

Modulation und Demodulation

Paul Becker Alina Nasr-Esfahani
(paul.becker@udo.edu) (alina.esfahani@udo.edu)

Durchführung: 22.01.2018, Abgabe: xx.yy.2018

Inhaltsverzeichnis

1	Theorie	2
1.1	Amplitudenmodulation	2
1.2	Frequenzmodulation	3
1.3	Modulationsschaltungen	5
1.3.1	Der Ringmodulator	5
1.3.2	Frequenzmodulator mit geringem Frequenzhub	7
1.4	Demodulationsschaltungen	8
1.4.1	Demodulation amplitudenmodulierter Schwingungen	8
1.4.2	Demodulation frequenzmodulierter Schwingungen	10
2	Durchführung	10
3	Auswertung	11
3.1	Amplitudenmodulation mit Ringmodulator	11
3.2	Amplitudenmodulation mit Trägerabstrahlung	13
3.3	Demodulation mit Ringmodulator	13
3.4	Demodulation mit Gleichrichterdiode	14
3.5	Demodulation einer frequenzmodulierten Schwingung	14
4	Diskussion	16

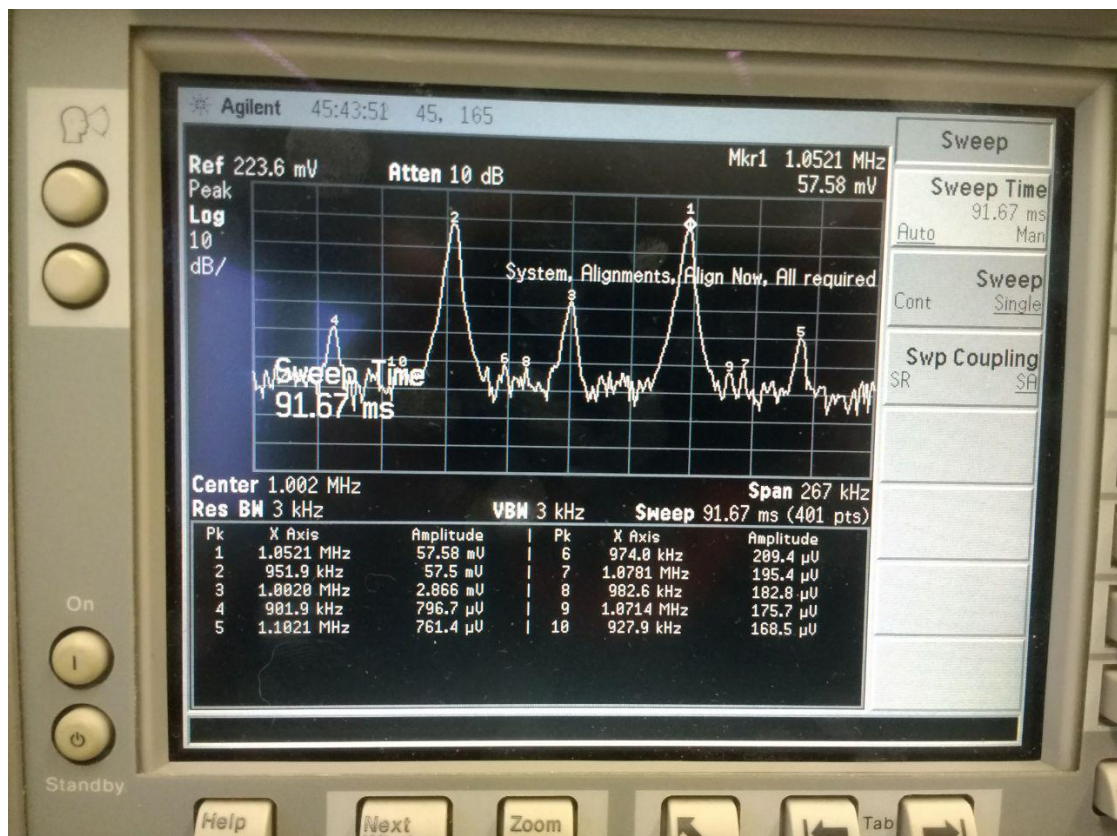


Abbildung 1: Zeitabhängigkeit der Signalspannung eines Amplitudenmodulierten Signals

1 Theorie

Um Informationen mit Hilfe von elektromagnetischen Wellen übertragen zu können werden Verfahren benötigt um diesen Wellen Informationen aufprägen zu können. Solche Verfahren werden Modulationsverfahren genannt, dass Rückgewinnen der Informationen aus der modulierten Welle nennt man Demodulation.

Die Hochfrequenztechnik kennt eine Reihe von Modulationsverfahren, welche unter Ausnutzung einer periodischen Änderung von Amplitude, Frequenz oder Phase einer Trägerwelle dieser Informationen aufprägen.

1.1 Amplitudenmodulation

Die einfachste Form der Amplitudenmodulation lässt die Amplitude einer hochfrequenten Trägerwelle $U_T(t)$ im Rythmus einer niederfrequenten Modulationswelle $U_M(t)$ variieren. Die Trägerwelle besitzt die Frequenz ω_T und die Modulationswelle die Frequenz ω_M .

Die amplitudenmodulierte Schwingung soll dann eine mit ω_M varrierende Amplitude

$$U_3(t) = U_T(1 + m \cos(\omega_M t)) \cos(\omega_T t) \quad (1.1.1)$$

besitzen. Wobei $m = \gamma U_M$ den Modulationsgrad der Schwinung beschreibt.

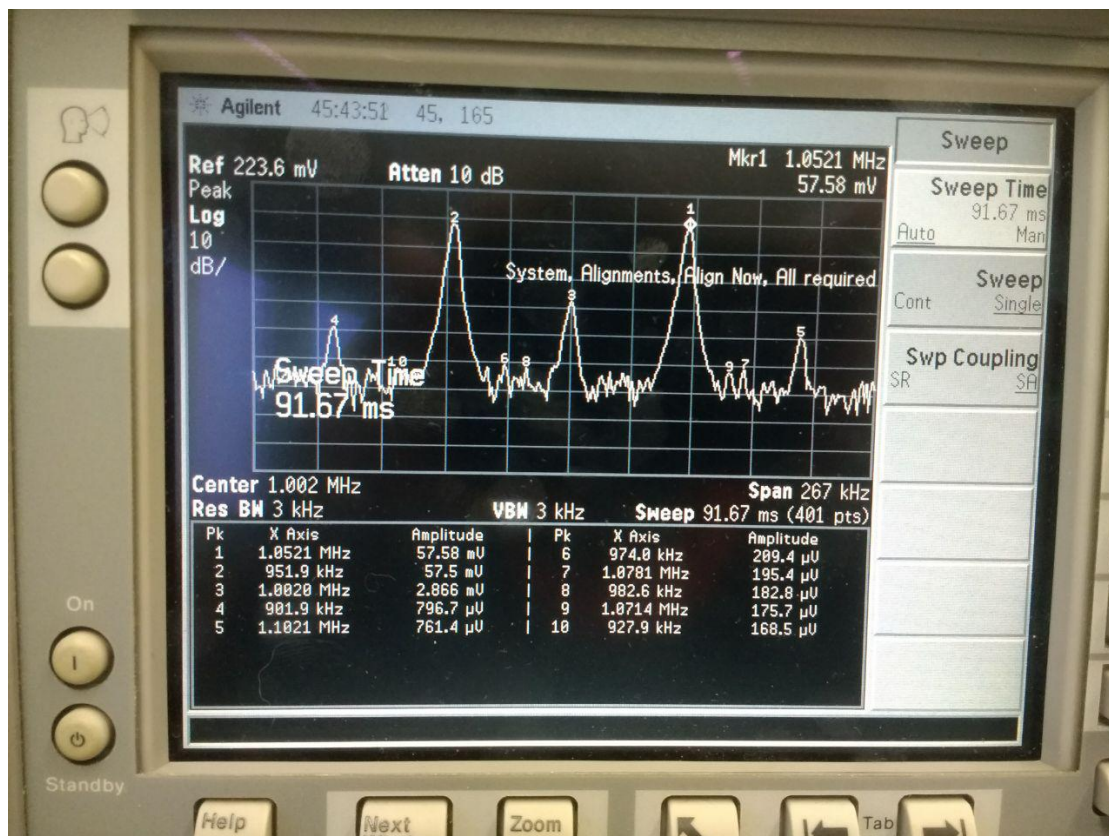


Abbildung 2: Frequenzspektrum einer Amplitudenmodulierten Schwingung

Wird durch geeignete Umformung oder Fouriertransformation das Frequenzspektrum der Schwinung analysiert

$$U_3(t) = U_T(\cos(\omega_T t) + \frac{1}{2}m \cos(\omega_T + \omega_M)t + \frac{1}{2}m \cos(\omega_T - \omega_M)t) \quad (1.1.2)$$

fällt auf, dass in diesem einfachen Fall bereits drei Frequenzen beteiligt sind.

