

FACULTY OF ENGINEERING  
ROBOTIC TECHNOLOGY

---

## Pole Position

---

*Gruppe 7:*

Peter Gilsaa  
05/05-95  
[pegil14@student.sdu.dk](mailto:pegil14@student.sdu.dk)

*Kursus Kode:*  
RB-AUR2-U1

Mads Tilgaard Jensen  
04/01-94  
[madst14@student.sdu.dk](mailto:madst14@student.sdu.dk)

Eskild Andresen  
27/03-92  
[esand14@student.sdu.dk](mailto:esand14@student.sdu.dk)

*Vejleder:*  
Dorthe Sølvason

Sara Marie Gadgaard  
04/09-92  
[sagad13@student.sdu.dk](mailto:sagad13@student.sdu.dk)

*Projekt Udleveret:*  
27. Februar 2015

Frederik Mazur Andersen  
01/11-93  
[fande14@student.sdu.dk](mailto:fande14@student.sdu.dk)

*Projektet afleveret:*  
27. Maj 2015

## Informationer

|               |  |
|---------------|--|
| Kursus:       | Autonome robotter  |
| Projekttitel: | Pole Position  |
| Gruppe:       | 7  |
| Vejleder:     | Dorthe Sølvason  |
| Universitet:  | Syddansk Universitet   |
| Periode:      | 27. Februar - 27. Maj 2015   |
| Uddannelse:   | Robotteknologi   |
| Sideantal:    | 41   |
| CD:           | <i>ATmega32A Datasheet.pdf</i><br><i>CNY70 Datasheet.pdf</i><br><i>LIS35DE Datasheet.pdf</i><br><i>MMA1270KEG Datasheet.pdf</i><br><i>Sensorboard_tegning.pdf</i><br><i>Tidsplan.pdf</i> |
|               | <i>AVR Instruction Set.pdf</i><br><i>L293 Datasheet.pdf</i><br><i>Lookup-Tabel-Bremse.xlsx</i><br><i>Rapport.pdf</i><br><i>TCST1230 Datasheet.pdf</i>                                    |

Underskrifter:

---

Eskild Andresen

---

Frederik Mazur Andersen

---

Mads Tilgaard Jensen

---

Peter Gilsaa

---

Sara Marie Gadgaard

## 1 ResUME

Denne rapport er dokumentation for en modificeret racerbil. Bilen er modificeret således at den kan justere sin hastighed hensigtsmæssigt og derved opnå den hurtigste omgangstid. For at realisere dette er bilen udstyret med tre sensorer: En reflektiv optisk sensor, et accelerometer og transmissiv optisk sensor. Disse sensorer, samt elektromagnet og opbremsning håndteres af en microcontroller der forbinder disse elementer og gør bilen selvstændig. Bil-en vil bestræbe sig på at køre med hurtigste omgangstid, med den kunstige intelligens, der er blevet lavet.

Flere sensorer, magneter og bremsemetoder er overvejet og testet før implementering.

## 2 Forord

Rapporten er udarbejdet af studerende fra 2. semester, derfor henvender rapporten sig til studerende fra 2. semester eller højere.

Formålet er at give læseren en forståelse, overblik over projektets omfang og lede læseren frem til løsningen af det færdige projekt.

Rapporten er bygget op omkring projektet Pole Position.

## Indhold

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 Resume</b>                                | <b>2</b>  |
| <b>2 Forord</b>                                | <b>2</b>  |
| <b>3 Indledning</b>                            | <b>5</b>  |
| 3.1 Projektbeskrivelse . . . . .               | 5         |
| 3.1.1 Problemanalyse . . . . .                 | 5         |
| 3.1.2 Problemformulering . . . . .             | 5         |
| 3.1.3 Afgrænsning . . . . .                    | 6         |
| 3.1.4 Konkurrenceregler . . . . .              | 6         |
| 3.2 Rapportstruktur . . . . .                  | 6         |
| <b>4 Stregsensor</b>                           | <b>7</b>  |
| 4.1 CNY70 . . . . .                            | 7         |
| <b>5 Omdrejningssensor - Måling af farten</b>  | <b>8</b>  |
| 5.1 Fart Hardware - TCST1230 . . . . .         | 8         |
| 5.2 Fart Software . . . . .                    | 10        |
| <b>6 Omdrejningssensor - Måling af afstand</b> | <b>11</b> |
| 6.1 Afstand Hardware - TCST1230 . . . . .      | 11        |
| 6.2 Afstand Software . . . . .                 | 12        |
| <b>7 Motorstyring og bremsning</b>             | <b>12</b> |
| <b>8 Svingsensor</b>                           | <b>13</b> |
| 8.1 Hardware - MMA1270KEG . . . . .            | 13        |
| 8.2 Software . . . . .                         | 15        |
| <b>9 Elektromagnet</b>                         | <b>16</b> |
| 9.1 Kernemateriale . . . . .                   | 16        |
| 9.2 Prøvemagnet . . . . .                      | 17        |
| <b>10 Mapning</b>                              | <b>18</b> |
| <b>11 Sving</b>                                | <b>20</b> |
| <b>12 Bremse</b>                               | <b>21</b> |
| <b>13 Kommunikation mellem computer og bil</b> | <b>23</b> |
| <b>14 Diskussion</b>                           | <b>25</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>15 Konklusion</b>                        | <b>25</b> |
| <b>16 Perspektivering</b>                   | <b>26</b> |
| <b>17 Litteraturliste</b>                   | <b>27</b> |
| 17.1 Kilder . . . . .                       | 27        |
| 17.2 Datasheets . . . . .                   | 27        |
| <b>18 Ordliste</b>                          | <b>27</b> |
| <b>19 Symbolliste</b>                       | <b>28</b> |
| <b>20 Bilag</b>                             | <b>29</b> |
| 20.1 Elektromagnet-kraftmåling . . . . .    | 29        |
| 20.2 Beregning af gearing . . . . .         | 33        |
| 20.2.1 Periodetid ved 4 m/s . . . . .       | 33        |
| 20.3 Lookup Table - Bremse Værdi . . . . .  | 33        |
| 20.4 Testbane Billede . . . . .             | 36        |
| 20.5 Udrag af MMA1270KEG datablad . . . . . | 37        |
| 20.6 Udrag af TCST1230 datablad . . . . .   | 38        |

## 3 Indledning

Scalextric er en stor producent af elektriske biler, skinner og fjernbetjeninger dertil. Det er populært blandt især børn, at bygge deres egen racerbane og køre om kap. Projektets store udfordring er at modificere en af Scalextrics biler og udstyre dem med sensorer, således at den selv kan køre og justere sin hastighed på en hensigtsmæssig måde.

### 3.1 Projektbeskrivelse

#### 3.1.1 Problemanalyse

Projektet skal få en elektrisk bil til hurtigst muligt at køre omgange på en vilkårlig bane uden at ryge af banen. For at opnå dette kræves forskellige sensorer, som skal monteres og programmeres. Formålet er at opnå kendskab til programmering i Assembler og opbygning af sensorkredsløb, samt få software og sensorer til at arbejde sammen.

Projektet består af følgende:

- Bluetooth kommunikation med bilen via en given protokol.
- Byg og montér sensor kredsløb til de forskellige nødvendige sensorer.
- Algoritme der kortlægger banen.
- Algoritme der bruger den kortlagt bane og sensor data til at køre med optimal hastighed.

#### 3.1.2 Problemformulering

Hvordan opbygges og programmeres en elektrisk bil til selv at kunne køre hurtigste tid på en vilkårlig bane? Denne problemstilling vil vi arbejde med i dette projekt, og dertil skal disse problemer løses:

- Hvordan kommunikeres der med bilen?
- Hvilke sensorer skal benyttes for at gøre bilen selvkørende med så høj hastighed som muligt?
- Hvilken elektromagnetisksensor/-aktuator skal bruges?
- Hvordan detekteres målstregen?
- Hvordan detekteres sving?
- Hvordan programmeres microcontrolleren så den kan kortlægge en vilkårlig bane?
- Hvordan programmeres bilen til at udnytte den kortlagte bane til at køre hurtigst muligt?
- Hvordan bremser bilen best muligt?

### 3.1.3 Afgrænsning

I denne opgave begrænser vi os til at bygge sensorkredsløb og programmere microcontrolleren til den elektriske bil. Vi skal ikke bygge bilen fra bunden, men modificere en eksisterende model til at kunne styres gennem vores microcontroller. Bluetooth kommunikationsprotokollen er også bestemt for os, men vi skal selv implementere denne og kan også udvide den.

