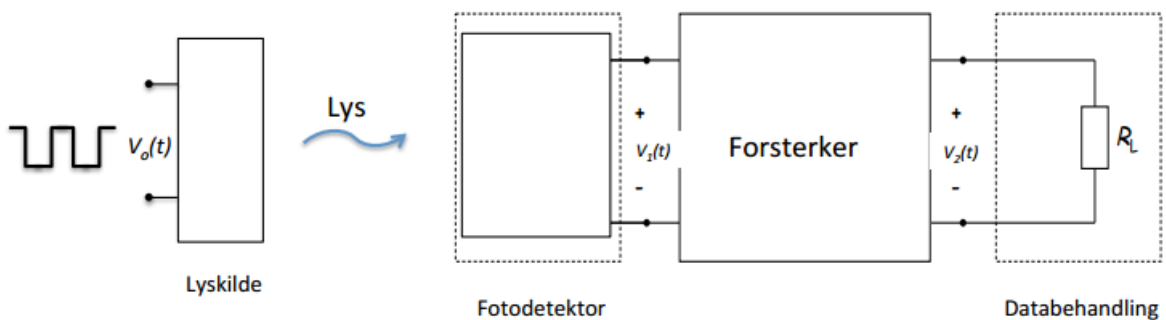


  ELEKTRONISK SYSTEMDESIGN & INNOVASJON 	<h1>Designnotat</h1>	
	Tittel: Design og utforming av et optisk kommunikasjonssystem	
	Forfatter: Fredrik Ellertsen	
	Versjon: 3	Dato: 25.11.2015
	Kontrollert av:	Dato:
	Innhold	
1. Innledning	1	
2. Mulig løsning	2	
3. Realisering og test	4	
4. Konklusjon	7	
5. Takk	8	
Referanser	8	
6. Vedlegg A	8	

1. Innledning

Optisk kommunikasjon blir i økende grad brukt i elektroniske system. Å detektere lyspulser som kan ha svært liten amplitude og å undertrykke bakgrunnsstøy/-lys er en utfordring. For å muliggjøre slik kommunikasjon trengs det et system som vist i Figur 1.



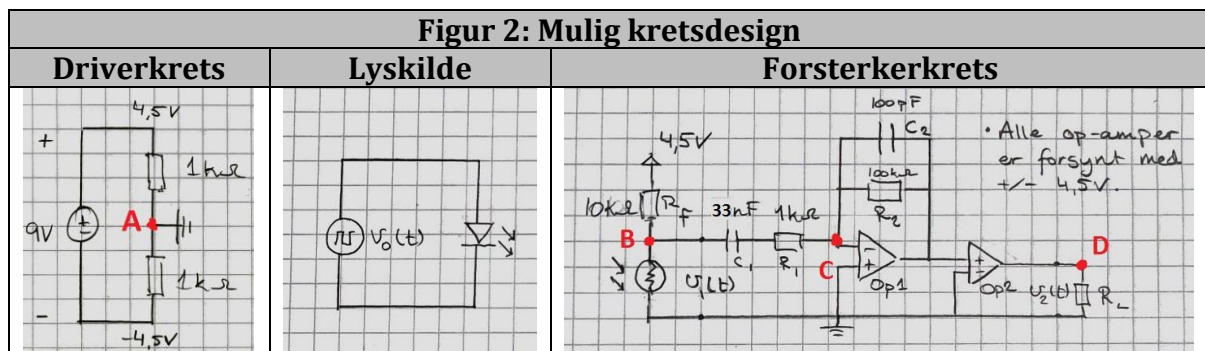
Figur 1: Optisk kommunikasjonssystem [1]

Dette notatet vil ta for seg design, utforming og testing av én type krets som løser disse utfordringene. Kravspesifikasjonene lyder som følger: Systemet skal overføre lyspulser i form av et firkantsignal, $v_0(t)$ med frekvens $f = 11,2$ kHz vha. en lysdiode, en fotodetektor og en egnet forsterkerkrets. Signalet fra fotodetektoren, $v_1(t)$, forsterkes til

$v_2(t)$, og spenningsforsterkningen ved frekvens f vil dokumenteres. Videre vil størst mulig avstand mellom lysdiode og fotodetektor finnes, og det vil undersøkes hvordan systemet påvirkes av forskjellige lysforhold. Hvor godt kretsen fungerer vil bedømmes ut fra hvor mye $v_2(t)$ ligner påtrykket $v_0(t)$. Det stilles ikke andre krav til kretsen, men den vil bli utviklet med total kostnad i mente.