Die Frequenz bei ω_T nennt man Trägerfrequenz, diese Trägt keine Information und stellt einen dissipativen Anteil dar, welcher in der Praxis unerwünscht ist. Auch beschreiben die beiden Seitenbänder bei $\omega_T - \omega_M$ und $\omega_T + \omega_M$ die gleichen Informationen. Somit ist es üblich eines der Beiden Seitenbänder durch geeignete Filter zu unterdrücken. Wird die Trägerfrequenz und ein Seitenband unterdrückt wird auch von Einseitenbandmodulation mit Trägerunterdrückung gesprochen. Die großen Nachteile der Amplitudenmodulation besteht in ihrer geringen Störsicherheit und geringen Verzerrungsfreiheit.

1.2 Frequenzmodulation

Anders als bei der Amplitudenmodulation wird bei der Frequenzmodulation die momentane Schwingungsfrequenz im Rythmus des Modulationssignales variiert.

$$U(t) = U \sin(\omega_T t + m \frac{\omega_T}{\omega_M} \cos(\omega_M t)) \quad (1.2.1)$$

Durch Differentiation des Arguments des Sinues ergibt sich die Momentanfrequenz

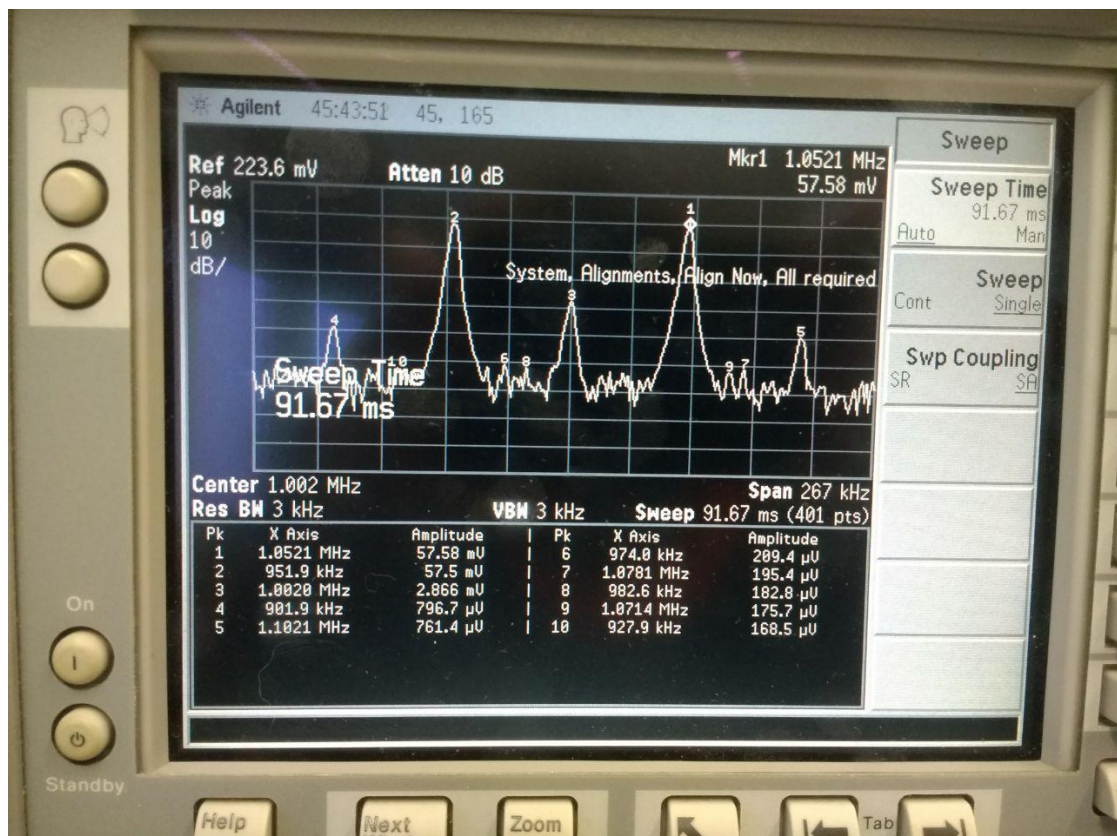


Abbildung 3: Zeitlicher Verlauf einer frequenzmodulierten Schwingung

$$f(t) = \frac{\omega_T}{2\pi} (1 - m \sin(\omega_M t)) \quad (1.2.2)$$

der Schwingung. Wobei m wieder den Modulationsgrad und $\frac{m\omega_T}{2\pi}$ den Frequenzhub beschreibt. Der Frequenzhub ist es Maß dafür, wie Stark die Schwingungsfrequenz variiert. Im folgenden ist eine Schmalband-Frequenzmodulation zu sehen, welche sich durch

$$m \frac{\omega_T}{\omega_M} \ll 1 \quad (1.2.3)$$

auszeichnet.

Durch geeignete Umformung oder Fouriertransformation ist ersichtlich, dass auch das Frequenzspektrum der Frequenzmodulation sich aus drei Frequenzen zusammensetzt.

$$U(t) = U(\sin(\omega_T t) + \frac{m\omega_T}{2\omega_M} \cos(\omega_T + \omega_M)t - \frac{m\omega_T}{2\omega_M} \cos(\omega_T - \omega_M)t) \quad (1.2.4)$$

Es fällt auf, dass die beiden Seitenbänder im Fall der Frequenzmodulation um $\frac{\pi}{2}$ gegenüber der Trägerschwingung verschoben sind. Es ist anzumerken, dass das o.g. Frequenzspektrum nur im Fall der schwach frequenzmodulierten Schwingung

$$\frac{m\omega_T}{\omega_M} \ll 1 \quad (1.2.5)$$

gültigkeit besitzt. Im Fall der starken Frequenzmodulation

$$m\omega_T \approx \omega_M \quad (1.2.6)$$

besitzt das Frequenzspektrum eine komplexere Darstellung der Form

$$U(t) = U \sum_{n=-\infty}^{+\infty} J_n\left(\frac{m\omega_T}{\omega_M}\right) \sin(\omega_T + n\omega_M)t \quad (1.2.7)$$

wobei J_n die Besselsche Funktion n-ter Ordnung ist. Es zeigt sich, dass für hohe Modulationsgrade das Frequenzspektrum im prinzip bis zu beliebig hohen Frequenzen reicht. Es reicht jedoch in der Praxis nur Frequenzen in der Nähe der Trägerfrequenz zu berücksichtigen, da

$$J_{\pm n}(x) \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi n}} \left(\frac{ex}{2n}\right)^n \quad (1.2.8)$$

mit wachsender Ordnungszahl n und $x \leq 1$ schnell gegen null geht.

1.3 Modulationsschaltungen

Um die Amplitude einer Trägerschwingung zu modulieren 1.1.1 wird ein Bauteil benötigt, welches das Produkt aus zwei Eingangsspannungen bilden kann. Grundsätzlich ist das mit jedem Bauteil möglich, welches eine nichtlineare Kennlinie besitzt. Eine solche Schaltung kann z.B. mit Hilfe einer Diode gemäß 4 realisiert werden.

Wird die Summe von Träger- und Modulatorspannung für die Spannung in die Potenzenentwicklung der Diodenkennlinie eingesetzt

$$I(U_T + U_M) = a_0 + a_1(U_T + U_M) + a_2(U_T^2 + U_M^2) + 2a_2U_TU_M + \dots \quad (1.3.1)$$

liefert das vierte Reihenglied das geforderte Produkt. Es fällt auf das zusätzliche Störterme auftreten, dessen Frequenzen $\omega_M, 2\omega_M$ und $2\omega_T$ allerdings weit außerhalb des zu übertragenden Frequenzbandes $\omega_T - \omega_M$ bis $\omega_T + \omega_M$ liegen, sodass diese mit einem geeigneten Bandfilter unterdrückt werden können. Durch das Erzeugen der vielen nicht genutzten Frequenzen ist so eine Schaltung sehr unökonomisch. Es ist wünschenswert das die Störenden Frequenzanteile erst garnicht erzeugt werden.

1.3.1 Der Ringmodulator

Der Ringmodulator besteht, wie der Name bereits andeutet, aus einem Ring von vier zusammengeschaltet Dioden.

