

# **GPET Versuch 3 — Transformieren und Telefonieren mit Fourier**

**Gruppe: Dienstag14**

Tim Luchterhand, Paul Nykiel  
tim.luchterhand@uni-ulm.de, paul.nykiel@uni-ulm.de

8. Mai 2017

## 3 Vorbereitende Aufgaben

### 3.1 Signaleigenschaften und Signalklassifikation

#### 3.1.1 Signalklassifikation

**Aufgabe** Um welche Art von Signaltypen handelt es sich bei den Signalen in Abbildung 11?

**Lösung**

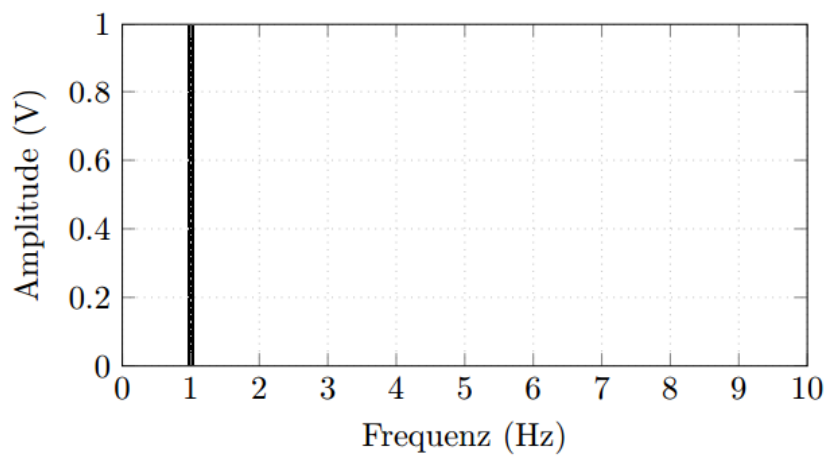
- $a(t)$ : harmonisch, periodisch, deterministisch
- $b(t)$ : deterministisch
- $c(t)$ : stochastisch
- $d(t)$ : periodisch, deterministisch

#### 3.1.2 Harmonische Signale

**Aufgabe** Bestimmen Sie die Frequenz  $f$ , Periode  $T$  und Nullphasenverschiebung  $\phi_0$  des harmonischen Signals  $x_4(t)$  aus Abbildung 4. Wie auf Seite 6 beschrieben, handelt es sich hierbei um eine verschoben cos-Funktion. Zeichnen Sie die Frequenz in Diagramm ähnlich wie Abbildung 12 ein.

**Lösung**

$$\begin{aligned} f &= 1\text{Hz} \\ T &= 1\text{s} \\ \phi_0 &= -\frac{\pi}{2} \end{aligned}$$



### 3.1.3 Elektrische Signal

**Aufgabe** Bestimmen Sie die Amplitude  $\hat{x}$ , den Effektivwert  $x_{eff}$ , den Spitze-Spitze Wert  $x_{ss}$  und den Offset  $\bar{x}$  des elektrischen Signals  $x_5(t)$  aus Abbildung 5.

**Lösung**

$$\begin{aligned}\hat{x} &= 1\text{V} \\ x_{eff} &= 0.7\text{V} \\ x_{ss} &= 2\text{V} \\ \bar{x} &= 0.3\text{V}\end{aligned}$$

## 3.2 Transformation in den Frequenzbereich

### 3.2.1 Bandbreite

**Aufgabe** Bestimmen Sie die obere und untere Grenzfrequenz  $f_2$  und  $f_1$  und daraus die Bandbreite der Signale aus Abbildung 13. Dabei sollen die Definitionen der 3dB Grenzfrequenzen gelten. Hinweis: Bei den Signalen handelt es sich um von Musikinstrumenten gespielte Töne.

**Lösung**

$A(f)$ 

$$\begin{aligned}f_1 &= 1050\text{Hz} \\f_2 &= 2100\text{Hz} \\ \Rightarrow B &= 1050\text{Hz}\end{aligned}$$

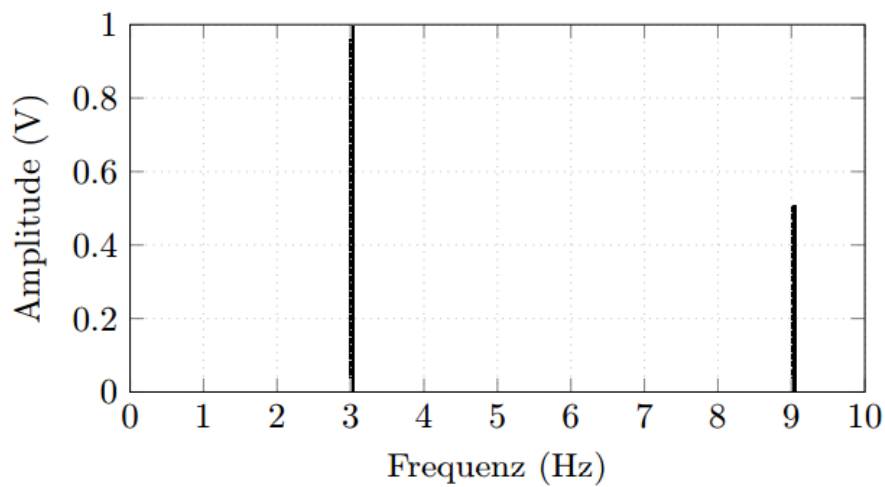
 $B(f)$ 

$$\begin{aligned}f_1 &= 1050\text{Hz} \\f_2 &= 1500\text{Hz} \\ \Rightarrow B &= 450\text{Hz}\end{aligned}$$

### 3.2.2 Darstellung im Frequenzbereich

**Aufgabe** Zeichnen Sie das Spektrum eines Signals mit den Frequenzen  $f_1 = 3\text{Hz}$  und  $f_2 = 9\text{Hz}$  und den Amplituden  $A_1 = 1\text{V}$  und  $A_2 = 0.5\text{V}$  in ein Diagramm ein. Nutzen Sie dafür ein ähnliches Diagramm wie in Abbildung 12. Wie lautet die Signaldarstellung im Zeitbereich?

**Lösung**



## 3.3 MATLAB

**Aufgabe** Verschaffen Sie sich einen Überblick über die folgenden Kapitel im auf der Praktikumsseite bereitgestellten MATLAB Primer. Da im Praktikum mit MATLAB gearbeitet wird ist ein prinzipielles Verständnis von Oberfläche, Syntax und den angegebenen Funktionen elementar.

- **Beschreibung der Benutzeroberfläche:**

Welche Bereiche gibt es? Wozu werden sie benutzt?

