

Angry Birds in Real Life or how I stopped worrying and love the 555-timer

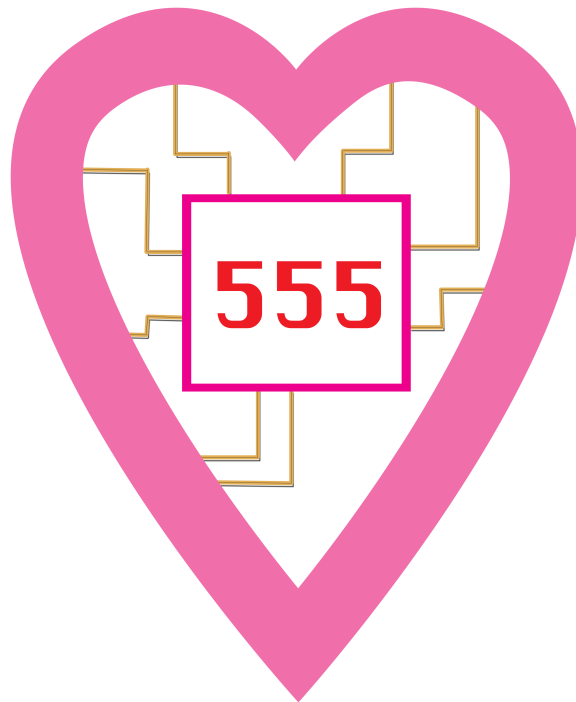
Eksamensprojekt

Fag: Teknik A Design og Produktion

Klasse: Design og produktion TK 1

Udarbejdet af: Simon Tarnow, Daniel Laporte og Christoffer Rasmussen

28. april 2017



Indhold

1	Projektbeskrivelse	4
1.1	Problemanalyse	4
1.2	Problemformulering	4
1.3	Projektafgrænsning	4
1.4	Overordnede produktkrav	6
1.5	Tidsplan for projektet	7
2	Overordnet løsningsforslag	7
2.1	Gauss-kanon	7
2.1.1	Magnetisk løb	8
2.1.2	Magnetisk aftrækker	9
2.2	Elastik-kanon	9
2.3	Valg af overordnet løsning	10
3	Samlet kredsløb	11
4	Retningsregulerende kreds	11
4.1	Komponenter	12
4.1.1	N-Channel power MOSFET - F12N10L	12
4.1.2	Stepper motor - RS191-8328	12
4.1.3	Arduino	13
4.2	Teori	13
4.2.1	MOSFET	13
4.2.2	Stepper motor	13
4.3	Test	13
5	Hastighedsregulerende kreds	15
5.1	Komponenter	15
5.2	Lego 9 V DC motor	15
5.3	Dual H-bridge motor driver - L293D	16
5.4	Teori	16
5.4.1	H bridge	16
6	Hastighedsmåler	17
6.1	Komponenter	17
6.2	Teori	17
6.2.1	Bestemmelse af modstande for peak-detektoren	18
6.3	Test	19
7	Controller	22
7.1	Komponenter	22
7.2	Teori	22

8	Ladningssensor	22
8.1	Komponenter	22
8.2	Teori	22
8.2.1	Problemer med registrering af lys og tilpasning	22
8.2.2	Analog input i arduino	22
8.3	LED modstande beregninger	23
8.4	Beregninger	23
8.4.1	OPAMP modstande	23
8.4.2	Modstanden af LED	24
8.5	Test	24
9	Arduino	25
10	Fremstilling	25
10.1	Fumlebræt-modeller	25
10.2	PCB - fremstilling	26
10.3	Endelige prototype	27
	Bibliography	27
11	Bilag	28
11.1	samlet kredsløb	28
11.2	Program til Arduino	29

1 Projektbeskrivelse

1.1 Problemanalyse

I det moderne samfund bliver TV og iPads mere og mere inddraget i børns opvækst. Ifølge en undersøgelse af Northwestern University - Center of Human Development¹, er 27% af alle amerikanske familier *media-centric*, hvilket betyder at disse familier benytter en stor del af deres tid foran en digital skærm af en eller anden form, dette indebærer også deres børn.

På trods af denne gængse tendens for IT-brug, udviser forældre en generel nervøsitet vedrørende konsekvenserne af børn (under 8 år) forbrug af digitale medier, herunder specielt computerspil. Ifølge undersøgelsen af Northwestern University, er forældre mest af alt nervøse om børns fysiske helbred og sociale evner som konsekvens af meget brug af computerspil på iPads og smart phones. Selvom videnskaben om konsekvenserne af forbrug af computerspil stadig er ret tvivlsomt og på et tidligt forskningsstadium, er det en relevant problemstilling.

1.2 Problemformulering

Det er et samfundsmæssigt problem at børn har svære ved at socialiserer sig pga. de bruger for lang tid på smartphone apps.

1.3 Projektafgrænsning

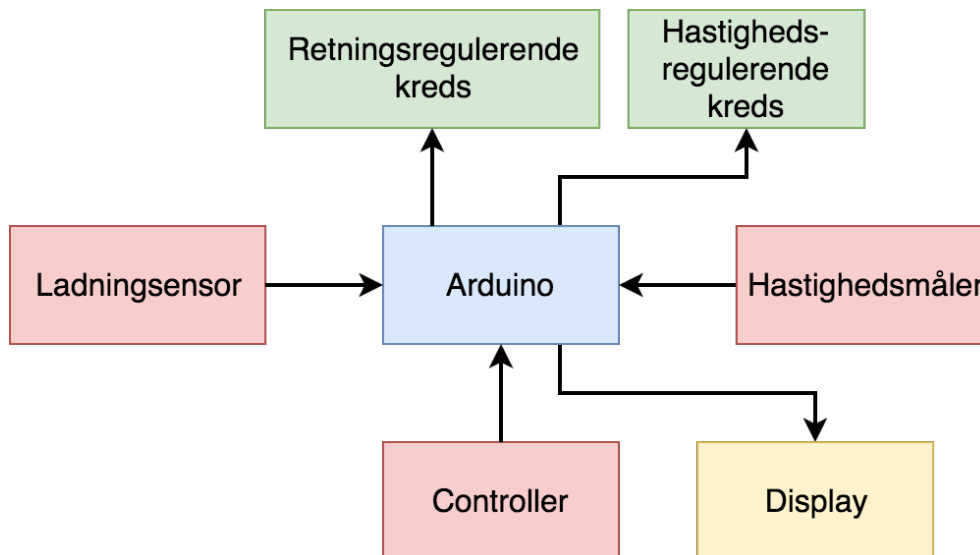
For at specificerer en løsning til denne problemstilling tages der udgangspunkt i videospillet Angry Birds af Rovio Entertainment. Ifølge Michael Chorost beskrevet i Psychology today² er der 4 overordnede grunde til at Angry Birds er let at blive afhængig af:

- Det er simpelt, ingen "learning curve".
- Det er en primitiv nydelse i at destruerer ting.
- Selve fysikken i spillet virker realistisk og forudsigeligt.
- Det er sjovt. Dyrene i spillet laver backflips og siger sjove lyde.

