

GPET Versuch 3

Tim Luchterhand, Paul Nykiel

2. Mai 2017

4.1 Messung harmonischer Signale

4.1.1 Einstellung des Oszilloskops

Einführung Melden Sie sich zunächst mit ihrem kiz-Account im webvpn an und starten sie die GUI. Verbinden Sie anschließend den Funktionsgenerator des Oszilloskops über ein BNC Kabel mit Kanal 1 des Oszilloskops. Stellen Sie in der GUI für den Funktionsgenerator ein Sinussignal der Frequenz 697 Hz und der Amplitude 1 V ein. Verwenden Sie für die folgenden Messungen lediglich die im Oszilloskop integrierten Messfunktionen.

4.1.1.1 Überprüfen der Funktion

Aufgabe Überprüfen Sie, ob die von Ihnen gesetzte Einstellungen für den Funktionsgenerator der auf dem Schirm des Oszilloskops dargestellten Funktion entsprechen.

Protokoll

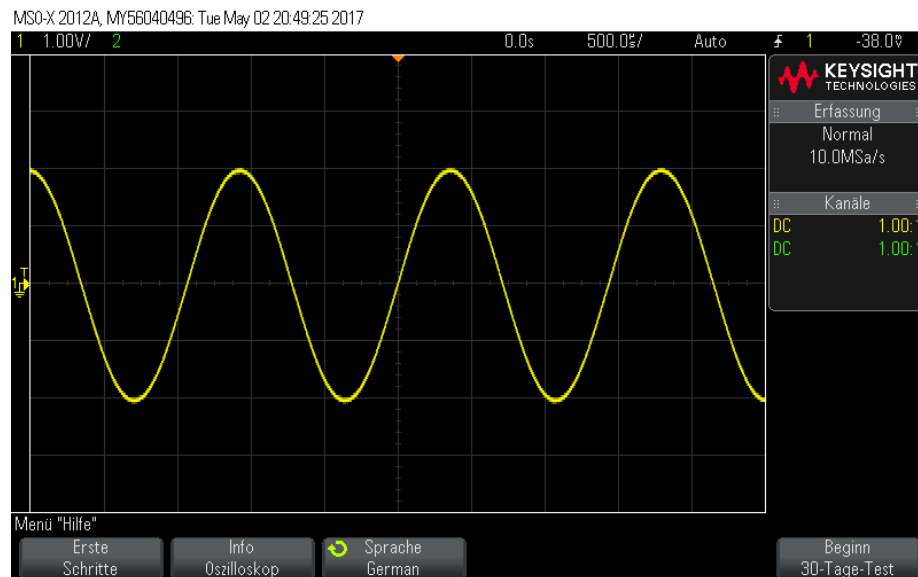


Abbildung 4.1: Oszilloskop Screenshot

Das eingestellte Sinus-Signal wird wie erwartet korrekt dargestellt. Die Amplitude beträgt ca. 1V und die Frequenz ca. 697Hz.

4.1.1.2 Measure-Funktion

Aufgabe Geben Sie die Peak-to-Peak Spannung, den Effektivwert, den Offset und die Frequenz des Signals an. Verwenden Sie dazu die „Meas.“-Funktion und die Cursor des Oszilloskops.

Protokoll

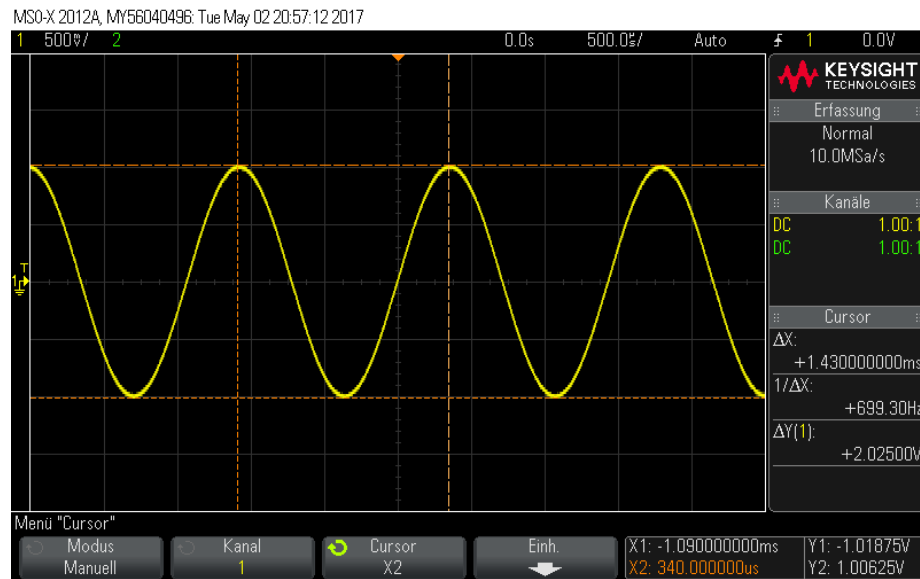


Abbildung 4.2: Messung mit Cursor

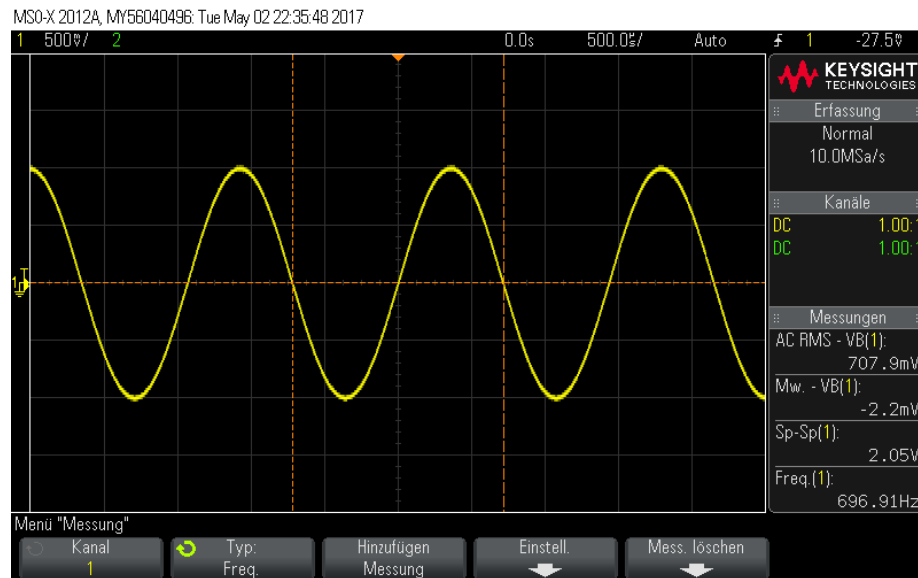


Abbildung 4.3: Messung mit Measure

	Sollwert	Cursorwert	Measurewert
Peak-to-Peak	2V	2.025V	2.05V
Effektivwert	$\frac{1}{\sqrt{2}} \text{V} \approx 0.71 \text{V}$		707.9mV
Offset	0V		-2.2mV
Frequenz	697Hz	699.3Hz	696.91Hz

Der Effektivwert und das Offset können mit Cursor nicht ohne weiteres durch eine Differenz gemessen werden.

4.1.1.3 Plot

Aufgabe Stellen Sie die Skalierung der Anzeige über die GUI so ein, dass 5–8 Perioden des Signals angezeigt werden und geben Sie die Amplitude des Signals an. Speichern Sie den Plot und fügen Sie ihn in das Protokoll ein.

