



Hardwaredesign

RoboPlay

Semesterprojektgruppe: 10

Afleveringsdato: **10. september 2018**

Version: **1.1.0**

#	Stud.nr.	Navn	Initialer
1	201704441	Frank Andersen	FA
2	201705186	Kristian Bang Nielsen	KN
3	201509800	Christian Lundtoft Trebbien	CT
4	201707807	Frederik Munch-Hansen	FM
5	06923	Niels Pallisgaard Thøgersen	NT
6	201505470	Mads Skytte Nielsen	MN
7	201704714	Michael Møller-Hansen	MM
Vejleder: Martin Ansbjerg Kjær			

Tabel 1 - Medlemmer i gruppe 10



1 Indholdsfortegnelse

1 Indholdsfortegnelse	1
2 Versionshistorik	3
3 Ordbog	4
4 Indledning	6
5 Strømdistribution	6
5.1 Strømsensor	6
5.1.1 Diagram	7
5.1.2 Kredsløbsanalyse	7
5.1.3 Beregning af støj	9
5.2 Spændingsregulatorer	10
5.2.1 StrømsensorDistribution	11
5.2.2 RPiDistribution	11
5.2.3 PSoCDistribution	12
5.2.4 PossensDistribution	12
5.3 Samlet diagram	13
5.4 Modultest	14
5.4.1 MotorDistribution	14
5.4.2 StrømsensorDistribution	15
5.4.3 RPiDistribution	15
5.4.4 PSoCDistribution	16
5.4.5 PossensDistribution	17
5.4.6 Strømsensor	17
6 Positionssensor	19
6.1 Stopsensor	19
6.1.1 Magnet	19



6.1.2 Hallsensor	20
6.1.4 Modultest	21
6.2 Optosensor	22
6.2.1 Hjul	22
6.2.2 Optocoupler	23
6.2.3 Modultest	25
7 Servomotor	26
7.1 Om servomotorer	27
7.2 PWM vs vinkel på motor	27



2 Versionshistorik

Vers	Dato (Y-M-D)	Navn	Ændringer
v0.1.0	2018-09-17	NT	Dokument oprettet
v0.1.1	2018-10-16	NT	Ordbog tilføjet
v0.1.2	2018-11-08	NT	Struktur, indledninger til alle afsnit, beskrivelse af servomotorer
v0.1.3	2018-11-11	NT	Positionssensor påbegyndt, strømsensor påbegyndt.
v0.1.4	2018-12-11	NT	Analyse af strømsensor påbegyndt
v0.2.0	2018-11-18	NT	Analyse strømsensor færdig, modultest strømdist tilføjet.
v1.0.0	2018-11-22	CT & FH	Optokabler afsnit samt magnet afsnit påbegyndt.
v1.0.1	2018-11-26	NT	Opdateret strømsensor efter rettelser ifb implementering. Strømdist/regulatorer.
v1.1.0	2018-11-26	MM	Denne version er sendt til reviewgruppe i forbindelse med review #2.

Tabel 2 - Versionshistorik



3 Ordbog

I tabel 3 herunder ses en oversigt over de begreber, der er benyttet i dette projekt samt forklaring af deres betydning. Denne ordbog kan benyttes som et opslagsværk under læsningen af dette dokument.

	Betydning
RoboPlay	Det system, der udvikles, inklusive hard- og software
Robot	Den fysiske robotarm, inklusive motorer, sensore, mfl.
RPi	Raspberry Pi Zero W med Linux installeret
RPiApp	Software, der udvikles til RPi, inklusive eventuelle kernemoduler
PSoC	Cypress PSoC 5LP development board
PSoCApp	Software, der udvikles til PSoC
Mobiltelefon	Ord
MobilApp	Software, der udvikles til Mobiltelefon
Invers kinematisk bevægelse	En bevægelse mod et fastlagt punkt, hvor det skal beregnes, hvordan man kommer derhen.
Xamarin	En cross-platform teknologi udviklet af Microsoft. Xamarin giver mulighed for en høj grad af kodegenbrug mellem forskellige platforme såsom iOS og Android.
MVVM	Forkortelse for "Model-View-ViewModel. Den foretrukne arkitektur når Xamarin benyttes.
Yderpunkt	Det yderste punkt en given akse kan komme i.
Kontakt	Kontakten som tænder og slukker robotten
Servomotor	Servomotor af typen MG996R. Begreberne <i>motor</i> og <i>servomotor</i> ses som synonyme.
Hjul	<i>Encoder disc</i> til optocoupler.
Mellemrum	Hul i hjul, der tillader lys at passere igennem.
CRC	Cyclic Redundancy Check. En metode til at detektere fejl i data-transmission.
Motor	Servomotor af typen MG996R. Begreberne <i>motor</i> og <i>servomotor</i> ses som synonyme.
POSIX	The Portable Operating System Interface. En standard som sikrer kompatibilitet



	mellem operativsystemer.
Air-gap	Afstanden mellem hall-sensoren og magneten

Tabel 3 - Ordbog



4 Indledning

Dette dokument beskriver designet af hardwaren til *RoboPlay* og fokuserer på de hardware-blokke, der udvikles til systemet. Desuden vil dokumentet indeholde en analyse af de konkrete servomotorer, der er indkøbt til projektet, med henblik på at kunne bestemme hhv. den strøm, der løber i dem versus deres fysiske kraft og den PWM duty cycle, de modtager versus den faktiske vinkel af motoren, det resulterer i.

5 Strømdistribution

Strømdistribution har til opgave at levere strøm til alle systemets enheder samt at måle strømmen igennem et antal af systemets motorer. I dette afsnit vil implementeringen af denne blok blive beskrevet.

Blokkene *MotorDistribution* og *Kontakt* vil ikke beskrives yderligere, da *MotorDistribution* er et simpelt knudepunkt, der fordeler strøm til de respektive motorer og *Kontakt* er en simpel afbryder. Der er altså ikke meget design i at implementere disse blokke.

5.1 Strømsensor

For at måle strømmen i en motor benyttes en strømsensor. Sensorens grundlæggende princip er, at stelledningen fra den motor, vi ønsker at måle strømmen gennem, føres igennem en effektmodstand på 1Ω til stel, og en differensforstærker med en forstærkning på $\frac{1}{2}$ benyttes til at måle spændingsfaldet over effektmodstanden. Forstærkning på $\frac{1}{2}$ er valgt, da vi databladet for servomotorene¹ specificerer at 2.5A, og systemet skal interface med et SAR-ADC med en maksimal indgangsspænding på 2.048V. Man kunne have valgt en mindre modstand på $\frac{1}{2}\Omega$ i stedet, men de var ikke til rådighed.

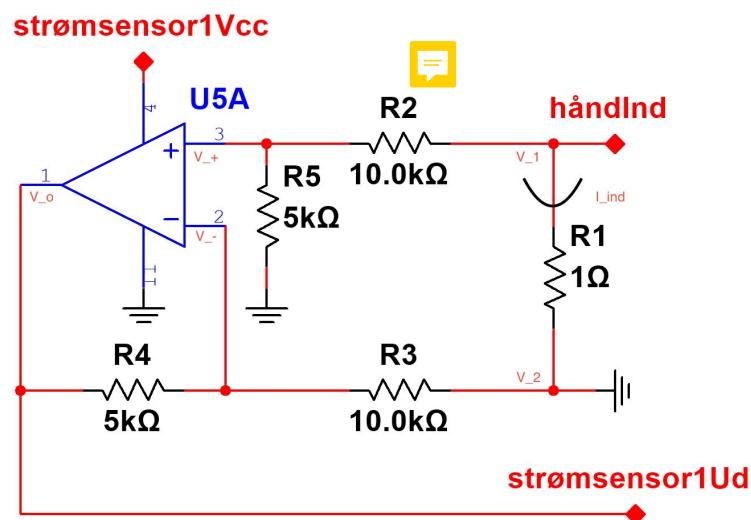
Der benyttes en differensforstærker for at adskille effektmodstanden fra indgangen på den enhed, der mäter signalet og sikre at enhedens indgangsimpedans ikke påvirker målingen. Desuden ønskes det at kunne måle den momentane strøm til en given tid, hvilket muliggør

¹ Bilag 21: Datablad for servomotorer, /Projekt/Datablade/MG996R_Tower-Pro.pdf

udledning af middelstrøm i softwaren til *PSoC*. Derved kan eventuelle ændringer af filtreringen foretages i software uden at hardwaren skal ændres.