Vi har således tænkt os at udforme en fysisk udgave af et Angry Birds lignende spil, hvor børn kan interagerer socialt ved at spille mod hinanden i stedet for at sidde foran deres iPad. For at omgå copyright kalder vi vores produkt *Moody Feathercreatures*.

¹Northern University; Parenting in the Age of Digital Technology - A national survey; revised 2014

²Chorost, Michael How I kicked my addiction to the iPhone game Angry Birds; <https://www.psychologytoday.com/blog/world-wide-mind/201101/how-i-kicked-my-addiction-the-iphone-game-angry-birds>; 2011



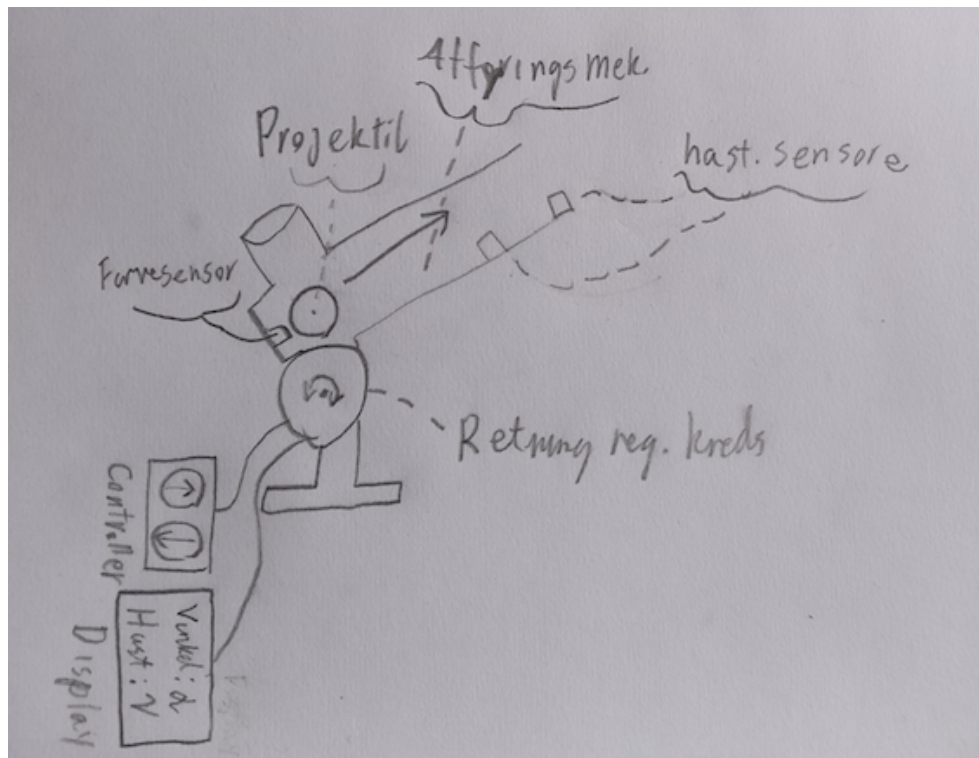
Figur 1: Blokdiagram af overordnet løsning. Input blokke(røde), Output blokke (gule), Kredse (grønne)

Vi har opstillet et overordnet blokdiagram for hvordan vi har tænkt os at efterligne spillet. Se Figur 1.

Vi har valgt at lave et produkt der kan skyde nogle paptårne fra hinanden. Den skal også kunne justere hastigheden på projektilet afhængigt af projektilets farve (ligesom farverne på fuglene i Angry Birds) og man skal kunne bruge en form for controller til at justere kanonens vinkel i forhold til vandret. Se Figur 2.

Som man kan se på Figur 1 er blokkene inddelt således:

- Input blokke
 - Ladningssensor
 - * Denne del skal kunne se på farven af et indsat projektil og derfra sende det til arduinoen.
 - Controller
 - * Til at bestemme retningen på selve ”kanonen”.
 - Hastighedsmåler
 - * For at kunne måle hastigheden ved udgangen af ”kanonen”.
- Output blokke
 - Display
 - * Til at vise point og hastighed af projektilet. Muligvis andet.
- Kredse



Figur 2: En overordnet skitse af produktet

- Hastighedsregulerende kreds
 - * Benyttes til at regulerer hastigheden af projektet afhængigt af dens farve.
- Retningsregulerende kreds
 - * Benyttes til at bestemme retningen alt efter inputtet fra controlleren.

1.4 Overordnede produktkrav

Da vores produkt er beregnet til børn og unge, skal produktet være sikkert at bruge for børn og unge. Dette betyder at vores "kanon" ikke må skyde hårdt nok, til at volde skade på børn og unge. Derudover skal projektilet "kanonen" skyder, ikke være skarpt eller meget hårdt, da der er risiko for at børnene, ved en fejltagelse, skyder på hinanden. "Kanonen" og projektilet skal være i stand til at vælte papboksene ned. Vi skal sikre os at vores "kanon" og projektil ikke er i strid med den danske våbenlov, og eventuelt udenlandske våbenlove. Vores produkt skal altså opfylde følgende overordnede produktrav:

- Sikkert at bruge for børn.
- Projektilerne skal ikke have en farlig form.
- Produktet skal skyde hårdt nok til at vælte små papbokse.
- Produktet skal ikke være i strid med våbenloven.

1.5 Tidsplan for projektet

uge nr.	10	11	12	13	14	16	17	18	19	20
Projektbeskrivelse										
Ladningsensor										
Retningsregulerende kreds										
Hastighedsregulerende kreds										
Hastighedsmåler										
Display										
Controller										
Material udformning										
Arduino program										
Printkort										
Rapport										

Figur 3: Tidsplan

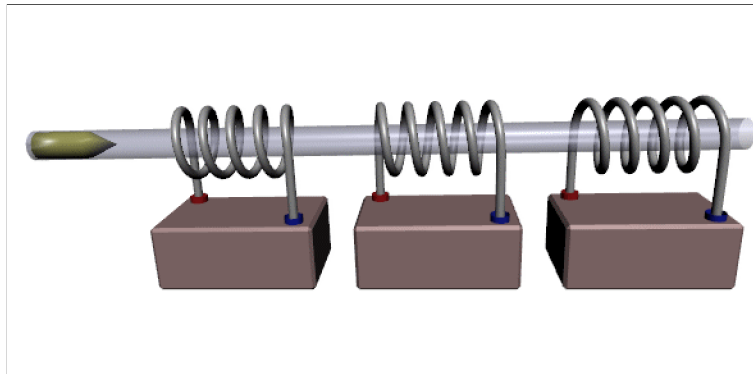
2 Overordnet løsningsforslag

Vi har gennem vores idegenerering kommet frem til to overordnet løsningsforslag. Vi kom frem til at den mest kompliceret dele af kredsen som er vigtigst at designe, og have på plads fra begyndelsen er affyringsmekanismen. Heraf har vi kommet frem til to typer afføringsmekanismer: *Gauss-kanon* og *Elastik-kanon*. Som overordnet løsning til hastighedssensoren har vi tænkt os at se på om vi kan udforme et pass band filter og IR lyd til at sanse hvornår bolden kommer forbi.

