

HÖHERE TECHNISCHE BUNDESLEHRANSTALT HOLLABRUNN

Höhere Abteilung für Elektronik – Technische Informatik

Klasse/ Jahrgang: 5BHEL	Gruppe: 3b	Übungsleiter: Prof. Prior
Übungsnummer: 3 / 3	Übungstitel: Quadraturamplitudenmodulation	
Datum der Übung: 16. 02. 2016	Teilnehmer: Fleischmann, Dorner, Mötz, Oberhamberger, Nemecek	
Datum der Abgabe: 01. 03. 2016	Schriftführer: Mötz Florian	Unterschrift:

	Beurteilung
Aufgabenstellung	
Dokumentation	
Messschaltungen	
Messtabellen	
Berechnungen	
Programmlistings	
Auswertung	
Diagramme	
Berechnungen	
Simulationen	
Schlussfolgerungen	
Kommentare	
Inventarliste	
Messprotokoll	
Form	
Summe	

Allgemeiner Teil

Titel der Übung: Quadraturamplitudenmodulation

Übungsnummer: 3 / 3

Übungsplatz: T4

Datum der Übung: 16. 02. 2016

Klasse: 5BHEL

Schriftführer: Mötz Florian

Übungsteilnehmer: Fleischmann Raphael
Dorner Fabian
Oberhamberger Christoph
Nemecek Thomas

Inhaltsverzeichnis

1.	Quadraturamplitudenmodulator	4
1.1	Theoretische Grundlagen	4
1.2	Schaltung	4
1.3	Schaltungsbeschreibung.....	5
1.4	OPV Verstärker-Schaltung	5
1.4.1	Schaltung	5
1.4.2	Schaltungsbeschreibung.....	6
1.5	Berechnung Tiefpass	6
1.6	Bauteile.....	6
1.6.1	Modulator.....	6
1.6.2	Demodulator	7
1.6.3	Splitter	7
2.	Symbolgenerator	7
2.1	FPGA	7
2.2	DAC	7
3.	Aufbau Modulator	8
3.1	Frequenzgenerator	9
4.	Messung Konstellationsdiagramm Sendeseitig.....	9
5.	Aufbau Demodulator	10
6.	Messung Trägerleistung	10
7.	Messung Konstellationsdiagramm Empfangsseitig.....	11
8.	Erkenntnisse	12
9.	Inventarliste.....	13
10.	Messprotokoll.....	14

1. Quadraturamplitudenmodulator

1.1 Theoretische Grundlagen

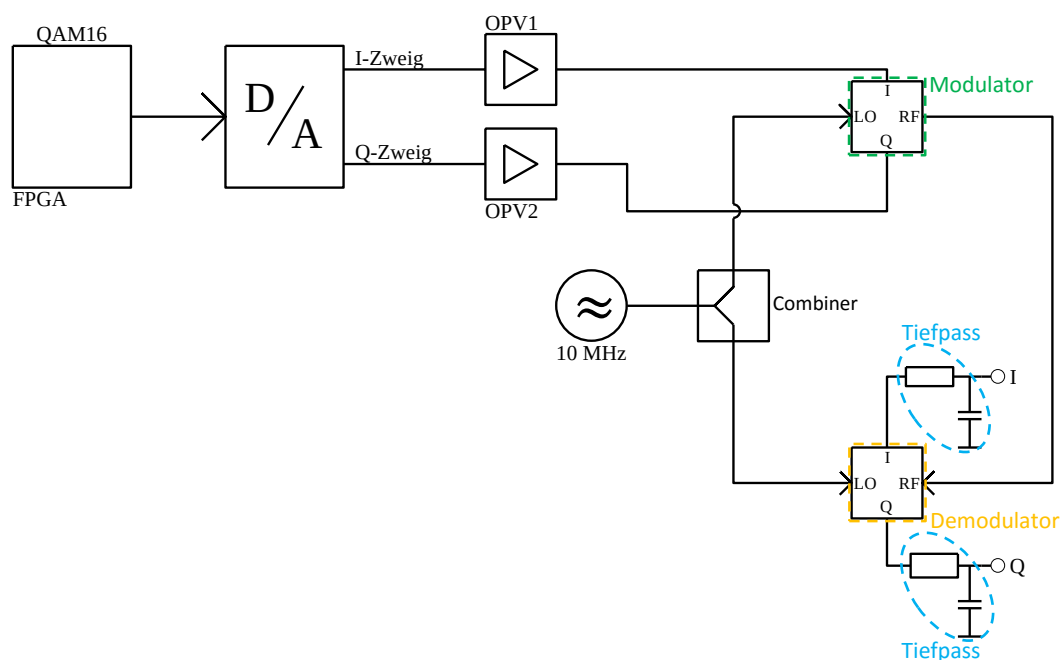
Die Quadraturamplitudenmodulation (QAM) ist ein Modulationsverfahren, das die Amplitudenmodulation und die Phasenmodulation kombiniert. Dabei wird das Trägersignal zweifach verwendet: einmal ohne Phasenverschiebung und einmal mit einer Phasenverschiebung von 90° . Auf diese Trägersignale werden zwei unterschiedliche Informationstragende Signale einzeln aufmoduliert und anschließend addiert, wodurch das zu sendende Signal entsteht.