5.1.1 Diagram

På *figur 1* herunder ses et diagram af *Strømsensor*. Som det ses, er der valgt en opamp af typen LM324, da den er billig og vi ikke har behov for ekstraordinære egenskaber som ultralav støj eller stor båndbredde i dette design.

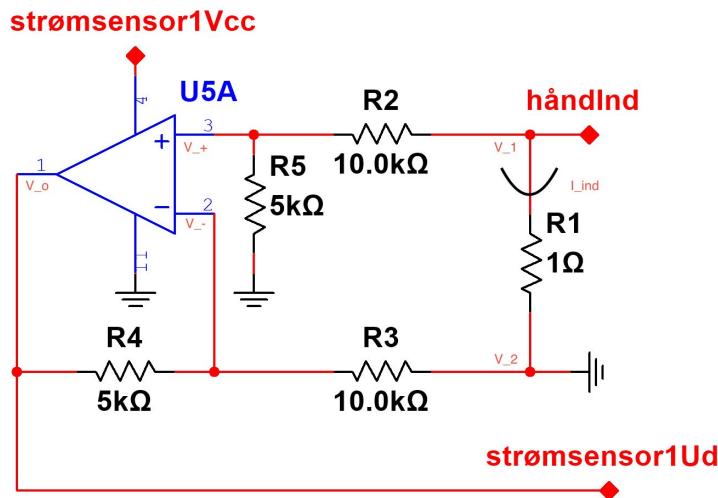


Figur 1 - Diagram for strømsensor

Seriemodstande i diagrammet, med undtagelse af den effektmodstand, der måles over, er på $10\text{k}\Omega$, og parallelmodstandene er på $5\text{k}\Omega$, hvilket bevirker at den inverterende og non-inverterende indgang vægtes ens og at forstærkningen er på 0.5. Dette vil bevises i det følgende.

5.1.2 Kredsløbsanalyse

Kredsløbet analyseres symbolsk for at bestemme dets overføringsfunktion. Først opstilles kredsløbets ligninger. Dertil er strømme og spændinger skrevet ind på diagrammet i *figur 2*.



Figur 2 - Diagram for strømsensor med strømme og knudepunkter

Ohms lov dikterer, at

$$V_1 = I_{ind} * R_1$$
[Feedback icon]

Spændingsdelerformelen benyttes til at bestemme udtryk for V_+ og V_- .

$$V_+ = V_1 * \frac{R_5}{R_2 + R_5}$$

$$V_- = V_o * \frac{R_3}{R_3 + R_4}$$
[Feedback icon]

Superposition benyttes til at bestemme bidrag fra hhv. V_1 og V_2 . Først sættes V_1 til 0V, hvorved systemet er en inverterende forstærker og formlen for en sådan kan benyttes.

$$V_o(V_2) = -V_2 * \frac{R_4}{R_3}$$

Tilsvarende kan et udtryk for bidraget fra V_1 findes ved at sætte V_2 til 0V.

$$V_o(V_1) = V_+ * \frac{R_3 + R_4}{R_3} \leftrightarrow$$

$$V_o(V_1) = V_1 * \frac{R_5}{R_2 + R_5} * \frac{R_3 + R_4}{R_3}$$



Dermed kan den resulterende spænding på udgangen findes.



$$V_o = V_o(V_1) - V_o(V_2) = V_1 * \frac{R_5}{R_2+R_5} * \frac{R_3+R_4}{R_3} - V_2 * \frac{R_4}{R_3}$$

Dette er en generel ligning for en differensforstærker. For dette konkrete tilfælde gælder følgende:

$$V_2 = 0V$$

$$R_2 = R_3 = 10k\Omega$$

$$R_4 = R_5 = 5k\Omega$$

$$R_1 = 1\Omega$$

Disse værdier indsættes.

$$V_o = I_{ind} * 1\Omega * \frac{5k\Omega}{10k\Omega+5k\Omega} * \frac{10k\Omega+5k\Omega}{10k\Omega} - 0V * \frac{R_4}{R_3} \leftrightarrow V_o = I_{ind} * \frac{5k\Omega}{15k\Omega} * \frac{15k\Omega}{10k\Omega} \leftrightarrow V_o = \frac{1}{2} * I_{ind}$$

Dermed vil den strøm, der løber i R_1 være lig spændingen $V_o * \frac{1}{2}$.



5.1.3 Beregning af støj

For at bestemme om der er behov for filtrering af signalet og om der er valgt korrekt skalering af modstandsværdier, beregnes systemets støj. Det antages at strømstøjbidraget for opampen og spændingsstøjbidraget fra R_1 er forsvindende små.

Først beregnes støjbidraget fra hver modstand:

$$T = 300^\circ K$$

$$k = 1.38 * 10^{-23}$$

$$GBW = 1.2MHz$$

$$e_{ni} = 35 \frac{nV}{\sqrt{Hz}}^2$$

² <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm324.pdf>



$$A_- = -\frac{R_4}{R_3} = \frac{5k\Omega}{10k\Omega} = -0.5$$

Fortegnet bortfalder, da det ikke har betydning for støjberegninger.

$$A_+ = \frac{R_3 + R_4}{R_3} = \frac{15k\Omega}{10k\Omega} = 1.5$$

$$e_{nR_2} = e_{nR_3} = \sqrt{4 * k * T * R} = \sqrt{4 * 1.38 * 10^{-23} * 300^\circ K * 10k\Omega} = 12.9 \frac{nV}{\sqrt{Hz}}$$

$$e_{nR_4} = e_{nR_5} = \sqrt{4 * k * T * R} = \sqrt{4 * 1.38 * 10^{-23} * 300^\circ K * 5k\Omega} = 9.1 \frac{nV}{\sqrt{Hz}}$$

$$V_{nR_2} = e_{nR_2} * A_+ * \sqrt{\frac{GBW}{A_+} * 1.57} = 12.9 \frac{nV}{\sqrt{Hz}} * 1.5 * \sqrt{\frac{1.2MHz}{2} * 1.57} = 18.8 \mu V$$

$$V_{nR_3} = e_{nR_3} * A_+ * \sqrt{\frac{GBW}{A_+} * 1.57} = 12.9 \frac{nV}{\sqrt{Hz}} * 1.5 * \sqrt{\frac{1.2MHz}{2} * 1.57} = 18.8 \mu V$$



$$V_{nR_4} = e_{nR_4} * \sqrt{\frac{GBW}{A_+} * 1.57} = 9.1 \frac{nV}{\sqrt{Hz}} * \sqrt{\frac{1.2MHz}{2} * 1.57} = 8.8 \mu V$$

$$V_{nR_5} = e_{nR_5} * A_+ * \sqrt{\frac{GBW}{A_+} * 1.57} = 9.1 \frac{nV}{\sqrt{Hz}} * 2 * \sqrt{\frac{1.2MHz}{2} * 1.57} = 17.6 \mu V$$

$$V_{ni} = e_{ni} * A_+ * \sqrt{\frac{GBW}{A_+} * 1.57} = 35 \frac{nV}{\sqrt{Hz}} * 1.5 * \sqrt{\frac{1.2MHz}{2} * 1.57} = 51 \mu V$$

Disse bidrag aderes:

$$V_{n tot} = \sqrt{V_{nR_2}^2 + V_{nR_3}^2 + V_{nR_4}^2 + V_{nR_5}^2 + V_{ni}^2} = \\ \sqrt{2 * (18.8 \mu V)^2 + (8.8 \mu V)^2 + (17.6 \mu V)^2 + (51 \mu V)^2} = 60.8 \mu V$$

Den totale støj er altså meget lav, og det må konkluderes, at der ikke er behov for yderligere filtrering. Det kan desuden konkluderes at den største kilde til støj i systemet er opampen, så der er ikke behov for at sænke skaleringen af komponentværdier.

5.2 Spændingsregulatorer

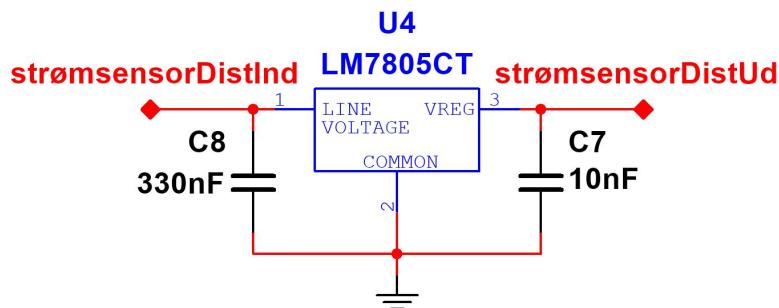
Til strømforsyning af alle enheder i systemet, der ikke er motorer, er det besluttet at benytte regulerede forsyningsspændinger. En spændingsregulator er en IC, der leverer en fast

spænding på udgangen uafhængigt at spændingen på indgangen så længe indgangsspændingen er over et vist niveau og at den i øvrigt er implementeret som databladet for den valgte regulator foreskriver.