2.1 Gauss-kanon

Her har vi tænkt os at benytte princippet om magnetfelter i spoler til at drive et projektil fremad. Heraf kan vi ved at variere i den tilførte strømstyrke og spænding for at ændre magnetfeltet. Ud fra vores brainstorm har vi to måder at udforme sådan en affyringsmekanisme: Magnetisk løb og Magnetisk aftrækker

2.1.1 Magnetisk løb



Figur 4: Et billede af en gausskanon, hvor projektilet bliver accelereret af tre spoler. Kilde: [8]

For en enkelt spole, kan et projektils udgangshastighed modelleres udtrykket udformet af PhD i anvendt matematik Don Pettibone (se [3]).

$$v_{slut} = \frac{\mu_0 \cdot N_0 \cdot I_0}{2 \cdot r_0} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \mu_r - 1}{\rho \cdot \mu_0}}$$

- v_{slut} : Sluthastigheden ved enden af spolen for projektilet [$\frac{m}{s}$]
- μ_0 : Vakuumpermeabiliteten ($\mu_0 = 1.257 \cdot 10^{-6} \frac{T \cdot m}{A}$).
- I_0 : Strømstyrke [A].
- μ_r : Relativ permeabilitet af projektilens materiale.
- r_0 : Radius af spolen [m].
- N_0 : Antallet af vendinger for spolen.

Dog er modellen meget optimistisk og i et reelt eksempel (se [6]) udført af elektroingeniøren Mehdi Sadaghdar så vurderer vi at vi kan let komme til at arbejde med effekter på omtrent:

$$P \approx 2000 \text{ W}$$

Måder vi kan holde os fra så store effekter er at benytte jernkerne, for at øge den relative permeabilitet og magneter. Dette er svært at implementere i en Magnetisk løb løsning, idet spoler med jernkerne sjældent har et hul et projektil kan passere. Det er dog lettere at få implementeret i Magnetisk aftrækker løsningen.

En anden måde at få implementeret Magnetisk løb løsningen ved brug af lavere effekter er at benytte et par (knap så lange) solenoider, for at danne en længere spole, således

benytte en kombination af sensorer og transistorer til at slukke for den tidligere spole og tænde den næste for at sikre sig at den bliver ved med at accelerere undervejs.

2.1.2 Magnetisk aftrækker

Den Magnetiske aftrækker fungerer ved at placerer en magnet tæt ved en slukket spole. Hvis magneten berører spolens ende der har en tilsvarende ladning vil de afstøde hinanden og således affyre projektet. Se Figur 5.



Figur 5: Et billede af en spole på venstre side, der benyttes til at affyre et magnetisk projektil på højre side.

Denne løsning er dog svære at matematisk modellere, men med sikkerhed må det gælde at (se [5] - side 129), hvis der benyttes jernkerne

$$B = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot \frac{N_0 \cdot I_0}{l}$$

Hvor B er magnetfeltstyrken [T] og l er længden af spolen [m]. Her fremgår det at hvis μ_r bliver meget høj (hvilket den kan blive med jernkerne), vil magnetfeltet stige proportionalt. Med passende legeringer kan man få en relativ permeabilitet på op til 15 000.

Ulempen ved denne løsning er dog at der nok skal være ret så høj en effekt der skal sendes gennem spolen indenfor et kort tidsrum for at få det til at virke.

2.2 Elastik-kanon

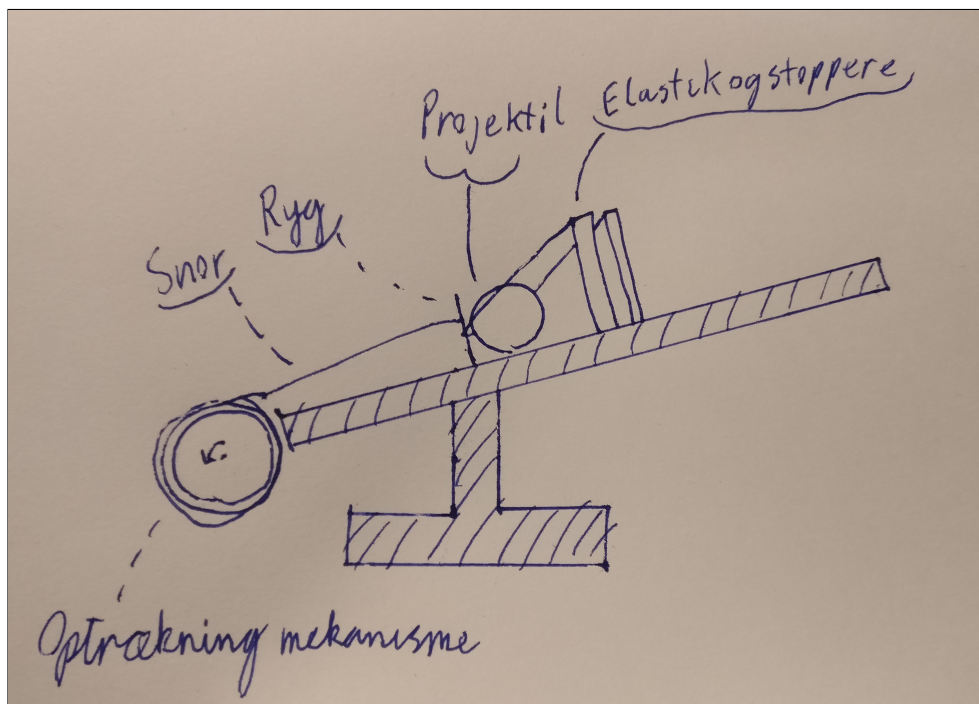
Denne løsning bliver vores produkt udformet som en slangebøsse med variabel styrke. Således bliver den variabel: hvor langt væk elastikken trækkes væk fra hviletilstand. En model for dette princip kan simpel konstrueres ud fra energiomdannelsen fra potentiel energi i Hooks lov til kinetisk energi.

$$\begin{aligned} -k \cdot x &= \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \\ \iff v &= \sqrt{\frac{-2 \cdot k \cdot x}{m}} \end{aligned}$$

- k : Fjederkonstanten for benyttet elastik [$\frac{\text{N}}{\text{m}}$]
- m : Massen af projektilet [kg]

- v : Udgangshastigheden af projektilet [$\frac{m}{s}$]
- x : Afstand fra hviletilstand [m]

Vores implementering af en elastik-baseret løsning er at vi benytter os af en snor der er forbundet til elastikken og et hjul, hvor hjulet drejes af en motor (se Figur 6). For at sikre os at projektilet bliver affyret benytter vi gear, så når optrækning-mekanisme trækker snoren er hjulet i gear, hvorimod når vi skal affyre projektilet sættes den i frigear. Dette kan gøres ved at lade en motor være den der trækker snoren op, og en anden motor være den der ændrer gear.