Vores projekt kan derfor fortolkes til at programmere en microcontroller til at modtage signaler fra sensorer og derudfra kortlægge en bane og kontrollere motoren for at opnå den hurtigste omgangstid.

### 3.1.4 Konkurrenceregler

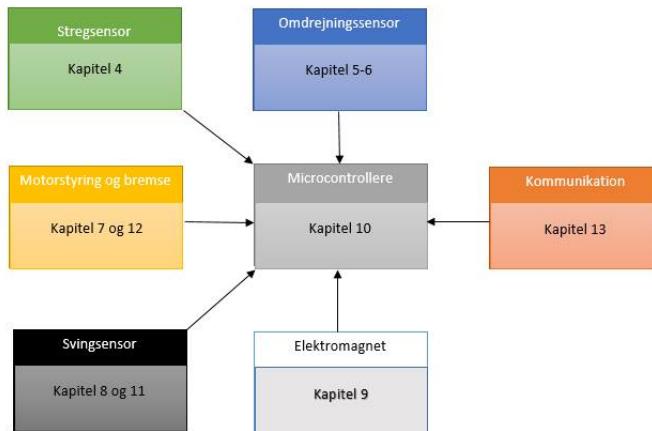
Den 29. maj 2015 afholdes Pole Position konkurrencen. Her vinder det hold, som har den hurtigste omgangstid. Der er visse krav til bilen for at gøre konkurrencen fair. Bilen skal kunne køre af sig selv og skal således starte når den sættes på banen. Det skal dog være muligt at sætte en hastighed eller stoppe bilen vha. Bluetooth. Denne kommunikation skal overholde en protokol, som senere vil blive uddybet. Selve banen består kun af rene højre eller venstre sving, dvs. at der minimum vil være en lige skinne mellem to sving. Bilens karrosseri, dæk og undervogn må ikke ændres. Det er dog tilladt at lave mindre ændringer for at gøre plads til sensorer og lignende. Der må ikke monteres permamagneter på bilen. Magneten som er monteret på bilen fra fabrikken må dog blive siddende. Der skal anvendes en elektromagnetisk sensor og/eller -aktuator i projektet. Dette kan f.eks. være i form af en elektromagnet.

## 3.2 Rapportstruktur

Projektet består af flere dele, hvor microcontrolleren er i centrum. Delene har forskellige realationer til microcontrolleren som 1 illustrerer.

Microntrolleren styre forsyningen til motoren. Omdrejningssensor tæller motorens omdrejninger og sender informationer tilbage til microcontrolleren. Svingsensor sender informationer om til processoren om sving. Stregsensoen detektere startlinjen og informere controlleren om dette. Microcontrolleren styrer forsyningen til elektromagneten. Derudover er der en tovejs kommunikation mellem bluetooth-modulet og microcontrolleren.

Udover at blokkene til sammen beskriver produktet, giver dette også en oversigt over rapportens opbygning. De enkelte dele udgør hovedafsnittene i rapporten. Vha. dette kort kan læseren nemt navigere rundt i rapporten uden at miste overblik.



Figur 1: Overblik over hovedemner, dvs. strategi

## 4 Stregsensor

På banen til konkurrencen er der en hvid streg, som markerer start. Det ønskes at kunne detektere denne streg, for at vide hvornår bilen har kørt en omgang.

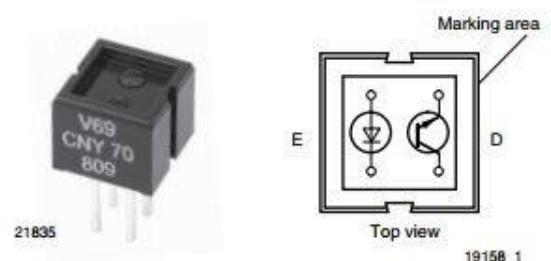
Til at dekke startlinjen, som er hvid, skal den valgte sensor detektere forskellen mellem hvid og sort på banen.

Til det pågældende formål er en reflektiv optisk sensor blevet undersøgt og valgt. Den reflektive optiske sensor har fordelene at den er lille og fylder lidt.

### 4.1 CNY70

Den reflektive optiske sensor som er valgt, hedder CNY70. Sensoren fylder 7x7x6 mm og er placeret 0.2 mm fra banen.

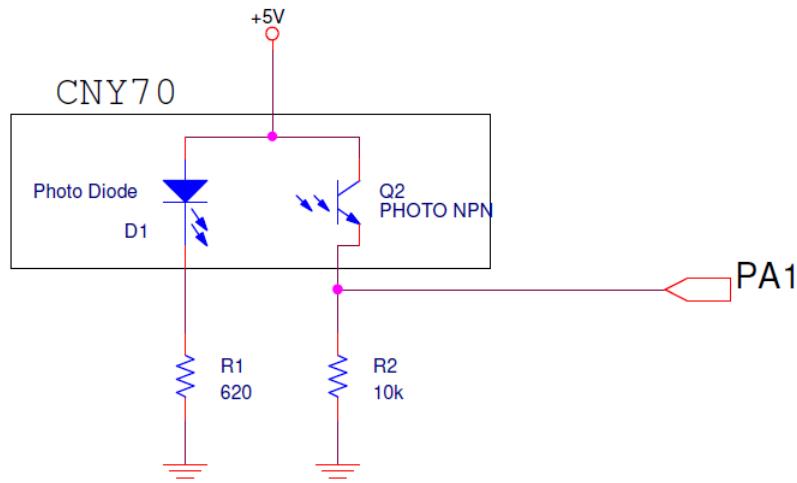
CNY70'eren er fastmonteret på undervognene af bilen, som vender ned mod banen.



Sensoren består af en diode og en fototransistor, som vist i figur 2, da både diode og fototransistor vender ned mod banen, fungerer den ved at lyset fra dioden reflekteres i banen, hvor fototransistoren opfanger det reflekterede lys. Fototransistoren åbner alt efter hvor meget lys, der bliver reflekteret.

Figur 2: billed af dioden og transisteren i CNY70

Mørke farver absorberer meget af lyset mens lyse farver reflekterer dem.



Figur 3: Det elektroniske kredsløb over stregensoren

Stregensoren i figur 3 er forsynet med 5V, men kun når diodens stråler reflekteres åbner transistoren, og udgangsspændingen på output-benet bliver højt.

Programmet til stregensoren tjekker først på rising edge<sup>1</sup> og registrerer dette, så tjekker den for falling edge<sup>2</sup> og registrerer dette, microcontrolleren har nu dekteret hele målstregen.

## 5 Omdrejningssensor - Måling af farten

I dette afsnit beskrives hvordan en omdrejningssensor udnyttes til at beregne hastigheden bilen kører med. Der vil både blive beskrevet hardwaren til sensoren samt hvordan den softwaremæssigt bruger sensoren. Farten bliver brugt til at mappe banen samt kører med konstant hastighed, som er beskrevet i afsnit 10 og 11

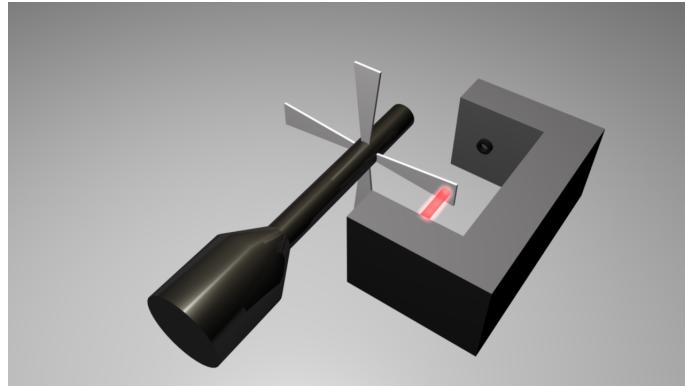
### 5.1 Fart Hardware - TCST1230

Vi benytter TCST1230, som er en optisk sensor, til at lave en fotogate. Sensoren består af en photocelle og en vifte med 1 blad på. Hjulet med vifterne sidder på motorens aksle og hver gang akslen drejer en omgang vil den bryde fotosensorens lys 1 gang. Hver gang lyset brydes fås en puls fra fotosensoren, som sendes videre til microcontrolleren. Dette er illustreret i figur 4.

