

Hardwareimplementering

3. semesterprojekt

Version 2.3

Ingeniørhøjskolen Aarhus



Vejleder: Peter Johansen

Afleveret: 17/12-2014

Studienummer	Navn	Studieretning
201371026	Camilla Lund Pedersen <hr/> <hr/>	ST
201371015	Charlotte Søgaard Kristensen <hr/>	ST
201370750	Kasper Kronborg Larsen <hr/> <hr/>	ST
201370826	Kathrine Duus Kinnerup <hr/>	ST
201205775	Mads Morgen Kusk <hr/> <hr/>	ST
201371061	Thuvaharan Karunakaran <hr/>	ST

Indholdsfortegnelse

VERSIONSHISTORIK	3
ORDLISTE	4
1.0 INDLEDNING	5
2.0 TRYKTRANSDUCER	5
3.0 A/D CONVERTER	5
4.0 INSTRUMENTATIONSFORSTÆRKER	6
4.1 BEREGNING AF GAIN MODSTAND	7
5.0 LAVPASFILTER	7
5.1 IMPLEMENTERING AF LAVPASFILTER.....	8
5.1.1 Beregning af komponenter	8
6.0 KREDSLØBSOPSTILLING	10
7.0 ENHEDSTEST	11
7.1 LAVPAS FILTER.....	11
7.1.1 Opstilling	11
7.1.2 Forventet output	12
7.1.3 Resultater	12
7.2 INSTRUMENTATIONSFORSTÆRKER – INA 114	13
7.2.1 Opstilling	14
7.2.2 Resultater	15
8.0 INTEGRATIONSTEST	17
8.1 TEST PÅ FUMLEBRÆT	17
8.1.1 Opstilling	17
8.1.2 Forventet output	18
8.1.3 Resultater	18
8.2 HARDWARE PÅ PRINTPLADE	19
9.0 KALIBRERING	21
9.1 OMREGNING FRA SPÆNDING TIL TRYK	21
9.2 TEST AF KALIBRERING OG SENSITIVITET	22
10. REFERENCELISTE	25

Versionshistorik

Version	Dato	Beskrivelse af ændringer	Initialer
1.0	4/11-2014	Tilføjet allerede udregnede komponentværdier og beskrivelser.	MMK
1.1	10/11-2014	Tilføjelse af afsnit Unit test og afsnit om komponenter.	MMK
1.2	25/11-2014	Ændring af knækfrekvens og komponentværdier.	MMK, KKL, KDK
2.0	26/11-2014	Unit-test og integrationstest	MMK, KKL, KDK
2.1	29/11-2014	Tekst til unit-test af lavpasfilter samt integrationstest	MMK, KKL
2.2	29/11-2014	Tekst til unit-test af INA 114	KDK
2.3	12/12-2014	Tilføjelse af kalibrering	MMK

Tabel 1 Versionshistorik

Ordliste

A/D converter	Komponent der konverterer fra analogt til digitalt signal.
BDD	Blok definitions diagram – bruges til systembeskrivelse i forbindelse med SysML.
IBD	Internt Blok Diagram – bruges til systembeskrivelse i forbindelse med SysML.
Instrumentationsforstærker	En type operationsforstærker egnet til brug af fysiologiske målinger. I dette projekt er der valgt INA114
Støj	Uønskede frekvenser.
Common mode støj	Støj der indstråler på to tætsiddende og lige lange ledninger, og som begge refererer til stel
CMRR	Common mode rejection ratio
Transducer	Komponent til omdannelse af én energiform til en anden – i vores tilfælde, fra tryk til spænding.
Sensitivitet	Sensitivitet beskriver en transducers statiske overføringsfunktion. Det vil sige, sensitivitet er hvor meget output ændrer sig, når vi ændrer input.
Gain	Forstærkning
Cut-off frekvens	Knækfrekvens. Den frekvens der bestemmer hvornår signalet skal dæmpes.
Peak	Kraftigt udslag i amplitude på karakteristikker.

Tabel 2 Ordliste

1.0 Indledning

I dette dokument beskrives hvilke overvejelser gruppen har gjort sig under udvikling af den ønskede hardware. Dokumentet består af udregninger af komponenter til forstærker og lavpasfilter, samt argumentation for de valgte løsninger.

2.0 Tryktransducer

En tryktransducer konverterer ændringer i tryk til spændinger. Konverteringen fra tryk til spænding sker ved fysisk deformation af strain gages. En strain gage består af meget tynde ledere, og hvis disse ledere strækkes og ændres i opbygning, sker der ændring i lederens modstand. Denne ændring i modstand er proportional med spændingen.

Disse strain gages er tilkoblet en Wheatstone bro. En Wheatstone bro er et kredsløb der består af to balancerede spændingsdelere. Denne opbygning bevirker at man kan måle den differentielle spændingsforskel mellem disse to spændingsdelere, fremfor at måle absolutte spændingsniveauer. Dette er velegnet til at måle meget små ændringer i modstandene. (3)

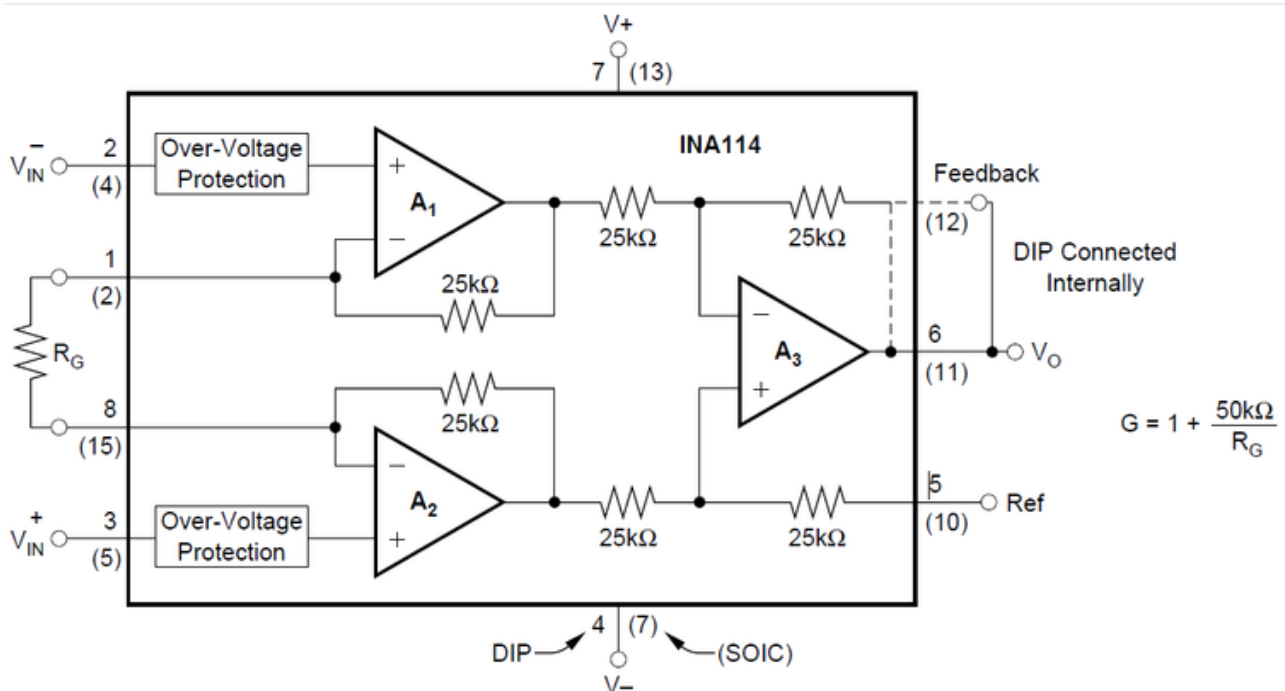
3.0 A/D converter

En A/D converter konverterer analoge signaler til digitale signaler, nemlig binære tal, hvilket bevirker at computeren kan aflæse og behandle disse signaler. Gruppen har valgt en National Instruments DAQ 6009 til denne opgave, da denne opfylder disse krav vha. både analoge og digitale indgange. Den tilsluttes til en computer vha. USB 2.0 (1).