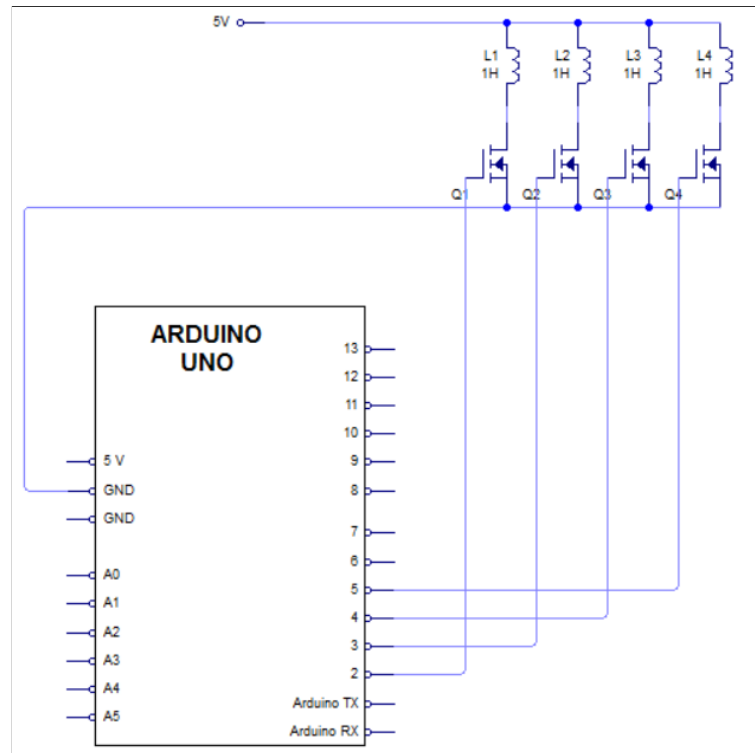
Figur 6: Affyringsmekanisme for en Elastik-kanon, der er ikke fokus på andre blokke beskrevet i projektbeskrivelse.

2.3 Valg af overordnet løsning

Vi har valgt at udarbejde en Elastik-kanon, idet vi synes hvor får en del EL-problemer at se til i forhold til hastighedssensoren. Samt hvis vi skulle udarbejde en Gauss-kanon, ville vi bruge lang tid på at teste for vakuumpermeabilitet og benytte høje strømstyrker, hvilket i sig selv kunne give en del problemer, da vi ikke ved meget om at arbejde med høje strømstyrker. Samt ville man kunne argumentere for at så høje strømstyrker som benyttes i forbindelse med en Gauss-kanon kan muligvis være for farligt til et børnelejetøj.

3 Samlet kredsløb

4 Retningsregulerende kreds

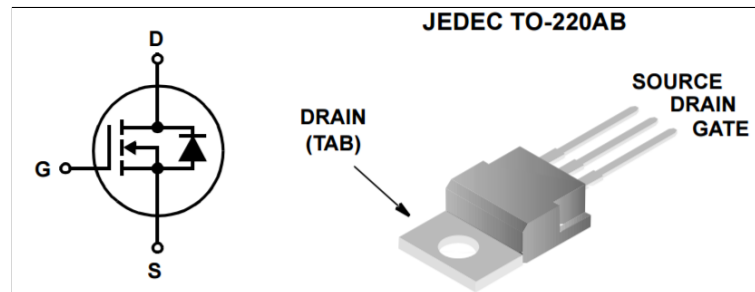


Figur 7: Et billede af kredsløbet for den retningsregulerende kreds.

I vores retningsregulerende kreds, har vi valgt at benytte en stepper motor, til at styre hvilken vinkel bolden skydes ud i. Her der bliver der brugt en ekstern strømforsyning på 5 V, så der kan løbe nok strøm igennem spolerne i stepper motoren. For at bruge den eksterne strømforsyning bruger vi MOSFETs som digitale switches.

4.1 Komponenter

4.1.1 N-Channel power MOSFET - F12N10L

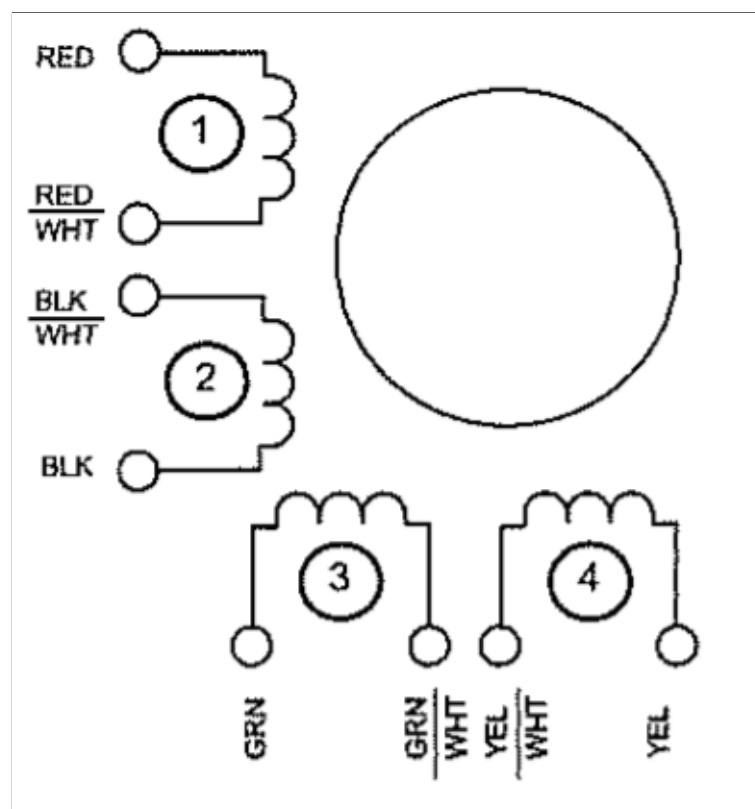


Figur 8: Pindiagram og symbol af F12N10L. Kilde:[4]

På Figur 8 er der et symbol og pindiagram over MOSFET komponenten. Denne MOSFET er bygget til 5 V logik, samt har det en lav rise og fall time på et par hundrede nanosekunder og således vil det fungerer fint for en steppermotor. Databladet vi har benyttet kan findes i kilde [4].

Vi har brug for mere tekst om dette ***

4.1.2 Stepper motor - RS191-8328



Figur 9: Diagram af RS191-8328. Kilde: [steppmotor]

4.1.3 Arduino

Se afsnit 9.

