

# Forord

---

Denne rapport indeholder dokumentation for projektet *Design af akustiske volumenmålinger af bryster*. Rapporten indeholder kravspecifikation, accepttest, dokumentation af projektets design og implementeringsfase.

Kravspecifikationen er udarbejdet i samarbejde med Pavia Lumholt, speciallæge i plastikkirurgi på OPA Privathospital, Aarhus.

## Læsevejledning

Til hvert kapitel i denne rapport findes en tilhørende indledning med formål samt læsevejledning.

I bilagslisten €€€.....

# Indholdsfortegnelse

---

<b>Kapitel 1</b>	<b>Kravspecifikation</b>	<b>1</b>
1.1	Indledning . . . . .	1
1.1.1	Formål . . . . .	1
1.1.2	Læsevejledning . . . . .	1
1.1.3	Versionshistorik . . . . .	1
1.2	Systembeskrivelse . . . . .	1
1.2.1	Aktørbeskrivelse . . . . .	2
1.3	Funktionelle krav . . . . .	2
1.3.1	Use Case diagram . . . . .	3
1.3.2	Use Case #1 - Ufør brystvolumenmåling . . . . .	4
1.4	Ikke-funktionelle krav . . . . .	5
1.4.1	Kalibrering . . . . .	5
1.5	Projektafgrænsning . . . . .	6
1.6	Samarbejdspartnere . . . . .	8
<b>Kapitel 2</b>	<b>Testdokumentation</b>	<b>9</b>
2.1	Indledning . . . . .	9
2.1.1	Formål . . . . .	9
2.1.2	Læsevejledning . . . . .	9
2.1.3	Versionshistorik . . . . .	9
2.2	FAT-protokol . . . . .	9
2.2.1	Formål . . . . .	9
2.2.2	Referencer . . . . .	9
2.2.3	Forkortelser . . . . .	9
2.2.4	Ansvar . . . . .	10
2.2.5	Udstyrsbeskrivelse . . . . .	10
2.2.6	Acceptkriterier . . . . .	10
2.2.7	Metode . . . . .	11
2.2.8	Oversigt over testdokumenter . . . . .	12
2.2.9	Forudsætning for udførelse af FAT . . . . .	12

2.3	FAT-testdokument . . . . .	12
<b>Kapitel 3 Implementering</b>		<b>13</b>
3.1	Indledning . . . . .	13
3.1.1	Formål . . . . .	13
3.1.2	Læsevejledning . . . . .	13
3.1.3	Versionshistorik . . . . .	13
3.2	Enhedstest . . . . .	13
3.2.1	Højttaler ABS-224-RC . . . . .	13
3.2.2	Minijack PC Mikrofon . . . . .	15
3.2.3	Tores højttaler . . . . .	17
3.2.4	Ny enhedstest af Minijack PC Mikrofon d. 25.10.16 . . . . .	19
3.2.5	Enhedstest af indbygget mikrofon i Logitech HD WEBCAM C270 . . . . .	21
3.2.6	Elektret mikrofon BOB 12758 . . . . .	23
3.2.7	Electret Microphone Amplifier - MAX44662.5V . . . . .	25
3.2.8	Electret Microphone Amplifier - MAX44665V . . . . .	28
3.2.9	Electret Microphone Amplifier - MAX4466- frekvensbånd . .	30
3.2.10	Multimedia USB Speaker HP-1800 . . . . .	33
3.2.11	SW LabVIEW FFT af signal . . . . .	35
3.2.12	SW LabVIEW volumenformel . . . . .	38
3.3	Integrationstest . . . . .	40
3.3.1	Bordtest nr. 1 . . . . .	40
3.3.2	Bordtest nr. 2 . . . . .	41
3.3.3	Bordtest nr. 3 . . . . .	43
3.3.4	Bordtest nr. 4 . . . . .	45
3.3.5	Bordtest nr. 5 . . . . .	50
3.3.6	Bordtest nr. 6 - resonansfrekvens i tomt kammer . . . . .	53
3.3.7	Bordtest nr. 6.1 - resonansfrekvens i tomt kammer . . . . .	54
3.3.8	Bordtest 6.2 - test med tre balloner med forskellig volumen .	58
<b>Kapitel 4 Find en plads til det her</b>		<b>59</b>
4.1	Bestemmelse af volumen af resonator . . . . .	59
4.1.1	Bestemmelse af volumen af resonator ekskl. halsvolumen . . .	59
4.2	Udregning af volumen . . . . .	59

**Litteratur**

**61**

# Kravspecifikation

# 1

## 1.1 Indledning

Dette kapitel indeholder kravspecifikationen for den akustiske volumenmåler til bryster. Kravspecifikation er udarbejdet i samarbejde med projektets kunde, Pavia Lumholt, speciallæge i plastikkirurgi.

### 1.1.1 Formål

Kravspecifikation definerer de funktionelle og ikke-funktionelle krav, og fungerer som en bindende kontrakt mellem producent og kunde.

### 1.1.2 Læsevejledning

Dokumentet indeholder en systembeskrivelse for den akustiske brystvolumenmåler (omtales herefter BVM). Systembeskrivelsen er en kort beskrivelse af BVM samt en illustration af måleren. De definerede krav er opdelt i funktionelle og ikke-funktionelle krav, og er beskrevet i de navnebeslægtede afsnit. Dokumentet indeholder ydermere en projektafgrænsning i form af MoSCoW-modellen samt et afsnit omhandlende projektets samarbejdspartnere.

### 1.1.3 Versionshistorik

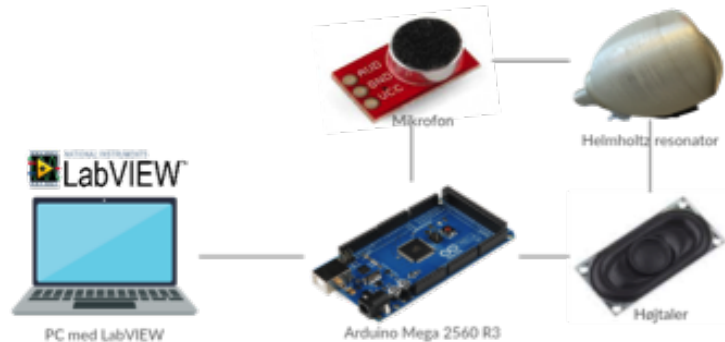
#	Dato	Initialer	Beskrivelse
0.1	03.10.16	JH & JR	Sendt til review

## 1.2 Systembeskrivelse

### Brystvolumenmålerens opbygning

Den akustiske brystvolumenmåler består af en Helmholtz resonator, hvor der er påmonteret en højttaler og en mikrofon. Højttaleren og mikrofonen er koblet til en

Arduino Mega 2560 R3. Arduino'en er koblet til en PC, hvor der skrives til Arduino i LabVIEW.



Figur 1.1: Beskrivelse af systemets komponenter €€€€

### Brystvolumenmåleren funktionalitet

Når en måling intialiseres med BVM'en afsendes en lyd i resonatoren via højttaleren. Mikrofonen på resonatoren opsamler den reflekterede lyd, og ud fra den reflekterede lyd, udregner en algoritme størrelsen på brystvolumen.

#### 1.2.1 Aktørbeskrivelse

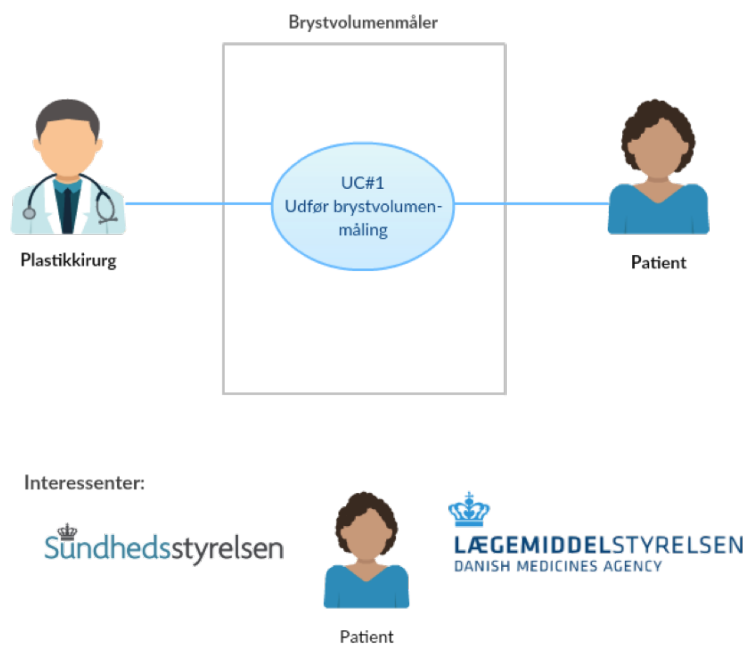
Systemets primære aktør er en plastikkirurg, som bruger BMV'en når han ønsker et objektivt mål på et bryst. Det er udelukkende plastikkirurgen, der betjener BMV'en under en måling. Som sekundær aktør giver patient et input, sit bryst, til systemet.

### 1.3 Funktionelle krav

Dette afsnit beskriver de funktionelle krav, som er udarbejdet i samarbejde med Pavia Lumholt. Disse krav er præsenteret i et Use Case diagram samt i en Fully Dressed Use Case beskrivelse.

### 1.3.1 Use Case diagram

I Use Case diagrammet, 1.2, vises en Use Case for brugen af den akustiske brystvolumenmåler. På venstre side af Use Casen ses systemets primære aktør, og på højre side ses systemets sekundære aktør. Endvidere, vises systemets interessenter, nederst i diagrammet.



Figur 1.2: Use Case #1 diagram, hvor blablabla €€€

## 1.3.2 Use Case #1 - Ufør brystvolumenmåling

Use Case #1: Udfør brystvolumenmåling	
Use Case ID	UC #1
Primær aktør	Plastikkirurg (PK)
Sekundær aktør	Patient
<b>Interessenter</b> 1. Patient: <i>ønsker et objektivt mål, som bevis på overensstemmelse med købsaftale</i> 2. Sundhedsstyrelsen: <i>ønsker et objektivt mål til vurdering af berettigelse til brystformindskende operation</i> 3. Lægemiddelstyrelsen: <i>ønsker, at BVM er i overensstemmelse med EU-lovgivning for medicinsk udstyr</i>	
Startbetingelse	Slutbetingelse
BVM skal være tændt	BVM skal vise et mål for brystvolumen
<b>Normalforløb</b> 1. PK har behov for at kende patientens brystvolumen 2. PK kalibrerer BVM i den tilhørende dockingstation 3. PK placerer BVM på patients blottede bryst 4. PK kontrollerer, at patientens bryst er tætomslettet af BVM 5. PK kontrollerer, at BVM er placeret med et ensartet tryk på patientens bryst 6. PK foretager en måling af brystvolumen ved at trykke på den dertilhørende knap 7. BVM præsenterer målingen på et display, som PK aflæser 8. BVM slukkes og rengøres	
<b>Alternativt flow</b> 1. Manglende kalibrering (a) PK anbringer BVM i dockingstation (b) PK starter kalibrering ved at trykke på den dertilhørende knap (c) BVM melder klar til brug 2. Fejlhåndtering (a) PK slukker BVM (b) PK anbringer BVM i dockingstationen (c) PK tænder BVM (d) PK kalibrerer BVM	
<b>Åbne problemstillinger</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Hvordan ved PK, at BVM mangler at blive kalibreret?</li> <li>Hvordan ved PK, at BVM melder fejl?</li> <li>Hvordan ved PK, at han påfører et ensartet tryk?</li> <li>Hvordan ved PK, at patientens bryst er tætomslettet af BVM?</li> </ul>	



## 1.4 Ikke-funktionelle krav

### Tid

Efter kalibrering må målingen maksimalt tage 10 sek. Dette er et kundekrav fra Pavia Lumholt. BMV'en skal melde om kalibreringsbehov hver 10. minut

### Enheder

Målingen skal angives til PK i milliliter(ml.)Plastikkirurger bruger milliliter enheder når de angiver bryststørrelse.

### UI

UI skal være en touch-screen, da denne form for skærm er rengøringsvenlig. Tekst skal være synligt på en halv meters afstand, da det skal være muligt at aflæse teksten når man står med BVM'en i nogelunde strakt arm. Sproget skal være engelsk, da der ønskes et sprog som kan læses af formentlig alle plastikkirurger. UI skal fejlmelde når der opstår uventet fejl

### Lovgivning for medicinsk udstyr

BMV'en skal overholde lovgivningen for et medicinsk device. BMV'en skal som et klasse I udstyr og et målingsudstyr opfylde bilag VII og være i overensstemmelse med processerne i bilag VI,V eller VI gældende for metrologisk udstyr.

#### 1.4.1 Kalibrering

BMV'en skal kunne kalibreres efter temperatur og luftfugtighed, da disse kan have en indflydelse på målingens output.