Diese Schaltung ist in der Lage das Produkt von Träger und Modulationssignal zu bilden ohne störende parasitäre Frequenzanteile zu erzeugen. Die abgenommene Spannung ist direkt proportional zum Produkt der Eingangsspannungen.

$$U_R(t) = \gamma U_M(t) \cdot U_T(t) \quad (1.3.2)$$

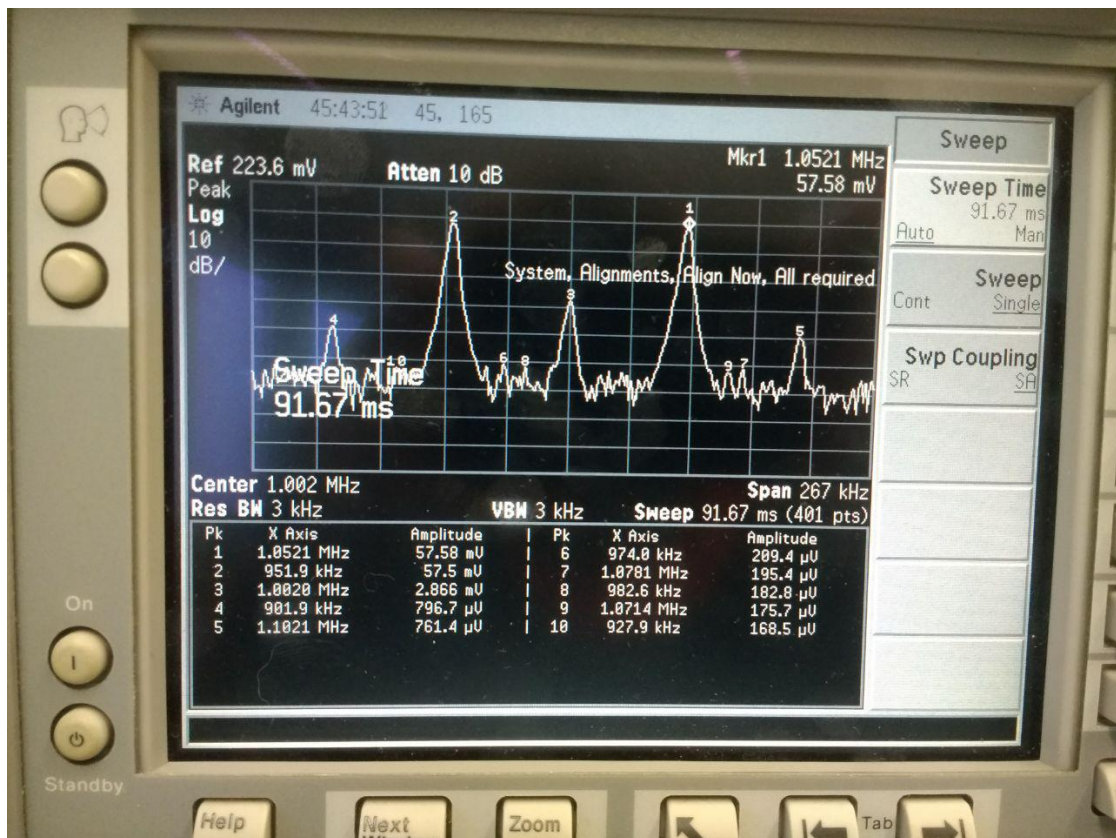


Abbildung 4: Primitive Modulatorschaltung

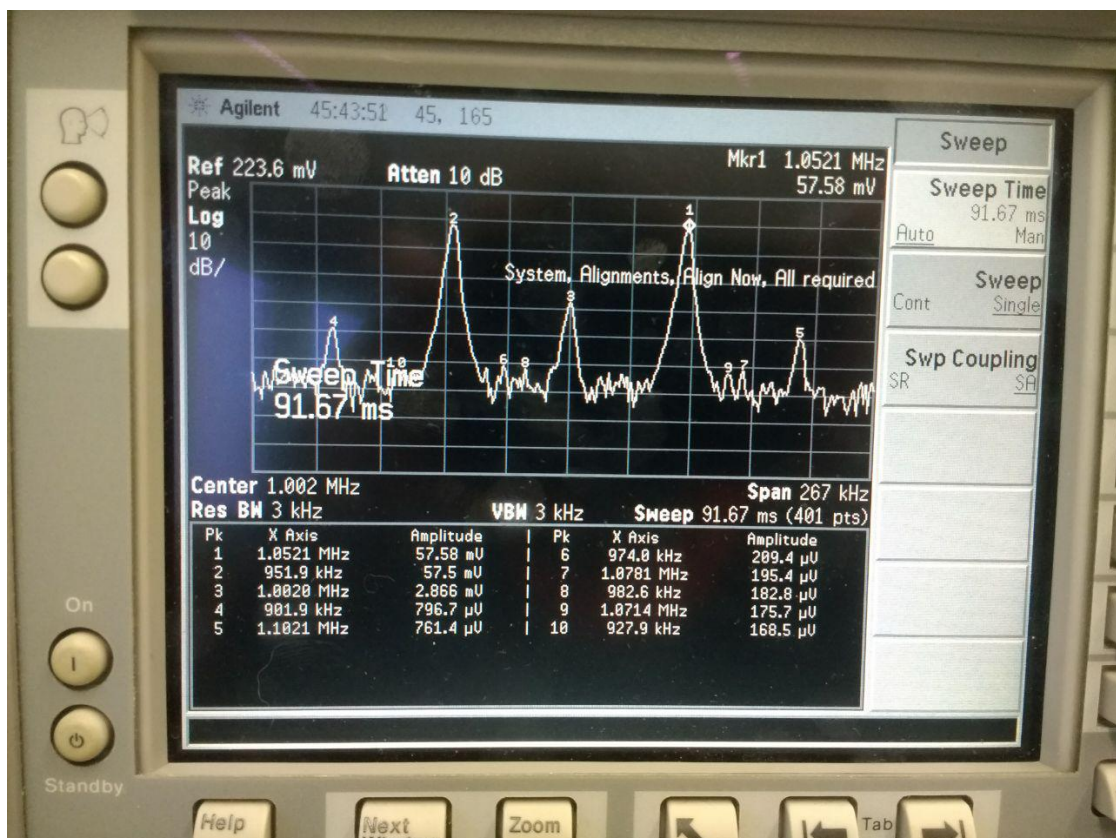


Abbildung 5: Primitive Modulatorschaltung

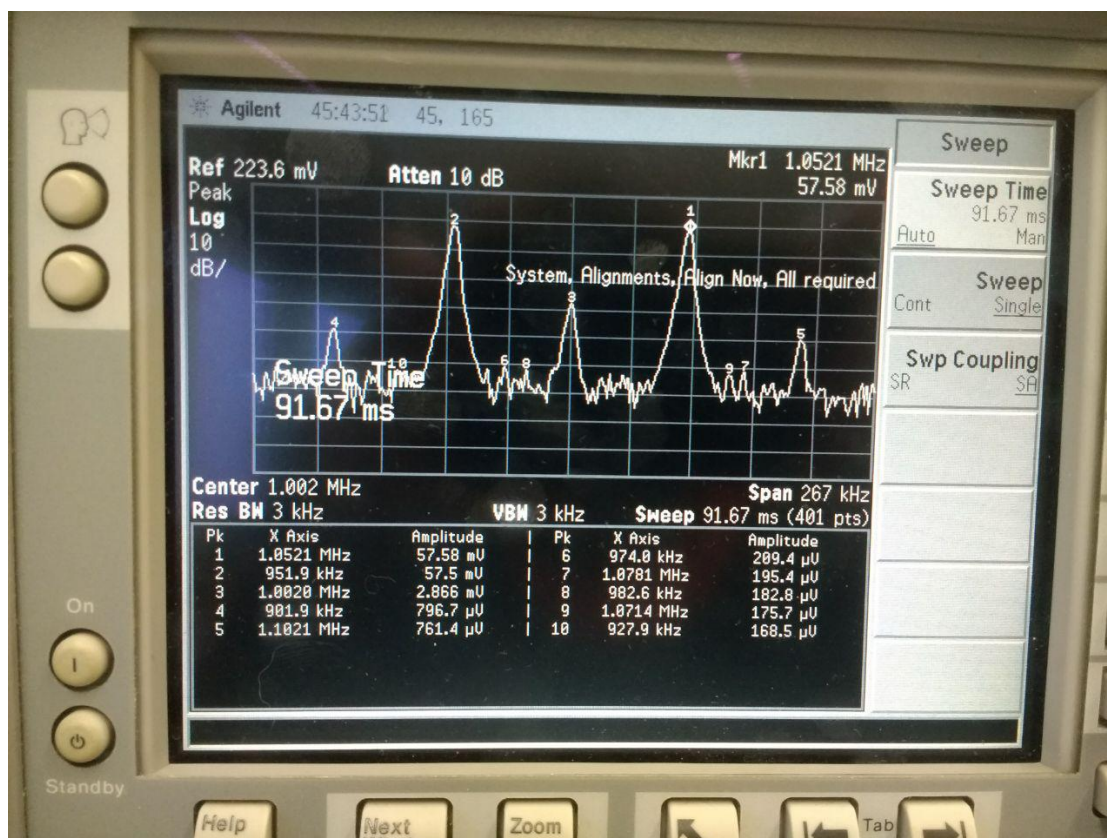


Abbildung 6: Primitive Modulatorschaltung

Es ist anzumerken, dass γ die Einheit $\frac{1}{V}$ besitzt. Es ist direkt ersichtlich, dass der Ringmodulator die Trägerabstrahlung unterdrückt. Werden zwei Cosinus-Signale für U_T und U_M mit den Frequenzen ω_T und ω_M in 1.3.2 eingesetzt folgt

$$U_R(t) = \gamma U_T U_M \frac{1}{2} \cos((\omega_T + \omega_M)t + \phi) + \gamma U_T U_M \frac{1}{2} \cos((\omega_T - \omega_M)t - \phi) \quad (1.3.3)$$

Wie bereits angesprochen fehlt in diesem Frequenzspektrum der Trägeranteil ω_T .