Die beiden Signalsparten werden auch als I-Zweig (In-Phase Komponente, entspricht dem Signal mit dem originalen Trägersignal ohne Phasenverschiebung) und Q-Zweig (Quadratur Komponente, entspricht dem Signal mit dem um 90° verzögerten Trägersignal) bezeichnet.

Bei der digitalen QAM wird das zu übertragende Symbol (eine Reihe von Bits) über einen seriell-parallel Wandler zu zwei zusammengehörigen Symbolen, welche jeweils aus mehreren Bit bestehen, gewandelt. Das digitale Symbol wird anschließend durch die Symbolformung in einen dem digitalen Symbol entsprechenden Spannungswert umgewandelt, welches später als Signal für den entsprechenden Zweig gilt.

Bei der Demodulation wird der Spannungswert nach der Demodulation durch einen Entscheider dem entsprechenden Spannungswert des sendeseitigen Impulsformers zugewiesen und dadurch die digitale Bitfolge dekodiert. Die beiden digitalen Symbole werden durch einen parallel-seriell Wandler wieder zu einer Reihe von Bits gewandelt, wie sie Sendeseitig in den Quadraturamplitudenmodulator eingespeist worden sind.

1.2 Schaltung



1.3 Schaltungsbeschreibung

Das FPGA-Board generiert zufällige Symbole mit QAM16 Symbolen, welches aus 4 Bit pro Symbol besteht wodurch 2 Bit pro Zweig (I- und Q-Zweig) zu übertragen sind.

Der D/A-Wandler, welcher aus dem Pmod_DA2-Modul des Basys Boards besteht, wird in dieser Schaltung als Impulsformer verwendet, da er die digitalen Symbole der Zweige in je einen Spannungswert umformt.

Die nachgeschaltete OPV-Verstärkerschaltung, welche im Folgenden noch spezifiziert wird, behandelt zum einen die Problematik, dass der Digital-Analog-Wandler nur positive Spannungen unterstützt und deshalb das vorhandene Signal zur Achse um $\hat{U}/2$ verschoben werden muss. Zum anderen müssen alle Signale, die am Modulator anliegen, einen Leitungswiderstand von 50 Ω aufweisen, was auf die Signale des Analog-Digital-Wandlers nicht zutrifft.

Der Signalgenerator generiert ein Signal von 10 MHz, welches als Trägersignal verwendet wird.

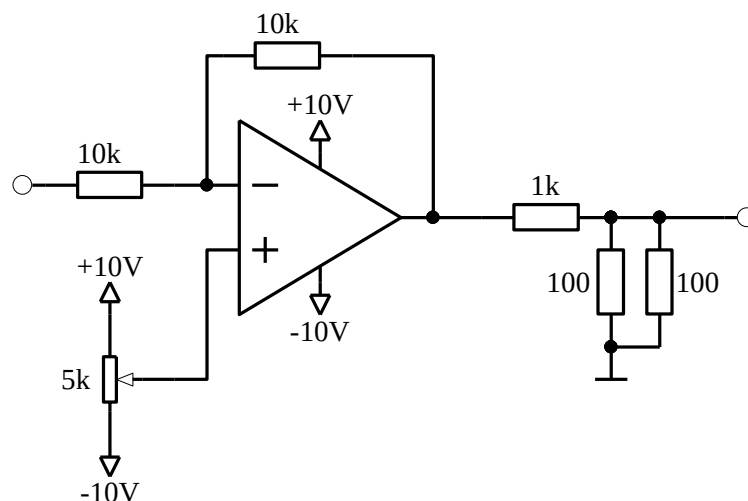
Der Splitter teilt das vom Signalgenerator kommende Signal mit einem Wellenwiderstand von 50 Ω in zwei Signale mit der gleichen Frequenz mit ebenfalls 50 Ω Wellenwiderstand auf. Ohne diesen Splitter würde der Wellenwiderstand von 50 Ω nicht mehr vorhanden sein. Zu beachten ist, dass der Splitter das Signal um 3 dB verringert.

Der Modulator ist ein integrierter Quadraturamplitudenmodulator, welcher sich das um 90° verschobene Trägersignal selbst erzeugt. Weiters mischt er die Trägersignale mit dem Inphase- und dem Quadratur-Zweig und addiert sie anschließend, wodurch am RF-Ausgang das modulierte Signal abgenommen werden kann.

Der Demodulator demoduliert das modulierte Signal mit der Trägerfrequenz LO und generiert sich, wie der Modulator, das um 90° phasenverschobene Signal selbst. Am I bzw. Q Ausgang des Demodulators liegen die ursprünglichen Symbole an. An den Ausgängen des Demodulators wurden Tiefpässe angeschlossen, um etwaige Störungen des Demodulators von den Symbolen zu entfernen.

1.4 OPV Verstärker-Schaltung

1.4.1 Schaltung



1.4.2 Schaltungsbeschreibung

Beim OPV handelt es sich um einen TL081.

Der OPV wurde mit zwei 10 kΩ Widerständen beschalten, um eine Spannungsverstärkung von 1 zu erhalten. Weiters wurde ein 5 kΩ Potentiometer an den nicht invertierenden Eingang des OPVs geschaltet, dessen Spannung von -10V bis +10V reicht. Über dieses Potentiometer wurde der Offset der OPV Schaltung eingestellt, welche den Offset des Analog-Digital-Wandlers auslöscht.