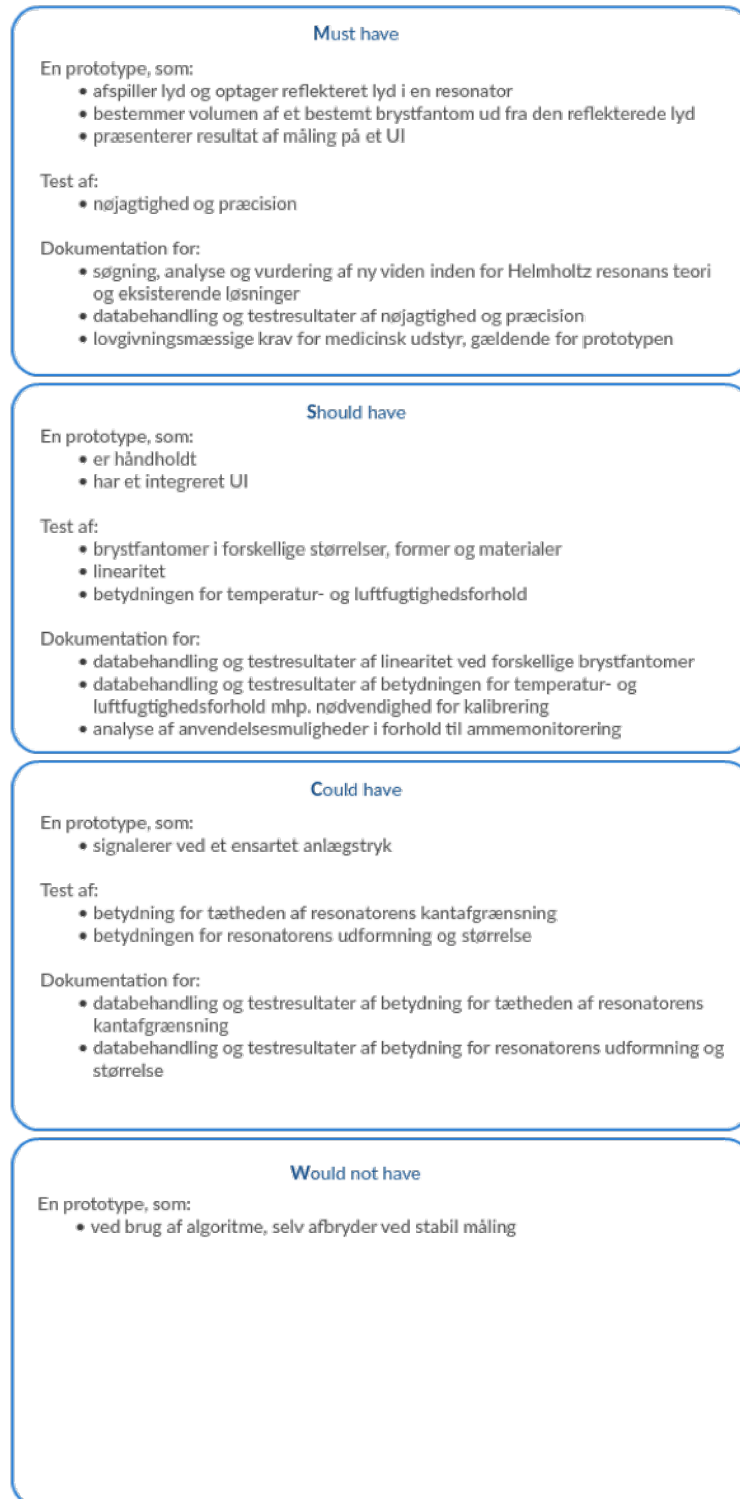
### Nøjagtighed, præcision og linearitet

BMV'en skal måle nøjagtige og præcise, for at målingerne er valide og kan bruge i praksis. Der skal kunne vises en linearitet ved målinger, så målingerne kan bruge i hele bryststørrelsesspektret.

## 1.5 Projektafgrænsning

MoSCoW-modellen er en prioriteringsmetode, som anvendes til afgrænsning af projektet. Modellen beskriver, hvilke dele og krav i projektet, som skal opfyldes (**M**ust), bør opfyldes (**S**hould), kan opfyldes (**C**ould) og ikke vil opfyldes (**W**ould not have). Således gives en struktureret oversigt over, hvilke krav, der er vigtigst at få opfyldt inden for den givne tidsramme, og endvidere, hvilke krav, som efterfølgende med fordel kan implementeres, hvis tidsramme tillader det. Figur 1.3 viser, hvordan de enkelte dele og krav i projektet prioriteres i henhold til MoSCoW-metoden.

### MoSCoW-model



Figur 1.3: MoSCoW-model, hvor blablabla €€€

## 1.6 Samarbejdspartnere

Kravspecifikationen er udarbejdet gennem et samarbejde med flere parter. Først og fremmest er projektets kravspecifikation til den endelige prototype specificeret i et samarbejde med projektets kunde, speciallæge i plastikkirurgi, Pavia Lumholt. Derudover er projektet tilknyttet en vejleder, lektor Samuel Alberg Thrysøe, med speciale i signalbehandling, som vejleder ved eventuelle problemstillinger. Endvidere indgår eksterne konsulenter, som reviewer's på indholdet af kravspecifikationen.

# Testdokumentation 2

---

## 2.1 Indledning

Dette kapitel indeholder dokumentation for de udførte tests på den akustiske brystvolumenmåler.

### 2.1.1 Formål

### 2.1.2 Læsevejledning

### 2.1.3 Versionshistorik

## 2.2 FAT-protokol

Denne Final Acceptance Test protokol (FAT-protokol) beskriver alle de forhold og forudsætninger, som skal være opfyldt for at kunne udføre FAT af den akustiske brystvolumenmåler.

### 2.2.1 Formål

Formålet med denne protokol er at specificere FAT-aktiviteterne gældende for brystvolumenmåleren.

### 2.2.2 Referencer

€€ Eksempelvis UC#1

### 2.2.3 Forkortelser

FAT - Final Acceptance Test

### 2.2.4 Ansvar

*Ved underskrift på protokollen bekræfter:*

Kunde - Projektansvarlig

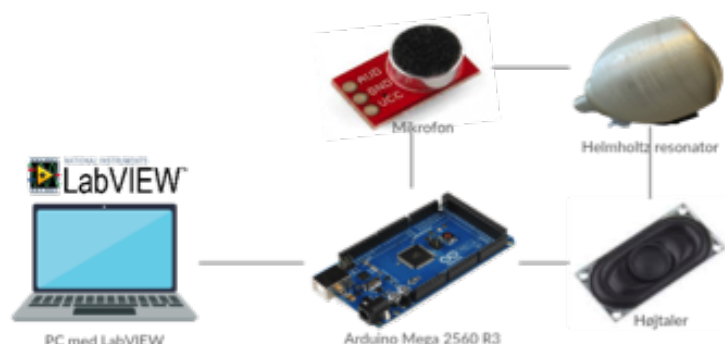
- *at indholdet er komplet og entydigt*
- *at det tekniske indhold og metoder er i orden og dækkende for de planlagte tests*
- *at den projektansvarlige er enig i omfang, metode og acceptkriterier*

Udviklere - Projektansvarlige

- *at det tekniske indhold og metoder er i orden og dækkende for de planlagte tests*

### 2.2.5 Udstyrsbeskrivelse

Den akustiske brystvolumenmåler består af en Helmholtz resonator, hvor der er påmonteret en højttaler og en mikrofon. Højttaleren og mikrofonen er koblet til en Arduino Mega 2560 R3. Arduino'en er koblet til en PC, hvor der skrives til Arduino i LabVIEW. Brystvolumenmåleren benyttes af en plastikkirurg, som bruger BMV'en når han ønsker et objektivt volumenmål på et bryst. Når en måling initialiseres med BVM'en afsendes en lyd i resonatoren via højttaleren. Mikrofonen på resonatoren opsamler den reflekterede lyd, og ud fra den reflekterede lyd, udregner en algoritme størrelsen på brystvolumen.



Figur 2.1: Beskrivelse af systemets komponenter €€€€

### 2.2.6 Acceptkriterier

*Acceptkriterierne er afledt af de forhold, der er specificeret i Kravspecifikationen, kapitel 1. Acceptkriterierne er specificeret i de enkelte testskemaer.*

### 2.2.7 Metode

Dette afsnit specificerer de retningslinjer, hvorefter FAT'en skal afvikles.

#### Dokumentsammenhæng

illustreres €€ Indsæt oversigt, med inspiration fra s. 204

#### Generelle krav

Afviklingen af FAT skal overholde følgende nøglekrav:

- *Protokollen skal være godkendt, før aktiviteter udføres*
- *Afvielser skal registreres og rettelser udføres*
- *Dataindsamling og registreringer skal udføres i overensstemmelse med »god testpraksis«*
- *Data skal granskes for rigtighed og fuldstændighed*
- *En FAT-rapport skal udarbejdes og godkendes som bevis på den gennemførte FAT*

#### Acceptkriterier

Dette afsnit beskriver, hvordan testskemaerne specifikt skal udfyldes.

- *Alle krav skal opfylde de specificerede acceptkriterier i hvert enkelte testskema.*
- *De aktuelle observationer skal svare til de forventede observationer*
- *I »Godkendt«-kolonnen skrives »Ja«, hvis acceptkriteriet er overholdt.*
- *I »Godkendt«-kolonnen skrives »Nej« samt afvigelsesnummer, hvis acceptkriteriet ikke er overholdt.*

subsubsectionAfvigelseshåndtering Afvielser registreres under udførslen af FAT dokumenteres ved udarbejdelse af afvigelsesbilag, hvor følgende punkter opfyldes:

- Afvigelse og årsag til afvigelsen beskrives*
- Aktion for opfyldelse af acceptkriterier angives*
- Resultat af gennemført aktion dokumenteres*

#### Afslutning af FAT-aktiviteter

Ved afslutningen af FAT'aktiviteterne, skrives en FAT-rapport der lukker FAT-aktiviteterne, og fungerer som bevis for, at den gennemførte test af brystvolumenmåleren er afsluttet med et tilfredsstillende resultat.

FAT-rapporten omhandler følgende punkter:

- *Konklusion på den gennemførte FAT*
- *Kopi af godkendt protokol*
- *Afvigelsesblad med korrektive aktioner*
- *Udfyldte testskemaer*

### 2.2.8 Oversigt over testdokumenter

€€ Her angives de specifikke testdokumenter i en tabel. Obs, på eventuelle referencer til kravspec.

### 2.2.9 Forudsætning for udførelse af FAT

€€ Hvad forudsætter afgørelsen for igangsættelse af FAT / når det og det er opfyldt, startes FAT

## 2.3 FAT-testdokument



# Implementering 3

---

## 3.1 Indledning

Dette kapitel indeholder enhedstest, integrationstest samt €€€€€€€€€€accept-test. Alle udførte tests er reproducerbare, hvilket afspejles i den høje detaljegrad som testene er beskrevet i. For at kunne reproducere beskrevne tests, forventes et kendskab til Labview, herunder LINX [LabVIEW MakerHub].

### 3.1.1 Formål

### 3.1.2 Læsevejledning

### 3.1.3 Versionshistorik

## 3.2 Enhedstest

Dette afsnit beskriver de indledende funktionstests, hvor hver enkelte selvstændige funktion i systemet afprøves.

### 3.2.1 Højttaler ABS-224-RC

#### Testformål

Det afprøves, om højttaleren kan generere en lyd.

#### Produktspecifikationer

*Hardware:*

Højttaler: ABS-224-RC

Højttalerkabel: Rød/Sort

2 stk. Male Single Row Pin Header Strip 2.54 mm.

Arduino Mega 2560 R3

PC

USB kabel Hi-speed 2.0 shield 28AWG/2C+24AWG/2C Han USB A - Han USB B

*Software:*

NI LabVIEW 2014

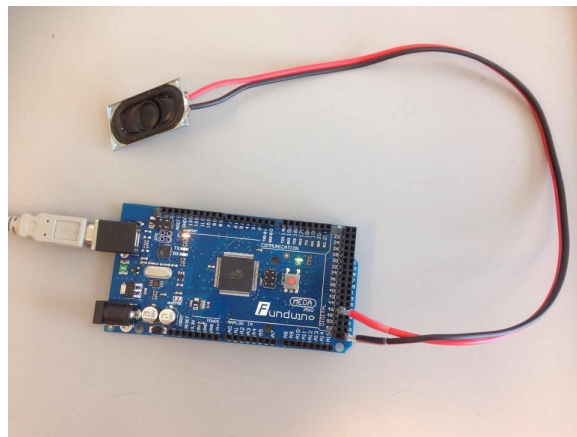
NI VISA 15.0.1

VI Package Manager

ARDUINO 1.6.12

### Opstilling og opsætning

Højtaleren er loddet til højtalerkablets ene ende, og pin headerne er loddet til kablets anden ende. Pin headerne er isat Arduino'en i pin 46 (PL3(OC5A)), som et er digitalt PWM output, og til ground (GND). Arduino'en er med et USB kabel koblet til PC'en. Testopstillingen er vist i figur 3.1.

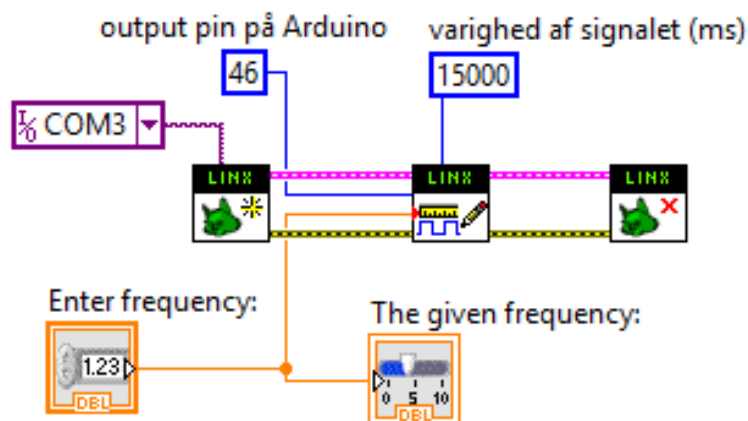


Figur 3.1: Testopstilling for enhedstest af Højttaler ABS-224-RC.