Efter test viste det sig at sensoren havde brug for en højre oplosning. Dette opnås ved at tilføje flere blade til viften så fås flere pulser pr. omdrejning. Der er således nu fire blade

<sup>1</sup>Se ordliste i afsnit 18

<sup>2</sup>Se ordliste i afsnit 18



Figur 4: 3D model af sensoren

på viften, hvilket giver os fire pulser pr. aksel omdrejning. Dette svarer til 16,8 pulser pr. hjulomdrejning.

Se afsnit 20.2 for udregningen af gearingen.

Fire vifter giver en oplosning der er fire gange bedre, end kun at have en vifte.

For bedre oplosning kunne der sættes flere vifter på, men kommer der for mange vifter på, vil det dog blive svært for sensoren at aflæse vifterne. Dette skyldes at mellemrummet til sidst vil blive meget småt. Jo flere vifter der tilføjes, jo sværere bliver det også at bygge ringen med vifterne.

I dette tilfælde anvendes en ring med fire vifter da det kunne laves forholdsvis let, og det giver en oplosning, der er høj nok til hvad der ønskes. Ved blot 1 vifte kørte hjulet 2cm per omdrejning. Da hjulet kører 0,2381 omgange pr. motoromdrejning så kan længden bilen kører mellem hver puls udregnes ved at multiplicere hjulomdrejninger med hjulets omkreds:

$$0,2381 * 8,5\text{cm} = 2,02\text{cm}$$

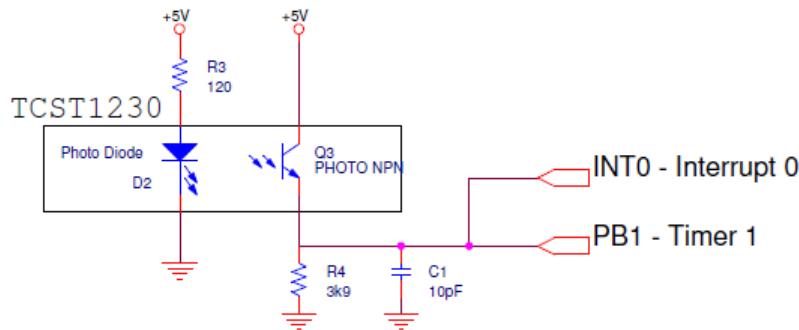
Dette er ikke ret præcist da længden og farten kun af aflæses i intervaller af 2cm. Ved fire vifter kører bilen pr. puls:

$$\left(\frac{0,2381}{4}\right) * 8,5\text{cm} = 0,51\text{cm}$$

Dette er markant bedre da den nu kun kører 0,51cm før den får en puls og udregner længde og hastighed. Så der fås flere mindre intervaller der kan tjekkes og reageres på.

Som det kan ses på tegningen af kredsløbet i figur 5 er der sat nogle modstande og en kondensator på sensorens kredsløb.

Modstanden R3 i figur 5 er der for at strømmen over dioden D2 ikke bliver større end



Figur 5: Kredsløbet til TCST1230 Sensoren

dioden kan tåle. Dioden kan kun klare 30mA ifølge databladet<sup>3</sup>.

Modstanden R4 virker som en pulldown<sup>4</sup> modstand der sørger for at holde signalet lavt, når fototransistoren ikke modtager lys.

Kondensatoren C1 benyttes til at sortere små signaler fra. Hvis signalet ”hopper” frem og tilbage ved en overgang fra logisk lavt til logisk højt, vil kondensatoren tage de små hurtige skift og sortere dem fra. På denne måde fjernes en del af støjen. Ud fra Ohms lov og databladet<sup>5</sup> er modstandene bestemt, så microcontrolleren opfanger signalerne fra sensoren som højt og lavt.

## 5.2 Fart Software

Sensorens output er sat på ”PB1” og ”PD3”<sup>6</sup>, som går til ”Timer1” og ”INT0”<sup>7</sup> i microcontrolleren. Hver gang den får en puls bliver timeren og interruptet triggeret. Timeren bliver benyttet til at finde længden bilen har kørt. Dette er beskrevet i afsnit 6.

Interruptet benyttes sammen med Timer0 til at finde farten. Timer0 er sat op så den inkrementer hvert 0,000016 sekund. Hvilket svarer til den inkrementerer hvert 16. mikrosekund. Dette er sat ved at bruge en prescale på 256. Da klokfrekvensen på microcontrolleren er 16MHz udregnes det således:

$$\frac{256}{16000000Hz} = 0,000016s = 16\mu s$$

Dette bruges for at finde periodetiden, som benyttes til at udtrykke farten. Et overflow vil

<sup>3</sup>Se udsnit af datablad for TCST1230 i bilag 20.6

<sup>4</sup>Se ordliste 18

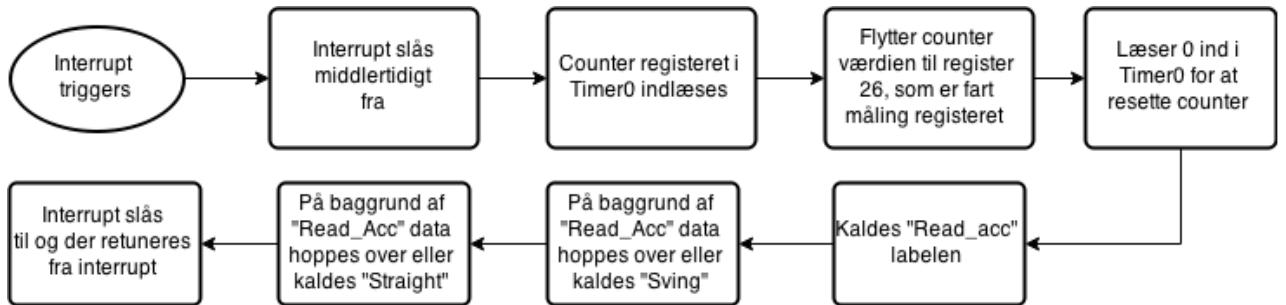
<sup>5</sup>Se udsnit af datablad for TCST1230 i bilag 20.6

<sup>6</sup>PB1 og PD3 er indgange på microcontrolleren

<sup>7</sup>INT0 er en interrupt indgang på microcontrolleren

kun forekomme hvis noget går galt og bilen står helt stille, eller kører under  $1.2m/s$ . Hvis der er overflow i Timer0, kaldes et andet interrupt, der sætter en konstant hastighed.

Flowdiagrammet i figur 6 viser processen hver gang interruptet bliver kaldt. Hvilket sker hver gang sensoren sender en puls.



Figur 6: Flowchart af softwaren til måling af farten

Der slås først interrupts fra globalt, for at dette interrupt ikke bliver afbrudt af et andet interrupt. Herefter indlæses den værdi tælleren er nået til. Denne værdi gemmes i vores ”målt fart” register. Derefter nulstilles Timer0. På den måde får vi hvor mange gange der er gået 16 mikrosekunder på 1 puls. F.eks. hvis der går 80 optællinger mellem timer puls, så har bilen farten:  $4m/s$ .

Dette kan ses i lookup table i afsnit 20.3.

Inden interruptet sluttes læses accelerometeret, som er nærmere beskrevet i afsnit 8.

Til sidst slås interrupts til igen og koden fortsætter hvor den blev afbrudt af interruptet.

## 6 Omdrejningssensor - Måling af afstand

I dette afsnit beskrives, hvordan bilen mäter, hvor langt den har kørt. Her benyttes den samme sensor, som bruges til udregning af farten. Læs mere i afsnit 5.

Afstanden bilen har kørt bruges til at mappe banen. Hvilket beskrives i afsnit 10.

### 6.1 Afstand Hardware - TCST1230

Da sensoren er den samme, som benyttes til måling af fart, vil dens hardware ikke blive beskrevet her. Der henvises i stedet til afsnit 5.1

Den eneste ændring på hardwaren er at sensorens udgangssignal til microcontrolleren er forbundet med indgang ”PB1”.

## 6.2 Afstand Software

Hver gang sensoren sender en puls til "PB1" på microcontrolleren vil Timer1 inkrementere med en. Timer1 er valgt da det er en 16bit timer og derfor kan der køres 327,7 meter før timeren giver overflow. Udregningen er som følger:

$$16bit = 2^{16} * 0,5cm(pr.puls) = 32768cm = 327,7m$$

Dette er rigeligt til formålet, da tælleren vil blive nulstillet efter hver lige strækning.