Am Ausgang der OPV Schaltung wurde ein Widerstand mit 1 kΩ seriell und eine Impedanz von 50 Ω parallel geschaltet (die 50 Ω wurden mittels 2 parallel geschalteten 100 Ω Widerständen realisiert). Dadurch wird ein Leitungswiderstand von 50 Ω am Ausgang der Schaltung erreicht.

1.5 Berechnung Tiefpass

Die Tiefpässe am Ausgang des Demodulators wurden zuerst mit einer Grenzfrequenz von 25 kHz dimensioniert. Der Übungsleiter wies uns darauf hin, dass dieser Tiefpass zu „scharf“ auf die maximale Nutzsignalfrequenz von 19,2 kHz dimensioniert wurde, da dieser Tiefpass lediglich zur Beseitigung der hochfrequenten Störungen ab dem Bereich der Trägerfrequenz von 10 MHz dienen soll. Deshalb wurde der Tiefpass anschließend auf eine Grenzfrequenz von 50 kHz dimensioniert:

$$R * C = \frac{1}{2\pi * f_g} = \frac{1}{2\pi * 50 \text{ kHz}} = 3,183 * 10^{-6}$$

Dadurch wurde das Verhältnis R-C definiert. Nachdem der Kondensator mit einer Kapazität von $C = 10 \mu F$ angenommen wurde, ergibt sich folgender Widerstand:

$$R = \frac{3,183 * 10^{-6}}{10 \mu F} = 318 \Omega \rightarrow 330 \Omega \text{ (E12 Reihe)}$$

1.6 Bauteile

Die folgenden Bauteile wurden in der Schaltung verwendet:

1.6.1 Modulator

Als Modulator wurde vom Übungsleiter der *I&Q Modulator ZFMIQ-10M* der Firma *Mini-Circuits* bereitgestellt. Alle Anschlüsse des Modulators sind als koaxiale SMA ausgeführt, welche einen Leitungswiderstand von 50 Ω besitzen.

Laut Datenblatt sollte das Trägersignal (LO) zwischen 9 MHz und 11 MHz liegen, die maximale Leistung, die am Eingang des LO Anschlusses anliegen darf, beträgt 50 mW, der maximale Strom am I- bzw. Q-Zweig beträgt 40 mA.



1.6.2 Demodulator

Als Demodulator wurde vom Übungsleiter der *I&Q Demodulator ZFMIQ-10D* der Firma *Mini-Circuits* bereitgestellt. Alle Anschlüsse des Modulators sind als koaxiale SMA ausgeführt, welche einen Leitungswiderstand von $50\ \Omega$ besitzen.

Laut Datenblatt sollte das Trägersignal (LO) zwischen 9 MHz und 11 MHz liegen, die maximale Leistung, die am Eingang des LO bzw. am RF Anschluss anliegen darf, beträgt 50 mW.



1.6.3 Splitter

Als Splitter wurde vom Übungsleiter der *Power Splitter/Combiner Z99SC-62-ST* der Firma *Mini-Circuits* bereitgestellt. Alle Anschlüsse des Modulators sind als koaxiale SMA ausgeführt, welche einen Leitungswiderstand von $50\ \Omega$ besitzen.

Laut Datenblatt kann der Splitter zwischen 500 kHz und 600 MHz eingesetzt werden. Außerdem darf das eingehende Signal

Zu beachten ist, dass bei dem Splitten des Signals in 2 Leitungen ein Verlust der Signalleistung von 3dB zu erwarten ist.



2. Symbolgenerator

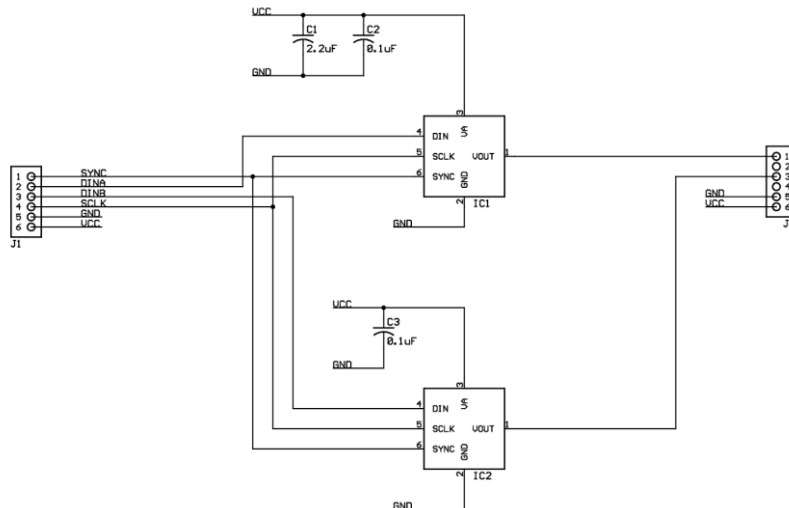
2.1 FPGA

Als Symbolgenerator wurde das FPGA-Board Basys2 der Firma *Digilent* verwendet. Auf diesem war bereits die Software des Symbolgenerators vorhanden. Diese Software ist ein Projekt aus dem Unterricht der 4. Klasse HWE, welches vor einigen Jahren gefertigt wurde.