På PC'en er VI'et `genererfrekvenssignal0.2.vi` åbnet i LabVIEW. Blokdiagrammet for VI'et er vist i figur 3.2.

### Udførsel

1. I *Enter Frequency* på frontpanelet i `genererfrekvenssignal0.2.vi`, indtastes 500.
2. Der trykkes på *Run*.
3. Der lyttes efter lydsignal fra højtaleren.



Figur 3.2: I blokdiagrammet `genererfrekvenssignal0.2.vi` er der anvendt følgende LINX-VI'er; Initialize, Digital Write Square Wave samt Close.

### Resultater

Lydsignal blev generet og afspillet.

### Diskussion

-

### Konklusion

Højttaleren opfylder testen idet der generes en lyd. Samtidig konkluderes, at øvrigt anvendt HW og SW i denne test virker tilfredsstillende, og der vil derfor ikke blive lavet yderligere enhedstests på disse komponenter.

### Aktion

-

### 3.2.2 Minijack PC Mikrofon

#### Testformål

Det afprøves, om mikrofonen kan optage en hørbar lyd og at det ikke er PC'ens indbyggede mikrofon som opfanger lyden

#### Produktspecifikationer

*Hardware:*

Minijack PC Mikrofon

PC

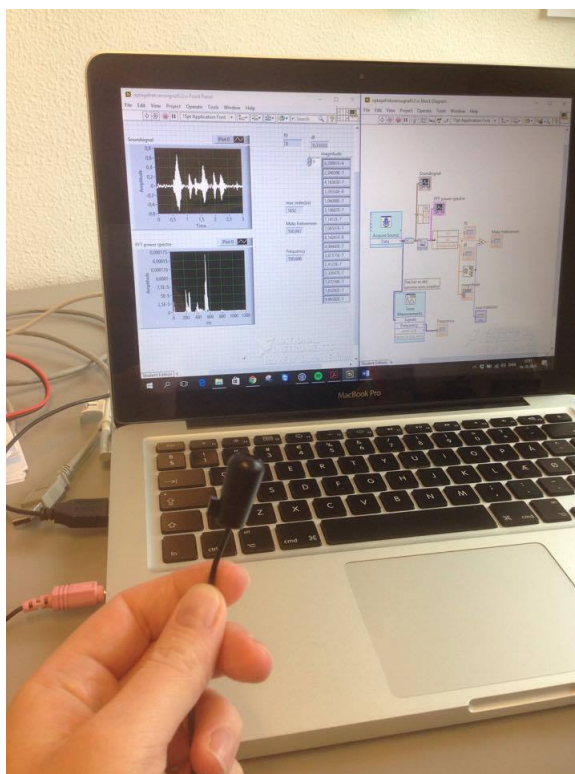
*Software:*

NI LabVIEW 2014

[www.onlinetonegenerator.com](http://www.onlinetonegenerator.com)

### Opstilling og opsætning

Mikrofonen er sat i PC'ens minijack-stik. Testopstillingen er vist i figur 3.3.



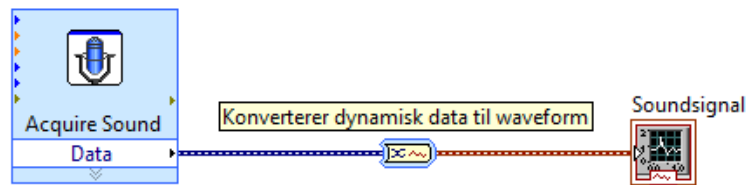
Figur 3.3: Testopstilling for enhedstest af Minijack PC Mikrofon.

På PC'en er VI'et `optagefrekvenssignal0.1.vi` åbnet i LabVIEW. Blokdiagrammet for VI'et er vist i figur 3.4.

[www.onlinegenerator.com](http://www.onlinegenerator.com) er åben i en browser på PC'en.

### Udførsel

1. I VI'et `optagefrekvenssignal0.1.vi`, trykkes på *Run*.



Figur 3.4: I blokdiagrammet `optagefrekvenssignal0.1.vi` opsamles lydsignalet, som vises i en graf på frontpanelet.

- a) Der genereres en hørbar lyd til mikrofonen fra `onlinegenerator.com`.
  - b) På frontpanelet i VI'et observeres om grafen viser frekvensudsving.
2. I VI'et `optagefrekvenssignal0.1.vi`, trykkes på *Run*.
- a) Mikrofonen dækkes nu med en hånd mhp. at mikrofonen ikke opfanger en lyd.
  - b) Der generes en hørbar lyd til mikrofonen fra `onlinegenerator.com`.
  - c) På frontpanelet i VI'et observeres om grafen viser frekvensudsving.

## Resultater

Ad1. Der er observeret et udsving på grafen. Mikronen har opfanget et frekvenssignal.  
 Ad2. Der er ikke observeret et udsving på grafen. Mikrofonen har ikke opfanget et frekvenssignal.

## Diskussion

-

## Konklusion

Idet der ikke optages en hørbar lyd i Ad2., konkluderes det, at den hørbare lyd, optages gennem Ad1. Mikrofonen opfylder testen.

## Aktion

-

### 3.2.3 Tores højttaler

#### Testformål

Det afprøves, om højttaleren kan generere en lyd.

## Produktspecifikationer

### *Hardware:*

Tores højttaler

Højtalerkabel: Rød/Sort

Kabelsko: Rød fladstik hun, str. 0.25-1.65 mm<sup>2</sup>, 6.6 mm bred fladstik

2 stk. Male Single Row Pin Header Strip 2.54 mm.

Arduino Mega 2560 R3

PC

USB kabel Hi-speed 2.0 shield 28AWG/2C+24AWG/2C Han USB A - Han USB B

### *Software:*

NI LabVIEW 2014

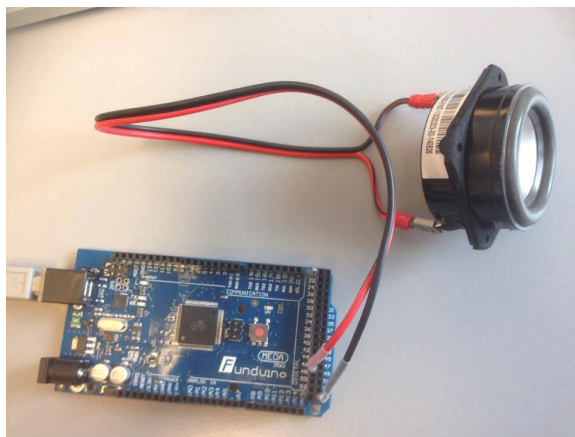
NI VISA 15.0.1

VI Package Manager

ARDUINO 1.6.12

## Opstilling og opsætning

Højtalerkablets ene ende er påsat kabelsko, som er påsat højttaleren. Til kablets anden ende er pin headere loddet fast. Pin headerne er isat Arduino'en i pin 46 (PL3(OC5A)), som et er digitalt PWM output, og til ground (GND). Arduino'en er med et USB kabel koblet til PC'en. Testopstillingen er vist i figur 3.5.



Figur 3.5: Testopstilling for enhedstest af Tores højttaler.

På PC'en er VI'et **genererfrekvenssignal0.2.vi** åbnet i LabVIEW. Blokdiagrammet for VI'et er vist i figur 3.2.

**Udførsel**

Udføres på samme vis, som ved enhedstest af 3.2.1 Højtaler ABS-224-RC.

**Resultater**

Lydsignal blev generet og afspillet.

**Diskussion**

-

**Konklusion**

Højtaleren opfylder testen idet der generes en lyd.

**Aktion**

-

**3.2.4 Ny enhedstest af Minijack PC Mikrofon d. 25.10.16****Testformål**

Det afprøves, om mikrofonen kan optage en hørbar lyd og at det ikke er PC'ens indbyggede mikrofon som opfanger lyden

**Produktspecifikationer***Hardware:*

Minijack PC Mikrofon

PC

Smartphone

*Software:*

NI LabVIEW 2014

[www.onlinetonegenerator.com](http://www.onlinetonegenerator.com)

### Opstilling og opsætning

Mikrofonen er med en ledning tilsluttet PC'ens minijack-stik. Ledningens længde er godt en meter €€€SKAL MÅLES, og muliggør dermed, at PC'en er placeret i et rum, og mikrofonen med ledningen gennem den lukkede dør, er placeret i et andet rum. I en browser på smartphonen åbnes onlinetonegenerator.com. Smartphonen placeres ca. 2 cm fra mikrofonen.

På PC'en er VI'et `optagefrekvenssignal0.1.vi` åbnet i LabVIEW. Blokdiagrammet for VI'et er vist i figur 3.4.

Testopstillingen er vist i figur €€€€.

### Udførsel

1. I VI'et `optagefrekvenssignal0.1.vi`, trykkes på *Run*.
2. Der generes en hørbar lyd i onlinegenerator.com til mikrofonen.
3. På frontpanelet i VI'et observeres frekvensudsving på grafen.

### Resultater

Der blev ikke observeret et frekvensudsving på grafen. Mikronen har ikke opfanget et frekvenssignal.

### Diskussion

-

### Konklusion

Mikrofonen opfanger intet frekvensudsving og det konkluderes, at den virker til at være deaktiv eller ude af funktion.

### Aktion

Denne problemstilling må undersøges yderligere med henblik på at få en fungerende, aktiv mikrofon, som opfanger et frekvenssignal.



### 3.2.5 Enhedstest af indbygget mikrofon i Logitech HD WEBCAM C270

#### Testformål

Det afprøves, om den indbyggede mikrofon i webkameraet opfanger en hørbar lyd.

#### Produktspecifikationer

##### *Hardware:*

Logitech HD WEBCAM C270

PC

Smartphone

##### *Software:*

NI LabVIEW 2014

[www.onlinetonegenerator.com](http://www.onlinetonegenerator.com)

#### Opstilling og opsætning

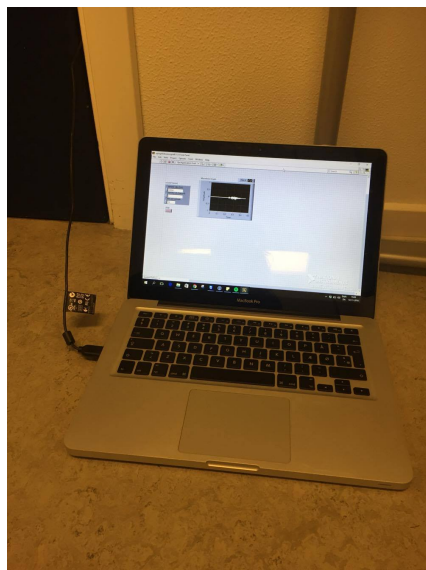
Webkameraet er tilsluttet PC'ens USB-port. PC'en er placeret i et rum med en dør, og webkameraet er placeret uden for døren. I en browser på smartphonen åbnes [onlinetonegenerator.com](http://onlinetonegenerator.com). Smartphonen placeres ca. 2 cm fra webkameraet.

På PC'en er VI'et `optagefrekvenssignal0.1.vi` åbnet i LabVIEW. Blokdiagrammet for VI'et er vist i figur 3.4.

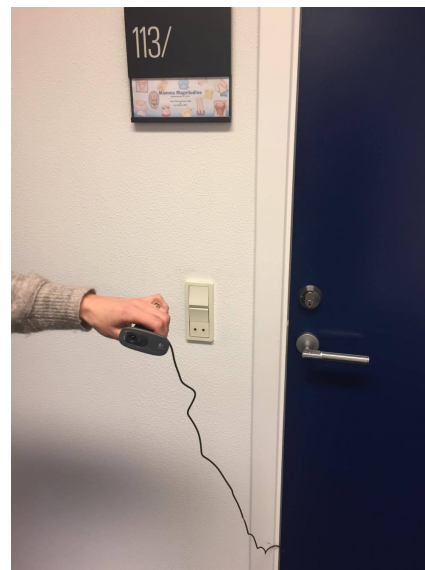
Testopstillingen er vist i figur 3.8.

#### Udførsel

1. I VI'et `optagefrekvenssignal0.1.vi`, trykkes på *Run*.
2. Der genereres en hørbar lyd i [onlinegenerator.com](http://onlinegenerator.com) til webkameraet.
3. På frontpanelet i VI'et afventes frekvensudsving på en graf.



(a) Placering af PC



(b) Placering af webkamera

Figur 3.6: Testopstilling for enhedstest af indbygget mikrofon i Logitech HD WEBCAM C270.

### Resultater

Der observeres et udsving på grafen. Mikrofonen i webkameraet har opfanget en hørbar lyd.

### Diskussion

-

### Konklusion

Den indbyggede mikrofon i webkameraet opfanger et frekvensudsving, og det konkluderes, at den opfylder testen.

### Aktion

Denne mikrofon er ikke hensigtsmæssig til brug i den videre test, da den er for stor til at kunne påsættes resonatoren. Næste skridt er at finde en mindre mikrofon med USB-stik.

### 3.2.6 Elektret mikrofon BOB 12758

#### Testformål

Det afprøves, om mikrofonen opfanger signaler med frekvenser i intervallet 20 Hz - 10 kHz.