1.3.2 Frequenzmodulator mit geringem Frequenzhub

Um einen Frequenzmodulator mit geringem Frequenzhub zu realisieren wird ein Ringmodulator genutzt, jedoch wird wie aus 1.2.4 ersichtlich ist ein $\frac{\pi}{2}$ Phasenschieber notwendig. Dieser wird mit Hilfe eines Iso-T Leistungsteiler parallel neben dem Ringmodulator angeordnet.

Der Phasenschieber wird mit Hilfe eines Laufzeitkabels realisiert.

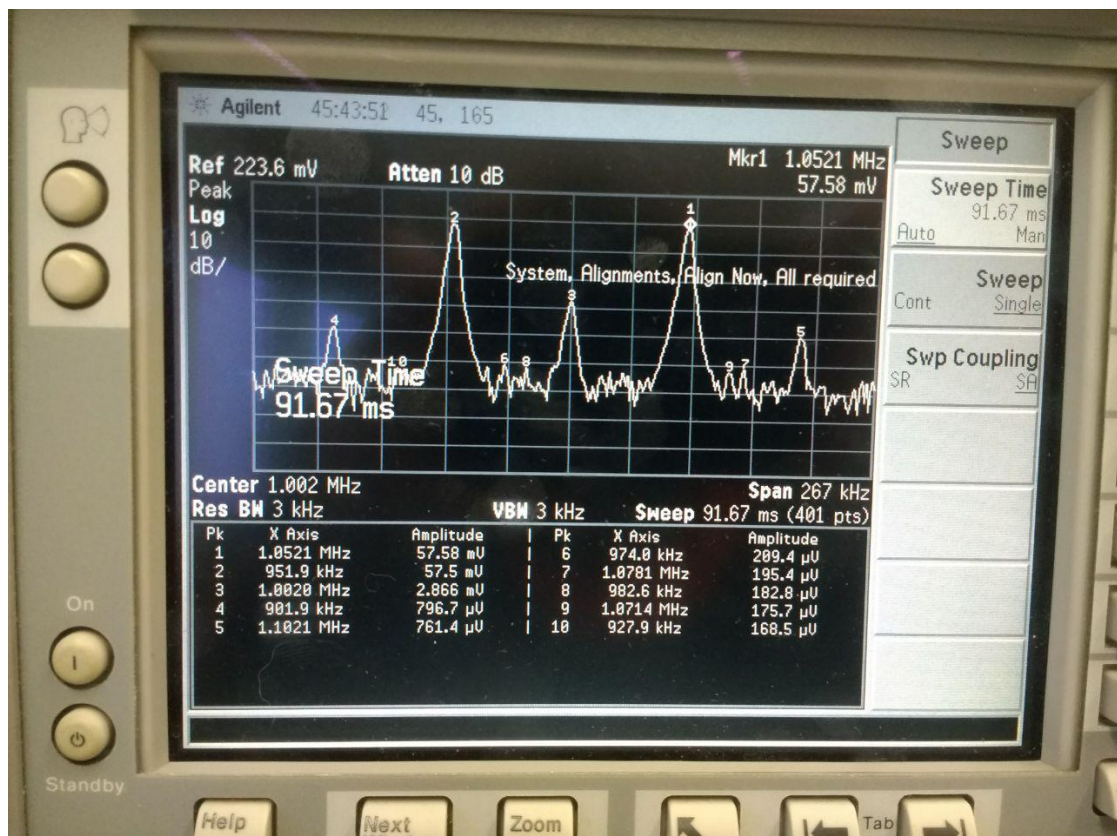


Abbildung 7: Primitive Modulatorschaltung

1.4 Demodulationsschaltungen

1.4.1 Demodulation amplitudenmodulierter Schwingungen

Mit Demodulatorschaltungen ist es möglich aus einem modulierten Signal die Modulationsfrequenz ω_M zurück zu gewinnen. Wird am einen Eingang eines Ringmodulators ein Signal mit den Frequenzen $\omega_T - \omega_M$ und $\omega_T + \omega_M$ angelegt und am anderen Eingang das Trägersignal mit ω_T , so liefert der Ausgang der Schaltung ein Signal mit ω_M , $2\omega_T - \omega_M$ und $2\omega_T + \omega_M$. Alle von der Modulationsfrequenz abweichenden Signalanteile lassen sich mit Hilfe eines geeigneten Bandpasses gut unterdrücken, so dass am Ausgang nun noch ein Signal mit der Modulationsfrequenz ω_M anliegt. Ein Problem welches sich bei der Demodulation stellt ist, dass ein Trägersignal benötigt wird, welches Phasenstarr mit dem Trägersignal des Senders gekoppelt sein muss. Um eine solche Kopplung zu gewährleisten wird i.A. ein Phasenregelkreis oder PLL-Schaltung verwendet.

Es ist möglich die Problematik der festen Phasenbeziehung zwischen der Signal und Referenzspannung mit Hilfe einer Gleichrichter-Diode zu vermeiden.

Die Gleichrichter-Diode schneidet sämtliche negative Halbwellen ab, sodass nach der Diode eine Gleichgerichtete modulierte Hochfrequenz-Spannung abgegriffen werden kann. Die enthaltenen hochfrequenten Anteile mit den Frequenzen ω_T , $2\omega_T$, $4\omega_T$ u.v.m. lassen sich mit einem Tiefpass unterdrücken, so dass am Ausgang die Modulationsspannung abgegriffen werden kann.

Problematisch ist jedoch, dass die Diode eine exponentielle Kennlinie besitzt. Die Abweichung vom gewünschten linearen Verhalten begründet Verzerrungen in der Rückge-