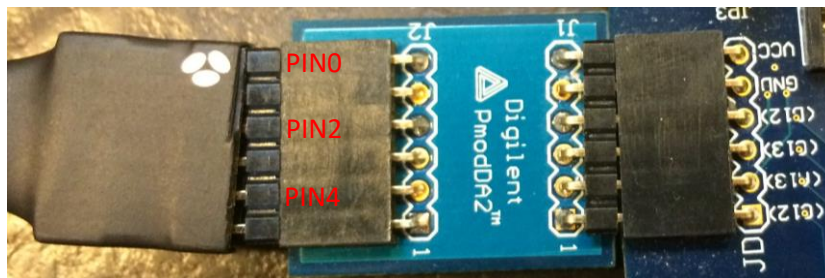
2.2 DAC

Als DAC wurde das **Pmod_DA2** Modul der Firma *Digilent* verwendet, welches den DA-Wandler **DAC121S101** benützt. Dieses Modul bietet zwei 12-Bit DACs, welche für den I bzw. Q-Zweig zur Impulsformung verwendet wurden. Zu beachten ist, dass der DAC nur positive Spannungen ausgeben kann, wodurch die OPV-Schaltung mit Offsetspannung zur Eliminierung der Offsetspannung des DACs benutzt wurde.

Die folgende Schaltung zeigt den Aufbau des Moduls:



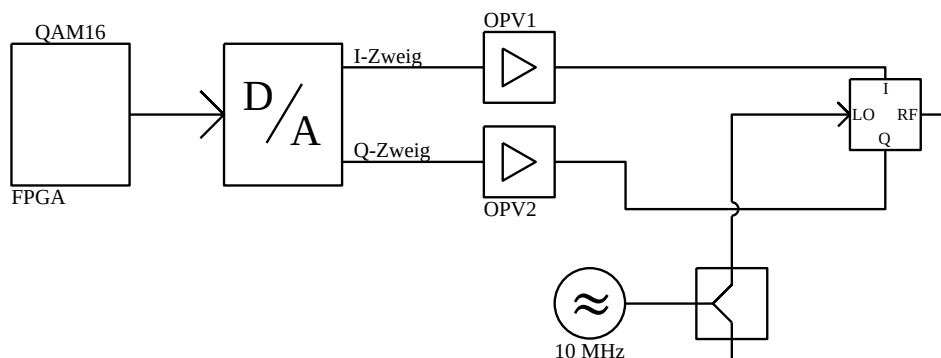
Das Modul wurde an der **D-Port** des FPGA-Boards angeschlossen:



Der Ausgangsport des DAC-Moduls ist so beschaltet, dass am **PIN0** das Ausgangssignal des ersten DAC-Channels anliegt, am **PIN2** liegt das Ausgangssignal des zweiten Channels an und **PIN4** ist mit der Masse des Boards verbunden.

3. Aufbau Modulator

Im ersten Schritt wurde die Schaltung bis zum Modulator entsprechend dem Schaltplan auf einem Steckbrett mit inkludierter Spannungsversorgung aufgebaut. Dabei wurden als Verbindungskabel zu dem Modulator/Demodulator und deren Verbindungen zum Signalgenerator ausschließlich mittels Koaxialkabel verkabelt, was im Hochfrequenzbereich notwendig ist.



Zu beachten ist, dass ab den OPVs alle Verbindungen mittels Koaxialkabel ausgeführt wurden.

Während nur der erste Teil (Modulator) der Schaltung in Betrieb war, wurde der 2. Ausgang des Splitters mit einem 50 Ω Abschluss abgeschlossen.

3.1 Frequenzgenerator

Nach dem Aufbau mussten die diversen Spannungs- und Signalquellen konfiguriert werden. Beim Konfigurieren des Frequenzgenerators wies uns der Übungsleiter daraufhin, dass bei 10 MHz ein HF-Signalgenerator verwendet werden sollte, auch wenn der bis dahin aufgebaute NF-Generator diese Frequenz ausgeben kann.

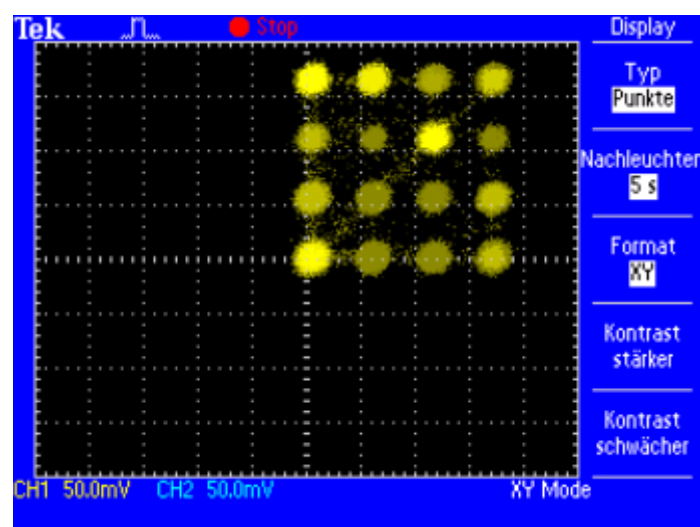
Beim HF-Generator wurde eine Frequenz von 10 MHz und eine Signalleistung von 15 dBm eingestellt. Als Indikator für die eingestellte Signalleistung diente die maximale Leistung am Eingang des Modulators, welche 50 mW entspricht. Das Signal wird zusätzlich durch den Splitter um 3dB geschwächt, und durch Hinzufügen eines Spielraumes zu den 50 mW wurden 15 dBm (=32 mW) gewählt.