#### Produktspecifikationer

##### *Hardware:*

Electret Microphone Breakout BOB 12758

3 stk. Male Single Row Pin Header Strip 2.54 mm.

Mikrofonkabler: Rød/Sort/Blå

Krympeflex 2:1

Multifunction Data Acquisition (DAQ) USB-6009

USB kabel: National Instruments USB A/B 2.0 Cable (1 Meter)

PC

##### *Software:*

NI LabVIEW 2014

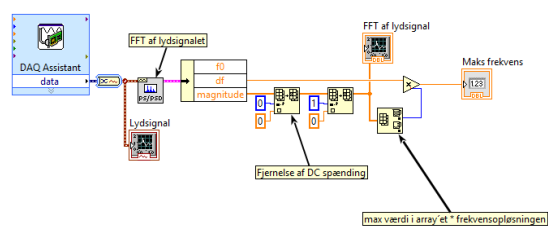
LabVIEW2014-NI-DAQmx-14

[www.onlinetonegenerator.com](http://www.onlinetonegenerator.com)

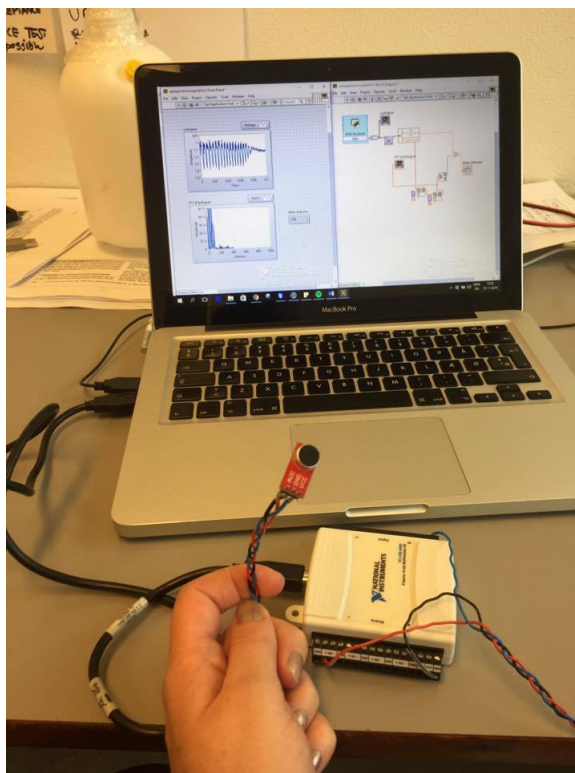
#### Opstilling og opsætning

På kablerne er pins fastloddet, som igen er loddet fast til mikrofonprintet. Det røde kabel forbinder mikrofonprintets "AUD" til "+AI0-indgangen på DAQ'en. Det sorte kabel forbinder mikrofonprintets GND til "GND-indgangen på DAQ'en. Det blå kabel forbinder mikrofonprintets "VCC" til "+5V" på DAQ'en. DAQ'en er med USB-kablet tilkoblet PC'en, hvorpå VI'et `optagefrekvenssignal0.4.vi` er åbnet i LabVIEW. Blockdiagrammet for VI'et er vist i figur 3.7. I en browser på PC'en er [onlinetonegenerator.com](http://onlinetonegenerator.com) åbnet.

Testopstillingen er vist i figur 3.8.



Figur 3.7: Blokdiagram for VI'et optagefrekvenssignal0.4.vi.



Figur 3.8: Opstilling for enhedstest af elektret mikrofon.

### Udførsel

1. I VI'et *optagefrekvenssignal0.4.vi*, trykkes på *Run*.
2. Der genereres et signal med følgende frekvens: 100 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 5 kHz og 10 KHz fra *onlinetonegenerator.com*
3. På frontpanelet i VI'et observeres frekvensudsving på grafen.
4. Resultatet aflæses i *Max Frequency* på VI'ets frontpanel.

Testen fortages to gange for hver frekvens.

Tabel 3.1: Tabel over resultater

Udsendt frekvens [Hz]	1. resultat	2. resultat
100	20	40
500	500	500
1000	1000	1000
5000	3000	3000
10000	20	50

### Resultater

### Diskussion

Skyldes de upræcise resultater ved 100 Hz, at PC højttaleren's frekvensbånd ikke er lavt nok til at udsende et signal med en frekvens på 100 Hz?

### Konklusion

Ved et signal med en frekvens på hhv. 100 Hz, 5 kHz og 10 kHz er resultaterne ikke tilnærmelsesvis de udsendte frekvenser. Det kan ikke konkluderes, hvorvidt det skyldes mikrofonen eller PC'ens højttalere.

### Aktion

Der skal udføres en ny enhedstest af mikrofonen, hvor der er sikkert, at lyd giveren kan afgive frekvenser i mikrofonens frekvensbånd.

### 3.2.7 Electret Microphone Amplifier - MAX44662.5V

#### Testformål

Det afprøves, om mikrofonen opfanger signaler med frekvenser i intervallet 20 Hz - 1 kHz.

#### Produktspecifikationer

*Hardware:*

Electret Microphone Amplifier - MAX4466

3 stk. Male Single Row Pin Header Strip 2.54 mm.

Mikrofonkabler: Rød/Sort/Blå

Krympeflex 2:1

Multifunction Data Acquisition (DAQ) USB-6009

USB kabel: National Instruments USB A/B 2.0 Cable (1 Meter)

PC

*Software:*

NI LabVIEW 2014

LabVIEW2014-NI-DAQmx-14

[www.onlinetonegenerator.com](http://www.onlinetonegenerator.com)

### Opstilling og opsætning

På kablerne er pins fastloddet, som igen er loddet fast til mikrofonprintet. Det røde kabel forbinder mikrofonprintets "AUD" til "+AI0-indgangen på DAQ'en. Det sorte kabel forbinder mikrofonprintets GND til "GND-indgangen på DAQ'en. Det blå kabel forbinder mikrofonprintets "VCC" til "+2.5V" på DAQ'en. DAQ'en er med USB-kablet tilkoblet PC'en, hvorpå VI'et `optagefrekvenssignal0.4.vi` er åbnet i LabVIEW. Blockdiagrammet for VI'et er vist i figur 3.7. I en browser på PC'en er [onlinetonegenerator.com](http://onlinetonegenerator.com) åbnet.

Testopstillingen er vist i figur 3.11.

### Udførsel

1. I VI'et `optagefrekvenssignal0.4.vi`, trykkes på *Run*.
2. Der genereres et signal med følgende frekvens: 20 Hz, 50 Hz, 100 Hz, 1 kHz og 10 KHz fra [onlinetonegenerator.com](http://onlinetonegenerator.com).
3. På frontpanelet i VI'et observeres frekvensudsving på grafen.
4. Resultatet aflæses i *Max Frequency* på VI'ets frontpanel.

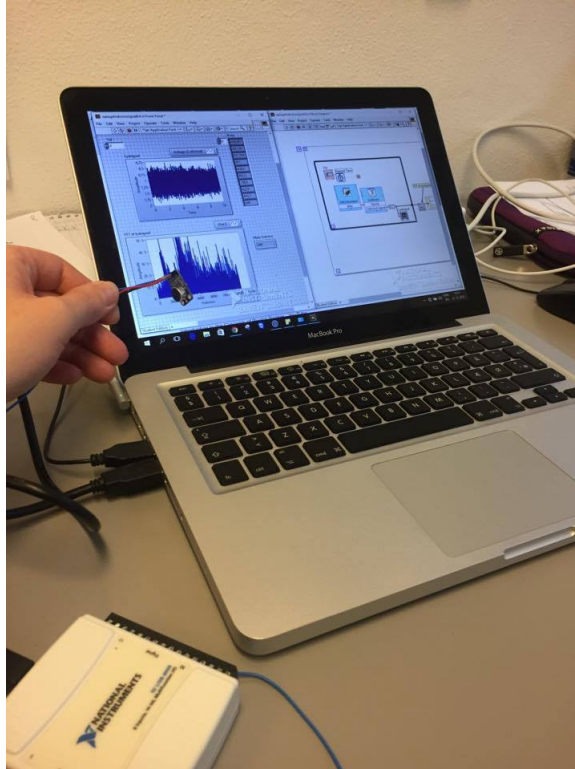
Testen foretages to gange for hver frekvens.

### Resultater

Resultaterne vises i tabel 3.2.

### Diskussion

I beskrivelsen af mikrofonen anbefales at bruge 2,5V som er den mest støjsvage forsyning.☹☹☹ <https://www.adafruit.com/products/1063> Skyldes de afvigende



Figur 3.9: Opstilling for enhedstest af Electret Microphone Amplifier - MAX4466.

Tabel 3.2: Tabel over resultater

Udsendt frekvens [Hz]	1. resultat	2. resultat
20	96	96
50	22	15
100	95	95
1000	1000	1000
10000	4	15

resultater at der kun bruges 2,5V strømforsyning til at opsamle lyden?

### Konklusion

Ved et signal med en frekvens på hhv. 20 Hz, 50 Hz, 100 Hz, og 10 kHz er resultaterne ikke tilnærmelsesvis de udsendte frekvenser. Det kan ikke konkluderes, hvorvidt det skyldes mikrofonen, et begrænset frekvensbånd på PC'ens højttaler eller en for lav strømforsyning til mikrofonen.

### Aktion

Testen udføres igen med en strømforsyning på 5V.

### 3.2.8 Electret Microphone Amplifier - MAX44665V

#### Testformål

Det afprøves, om mikrofonen opfanger signaler med frekvenser i intervallet 20 Hz - 1 kHz.

#### Produktspecifikationer

##### *Hardware:*

Electret Microphone Amplifier - MAX4466

3 stk. Male Single Row Pin Header Strip 2.54 mm.

Mikrofonkabler: Rød/Sort/Blå

Krympeflex 2:1

Multifunction Data Acquisition (DAQ) USB-6009

USB kabel: National Instruments USB A/B 2.0 Cable (1 Meter)

PC

##### *Software:*

NI LabVIEW 2014

LabVIEW2014-NI-DAQmx-14

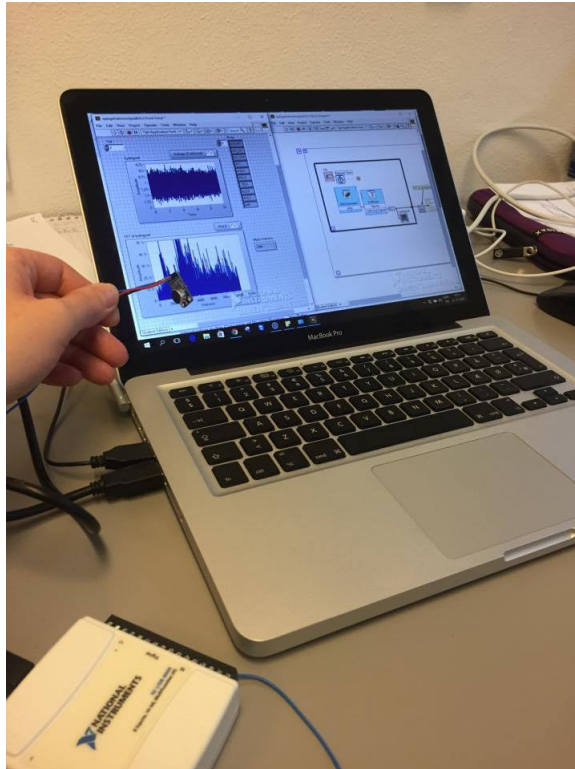
[www.onlinetonegenerator.com](http://www.onlinetonegenerator.com)

#### Opstilling og opsætning

På kablerne er pins fastloddet, som igen er loddet fast til mikrofonprintet. Det røde kabel forbinder mikrofonprintets "AUD" til "+AI0-indgangen på DAQ'en. Det sorte kabel forbinder mikrofonprintets GND til "GND-indgangen på DAQ'en. Det blå kabel forbinder mikrofonprintets "VCC" til "+5V" på DAQ'en. DAQ'en er med USB-kablet tilkoblet PC'en, hvorpå VI'et `optagefrekvenssignal0.4.vi` er åbnet i LabVIEW. Blockdiagrammet for VI'et er vist i figur 3.7. I en browser på PC'en er [onlinetonegenerator.com](http://onlinetonegenerator.com) åbnet.

Testopstillingen er vist i figur 3.11.





Figur 3.10: Opstilling for enhedstest af Electret Microphone Amplifier - MAX4466.

### Udførsel

1. I VI'et optagefrekvenssignal0.4.vi, trykkes på *Run*.
2. Der genereres et signal med følgende frekvens: 20 Hz, 50 Hz, 100 Hz, 1 kHz og 10 KHz fra onlinetonegenerator.com.
3. På frontpanelet i VI'et observeres frekvensudsving på grafen.
4. Resultatet aflæses i *Max Frequency* på VI'ets frontpanel.

Testen foretages to gange for hver frekvens.

### Resultater

Resultaterne vises i tabel 3.3.

Tabel 3.3: Tabel over resultater

Udsendt frekvens [Hz]	1. resultat	2. resultat
20	20	40
50	80	100
100	20	700
1000	1000	1000
10000	40	20

**Diskussion**

Strømforsyningen på 5V gjorde ikke afvigelserne i resultaterne mindre. Kan det være frekvensbåndet i PC'ens højtalere som ikke er bredt nok til at afspille det ønskede frekvensbånd.