2. Mulig løsning

Det finnes flere ulike typer kretser som vil kunne møte kravene stilt innledningsvis. Kretsen som ble valgt baserer seg på op-amper, og er illustrert Figur 2. Sentrale noder er markert som referanse mellom kretsskjema og realisert krets.



Komponentverdiene i Figur 2 regnes ut i et senere avsnitt.

Fordelen med op-amp-baserte forsterkerkretser i forhold til for eksempel transistorbaserte forsterkerkretser er at op-ampen hurtig kan gå i metning, i tillegg til at det er svært enkelt å styre forsterkningsfaktoren. Siden kretsen skal behandle et firkantsignal er dette gunstige egenskaper.

Teorien bak kretsen

Kretsdesignet i Figur 2 er ment å fungere slik: Kretsen forsyntes med standardspenningen 9 V (fra batteri eller andre kilder), og driverkretsen deler spenningen i to. Jord defineres midt mellom spenningsdeleren slik at alle AC-signaler kan ligge rundt 0 V og forsterkes både i positiv og negativ retning. Da slipper man å kalibrere bias-ledd, noe som krever flere komponenter. Lysoverføringen gjøres med en laserdiode [2].

En fotoresistor brukes for å detektere lyspulsene. Fotoresistoren står i serie med R_f , og når motstanden i fotoresistoren varierer som følge av variasjoner i lysintensitet vil også spenningen $v_1(t)$ over den variere. Et aktivt båndpassfilter Op1 brukes for å forsterke signalet samt fjerne høy- og lavfrekvent støy [3]. I tillegg fungerer C_1 som avkobling, og fjerner DC-komponenten til $v_1(t)$. Det forsterkede signalet går deretter gjennom en op-amp i komparator-konfigurasjon med jord som referanse. Denne går rett i metning mot $\pm 4,5$ V når signalet krysser 0 V. Følgelig er utgangssignalet $v_2(t)$ et firkantsignal. Kravspesifikasjonen nevner ingenting om amplitude eller DC-komponent i

utgangssignalet, men slike krav kan eventuelt tilfredsstilles ved å inkludere et bias-ledd mellom Op2 og R_L .

Utrekning av komponentverdier

Spenningsdeleren i driverkretsen består av to motstander. Disse må være store nok til at den konstante strømmen gjennom dem ikke er ugunstig for den øvrige kretsen, og små nok til at variasjon i strømmene som går til/fra jord ikke flytter DC-biasen for mye. Etter eksperimentering ble det funnet at $1\text{ k}\Omega$ er passelig. Kretsen forøvrig er robust og kan tåle DC-bias-endring. Passende verdi: $R_f = 10\text{ k}\Omega$ ble også funnet eksperimentelt da fotoresistorens motstand og oppførsel er nokså uforutsigbar.

For en inverterende op-amp-forsterker gjelder følgende sammenheng for spenningsforsterkningen A_v :

$$A_v = -\frac{R_2}{R_1}$$

Komparatoren trenger en del spenning å jobbe med slik at den går i metning kun på signalets stigende og fallende flanke, så $A_v = 100$ ble bestemt. $R_1 = 1\text{ k}\Omega$ ble valgt, som gir

$$R_2 = |-100 \cdot R_1| = 100\text{ k}\Omega$$

De to RC-leddene tilknyttet Op1 fungerer som filtre. Inngangsfileret ($R_1 + C_1$) vil fungere som et høypassfilter, og det tilbakekoblede filteret ($R_2 \parallel C_2$) fungerer som et lavpassfilter. Når R_1 og R_2 nå er kjent, kan knekkfrekvensene bestemmes og verdier for C_1 og C_2 finnes.