4.2 Teori

4.2.1 MOSFET

Vi benyttede MOSFET for at få en højere strøm igennem spolerne end Arduinoen kan levere. Med en MOSFET kan man kontrollere hvor meget strøm der løber gennem Gate til Source, med spændingsfaldet over Drain og Source. Dette gør en MOSFET optimal som en digital switch.

4.2.2 Stepper motor

Vi benyttede en stepper motor til at styre hvor meget vi drejer kanonen. En stepper motor fungerer ved at vi har et vis antal "steps" på en omdrejning. Man kan sende strøm gennem en af spolerne, som så vil trække stepper motoren et "step" frem eller tilbage. Man sender så skiftevis strøm igennem spolerne, for at få stepper motoren til at forsætte i en retning. Vores stepper motor har 200 "steps" på en omdrejning.

4.3 Test

Vi benyttede et Stepper library fra firmaet Arduinos hjemmeside[1]. Koden kan ses på Figur 4.3.

Har brug for noget tekst under billedet

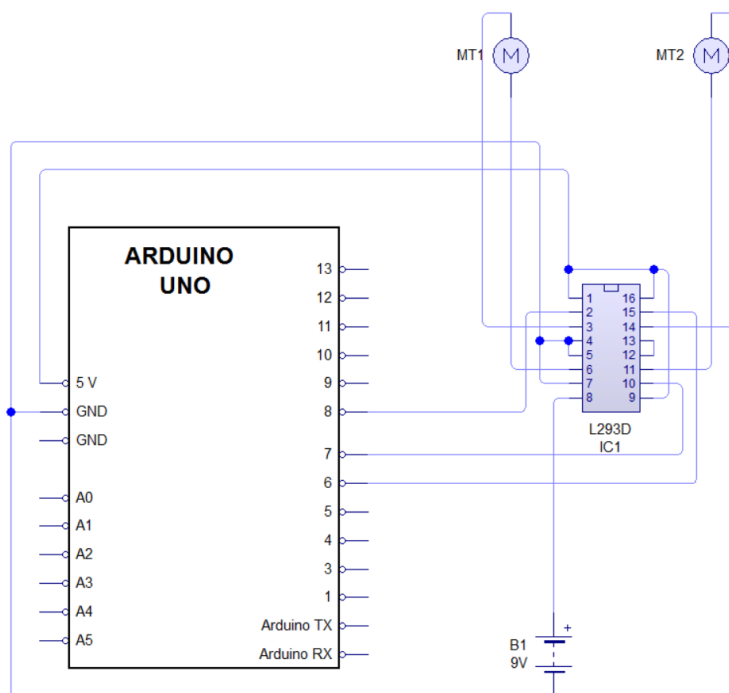
Husk at angive Unipolar eller Bipolar

Figur 10: Kode til steppermotorer for at angive antal steps der skal roteres

```
1 #include <Stepper.h>
2 // Antallet af steps på vores motor
3 const int stepsPerRevolution = 200;
4
5 // Initialiserer stepper biblioteket i pin 2 til 5:
6 Stepper myStepper(stepsPerRevolution, 2, 3, 4, 5);
7
8 // Antallet af steps motoren har taget
9 int stepCount = 0;
10
11 void setup() {
12 //Initialiserer serial porten
13   Serial.begin(9600);
14 }
15
16 void loop() {
17   // Step et step:
18   myStepper.step(1);
19   Serial.print("steps:");
20   Serial.println(stepCount);
21   stepCount++;
22   delay(500);
23 }
```

Det fungerede fint efter hensigten og vi kunne let styre antallet af steps

5 Hastighedsregulerende kreds



Figur 11: Et billede af kredsløbet for den hastighedsregulerende kreds.

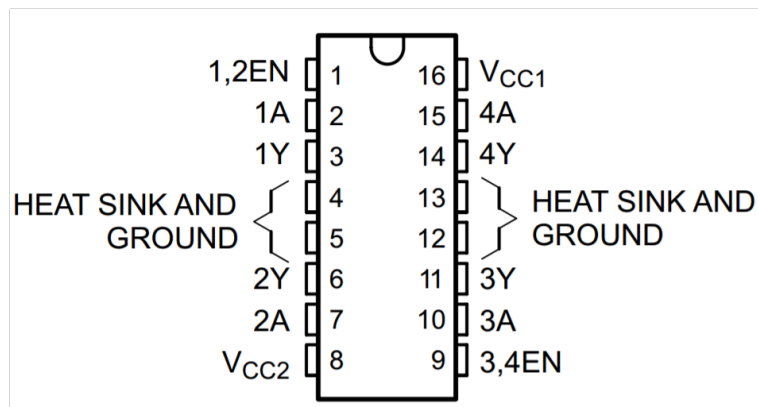
Som der kan ses på Figur 5, er der motorene MT1 og MT2. Heraf gælder det at MT2 fungerer som et gear og MT1 fungerer som selve elastik-optrækkeren. Når motoren trækkes op løber der først strøm fra Arduinoens pin 6 hvorfra gennem L293D pin 14 kan strøm løbe gennem MT2 og låse gearet fast. Derefter sendes der strøm gennem Arduinoens pin 8 som trækker MT1 op. Til sidst slukkes for signalet til MT1 og derefter ændres polariteten i MT2, så affyringsmekanismen er i “frigear”. Det skal således bemærkes at MT2 modtager 2 signaler fra arduinoen for at kunne vende polariteten.

5.1 Komponenter

5.2 Lego 9V DC motor

Vi kunne ikke finde et specifikt datablad, men vi ved at normal lego-mindstorm DC motor kører på 9V, hvilket er fint til vores formål.

5.3 Dual H-bridge motor driver - L293D



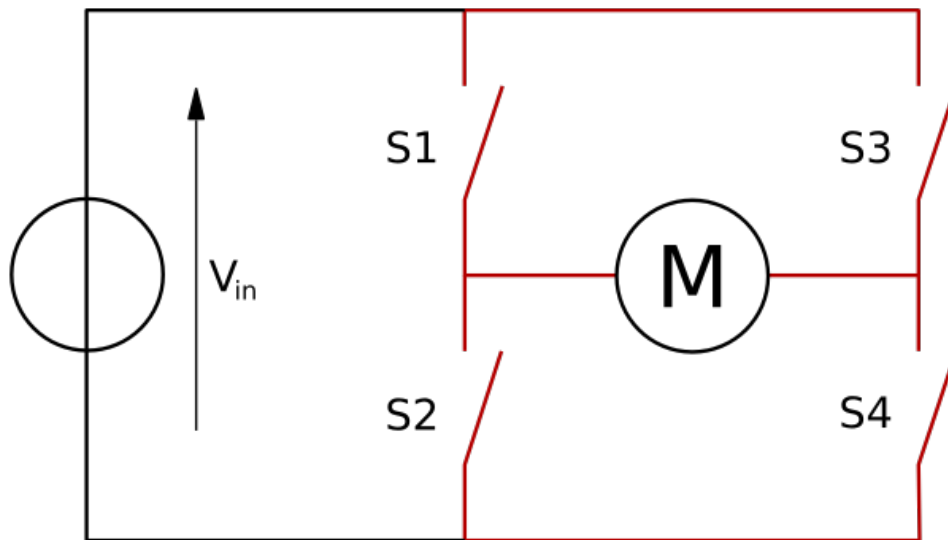
Figur 12: Pindiagram af L293D

Pindiagram kan ses på Figur 5.3. Pin 1 og 9 er aktiverings pins for H broerne. Pin 1 aktiverer H broen på venstre side og pin 9 aktiverer H broen på højre side. Pin 2 og 7 bruges til at styre motoren koblet til 3 og 6. Pin 10 og 15 styre motoren på 11 og 14. Pin 4,5,13 og 12 er forbundet, og skal forbindes til jord. Kilde for komponentet: [9].