De respektive regulatorer til de forskellige forsyningsspændinger, der skal bruges i dette system, er valgt med udgangspunkt i hvad der er tilgængeligt på Ingeniørhøjskolens lager³ samt kravene til strøm og spænding for de enkelte delsystemer.

5.2.1 StrømsensorDistribution

Til *strømsensorDistribution* er der valgt en spændingsregulator af typen LM7805, som det ses på *figur 3* herunder. Denne regulator er valgt, da den er prisbillig og der ikke er behov for at trække mere end de 100mA,  der er i stand til at levere.⁴ Værdierne for kondensatorerne er angivet i databladet.



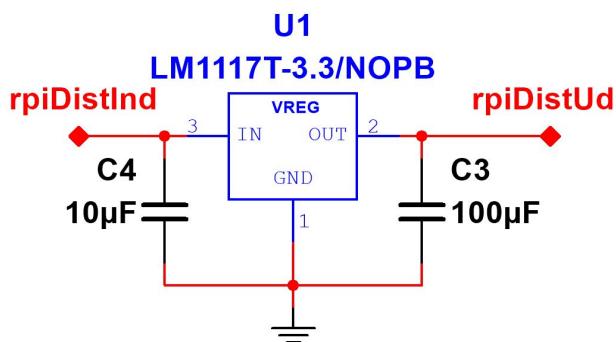
Figur 3 - Diagram for *StrømsensorDistribution*

5.2.2 RPIDistribution

Her kommer til at stå noget om rpiDist, fx at vi har måtte tage nogle målte værdier, en nørd har lavet og lagt på nettet, fordi Razzberry ikke opgiver max current for enheden, men en SYGT høj anbefalet, der ikke giver mening.

³ Bilag 27, Oversigt over tilgængelige komponenter på Ingeniørhøjskolens lager

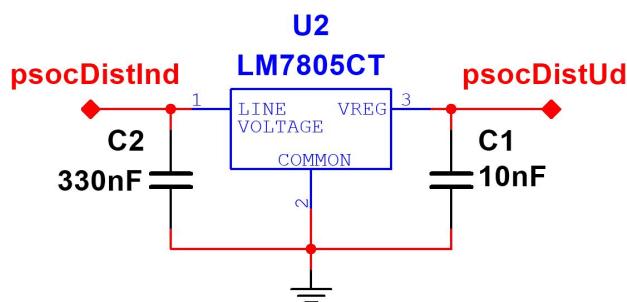
⁴ Bilag 22, Datablad for spændingsregulator lm781



Figur 4 - Diagram for *rpiDistribution*

5.2.3 PSoCDistribution

På figur 5 herunder ses diagrammet for *rpiDist*. Som det ses, er der her igen valgt en LM7805 til at leverer den regulerede spænding. For at bestemme strømforbruget for *PSoC* er der hentet et strøm-beregnings-regneark fra Cyperss' hjemmeside⁵, der er udfyldt med de ressourcer, der er angivet at vi benytter i systemekrитеkturen⁶, hvilket med worst-case-indstillinger (der er med vilje tilføjet ekstra enheder, vi ikke benytter for at tage højde for uforudsejt bidrag) beregnes til 86mA. Derved kan den valgte regulator leverer tilstrækkelig strøm til *PSoC*.



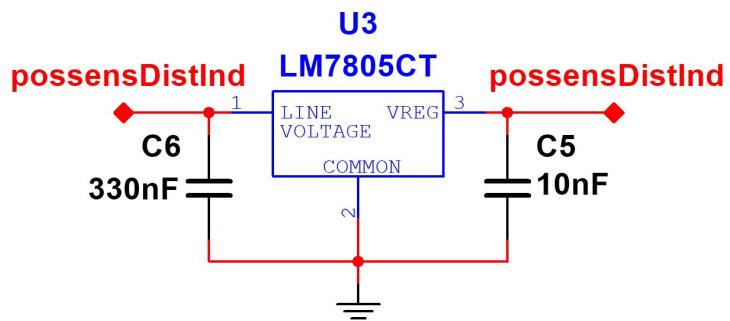
Figur 5 - Diagram for *PSoCDistribution*

5.2.4 PossensDistribution

Lm7805 er igen valgt til at leve spænding til *positionssensor*, da kravende til denne del er sammenliggige med dem, der gælder for *strømsensor*. Diagrammet herfor kan ses på figur 6 herunder.

⁵ Bilag 28, Strømforbrugsberegnere for PSoC

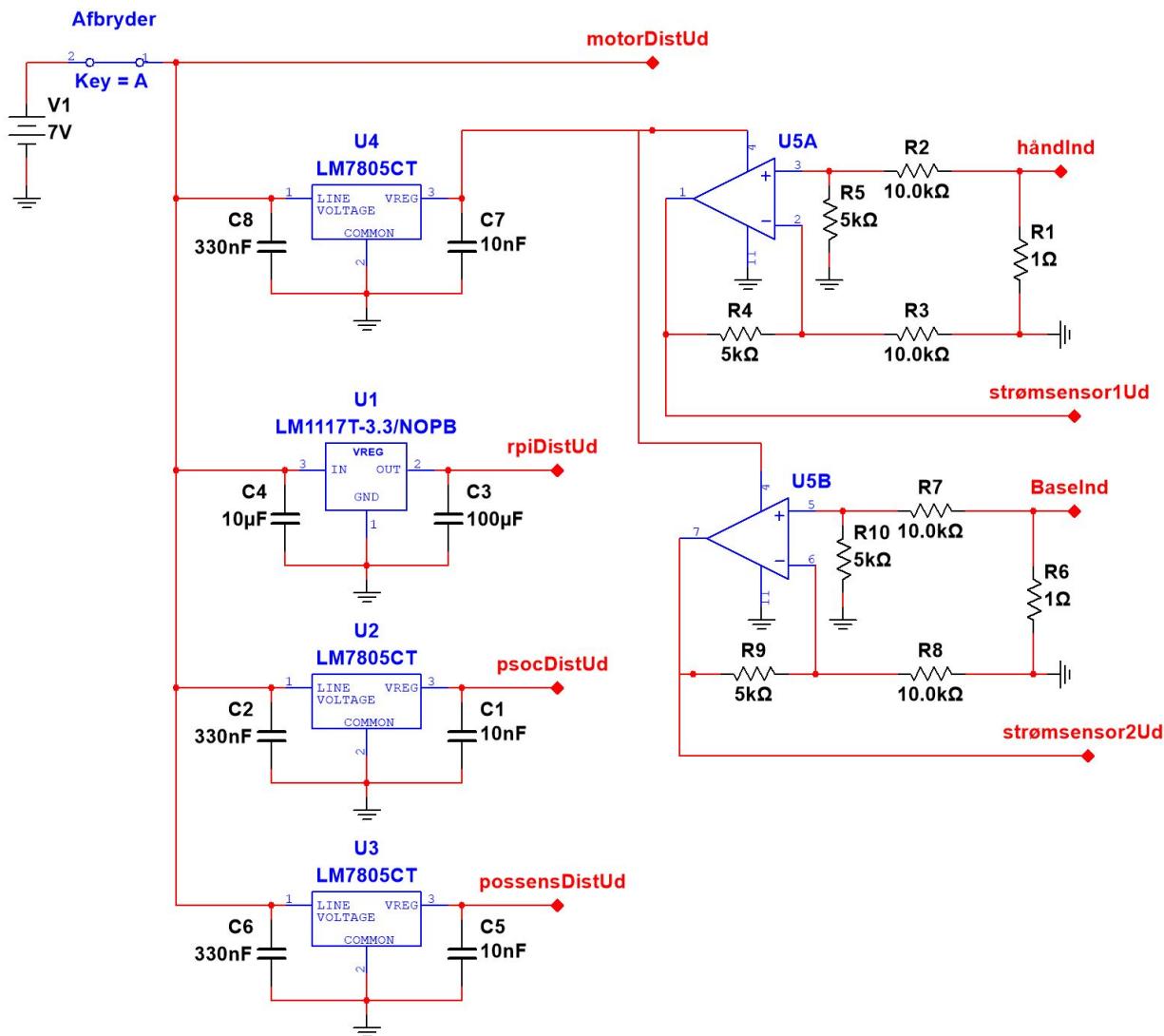
⁶ Bileg 5, Systemarkitektur



Figur 6 - Diagram for *possensDistribution*

5.3 Samlet diagram

På figur 7 herunder ses det samlede diagram for systemet.