**Konklusion**

Ved et signal med en frekvens på hhv. 20 Hz, 50 Hz, 100 Hz, og 10 kHz er resultaterne ikke tilnærmelsesvis de udsendte frekvenser. Det kan ikke konkluderes, hvorvidt det skyldes mikrofonen eller et begrænset frekvensbånd på PC'ens højtaler.

**Aktion**

Frekvensbåndet mellem 100 og 1000 Hz ønskes testet, da det muligvis kan være tilstrækkeligt til de videre tests.

**3.2.9 Electret Microphone Amplifier - MAX4466- frekvensbånd****Testformål**

Det afprøves, om mikrofonen opfanger signaler med frekvenser i intervallet 100 Hz - 1 kHz.

**Produktspecifikationer***Hardware:*

Electret Microphone Amplifier - MAX4466

3 stk. Male Single Row Pin Header Strip 2.54 mm.

Mikrofonkabler: Rød/Sort/Blå

Krympeflex 2:1

Multifunction Data Acquisition (DAQ) USB-6009

USB kabel: National Instruments USB A/B 2.0 Cable (1 Meter)

PC

*Software:*

NI LabVIEW 2014

LabVIEW2014-NI-DAQmx-14

[www.onlinetonegenerator.com](http://www.onlinetonegenerator.com)

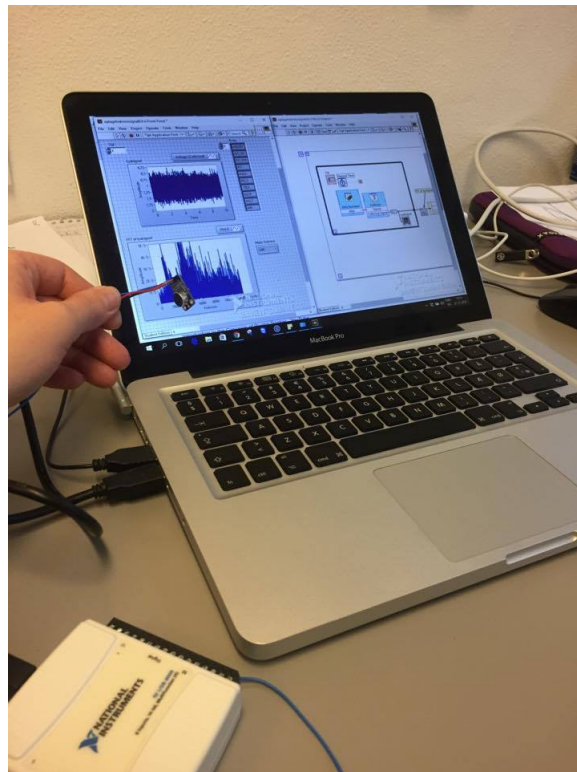
### Opstilling og opsætning

På kablerne er pins fastloddet, som igen er loddet fast til mikrofonprintet. Det røde kabel forbinder mikrofonprintets "AUD" til "+AI0-indgangen på DAQ'en. Det sorte kabel forbinder mikrofonprintets GND til "GND-indgangen på DAQ'en. Det blå kabel forbinder mikrofonprintets "VCC" til "+5V" på DAQ'en. DAQ'en er med USB-kablet tilkoblet PC'en, hvorpå VI'et `optagefrekvenssignal0.4.vi` er åbnet i LabVIEW. Blockdiagrammet for VI'et er vist i figur 3.7. I en browser på PC'en er [onlinetonegenerator.com](http://onlinetonegenerator.com) åbnet.

Testopstillingen er vist i figur 3.11.

### Udførsel

1. I VI'et `optagefrekvenssignal0.4.vi`, trykkes på *Run*.
2. Der generes et signal med følgende frekvens: 100 Hz, 150 Hz, 200 Hz,



Figur 3.11: Opstilling for enhedstest af Electret Microphone Amplifier - MAX4466.

300, 400 Hz, 500 Hz, 600 Hz, 700 Hz, 800 Hz, 900 Hz og 1 kHz fra onlinetonegenerator.com.

3. På frontpanelet i VI'et observeres frekvensudsving på grafen.

4. Resultatet aflæses i *Max Frequency* på VI'ets frontpanel.

Testen fortages to gange for hver frekvens.

### Resultater

Resultaterne vises i tabel ??.

### Diskussion

Resultaterne af det udsendte frekvenssignal på 100 Hz er afvigende. Det kan muligvis skyldes et begrænset frekvensbånd i PC-højttaleren.

### Konklusion

Det anvendte hardware kan opfange et frekvensbånd fra 150 Hz - 1 kHz med en nøjagtighed på 100 pct.

### Aktion

Det er besluttet at anvende mikrofonen i det videre testforløb.

Tabel 3.4: Tabel over resultater

Udsendt frekvens [Hz]	1. resultat	2. resultat
100	20	80
150	150	150
200	200	200
300	300	300
400	400	400
500	500	500
600	600	600
700	700	700
800	800	800
900	900	900
1000	1000	1000

### 3.2.10 Multimedia USB Speaker HP-1800

#### Testformål

Det afprøves, om højttaleren kan generere signaler med frekvenser i intervallet 20 Hz - 1500 Hz.

#### Produktspecifikationer

##### *Hardware:*

Electret Microphone Amplifier - MAX4466

3 stk. Male Single Row Pin Header Strip 2.54 mm.

Mikrofonkabler: Rød/Sort/Blå

Krympeflex 2:1

Multifunction Data Acquisition (DAQ) USB-6009

USB kabel: National Instruments USB A/B 2.0 Cable (1 Meter)

Multimedia USB Speaker HP-1800

PC

##### *Software:*

NI LabVIEW 2014

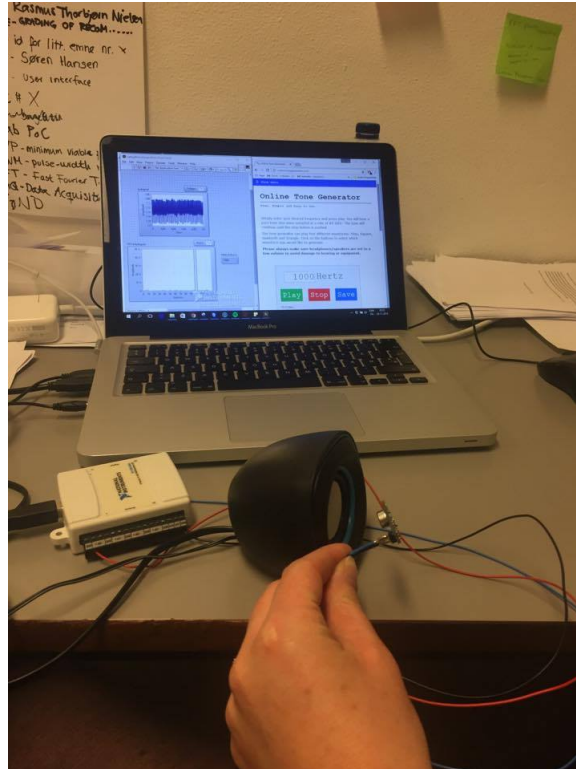
LabVIEW2014-NI-DAQmx-14

[www.onlinetonegenerator.com](http://www.onlinetonegenerator.com)

#### Opstilling og opsætning

På kablerne er pins fastloddet, som igen er loddet fast til mikrofonprintet. Det røde kabel forbinder mikrofonprintets "AUD" til "+AI0-indgangen på DAQ'en. Det sorte kabel forbinder mikrofonprintets GND til "GND-indgangen på DAQ'en. Det blå kabel forbinder mikrofonprintets "VCC" til "+5V" på DAQ'en. DAQ'en er med USB-kablet tilkoblet PC'en, hvorpå VI'et `optagefrekvenssignal0.4.vi` er åbnet i LabVIEW. Blockdiagrammet for VI'et er vist i figur 3.7. Højttaleren er tilsluttet PC'ens USB-port og minijack-stik, og er placeret ca. 2 cm. fra mikrofonen. I en browser på PC'en er [onlinetonegenerator.com](http://onlinetonegenerator.com) åbnet.

Testopstillingen er vist i figur 3.12.



Figur 3.12: Opstilling for enhedstest af Electret Microphone Amplifier - MAX4466.

### Udførsel

1. Der genereres et signal med henholdsvis følgende frekvens: 20 Hz, 75 Hz, 80 Hz, 90 Hz, 100 Hz, 150 Hz, 200 Hz, 300, 400 Hz, 500 Hz, 600 Hz, 700 Hz, 800 Hz, 900 Hz, 1000 Hz, 1100 Hz, 1200 Hz, 1300 Hz, 1400 Hz og 1500 Hz fra [onlinetonegenerator.com](http://onlinetonegenerator.com).
- 2.
3. I VI'et `optagefrekvenssignal0.4.vi`, trykkes på *Run* efter hvert genereret frekvens.
4. På frontpanelet i VI'et aflæses frekvensen i *Maks frekvens*

Testen foretages to gange for hver frekvens.

### Resultater

Resultaterne vises i tabel 3.5.

### Diskussion

Frekvenser op til 90 Hz og frekvenser fra 1300 Hz til 1500 afviger fra de udsendte frekvenser. Kan det muligvis skyldes mikrofonen ikke kan optage disse signaler eller

Tabel 3.5: Tabel over resultater

Udsendt frekvens [Hz]	1. resultat	2. resultat
20	20	50
75	70	80
80	90	80
90	90	90
100	100	100
150	150	150
200	200	200
300	300	300
400	400	400
500	500	500
600	600	600
700	700	700
800	800	800
900	900	900
1000	1000	1000
1100	1100	1100
1200	1200	1200
1300	1200	1200
1400	1100	1100
1500	1000	1000

skyldes det højttaleren ikke kan generere frekvenserne?

### Konklusion

Det konkluderes at højttaleren kan leverer frekvenser fra 90 til 1200 Hz.

### Aktion

Det vælges at anvende denne højttaler til det videre testforløb, hvor resonansfrekvens i et tomt kammer måles.

#### 3.2.11 SW LabVIEW FFT af signal

##### Testformål

Denne test har til formål at sikre at den maksfrekvens som LabVIEW er kodet til at detektere stemmer overens med den maksfrekvens som findes i det inputsignal som optages.

##### Produktspecifikationer

*Hardware:*

PC

## Multifunction Data Acquisition (DAQ) USB-6009

*Software:*

NI LabVIEW 2014

NI VISA 15.0.1

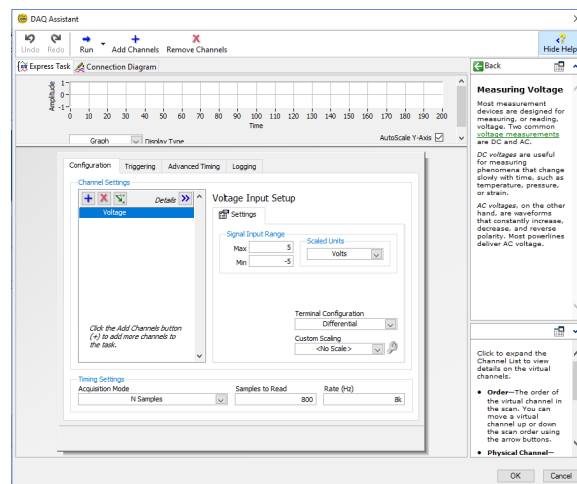
VI Package Manager

LabVIEW2014-NI-DAQmx-14

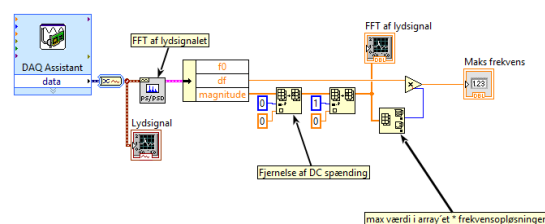
www.onlinetonegenerator.com

**Opstilling og opsætning**

optagefrekvenssignal0.4.vi er åbnet og onlinetonegeneratoren er åbnet i browseren på PC'en. Blokdiagrammet er vist i figur ?? . I blokdiagrammet i optagefrekvenssignal0.4.vi åbnes DAQ assistant modulet og i *Samples to read* indtastes 800 og i *Rate(Hz)* indtastes 8000. Dette vises i figur 3.13. I onlinetonegeneratoren åbnes DMTF generatoren som er vist i figur 3.15



Figur 3.13: DAQ assistant modulet med korrekt indtastet værdier



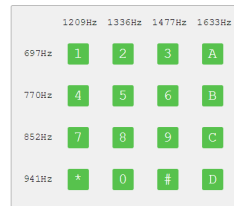
Figur 3.14: Blokdiagram for VI'et optagefrekvenssignal0.4.vi.



**Online Tone Generator**

DTMF Dial Tones

The Online Tone Generator can be used to create Dual Tone Multi Frequency (DTMF) signals commonly heard on telephone dial pads. Each tone is simply the sum of two sine waves. Click and hold the dial pad buttons to hear each tone.



Figur 3.15: DTMF generatoren

**Udførsel**

1. En DTMF tone 1 vælges i tonegeneratoren. Den højste frekvens i DTMF tonen noteres.
2. Tonen afspilles og der trykkes på run i VI'et som nu optager tonen.
3. Maksfrekvensen aflæses på frontpanlet i *Maks frekvens* og sammenholdes med den tidligere noteret maksfrekvens. Disse skulle gerne stemme overens.

Denne udførsel gentages med tone 5, 9 samt D fra DTMF generatoren.