Antallet af pulser på en hjulomdrejning er 16,8. Ved at tælle antallet af pulser kan det udregnes hvor langt bilen har kørt. For udregning af antal pulser pr. omdrejning: se afsnit 20.2.

Timer1 er opsat så den kører på en ekstern klokfrekvens. Den eksterne klokfrekvens er signalet fra omdrejningstælleren. Timeren er sat til at trigge på rising edge<sup>8</sup>.

## 7 Motorstyring og bremsning

For at finde den bedste måde at bremse på, er der lavet en test med tre scenarier. I alle tre scenarier er banen den samme. Banen består af 10 skinner. De første seks er tilsluttet strømforsyningen, mens de fire sidste er tilsluttet en kontakt, så skinnerne kan frakobles strømforsyningen, kortsluttes eller strømmen kan vendes. Motoren er koblet direkte til banen, dvs. at den styres vha. strømforsyningen. I alle test er spændingsfaldet over motoren på 15 volt. Det hele filmes.

I første test var de sidste fire skinner ikke tilsluttet til strømforsyningen ydermere var de ikke kortsluttet. Her viste testen at bilen skulle bruge mere end 70cm for at stoppe helt. I anden test var de sidste fire skinner kortsluttet. Dvs. at motoren blev kortsluttet efter at have kørt på de seks første skinner. Her var bremselængden 67 cm.

I tredje test og sidste test løb strømmen den modsatte vej igennem motoren på de sidste fire skinner. Her var bremselængde kun 32 cm.

En H-bro er et kredsløb som kan styre en motor. Den er som regel opbygget af NPN/P-NP transistor eller MOSFETS og kan fås som IC'er såsom L293. L293 er opbygget af NPN/PNP transistorer. Ved at tilslutte motoren til en H-bro giver det mulighed for at styre retningen af motoren og at kortslutte motoren. Muligheden for at styre retningen af motoren, bruges til bremsning af bilen.

For at kunne vende strømmen i motoren er der placeret en H-bro. H-broen der anvendes er L293. Denne IC består af to H-broer, det er dog kun den ene som anvendes. H-broen

<sup>8</sup>Se ordliste i afsnit 18

har 3 forbindelser til microcontrolleren: enable, 1A og 2A. Disse tre forbindelser bruges til at styrer motoren. Se figur 7 for mulige kombinationer.

| EN | 1A | 2A | FUNCTION        |
|----|----|----|-----------------|
| H  | L  | H  | Turn right      |
| H  | H  | L  | Turn left       |
| H  | L  | L  | Fast motor stop |
| H  | H  | H  | Fast motor stop |
| L  | X  | X  | Fast motor stop |

L = low, H = high, X = don't care

Figur 7: H-broens 3 forbindelser og hvordan de kan sættes

PWM signalet fra microcontrolleren er koblet til 1A, mens enable og 2A er koblet til I/O pins. Som det ses i figur 7 vil et PWM signal medføre at motoren skifter mellem "Fast motor stop"og "turn left". Dette er dog ikke et problem da man på lige strækninger kører med 100% PWM hvilket svarer til at 1A konstant er høj. Derfor får man ikke lavere top fart i forhold til at køre uden H-bro. Dog vil det kræve et højere PWM signal for at holde samme fart i svingene i forhold til uden at bruge H-broen. Dette medvirker at bilen har et højere energiforbrug og mere spild energi, men der er intet krav om at bilen skal være effektiv.

Ved opbremsning ”slukkes” for PWM signalet og 2A sættes høj. Dette medfører at spændingen over motoren vendes. Opbremsningen sker kun kortvarigt indtil bilen kommer ned i en hastighed, hvor den ikke falder af i svingene. For at finde det optimale tidspunkt at bremse på er der lavet en række test og beregninger. Dette kan der læses nærmere om i afsnit 12.

## 8 Svingsensor

For at bilen kan detekterer og gemme at der er et sving, skal den udstyres med en sensor der kan kende forskel på lige strækninger og sving. Det vides at bilen bliver påvirket af en centripetalkraft, når den kører inde i et sving. For at kunne måle denne kraft, bruges der et accelerometer. Der var to accelerometer til rådighed; et digitalt (LIS35DE) og et analogt (MMA1270KEG). Først blev det digitale valgt, da dette har interrupt pins, som kunne være brugt til intelligent banedektection. Grundet problemer med kommunikation mellem det digitale accelerometer og microcontrolleren, faldt valget på det analoge accelerometer.

### 8.1 Hardware - MMA1270KEG

Det analoge accelerometer er opbygget som vist på figur 8. Det kan ses som tre plader, hvor de to yderste er fikseret og den midterste kan bevæge sig. Den midterste plade bevæger sig derved med kraften og kapaciteten ændres mellem den midterste og de to fikserede plade. Den samlede kapacitans er konstant. Dette kan beskrives ved ( $C = \frac{A\epsilon}{D}$ ), hvor A er arealet af pladerne,  $\epsilon$  er den dialektriske konstant og D er afstanden mellem den midterste plade og en af de to fikserede plader. Denne kapacitet bliver behandlet inde i accelerometeret af et

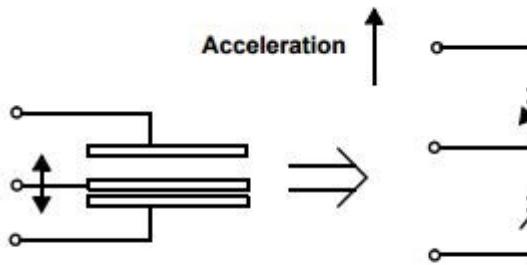
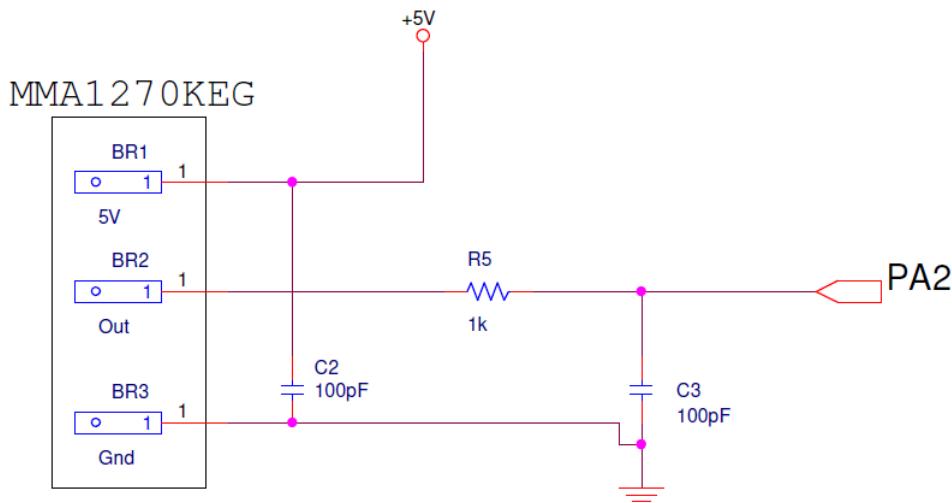


Figure 3. Transducer Physical Model

Figure 4. Equivalent Circuit Model

Figur 8: Accelerometer opbygning

kredsløb<sup>9</sup>. Dette kredsløb sørger for at output signalet på accelerometeret er proportionalt med kraften.



Figur 9: Kredsløbs diagram over accelerometer

Ved 0G er outputtet typisk på 2,5V og en sensitivitet på  $750 \frac{mV}{G}$ .<sup>10</sup>

Output signalet er et signal der ligge mellem 0-5V og kan læses med en ADC af microcontrolleren. Der er lavet en Lowpassfilter på output signalet fra accelerometeret, for at sortere de høje frekvenser fra. Den blev konstrueret ved samme Lowpassfilter som blev forslået i databladet for sensoren. Altså en modstand på  $1K\Omega$  og en kapacitor på 100 nF. Dette giver en cut-off frekvens på:

$$f_c = \frac{1}{2\pi\tau} = \frac{1}{2\pi \cdot RC} = 1591.5 \text{ Hz}$$

Dette Lowpassfilter blev dog ikke optimeret grundet tidsmangel og der tages derfor højde for dette i koden.