Figur 7 - Samlet diagram for strømdistribution

5.4 Modultest

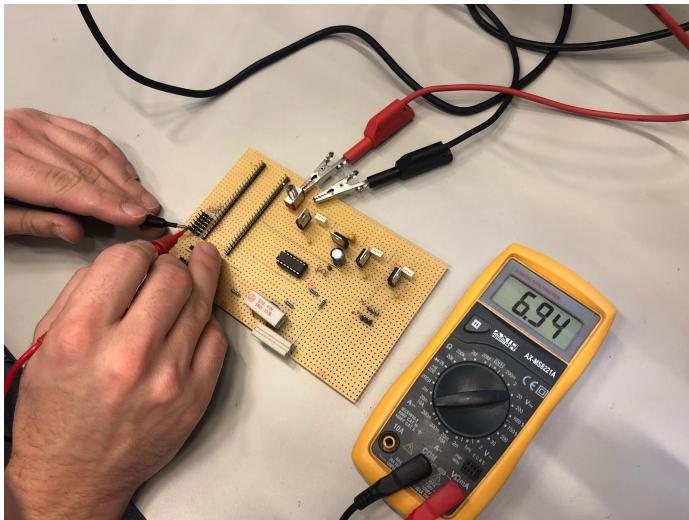
Alle forsyningsspændinger måles og strømsensorkredsløbet verificeres.

5.4.1 MotorDistribution



På figur 8 herunder ses målingen af forsyningsspændingen til motorerne. Som det ses, er der 7V +/- 0.2V på forsyningsbenene til motorene.

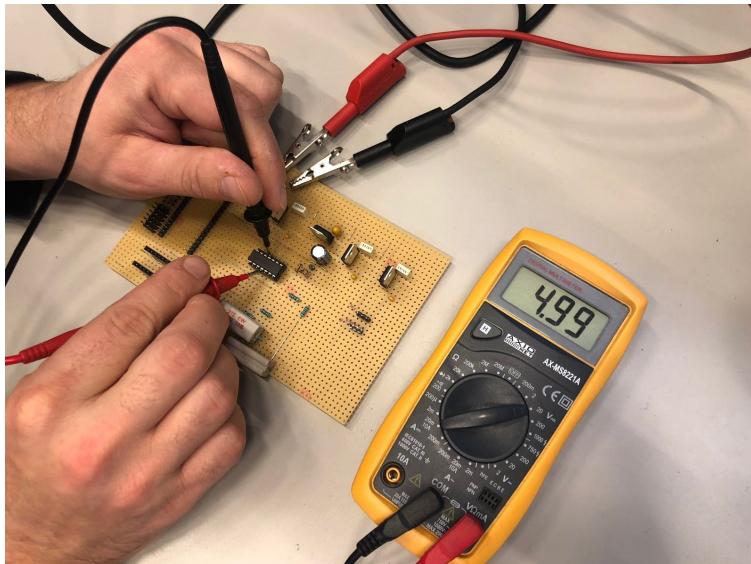




Figur 8 - Måling af spænding til motorer

5.4.2 StrømsensorDistribution

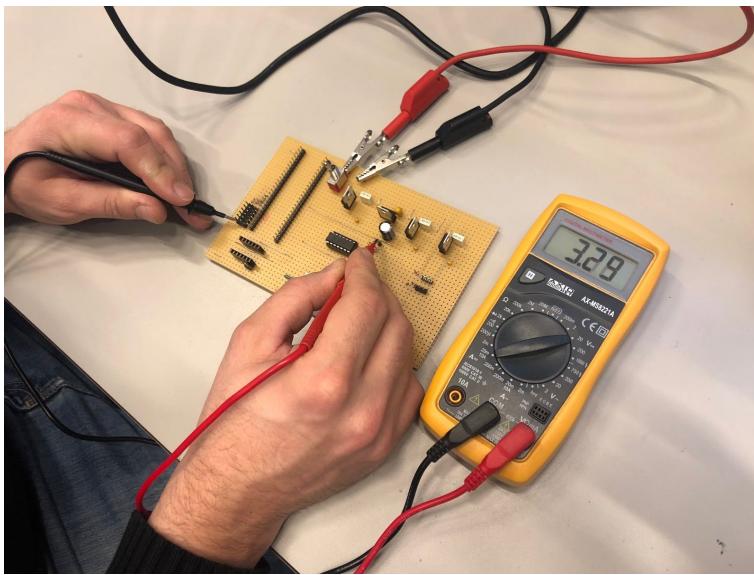
På figur 9 herunder ses målingen af forsyningsspændingen på Strømsensor. Som det ses, er der de ønskede 5V på opampens forsyningsben.



Figur 9 - Måling af spænding til strømsensor

5.4.3 RPIDistribution

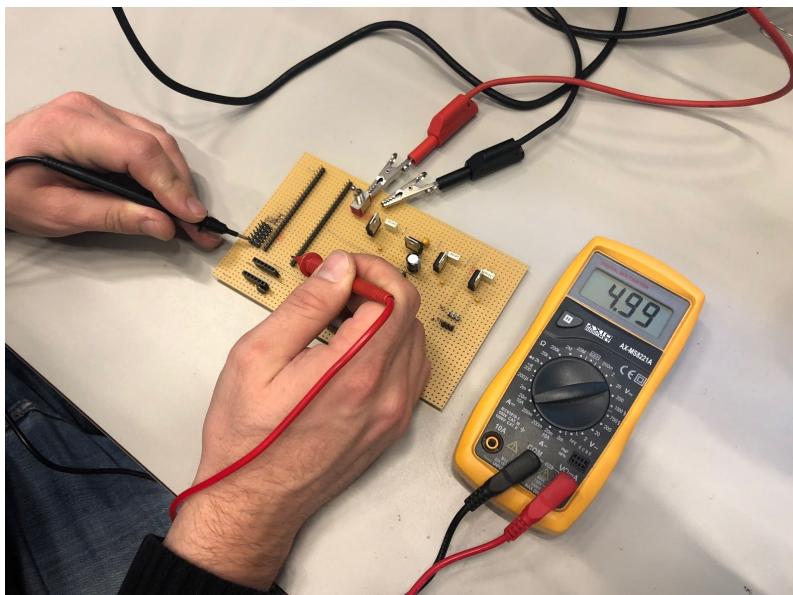
Som det ses på figur 10 herunder, er der de ønskede 3.3 +/- 0.2V på forsyningsbenene til RPi.



Figur 10 - Måling af spænding til RPi

5.4.4 PSoCDistribution

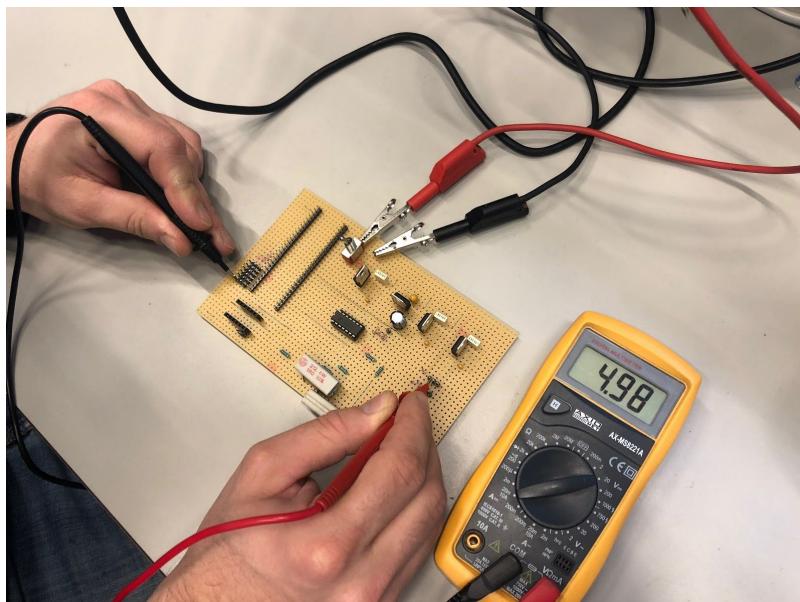
På figur 11 ses en måling af forsyningsspændingen til PSoC. Som det ses, er der er forventede 5V +/- 0.2V.