**Resultater****Diskussion**

-

**Konklusion**

Resultaterne af testen ligger acceptabelt tæt på de afsendte frekvenser.

**Aktion**

Det besluttes at godkende testen og bruge koden i det videre forløb.

Tabel 3.6: Tabel over resultater

DTMF tone	Højeste frekvens	Resultat
1	1209	1209,6
5	1336	1332,16
9	1477	1475,84
D	1633	1633,4

### 3.2.12 SW LabVIEW volumenformel

#### Testformål

Denne test har til formål at afklare om den kodet helmholtzresonansformel i LabVIEW udregner korrekt volumen ud fra givet værdier.

#### Produktspecifikationer

*Hardware:*

PC

Texas Instruments TI-89

*Software:*

NI LabVIEW 2014

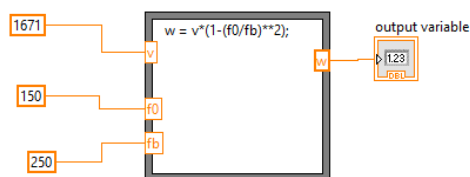
#### Opstilling og opsætning

HelmholtzresonansVolumenformel.vi er åbnet. Blokdiagrammet for VI'et ses i figur 3.16

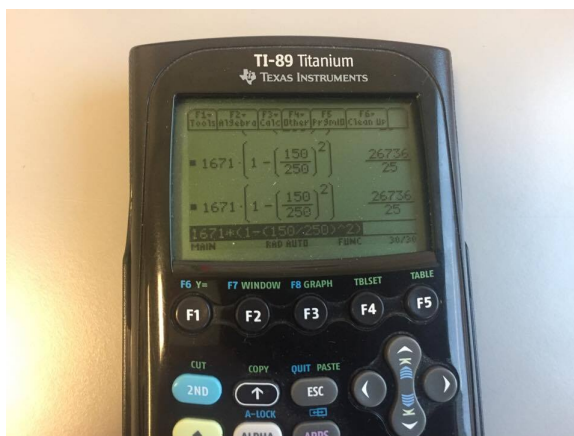
På TI-89'eren indtastes formelen for udregningen af volumen ud fra helmholtzresonansen. Formel defineres således

$$W = V \left( 1 - \left( \frac{f_0}{f_b} \right)^2 \right) \quad (3.1)$$

Indtastningen op TI-89'eren ses på figur 3.17, hvor værdierne er angivet således at  $v = 1671$ ,  $f_0 = 150$  og  $f_b = 250$ . Resultatet af indtastning giver volumet  $W = 1069.44$



Figur 3.16: Blokdiagram for VI'et Helmholtzresonansformel.



Figur 3.17: Indtastning af formel på TI-89

### Udførsel

1. De overnævnte værdier indtastes i blokdiagrammet på de korrekte pladser.
2. Der trykkes på *Run*
3. Resultat af udregningen aflæses på frontpanelet i feltet *Resultat*.
4. Resultatet fra TI-89 og VI'et sammenlignes.

### Resultat

Volumet, regnet på TI-89'erne, angav at  $W = 1069.44$ . Volumet, regnet i VI'et, angav at  $W = 1069.44$ .

### Diskussion

-

### Konklusion

Da resultatet af udregningen er ens for begge metoder, godkendes testen.

### Aktion

Det besluttes at den kodede formel fra VI'et kan bruges i det videre udviklingsforløb i LabVIEW.

## 3.3 Integrationstest

### 3.3.1 Bordtest nr. 1

#### Testformål

Det afprøves, at generere et frekvenssignal som udsendes gennem højttaleren, og derefter opfanges af mikrofonen, hvor den højst målte frekvens til sidst angives.

#### Produktspecifikationer

##### *Hardware:*

Højttaler: ABS-224-RC

Højttalerkabel: Rød/Sort

2 stk. Male Single Row Pin Header Strip 2.54 mm.

Arduino Mega 2560 R3

PC

USB kabel Hi-speed 2.0 shield 28AWG/2C+24AWG/2C Han USB A - Han USB B

##### *Software:*

NI LabVIEW 2014

NI VISA 15.0.1

VI Package Manager

ARDUINO 1.6.12

#### Opstilling og opsætning

##### *1. delopstilling:*

Højttaleren er loddet til højttalerkablets ene ende, og pin headerne er loddet til kablets anden ende. Pin headerne er isat Arduino'en i pin 46 (PL3(OC5A)), som et er digitalt PWM output, og til ground (GND). Arduino'en er med et USB kabel koblet til PC'en. På PC'en er VI'et `genererfrekvenssignal0.2.vi` åbnet i LabVIEW. Testopstillingen for denne del er vist i figur 3.1, og blokdiagrammet er vist i figur 3.2.

##### *2. delopstilling:*

Mikrofonen er sat i PC'ens minijack-stik. På PC'en er VI'et `optagefrekvenssignal0.1.vi` åbnet i LabVIEW. Testopstillingen for denne del er vist i figur 3.3, og blokdiagram-

met er vist i figur 3.4.

### Udførsel

1. Højtaleren holdes manuelt således membranen står i lodret position.
2. Mikrofonen holdes manuelt, vendt mod højtaleren, i en afstand på 5 cm.
3. I VI'et `genererfrekvenssignal0.2.vi` indtastes den ønskede frekvens i den numeriske kontrol *Enter Frequency*.
  - a) Koden eksekveres ved at trykke på *Run*.
4. I VI'et `optagefrekvenssignal0.1.vi` trykkes på *Run*.
  - a) Den maksimale optagede frekvens aflæses i *Max Frequency*.

Punkt 1-4 gentages med frekvenser på: 100 Hz, 150 Hz, 200 Hz, 400 Hz, 500 Hz, 600 Hz og 700 Hz.

### Resultater

Den maksimale optagede frekvens var ikke tilnærmelsesvis frekvensen på den udsendte tone.

### Diskussion

Det ønskede resultat er frekvensen på den udsendte tone, hvilket ikke var tilfældet i denne test. Hvor er fejlen opstået; er der fejl i LabVIEW-kode eller hardware?

### Konklusion

Det er nødvendigt at undersøge om fejlen opstår i vores hardware eller software.

### Aktion

Det skal med en online tonegenerator undersøges, hvor fejlen er opstået.

## 3.3.2 Bordtest nr. 2

### Testformål

Det afprøves, at generere et frekvenssignal fra en online tonegenerator, som udsendes gennem PC'ens højttaler, og derefter opfanges af mikrofonen, hvor den højst målte frekvens til sidst angives.

### Produktspecifikationer

#### *Hardware:*

Minijack PC Mikrofon

PC

#### *Software:*

NI LabVIEW 2014

NI VISA 15.0.1

VI Package Manager

ARDUINO 1.6.12

`onlinetonegenerator.com`

### Opstilling og opsætning

Mikrofonen er sat i PC'ens minijack-stik. På PC'en er VI'et `optagefrekvenssignal0.1.vi` åbnet i LabVIEW. Testopstillingen for denne del er vist i figur 3.3, og blokdiagrammet er vist i figur 3.4.

I en internetbrowser er hjemmesiden `www.onlinetonegenerator.com` åbnet, og PC'ens højtalere er slået til.

### Udførsel

1. Mikrofonen holdes manuelt, vendt mod PC'ens højtalere, i en afstand på 5 cm.
2. I `onlinetonegenerator.com` genereres et signal med den ønskede frekvens.
3. I VI'et `optagefrekvenssignal0.1.vi` trykkes på *Run*.

a) Den maksimale optagede frekvens aflæses i *Max Frequency*.

Punkt 1-4 gentages med frekvenser på: 100 Hz, 150 Hz, 200 Hz, 400 Hz, 500 Hz, 600 Hz og 700 Hz.

### Resultater

Den optagede frekvens var den generede udsendte frekvens ( $\pm 0.5$  Hz).

### Diskussion

Der opnås nu pæne resultater, og der reflekteres over om resultaterne i 3.3.1 skyldes fejl i højtalere eller fejl i VI'et `genererfrekvenssignal0.2.vi`.

### Konklusion

Det konkluderes, at der ikke er fejl i VI'et `optagefrekvenssignal0.1.vi`.

### Aktion

Det skal undersøges, hvilken forskel der er på frekvenssignalet fra `onlinetonegenerator.com` og det generede frekvenssignal udsendt fra højttaleren ABS-224-RC.

### 3.3.3 Bordtest nr. 3

#### Testformål

Det undersøges, hvilken forskel der er på frekvenssignalet fra `onlinegenerator.com` og det genererede frekvenssignal udsendt fra højttaleren ABS-224-RC.

#### Produktspecifikationer

##### *Hardware:*

Højttaler: ABS-224-RC

Højttalerkabel: Rød/Sort

2 stk. Male Single Row Pin Header Strip 2.54 mm.

Krympeflex 2:1 Arduino Mega 2560 R3

USB kabel Hi-speed 2.0 shield 28AWG/2C+24AWG/2C Han USB A - Han USB B  
PC

Minijack PC Mikrofon

##### *Software:*

NI LabVIEW 2014

NI VISA 15.0.1

VI Package Manager

ARDUINO 1.6.12

`onlinetonegenerator.com`

#### Opstilling og opsætning

##### *1. delopstilling:*

Højttaleren er loddet til højttalerkablets ene ende, og pin headerne er loddet til kablets anden ende. Pin headerne er isat Arduino'en i pin 46 (PL3(OC5A)), som et er

digitalt PWM output, og til ground (GND). Arduino'en er med et USB kabel koblet til PC'en. På PC'en er VI'et `genererfrekvenssignal0.2.vi` åbnet i LabVIEW. Testopstillingen for denne del er vist i figur 3.1, og blokdiagrammet er vist i figur 3.2.

### *2. delopstilling:*

Mikrofonen er sat i PC'ens minijack-stik. På PC'en er VI'et `optagefrekvenssignal0.1.vi` åbnet i LabVIEW. Testopstillingen for denne del er vist i figur 3.3, og blokdiagrammet er vist i figur 3.4.

### *3. delopstilling:*

I en internetbrowser er hjemmesiden `www.onlinetonegenerator.com` åbnet, og PC'ens højtalere er slået til.

## **Udførsel**

### *1. deltest*

1. Højtaleren holdes manuelt således membranen står i lodret position.
2. Mikrofonen holdes manuelt, vendt mod højtaleren, i en afstand på 5 cm.
3. I VI'et `genererfrekvenssignal0.2.vi` indtastes den ønskede frekvens i den numeriske kontrol *Enter Frequency*.
  - a) Koden eksekveres ved at trykke på *Run*.
4. I VI'et `optagefrekvenssignal0.1.vi` trykkes på *Run*.
  - a) Den maksimale optagede frekvens aflæses i *Max Frequency*.

### *2. deltest*

1. Mikrofonen holdes manuelt, vendt mod PC'ens højttaler, i en afstand på 5 cm.
2. I `onlinetonegenerator.com` genereres et signal med den ønskede frekvens.
3. I VI'et `optagefrekvenssignal0.1.vi` trykkes på *Run*.
  - a) Den maksimale optagede frekvens aflæses i *Max Frequency*.

Deltestene gentages med frekvenser på: 100 Hz, 150 Hz, 200 Hz, 400 Hz, 500 Hz, 600 Hz, 700, 1000 og 1200 Hz, og resultaterne sammenholdes.



## Resultater

Det blev observeret, at resultaterne fra det generede frekvenssignal i VI'et **genererfrekvenssigna** var grundtonens harmoniske overtoner, idet frekvensen udsendes som et firkantsignal. Kun ved højfrekvente signaler ( $<1$  kHz), blev grundtonen opfanget. Ved at benytte **onlinetonegenerator.com**, kunne der udsendes et sinussignal med en given frekvens, som blev korrekt opfanget ( $\pm 0.5$  Hz).

## Diskussion

Der opnås pæne resultater ved at bruge et sinussignal, men der er desværre meget kompliceret at generere sinussignaler til en Arduino.

## Konklusion

Det konkluderes, at der ikke er fejl i software og hardware, og de unøjagtige resultater skyldes firkantsignalets harmoniske overtoner.

## Aktion

Det skal undersøges, om det er muligt at filtrere firkantssignalets harmoniske overtoner fra, således firkantssignalet kan benyttes.

### 3.3.4 Bordtest nr. 4

#### Testformål

Det undersøges, om en resonatorlignende beholder kan dæmpe de harmoniske overtoner fra firkantsignalet.

#### Produktspecifikationer

*Hardware:*

Tores højttaler

Højttalerkabel: Rød/Sort

Kabelsko: Rød fladstik hun, str.  $0.25\text{--}1.65$  mm<sup>2</sup>, 6.6 mm bred fladstik

2 stk. Male Single Row Pin Header Strip 2.54 mm.

Krympeflex 2:1

Arduino Mega 2560 R3

Minijack PC Mikrofon

PC

USB kabel Hi-speed 2.0 shield 28AWG/2C+24AWG/2C Han USB A - Han USB B

Tryksprøjte NSG 150 - Neptun (resonator)

Lineal

*Software:*

NI LabVIEW 2014

NI VISA 15.0.1

VI Package Manager

ARDUINO 1.6.12

### Opstilling og opsætning

Højtalerkablets ene ende er påsat kabelsko, som er påsat højttaleren. Til kablets anden ende er pin headerne loddet fast og forsejlet med krympeflex. Pin headerne er isat Arduino'en i pin 46 (PL3(OC5A)), som er et digitalt PWM output, og til ground (GND). Arduino'en er med et USB kabel koblet til PC'en. Mikrofonen er sat i PC'ens minijack-stik og er ført ned i resonatoren hvor den ligger i bunden. Højttaleren placeres i en afstand på en halv diameter af højttalerens membran, ovenfor resonatorens hals.