4.0 Instrumentationsforstærker

Gruppen vælger at bruge en instrumentationsforstærker til at forstærke det svage signal fra tryktransduceren, så det kan aflæses af A/D CONVERTER og dernæst computeren.

Instrumentationsforstærkeren er nemlig karakteriseret ved høj indgangsimpedans, differentielt input og single ended output, samt gain justering ved ændring af kun én modstand. Den høje indgangsimpedans sikrer, at instrumentations-forstærkeren belaster måleobjektet mindst muligt. Med differentielt input opnås den bedste undertrykkelse af common mode støj, mens single ended output blot gør det lettere at arbejde videre med signalet. Da forstærkeren justerer gain ved ændring af en enkelt modstand, minimeres fejl og ulige vægtning af de to signaler. En type instrumentationsforstærker, der opfylder disse 3 krav, er en INA114, som ses på nedenstående billede



Figur 1 INA114 (4)

Ud fra databladet for INA 114 aflæses, at indgangsimpedansen er $10^{10}\Omega$. Derudover har INA 114 en CMRR på 115 dB. Af figuren ovenfor, ses at INA 114 opfylder differential input og single-ended output. Der er to indgange i forstærkeren, mens der er én udgang defineret i forhold til stel. (2)

INA 114 er derfor et oplagt valg som instrumentationsforstærker.

4.1 Beregning af gain modstand

INA114 regulerer sit gain via én modstand, R_g . Ud fra INA114's datablad kan modstanden, som bestemmer gain, beregnes vha. følgende formel:

$$Gain = 1 + \frac{50k\Omega}{R_g}$$

Der gøres brug af det gain som der er beregnet i design dokumentation i afsnittet "Beregning af gain", og finder R_g som sætter INA114 til at forstærke den beregnede forstærkning:

$$740,74 = 1 + \frac{50k\Omega}{R_g}$$
$$R_g = 67,59 \Omega$$

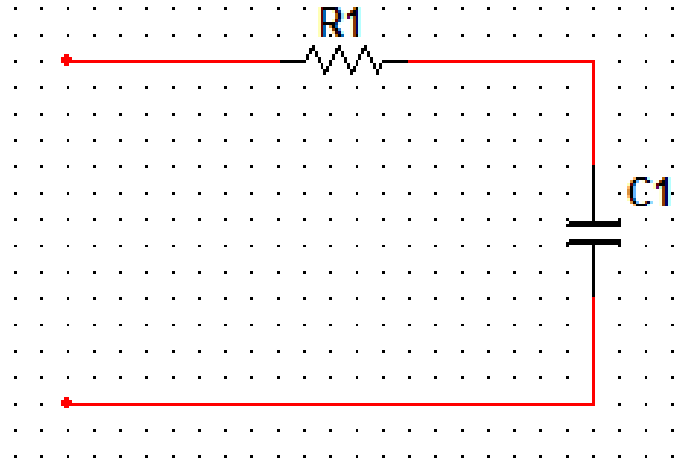
Fordi $R_g = 67,59\Omega$, så vil der benyttes en modstand på 68Ω .

5.0 Lavpasfilter

Der er valgt et lavpasfilter for at skåne signalet mest muligt, og i et forsøg på at fjerne uønsket støj. Et lavpasfilter består af en modstand og en kondensator og er karakteriseret ved, at det lader lave frekvenser passere uhindret og høje frekvenser bliver reduceret i gain. Filtret består af 2 dele, et pasbånd og et stopbånd.

Pasbåndet lader frekvenser under cut-off frekvensen, f_c , passere. Altså fra 0 til f_c er der uhindret gain. Stopbåndet reducerer gain på spændinger med frekvenser fra f_c til ∞ . (5)

5.1 Implementering af lavpasfilter



Figur 2 1. ordens lavpasfilter

Billedet viser et standard 1. ordens lavpasfilter. Værdier for modstanden og kondensatoren skal bestemmes og til dette skal cut-off frekvensen for signalet der påtrykker filtret, findes.

5.1.1 Beregning af komponenter

Cut-off frekvensen, f_c , er udtrykt på denne måde:

$$f_c = \frac{1}{2 * \pi * R * C}$$

Modstanden findes vha. nedenstående beregninger, mens kondensatoren gives en størrelse på 100 nF, da dette er en typisk størrelse for et lavpasfilter. Den valgte cut-off frekvens, på 50 Hz, indsættes i ligningen:

$$f_c = \frac{1}{2 * \pi * R * C}$$

↓

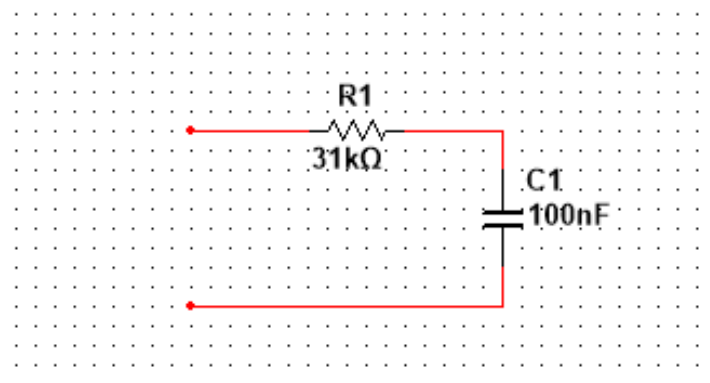
$$50 \text{ Hz} = \frac{1}{2 * \pi * R * 100 \text{ nF}}$$

Modstanden, R, isoleres i ligningen. Altså:

↓

$$R = 31,831 \text{ k}\Omega$$

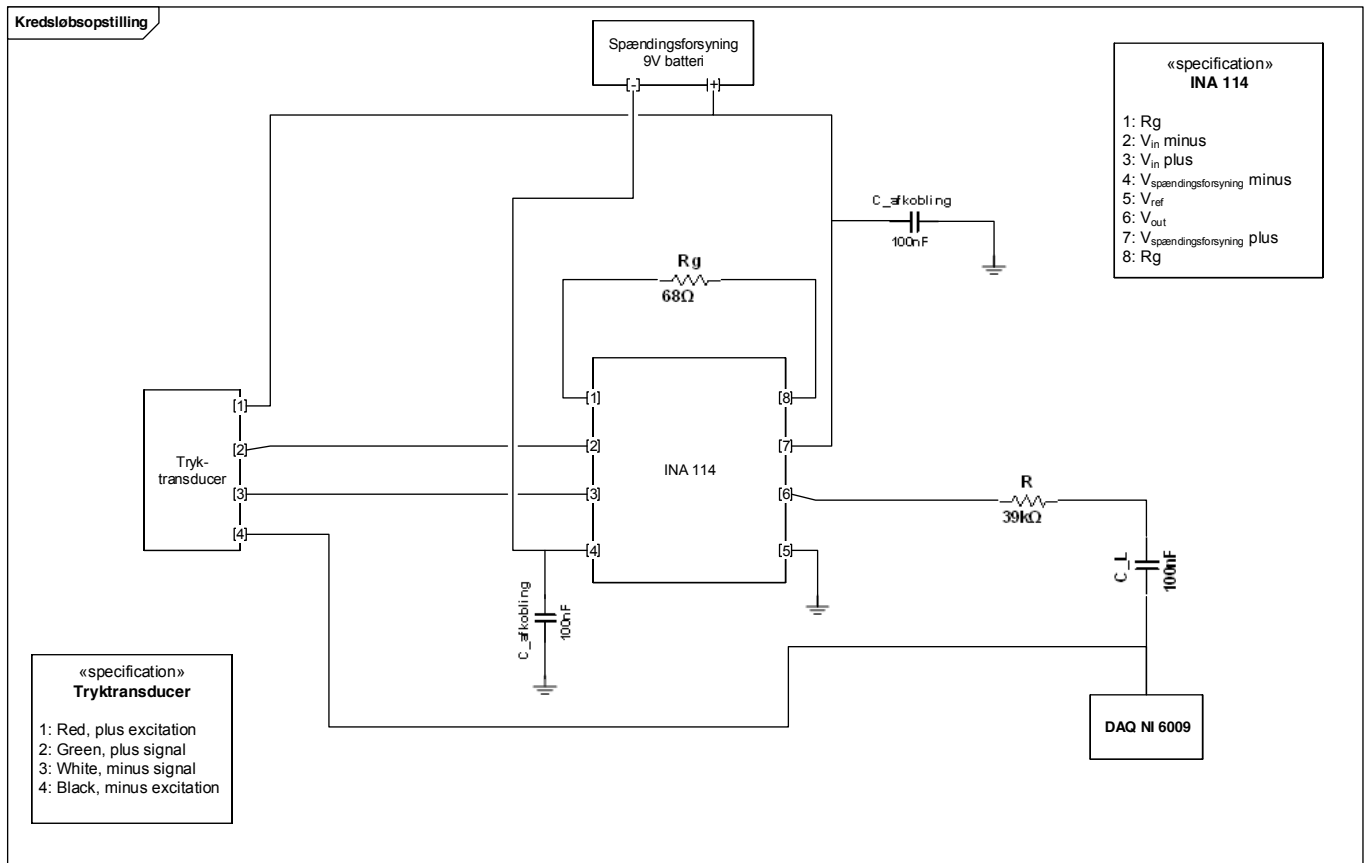
Lavpasfiltret skal altså bestå af en modstand på 31 kΩ og en kondensator på 100 nF for at få en cut-off frekvens på 50 Hz. Dog vælges en modstand på 33kΩ, da der ikke er en 31kΩ til rådighed. Lavpasfiltret bliver realiseret således:



Figur 3 Implementeret lavpasfilter

6.0 Kredsløbsopstilling

Dette diagram viser opstillingen for det implementerede hardware.



Figur 4 Kredsløbsopstilling

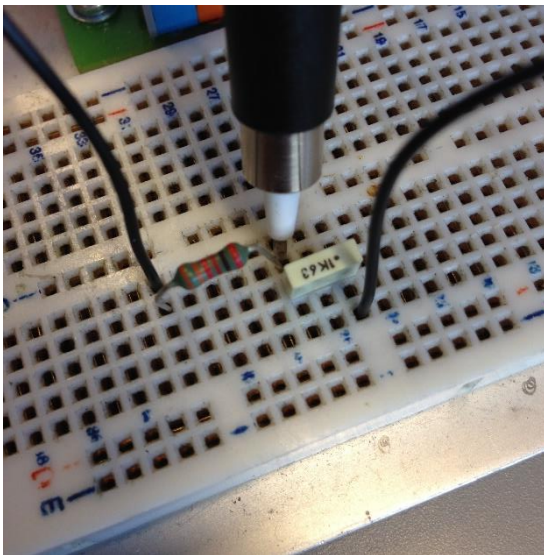
7.0 Enhedstest

Dette afsnit beskriver test på det analoge lavpasfilter samt instrumentationsforstærker INA 114.

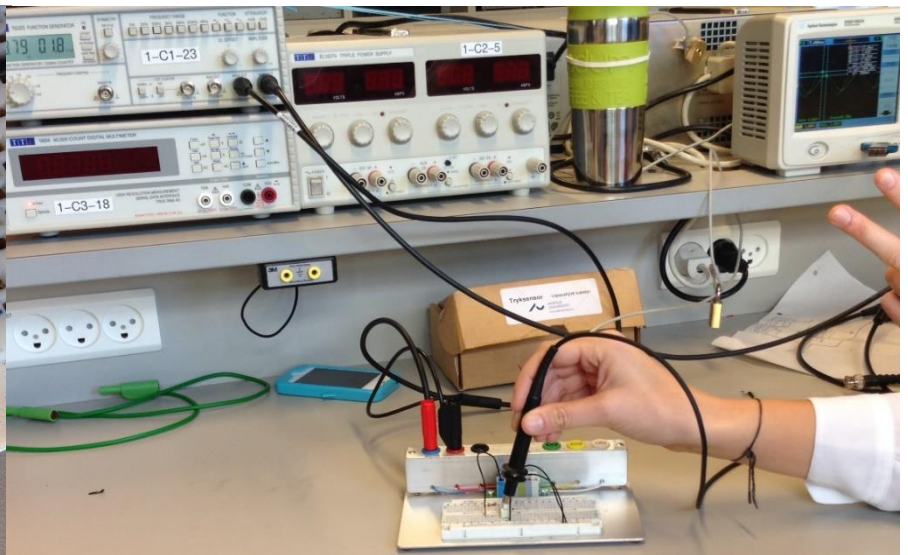
Der er kun brugt udpluk af oscilloskopsbilleder fra testene, men samtlige billeder fra testene kan ses i bilag.

7.1 Lavpas filter

7.1.1 Opstilling



Figur 5 Opstilling af lavpas filter – tæt på.



Figur 6 Opstilling af lavpas filter

- Modstand, 31 k Ω
- Kondensator, 100 nF
- Funktionsgenerator
- Oscilloskop
- Måleprobe (1x)

De to komponenter sættes i serie. Indgangssignalet fra funktionsgenerator sættes på channel 1 på oscilloskopet mens udgangssignalet måles med en måleprobe. Denne sidder på channel 2 på oscilloskopet.

Filtret påtrykkes en amplitude på 8,2 Vp-p ved forskellige frekvenser.