Figur 11 - Måling af spænding til PSoC

5.4.5 PossensDistribution

Figur 12 herunder viser en måling af forsyningsspændingen til Positionssensor. Som det ses, er der de forventede 5V +/- 0.2V.



Figur 12 - Måling af spænding til positionssensor

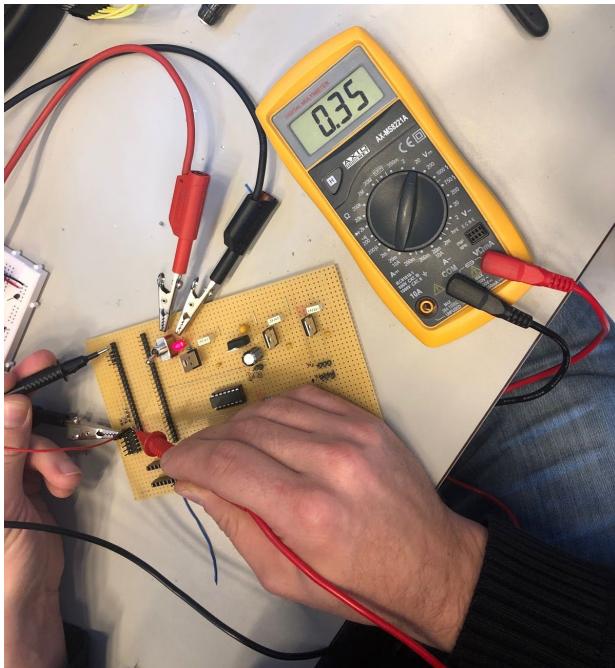
5.4.6 Strømsensor

Vi forbinder en 20Ω effektmodstand i serie med *mUd1* og til *baseInd*. Strømmen igennem modstanden måles på amperemeter, og spændingen mellem hhv. *strømsensor2Ud* og *strømsensor2Ud* og stel måles. Det forventes at spændingen er lig strømmen.

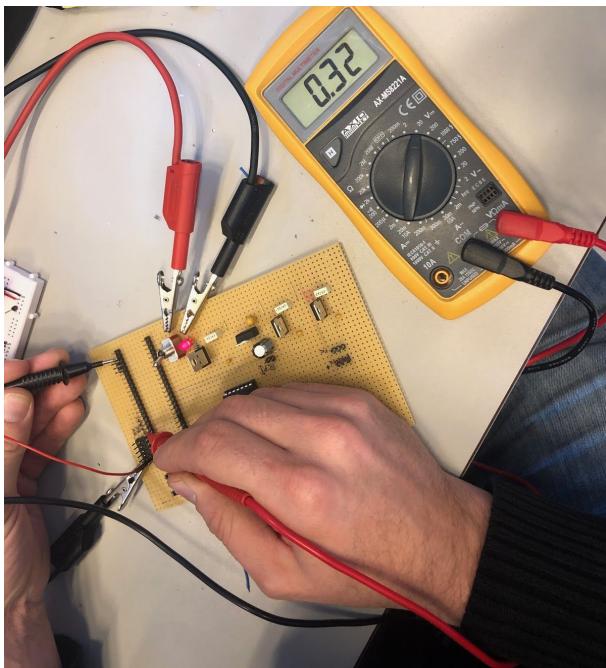
$$\text{Den forventede strøm er: } I = \frac{7V}{20\Omega + 1\Omega} = 0.33A$$

Strømmen måles til 330mA på amperemeter. På figur 13 og figur 14 herunder ses resultatet af målingerne. Som det ses, måles den forventede spænding inden for de specificerede tolerancer.





Figur 13



Figur 14



6 Positionssensor

Der implementeres en positionssensor på en af robottens akser for at kunne verificere aksens position. Sensoren har to dele; en stopsensor, der skal registrere at aksen har nået et ydrepunkt og en optosensor, der skal tælle mellemrum i en encoder disc. Disse signaler skal analyseres i en PSoC for derved at kunne bestemme aksens vinkel. Softwaren til og opsætningen af PSoC behandles i dokumentet *Softwaredesign*. Der implementeres en stopsensor ved hver af aksens ydrepunkter, så der er to instanser af den sensor i systemet.



6.1 Stopsensor



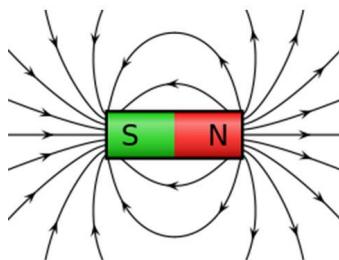
Stopsensorens arbejdsprincip er, at en magnet placeret på et hjul, der følger aksens rotation, passerer forbi en hallsensor, der er fastmonteret på aksens base, og som giver et aktivt højt signal når magneten står ud for den.

Stopsensoren fungerer ved, at en hallsensor monteret ved hhv. 0 og 180 grader på 1. aksen registrerer en magnet, hvilket resulterer i et aktivt højt signal, når det magnetiske felt registreres af hallsensoren.

6.1.1 Magnet

For at vores sensorer kan registrere et magnetisk felt er det nødvendigt at magneten placeres på en fornuftig måde. Som det kan ses på *figur 15*, så er det kun et smalt spektrum, hvor at magnetens felt er rettet direkte lige ud. Det skyldes jordens magnetfelt som trækker alle

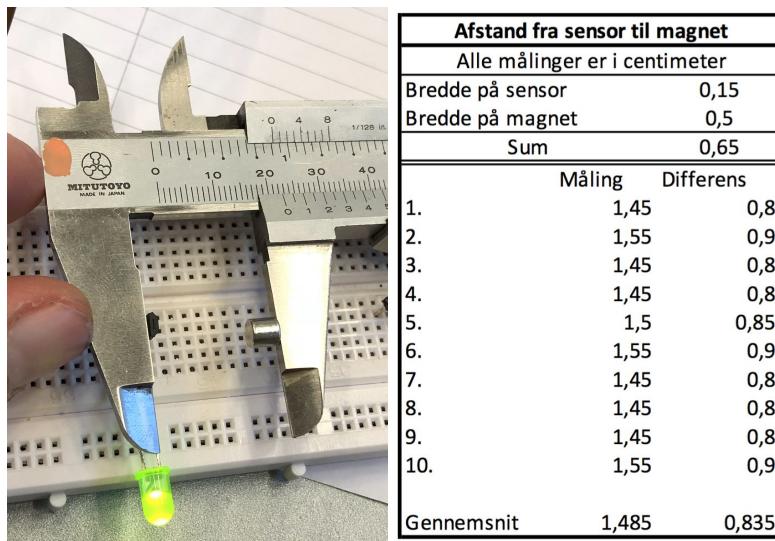
atomerne fra nordpolen til sydpolen af magneten. Vi ved fra fysikkens verden, at magnetens styrke (målt i tesla / gauss) er stærkest lige ud for magneten, hvorfor magneten er placeret med enten nord eller syd siden direkte rettet mod vores sensor.



Figur 15 - Illustration af et magnetisk felt⁷

6.1.2 Hallsensor

Til bestemmelse af hall-sensorens nødvendige afstand til magneten for detektion er der foretaget 10 målinger, hvorefter vi har benyttet os af gennemsnittet som vores resultat til distancen. Magneten skal derfor sidde ca. 1,5 cm fra hall-sensoren før den detekteres. Magneten er på bedst mulig vis monteret på robotarmen i en nogenlunde nøjagtighed. På figur 16 ses det hvordan vi med en skydelære har foretaget denne undersøgelse.