Knekkfrekvensen f_c for et første ordens RC-filter er gitt ved (1).

$$f_c = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C} \quad (1)$$

Inngangsfilerets knekkfrekvens f_{c1} bestemmes til å være 5 kHz , en del lavere enn kretsens operasjonsfrekvens f . Dette gir C_1 :

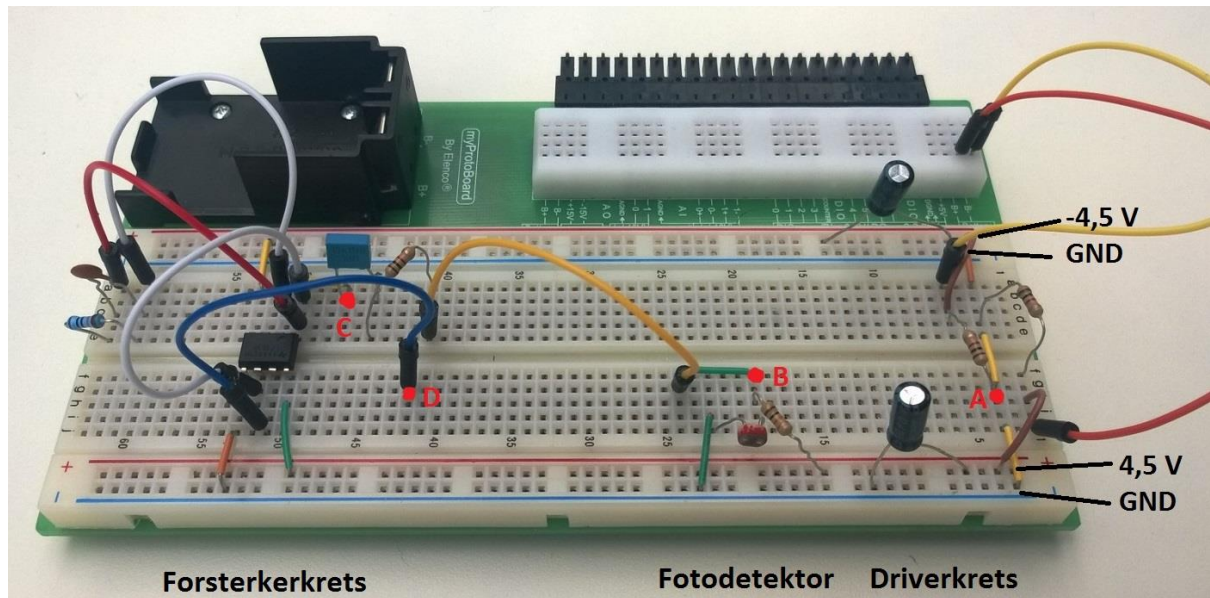
$$C_1 = \frac{1}{2\pi \cdot 1\text{ k}\Omega \cdot 5\text{ kHz}} \approx \underline{32\text{ nF}}$$

Det tilbakekoblede filterets knekkfrekvens f_{c2} bestemmes til å ligge rundt 15 kHz , en del høyere enn f .

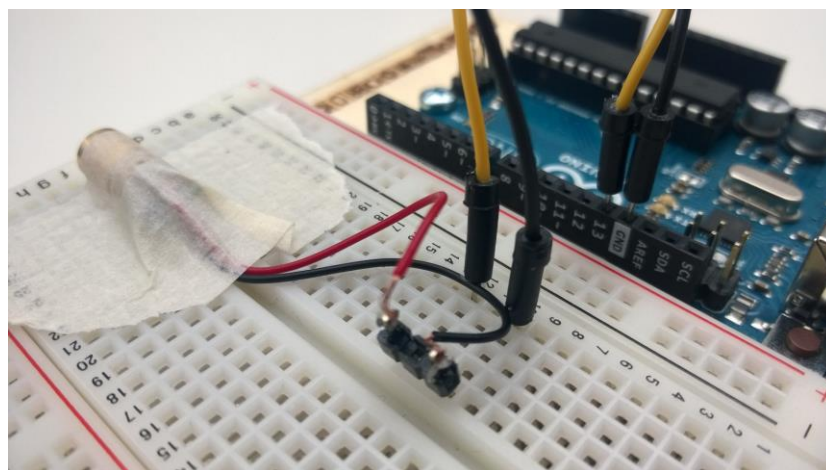
$$C_2 = \frac{1}{2\pi \cdot 100\text{ k}\Omega \cdot 15\text{ kHz}} \approx \underline{100\text{ pF}}$$

3. Realisering og test

Kretsen ble koblet opp og er avbildet i Figur 3. Lyskilden er avbildet i Figur 4. Tabell 1 viser sammenhengen mellom teoretiske komponenter og realiserte komponenter.