7.1.2 Forventet output

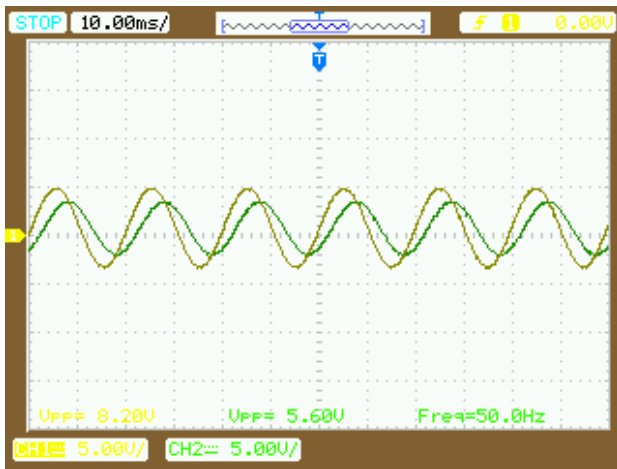
Gruppen forventer en lille dæmpning af indgangssignalet før knækfrekvensen, men større dæmpning efter knækfrekvensen.

7.1.3 Resultater

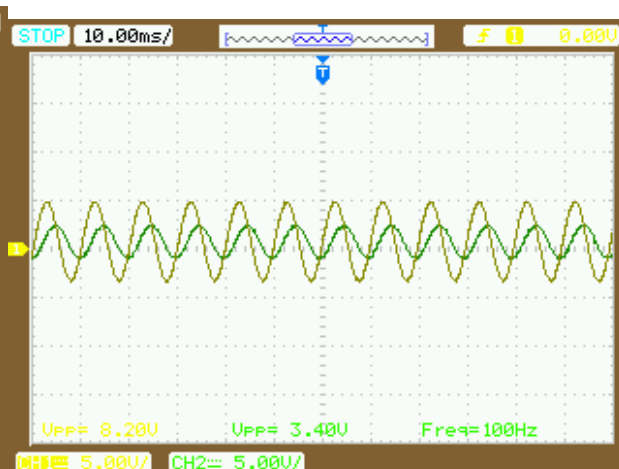
Frekvens	Indgang	Udgang
10 Hz	8,2 Vp-p	7,8 Vp-p
20 Hz	8,2 Vp-p	7,4 Vp-p
30 Hz	8,2 Vp-p	6,8 Vp-p
40 Hz	8,2 Vp-p	6,2 Vp-p
45 Hz	8,2 Vp-p	5,8 Vp-p
50 Hz	8,2 Vp-p	5,6 Vp-p
55 Hz	8,2 Vp-p	5,4 Vp-p
65 Hz	8,2 Vp-p	4,8 Vp-p
75 Hz	8,2 Vp-p	4,4 Vp-p
100 Hz	8,2 Vp-p	3,4 Vp-p

Tabel 3 Resultat test af lavpasfilter

Ud fra resultaterne ses det, at filtret dæmper både før og efter knækfrekvensen.



Figur 5 Test af lavpas filter - oscilloskop billede ved 50 Hz



Figur 6 Test af lavpas filter - oscilloskop billede ved 100 Hz

7.2 Instrumentationsforstærker – INA 114

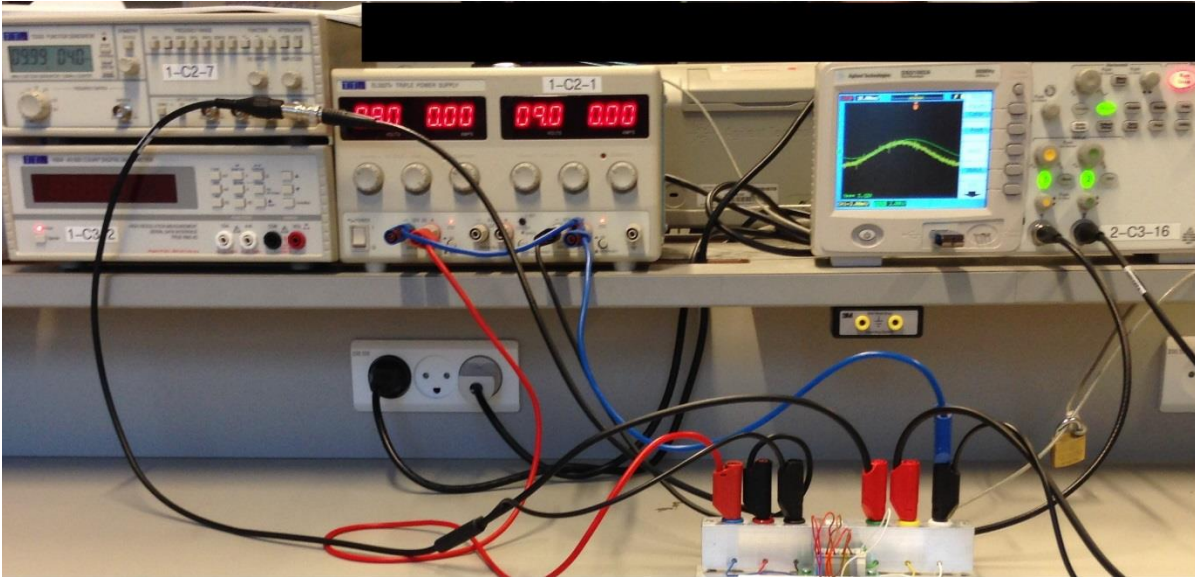
Instrumentationsforstærkeren, INA 114, testes ved at genere et signal på et fast antal hertz, og forskellige amplituder. På forhånd er der beregnet det forventet output, da forstærkningen, som INA 114 skal yde, allerede kendes:

$$V_{out} = 740,74 * V_{in}$$

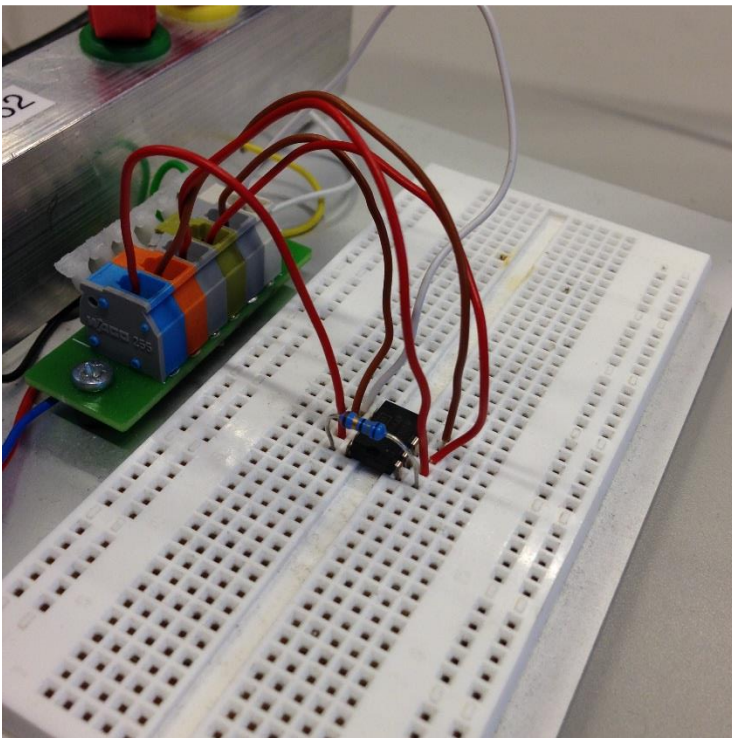
Da indgangssignalet er meget småt (mV), så forventes der, at der forekommer støj på input. Alle værdier er peak to peak værdier.

