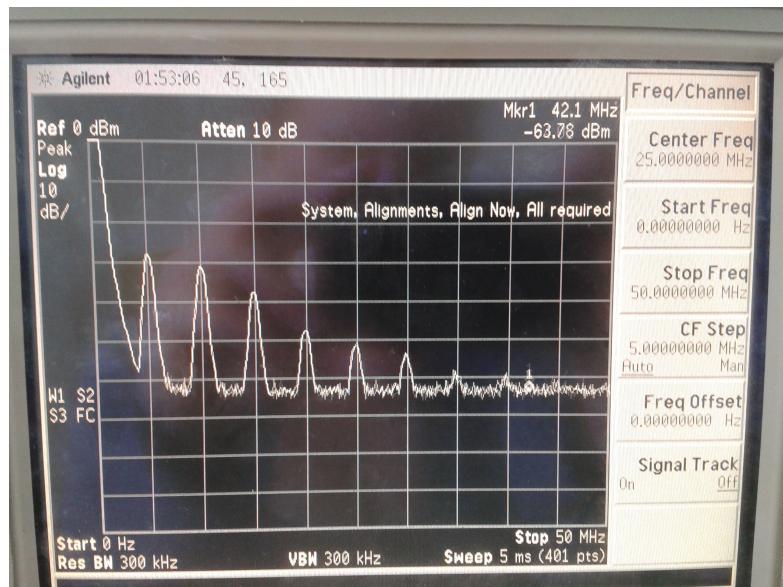


Abbildung 17: Frequenzspektrum des mit Hilfe einer Diode amplitudenmodulierten Signals über einen großen Frequenzbereich. Ein Kästchen entspricht in der horizontalen 5 MHz. Die Oberschwingungen des Trägersignals sind gut zu erkennen.

4.5 Frequenzmodulation

Um ein frequenzmoduliertes Signal zu erzeugen, wird zusätzlich zum amplitudenmodulierten Signal des Ringmodulators ein um $\frac{\pi}{2}$ phasenverschobenes Trägersignal auf den Ausgang gegeben. Dazu wird eine Verzögerungsleitung mit der festen Verzögerung von $t = 250$ ns verwendet. Die geforderte Phasenverschiebung wird bei einer Trägerfrequenz von 1 MHz erreicht. Die in Bild 18 zu sehende Lissajous-Figur wird durch Betrachten des Trägersignals als x-Auslenkung und des phasenverschobenen Signals als y-Auslenkung generiert. Abbildung 19 zeigt eine Oszilloskopaufnahme der beiden phasenverschobenen Signale. Das entstehende frequenzmodulierte Signal ist in Bild 20 zu sehen. Aus der

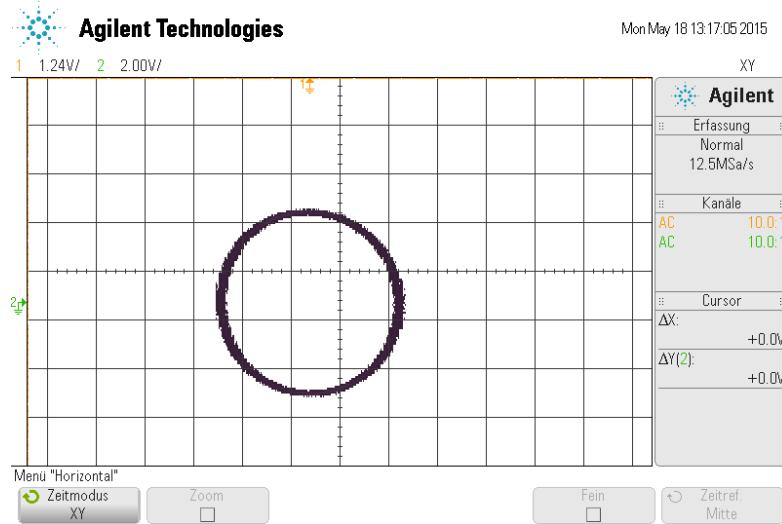


Abbildung 18: Lissajousfigur zum Einstellen der $\frac{\pi}{2}$ - Phasenverschiebung, welche für die Frequenzmodulation benötigt wird.