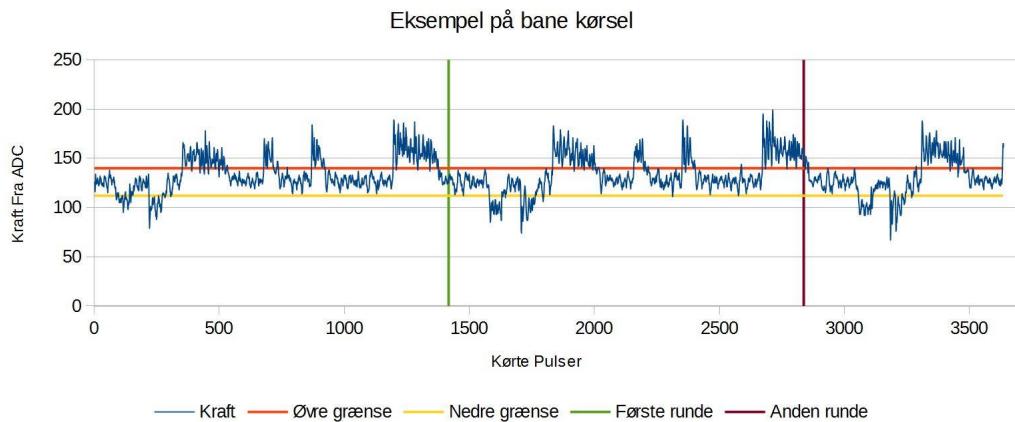
<sup>9</sup>Se side 4 af databladet for MMA1270KEG i bilag 20.5

<sup>10</sup>Se Tabel 2, side 3 i databladet for MMA1270KEG i bilag 20.5

## 8.2 Software

Til at læse sensoren, anvendes en analog indgang på microcontrolleren. ADC'en opsættes med en prescale på 128, da ADC'en max kan køre med 200 kHz og microcontrolleren kører med 16 MHz.

Når accelerometeret skal læses kaldes en subrutine. Denne subrutine sætter referencespændingen til 5V og vælger at "PA2" skal læses ind i ADC'en. Derefter venter programmet på at ADC'en er klar til at blive læst. Når den er klar, læses værdien af ADC'en over i et register, som nu kan bruges til databehandling i programmet.



Figur 10: Graf over accelerometerdata fra testbanen. Testbane kan ses i bilag 20.4

Det ses at svingende er til at detektere, og farten aftager rundt i svingene. Dette diskuteres i afsnit 11. På figur 10 ses et sving hvor den øvre grænse er indtegnet.

I figur 10 ses det at når bilen kører lige ud, er accelerometerværdien mellem den øvre grænsen (rød) og den nedre grænse (gul). I nogle tilfælde vil der grundet støj fås fejlmåling. Dette bliver der taget højde for ved at der skal være et antal på hinanden følgende målinger, som ligger under den øvre grænse, før det konstateres at bilen er ude af svinget. Denne metode bruges også i starten af et sving, da dette vil eliminere muligheden for at bilen tror den er i et sving, hvis der blot er tale om støj ved ligeud kørsel.

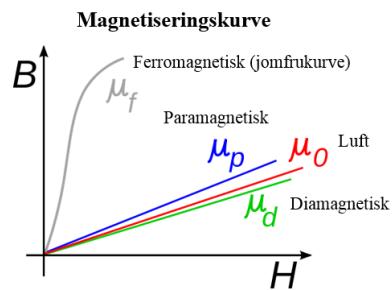
## 9 Elektromagnet

Elektromagneten er lavet til at holde bilen på banen. Ved at aktivere elektromagneten i sving, burde den optimere bilens evne til at holde sig på banen ved højere hastighed end uden elektromagnet.

### 9.1 Kernemateriale

En vigtig faktor i fremstilling af elektromagneter er materialet. Ud fra materialet bestemmes elektromagnetens magnetiske evne. Materialets permeabilitet bestemmer hvor godt det kan lede et magnetisk felt. Permeabiliteten kan deles op i tre underemner, ferromagnetisk, paramagnetisk og diamagnetisk. Det kan ses i figur 11.

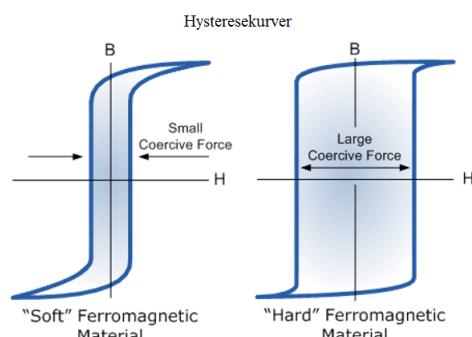
I diamagnetiske materialer er magnetiseringen ekstremt lille og har en lineær HB-kurve. Ved paramagnetiske materialer er magnetiseringen ligeledes meget lille, men større end diamagnetiske materialer og ligeledes har materialet en lineær HB-kurve<sup>11</sup>. Ferromagnetiske materialer har en stor magnetisering, den magnetiske effekt skyldes herved de uparrede elektroner der forekommer i nogle metaller. Ferromagnetiske materialer har en logistisk stigende HB-kurve.



Figur 11: Permeabilitete i forskellige materialer

Ferromagnetisk materiale kan nu deles op i to undergrupper, blødt materiale og hårdt materiale. Blødt materiale er karakteriseret ved høj permeabilitet, lille hysteresekurve med et lille koercivt felt og lavt kulstofindhold. Bløde materialer er ofte en legering af jern og silicium eller nikkel.

Hårdt materiale er karakteriseret ved mindre permeabilitet end blødt materiale, bred hysteresekurve, stort koercivt felt og højt kulstofindhold. Hårde materialer er ofte en legering af jern med kulstof, aluminium eller wolfram. Se figur 12.



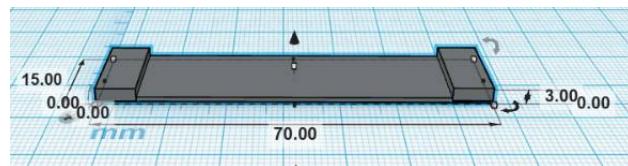
Figur 12: Hysteresekurve på blødt og hårdt ferromagnetisk materiale

<sup>11</sup>Se ordlist i afsnit 18

## 9.2 Prøvemagnet

Som udgangspunkt er kernematerialet blevet antaget til at være stål, da materialet er ferromagnetisk og hårdt. Hvis der skulle laves en korrekt undersøgelse af kernematerialet ville det kræve en længere og meget tidskrævende undersøgelse, derfor har dette kun været en overvejelse.

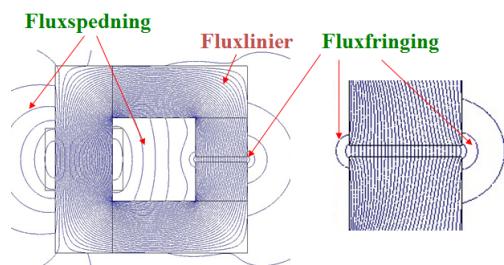
Næste overvejelse har været placering og form af elektromagneten. Der er tre steder elektromagneten kan placeres på bilen; foran, bagpå eller under bilen.



Figur 13: Skabelon over elektromagneten med aktuelle mål

Hverken trække eller skubbe elektromagneten er en effektiv løsning, det vil skabe uligevægt i bilen og flytte massemidtpunktet. Ved en stærk elektromagnet vil man ændre friktionskraften meget ved at montere elektromagneten foran eller bagved. Hvis elektromagneten sidder bagpå vil der opstå meget friktion på baghjulene og mindre friktion på forhjulene. Fluxspredning (Se figur 14) er en faktor der skal tages hensyn til når formen af elektromagneten laves. Der vil altid være fluxspredning men formen kan være med til at reducere det betydeligt. Fluxlinjerne bevæger sig fra nord til syd. For fuld udnyttelse af elektromagneten bør nord- og sydpol befinde sig over skinnerne således at fluxlinjerne løber langs skinnerne. Hvis elektromagneten formes som en hesteskø vil nord og syd pege ned mod skinnerne. For at undgå for meget fluxspredning bør fordybningen i hesteskøen være så stor som mulig. Se journalen i bilag 20.1.

Efter valg af materiale, placering og form, skal antal vindinger bestemmes. Grunden afstanden mellem bilens undervogn og vejen, vil der kun være plads til circa 660 vindinger. Hvis elektromagneten er tykkere er der, pga. af fjedringen, risiko for at kortslutte banen.