Protokoll

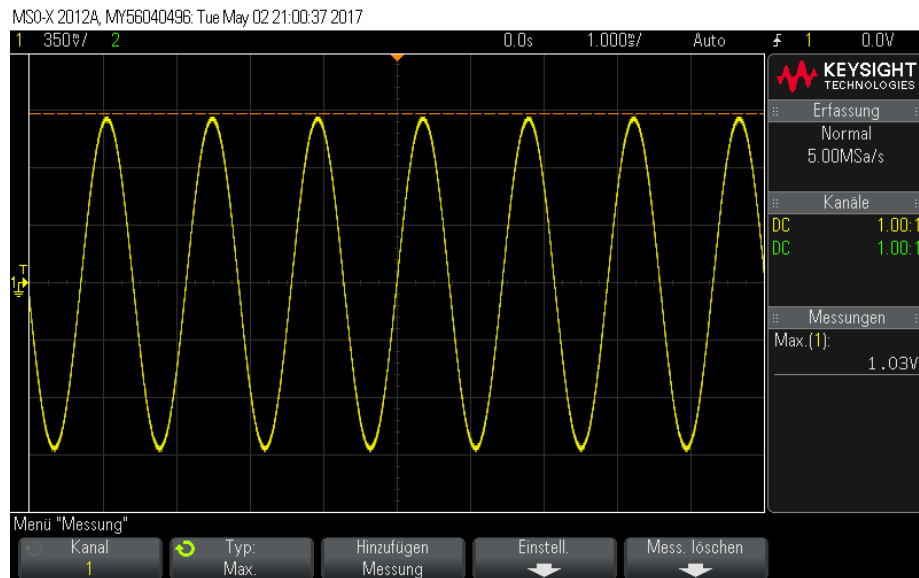


Abbildung 4.4: Messung der Amplitude

Die Amplitude des Signals beträgt:

$$\hat{U} = 1.03\text{V}$$

4.1.2 Fourier-Transformation

Einführung Das Oszilloskop verfügt intern über die Möglichkeit die Fourier Transformatierte des dargestellten Zeitsignals zu berechnen. Diese soll im Folgenden verwendet werden. Die Auswahl der FFT-Funktion am Oszilloskop erfolgt über „Math“ → „Operator“ → „FFT“. Anschließend müssen Spanne und Mittenfrequenz entsprechend des darzustellenden Frequenzbereichs gewählt werden. Unter „Mehr FFT“ lassen sich weitere Einstellungen zur FFT vornehmen: die Fensterfunktion und die vertikale Einheit. Mit Hilfe einer Fensterfunktion lässt sich der sogenannte „Leakage effect“ vermindern. Dieser tritt in der digitalen Signalverarbeitung auf, wenn Blocklängen des zu verarbeitenden Signals endlich sind. Hier soll das „Hanning-Fenster“ als Voreinstellung beibehalten werden. Für die vertikale Skalierung gibt es die beiden Möglichkeiten „Decibel“ und „V_{RMS}“. In der Einstellung „Decibel“ wird die vertikale Achse logarithmisch aufgetragen, in der Einstellung „V_{RMS}“ linear. Die Rauschleistung ist in diesem Versuch im Allgemeinen sehr viel kleiner als die Signalleistung. Deshalb ist in der linearen Auftragung mit dem bloßen Auge kein Rauschen sichtbar. Aufgrund dessen wählt man für Spektren in der Regel auch die logarithmische Darstellung, welche im Folgenden auch immer gewählt werden sollte. Die verti-

kale Einstellung lässt sich nicht über die GUI ändern, diese muss immer händisch am Oszilloskop eingestellt werden.

4.1.2.1 FFT mit dem Oszilloskop

Aufgabe Wenden Sie die im Oszilloskop integrierte FFT-Funktion auf das Zeitsignal aus Teil 1 an, um das Spektrum zu bestimmen, plotten sie dieses und geben Sie die gemessene Frequenz an. Sie können die Einstellungen zur FFT entweder direkt am Oszilloskop oder über die GUI vornehmen. Beachten Sie dabei, dass sie den dargestellten Frequenzbereich dem Signal entsprechend sinnvoll wählen. Erfassen Sie das Spektrum über die GUI und fügen Sie es in das Protokoll ein.

Protokoll

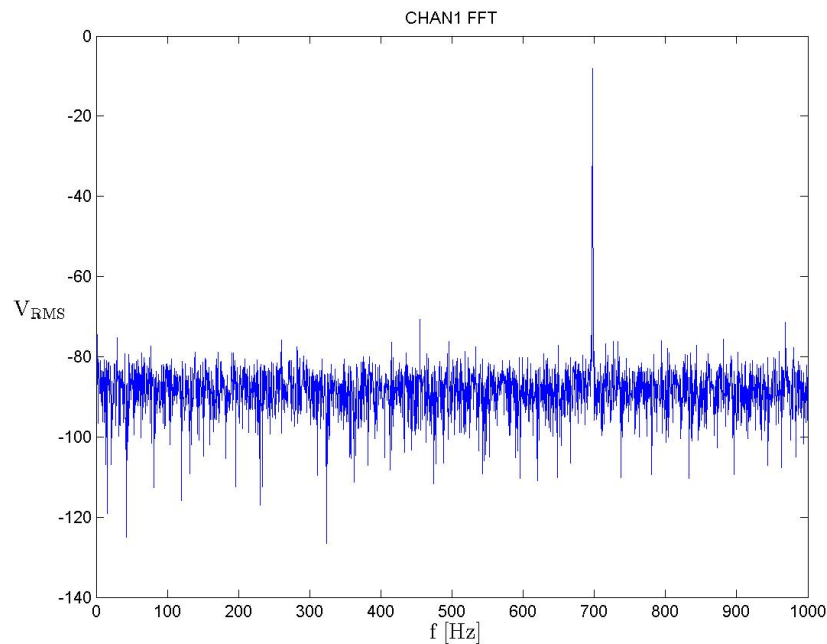


Abbildung 4.5: GUI Screenshot des Frequenzbereichs

Die mit durch die FFT bestimmte Frequenz $f_{\text{mess}} \approx 700\text{Hz}$ weicht nur leicht von der erwarteten Frequenz $f_{\text{sol}} = 697\text{Hz}$ ab.

4.1.2.2 Akustische Ausgabe

Aufgabe Das Signal lässt sich am PC akustisch ausgeben. Dazu muss das Zeitsignal mit der GUI aufgenommen werden. Wählen Sie dazu im Bereich Measurements Type „Wave“ und den entsprechenden Kanal. Über den Button „Start“ wird die Messung gestartet. Anschließend kann das Signal in der GUI im Bereich „Data“ ausgewählt werden und durch drücken des Button „Sound“ abgespielt werden. Achten Sie darauf, dass die Lautstärke in Windows nicht zu leise oder ganz abgeschaltet ist. Hören Sie sich das Signal an und beschreiben Sie Ihren Höreindruck.

Protokoll

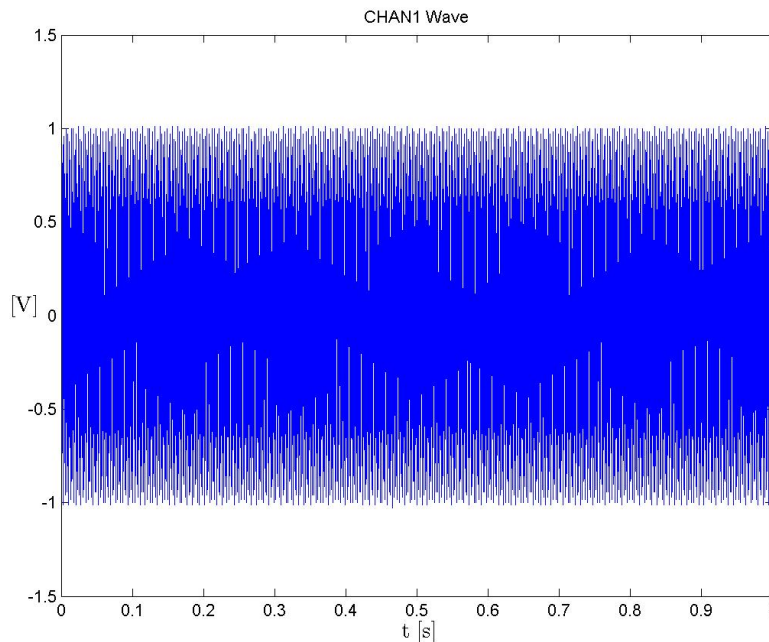


Abbildung 4.6: Aufgezeichnetes Signal

Es ist ein monotoner Sinuston mittlerer Höhe zu hören.