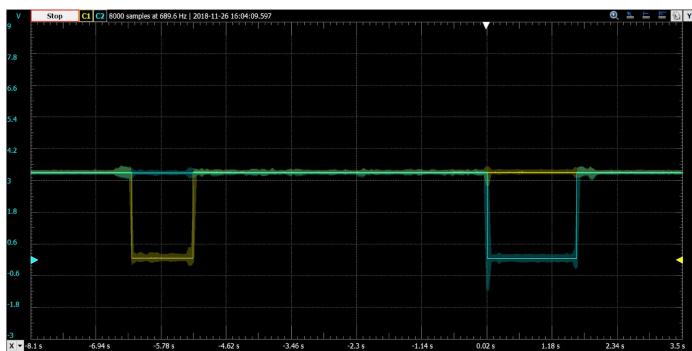


Figur 16 - Måling af nødvendigt air-gap mellem hall-sensor og magnet

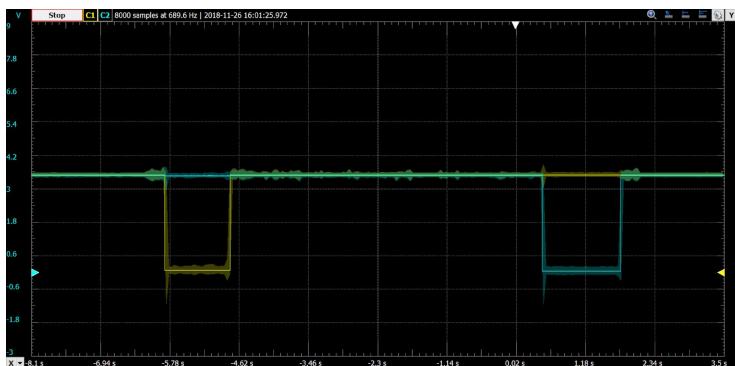
⁷ <http://www.coolmagnetman.com/images/maghow32.jpg>

6.1.4 Modultest

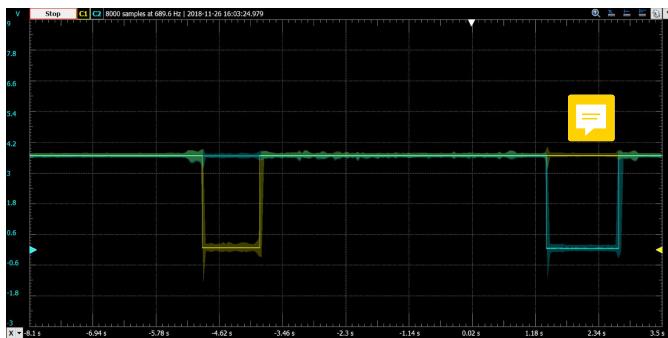
I forbindelse med modultesten måles der, at hall-sensorerne reagerer som ønsket ved de krævede spændinger hhv. 5V +/- 0.2V. Dette verificeres med scope-billeder, hvor det kan ses, at signalet går lavt for hall sensorerne ved hhv. 0 og 180 grader, når akse 1 roteres fra 0 - 180 grader. Dette er vist på... Kommer soon



Figur 17 - forsynet til hall-sensor



#figur_5V_hall2 - forsynet til hall-sensor



#figur_5_2V_hall2 - forsynet til hall-sensor

6.2 Optosensor

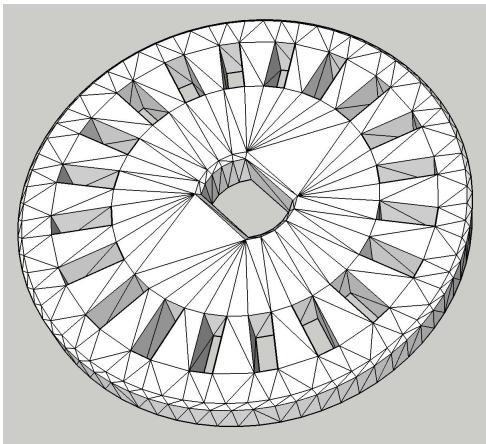
Optosensorens princip er at en 3D-printet encoder disc (herefter benævnt hjul) placeres mellem en lyskilde i form af en LED og en fototransistor. Når et mellemrum i hjulet passerer forbi LED'en, rammer lyset herfra en fototransistor, der derved leverer et højt signal, der registreres på en digital indgang på en PSoC.

6.2.1 Hjul

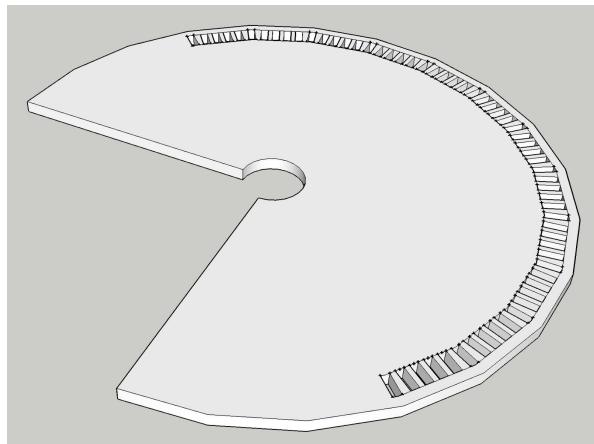
I forbindelse med udviklingen af hjulet til registrering af position forsøgte vi at 3D printe en i forvejen lavet model hentet på Thingiverse⁸ (figur 18), da vi hurtigt konkluderede, at det hjul vi havde hentet fra nettet ikke kunne leve op til vores krav grundet dets besværlige monteringsmuligheder og dets minimale opløsning - valgte vi at tegne vores eget. Vores eget hjul er vist på figur 19, det er designet til at være let at montere på vores 1. akse og der er konstrueret huller med 3 graders mellemrum dvs. 61 huller i alt. Det giver os muligheden for at registrere 1. aksens position med en nøjagtighed på 3 grader. Havde omstændighederne været til det havde vi selvfølgelig ønsket at konstruere et hjul, som kunne registrere hver enkelt grad, så vi kunne opnå en præcision på 1 grad.



⁸ <https://www.thingiverse.com/thing:1460059>



Figur 18 - Første udgave af hjul til optocoupler



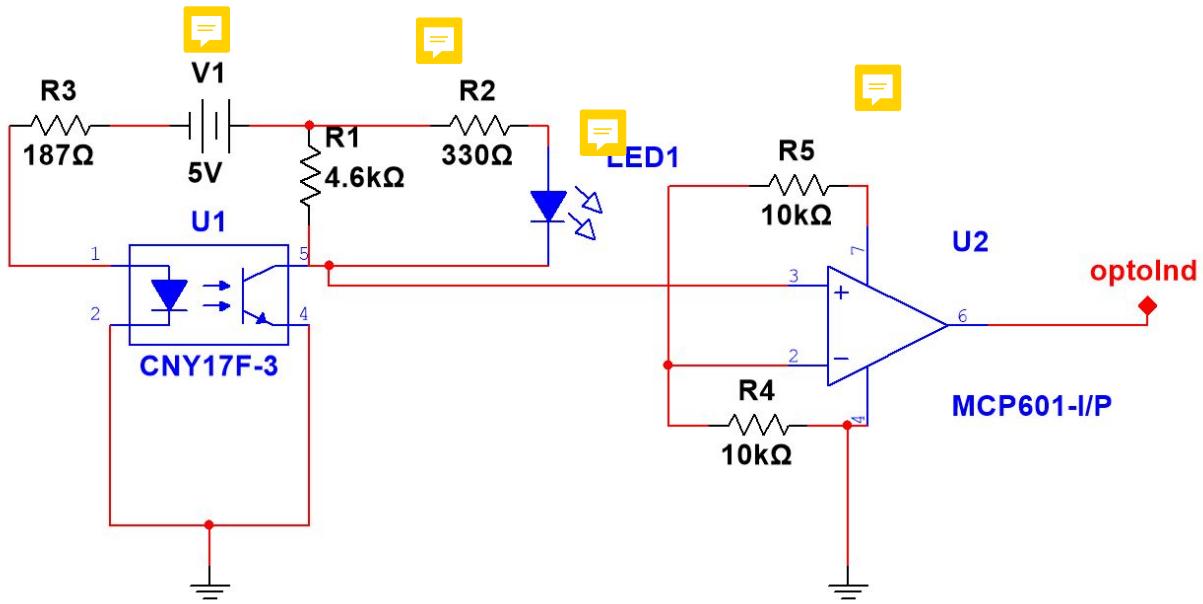
Figur 19 - Endelig udgave tegnet fra bunden i Google SketchUp⁹

6.2.2 Optocoupler

Vi har valgt at benytte optocoupleren TCST2103¹⁰, også kaldet en fork sensor. Princippet bag denne sensor er, at kunne registrere antal blokeringer af lys mellem de to optiske akser. Dette giver mulighed for at udregne en position, hvis brugeren kender sensorens omgivelser og det objekt der bruges til at aktivere samt deaktivere optocoupleren. I vores sammenhæng giver det mening at bruge et hjul med et givent antal huller, som ved bevægelse gennem de to optiske akser på skift afbryder lys, og tillader lys at strømme igennem.