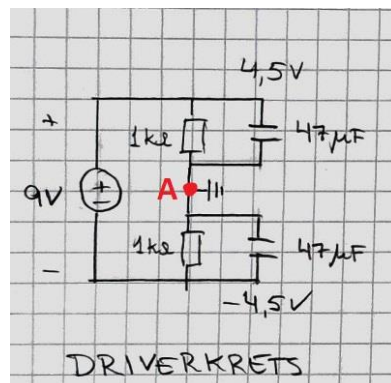
Figur 3: Realisert krets



Figur 4: Arduino-drevet lyskilde

Tabell 1: Fysiske komponenter		
Navn på komp. i kretsdiagram	Teoretisk verdi	Fysisk komponent
R_f	100 k Ω	100 k Ω
Fotoresistor	-	VT90N2 [4]
C_1	32 nF	33 nF keramisk kondensator
R_1	1 k Ω	1 k Ω
R_2	100 k Ω	100 k Ω
C_2	100 pF	100 pF keramisk kondensator
Op1 og Op2	-	LF353P [5] – dual op-amp IC
Spenningskilde	9,0 V	9 V alkalisk batteri med spenning mellom 8,3 V og 9,0 V i kretsen

Kretsen slik den er beskrevet i Figur 2 var svært utsatt for støy, samtidig som at $v_2(t)$ ble klippet. To elektrolyttkondensatorer på 47 μ F ble introdusert i driverkretsen som vist i Figur 5 for å løse problemet.



Figur 5: Realisert driverkrets

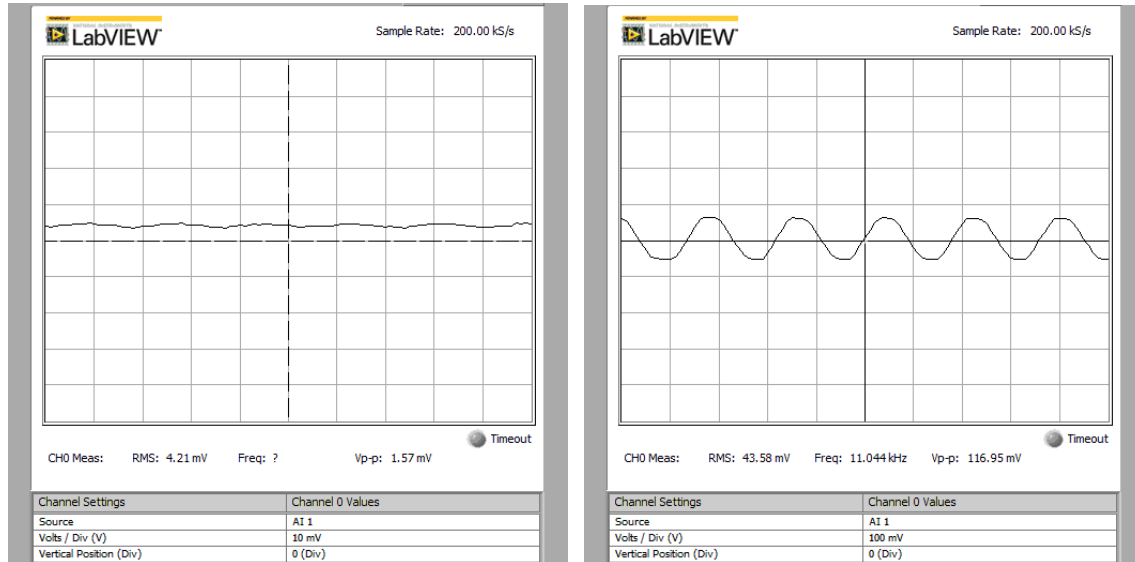
Kondensatorene skulle vise seg å ha to meget sentrale oppgaver: De fjerner mye av støyen som av ulike årsaker blir introdusert i batterispenningen, og stabiliserer derfor utgangssignalet. I tillegg hindrer de at Op1 og Op2 danner en slags feedback-loop siden de deler forsyningsspenning. I det siste tilfellet fungerer de som et reservoar som demper små variasjoner i op-ampene sine arbeidspunkt.