4.1.3 FFT vs. Gehör

Aufgabe Stellen Sie am Funktionsgenerator des Oszilloskops unter Verwendung der GUI ein Sinussignal der Frequenz 1477Hz und der Amplitude 1V und einem Offset von 100mV ein.

4.1.3.1 Plot

Aufgabe Plotten Sie das Signal in Zeit- und Frequenzbereich und geben Sie dabei die Amplitude und den Offset bzw. die gemessene Frequenz an. Wählen Sie den dargestellten Zeitabschnitt so, dass der Signalverlauf erkannt werden kann. Weshalb spielt der Offset im Frequenzbereich keine Rolle?

Protokoll

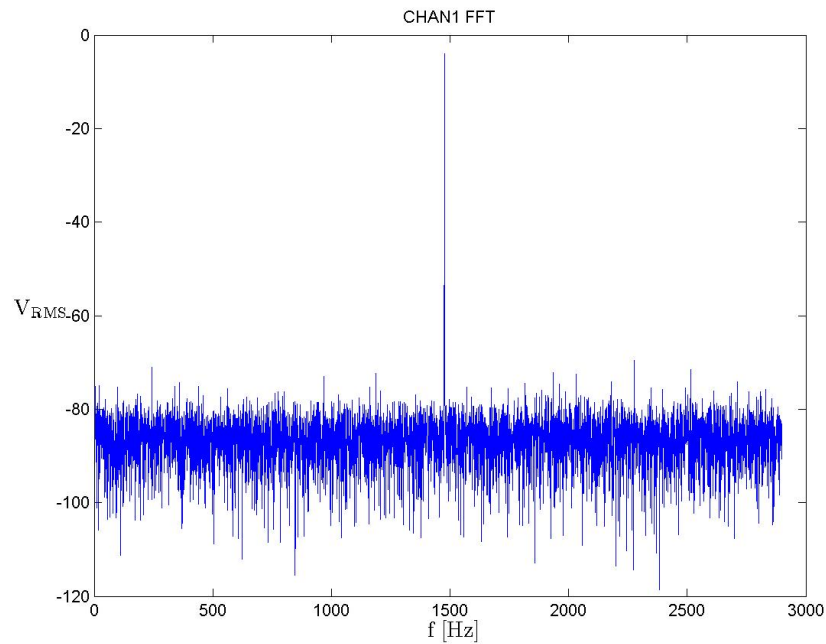


Abbildung 4.7: GUI Screenshot Frequenzbereich

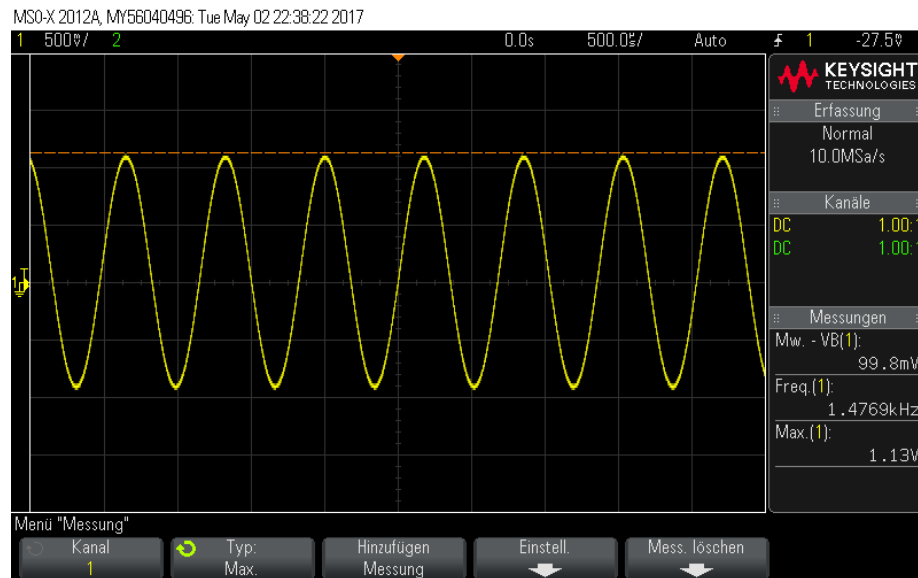


Abbildung 4.8: Screenshot Signalbereich

	Sollwert	Messwert
Amplitude	1V	1.03V
Offset	100mV	99.8mV
Frequenz	1477Hz	1476.9Hz

Das Frequenzbild zeigt nur die Amplituden der Teilfrequenzen, ein Offset ändert diese nicht.

4.1.3.2 Höreindruck

Aufgabe Hören Sie sich das Signal an und vergleichen Sie den Höreindruck mit dem zuvor abgespielten Signal.

Protokoll

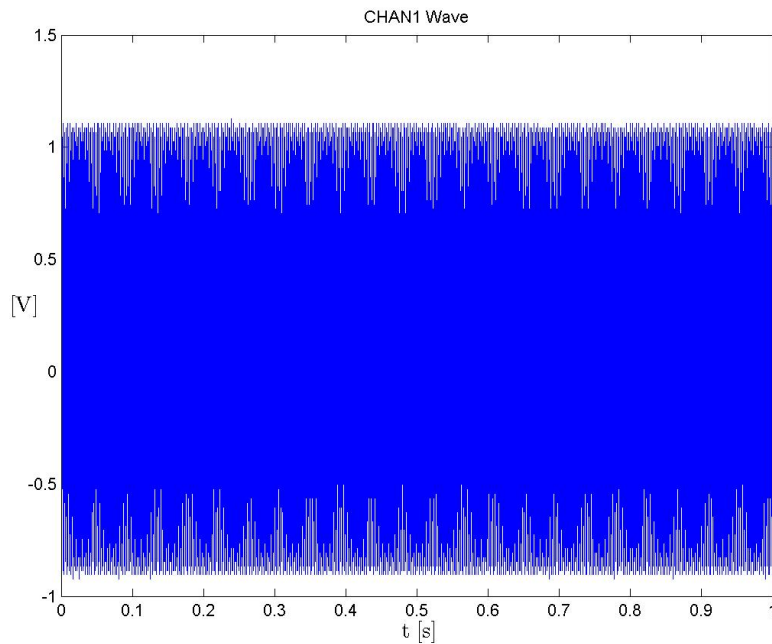


Abbildung 4.9: Aufgezeichnetes Signal

Das Ton ist, wie zu erwarten, deutlich höher als der erste Ton, weißt aber die gleichen monotonen Charakteristiken auf.

4.1.3.3 Höreindruck bei kleinen Frequenz-Differenzen

Aufgabe Stellen Sie nun ein Signal der Frequenz 1480Hz und der Amplitude 1V am Funktionsgenerator ein und hören Sie sich auch dieses Signal an. Können die beiden Signale mit Frequenzen von 1477Hz und 1480Hz akustisch voneinander unterschieden werden? Wenn nicht, weshalb ist dies nicht möglich?