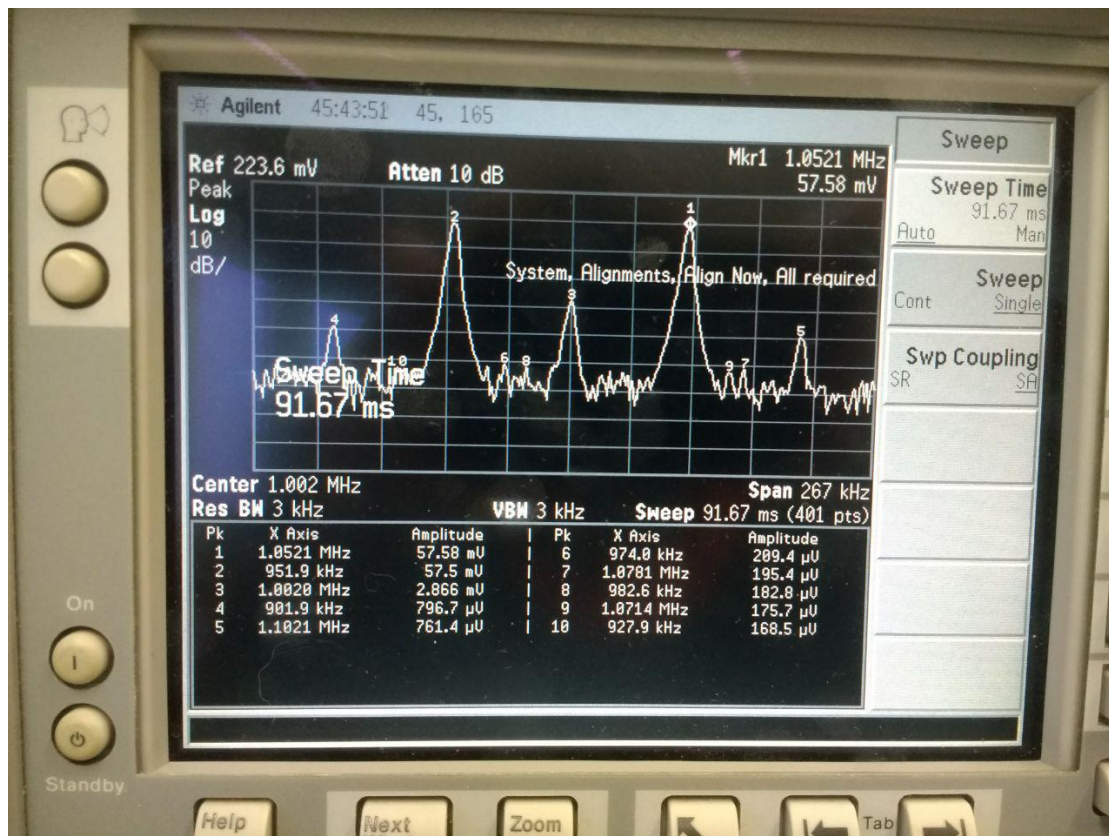


Abbildung 8: Primitive Modulatorschaltung

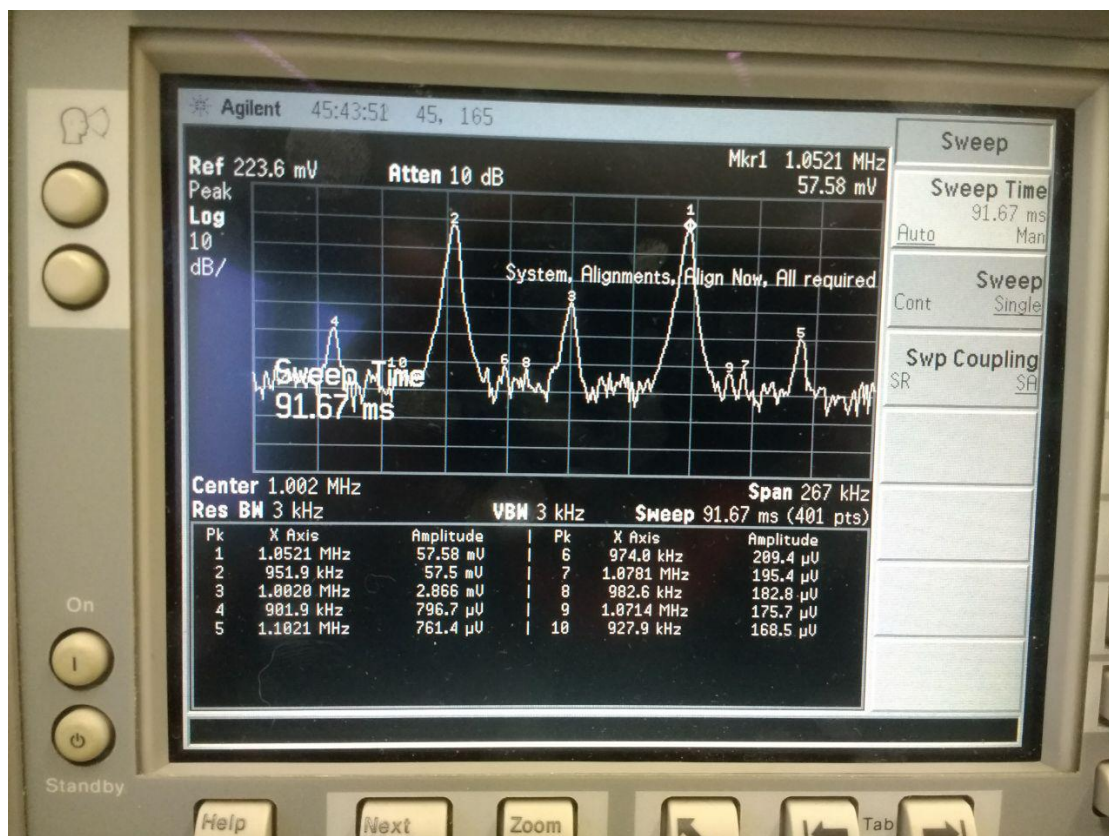


Abbildung 9: Primitive Modulatorschaltung

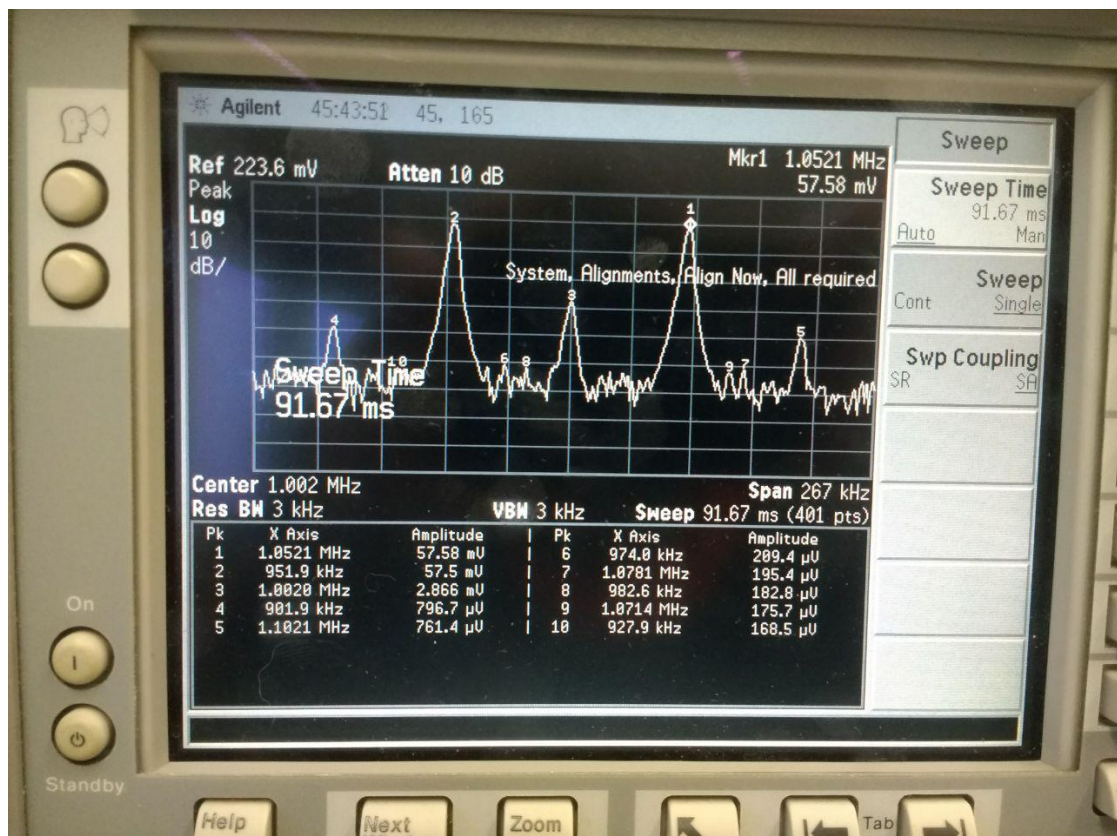


Abbildung 10: Primitive Modulatorschaltung

winnung des Modulationssignales. Dieses Problem lässt sich in den Griff bekommen indem mit geringen Modulationsgraden, also kleinen Auslenkungen gearbeitet wird oder eine Gegentaktschaltung verwendet wird.

1.4.2 Demodulation frequenzmodulierter Schwingungen

Um das Modulationssignal aus einer frequenzmodulierten Schwingung gewinnen zu können bietet sich ein so.g Flankenmodulator an.

Der Flankenmodulator besteht im wesentlichen aus einem Schwingkreis, in welchem die Frequenzabhängigkeit der Kondensatorspannung im Falle erzeugener Schwingung ausgenutzt wird. Hierfür wird die Resonanzfrequenz des Schwingkreises so eingestellt, dass die Trägerfrequenz ω_T mitten in der steilen Flanke der Resonanzkurve liegt. Ändert sich nun in Folge der Frequenzmodulation die Momentanfrequenz der modulierten Schwingung, so entsteht am Ausgang des Schwingkreises eine hochfrequente Spannung, deren Amplitude im Rhythmus der Modulation schwangt. Somit wurde die Frequenzmodulation in eine Amplitudenmodulation überführt, welche bereits behandelt wurde.

2 Durchführung

a) Mithilfe eines Ringmodulators wird ein Amplitudenmoduliertes Signal erzeugt. Die dabei entstehende Schwebung wird anschließend mit einem Oszilloskop visualisiert.

- b)** Es wird mit Hilfe eines Frequenzanalysators das Frequenzspektrum des in a) erzeugten Signals sichtbar gemacht.
- c)** Aufgabenteil a und b wird mit einer Diode zur Modulation wiederholt und die selben Signaleigenschaften untersucht. Außerdem wird gezeigt das zusätzlich Oberwellen von ω_T auftreten.
- d)** Um das in amplitudenmodulierte Signal zu demodulieren wird ein Ringmodulator verwendet. Mithilfe einer Schaltung gemäß Abbildung ?? und eines Multimeters wird die Proportionalität am Ausgang X mit dem Cosinus der Phase zwischen R und L gezeigt.
- e)** Das Multimeter aus 2 wird durch ein Oszilloskop ersetzt und das demodulierte Signal sichtbar gemacht.
- f)** Mit Hilfe einer Gleichrichterdiode wird ein amplitudenmoduliertes Signal demoduliert. Außerdem wird die Zeitabhängigkeit vor und hinter dem Tiefpass dargestellt.
- g)** Es wird ein frequenzmoduliertes Signal erzeugt, welches auf einem Oszilloskop dargestellt wird. Anschließend wird der Frequenzhub und der Modulationsgrad ermittelt und das Frequenzspektrum untersucht.
- h)** Abschließend wird ein frequenzmoduliertes Signal demoduliert und das Ergebnis visualisiert.