- Konsole
- Dateibaum
- Letzte Befehle
- Variablen

- **Erste Schritte**

Wie kann der Wert einer Variablen „temp“ abgefragt werden?

```
>> temp
```

- **Benutzung der MATLAB Hilfe**

Wie lautet der Befehl um mehr Information (in HTML-Form) zur in MATLAB implementierten FFT zu erhalten?

```
>> doc fft
```

- **Zahlen, Vektoren, Matrizen**

Wie kann auf die erste Zeile einer Matrix zugegriffen werden?

```
>> A(1,:)
```

- **M-Files (Skripte/Funktionen)**

Im Primer ist eine Funktion `fsummdiff(a,b)` gegeben. Wie erfolgt der Funktionsaufruf? Wie können beide Ausgabewerte in Variablen gespeichert werden?

```
>> [sum, diff] = fsummdiff(a, b)
```

### 3.3.1 FFT Auflösung

**Aufgabe** Das im Praktikum verwendete Oszilloskop berechnet jeweils die FFT über das auf dem Schirm dargestellte Zeitsignal. Wie viele Perioden müssen dargestellt werden um die Frequenzauflösung zu vervierfachen, wenn auf dem Schirm 2 Perioden dargestellt werden? Wie lange ist anschließend die Dauer des Messintervalls, wenn die Signalfrequenz 1500 Hz beträgt? Wie groß ist die resultierende Frequenzauflösung?

**Lösung** Um die Frequenzauflösung zu vervierfachen müssen 8 Perioden dargestellt werden.

$$\begin{aligned}
 N &= 8 \\
 f &= 1500\text{Hz} \\
 \Rightarrow T_{mess} &= \frac{1}{f} \cdot N = 0.0053\text{s} \\
 \Rightarrow f_{aufloesung} &= \frac{1}{T_{mess}} = 187.5\text{Hz}
 \end{aligned}$$

### 3.4 Mehrfrequenzwahlverfahren

#### 3.4.1 MFV-Signale im Zeitbereich

**Aufgabe** Geben Sie den Ausdruck des MFV-Zeitbereichssignals an, für der Fall, dass eine „1“ gewählt wurde.

**Lösung**

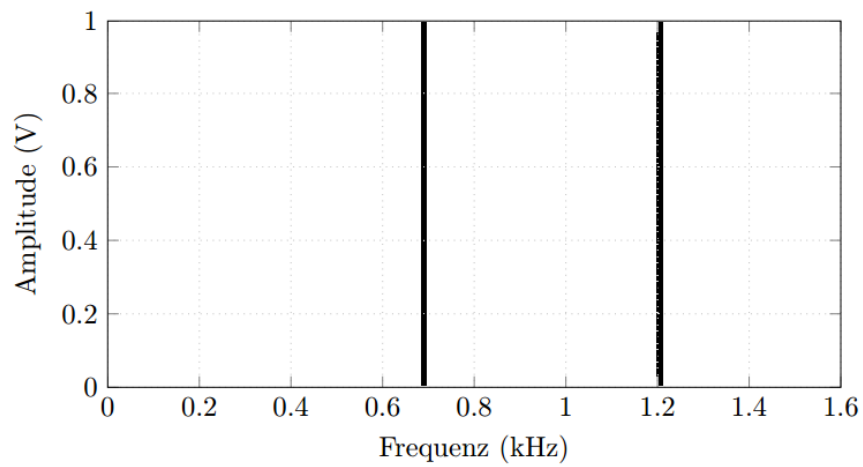
$$\begin{aligned}
 f_{\text{vertikal}} &= 1209\text{Hz} \\
 f_{\text{horizontal}} &= 697\text{Hz} \\
 x(t) &= \cos(2\pi f_{\text{vertikal}} \cdot t) + \cos(2\pi f_{\text{horizontal}} \cdot t)
 \end{aligned}$$

#### 3.4.2 MFV-Signale im Frequenzbereich

**Aufgabe** Wie lautet die Gleichung zur Berechnung der Fourier Koeffizienten des MFV-Signals aus Aufgabe 3.3.1? Das Integral muss hierbei nicht gelöst werden. Zeichnen Sie das Amplitudenspektrum dieses MFV-Signals in ein Diagramm wie in Abbildung 14 ein.

**Lösung**

$$X_k(k \cdot f_0) = \frac{1}{T} = \int_{-T/2}^{T/2} x(t) e^{-j2\pi k f_0 t} dt$$



### 3.4.3 Sprachsignale

**Aufgabe** In welchem Frequenzbereich liegen Sprach- bzw. Audiosignale? Vergleichen Sie diesen Frequenzbereich mit dem Bereich, der beim Mehrfrequenzwahlverfahren belegt wird. Was schließen Sie daraus?

**Lösung** Sprachsignale liegen ungefähr zwischen 300Hz und 4kHz, das heißt Sprachsignale können die selben Frequenzen wie DTMF-Töne enthalten. Um Fehlerkennungen zu vermeiden sind die DTMF-Frequenzen absichtlich so gewählt das die Töne dissonant klingen.