Protokoll Die unterschiedlichen Signale können nicht unterschieden werden, da die Frequenzauflösung der FFT nicht fein genug ist. Dadurch werden die Signale nicht genau genug aufgenommen und klingen beim Abspielen gleich.

4.1.3.4 Auflösung

Auflösung Wie groß muss das Messintervall gewählt werden, damit diese beiden Signale mittels FFT unterschieden werden können? Wie vielen Perioden des Signals mit 1480Hz entspricht dies?

Protokoll

$$\begin{aligned}
 f_{\text{Auflösung}} &= \frac{1}{N \cdot T} \\
 T &= \frac{1}{f} \\
 f_{\text{Auflösung}} &= 3\text{Hz} \\
 \Rightarrow N &= \frac{1}{f_{\text{Auflösung}} \cdot T} = \frac{1}{3\text{Hz} \cdot \frac{1}{1480\text{Hz}}} \approx 494
 \end{aligned}$$

Um eine Frequenzauflösung von 3Hz zu erreichen, müssen mindestens 494 Perioden aufgezeichnet werden.

4.2 Messung periodischer Signale

Einführung Verbinden Sie den Eingang des externen Triggers am Oszilloskop (auf der Rückseite) und den „TTL/CMOS OUTPUT“ des externen Funktionsgenerators mit einem BNC Kabel. Bei einigen Funktionsgeneratoren muss der „SYNC Out“ gewählt werden. Stellen Sie anschließend den Trigger des Oszilloskops auf „extern“ ein. Das Oszilloskop wird nun auf das Signal des externen Frequenzgenerators getriggert. Im Folgenden werden ein Signal des externen und ein Signal des internen Funktionsgenerators über ein T-Stück addiert und auf Kanal 1 geführt. Verbinden Sie dazu den Ausgang des externen Funktionsgenerators über die eine Seite des T-Stücks mit Kanal 1 des Oszilloskops. Stellen Sie nun ein Sinussignal der Frequenz 697 Hz ein. VSS soll dabei etwa 2 V betragen. Überprüfen Sie die Amplitude des Signals auf dem Schirm des Oszilloskops. Stellen Sie am Funktionsgenerator des Oszilloskops ein Signal der Frequenz 1336 Hz, Amplitude 1 V und Offset 0 V ein. Addieren Sie die beiden Signale unter Verwendung des T-Stücks indem Sie das Ausgangssignal des Funktionsgenerators des Oszilloskops über ein BNC-Kabel auf das zweite Ende des T-Stücks geben.

4.2.0.1 Stehende Welle

Aufgabe Wieso erhält man keine stehende Welle auf dem Schirm des Oszilloskops? Weshalb spielt das bei der Berechnung der FFT keine Rolle?

Protokoll Die Messung wird durch den externen Trigger getriggert, da das zweite Signal eine andere Frequenz als das Trigger-Signal hat, ist die Phase zum ersten Signal bei jeder Messung anders und es wird kein stehendes Bild auf dem Oszilloskop abgebildet.

Die FFT zerlegt lediglich das Summensignal in die einzelnen Frequenzteile, dabei wird in immer gleichen Zeitabständen gemessen. Ein Summensignal aus mehreren Frequenzen ist deshalb unproblematisch.

4.2.0.2 Plot

Aufgabe Plotten Sie einen geeigneten Ausschnitt des Summensignals im Zeitbereich. Geben Sie den Minimal- und Maximalwert des Signals an.

Protokoll

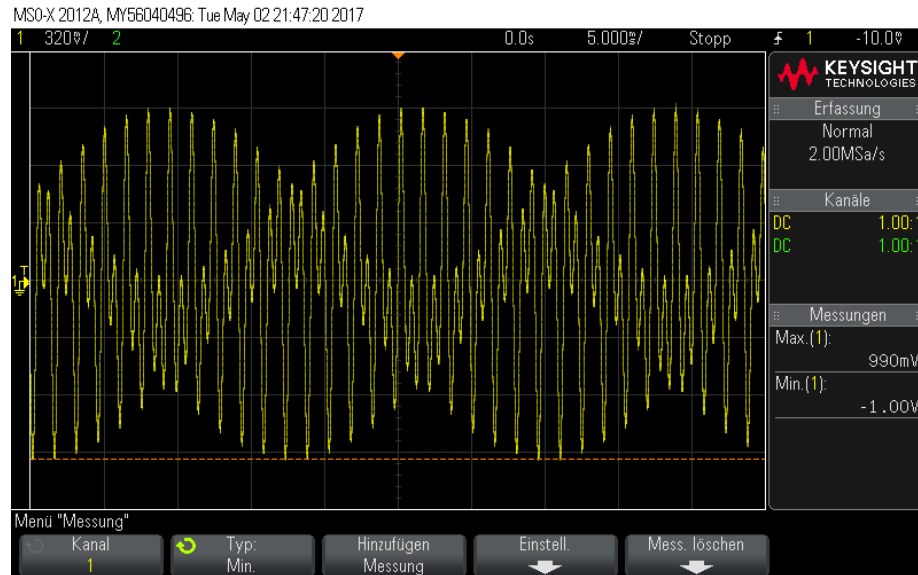


Abbildung 4.10: Summensignal im Zeitbereich

$$U_{\min} = -1.00\text{V}$$

$$U_{\max} = 990\text{mV}$$

4.2.0.3 Höreindruck

Aufgabe Hören Sie sich einen geeigneten Zeitausschnitt des Summensignals mit Hilfe der „Sound“-Funktion an und beschreiben Sie den Höreindruck.

Protokoll Die Überlagerung der beiden Frequenzen klingt dissonant. Es fällt auf, dass der Wahlton für die Taste 2 identisch klingt. Dies lässt sich durch Betrachten der Grafik 4.12 erklären.

4.2.0.4 Frequenzbereich

Aufgabe Transformieren Sie das Signal in den Frequenzbereich und plotten Sie es. Geben Sie die auftretenden Frequenzen an.

Protokoll

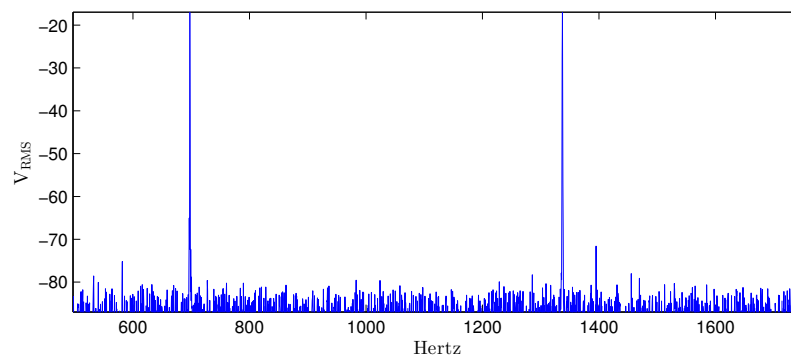


Abbildung 4.11: Summensignal im Frequenzbereich

$$\begin{aligned} f_1 &\approx 700\text{Hz} \\ f_2 &\approx 1400\text{Hz} \end{aligned}$$

Im Frequenzbereich lassen sich zwei Peaks erkennen: bei ca. 700Hz und bei ca. 1400Hz. Diese entsprechen den eingestellten Frequenzen.

4.2.0.5 Bandbreite

Aufgabe Geben Sie die Bandbreite sowie die obere und untere Grenzfrequenz des Signals an.

Protokoll Die angegebenen Frequenzen sind die beiden Grenzfrequenzen, alle anderen Peaks sind weit unterhalb der 3dB Grenzfrequenz, und damit für die Bandbreitenbestimmung irrelevant.