⁹ <https://www.sketchup.com>

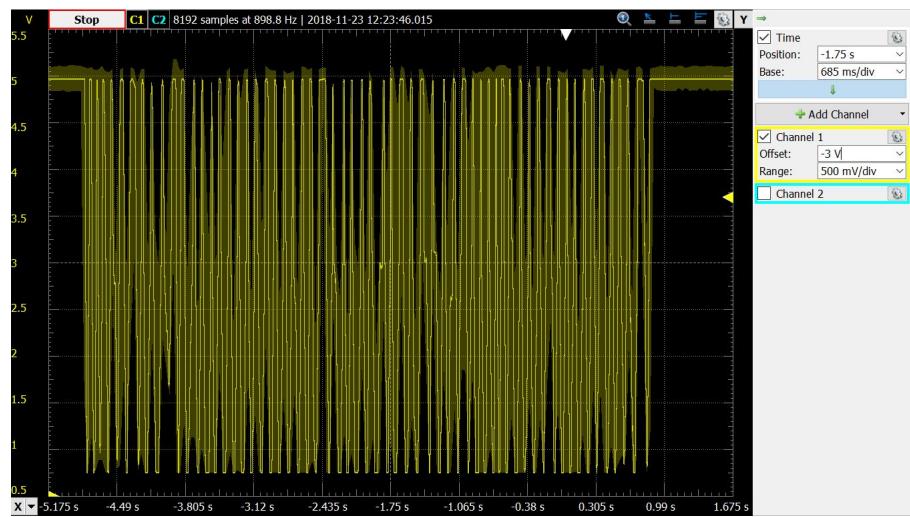
¹⁰ <https://www.vishay.com/docs/81147/t cst2103.pdf>



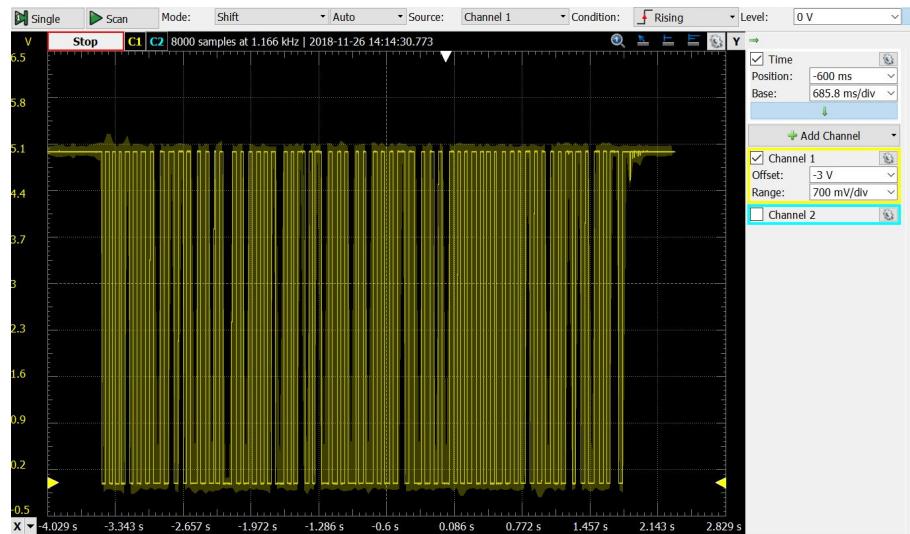
Figur 20 - Kredsløbsdiagram over optocupler.

Sensoren består af en infrarød emitter der transmitterer lys direkte ind på en fototransistor som ved detektering af lys lukker op for strømmen gennem collector-benet til stel. Dette vil sende et højt signal ud af collector-benet, som kan detekteres på en microcontroller. Der vil tilsvarende være kortslutning når der ikke detekteres lys, og et lavt signal vil udsendes. Da det ønskes at detektere et nært firkantet signal benyttes en komparator til at skære det unødvendige væk fra outputtet fra optocuppleren. Komparatoren som ses på multisim-diagrammet består af en op-amp (MCP601) og en spændingsdeler. Komparatorens funktion er vist på figur 21 og efter figur 22, hvor det tydeligt ses, at komparatoren sørger for at udelukkende sammenligne hhv. det høje og lave signal fra outputtet og dermed danne et firkantsignal. Da vi kan se i op-amp'ens datablad¹¹, at dens støj står noteret til $e_{ni} = 29 \frac{nV}{\sqrt{Hz}}$, ses der ingen grund til at foretage yderligere støjreducering. Dog forsøgtes det med et lavpasfilter, at afskære støjen fra strømdistributions printet, som opstår pga. bl.a. PWM signaler som støjer på signalet. Dette var mislykket, da lavpasfilteret resulterede i en blødere kurve.

¹¹ <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/21314g.pdf>



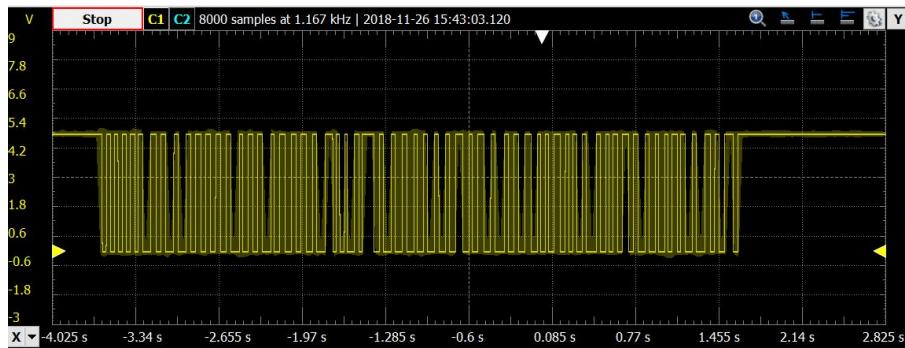
Figur 21 - Optocouplers signal inden monteret komparator ved 5V - Støjet signus signal



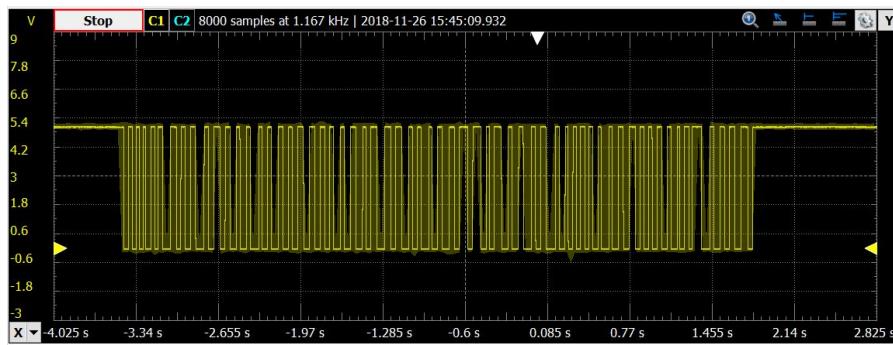
Figur 22 - Optocouplers signal efter monteret komparator ved 5V - Fikantsignal

6.2.3 Modultest

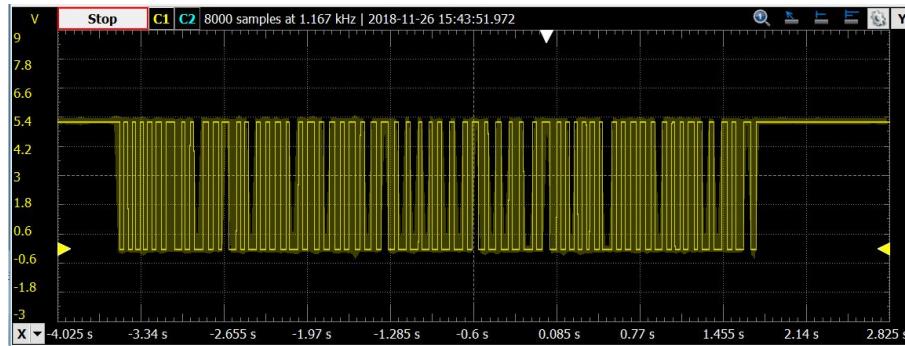
I forbindelse med modultesten måles der, at optocoupleren reagerer som ønsket ved de krævede spændinger hhv. 5V +/- 0.2V. Dette verificeres med scope-billeder, hvor det kan ses, at signalet går lavt 60 gange efter endt kørsel med 1. akse fra 0 - 180 grader vist på *figur 23*, *figur 24* og *figur 25*.