Verbreiterung dieses Signals Δt nach einer Periode lässt sich der Modulationsgrad m wie folgt berechnen:

$$f_1 := \frac{\omega_T}{2\pi}(1-m) \leq f(t) \leq \frac{\omega_T}{2\pi}(1+m) =: f_2$$

mit $f(t)$ ist Momentanfrequenz des frequenzmodulierten Signals.

$$\begin{aligned} \Delta t &= \frac{1}{f_1} - \frac{1}{f_2} = \frac{2\pi}{\omega_T(1-m)} - \frac{2\pi}{\omega_T(1+m)} \\ &\Rightarrow m = -\frac{1}{\Delta t f_T} + \sqrt{\frac{1}{(\Delta t f_T^2)^2} + 1} \end{aligned}$$

Eine gaußsche Fehlerfortpflanzung dieser Formel mit Zeitdifferenz Δt als fehlerbehaftete Größe liefert:

$$\Delta m = \left| \frac{f_T + f_T \sqrt{1 + \Delta t^2 f_T^2}}{\Delta t^2 f_T^2 \sqrt{1 + \Delta t^2 f_T^2}} \delta \Delta t \right|$$

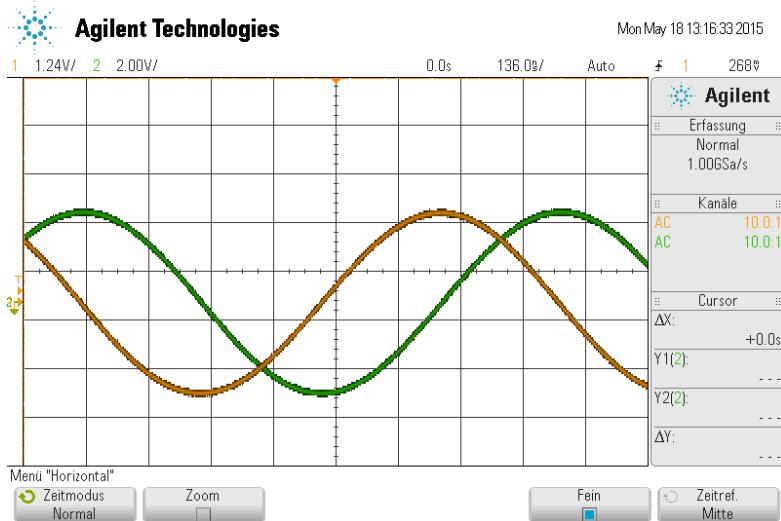


Abbildung 19: Bild des Trägersignals vor und nach dem Phasenschieber. Die Skala auf dem Oszilloskop für die beiden Kanäle wurde so eingestellt, dass die Amplituden der beiden Schwingungen gleich groß erscheinen, um in der Lissajoufigur tatsächlich ein Kreis zu erzeugen.

Die Trägerfrequenz f_T ist bekannt und aus Abbildung 20 wird abgelesen:

- $\Delta t = 60 \text{ ns}$
- $\delta \Delta t = 5 \text{ ns}$
- $f_T = 1 \text{ MHz}$

Mit diesen Werten wird der Frequenzhub bestimmt zu:

$$m = 0,03 \pm 0,10 \quad (18)$$

Eine Aufnahme des Frequenzspektrums mit Zentraffrequenz 1 MHz des Trägers ist in Abbildung 21 zu sehen.

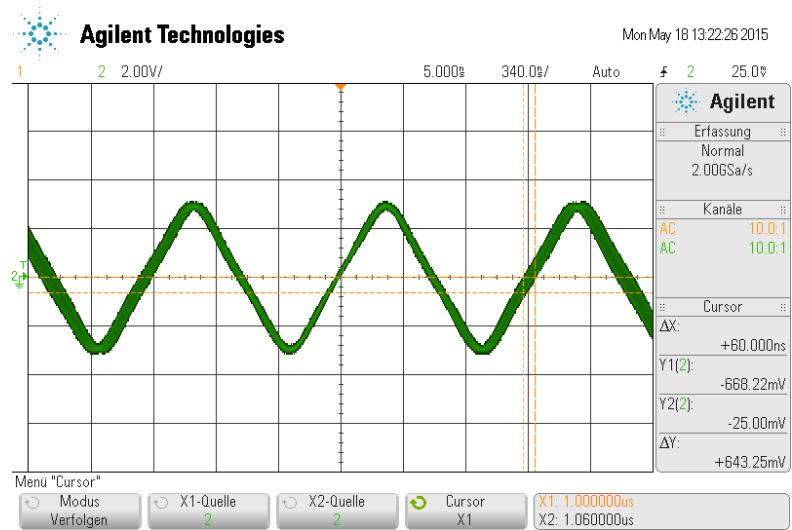


Abbildung 20: Ausgangssignal des Frequenzmodulators. Nach rechts hin verschmiert das Signal aufgrund der Frequenzmodulation.