Die Bandbreite ergibt sich aus der Differenz der beiden Grenzfrequenzen und beträgt ca. 700Hz.

$$\begin{aligned}f_1 &\approx 700\text{Hz} \\f_2 &\approx 1400\text{Hz} \\B &= f_2 - f_1 = 700\text{Hz}\end{aligned}$$

4.3 Mehrfrequenzwahlverfahren

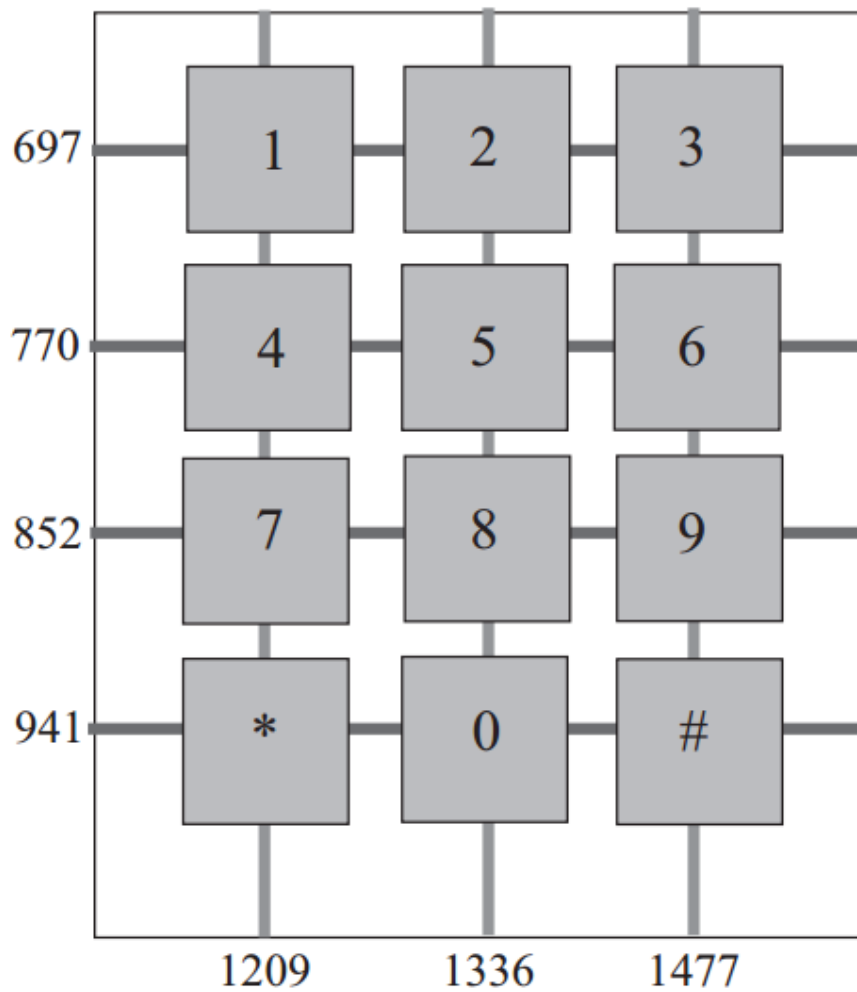


Abbildung 4.12: DTMF Tasten

4.3.1 DTMF-App

Aufgabe Für diesen Versuchsteil benötigen Sie nun die zuvor auf Ihr Mobiltelefon geladene „DTMF“ App. Verbinden Sie den Kopfhörerausgang Ihres Mobiltelefons mit einem 3.5 mm Klinke-Kabel über das Steckbrett mit Kanal 1 des Oszilloskops. Parallel dazu schalten Sie einen Kopfhörer.

Schauen Sie sich die Frequenzen einzelner Töne mit der Fourier-Transformation auf dem Oszilloskop an. Beschreiben Sie Ihren Höreindruck sowie Ihre Beobachtungen auf dem Oszilloskop bei einer waagrechten, senkrechten und diagonalen Tastenfolge.