3 Auswertung

3.1 Amplitudenmodulation mit Ringmodulator

Mit dem Ringmodulator wird die Amplitude eines Signals moduliert. Das Eingangs- und Ausgangssignal sind in Abbildung 11 zu sehen. Das Trägersignal hatte eine Amplitude von $U_T = 0\text{ V}$ und die Frequenz $\omega_T = 0\text{ Hz}$, das Modulationssignal hatte eine Amplitude von $U_M = 0\text{ V}$ und die Frequenz $\omega_M = 0\text{ Hz}$. Es entsteht eine Schwebung, die Trägerfrequenz ist hier nicht zu erkennen. Die prominentesten Linien in dem Frequenzspektrum in Abbildung 12 sind die der Modulationsfrequenz. Dazwischen ist als kleinerer Peak auch die Trägerfrequenz zu sehen, die mit dem Ringmodulator nicht komplett unterdrückt wird, aber signifikant kleiner als die Seitenbänder ist.

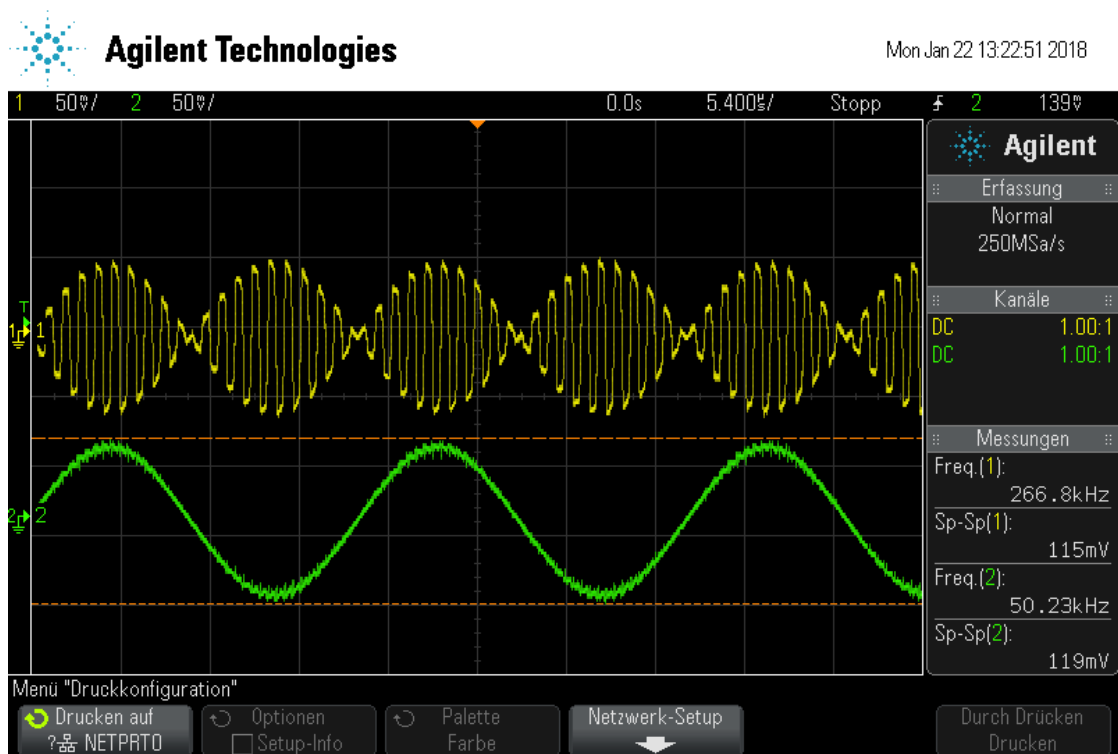


Abbildung 11: Amplitudenmodulation - grün das Eingangssignal, gelb das amplitudenmodulierte Signal

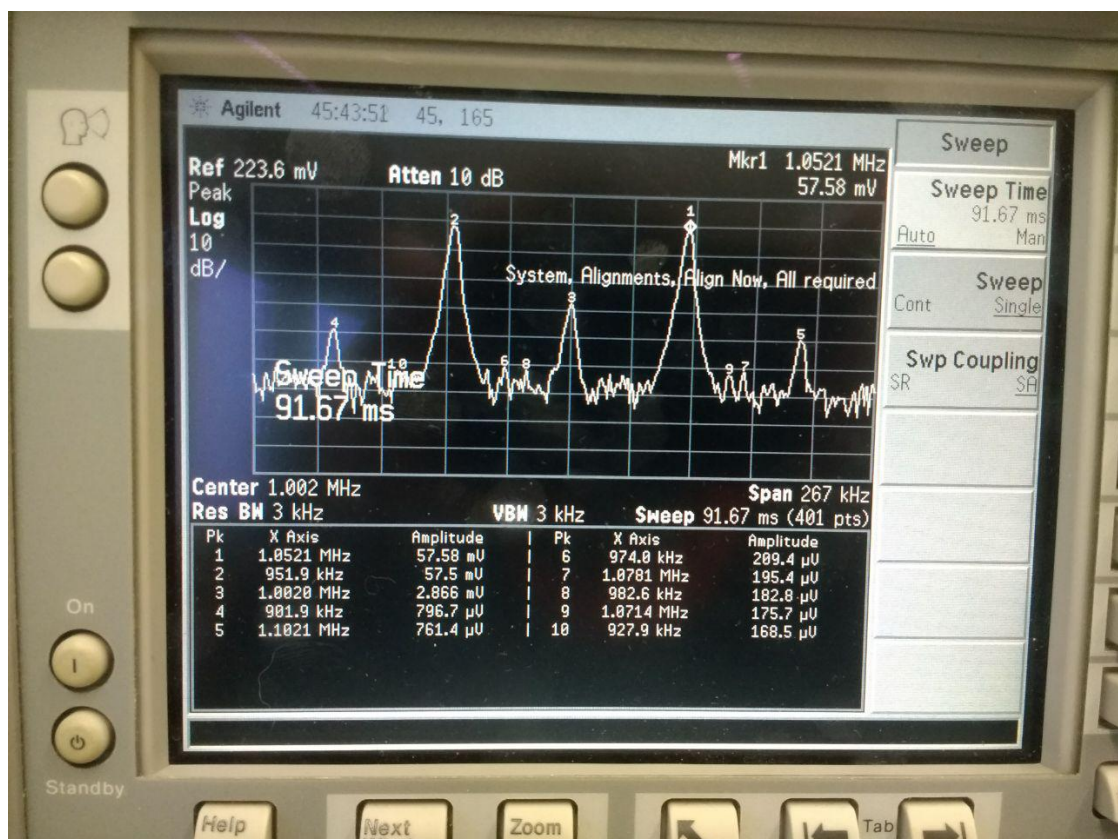


Abbildung 12: Amplitudenmodulation - Peak 3 mit der Trägerfrequenz, Peak 1 und 2 die Seitenbänder