På PC'en er VI'erne `genererfrekvenssignal0.2.vi` og `optagefrekvenssignal0.2.vi` åbnet i LabVIEW og blokdiagrammerne er vist i figur 3.2 og 3.4

Testopstillingen kan ses på figur 3.18.

### Udførsel

1. Tryksprøjtedelen afmonteres beholderen og fungerer nu som resonator. Resonatoren stilles på et bord med halsen pegende opad.
2. Mikrofonen føres ned i resonatoren og ligger i resonatorens bund.
3. Linealen påsættes resonatorens hals så den fungerer som afstandsmåler fra halsåbningen.
4. Højttaleren holdes manuelt over resonatorhalsen i en afstand på en halv diameter af højtalermembranen. Ved anvendelse af den specificerede højttaler er afstanden to centimeter.



Figur 3.18: Testopstilling for bordtest 4

5. I VI'et `genererfrekvenssignal0.2.vi` indtastes den ønskede frekvens i den numeriske kontrol *Enter Frequency*.

a) Koden eksekveres ved at trykke på *Run*.

6. I VI'et `optagefrekvenssignal0.2.vi` trykkes på *Run*.

a) Den maksimale optagede frekvens aflæses i *Max Frequency*.

Testen udføres med en frekvens på 200 Hz, 500 Hz, 1000 Hz og 1200 Hz. Der afprøves to gange med hvert frekvens

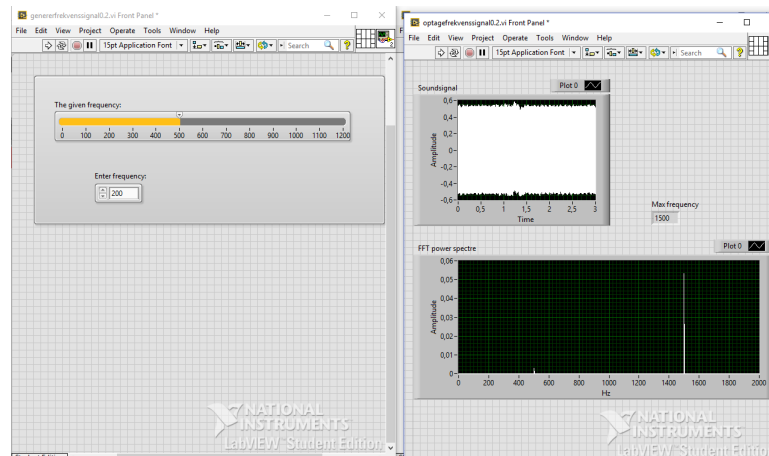
## Resultater

Det blev observeret ved begge forsøg, at resultatet fra det generede frekvenssignal i VI'et `genererfrekvenssignal0.2.vi` på 500 Hz var en af grundtonens harmoniske overtoner på 1500 Hz. Dette ses i figur 3.19.

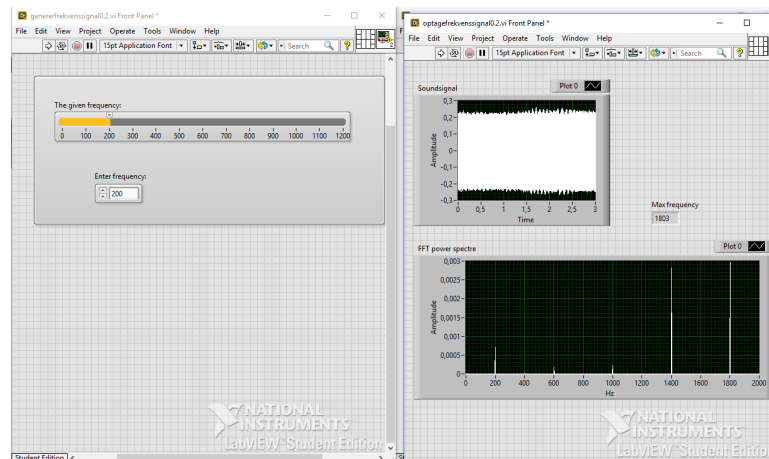
Det blev observeret i første forsøg, at resultatet fra det generede frekvenssignal i VI'et `genererfrekvenssignal0.2.vi` på 200 Hz var en af grundtonens harmoniske overtone på 1803 Hz og i andet forsøg observeres en harmonisk overtone 1402,33 Hz. Resultatet fra første forsøg vises i figur 3.20.

Det blev observeret i første forsøg, at resultatet fra det generede frekvenssignal i VI'et `genererfrekvenssignal0.2.vi` på 1000 Hz var en af grundtonens harmoniske overtoner på 3000,33 Hz i. Dette ses i figur 3.21. I det andet forsøg observeres det at resultatet stemmer overens med den afspillede grundtone. Dette ses på figur 3.22.

Det blev observeret, at resultatet fra den generede frekvenssignal i VI'et `genererfrekvenssignal0.2.vi` på 1200 Hz stemmer overens med den afspillede grundtone. Dette ses på figur 3.23.



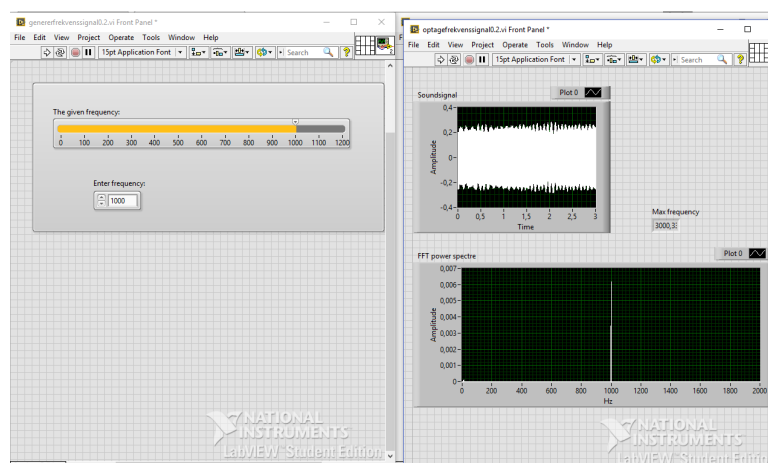
Figur 3.19: Resultat for for bordtest 4 ved anvendelse af 500 Hz



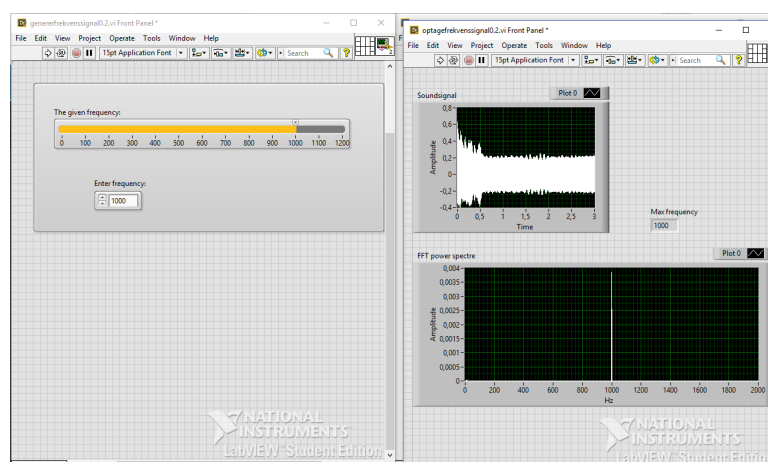
Figur 3.20: Resultat for for bordtest 4 ved anvendelse af 200 Hz

## Diskussion

Ved forsøget med 1000 Hz observeres, at de to resultater ikke er tilnærmelsesvis ens. I første forsøg blev en harmonisk overtone opfanget, som den maksimale frekvens, hvor der i andet forsøg blev opfanget grundtonen på den genererede frekvens. Disse to resultater skal være ens og derfor er de ikke tilfredsstillende.



Figur 3.21: Resultat for for bordtest 4 ved anvendelse af 1000 Hz



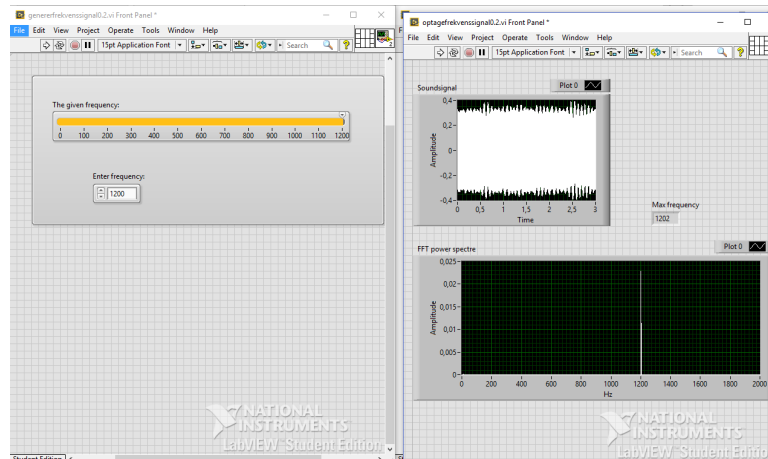
Figur 3.22: Resultat for for bordtest 4 ved anvendelse af 1000 Hz

## Konklusion

Ved generering af frekvenser lavere end 1000 Hz opfanges harmoniske overtoner, i stedet for grundtonen, som er det ønskede resultat. Ved generering af frekvenser lig 1000 Hz opfanges ustabile resultater. Ved generering af frekvenser højere end 1000 Hz, opnås pæne resultater, hvor den genererede frekvens er lig den opfangede frekvens. Dermed konkluderes, at resonatoren i dette tilfælde ikke virker dæmpende på harmoniske overtoner på frekvenser lavere end 1000 Hz.

## Aktion

Det skal undersøges, om målinger genereret med en frekvens lig eller højere end 1000 Hz er stabile.



Figur 3.23: Resultat for for bordtest 4 ved anvendelse af 1200 Hz

### 3.3.5 Bordtest nr. 5

#### Testformål

Det undersøges, om firkantsignaler genereret med frekvenser lig eller højere end 1000 Hz er stabile og hvilken effekt helmHoltz resonatoren har på signalerne.

#### Produktspecifikationer

##### *Hardware:*

Tores højttaler

Højttalerkabel: Rød/Sort

Kabelsko: Rød fladstik hun, str. 0.25-1.65 mm<sup>2</sup>, 6.6 mm bred fladstik

2 stk. Male Single Row Pin Header Strip 2.54 mm.

Krympeflex 2:1

Arduino Mega 2560 R3

Minijack PC Mikrofon

PC

USB kabel Hi-speed 2.0 shield 28AWG/2C+24AWG/2C Han USB A - Han USB B

Tryksprøjte NSG 150 - Neptun (resonator)

Lineal

##### *Software:*

NI LabVIEW 2014

NI VISA 15.0.1

VI Package Manager

## ARDUINO 1.6.12

**Opstilling og opsætning**

Højtalerkablets ene ende er påsat kabelsko, som er påsat højtaleren. Til kablets anden ende er pin headerne loddet fast og forsejlet med krympeflex. Pin headerne er isat Arduino'en i pin 46 (PL3(OC5A)), som et er digitalt PWM output, og til ground (GND). Arduino'en er med et USB kabel koblet til PC'en. Mikrofonen er sat i PC'ens minijack-stik og er ført ned i resonatoren hvor den ligger i bunden. Højtaleren placeres i en afstand på en halv diameter af højtalermembran, ovenfor resonatorens hals.

På PC'en er VI'erne **genererfrekvenssignal0.2.vi** og **optagefrekvenssignal0.2.vi** åbnet i LabVIEW og blokdiagrammerne er vist i figur 3.2 og 3.4

Testopstillingen er den samme som i bordtest 4, og vises i figur 3.18.

**Udførsel**

1. Tryksprøjtedelen afmonteres af beholderen og fungerer nu som resonator. Resonatoren stilles på et bord med halsen pegende opad.
2. Mikrofonen føres ned i resonatoren og ligger i resonatorens bund.
3. Linealen påsættes resonatorens hals så den fungerer som afstandsmåler fra halsåbningen.
4. Højtaleren holdes manuelt over resonatorhalsen i en afstand på en halv diameter af højtalermembranen. Ved anvendelse af den specificerede højttaler er afstanden to centimeter.
5. I VI'et **genererfrekvenssignal0.2.vi** indtastes den ønskede frekvens i den numeriske kontrol *Enter Frequency*.
  - a) Koden eksekveres ved at trykke på *Run*.
6. I VI'et **optagefrekvenssignal0.2.vi** trykkes på *Run*.
  - a) Den maksimale optagede frekvens aflæses i *Max Frequency*.

Testen udføres med en frekvens på 950 Hz, 1000 Hz, 1100 Hz, 1200 Hz og 1300 Hz. Testen foretages to gange med hver frekvens.