Figur 14: Flux, fluxfringing, fluxspredning

Testmagneten er lavet ud fra de forrige overvejelser og formlen for den magnetiske kraft i et luftgab (under idelle forhold). Denne kraft er givet ved:

$$F_{magn}(x) = -\frac{B_g^2}{2\mu_0} * A_j * \left( \frac{4x}{\frac{l_j}{\mu_r} + 2x} - 1 \right)$$

Hvor  $B_g$  er:

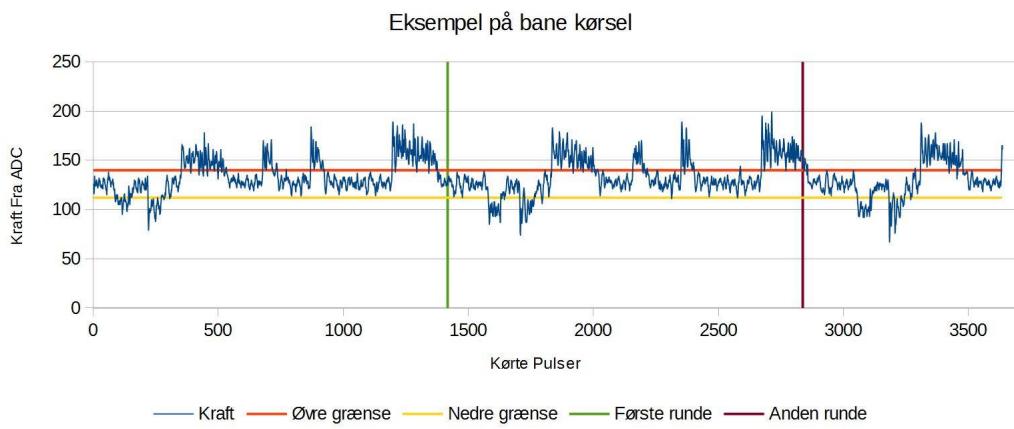
$$B_g(x) = \frac{\mu_0 I N}{\frac{l_j}{\mu_r} + 2x}$$

Ud fra de overstående ligninger er magnetkraften fundet til at være 1,309N. I praksis er den målt, med et newtonmeter, til at være cirka 0,9367N. Se evt. nærmere i bilag 20.1. Da 0,9367N er en meget lille kraft, bør det overvejes grundigt om elektromagneten vil være en ulempe eller fordel for bilen. Det er blevet beregnet hvor hurtigt man kan køre med og uden elektromagneten i svingene. Dette kan der læses mere om i afsnit 11.

## 10 Mapning

Et krav til denne opgave, er at lave et intelligent program, der kan køre rundt på en ukendtbane. Efter at bilen har kørt banen igennem, skal den kunne optimere sin kørsel. Dette betyder at den på de lange strækninger accelererer men i svingende bremser ned til en sikker fart, der sikrer at den ikke falder af banen.

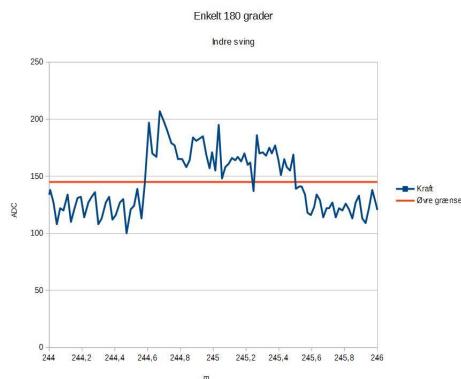
Til at udføre denne opgave skrives en algoritme, der køres første gang at bilen krydser den hvide linje. Denne algoritme opmåler banen ved at sammenholde den målte værdi af accelerometeret med faste værdier. Alt efter hvad accelerometerværdien er, beslutter algoritmen hvad der skal ske. Figur 15 viser den data bilen får fra accelerometeret. Dataen bliver sendt hver gang en vifte passerer forbi omdrejningssensoren.



Figur 15: Graf over accelerometerdata fra testbanen. Billedet af testbane ses i bilag 20.4

Når værdien fra accelerometeret er læst, behandles den af algoritmen, der bestemmer hvorvidt man er i et sving eller kører ligeud. Dette sker ved at sammenholde den læste værdi

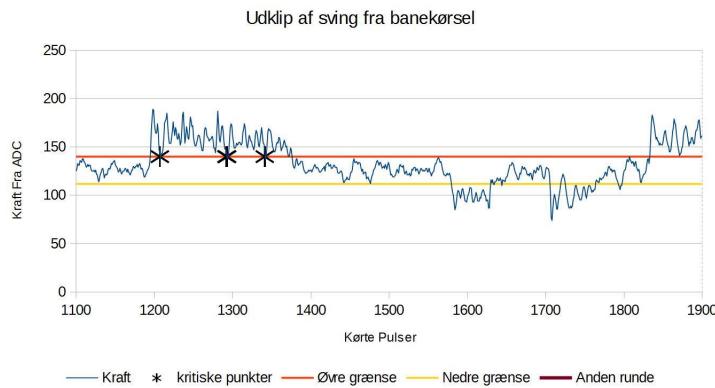
mod to faste værdier. Accelerometeret ligger, ved 0G, på ca 2.5V (ADC værdien er 128 i decimal) men i praktisk lidt mindre. En ændring i g-kraften, som følge af et sving, vil øge eller sænke spændingen fra accelerometeret. Derfor tjekkes det om accelerometerværdien ligger uden for midterzonen. Midterzonen introduceres pga. støj ved lige ud kørsel. Dette område ligger mellem en ADC-værdi på 110 og 145, hvilket svarer til 2,148 V – 2,832 V. De to sikkerheds marginer ses på figur 15 som den øvre grænse (Rød) og nedre grænse(Gul). Grænsene er fundet ud fra grafen. Hvis man ser på et udsnit af et sving (Se figur 16), ses det at selv når den er i svinget, er der risiko for at den læste accelerometerværdi er under grænsen for hvornår et sving er detekteret. Dette diskuteres senere i afsnittet.



Figur 16: Accelerometerværdi for et enkelt 180 grader sving

På figur 17 er de sorte stjerner steder hvor den dykker under den øvre grænse og derved kunne give et falsk indtryk om at der er to sving. Ved at undersøge forskellig køredata, ses det at der er op mod 5 fejl i målingerne. Dette kompenseres der for i programmet, ved at dette først accepterer at bilen er i et sving, hvis der kommer 7 på hinanden følgende målinger over den øvre grænse. Dette vil resultere i at bilen nu ved at den er i et sving. På samme måde skal der også være 7 på hinanden følgende målinger under øvre grænse før programmet accepterer at bilen er ude af svinget igen. Denne metode bruges også til at finde sving der ligger under den nedre grænse.

En anden metode man kunne implementere for ekstra sikkerhed, er ved at teste hvor langt der er mellem to målte sving. Hvis afstanden er under 35 cm vil man kunne udelukke at der er tale om to sving men der i mod kun et. Grunden til dette er at der i følge reglerne mindst skal være en lige skinne mellem sving. Denne metode er ikke implementeret grundet prioritering.



Figur 17: Accelerometerværdi for et enkelt 180 grader sving

## 11 Sving

Bilen skal deltage i en racerløb, derfor er der blevet lagt vægt på at optimere bilens kørsel. For at kunne optimere omgangstiden skal der benyttes flere forskellige fysiske ligninger. Disse bruges til at finde bremsepunkterne og hastighedsgrænsene. Bilen er blevet udstyret med en omdrejningssensor således at hastigheden kan overvåges og benyttes løbende i ligningerne.

Før nogle af beregningerne kan laves skal massemidtpunktet i bilen findes. Dette gøres ved at hænge bilen i en snor, tage et billede og derefter hænges bilen op i et andet punkt. Stedet hvor fortsættelsen af snorene krydser hinanden indikerer massemidtpunktet, som vist i figur 18.

Efter at have fundet massemidtpunktet, måles afstanden fra punktet til banen. Denne distance benyttes herefter i en formel, der indikerer hvor hurtigt man kan køre i et sving.