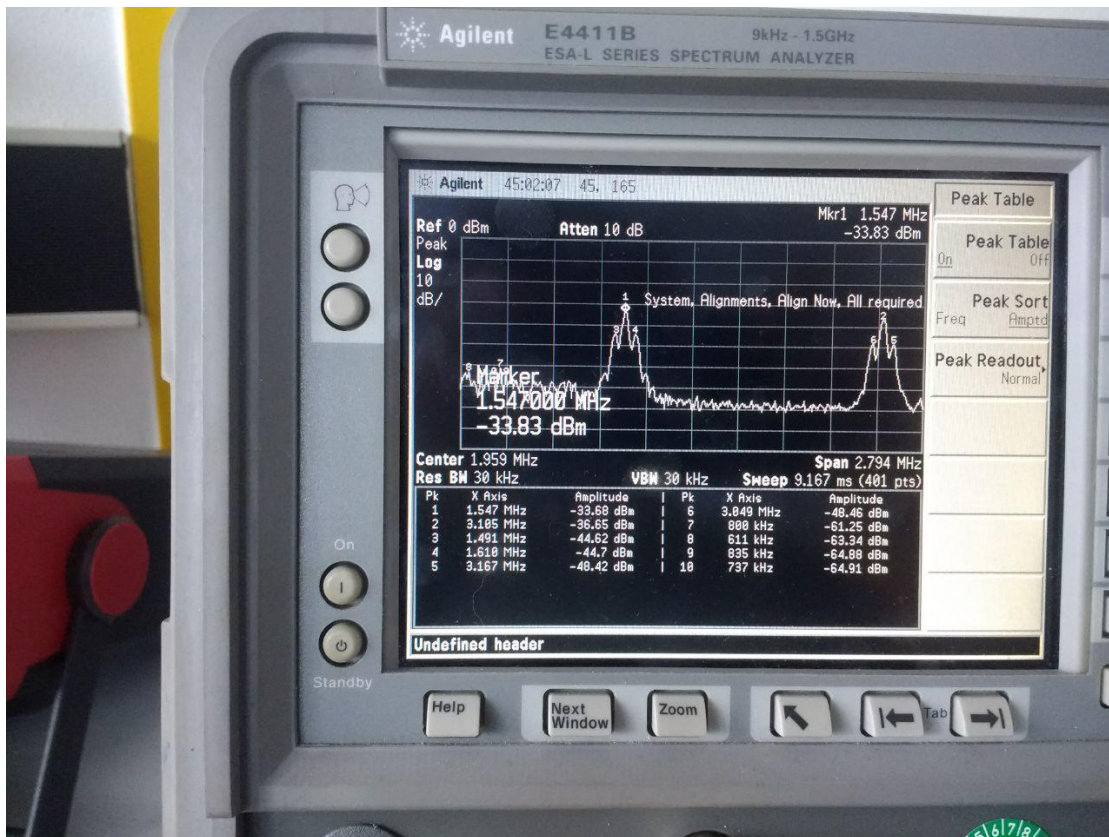


Abbildung 13: Amplitudenmodulation mit Oberwellen, Trägerabstrahlung und Seitenbändern

3.2 Amplitudenmodulation mit Trägerabstrahlung

In Abbildung 13 ist das Frequenzspektrum einer amplitudenmodulierten Schwingung mit Trägerabstrahlung zu sehen. Das Trägersignal hatte eine Amplitude von $U_T = 0$ V und die Frequenz $\omega_T = 0$ Hz, das Modulationssignal hatte eine Amplitude von $U_M = 0$ V und die Frequenz $\omega_M = 0$ Hz. Abbildung 14 zeigt von dem gleichen Signal eine Oszilloskop-Aufnahme. In Abbildung 14 lässt sich der Modulationsgrad aus dem Verhältnis der Amplitude der Maxima und der Minima bestimmen. Da die Amplitude zwischen $U_{\min} = U_T(1 - m)$ und $U_{\max} = U_T(1 + m)$ schwankt, ist der Modulationsgrad

$$m = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\max} + U_{\min}} = \frac{52 \text{ mV} - 26 \text{ mV}}{52 \text{ mV} + 26 \text{ mV}} = 0.33.$$

Eine andere Methode, den Modulationsgrad zu bestimmen, ist mit der Peakhöhe der Träger- und Modulationsfrequenz im Frequenzanalysator.

$$m_1 = 4 \cdot \frac{10^{-44.62/10}}{10^{-33.68/10}} = 0.322, \quad m_2 = 4 \cdot \frac{10^{-44.7/10}}{10^{-33.68/10}} = 0.316$$

3.3 Demodulation mit Ringmodulator

In Abbildung 17 ist die Oszilloskop-Aufnahme eines Signals zu sehen, dessen Amplitude zunächst moduliert und daraufhin wieder demoduliert wird. In gelb ist das Eingangssignal, die grüne Kurve ist das um einen festen Faktor phasenverschobene und in der Amplitude reduzierte Signal.

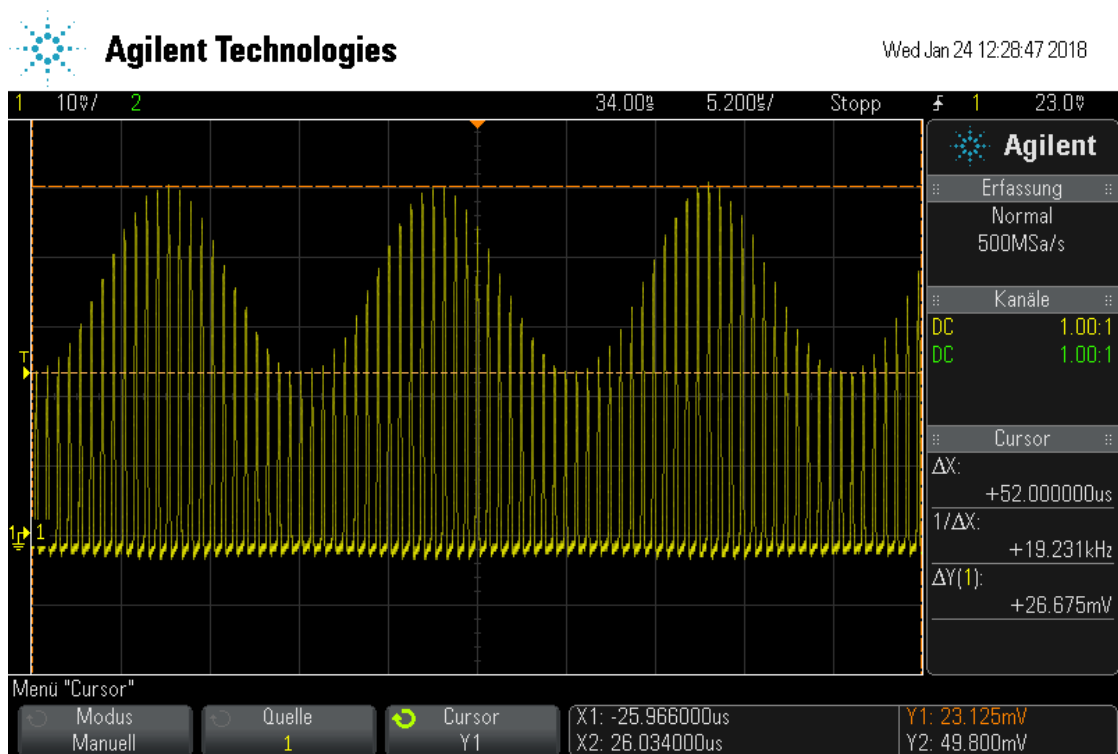
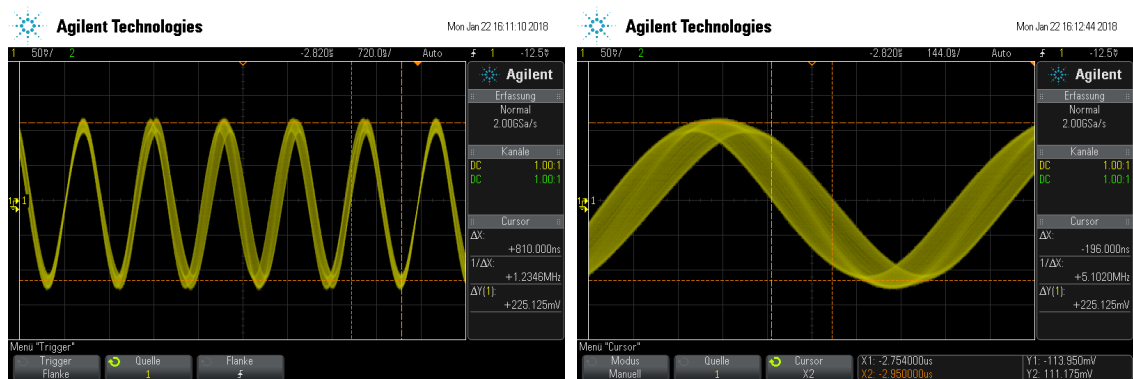