4. Messung Konstellationsdiagramm Sendeseitig

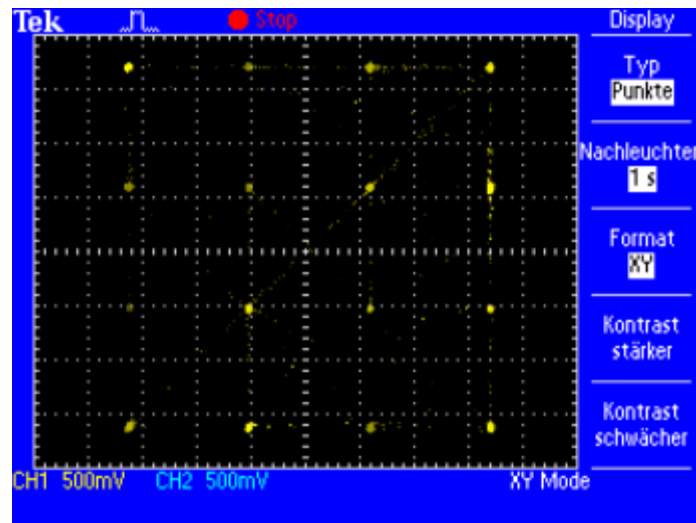
Um das Konstellationsdiagramm mit einem Oszilloskop zu messen, muss es in den X-Y-Betrieb geschaltet werden und die beiden Zweige (I & Q) müssen am Oszilloskop angeschlossen werden.

Da für einen Zeitwert nur ein X und ein Y-Wert vorhanden sein können, würde am Oszillogramm nur ein Symbol aufscheinen. Um alle Symbole erkennbar zu machen, wurde beim Oszilloskop das Nachleuchten aktiviert.

Das Konstellationsdiagramm wurde zuerst vor den OPV-Schaltungen abgenommen, wobei dabei nur der erste Quadrant des Oszillogramms (beide Zweige positive) beleuchtet wird:



Anschließend wurde das Konstellationsdiagramm nach den OPV-Schaltungen abgegriffen und dabei wurden die Potentiometer so lange verstellt, bis das Konstellationsdiagramm mittig am Oszillogramm lag:



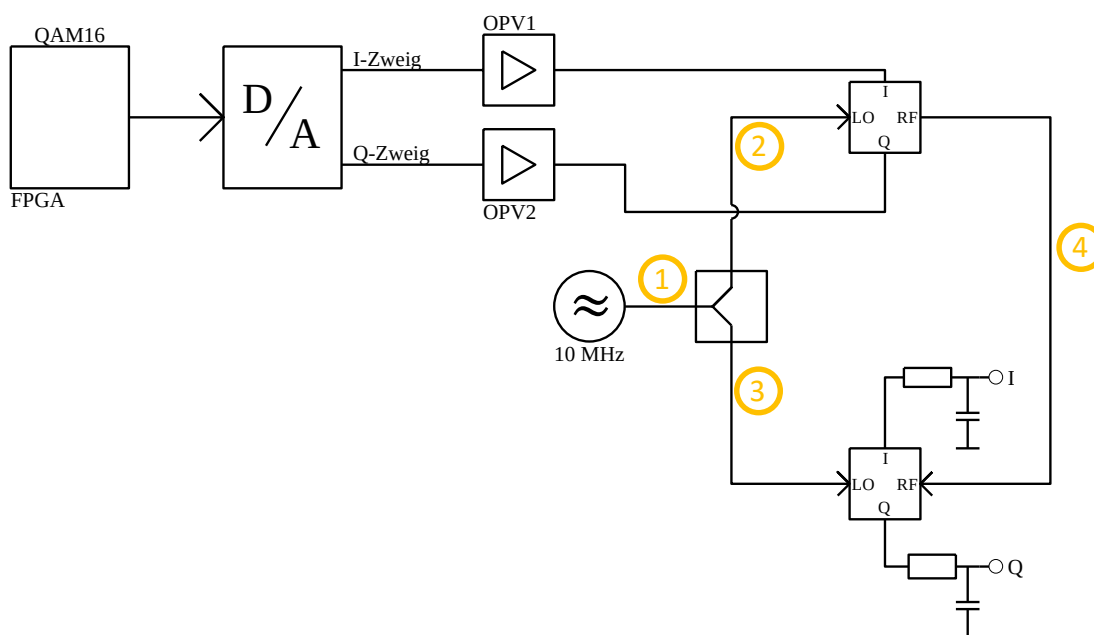
5. Aufbau Demodulator

Nachdem die Funktion des Modulators erfolgreich getestet wurde, wurde der Demodulator in die Schaltung mit aufgenommen. Dabei wurde der Demodulator wie in der originalen Schaltskizze verbunden.

6. Messung Trägerleistung

Anschließend sollte die Leistung des Trägersignals (10 MHz) an mehreren Punkten der Schaltung gemessen werden. Zur Messung der Signalleistung wurde ein Netzwerkanalysator verwendet.