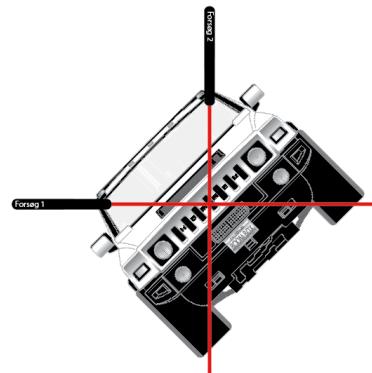
$$Fart(v) = (r * g * b/h)^{\frac{1}{2}},$$

r = radius,

g = tyngdekraft,

b = halvdelen af bilens bredde,

h = afstand mellem massemidtpunkt og banen.



Figur 18: Massemidtpunkt

For at optimere bilens fysiske egenskaber kan flere ting ændres. Opgaveformuleringen begrænser nogle muligheder såsom slibning af dæk, hvilket giver større overfladeareal og derved større friktion.

Derimod forbydes det ikke at justere bilens affjedring, hvilket giver ca. 3mm i massemidt-punktshøjde og derved højere teoretisk hastighed i svingene. Resultaterne for forskellige opsætninger kan ses i tabellen 1.

| Opsætning                     | Indre sving (m/s) | Ydre sving (m/s) |
|-------------------------------|-------------------|------------------|
| Standard u. perma, u. elektro | 1,95              | 2,24             |
| Standard m. perma, u. elektro | 2,64              | 3,03             |
| Standard u. perma, m. elektro | 2,37              | 2,72             |
| Standard m. perma, m. elektro | 2,87              | 3,30             |
| Sænket u. perma, u. elektro   | 2,12              | 2,43             |
| Sænket m. perma, u. elektro   | 2,86              | 3,28             |
| Sænket, u. perma, m. elektro  | 2,57              | 2,95             |
| Sænket, m. perma, m. elektro  | 3,12              | 3,58             |

Tabel 1: Forskellige opsætningers resultater

$$\text{Bredde af bil} = 0,062m, \text{Svingradius Ydre} = 0,33m$$

$$\text{Svingradius Indre} = 0,25m, \text{Tyngdekraft} = 9,82m/s^2$$

$$\text{Permanent magnetkraft v. } 2mm = 1,326N/8,1m/s^2,$$

$$\text{Elektromagnet v. } 2mm = 0,9366N/4,7m/s^2.$$

$$\text{Massemidtpunkthøjde} = 0,02m, \text{Affjedring} = [0; 0,003m].$$

Når det teoretiske maksimum er fundet skal resultatet implementeres i programmet. Da bilen ikke har et differentiale vil den decelerere i svinget. Derfor er det nødvendigt i programmet at tjekke den reelle hastighed bilen kører og sammenligne med den teoretiske. Dette gøres ved hjælp af omdrejningssensoren. Hvis der går for lang tid mellem pulsene øges bilens hastighed en smule. Hvis der går for kort tid mellem pulsene sænkes bilens hastighed en smule. Denne subroutine eksekveres gennem svinget således at hastigheden hele tiden reguleres til at være tættest på det teoretisk mulige.

## 12 Bremse

En stor del af optimeringen består i at finde det korrekte bremsepunkt. Jo senere der bremses jo hurtigere bliver omgangstiderne. For at finde disse bremsepunkter benyttes formlen:

$$V_f = V_i + 2 * a * d$$

$V_f$  = maksimal fart i sving,  $V_i$  = nuværende fart,  $a$  = deceleration( $22.06m/s^2$ ) og  $d$  = bremselængden.

Formlen benytter den maksimale teoretiske svinghastighed, bilens hastighed, deceleration og bremselængden. Da disse værdier ofte er kommatal, benyttes en lookup-tabel, som indeholder bremselængden som funktion af periodetiden fra omdrejningssensoren.

Lookup-tabellen i bilag 20.3 tager udgangspunkt i en bestemt periodetid. Periodetiden benyttes til at udregnes hastigheden i  $m/s$  og sættes ind i ovenstående formel. Konstanten A, er fundet ud fra et eksperiment, hvor bilen filmes mens den bremser. Videoen analyseres vha. programmet LoggerPro, som kan måle hastigheden og accelerationen. Ud fra disse værdier kan bremselængden findes. Denne måles i pulser, hvor det vides at 1 puls er lig med 0.005m. Dette er udregnet ud fra bilens gearing og hjulenes omkreds. Se afsnit 20.2 for beregninger.

Efter bilen har mappet banen benyttes lookup-tabellen til at finde det optimale bremsepunkt. Det gøres ved at tjekke omdrejningssensoren og sammenligne dennes værdi med værdierne i lookup-tabellen, for at finde bremselængden. Når afstanden til svinget er lig med bremselængde begynder bilen at bremse. Dette gøres ved at køre motoren baglæns indtil periodetiden i omdrejningssensoren er lig med den maksimale teoretiske periodetid for svinget.

Ud fra dette kan den optimale bremsedistance opnås og derved en hurtigere omgangstid. Da der kan være en del usikkerhed omkring testresultater osv. benyttes den optimale bremsedistance ikke i første omgang, da det kan resulterer i at bilen ryger af banen. I stedet øges bremsedistance i første omgang således at bilen med sikkerhed får sat en omgangstid. Herefter vil bilen i de følgende omgange nedsættes bremsedistancen indtil det teoretiske maksimum nås.

## 13 Kommunikation mellem computer og bil

I opgaveformuleringen stilles visse krav til bilens kommunikation. Det skal være muligt at sende beskeder fra f.eks. en computer til bilen. Denne kommunikation skal som minimum kunne sætte bilens hastighed, og stoppe den igen. For at gøre det skal kommunikationen leve op til en protokol, som er diktet i opgaveoplægget. Protokollen nødvendiggør at der skal sendes tre bytes hver gang. De tre bytes som sendes af sted har hver deres funktion. Den første byte beskriver typen af besked, anden byte er kommandoen, mens tredje byte er data som skal overføres til bilen. Protokollen kræver kun tre forskellige typer af beskeder, disse tre typer kan ses herunder.

| Hex Værdi | Type  | Bemærkning  |
|-----------|-------|---|
| 0x55      | SET   | Bruges til at sætte/aktivere en værdi i bilen. Kræver intet svar. |
| 0xAA      | GET   | Bruges til at hente en værdi i bilen.                             |
| 0xBB      | REPLY | Er et svar på en GET besked.                                      |

Tabel 2: Forskellige typer af beskeder

Typen er efterfulgt af en kommando. Det kræves at der minimum er start og stop kommandoer. Protokollen er dog blevet udvidet så den indeholder en del flere kommandoer. Dette er gjort så det i højere grad er lettere at lave test på bilen. F.eks. er det muligt at måle bilens fart eller accelerationen vinkelret på bilen. I det følgende skema kan de forskellige kommandoer ses.

| Hex Værdi | Type     | Bemærkning                          |
|-----------|----------|-------------------------------------|
| 0x10      | Start    | Dataværdi mellem 0 og 100           |
| 0x11      | Stop     | Dataværdi er underordnet            |
| 0x12      | Register | Dataværdi mellem 0 og 25            |
| 0x13      | MapH     | MSB af banelængden                  |
| 0x14      | MapL     | LSB af banelængden                  |
| 0x15      | Acc      | Returnerer en værdi mellem 0 og 255 |
| 0x16      | Speed    | Periode tiden fra Sensor            |
| 0xBB      | Error    | Sendes tilbage 3 gange ved fejl     |

Tabel 3: Forskellige kommandoer

**Start** kommandoen bruges til at sætte bilens hastighed. Hastigheden sendes som et procenttal mellem 0-100%. Dette tal skal konverteres til hex inden afsendelse. Hexværdien skal derfor være mellem 0x00-0x64. Hvis en værdi højere end 0x64 sendes, skal bilen ignorere beskeden, da der er tale om en ugyldig besked.

**Stop** kommandoen bruges til at stoppe bilen. Det er ikke afgørende hvilken data værdi som sendes af sted med stop kommandoen, dog skal der i alt sendes tre bytes af sted, da bilen forventer dette. Man kan således ikke blot sende 0x55 0x11.

**Register** kommandoen er indført så der lettere kan udføres debugging. Kommandoen efterfølges med en værdi mellem 20 og 25. Hvis der f.eks. skrives "Get Register 25" svarer bilen tilbage med Reply Register og værdien i register 25. I dette tilfælde befinner bilens fart sig i register 25. Dette muliggør at man f.eks. kan tjekke om bilen har modtaget den "SET"besked som skulle starte bilen.