## 4 Versuchsdurchführung

### 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**



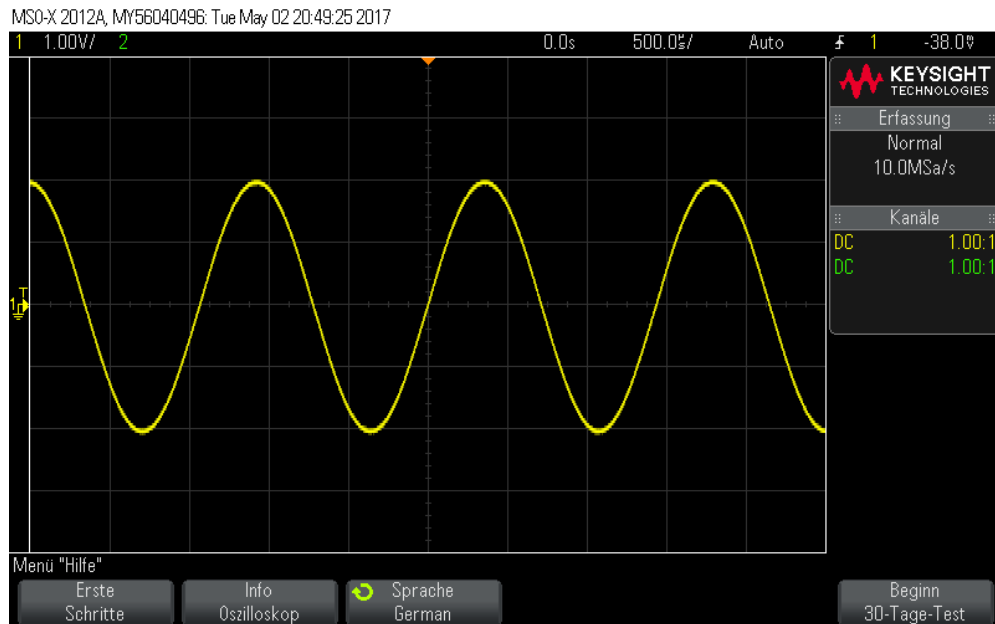


Abbildung 4.1: Oszilloskop Screenshot

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

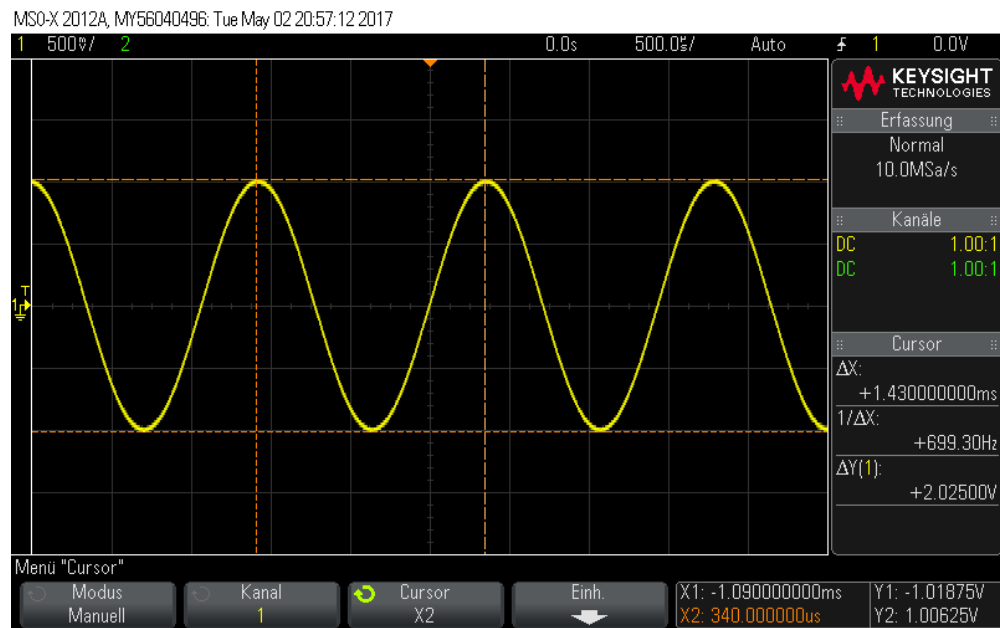


Abbildung 4.2: Messung mit Cursor

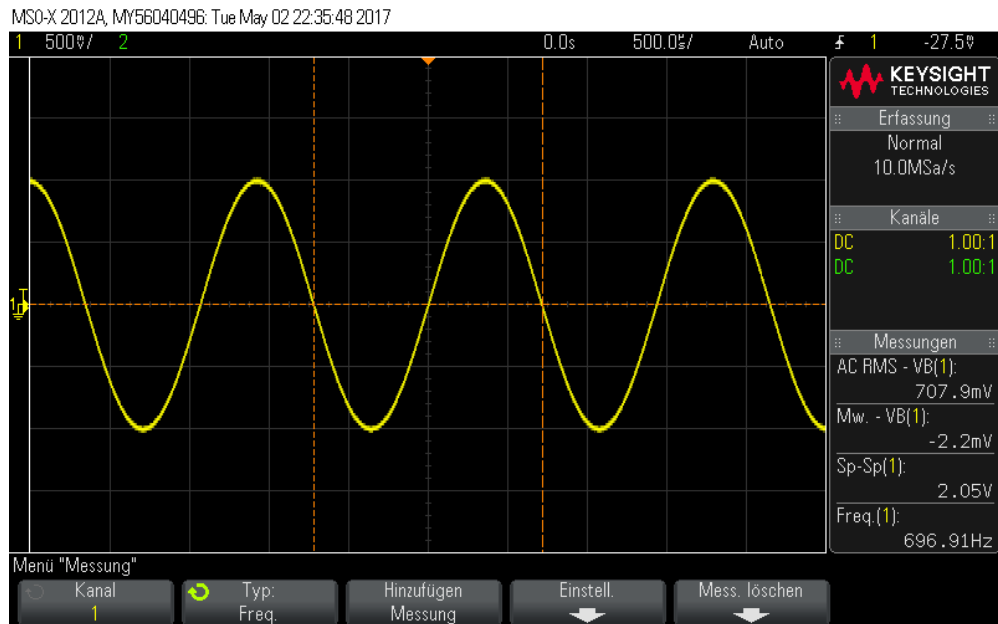


Abbildung 4.3: Messung mit Measure

	Sollwert	Cursorwert	Measurewert
Peak-to-Peak	2V	2.025V	2.05V
Effektivwert	$\frac{1}{\sqrt{2}}V \approx 0.71V$		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

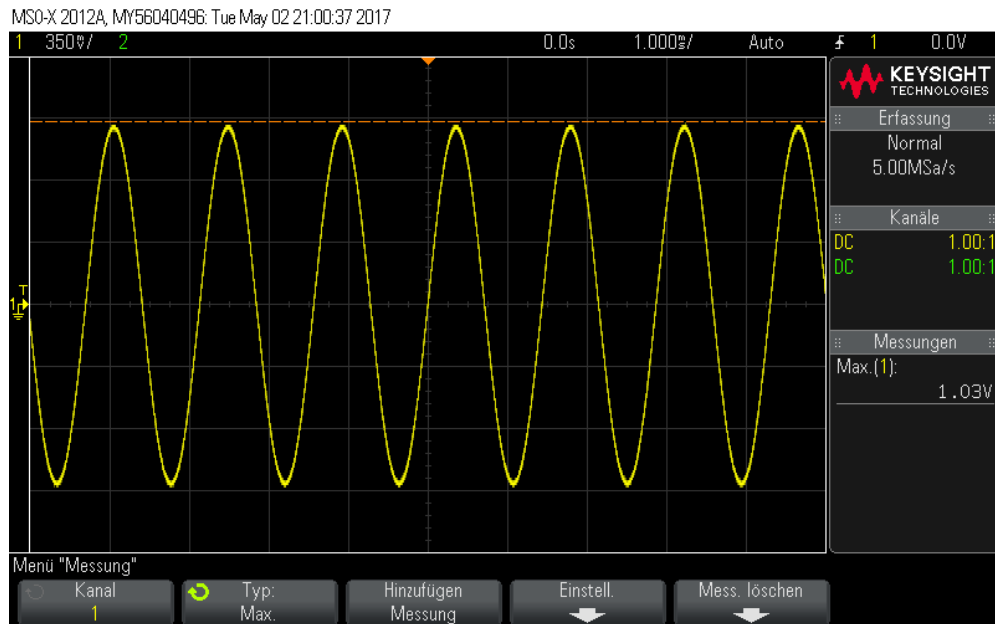


Abbildung 4.4: Messung der Amplitude

Die Amplitude des Signals beträgt:

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

## 4.1.2 Fourier-Transformation

### 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

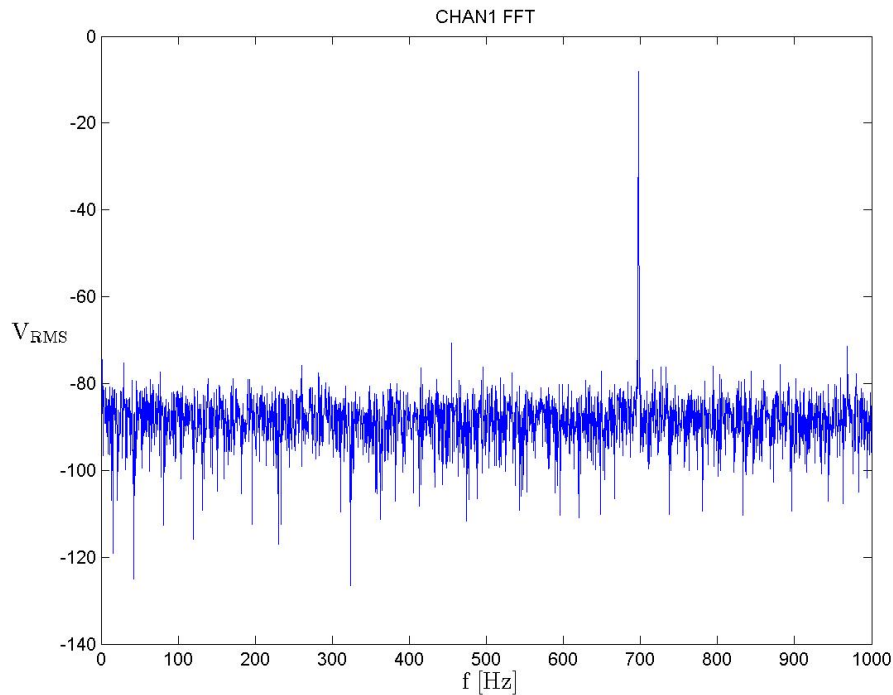


Abbildung 4.5: GUI Screenshot des Frequenzbereichs

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

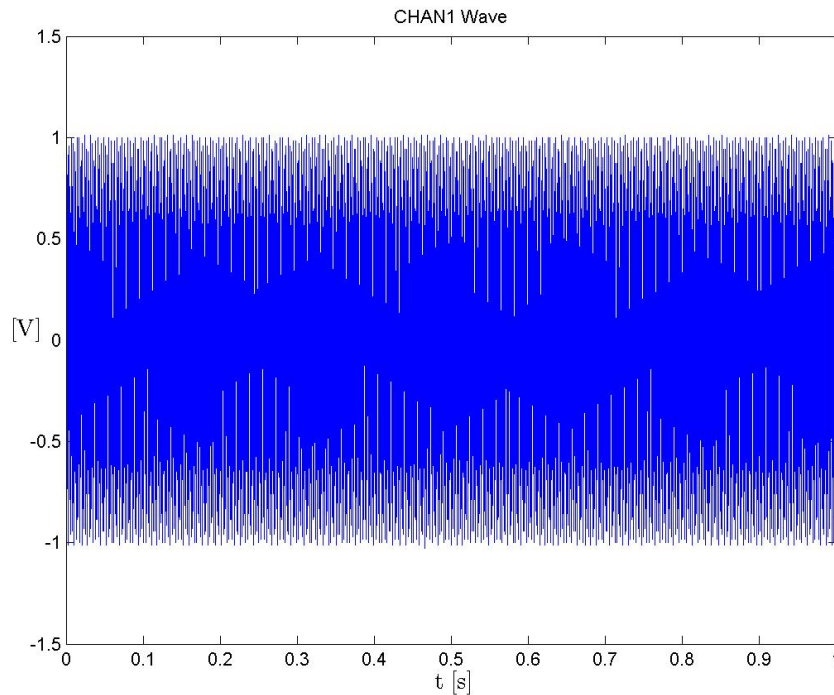


Abbildung 4.6: Aufgezeichnetes Signal

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

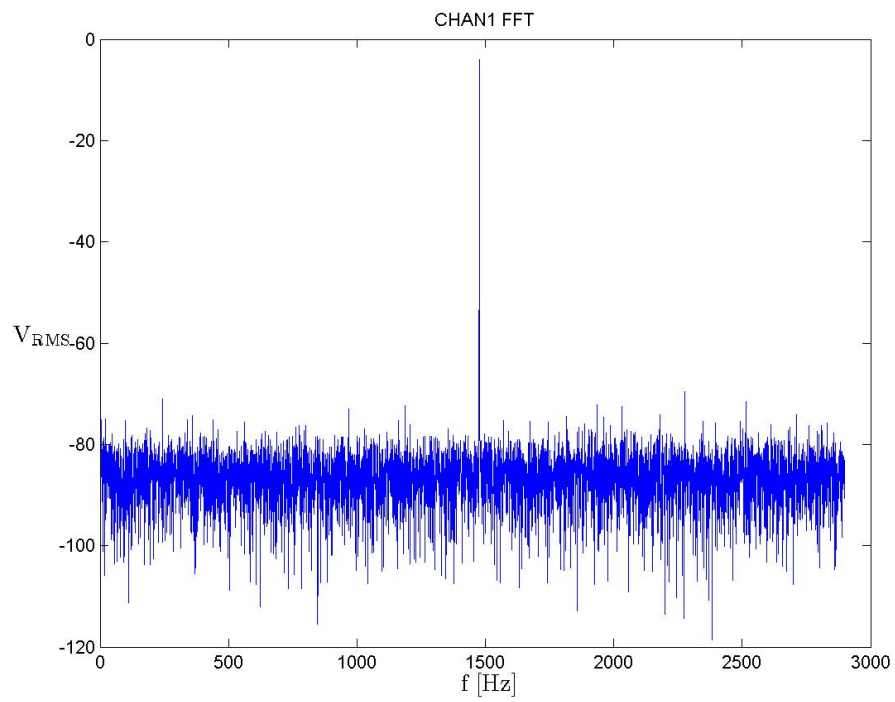


Abbildung 4.7: GUI Screenshot Frequenzbereich

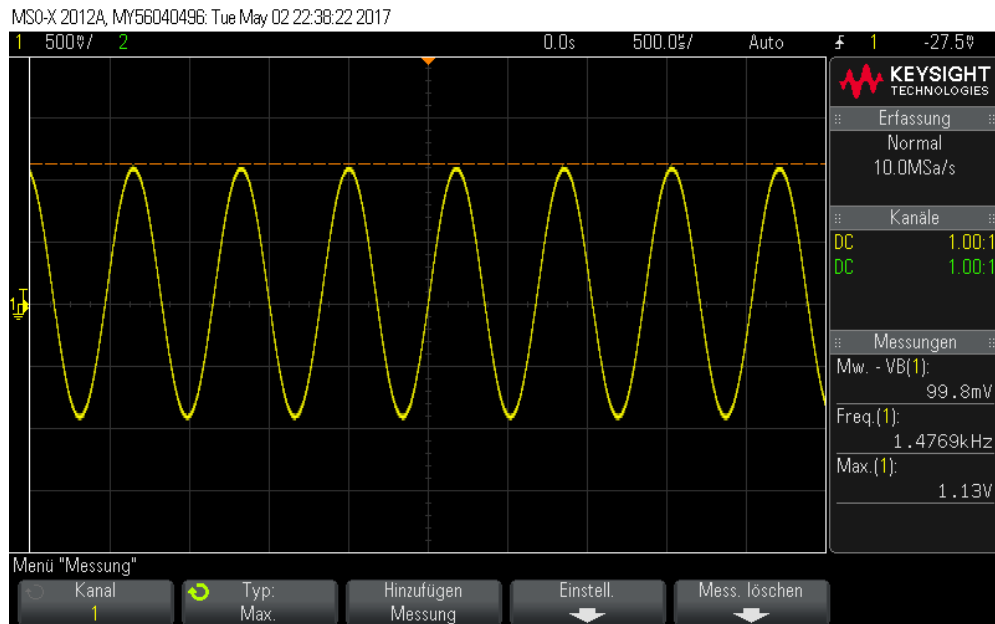


Abbildung 4.8: Screenshot Signalbereich

	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



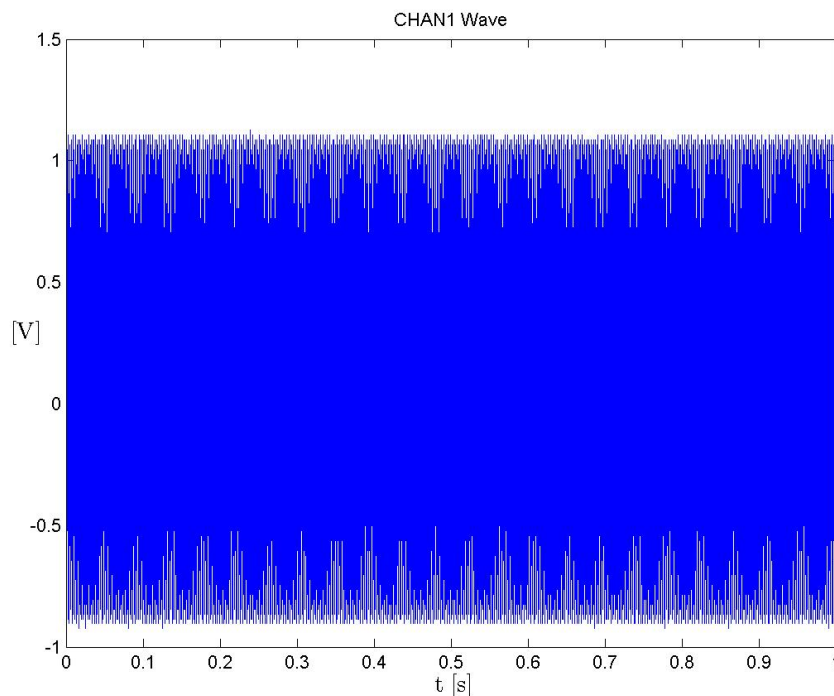


Abbildung 4.9: Aufgezeichnetes Signal

Das Ton ist, wie zu erwarten, deutlich höher als der erste Ton, weist 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

$$\begin{aligned}
 f_{\text{Auflösung}} &= \frac{1}{N \cdot T} \\
 T &= \frac{1}{f} \\