En Arduino Uno ble programmert til å drive laserdioden med et firkantsignal på 5 V og frekvens på ca. 11,2 kHz, se vedlegg A for kode. Arduinoen leverer ikke nøyaktig frekvens, men den er nærme nok til at prinsippet illustreres. Ved å ha separat lyskildekrets blir en del av støyen eliminert, samtidig som at det blir enklere å teste avstand.

Testing av kretsen

Hardware som benyttes for oppkobling og testing er National Instruments' myDAQ med den tilhørende programvareløsningen labVIEW [6].

Kretsen ble først testet i dagslys med noen få cm mellom lyskilde og mottaker, og de ulike spenningene i kretsen ble målt. Figur 6 viser oscilloskopskjermdumper av hhv. $v_1(t)$ og utgangsspenningen fra det første forsterkerleddet (Op1).

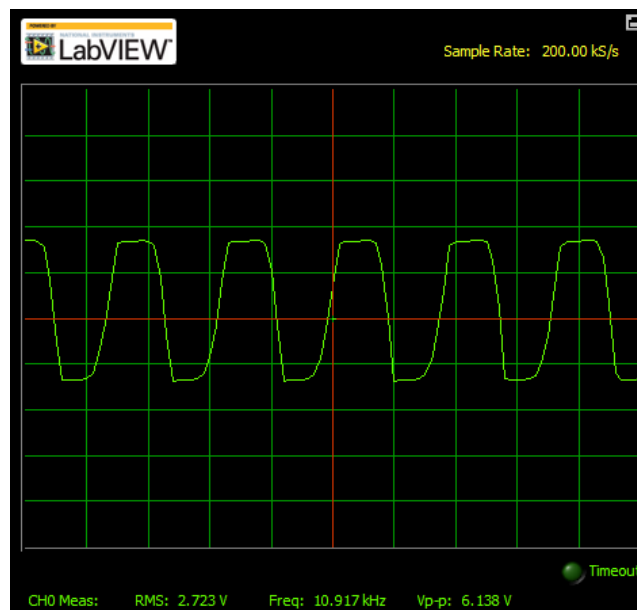


Figur 6: $v_1(t)$ (venstre), utgangsspenning fra Op1 (høyre)

Det kan være flere grunner til at utgangsspenningen fra Op1 er sinusformet og ikke en firkantpuls. Mest sannsynlig skyldes det en kombinasjon av at fotoresistoren har en lang og ikke-lineær rise-time (78 ms fra databladet) samt at båndpassfilteret fjerner signalets skarpe kanter (meget høyfrekvente komponenter). Dette resulterer i at all støy i $v_1(t)$ manifesterer seg i lastspenningen $v_2(t)$ som variasjoner i pulsbredde snarere enn i pulsamplitude. Tilsvarende krets uten filtrering gir i større grad et firkantsignal etter forsterkning, men trade-off er selvsagt at signalet er utsatt for støy. Hvilken effekt filtreringen har på bitfeilsannsynlighet o.l. er dog utenfor skop av dette designnotatet.

Frekvensen systemet sender med er litt ustabil og varierer med ± 100 Hz, noe som sannsynligvis skyldes firkantpulsimplementasjonen i programkoden. Ved å styre signalet med en avbruddsrutine i stedet for å stole på innebygde funksjoner vil resultatet sannsynligvis bli en del bedre.

Figur 7 viser $v_2(t)$ der avstand mellom lyskilde og fotoresistor var om lag 40 meter.