Figur 23 - 4.8V forsynet til optocoupler



Figur 24 - 5.0V forsynt til optocoupler



Figur 25 - 5.2V forsynt til optocoupler

7 Servomotor

De servomotorer der indgår i projektet er af typen MG996R og databladet for dem kan ses i bilaget MG996R_Tower-Pro.pdf. Som det ses, er databladet ikke specielt fyldestgørende, så det er nødvendigt at analysere motorerne hver især for at bestemme deres respektive funktion ift. hvilken vinkel, der svarer til et givent PWM-signal. Tilsvarende er det nødvendigt at analysere, hvor meget strøm, der trækkes på motorerne under en given belastning for derved at kunne benytte den målte strøm til at begrænse motorens fysiske styrke.

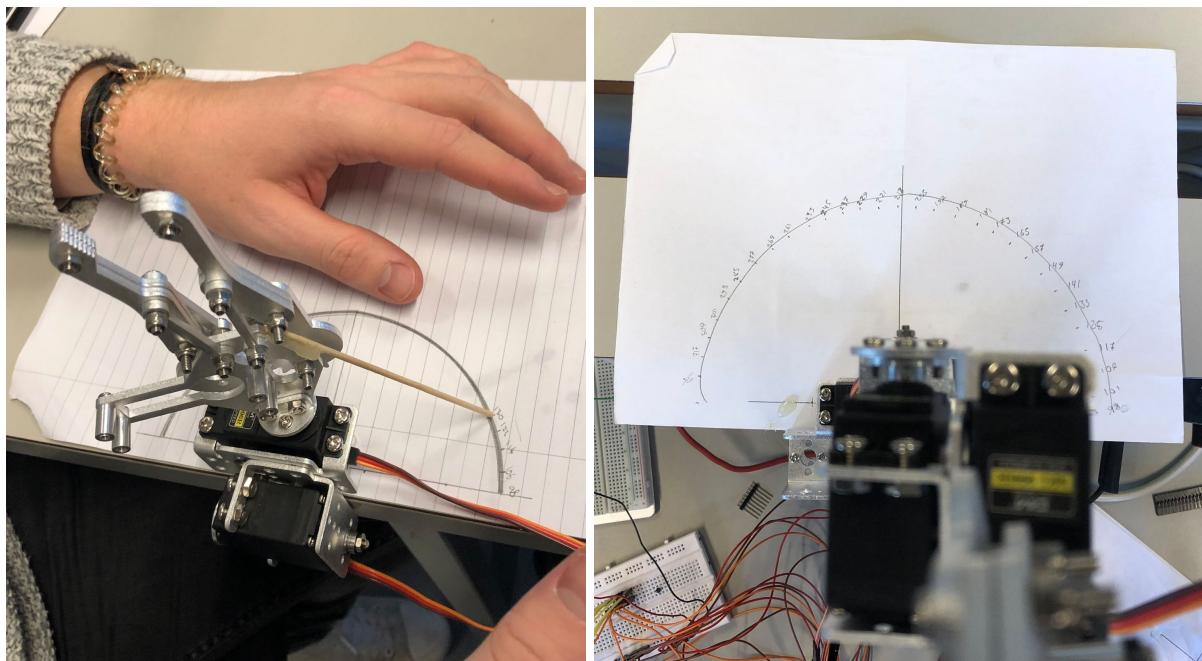
7.1 Om servomotorer

Servomotorer fungerer ved at en DC-motor kontrolleres af en intern mikrocontroller, der leverer et PWM-signal baseret på et PWM-signal på motorens kontrol indgang. Styresignalet til motoren har en frekvens på 50Hz, og det er dette signals duty cycle, der styrer hvilken vinkel, motoren indstilles til. En duty cycle på 10%  er i teorien til en vinkel på 180° og duty på 5% svarer til 0°.¹² Det fungerer ved at motorens rotationsakse er forbundet til et potentiometer, der fungerer som en spændingsdeler mellem stel og VCC, hvis værdi måles af en ADC i motorens interne mikrocontroller, der sammenligner denne værdi med en beregnet ønsket værdi baseret på styresignalet, og sender passende PWM til en transistor, der "chopper" VCC og leverer strøm til motoren så den bevæger sig mod den ønskede frekvens. 

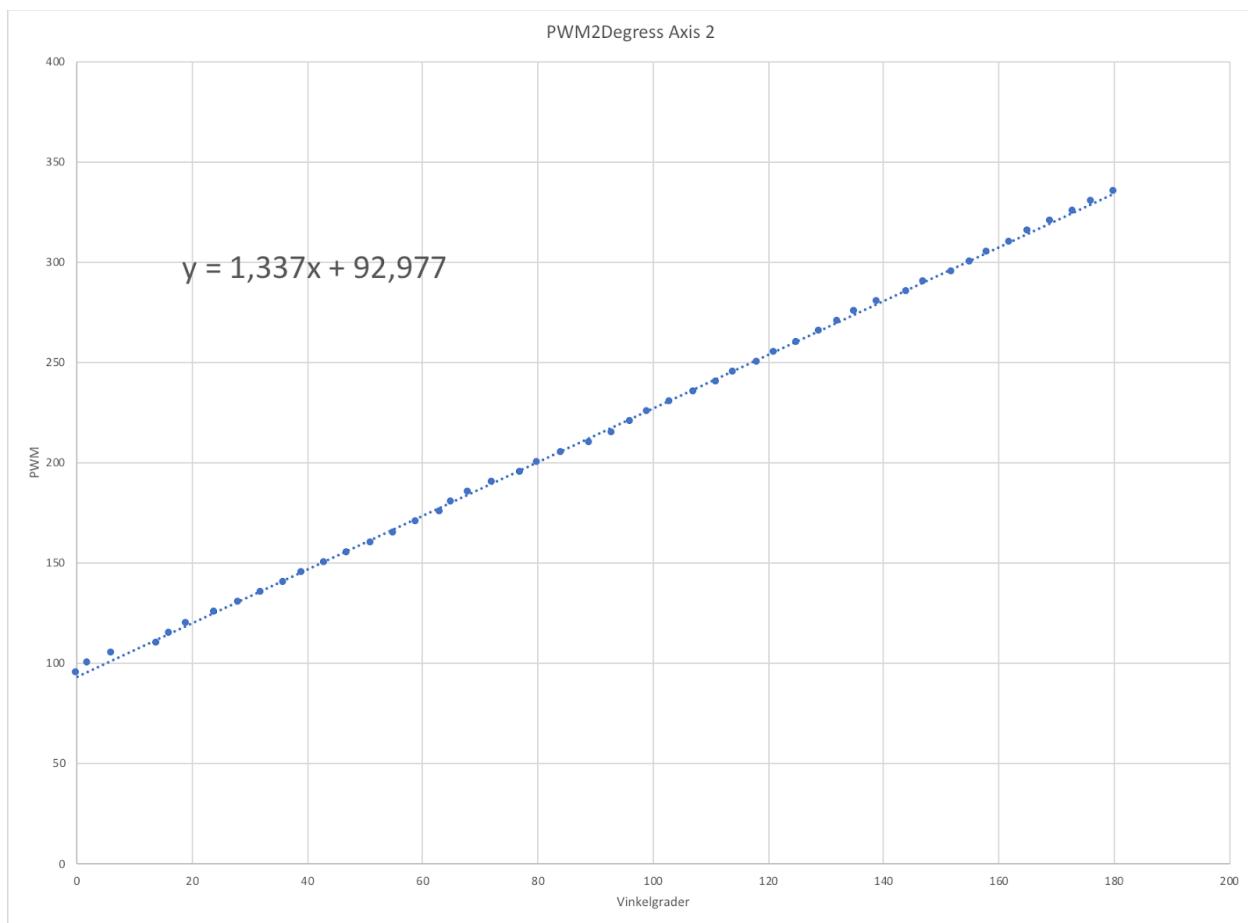
7.2 PWM vs vinkel på motor

Hver motor analyseres med en varierende duty cycle på deres signal og den resulterende vinkel noteres i et excel ark. Derved kan en formel for vinkel vs PWM duty cycle udledes for hver motor vha. lineær regression. Denne formel indsættes i PSoCApp for præcis styring af hver motor. På *figur 26* er det illustreret, hvordan dette er gjort i praksis. Den lineære regression for fx akse 2 er vist på *figur 27*. De resterende kalibreringer kan ses i PWM2Degrees.xlsx.

¹² <https://www.youtube.com/watch?v=J8atdmEqZsc>



Figur 26 - Dokumentation af øvelse foretaget ifm. Dannelse af lineære regressioner fra PWM til vinkel-grader.



Figur 27 - Lineær regression foretaget i Excel for akse 2.