Folgende Punkte der Schaltung sollten gemessen werden:



Die Messung ergab folgende Werte:

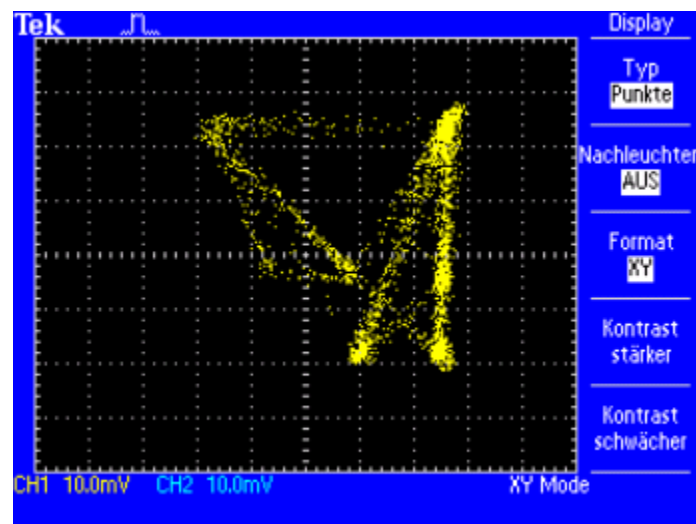
Messpunkt	Beschreibung	Leistung [dBm]
1	Ausgangssignal des Frequenzgenerators	13,53
2	Splitter Ausgang Nr. 1 (LO-Eingang Modulator)	10,4
3	Splitter Ausgang Nr. 2 (LO-Eingang Demodulator)	10,4
4	Moduliertes Signal	-94

Bemerkung: Obwohl am Frequenzgenerator 15 dBm, Ausgangsleistung eingestellt wurden, sind durch Verluste im Kabel, im Stecker und der fehlenden Kalibration des Netzwerkanalysators nur 13,53 dBm gemessen worden.

7. Messung Konstellationsdiagramm Empfangsseitig

Nun sollte empfangsseitig nach dem Demodulator an dem I- und Q-Zweig das Konstellationsdiagramm gemessen werden. Dazu wurde ein zweites Oszilloskop verwendet, um weiterhin die Funktionalität des Modulators bestätigen zu können.

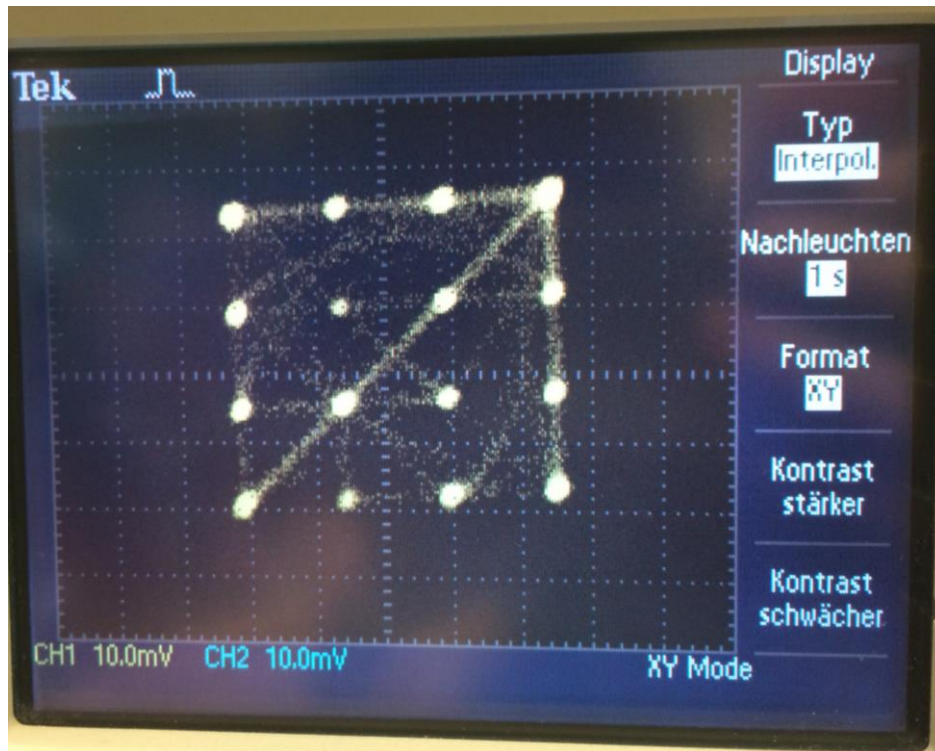
Durch diverse Einflussgrößen und vor allem dadurch, dass die Masse am Steckbrett für den Versuchsaufbau von Modulator und Demodulator verbunden waren, konnte empfangsseitig nur ein sehr schlechtes, kaum rekonstruierbares Konstellationsdiagramm aufgenommen werden:



Eine Lösung dieses Problems wäre, den Modulator und Demodulator auf 2 verschiedenen Steckbrettern aufzubauen. Durch Zeitmangel wurde dieser Umbau nicht mehr vollzogen.

Der Übungsleiter wies uns anschließend darauf hin, dass ein direkt verdrahteter Tiefpass an jedem Zweig nach dem Demodulator die auftretenden Störungen minimieren könnte. Die Tiefpässe, welche vom Übungsleiter an einem BNC-Stecker mit bedrahteten Bauteilen angelötet waren, wurden an die Ausgänge des Demodulators geschaltet und die Tastköpfe des Oszilloskops wurden nach den

Tiefpässen gehängt. Anschließend konnte ein rekonstruierbares Konstellationsdiagramm aufgenommen werden:



8. Erkenntnisse

In der Übung wurden die in der Theorie erlernten Grundlagen über die Quadraturamplitudenmodulation praktisch angewendet und dadurch gefestigt.

Weiters wurde die auftretenden Fehler durch einen räumlich engen Aufbau von Modulator und Demodulator erkannt.