5.4 Teori

5.4.1 H bridge

En H-bridge er et komponent der benyttes til at vende polariteten i vores DC-motor som fungerer som gear. Dette gøres overordnet ved at H-formede kredse med switches der kan enten være on eller off.



Figur 13: Et billede af en H-bridge, selve H-bridge strukturen er markeret med rød. Kilde: [7]

Det fremgår på Figur 13 at switchene 1 til 4 er åbne. Disse switches kan så hvis de modtager et signal kan man forbindes således at strømmens retning løber i en bestemt retning. F.eks. Hvis S1 og S4 er lukkede switches, vil motoren løbe i en retning, end hvis S3 og S2 er lukkede switches. Kilde: [7].

6 Hastighedsmåler

6.1 Komponenter

6.2 Teori

For 555 gælder det at vi ønsker en frekvens på

$$f_{target} = 1000 \text{ Hz}$$

Dette ønskes fordi at vores diode kan maksimalt klare***. Der kan opstilles 4 ligninger for 555 timeren således

For mark-time gælder det at

$$T_m = 0.7 \cdot C_1 \cdot (R_1 + R_2) \quad (1)$$

For space-time gælder det at

$$T_s = 0.7 \cdot C_1 \cdot (R_2) \quad (2)$$

For perioden gælder det at

$$T = \frac{1}{f} = T_s + T_m \quad (3)$$

Og da dutycyclen skal være så tæt på 100 som muligt sættes følgende forhold til at gælde

$$T_m = 100 \cdot T_s \quad (4)$$

Ved at løse ligningssystemet for ligningerne 2, 4, 1, 3, og isolerer for R_1 og R_2 og opskriver den som funktion af kapacitoren og frekvensen fås udtrykkende:

$$R_1(C_1, f) = 1.400282885 \frac{1}{f \cdot C_1}$$
$$R_2(C_1, f) = 0.01414427157 \frac{1}{f \cdot C_1}$$

Så antages at kondensatoren er

$$C_1 = 1.0 \cdot 10^{-6} \text{ F}$$

Da det antages ikke at behøve nogen anden værdi***.

Frekvensen er nævnt og således bliver modstandende

$$R_1(1.0 \cdot 10^{-6} \text{ F}, 1000 \text{ Hz}) = 1400 \Omega$$

$$R_2(1.0 \cdot 10^{-6} \text{ F}, 1000 \text{ Hz}) = 14.14 \Omega$$

6.2.1 Bestemmelse af modstande for peak-detektoren

Vi har besluttet at benytte en peak-detektor til at opfange IR signalet til modtageren. Heraf benyttes der en simpel peak-detektor opbygning*** // Rigtigt navn? ***

Ud fra diodens karakteristika fås en forward-biased resistans på

$$r_{df} = 607 \Omega$$

og en reversed bias resistens på

$$r_{dr} = 2 \cdot 10^7 \Omega$$

Således gælder det at vi skal vælge en modstand R hvor det gælder at

$$r_{df} < R < r_{dr}$$

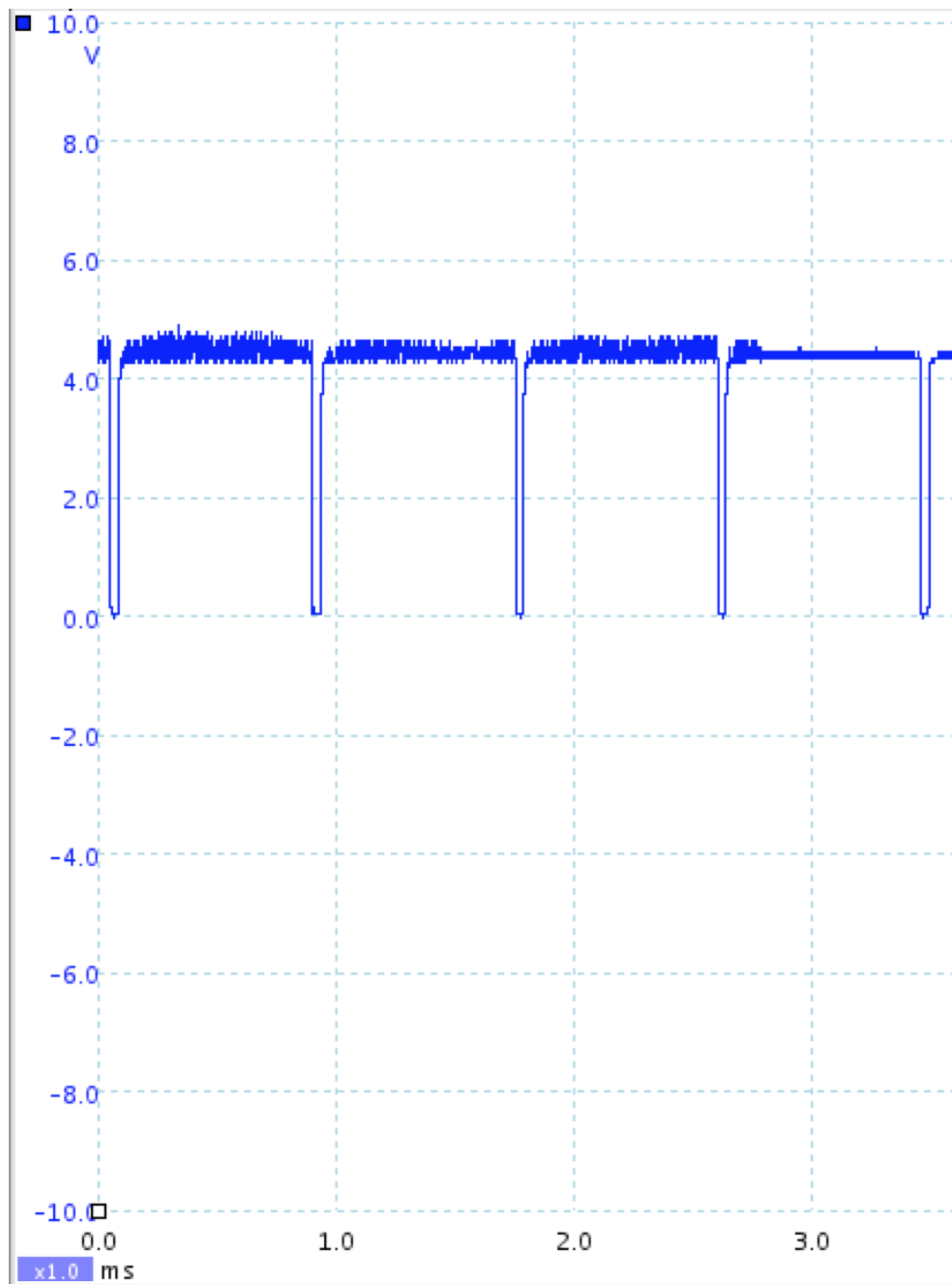
Vores tidsvariable*** τ_2 kan defineres som