 f_{\text{Auflösung}} &= 3\text{Hz} \\
 \Rightarrow N &= \frac{1}{f_{\text{Auflösung}} \cdot T} = \frac{1}{3\text{Hz} \cdot \frac{1}{1480\text{Hz}}} \approx 494 \\
 T_{\text{Mess}} &= \frac{1}{f} \cdot N = 0.33\text{s}
 \end{aligned}$$

Um eine Frequenzauflösung von 3Hz zu erreichen, müssen mindestens 494 Perioden aufgezeichnet werden. Das entspricht ungefähr  $\frac{1}{3}$ s.

## 4.2 Messung periodischer Signale

### 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

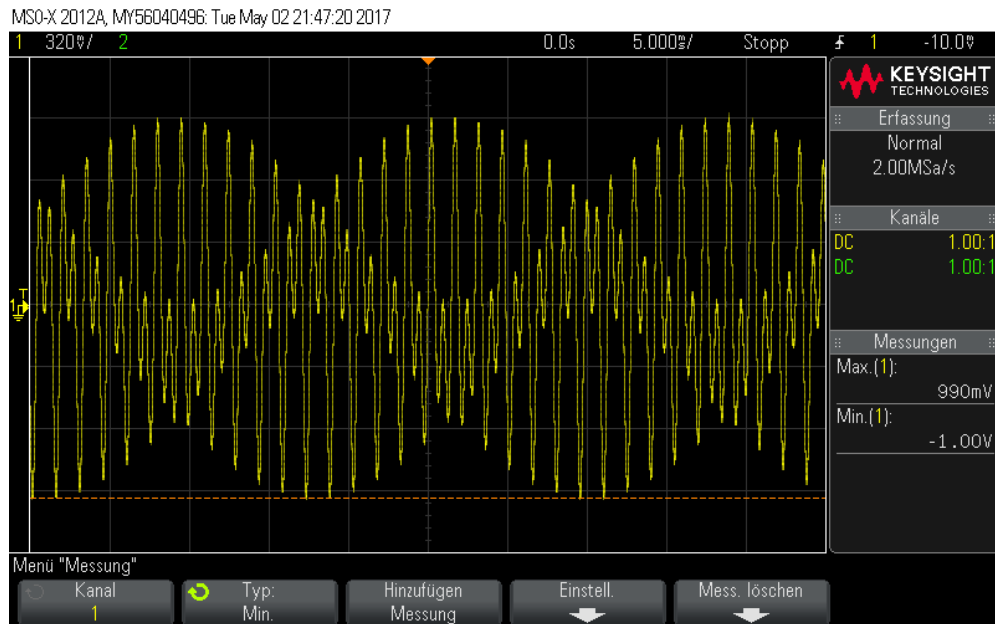


Abbildung 4.10: Summensignal im Zeitbereich

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

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

#### 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.

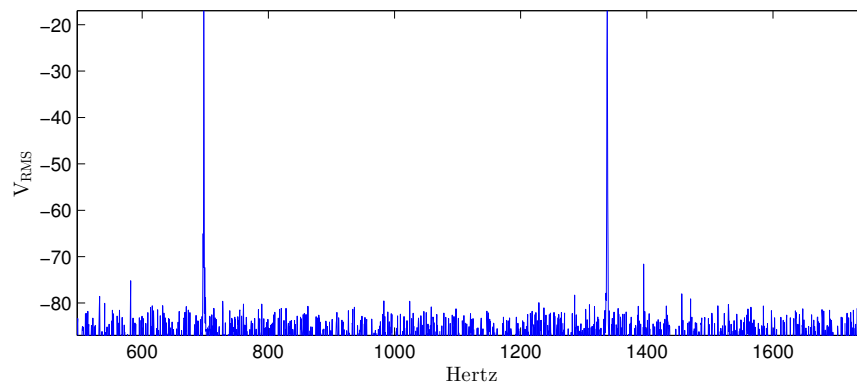
**Protokoll**

Abbildung 4.11: Summensignal im Frequenzbereich

$$f_1 \approx 700\text{Hz}$$

$$f_2 \approx 1400\text{Hz}$$

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.