Både input og output måles på oscilloskop og sammenlignes.

7.2.1 Opstilling



Figur 7 Apparatur opstilling test af INA 114



Figur 8 Måleopstilling af INA med 68Ω gain modstand

Der er udregnet i afsnittet Beregning af gain modstand, at for at opnå en forstærkning på 740,74, så skal der benyttes en modstand på 68Ω .

Til opstillingen bruges:

- Oscilloskop
- INA 114
- Modstand på 68Ω
- Spændingsforsyning
- Funktionsgenerator

INA 114 er forbundet som vist på figur 4, kredsløbsopstilling, og udgangen er forbundet med oscilloskop.

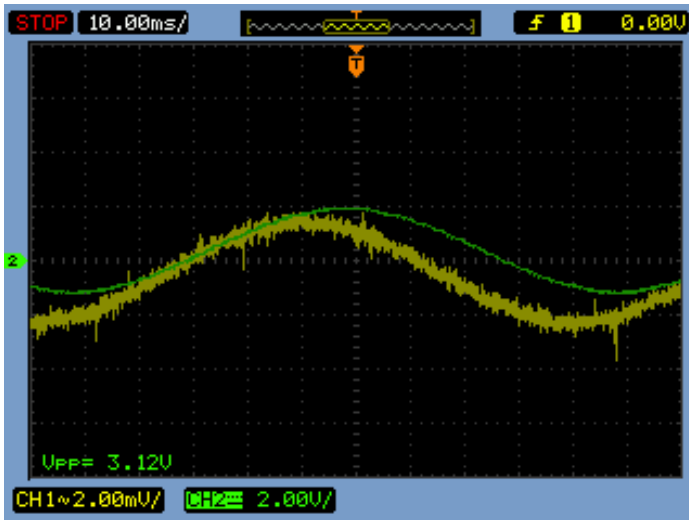
7.2.2 Resultater

Indgangssignalet har en konstant frekvens på 10 Hz. Der ses på det forventede output, det faktiske output, og procentafvigelsen af disse.

Indgang	Forventet udgang	Målt udgang	Afvigelse
1,5 mVp-p	1,11 Vp-p	1,28 Vp-p	15,31%
2,5 mVp-p	1,85 Vp-p	2,0 Vp-p	8,10%
3,5 mVp-p	2,59 Vp-p	2,8 Vp-p	8,10%
4 mVp-p	2,96 Vp-p	3,12 Vp-p	5,40%
5 mVp-p	3,7 Vp-p	4 Vp-p	8,10%
8 mVp-p	5,92 Vp-p	6,16 Vp-p	4,05%

Tabel 4 Resultat test af INA 114

Uddrag fra oscilloskopsbilleder, hvor channel 1, gul, er indgang og channel 2, grøn, er output:



Figur 11 Screenshot af oscilloskop ved 4mVp-p input



Figur 12 Screenshot af oscilloskop ved 8mVp-p input

Det ses, at INA 114 forstærker et meget lille signal på få millivolt til et ønsket signal i volt. Afvigelsen svinger fra 4%-15%, men den afviger mest ned i de små mV. Det forventes dog, at inputsignalet ikke vil være så småt, men nærmere ligge mellem de 4-8mV. I dette interval er afvigelse forholdsvis lille, og dermed kan der konkluderes at INA 114 forstærker ca. 740 gange som ønsket.

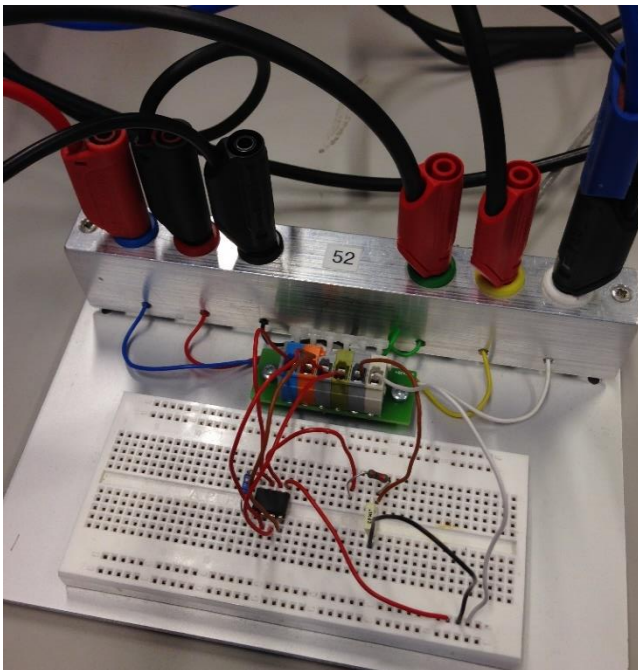
8.0 Integrationstest

Dette afsnit beskriver test af den faktiske hardware, efter alle dele er sat sammen på en fælles printplade. Det samlede hardware består af en instrumentationsforstærker INA 114 sat i serieforbindelse med et 1.ordens lavpasfilter.

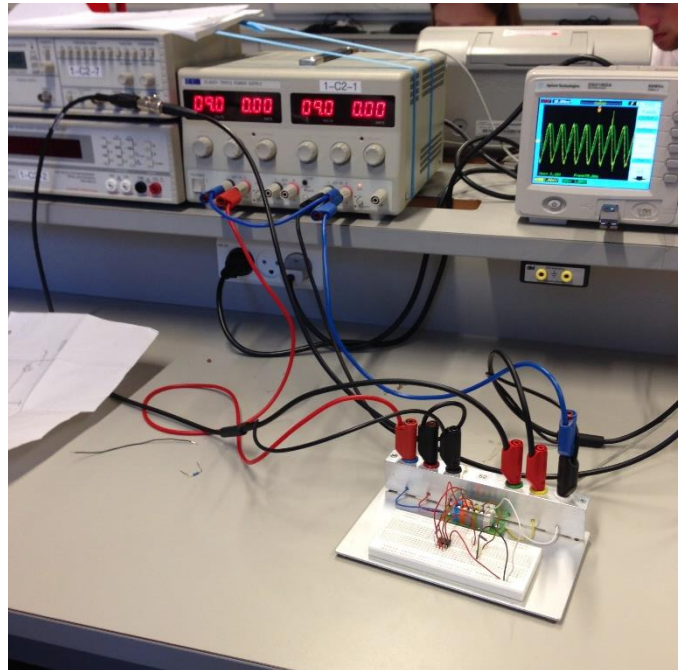
Der er kun brugt udpluk af oscilloskopsbilleder fra testene, men samtlige billeder fra testene kan ses i bilag.

8.1 Test på fumlebræt

8.1.1 Opstilling



Figur 13 Opstilling af hardware på fumlebræt tæt på



Figur 14 Opstilling af hardware på fumlebræt

- Modstand, 31 k Ω
- Kondensator, 100 nF
- INA 114
- Gain-modstand, R_G, 68 Ω
- Funktionsgenerator
- Oscilloskop
- Måleprobe (1x)

De to dele opsættes, og lavpas filtret sættes på ben 6 på INA 114, hvilket er outputtet. I bunden af fumlebrættet samles en fælles ground. Indgangssignalet fra funktionsgenerator sættes på channel 1 på oscilloskopet mens udgangssignalet vises på channel 2 på oscilloskopet.