$$\tau_2 = R \cdot C$$

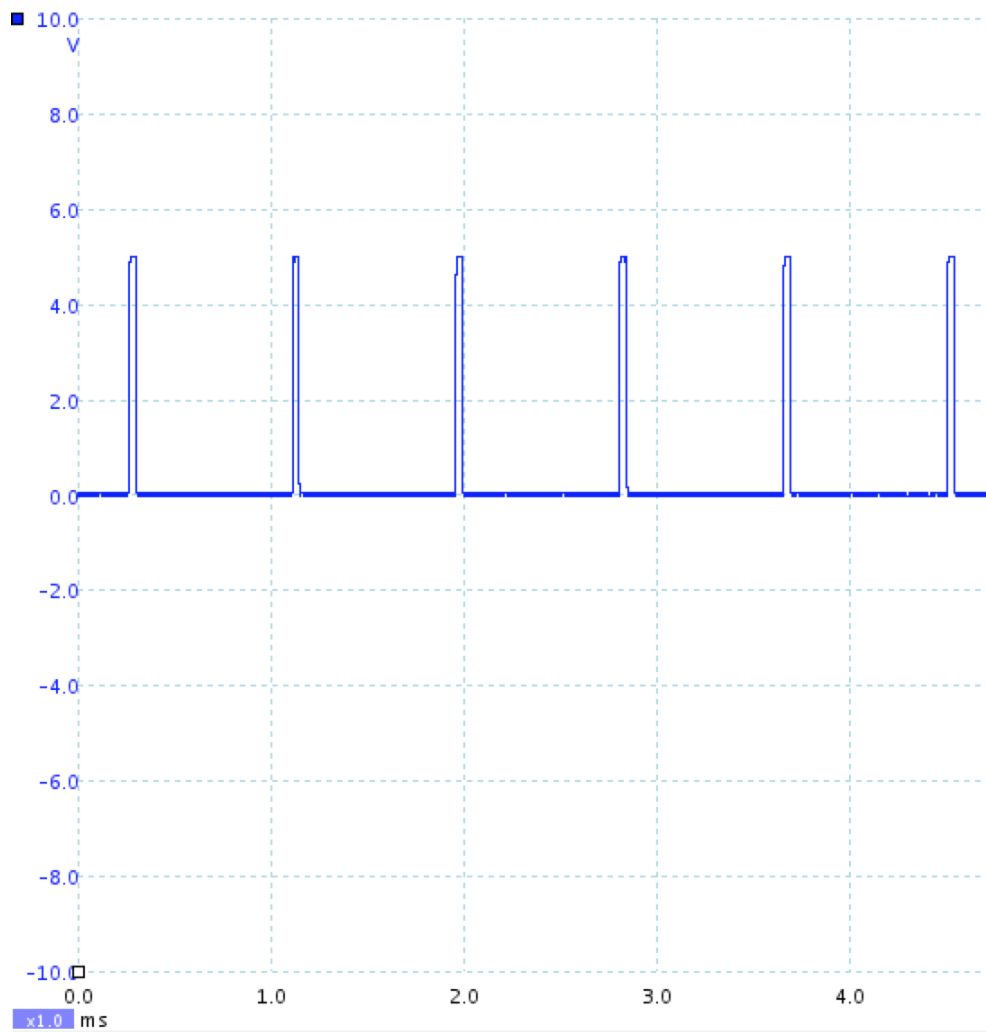
hvor C er kapacitoren vi benytter i peakdetektoren.

6.3 Test

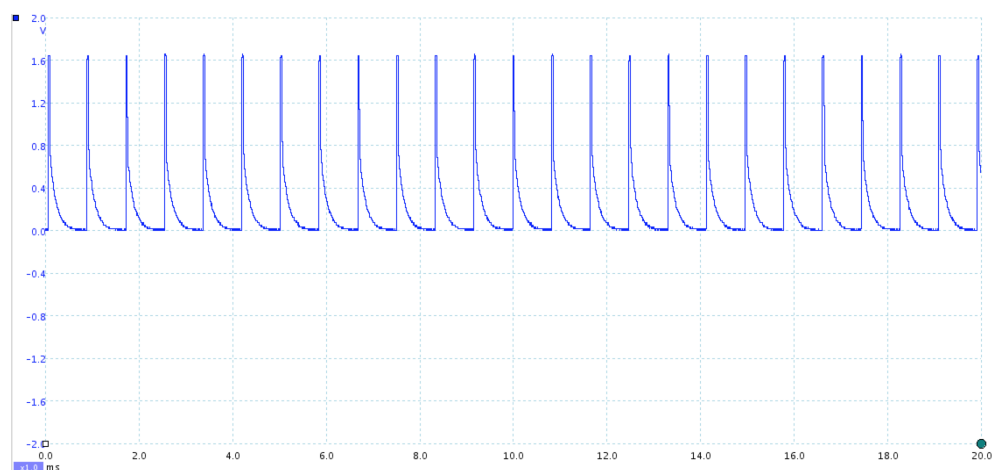
Vi testede 555-timeren med et oscilloscop kaldet picoscop(tm).



Figur 14: Spænding som funktion af tiden

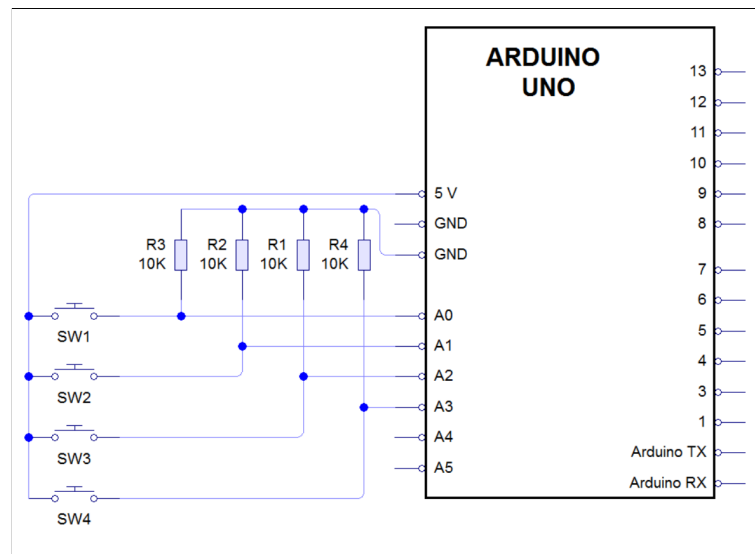


Figur 15: Det inverterede signal som funktion af tiden



Figur 16: Spænding over dioden som funktion af tiden

7 Controller



Figur 17: Et billede af kredsløbet for controller kredsen.