$$f_1 \approx 700\text{Hz}$$

$$f_2 \approx 1400\text{Hz}$$

$$B = f_2 - f_1 = 700\text{Hz}$$

### 4.3 Mehrfrequenzwahlverfahren

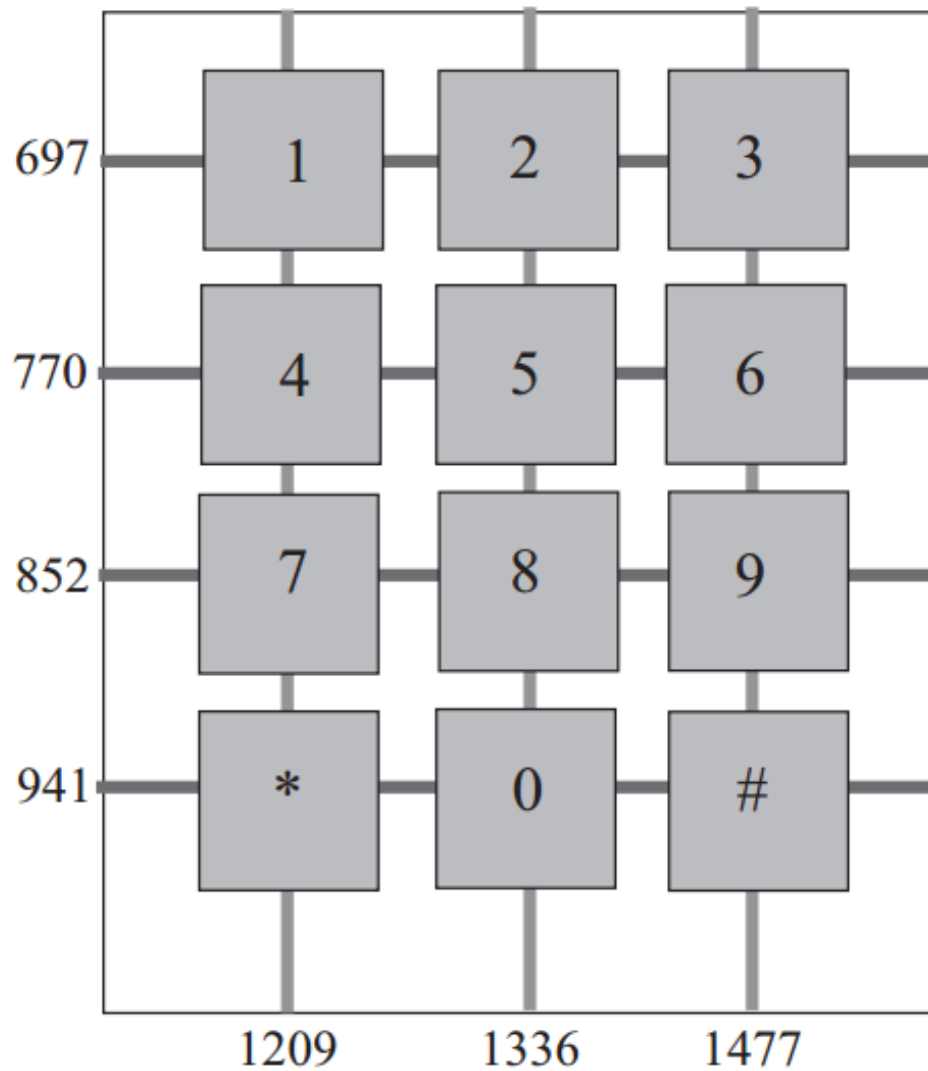


Abbildung 4.12: DTMF Tasten

### 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

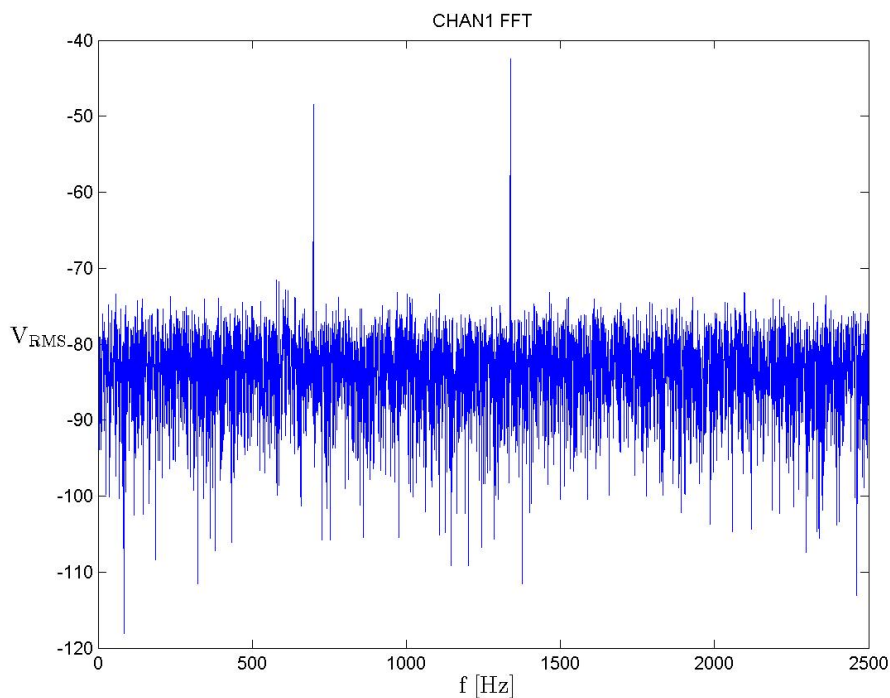


Abbildung 4.13: Frequenzbild für Taste 2

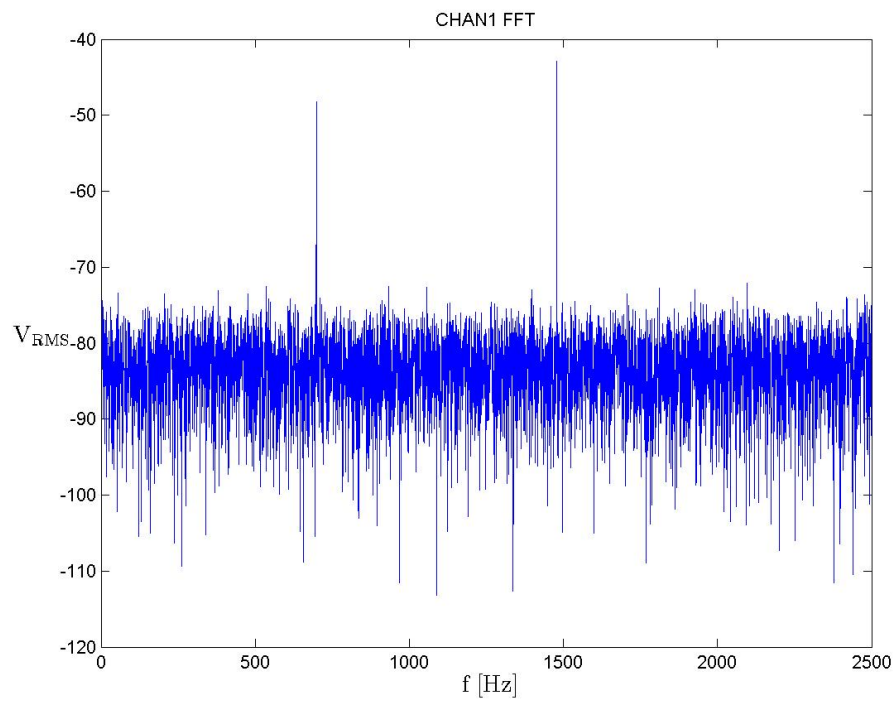


Abbildung 4.14: Frequenzbild für Taste 3

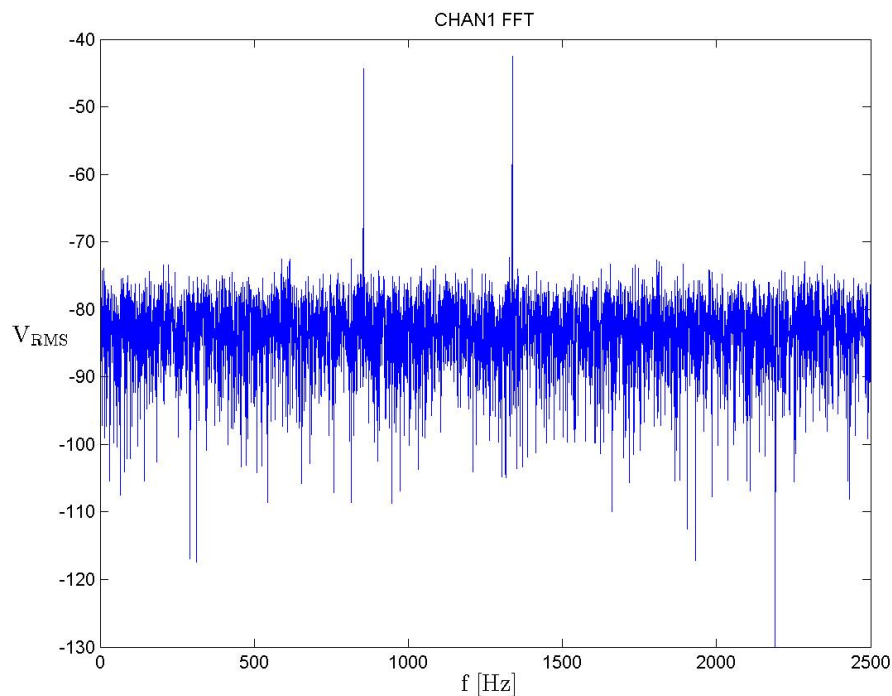


Abbildung 4.15: Frequenzbild für Taste 8

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

### 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 DIFM 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**

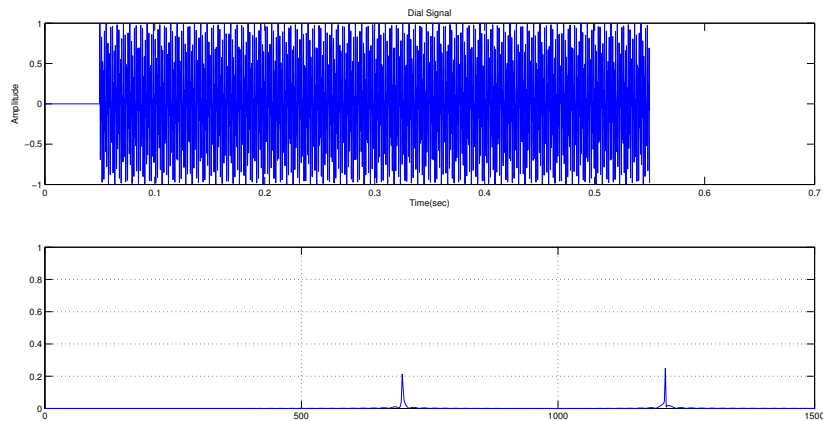


Abbildung 4.16: dial\_tones mit Eingabe 1