Außerdem wurde erkannt, dass vor allem in Hochfrequenten Schaltungen die Masse eine große Rolle spielt und auf keinen Fall Masseschleifen aufgebaut werden sollten.

9. Inventarliste

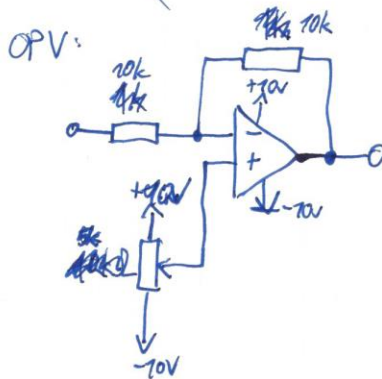
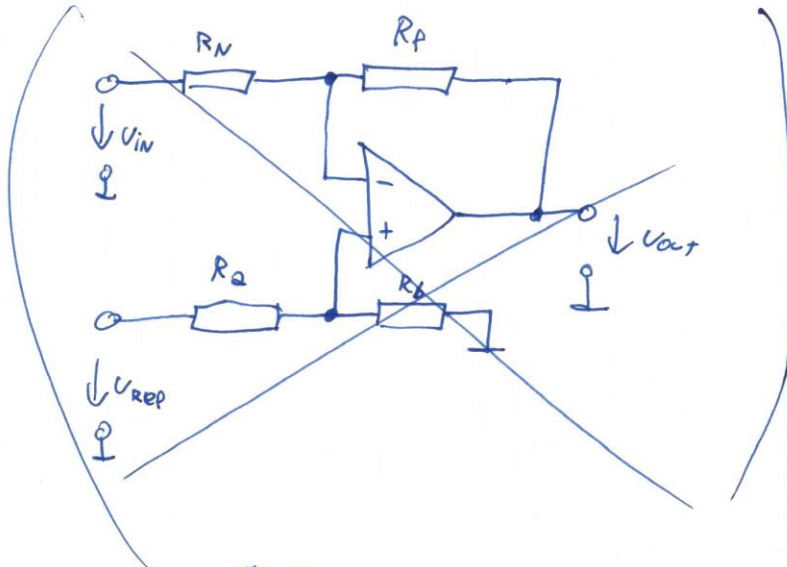
10. Messprotokoll

1. FPGA in Betrieb nehmen, OPV-Schaltung dimensionieren

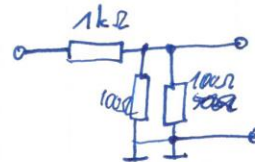
Programm schon auf Basyx-Board

Anschluss $\rightarrow$ Bild auf Monitor

Berechnung OPV (wikipedia Pegelumsatzer):



50 Ω :



$$100\Omega \parallel 100\Omega = 50\Omega$$

TP:

$$f_g = \frac{1}{2\pi RC} = 25\text{ kHz}$$

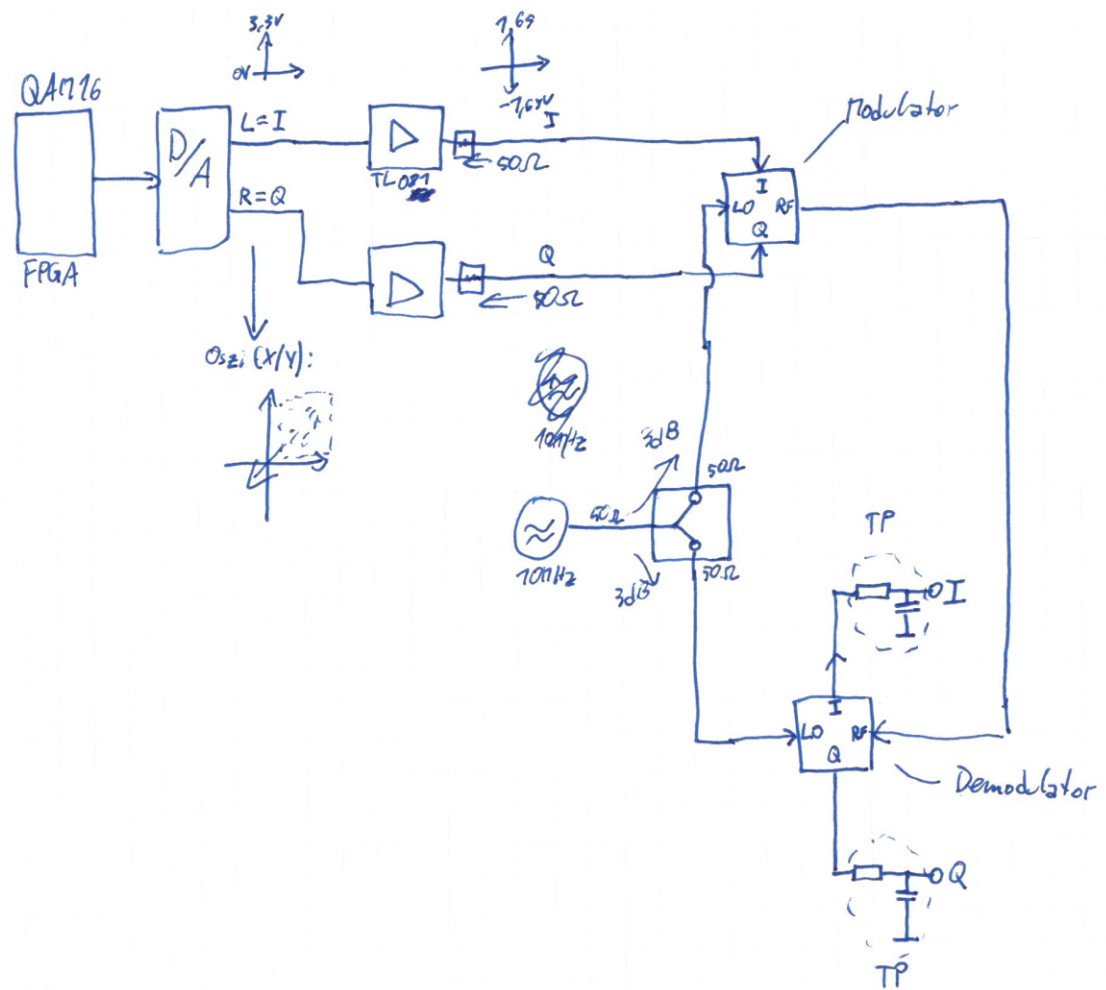
$$R \cdot C = \frac{1}{2\pi \cdot 25\text{ kHz}} = 6,366\text{ ns}$$