INA114 sættes til spændingsforsyning med $\pm 9V$ på ben 4 og 7. Indgangssignalet fra funktionsgeneratoren sættes på ben 2 og 3. Gain-modstanden, R_G , sættes over ben 1 og 8. Ben 5 går ned i den fælles ground.

Hardwaren påtrykkes forskellige amplituder fra 1,5 mVp-p til 8 mVp-p ved forskellige frekvenser fra 20 – 75 Hz.

8.1.2 Forventet output

Gruppen forventer at outputsignalet bliver forstærket 740 gange og en lille dæmpning før knækfrekvensen på 50 Hz, og en større dæmpning efter knækfrekvensen.

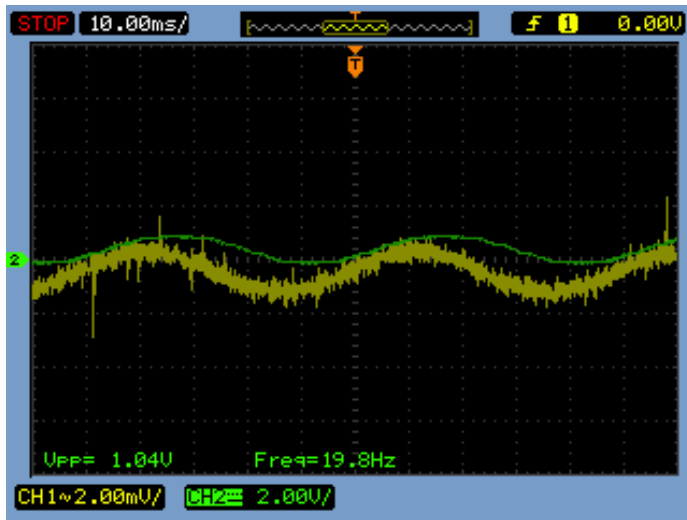
8.1.3 Resultater

Indgang	20 Hz	30 Hz	40 Hz	45 Hz	50 Hz	55 Hz	65 Hz	75 Hz
1,5 mVp-p	1,04 Vp-p	0,98 Vp-p	0,92 Vp-p	0,88 Vp-p	0,84 Vp-p	0,76 Vp-p	0,68 Vp-p	0,60 Vp-p
2,5 mVp-p	1,68 Vp-p	1,60 Vp-p	1,44 Vp-p	1,40 Vp-p	1,32 Vp-p	1,24 Vp-p	1,12 Vp-p	1,04 Vp-p
3,5 mVp-p	2,48 Vp-p	2,32 Vp-p	2,04 Vp-p	1,92 Vp-p	1,88 Vp-p	1,72 Vp-p	1,60 Vp-p	1,44 Vp-p
4 mVp-p	2,80 Vp-p	2,64 Vp-p	2,32 Vp-p	2,20 Vp-p	2,08 Vp-p	2,00 Vp-p	1,80 Vp-p	1,64 Vp-p
5 mVp-p	3,52 Vp-p	3,20 Vp-p	2,88 Vp-p	2,76 Vp-p	2,60 Vp-p	2,52 Vp-p	2,24 Vp-p	2,08 Vp-p
8 mVp-p	5,44 Vp-p	4,96 Vp-p	4,52 Vp-p	4,32 Vp-p	4,08 Vp-p	3,80 Vp-p	3,44 Vp-p	3,12 Vp-p

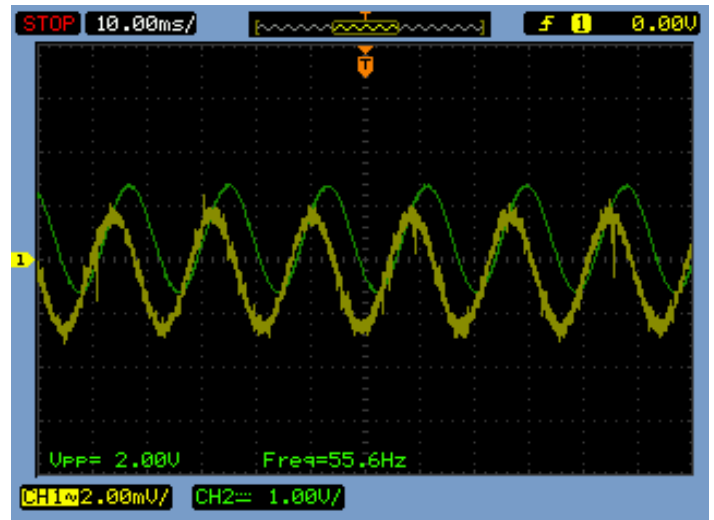
Tabel 5 Resultat integrationstest

Ud fra resultaterne ses det, at udgangssignalet bliver forstærket omkring 700 gange, hvilket kan skyldes dæmpning fra lavpasfilteret. Det kan også skyldes, at komponenter ikke er ideelle. Eksempel på forstærkning: $Gain = \frac{1,04}{0,0015} = 693,33$. Signalet forstærkes 693 gange ved et signal på 1,5 mVp-p ved 20 Hz.

Det ses yderligere, at filtret dæmper både før og efter knækfrekvensen.



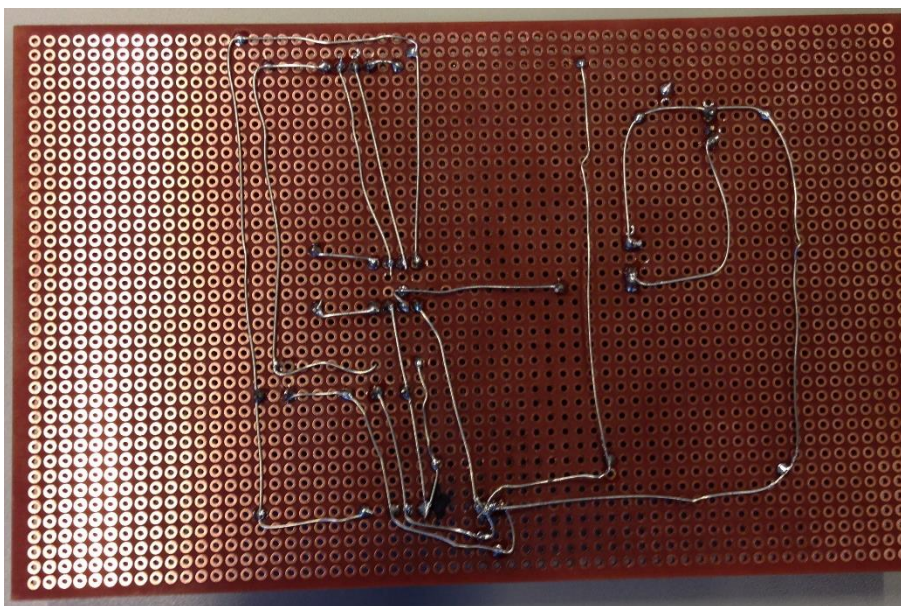
Figur 15 Test af hardware - oscilloskop billede ved 1,5 mVp-p ved 20 Hz