Protokoll

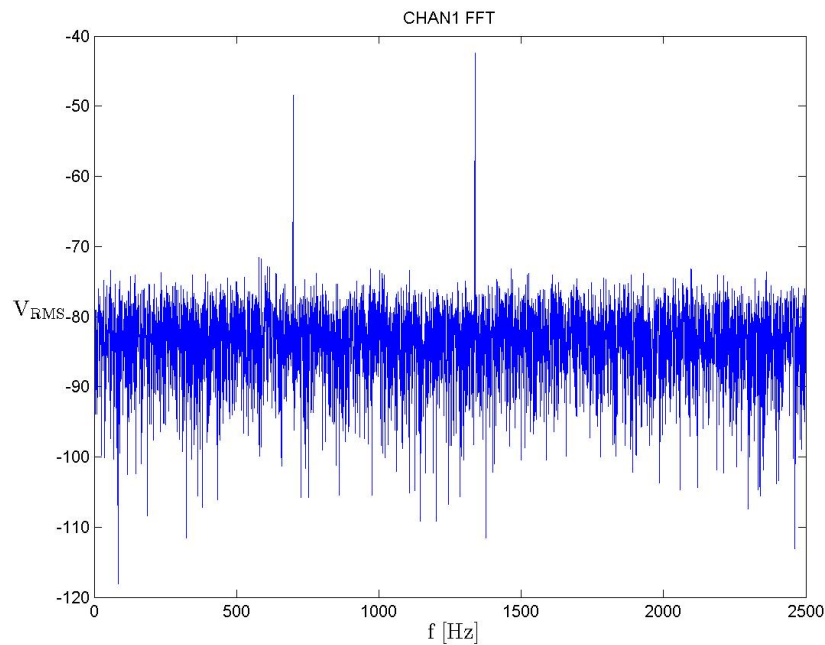


Abbildung 4.13: Frequenzbild für Taste 2

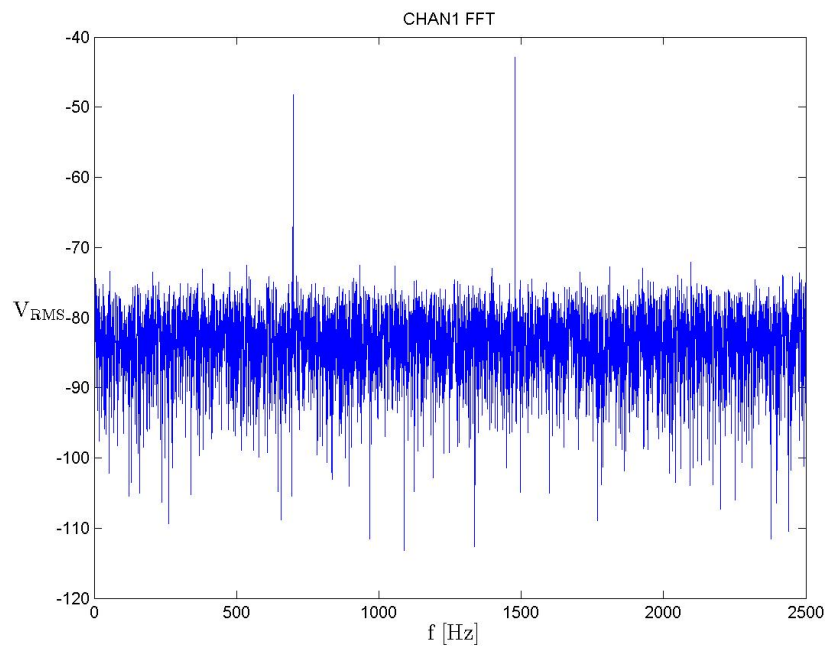


Abbildung 4.14: Frequenzbild für Taste 3

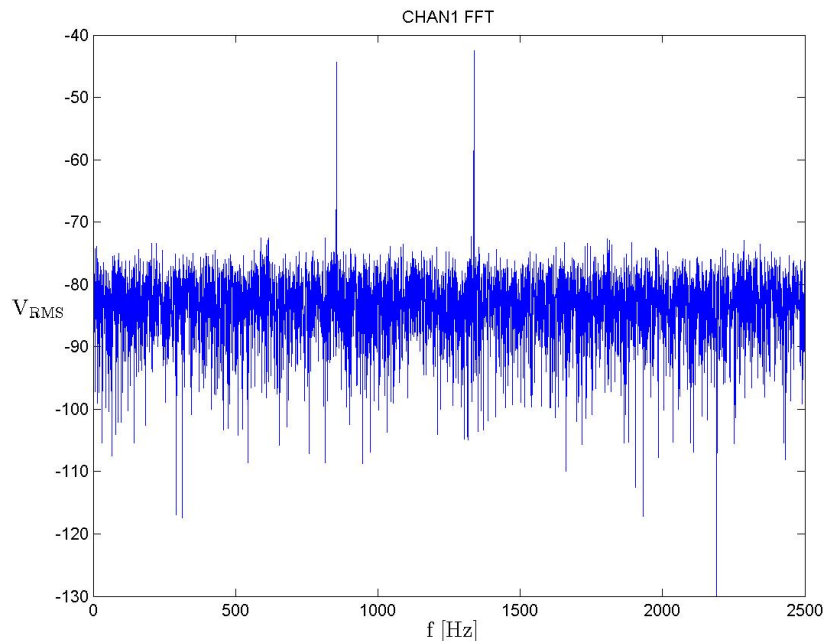


Abbildung 4.15: Frequenzbild für Taste 8

Bei jeder Taste ist ein dissonanter Ton zu hören. Bei unterschiedlichen Tasten in gleicher Reihe oder Spalte ändert sich jeweils einer der beiden überlagerten Töne.

Aus den Diagrammen lässt sich folgern, dass durch eine Bewegung in der x-Achse (zum Beispiel von Taste 2 auf Taste 3) die obere Grenzfrequenz verschoben wird. Eine Ziffer weiter rechts bewirkt eine höhere obere Grenzfrequenz. Bewegt man sich in der y-Achse (zum Beispiel von Taste 2 auf Taste 8) verschiebt sich die untere Grenzfrequenz. Hier bedeutet eine Bewegung nach unten eine höhere untere Grenzfrequenz. Bei einer Diagonalen Bewegung (zum Beispiel von Taste 3 auf Taste 8) ändern sich folglich beide Grenzfrequenzen.

4.3.2 Matlab

Einführung Im Folgenden sollen die zuvor durch die beiden Funktionsgeneratoren realisierten Oszillatoren in MATLAB umgesetzt werden. Dadurch sollen zunächst einige Töne, wie sie beim Mehrfrequenzwahlverfahren verwendet werden synthetisiert und im abschließenden Versuchsteil eine „gewählte“ Telefonnummer unter Verwendung der FFT analysiert werden. Oszilloskop, BNC Kabel und Frequenzgenerator werden in diesem Versuchsteil nicht mehr benötigt. Laden Sie sich das Archiv `DTMF_Student.zip` von der Praktikumsseite herunter

und entpacken Sie es. Wechseln Sie anschließend innerhalb von MATLAB in den Ordner mit den entpackten Dateien. Hier finden Sie folgenden MATLAB Files:

- **dial_tones.m**
Spielt die vom Benutzer gewählte Nummer ab und plottet die DTMF-Töne in Zeit- und Frequenzbereich. Zwischen den einzelnen Ziffern wird dabei eine Pause der Länge `pauslen` eingefügt.
- **dialed_number.mat**
MATLAB Struct, mit der zu analysierenden Nummer. Zur Weiteren Verarbeitung muss das Struct zunächst in MATLAB importiert werden. Dies kann über einen Rechtsklick auf das File ausgewählt werden.
- **dtmfcut.m**
Wird verwendet um die gesendete Nummer in einzelne Zeitabschnitte zu zerlegen und die Fourier Transformierte über diese einzelnen Zeitabschnitte zu berechnen. Der Aufruf erfolgt automatisch innerhalb der Funktion `receive_dial`.
- **fft_dtmf.m**
Diese Funktion enthält ein Codefragment das während dieses Praktikumsversuchs vervollständigt werden soll um die gespeicherte Telefonnummer in Zeit- und Frequenzbereich zu plotten und anhören zu können.
- **generate_tones.m**
Erzeugt die entsprechenden DTMF Töne, wenn eine Taste entsprechend der Tastenbelegung aus Abbildung 10 gewählt wird. Die Eingabe muss dabei nach der Eingabeaufforderung als String erfolgen. Diese Funktion enthält einige Lücken und muss während des Versuchs vervollständigt werden.
- **receive_dial.m**
Gibt die gewählte Telefonnummer zurück, indem das gewählte Signal mittels FFT analysiert wird. Zusätzlich wird jede einzelne erkannte Ziffer in Zeit und Frequenzbereich geplottet.

4.3.3 Sourcecode

Aufgabe In der Datei `generate_tones.m` fehlen einige Zeilen. Vervollständigen Sie den Code. Die Korrektheit des Codes kann durch Aufruf der Funktion `dial_tones.m` überprüft werden. (Eingabe von `dial_tones()`; im Commandwindow und in der Eingabeaufforderung dann beispielsweise '2', achten sie auf die Hochkommata).

Protokoll Vervollständigter Code:

```
%hier die horizontalen Frequenzen in aufsteigender
    Reihenfolge einfügen:
%Frequenz horizontal (Zeilenvektor)
fhorz = [1209, 1336, 1477];
%hier die vertikalen Frequenzen in aufsteigender
    Reihenfolge einfügen:
%Frequenz vertikal (Zeilenvektor)
fvert = [697, 770, 852, 941];

% Notwendig weil Scopes und so...
f1 = 0;
f2 = 0;

%Hier die Formel aus dem Theorieteil fuer die DTFM
    Toene einfügen.
%Hinweis: die beiden Einzelsignale haben jeweils eine
    Amplitude 1. Ton1 hat die Frequenz f1 und Ton2
    die Frequenz f2.

% tone=
Ton1 = cos(2*pi*f1*t);
Ton2 = cos(2*pi*f2*t);

tone=(Ton1+Ton2)/2;
```

4.3.4 FFT Tastentöne

4.3.4.1 Plots des Mehrfrequenzverfahrens

Aufgabe Verwenden Sie die Funktion `dial_tones` um das Signal für die Taste „1“ im Mehrfrequenzwahlverfahren zu erzeugen und hören Sie es sich an. Geben Sie die auftretenden Frequenzen an und fügen Sie die beiden Plots in das Protokoll ein. Skalieren Sie die Diagramme dafür sinnvoll.