Tabel 3.7: Tabel over resultater

Udsendt frekvens [Hz]	1. resultat	2. resultat
950	954.33	954.33
1000	1000.00	1000.00
1100	1101.33	1101.33
1200	1202.00	1202.00
1300	1302.00	1302.00

### Resultater

Ud fra tabellen ses at de opfangede signaler er stabile ved alle udsendte frekvenser. Det ses ydermere at de afsendte signaler ikke ser ud til at være påvirket af Helmholtzresonatoren

### Diskussion

De opfangede frekvensers variation er tilfredsstillende til brug i det videre udviklingsforløb. De optagede frekvenser afviger ikke fra de udsendte frekvenser selvom de udsendte frekvenser er opfanget i resonatoren. Det er Helmholtz resonansen som ønskes opfanget og den formodes at afvige fra den udssendte frekvens. Dette er dog ikke tilfældet i denne tests resultater. Det undres over de optagede frekvenser ikke er påvirkede af resonatoren og der sås nu tvivl minijack mikrofonen opfanger signalerne eller om det er PC mikrofonen som opfanger signalerne

### Konklusion

Frekvenser over 950 Hz kan opfanges som grundtonen og det opfangede signal er ikke forstyrret af de harmoniske overtoner. Det ser ikke ud til at de opfangede frekvenser ikke er påvirket af resonatoren, hvilket vil være forventeligt. Det konkluderes at det det er nødvendigt at undersøge om minijack mikrofonen opfanger de afsendte signaler.

### Aktion

Der udføres en ny enhedstest af minijack mikrofonen for at klarlægge om mikrofonen opfanger signalerne.



### 3.3.6 Bordtest nr. 6 - resonansfrekvens i tomt kammer

#### Testformål

Det ønskes, at finde resonansfrekvensen  $f_0$  i den tomme resonator, således denne kan verificeres i forhold til resonatorens kendte volumen.

#### Produktspecifikationer

##### *Hardware:*

Multimedia USB Speaker HP-1800

Electret Microphone Amplifier - MAX4466

Multifunction Data Acquisition (DAQ) USB-6009

Tryksprøjte NSG 150 - Neptun

Danalim klæbemasse 312

Lineal

MY DOUGH modellervoks

Etronit MBM PhenolicMelamine plade

PC

##### *Software:*

NI LabVIEW 2014

LabVIEW2014-NI-DAQmx-14

[www.onlinetonegenerator.com](http://www.onlinetonegenerator.com)

#### Opstilling og opsætning

Flasken er skruet af tryksprøjten, og bunden er savet af i et lige snit. Denne flaske har funktionen som resonator i testen. Resonatoren vises i figur 3.24. Resonatoren er placeret på pladen, og er tætnet med modellervoks i kanten mellem resonator og plade. Trykventilen på flasken er også tætnet med modellervoks. En lineal er påsat flaskehalsen, og benyttes til afstandsmåling. Mikrofonen er monteret på resonatorens inderside med klæbemasse. Mikrofonen placeres mindre end resonatorhalsens længde fra resonatorhalsens indre åbning. Mikrofonen er endvidere tilkoblet DAQ'en, som er tilsluttet PC'en. På PC'en er LabVIEW VI'et `optagefrekvenssignal05.vi` åbnet. Blokdiagrammet vises i figur 3.25. Højttaleren

er tilsluttet PC'en, og [www.onlinetonegenerator.com](http://www.onlinetonegenerator.com) er åbnet i en browser, hvor pink noise genereres. Højtaleren holdes i en afstand på en halv diameter af halsåbningen fra halsens indgangen.

### Udførsel

1. Pink noise genereres fra [www.onlinetonegenerator.com](http://www.onlinetonegenerator.com) ud gennem højtaleren.
2. Gentagelse af antal loops i blokdiagrammet sættes til 10, og der optages 4 sekunder af gangen.
3. Der trykkes *Run* i VI'et.
4. Resonansfrekvens  $f_0$  aflæses i *Resonansfrekvens af kammer med objekt*.

### Resultater

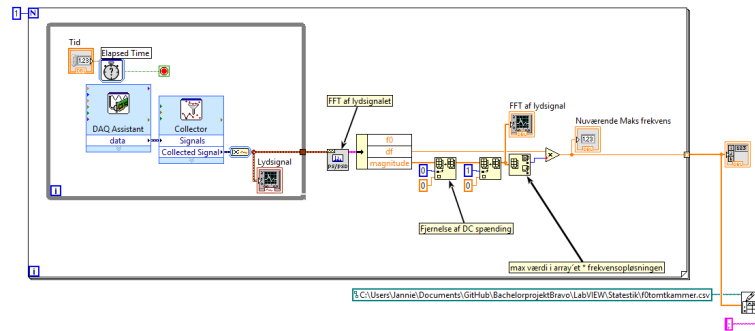
#### 3.3.7 Bordtest nr. 6.1 - resonansfrekvens i tomt kammer

##### Testformål

Det ønskes, at finde resonansfrekvensen  $f_0$  i den tomme resonator, således denne kan verificeres i forhold til resonatorens kendte volumen.



Figur 3.24: Resonator fremstillet af Tryksprøjte NSG 150 - Neptun.



Figur 3.25: Bolkdiagram for LabVIEW VI'et optagefrekvenssignal05.vi.

Tabel 3.8: Tabel over resultater

#	$f_0$ [Hz]
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

### Produktspecifikationer

#### Hardware:

Multimedia USB Speaker HP-1800

Electret Microphone Amplifier - MAX4466

Multifunction Data Acquisition (DAQ) USB-6009

Tryksprøjte NSG 150 - Neptun

Danalim klæbemasse 312

3D-printet holder til Multimedia USB Speaker HP-1800

MY DOUGH modellervoks

Etronit MBM PhenolicMelamine plade

PC

Termometer

#### Software:

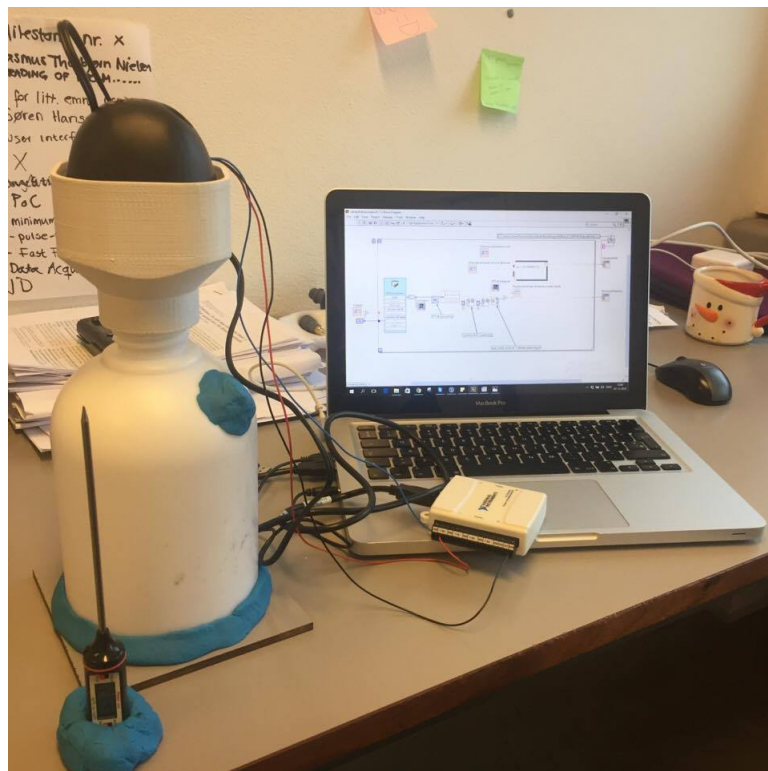
NI LabVIEW 2014

LabVIEW2014-NI-DAQmx-14

[www.onlinetonegenerator.com](http://www.onlinetonegenerator.com)

### Opstilling og opsætning

Flasken er skruet af tryksprøjten, og bunden er savet af i et lige snit. Denne flaske har funktionen som resonator i testen. Resonatoren vises i figur 3.24. Resonatoren er placeret på pladen, og er tætnet med modellervoks i kanten mellem resonator og plade. Trykventilen på flasken er også tætnet med modellervoks. Mikrofonen er monteret på resonatorens inderside med klæbemasse. Mikrofonen placeres mindre end resonatorhalsens længde fra resonatorhalsens indre åbning. Mikrofonen er endvidere tilkoblet DAQ'en, som er tilsluttet PC'en. På PC'en er LabVIEW VI'et optagefrekvenssignal05.vi åbnet. Blokdiagrammet vises i figur 3.25. En 3D-printet holder er skruet på flaskens gevind. Holderen sikrer, at højttaleren holdes i en afstand på  $\geq$  en diameter af halsåbningen fra halsens indgangen. Højttaleren er tilsluttet PC'en, og [www.onlinetonegenerator.com](http://www.onlinetonegenerator.com) åbnet i en browser, hvor pink noise genereres. Et termometer sættes til at måle rumtemperaturen, imens testen udføres.



Figur 3.26: Opstillingen for testen fremgår af denne figur

**Udførsel**

1. Pink noise genereres fra [www.onlinetonegenerator.com](http://www.onlinetonegenerator.com)ud gennem højtaleren.
2. Gentagelse af antal loops i blokdiagrammet sættes til 100, og der optages 4 sekunder af gangen.
3. Der trykkes *Run* i VI'et.
4. Resonansfrekvens  $f_0$  aflæses i *Resonansfrekvens af kammer med objekt*.

**Resultater**

Rumtemperatur: 23.7°C

$f_0$  udregnet ud fra Helmholtz resonans ligningen:

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S_p}{V(l_p + \Delta l)}} \quad (3.2)$$

,

hvor  $c$  er givet ved:

$$c = 331,5 \text{ m/s} \sqrt{\frac{T_K}{273,15 \text{ K}}} \quad (3.3)$$

, og  $T$  er bestemt ved.:

$$T_K = t_{\circ C} + 273,15 \text{ K} \quad (3.4)$$

Tværsnitsarealet  $S_p$  er bestemt ved

$$S_p = r^2 \pi \quad (3.5)$$

Endvidere er  $\Delta l$  bestemt ved:

$$\Delta l = 0,6r + \frac{8}{3\pi}r \quad (3.6)$$

$$S_p = r^2 \pi \quad (3.7)$$

Tabel 3.9: Tabel over resultater

#	$f_0$ [Hz]
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

### 3.3.8 Bordtest 6.2 - test med tre balloner med forskellig volumen

#### Testformål

Gul ballon: 216 g. svarende til et volumen på: 0,000216 m<sup>3</sup>

Blå ballon: 383 g. svarende til et volumen på: 0,000383 m<sup>3</sup>

Grøn ballon: 516 g. svarende til et volumen på: 0,000516 m<sup>3</sup>

Rumtemperatur: 23,2°C

$f_0$  ved 23.2°C: 96.4 s

Gul ballon:  $f_b$  burde dermed være: 103.3 s (var 150 s) Blå ballon:  $f_b$  burde dermed være: 109.8 s (var 152 s) Grøn ballon:  $f_b$  burde dermed være: 115.9 s (var 159 s)

# Find en plads til det her 4

---

## 4.1 Bestemmelse af volumen af resonator

Volumen af resonatoren skal kendes for at bestemme resonansfrekvensen i det tomme kammer. Volumen er udregnet ved at hælde vand i resonatoren, og derefter måle vandets vægt. Ud fra vandets vægt kunne volumen gives.

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (4.1)$$

$$V_{\text{resonator}} = \frac{1698 \text{ } \mu\text{g}/\text{cm}^3}{1000 \text{ kg}/\text{m}^3} \quad (4.2)$$

$$V_{\text{resonator}} = 1,698 \text{ m}^3 = 1,698 \text{ L} \quad (4.3)$$

### 4.1.1 Bestemmelse af volumen af resonator ekskl. halsvolumen

Volumen af resonatoren ekskl. halsvolumen er udregnet på samme fremgangsmåde ved brug af ligning 4.1.

$$V_{\text{resonator}} = \frac{1671 \text{ } \mu\text{g}/\text{cm}^3}{1000 \text{ kg}/\text{m}^3} = 1,671 \text{ m}^3 = 1,671 \text{ L} \quad (4.4)$$

## 4.2 Udregning af volumen

Helmholtz resonansen i en tom resonator er givet ved følgende formel:

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S_p}{V(l_p + \Delta l)}} \quad (4.5)$$

hvor  $f_0$ : resonansfrekvens i en tom resonator [Hz],

$c$ : lydens hastighed i luft,

$S_p$ : tværsnitsareal af port,

$V$ : statisk volumen af resonator,

$l_p$ : længde af port,

$\Delta l$ : endekorrektion

Lydens hastighed i luft er givet ved formelen:

$$c = 331,5 \text{ m/s} \sqrt{\frac{T_K}{273,15 \text{ K}}} \quad (4.6)$$

hvor  $T_K$  er givet ved

$$T_K = t_{\circ C} + 273,15 \text{ K} \quad (4.7)$$

. Derved kan lydens hastighed i luft ved en temperatur på 23°C bestemmes:

$$c = 331,5 \text{ m/s} \sqrt{\frac{296,15 \text{ K}}{273,15 \text{ K}}} = 345,175 \text{ m/s} \quad (4.8)$$

Tværsnitsarealet af porten bestemmes ved:

$$S_p = r^2 \pi \quad (4.9)$$

hvor  $r$  er radius af porten. Derved bliver  $S_p$  ved en radius på 1,75 cm:

$$S_p = (0,0175 \text{ m})^2 \pi = 0,000962 \text{ m}^2 \quad (4.10)$$



# Litteratur

---