7.1 Komponenter

I kontrolleren bliver der kun brugt simple fysiske switches og modstande.

7.2 Teori

For at undgå en kortslutning bliver der sat en modstand imellem den ene switch side og ground. På den anden side af switchen er der 5 V.

8 Ladningssensor

8.1 Komponenter

8.2 Teori

8.2.1 Problemer med registrering af lys og tilpasning

8.2.2 Analog input i arduino

*** [Indsæt yderligere teori] Da analog input godt kan benyttes som digital input, men det kræver en meget klart signal, derfor skal det forstærkes gennem en OPAMP som er gennemgået i Afsnit 8.4.1

8.3 LED modstande beregninger

8.4 Beregninger

8.4.1 OPAMP modstande

Gennem vores OPAMP fik vi et signal ind på

$$V_{in} = 0.08 \text{ V}$$

og vi ønsker at signalet skulle være så pænt som muligt med en værdi på

$$V_{out} \approx 5 \text{ V}$$

Heraf er den ønskede forstærkning

$$A_{target} = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{5 \text{ V}}{0.08 \text{ V}} = 62.5$$

Denne forstærkning er ret høj og vi benytter derfor en non-inverting amplifier.

Vi bestemmer en rimelig værdi til den ene modstand er

$$R_{in} = 1000 \Omega \quad (5)$$

Og udtrykket for forstærkningen er

$$A_{target} = 1 + \frac{R_f}{R_{in}} \quad (6)$$

Ved at isolerer R_f i ligningerne 5 og 6 fås

$$R_f = 61.5 \cdot 10^3 \Omega$$

Da vi ikke har denne modstand direkte, vælger vi at benytte en $56 \cdot 10^3 \Omega$ modstand i stedet. Hvilket giver os en reel forstærkning på

$$A_{reel} = 1 + \frac{56 \cdot 10^3 \Omega}{1000 \Omega} = 57$$

Hvilket svarer til et outputsignal på

$$V_{out} = 0.08 \cdot 57 = 4.56 \text{ V}$$

Hvilket er tilnærmelsesvis hvad vi gerne vil have.

8.4.2 Modstanden af LED

Ifølge [LED??] gælder det for LED'en at dens typiske spænding

$$V_{typisk} = 3.2 \text{ V}$$

Og kan klare en strømstyrke på

$$I = 20 \cdot 10^{-3} \text{ A}$$

$$R_{LED} = \frac{5 \text{ V} - 3.2 \text{ V}}{2.0 \cdot 10^{-2} \text{ A}} = 90 \Omega$$

Men da vi satte tre modstande ændrede vi det til ***. Simon → Farvesensor Skriv om bestemmelse af modstande til LED Start -i G=100 B=100 R=180

Ændring -i R=120 G=470 B=470

Skriv om arduino precision (10 bit)-i grunden til brug af opamps

Skriv om opAMP

Nævn af billederne i bilag (grøn blå) blev taget før at afstanden blev ændret fra 6 cm til 3cm. (afstand 2 cm, mørklagt kasse)

8.5 Test

Tabel 1: Signaler uden forstærkning

	Alle[V]	Intet [V]	Rød[V]	Grøn[V]	Blå[V]
Sort	0.03	0.01	0.01	0.02	0.02
Hvid	0.12	0.01	0.02	0.06	0.06
Rød	0.03	0.01	0.02	0.01	0.02
Blå	0.05	0.01	0.01	0.02	0.03
Gul	0.06	0.01	0.02	0.04	0.02
Grøn	0.04	0.01	0.01	0.03	0.02

Test efter forstærkning

Tabel 2: Signaler med forstærkning

	Alle[V]	Intet [V]	Rød[V]	Grøn[V]	Blå[V]
Sort	0.47	0.05	0.08	0.23	0.25
Hvid	4.8	0.04	0.77	4.04	4.38
Rød	1.03	0.06	0.53	0.29	0.28
Blå	2.72	0.06	0.06	0.77	1.95
Gul	3.8	0.06	0.75	2.42	0.75
Grøn	0.9	0.05	0.06	0.49	0.4

9 Arduino

10 Fremstilling

10.1 Fumlebræt-modeller



Figur 18:

10.2 PCB - fremstilling



Figur 19: Et billede af et PCB vi designede i Livewire



Figur 20: Et billede af et PCB fremstillet fysisk

10.3 Endelige prototype



Figur 21: Billede af endelig produkt

Referencer

- [1] Tom Igoe - Arduino. *One step at a time*. URL: <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/StepperOneStepAtATime> (sidst set 28. april 2017).
- [2] RS-components. *Hybrid stepper motors*. URL: <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/12bb/0900766b812bb588.pdf> (sidst set 28. april 2017).
- [3] Don Pettibone. *Re: How do I calculate the velocity of a projectile exiting an solenoid?* URL: <http://www.madsci.org/posts/archives/1998-08/897010420.Ph.r.html> (sidst set 27. marts 2017).
- [4] Fairchild Semiconductor Corporation. *12A, 100V, 0.200 Ohm, Logic Level, N-Channel Power MOSFET*. URL: https://people.ece.cornell.edu/land/courses/ece4760/FinalProjects/s2012/tcj26_ecs227/tcj26_ecs227/F12N10L.pdf (sidst set 2. april 2017).
- [5] Per Holck, Jens Kraaer og Birgitte Merci Lund. *ORBIT A htx*. Skt. Pauls Gade 25, Århus, Danmark: Systime, 1930. Sider benyttet: 129.
- [6] Mehdi Sadaghdar. *Gausskanon*. URL: https://youtu.be/mdZo_keUoEs (sidst set 27. marts 2017). Effekt estimering baseret ud fra de givet værdier ud fra el-diagrammet på 2:31.

- [7] Texas Instruments. *H bridge*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/H_bridge (sidst set 24. april 2017).
- [8] Wikipedia. *Gausskanon*. URL: <https://da.wikipedia.org/wiki/Gausskanon> (sidst set 27. marts 2017).
- [9] Wikipedia. *L293D - Texas Instruments*. URL: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/1293.pdf> (sidst set 24. april 2017).

11 Bilag

11.1 samlet kredsløb

Figur 22: Et billede af det samlede kredsløb

11.2 Program til Arduino