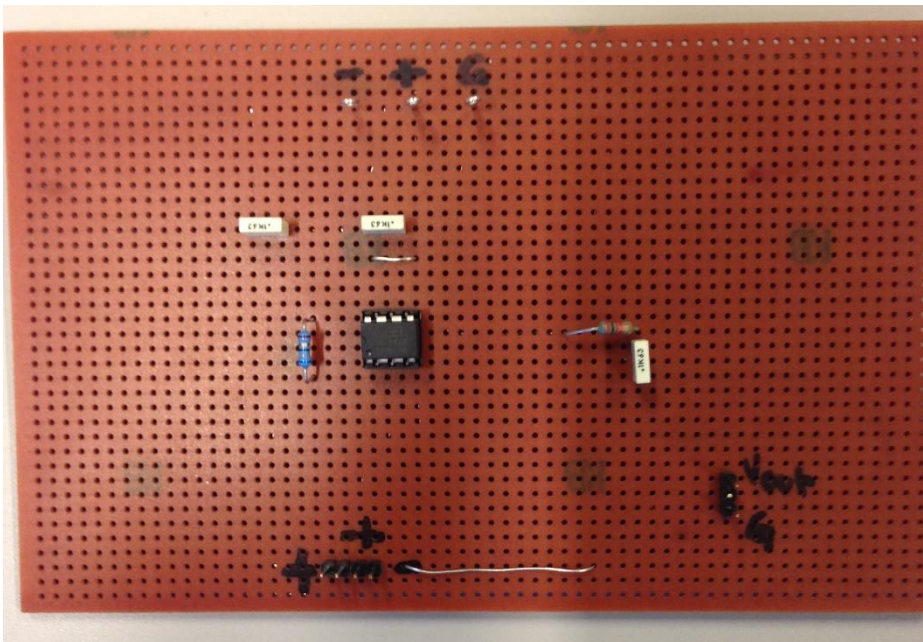
Figur 16 Test af hardware - oscilloskop billede ved 4 mVp-p ved 55 Hz

8.2 Hardware på printplade

Gruppen har samlet hardwaren på en printplade. Dette er afbildet på figur 17 og figur 18.

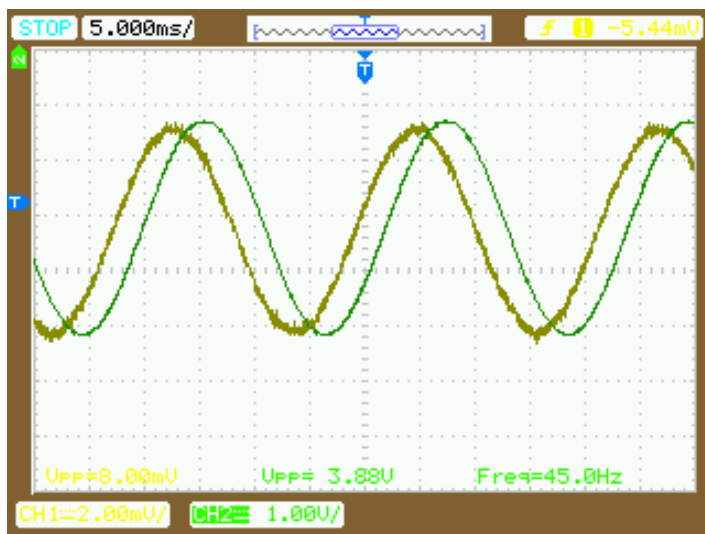


Figur 17 Hardware på printplade - bagside

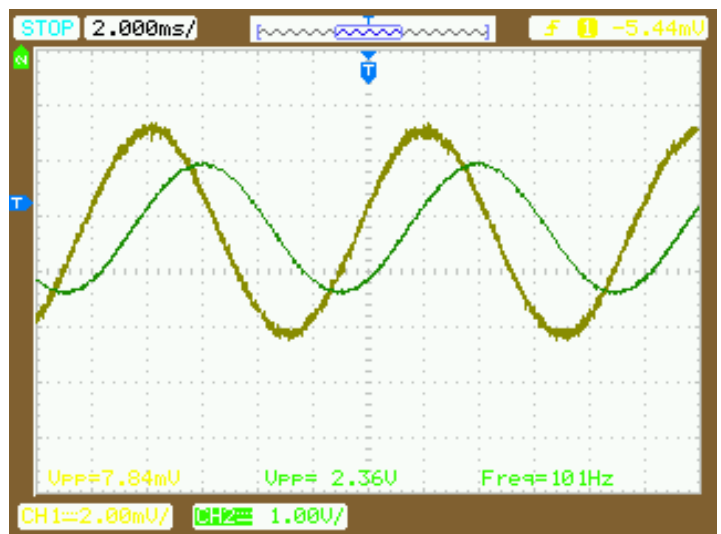


Figur 18 Hardware på printplade – forside

Testopstilling af printpladen er tilsvarende testopstilling af hardware på fumblebræt.



Figur 19 Hardware på printplade – oscilloskop billede ved 9,6 mVp-p ved 14,3 Hz



Figur 20 Hardware på printplade – oscilloskop billede ved 3,68 mVp-p ved 32,7 Hz

Ud fra figur 19 og figur 20 ses det, at printpladen forstærker outputtet, mens der ved frekvenser større en knæfrekvensen er kommet en dæmpning af signalet.

9.0 Kalibrering

9.1 Omregning fra spænding til tryk

Omregningsfaktoren findes ved at tage udgangspunkt i tryktransducerens sensitivitet, som er aflæst på databladet. Denne er $5 \frac{\mu V}{mmHg}$. Da der tilsluttes en spænding på $\pm 9V$ til instrumentationsforstærkeren, ændres sensitiviteten:

$$s = 9V * 5 \frac{\mu V}{mmHg} = 45 \frac{\mu V}{mmHg}$$

I instrumentationsforstærkeren forstærkes signalet 740 gange:

$$s = 45 \frac{\mu V}{mmHg} * 740 = 33,3 \frac{mV}{mmHg}$$

Blodtryksmålerens interval går fra 0 – 300mmHg, hvilket giver et max på:

$$V_{max} = 300mmHg * 33,3 \frac{mV}{mmHg} = 9,99V$$

Dette stemmer overens med hardware dokumentationen, hvor DAQ'en skal kunne opererer indtil 10V. Ud fra disse tal, vil omregningen fra spænding til tryk være:

$$BP[mmHg] = \frac{V[Volt]}{33,3 \frac{mV}{mmHg}}$$

Det betyder, at når der skal omregnes fra spænding til blodtryk, så gøres der brug af tryktransducerens sensitivitet.