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

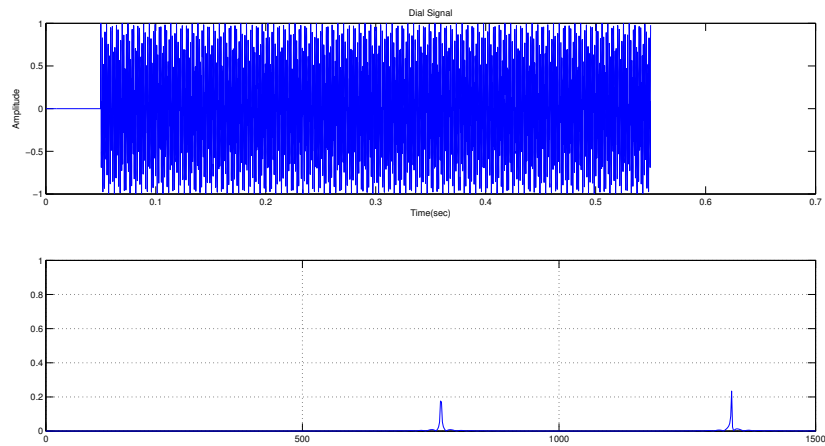


Abbildung 4.17: dial\_tones mit Eingabe 5, ohne Zoom

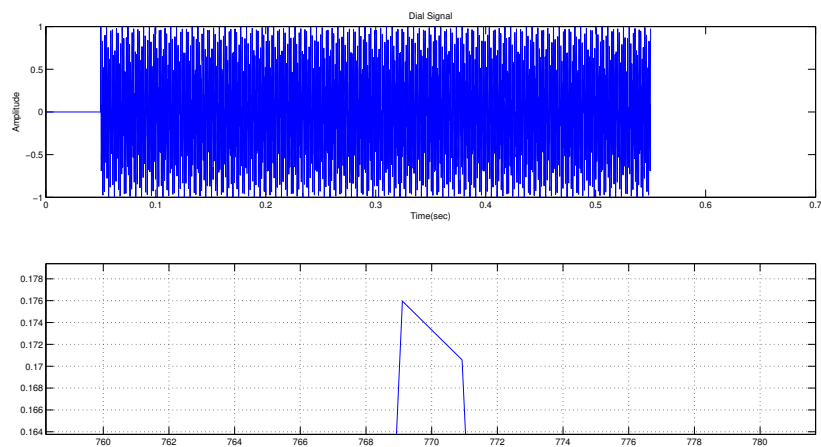


Abbildung 4.18: dial\_tones mit Eingabe 5, Zoom bei 770Hz

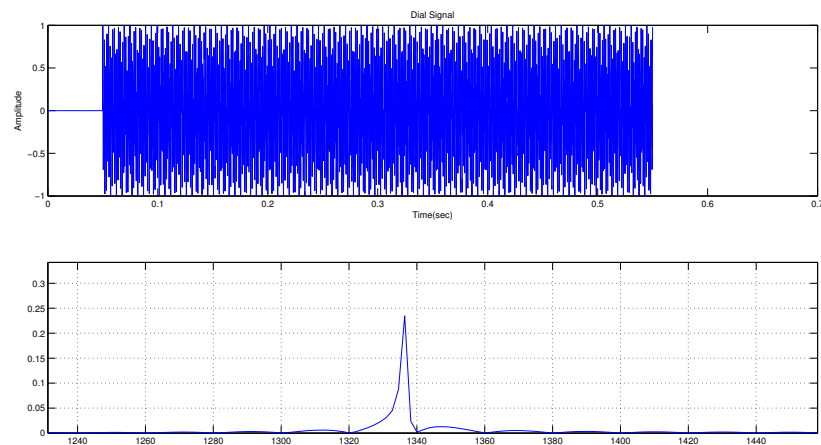


Abbildung 4.19: `dial_tones` mit Eingabe 5, Zoom bei 1330Hz

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.

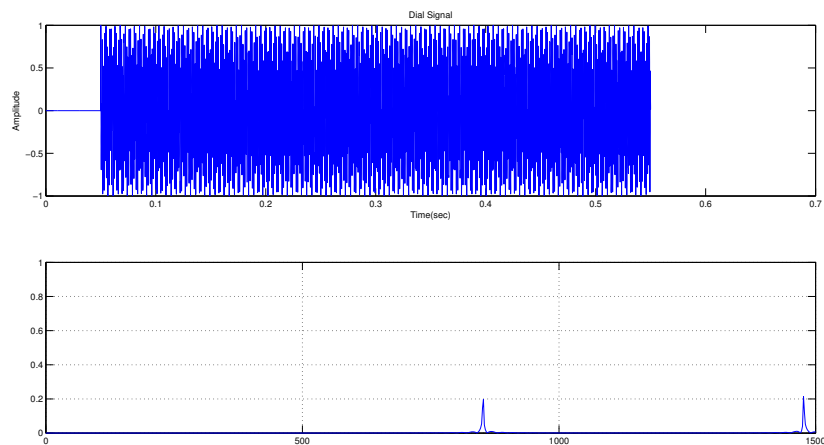


Abbildung 4.20: dial\_tones mit Eingabe 9

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

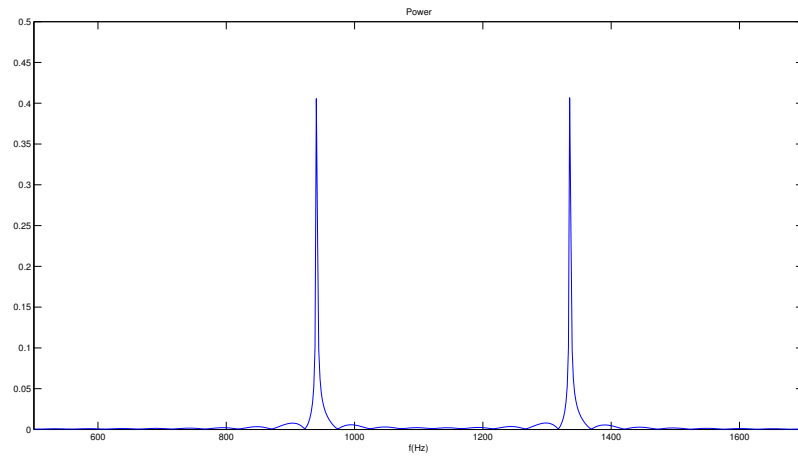
**Aufgabe** Ist es möglich mittels der Fourier Transformation über das gesamte Signal die gewählte Nummer zu identifizieren? Falls nein, wie muss statt dessen vorgegangen werden?

**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.

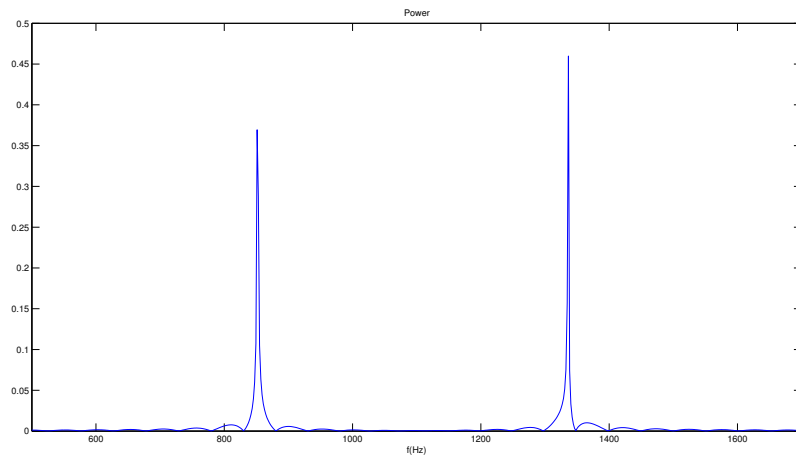