Protokoll

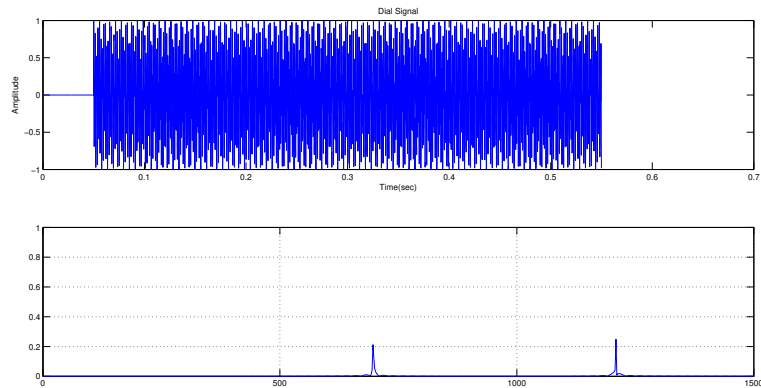


Abbildung 4.16: dial_tones mit Eingabe 1

Auftretende Frequenzen:

$$\begin{aligned}
 f_{1_{fft}} &= 696.38\text{Hz} \\
 f_{1_{soll}} &= 697\text{Hz} \\
 f_{2_{fft}} &= 1209.12\text{Hz} \\
 f_{2_{soll}} &= 1209\text{Hz}
 \end{aligned}$$

Die zwei zu erkennenden Peaks lassen sich eindeutig einer Ziffer zuordnen. Die geringe Abweichung zur jeweils eingestellten Frequenz ist der Umrechnung vom Frequenzbereich zum Bildbereich und wieder zurück geschuldet.

4.3.4.2 Tastentöne

Aufgabe Hören Sie sich 2 weitere beliebige Tastentöne an und analysieren Sie die Signale im Frequenzbereich. Verwenden Sie dazu erneut die Funktion `dial_tones` und wählen Sie jeweils nur eine Ziffer auf einmal.

Protokoll

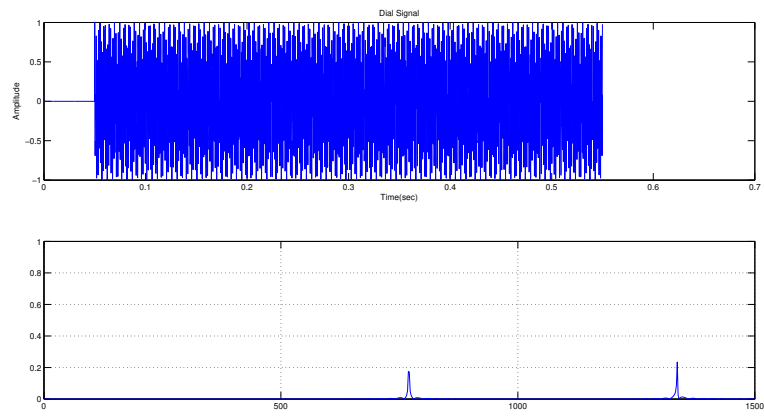


Abbildung 4.17: dial_tones mit Eingabe 5

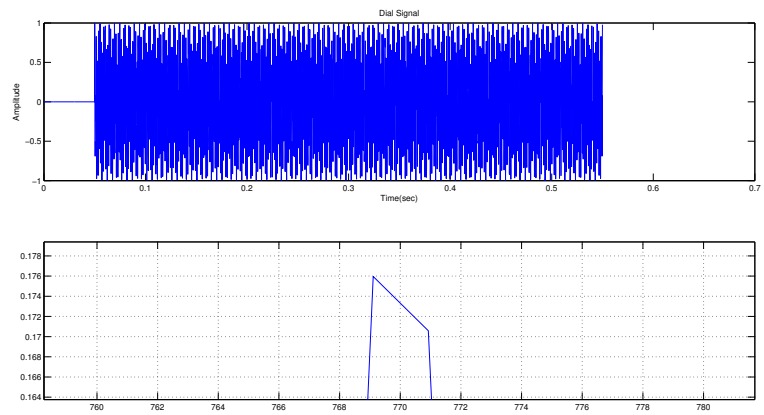


Abbildung 4.18: dial_tones mit Eingabe 5, Zoom bei 770Hz

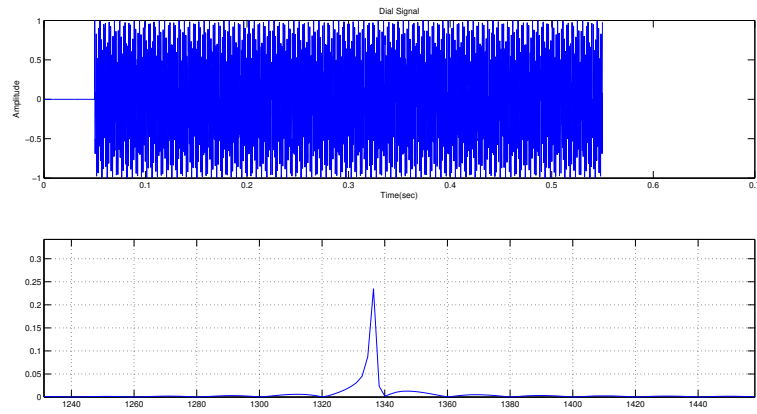
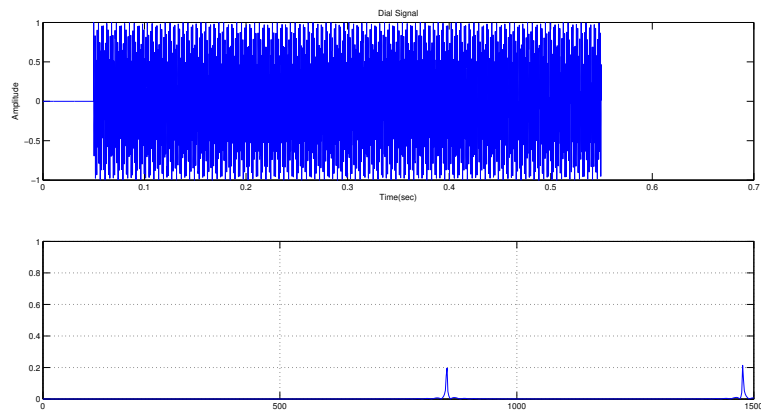


Abbildung 4.19: `dial_tones` mit Eingabe 5, Zoom bei 1330Hz

Im Frequenzbereich sind die beiden Peaks vergleichsweise breit. Das heißt, die Frequenzbestimmung ist ungenauer (eventuell durch Rundungsfehler verursacht). Trotzdem ist die gedrückte Taste einwandfrei bestimmbar, da der Peak immer noch sehr nah an der gewünschten Frequenz liegt und die verschiedenen Frequenzen ausreichend große Abstände haben.

Abbildung 4.20: `dial_tones` mit Eingabe 9

Da sich die Taste 9 weder in der gleichen Zeile, noch in der gleichen Spalte wie Taste 5 befindet, sind beide Frequenzen, wie zu erwarten, unterschiedlich.

4.3.5 Identifikation einer unbekannten Nummer

Einführung Das in der Datei `dialed_number.mat` gespeicherte Signal enthält das DTMF-Signal einer 12-stelligen Telefonnummer.

4.3.5.1 Import

Aufgabe Importieren Sie das Signal in MATLAB und hören Sie es sich mit Hilfe der Funktion `soundsc` an. Zusätzlich zur Variablen „number“ muss für `soundsc` die Abtastrate von 32 768 Hz übergeben werden.

4.3.5.2 Code vervollständigen

Aufgabe Die Funktion `fft_dtmf.m` enthält einige Fragmente die vervollständigt werden sollen um das gesamte DTMF Signal in Zeit- und Frequenzbereich plotten zu können. Vervollständigen Sie den Code. Hinweis: eine solche Funktion ist bereits in `dial_tones` implementiert, es müssen lediglich die entsprechenden Zeilen kopiert werden.

Protokoll Vervollständigter Code:

```
function tones=fft_dtmf_Student(number)
tones=number;
Fs=32768;
```

```

soundsc(tones,Fs);

figure()
subplot(2,1,1)
%Signal im Zeitbereich
%hier Code einfüegen um das Signal im Zeitbereich zu
    plotten
plot(number);

title('Dial Signal');
xlabel('Time(sec)');
ylabel('Amplitude');
subplot(2,1,2)
n=length(tones);
f=(0:n-1)*Fs/n;
%Transformation in den Frequenzbereich
%hier Code einfüegen um das Signal im Frequenzbereich zu
    plotten
plot(f,abs(fft(tones))/(Fs/2));
grid on;
axis([0 1500 0 1 ])

```

4.3.5.3 Identifikation der Nummer mittels FFT

Aufgabe Ist es möglich mittels der Fourier Transformation über das gesamte Signal die gewählte Nummer zu identifizieren? Falls nein, wie muss statt dessen vorgegangen werden?