9.2 Test af kalibrering og sensitivitet

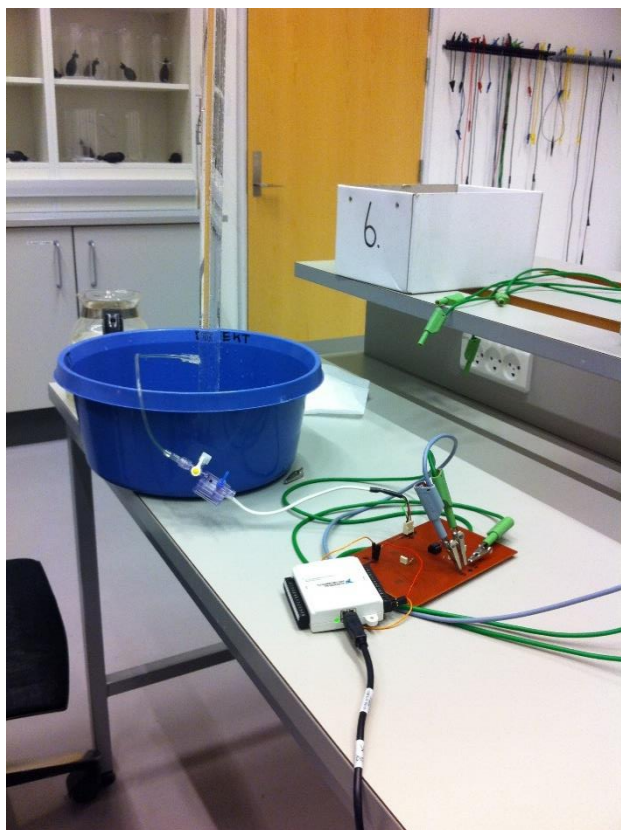
For at præcisere den teoretiske omregningsfaktor af målingerne fra tryktransducere, kræves en kalibrering af sensitiviteten. Denne kalibrering findes ud fra forsøg med væskesøjle. Denne væskesøjle har forskellige tryk ved forskellige højder, som angivet i tabel 6.

Væskesøjle mm	Hg mm
136	10
680	50
1360	100

Tabel 6 Væskesøjlehøjde og tryk

Tryktransducere påsættes vandsøjlen ved de 3 forskellige højder, og der måles output på GUI, via instrumentationsforstærker og A/D converter. Der tilsluttes $\pm 9V$ spænding på instrumentationsforstærkeren, og foretages en måling ved at starte softwareprogrammet og dernæst aflæse output-blodtryksværdierne på GUI.

Forsøgsopstillingen ses nedenfor, på figur 21 og figur 22.



Figur 21 Måleopstilling med væskesøjle og printplade



Figur 22 Måleopstilling med væskesøjle

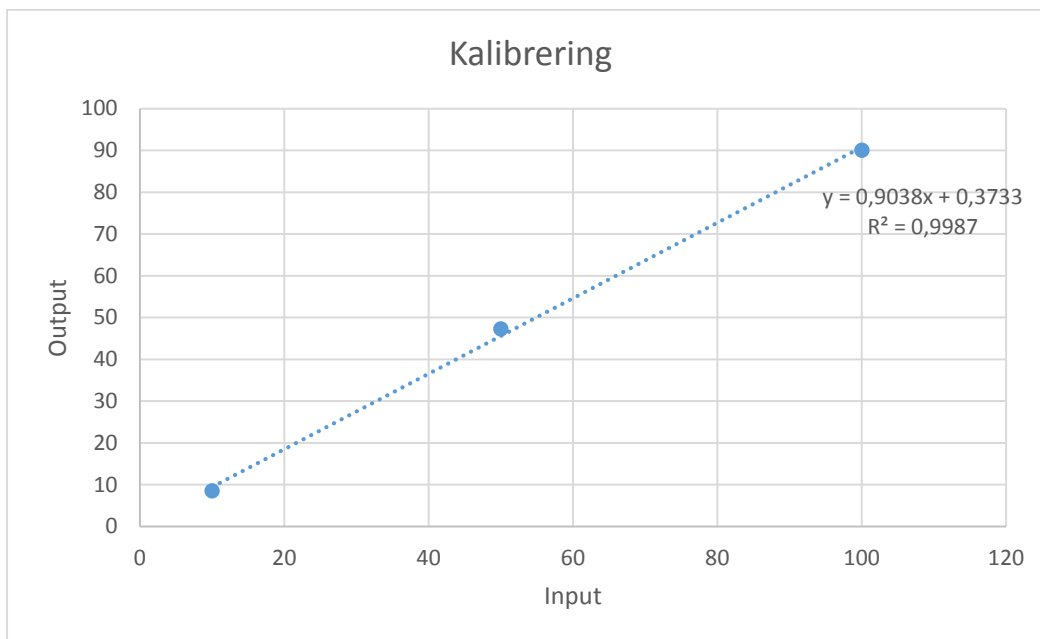
Der tages en 100 målinger, hvor gennemsnittet beregnes, og kan aflæses ved debuging. Det er denne værdi der gøres brug af til videre beregninger.

Der fås følgende resultater af forsøget:

Input mmHg	Output mmHg
10	8,458
50	47,278
100	89,987

Tabel 7 Testresultater

Ud fra disse målinger laves der en kalibreringsgraf over input og output, og imellem punkterne laves der en tendenslinje.



Figur 23 Kalibreringsgraf

Hældningen på denne tendenslinje bruges til at kalibrere tryktransducerens sensitivitet, så den bliver præcis praktisk og ikke kun teoretisk. Ovenstående udregning af tryktransducerens sensitivitet, og deraf omregningsfaktoren fra spænding til tryk, er kun teoretisk ud fra databladet. Derfor er det vigtigt at kalibrere denne, så det også bliver mere præcis i praksis. I ligningen, $y = ax + b$, på ovenstående figur er $b = 0,3733$. Dette er et udtryk for offsettet.

Det betyder, at den kalibrerede sensitivitet bliver:

$$s_{ny} = 33,3 \frac{mV}{mmHg} * 0,9038 = 30,1 \frac{mV}{mmHg}$$

Dette påvirker programmet, når der regnes fra spændinger om til tryk. Der kan ses på et eksempel, hvor der gøres brug af den teoretiske sensitivitet og den kalibrerede, praktiske sensitivitet ved 4V spænding:

$$BP_{teoretisk} = \frac{4V}{0,0333 \frac{V}{mmHg}} = 120,12 \text{ mmHg}$$

$$BP_{praktisk} = \frac{4V}{0,0301 \frac{V}{mmHg}} = 132,9 \text{ mmHg}$$

Som det kan ses ud fra ovenstående eksempel, så betyder kalibreringen af sensitiviteten betydeligt for hvilket tryk der omregnes til. Efter denne kalibrering er omregningen, og dermed også programmet, blevet mere præcist.

Der tages højde for denne kalibrering i softwareprogrammet, Bloodpressure 3000.

10. Referenceliste

(1) Hede C. A/D-converter. 2009; Available at:

[http://www.denstoredanske.dk/It, teknik og naturvidenskab/Elektronik, teletrafik og kommunikation/Kommunikationsteori og teletrafikteori/A-D-converter](http://www.denstoredanske.dk/It,_teknik_og_naturvidenskab/Elektronik,_teletrafik_og_kommunikation/Kommunikationsteori_og_teletrafikteori/A-D-converter). Accessed 16/12, 2014.

(2) Johansen P. Instrumentationsforstærkeren. 3rd ed.; 2014.

(3) National Instruments. Analog Sampling Basics. 2014; Available at: <http://www.ni.com/white-paper/3016/en/>. Accessed 16/12, 2014.

(4) Texas Instruments. Precision Instrumentation Amplifier. 1998; Available at: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina114.pdf>. Accessed 16/12, 2014.

(5) Thomas RE, Rosa AJ, Toussaint GJ. The Analysis and Design of Linear Circuits. 7th ed.: Wiley; 2012.