$$10\text{ nF}: 636\Omega \rightarrow \underline{\underline{680\Omega}}$$

$$R \cdot C = \frac{1}{2\pi \cdot 50\text{ kHz}} = 3,183 \cdot 10^{-6}$$

$$10\text{ nF}: 318\Omega \rightarrow \underline{\underline{330\Omega}}$$

Tiefpass
zu "ong"



T4

1544 Frequenzgenerator

0302 Oszilloskop

0534 Steckbrett mit Versorgung

1033 Werkzeugbox (Schraubenzieher zum Poti einstellen)

1656 HF Generator

1286 ~~Spot~~ Nitrate analyzer

0755 2. Osz

Demodulator: Mini-Circuits
ZF116-10D
9-11 MHz

Modulator: Mini-Circuits
2FMA-10M
9-11/72

Splitter : Mini-Circuits
Z99 SC-62-S+
0.5-600 MHz

modulator: LO-Power max 50mW
 I_{BQ}-Current max 40mA

FPGA:

C12	CH	(I)
A13		
C13	CH	(Q)
D12		
GND	GND	
VCC		

Oszibild 1: vor 1k-Wid, nach OPV, verschiebung nicht vorhanden
 (sollte vorhanden sein)

→ steckbrett war abgedreht

Oszibild 2: vor 1k-Wid, nach OPV, verschiebung (Offset) eingestellt

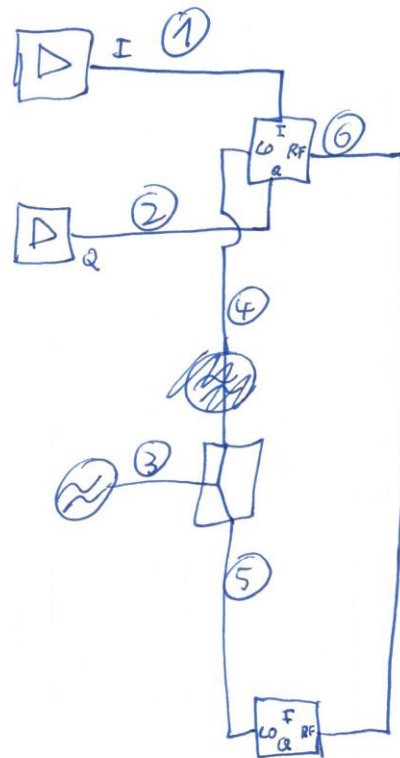
Oszibild 3: — " —

Generator (50Ω!) ⇒ NF-Generator, kann aber 10MHz auch

→ dBmlich + direkt einstellbar → mit HF Gen. austauschen
 (nicht gefunden)

HF-Generator (Rhodak Schwarz: 10MHz, 128dBm 15dBm (= 32mW)
 (nach Splitter 16mW)

OPV-Verstärker ⇒ invertierend!



→ Normale Labor-BNC-Stecker für HF ungeeignet, trotzdem verwendet

(3) 13,53 dBm (am Generator: 15 dBm)
→ Verluste im Kabel, Stecker, ...



(5) (Splitter Ausgang Nr. 2): 10,4 dBm



(4) (Splitter Ausgang Nr. 1) 10,4 dBm

(6) ~~Nicht wirklich messbar~~ -94 dBm

2. Oszi: Empfangsseitiges Konstellationsdiagramm

Zuerst ein Zweig nicht gemessen (im Zeitbereich getestet), Kontaktieren

Oszibild 4: Masse verschliff

Empfänger wirkt (durch Masse?) auf Sender zurück $\rightarrow$ schlechtes Signal (empfangsseitig, sendeseitig wird beeinflusst)

$\rightarrow$ Masseproblem, zu eng auf Steckbrett Sender & Empfänger aufgebaut.

(Handybild)

Versuch: Tiefpass (2x) direkt an Ausgang von Demodulator an Q & I-Zweig

(Am Connector angeschlossen mit I-Stück, von Übungsleiter)

$\rightarrow$ Am Tiefpass Osz. anhängen

Oszibild 5: Funktioniert

$\rightarrow$ keine Masseverbindung von Sender zu Empfangsseite

$\rightarrow$ Oszibild nicht vollständig (Strom davor abgedreht worden)