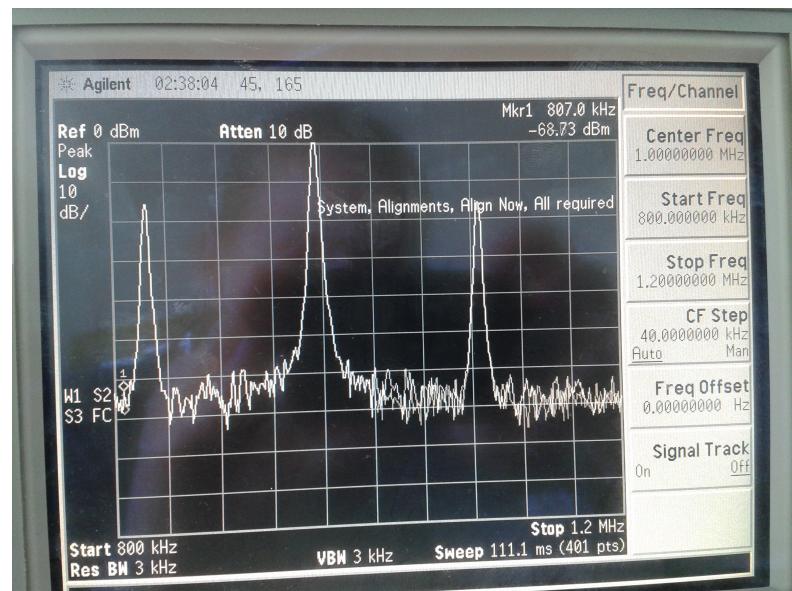


Abbildung 21: Frequenzspektrum des frequenzmodulierten Signals. Der Träger ist gut zu erkennen.

4.6 Frequenzdemodulation

Als letztes wird das frequenzmodulierte Signal mit Hilfe eines LC-Kreises demoduliert. Das direkt hinter diesem LC-Kreis entstehende Signal wird in Abbildung 22 gezeigt. Abbildung 23 zeigt das Signal am Ausgang des Tiefpasses, der hinter dem LC-Kreis angeschlossen ist.

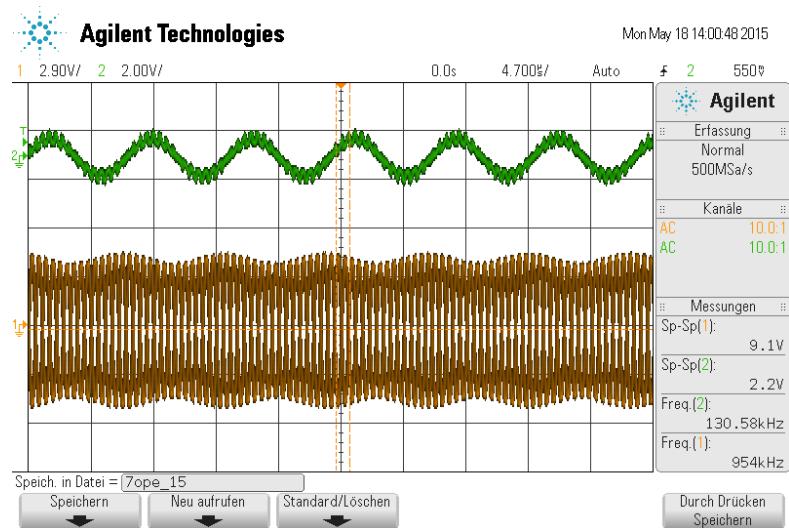


Abbildung 22: Oben zu sehen ist das Modulationssignal. Unten zu sehen ist das Signal direkt hinter dem Tiefpass, welches nun amplitudenmoduliert ist.