Das Signal muss nach jedem Ton getrennt werden, damit die einzelnen Segmente separat untersucht werden können. Dann sind pro Segment nur zwei Peaks im Frequenzbereich sichtbar, aus denen sich dann die gedrückte Taste rekonstruieren lässt.

#### 4.3.5.4 Plot

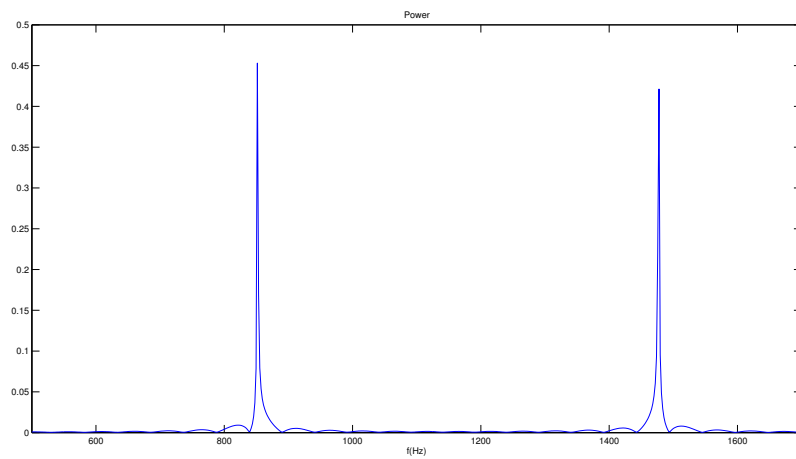
**Aufgabe** Ermitteln Sie nun unter Verwendung von `receive_dial` die Fourier Transformierte über die einzelnen Zeitabschnitte. Fügen Sie einen Plot von drei der auftretenden Ziffern im Frequenzbereich in das Protokoll ein und geben Sie die Frequenzen sowie die gewählten Ziffern an.

**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 Transformierten 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);
```