Figur 7: Oscilloskopdump av $v_2(t)$, 40 meters avstand

$v_2(t)$ oscillerer rundt 0 V og har en V_{RMS} på rundt 2,7 V. En fokuserende linse ble plassert i forkant av fotoresistoren for å gjøre sikting enklere. Formen på signalet er en del rundere i kantene enn det påtrykte firkantsignalet. Likevel er det fortsatt egnet til å bære data, men pulsbreddevariasjonen som følge av støy er mer merkbar på større avstander. Dette skyldes blant annet at det er svært vanskelig å sikte laseren mot fotoresistoren når avstandene blir store. Med andre ord er avstandsbegrensningen avhengig av hvor godt brukeren kan sikte laseren snarere enn av elektronisk art.

Spenningsforsterkningen $A_{v \text{ peak-to-peak}}$ gjennom hele kretsen kan nå anslås:

$$A_{v \text{ peak-to-peak}} = \frac{v_2(t)}{v_1(t)} = \frac{6,138 \text{ V}}{1,57 \text{ mV}} \approx \underline{3900}$$

Dette er et røft anslag da målingene i Figur 6 definitivt tøyser grensene for hva myDAQ-utstyret klarer.

Kretsen ble også testet i mørket med ulike avstander, men resultatet er vanskelig å kvantisere. Det later til at lysstyrken i rommet ikke har særlig stor innvirkning på signalkvaliteten siden laserlyset er såpass kraftig og fokusert i forhold til dagslys og glødelys.

4. Konklusjon

Dette designnotatet har beskrevet design og konstruksjon av et system som overfører firkantpulser ved hjelp av en laserdiode, en fotodetektor og en forsterkerkrets ved frekvensen 11,2 kHz. Maksimal avstand mellom laserdioden og fotodetektoren ble funnet til å være rundt 40 meter før det ble for vanskelig å sikte laserstrålen presist.

Kretsen oppfyller kravene som ble stilt, men likevel kan den kritiseres for støyen i pulsbredden over lasten, samt den noe runde formen på utgangssignalet. Dersom kretsen skulle forbedres ville mer tid legges ned i filtreringen for å få optimal trade-off mellom ren filtrering og minimal distorsjon av signalet gjennom forsterkningsleddene, i tillegg for at $v_2(t)$ i større grad skal ligne påtrykket i lyskilden.

5. Takk

Jeg vil gjerne rette en takk til professor Lars Lundheim ved IET/NTNU for hjelpe med forståelse og design av driverkretsen, samt for å gjøre laserdioder tilgjengelig. Takk rettes også til Torstein Bolstad ved samme institutt for gode diskusjoner rundt kretsen og hjelp med den fokuserende linsen. En siste takk går til Stud. Techn. Christian Cartfjord for fruktbare diskusjoner under designarbeidet.

Referanser

- [1] IET/Fagstaben for ELSYS, Designøving 1 (PDF), hentet 04.09.2015
- [2] Laserdiode (datablad finnes ikke): <http://www.dx.com/p/2-5mw-dot-red-laser-module-5-pack-3v-46386#.Ve04HfkrLIU>
- [3] Inspirasjon til aktivt båndpassfilter hentet fra http://www.electronics-tutorials.ws/filter/filter_7.html
- [4] Datablad fotoresistor VT90N2: <http://www.farnell.com/datasheets/612931.pdf>
- [5] Datablad op-amp LF353P: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lf353.pdf>
- [6] myDAQ/labVIEW: <http://www.ni.com/mydaq/>

6. Vedlegg A

Portmanipulasjon ble brukt for å kontrollere frekvensen til signalet fra pin 13 på Arduino-kortet da Arduinoens innebygde PWM-funksjonalitet er bestemt av klokkefrekvensen og vanskelig å endre på.

```
void setup()
{
  DDRB = DDRB | B100000; // setter Digital pin 13 som OUTPUT
}

int T = 45; // delay mellom oppdatering av pin 13 i  $\mu$ s:  $2 * 1 / (45 \mu\text{s}) \sim 11,1 \text{ kHz}$ 

void loop() {
  PORTB = B100000; // Digital pin 13 HØY
  delayMicroseconds(T); // 45  $\mu$ s delay
  PORTB = B000000; // Digital pin 13 LAV
  delayMicroseconds(T); // 45  $\mu$ s delay
}
```