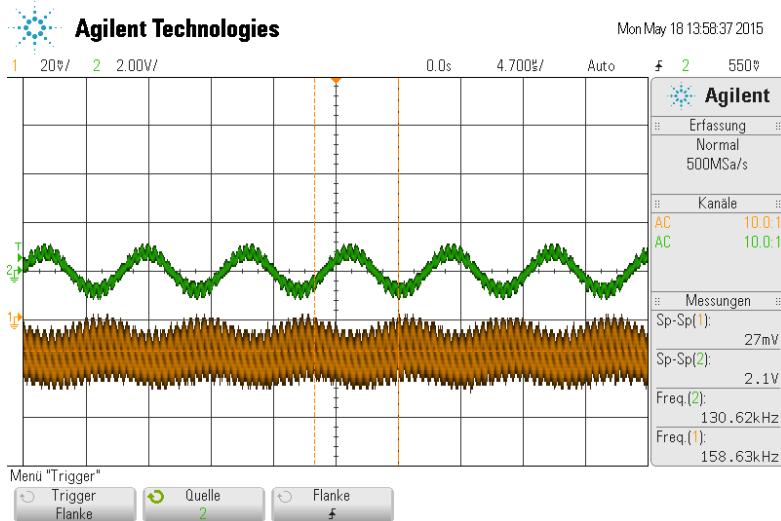


Abbildung 23: Oben zu sehen ist das Modulationssignal. Unten zu sehen ist das Signal hinter dem Tiefpass. Es ist ein Schwingen in der Frequenz des Modulationssignals zu erkennen.

5 Diskussion

Zum Abschluss sollen die Ergebnisse dieses Versuches diskutiert werden.

Amplitudenmodulation mit Ringmodulator Die Amplitudenmodulation mittels Ringmodulator ergibt, wie in dem Oszilloskopbild 10 und der Frequenzspektrumaufnahme 11 zu sehen, ein amplitudengeschaltetes Signal mit Trägerunterdrückung. Dies ist das erwartete Verhalten des Ringmodulators.

Amplitudendemodulation mit Ringmodulator Die Kosinusabhängigkeit der Ausgangsspannung des Gleichrichters von der Phasendifferenz der Eingangssignale (9) konnte, wie in Abb. 12 zu sehen, grob bestätigt werden. Die Fehler, welche durch den Fit auftreten, betragen maximal 10 %.

Der Vergleich von Modulationssignal und demoduliertem Signal zeigt, dass ein Ringmodulator sich gut zur amplitudendemodulation eignet. Die Frequenz des demodulierten Signals $f_{\text{demod}} = 131,20 \text{ kHz}$ weicht von der des Modulationssignals $f_M = 130,58 \text{ kHz}$ um ca. 0,5 % ab.

Amplitudendemodulation mit Diode Die amplitudendemodulation mit einer primitiven Diodenschaltung ergibt ein deutlich schlechteres Ausgangssignal als der Ringmodulator. Dies ist durch bloßes hinsehen in Abb. 14 zu sehen, sowie durch die Abweichung von ca. 80 % in der Ausgangsfrequenz von der Modulationsfrequenz.

Amplitudenmodulation mit Diode Die Amplitudenmodulation mittels Diode zeigt keine Trägerunterdrückung, wie in Abb. 16 zu sehen. Abbildung 17 zeigt die erwarteten Oberschwingungen des Trägers.

Frequenzmodulation Die Einstellung der Phasenverschiebung mittels Lissajousfiguren ist ein effektives Verfahren, jedoch wird bei nachträglichem Betrachten der aufgenommenen Lissajousfigur 18 festgestellt, dass der Kreis noch ein wenig gekippt ist. Vermutlich müsste die Trägerfrequenz runtergeregelt werden.

Der errechnete Modulationsgrad $m = 0,03 \pm 0,10$ zeigt einen Fehler von über 100 %, da zum einen der Modulationsgrad sehr gering ist und zum anderen der verwendete Cursor des Oszilloskops nicht genau genug war. Ein ranzoomen würde die Genauigkeit erhöhen.

Frequenzdemodulation Der LC-Kreis wandelt ein frequenzmoduliertes Signal in ein amplitudenmoduliertes Signal um, was in Abbildung 22 gut zu sehen ist. Das Signal hinter dem Tiefpass ist in Abb. 23 zu sehen und zeigt eine Schwingung in der Frequenz des Modulationssignals. Allerdings ist dieses ein wenig verrauscht, weswegen es zu einer Abweichung der Frequenz des demodulierten Signals zu der des Modulationssignals von ca. 22 % kommt.

Literatur

- [1] *Modulation und Demodulation elektrischer Schwingungen*. URL: <http://129.217.224.2/HOME PAGE/PHYSIKER/MASTER/SKRIPT/V59.pdf> (besucht am 21.05.2015).