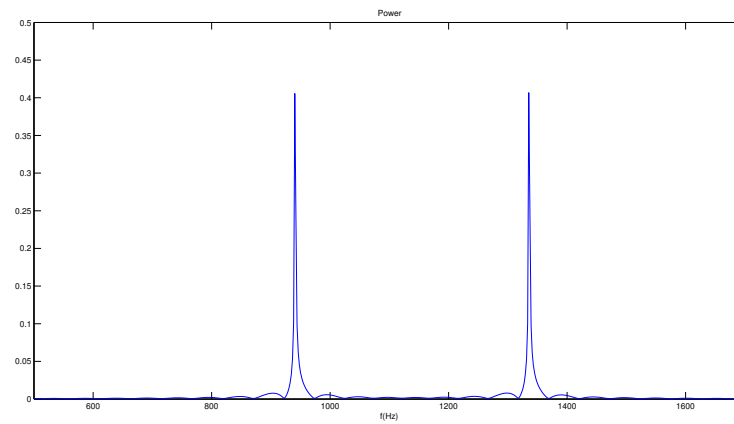
Protokoll Da im Frequenzbereich nicht sichtbar ist welche Frequenzen zu welcher Zeit im Signal vorhanden war, lassen sich die Nummern nicht aus dem gesamten Signal rekonstruieren.

Das Signal muss nach jedem Ton getrennt werden, damit die einzelnen Segmente separat untersucht werden können. Dann sind pro Segment nur zwei Peaks im Frequenzbereich sichtbar, aus denen sich dann die gedrückte Taste rekonstruieren lässt.

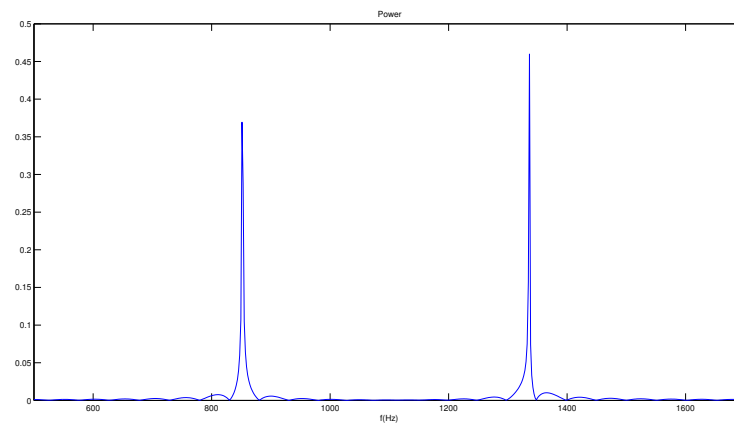
4.3.5.4 Plot

Aufgabe Ermitteln Sie nun unter Verwendung von `receive_dial` die Fourier Transformierte über die einzelnen Zeitabschnitte. Fügen Sie einen Plot von drei der auftretenden Ziffern im Frequenzbereich in das Protokoll ein und geben Sie die Frequenzen sowie die gewählten Ziffern an.

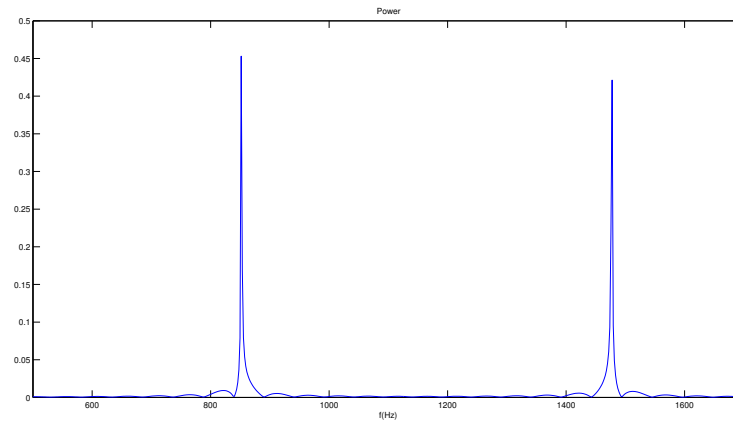
Protokoll

Abbildung 4.21: Erster Ton mit `receive_dial`

$$\begin{aligned}f_1 &= 941\text{Hz} \\f_2 &= 1336\text{Hz} \\&\Rightarrow \text{Taste: 0}\end{aligned}$$

Abbildung 4.22: Zweiter Ton mit `receive_dial`

$$\begin{aligned}f_1 &= 852\text{Hz} \\f_2 &= 1336\text{Hz} \\&\Rightarrow \text{Taste: 8}\end{aligned}$$

Abbildung 4.23: Dritter Ton mit `receive_dial`

$$\begin{aligned}f_1 &= 852\text{Hz} \\f_2 &= 1477\text{Hz} \\&\Rightarrow \text{Taste: 9}\end{aligned}$$

4.3.5.5 Telefonnummer

Aufgabe Wie lautet die gewählte Telefonnummer?

Protokoll Die Frequenzen wurden jeweils dem Diagramm im Frequenzbereich entnommen und daraus die nächst mögliche Tastenfrequenz bestimmt. Aus den beiden Frequenzen lässt sich die Taste bestimmen.

f_1	f_2	Taste
941	1336	0
852	1336	8
852	1477	9
770	1209	4
770	1336	5
697	1336	2
697	1477	3
770	1336	5
770	1477	6
852	1209	7
941	1336	0
941	1336	0

Die Nummer lautet:

089452356700

4.3.5.6 Code

Aufgabe In der Funktion `receive_dial` wird das Ergebnis der Fourier Transformatierten der einzelnen Zeitabschnitte berechnet. In welcher Code Zeile geschieht dies?

Protokoll Die Fourier-Transformation wird jeweils in Zeile 16 berechnet:

```
decode_fft=fft(decode)/(Fs/2);
```

4.3.5.7 Code

Aufgabe Wie wird anschließend entschieden um welche Nummer es sich handelt?

Protokoll Zuerst wird im Frequenzbereich versucht, die Peaks zu identifizieren, dann wird für jeden Peak versucht, den Wert einer Taste zuzuordnen. Dafür muss die Abweichung von der gemessenen Frequenz zur „Tastenfrequenz“ kleiner 2% sein. Aus der Reihen- und Spaltenfrequenz kann dann die Taste bestimmt werden.

```
%While schleife, welche die empfangene Nummer
    decodiert
ind=find(2*abs(decode_fft)>0.35)*Fs/length(decode);
ind1=find(ind<Fs/2);
index=ind(ind1)-2;
for jj=1:length(index)
    if abs(index(jj)-697)/697<=0.02
        row=1;
```

```
elseif abs(index(jj)-770)/770<=0.02
    row=2;
elseif abs(index(jj)-852)/852<=0.02
    row=3;
elseif abs(index(jj)-941)/941<=0.02
    row=4;
elseif abs(index(jj)-1209)/1209<=0.02
    column=1;
elseif abs(index(jj)-1336)/1336<=0.02
    column=2;
elseif abs(index(jj)-1477)/1477<=0.02
    column=3;

end

end

%Zuordnung der Nummer zu Keypad Koordinaten
dial(ii)=numpad(row,column);
```