Abbildung 14: Amplitudenmodulation - Bestimmung des Modulationsgrades



Frequenzmodulation

Frequenzmodulation - Detailansicht

3.4 Demodulation mit Gleichrichterdiode

3.5 Demodulation einer frequenzmodulierten Schwingung

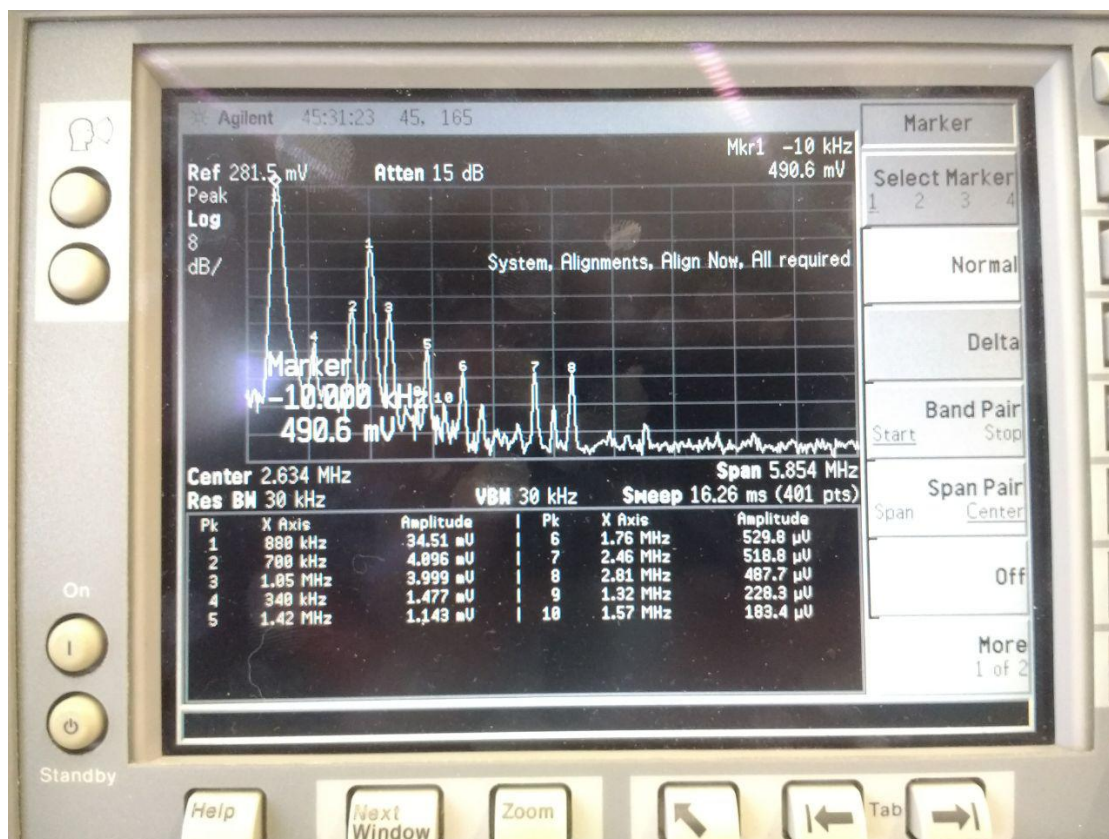


Abbildung 16: Frequenzmodulation - Frequenzspektrum

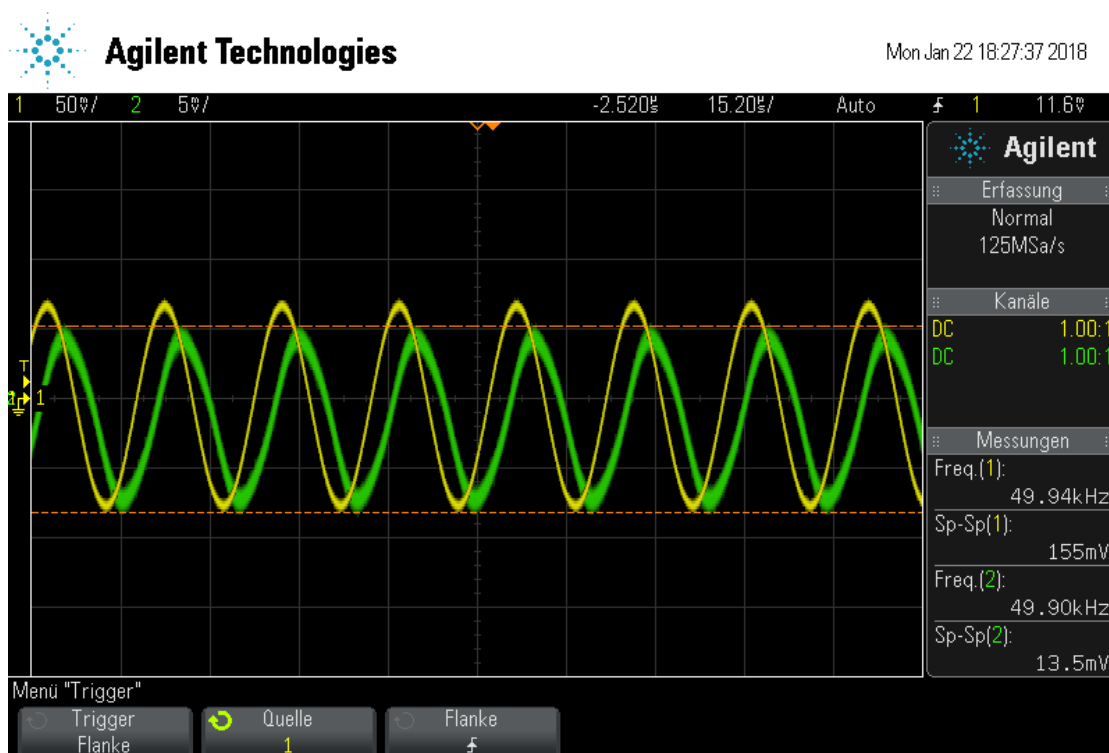
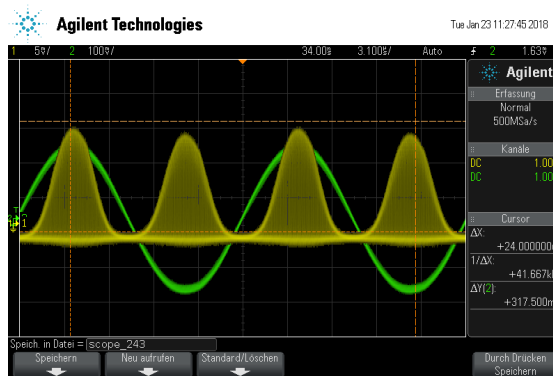
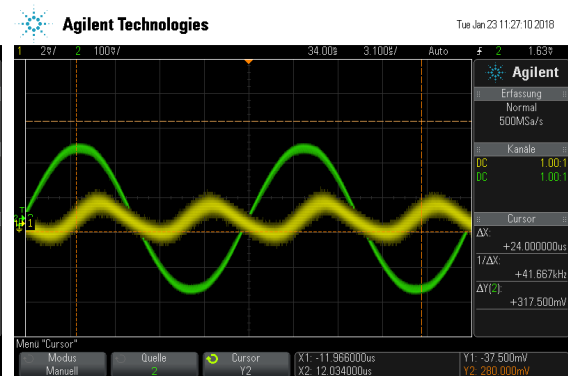


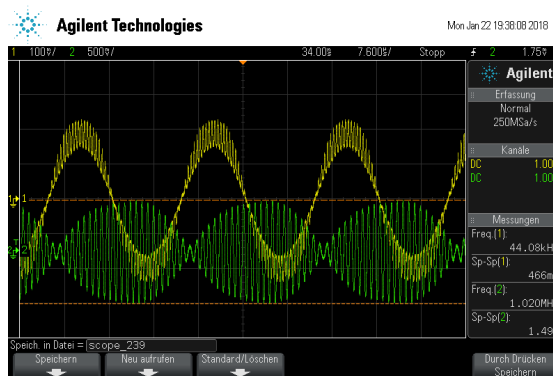
Abbildung 17: Amplituden(de-)modulation - gelb das Eingangssignal, grün das amplitudenmodulierte und daraufhin demodulierte Signal



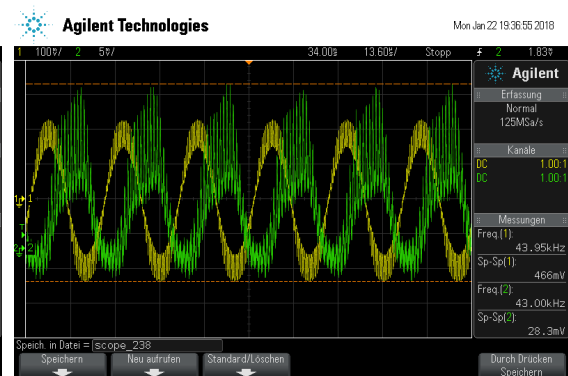
Frequenzmodulation



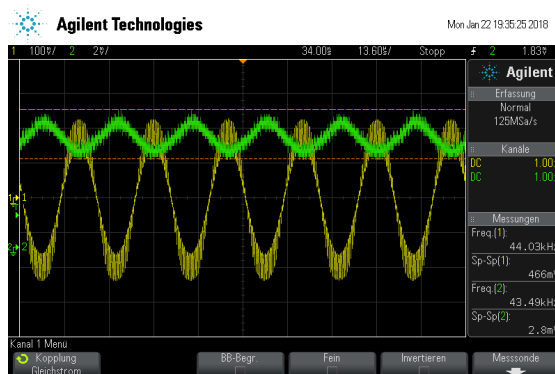
Frequenzmodulation - Detailsicht



Amplitudenmodulation - Amplitudenmodulation - moduliertes Signal in grün, Eingangssignal in gelb



Amplitudenmodulation - moduliertes und dann demoduliertes Signal in grün, Eingangssignal in gelb



Amplitudenmodulation - moduliertes und dann demoduliertes Signal nach Hochpass in grün, Eingangssignal in gelb

4 Diskussion

Alles tutti.