**MapH** og **MapL** er tælleregistrer. Disse to registre udgør tilsammen et 16-bit register som bruges til at tælle antal pulser fra omdrejningssensoren. På denne måde er det muligt at måle hvor langt bilen har kørt. Når den hvide linje krydses sendes værdierne fra disse registre til f.eks. computeren, herefter nulstilles registrene. Dette blev implementeret så der kunne laves test på hvor konsekvent omdrejningssensoren er. Det 16-bit register tillader en teoretisk max bane længde på 327,5m. Hvilket blev diskuteret i afsnit 5 og 6

**Acc** kommandoen bruges til at aflæse ADC'en som er koblet til accelerometeret.

**Speed** kommandoen anvendes hvis man ønsker at måle bilens fart. Denne kommando er blevet implementeret for at kunne debugge i den del af programmet som sørger for at bilen kører med konstant hastighed.

**Error** er svaret på alle ikke kendte beskeder. Dvs. hvis man sender en ikke gyldig kommando til bilen, så svarer den tilbage med 0xBB 0xBB 0xBB.

ATMega32 chippen indeholder et USART modul. USART er et initialord for universal synchronous/asynchronous receiver/transmitter. I dette projekt bruges modulet som UART(universal asynchronous receiver/transmitter). Fordelen ved at benytte asynkron dataoverførsel er at det ikke er nødvendigt med et fælles klokfrekvens. Da der ikke er et fælles klokfrekvens skal hver dataoverførsel indledes med et startbit, efterfulgt af 5-9 data bit og beseden skal slutte med 0-2 stopbit. Det er også muligt at afsende et parity bit. Parity bittet kan bruges til at tjekke om der er fejl i det data som er modtaget. I dette projekt anvendes et start bit, otte data bits og et stop bit. De otte data bit sendes af sted som et hex tal mellem 0x00 og 0xFF. Beskederne til bilen sendes trådløs fra f.eks. en computer via Bluetooth.

## 14 Diskussion

Ved stregsenoren var det vigtigt, at afstanden til banen var så lille som muligt, for at sikre at den hvide linje bliver detekteret. En forbedring kunne være en komparator, for at trigger punktet kunne indstilles til brugerens ønske.

Omdrejningssensoren kunne forbedres ved at montere en skive med flere vifter. Endvidere kunne der bruges et filtersystem så outputtet ville være lettere for microcontrolleren at detektere. Man kunne også have monteret to omdrejningssensorer. På denne måde ville det være muligt at bestemme hvilken vej akslen drejer. Dette kunne være en ekstra sikkerhed i forbindelse med opbremsningen. De to sensorer ville også give mulighed for at måle den køre længde med øget præcision.

Lowpassfilteret som sidder mellem accelerometeret og microcontrolleren kunne højest sandsynlig forbedres. Cut-Off frekvensen som på nuværende tidspunkt er på omkring 1500 Hz skulle have været tilpasset vores behov. Igen kunne man have anvendt komparatører. Disse kunne have været koblet til interrupt pins på microcontrolleren. På denne måde ville det ikke være nødvendigt at læse accelerometeret hele tiden.

Ud fra vores beregninger ville elektromagneten medføre en forringelse af omgangstiden. Ydermere stemmer beregningerne ikke overens med kraftmålingerne af elektromagneten. Det er svært at vide hvorfor at denne forskel er der. Forskellen skyldes bl.a. fluxspredning, fluxfringing, materiale permeabilitet og hvor godt magneten er vundet. F.eks. er det svært at finde permeabiliten for materialet.

## 15 Konklusion

Det er lykkedes at konstruere og programmere en scalextrix bil så den kan køre autonomt på en vilkårlig bane. Der er implementeret en kommunikationsprotokol. Denne tillader at bilens hastighed kan justeres. Det er også muligt at bede bilen om forskellige værdier som f.eks. dens hastighed eller centripetalkraften rundt i svingene. Et problem ved protokollen består i at den skal modtage tre bytes. Hvis bilen f.eks. kun modtager to bytes vil hele programmet stoppe indtil de har modtaget sidste byte. De optiske sensorer vi benytter lever op til de krav vi stillede dem. Den hvide linje detekteres hver omgang og alle pulserne opfanges af omdrejningssensoren. Accelerometeret er meget støjfølsomt og der skal derfor laves meget efterbehandling af outputtet. Man kunne have brugt mere tid på at behandle dataen, såsom filtre. Generelt set er projektet opfyldt, da vi har et færdigt produkt, der er i stand til at køre en vilkårlig bane og øge omgangstiderne gennem intelligent valg af bremsepunkter.

## 16 Perspektivering

Vi har i dette projekt lært og bygge og sammenkoble sensorer og microcontrollere. Ved hjælp af sensorerne har vi givet bilen en form for kunstig intelligens idet bilen er i stand til at reagerer på fysiske ændringer. Dette kan perspektiveres over til mange andre industrier. At kunne sammen kolbe hardware med software og give det mulighed til at reagerer på omgivelserne er grundlaget i næsten alle produkter der indeholder en kontroller. Det er alt lige fra bilen der reagerer på vejens tilstand og farten der køres med, til køleskabet som benytter en temperatur-sensor til at kontrollerer kulden og sørge for at temperaturen er den samme som den viser på displayet.

Specifikt i vores projekt er det nærliggende at perspektiverer til et køretøj der skal køre en rute selv så effektivt som muligt. Her kunne tænkes på robot-lager hvor køretøjer skal kører ting fra A til B af samme eller forskellige ruter. Her skal den køre sikkert men samtidig så effektivt som muligt at tingene kommer hurtigst fra A til B. Dette kræver en styring på nogen områder lig vores. Den skal kunne detekterer sving og sørge for at bremse eller sænke hastigheden så den ikke vælter. Der kunne ligeledes forstilles at den også skulle kommunikerer med de andre robotter gennem Bluetooth eller et lignende netværk for ikke at kører ind i andre og samtidig vide hvor den skal hente/afleverer ting.

Generelt egner selve styring vi har lavet til situationer hvor du har behov for at have noget kørende fra A til B. Især hvis du har behov for at give køretøjet en ny rute engang i mellem, men stadigvæk vil have den kører optimalt. Da vores styring husker banen vil den kører langsomt de første par gange, men derefter vil den kører optimalt da den ved hvor der skal bremses og hvor der skal gives gas.

## 17 Litteraturliste

### 17.1 Kilder

1. Søren Hassing og René Skov Hansen: Elektrofysik (E-ANA 1), supplerende noter.(PDF), Efterår 1997
2. Schoolphysics: Circular Motion, Cars on flat track,  
[http://www.schoolphysics.co.uk/age16-19/Mechanics/Circular%20motion/text/Cars\\_cornering/index.html](http://www.schoolphysics.co.uk/age16-19/Mechanics/Circular%20motion/text/Cars_cornering/index.html) 20/05-2015.
3. Muhammed Ali Mazidi, Sarmad Naimi og Sepehr Naimi: AVR Microcontroller and Embedded System: Using Assembly and C, 2011
4. Atmel, 8-bit AVR: Instruction Set.(PDF),  
[https://e-learn.sdu.dk/bbcswebdav/pid-3951952-dt-content-rid-5381354\\_2/courses/RB-AUR2-U1-1-F15/AVR%20Instruction%20Set%281%29.pdf](https://e-learn.sdu.dk/bbcswebdav/pid-3951952-dt-content-rid-5381354_2/courses/RB-AUR2-U1-1-F15/AVR%20Instruction%20Set%281%29.pdf) 26/05-2015

### 17.2 Datasheets

1. Atmega32A - Atmel,  
[https://e-learn.sdu.dk/bbcswebdav/pid-3951952-dt-content-rid-5381352\\_2/courses/RB-AUR2-U1-1-F15/ATmega32A%20datasheet%281%29.pdf](https://e-learn.sdu.dk/bbcswebdav/pid-3951952-dt-content-rid-5381352_2/courses/RB-AUR2-U1-1-F15/ATmega32A%20datasheet%281%29.pdf) 26/05-2015
2. CNY70 - Vishay,  
<http://www.vishay.com/docs/83751/cny70.pdf> 26/05-2015
3. TCST1230 - Vishay,  
<http://www.vishay.com/docs/83765/t cst1230.pdf> 26/05-2015
4. MMA1270KEG - Freescale Semiconductors,  
[http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/data\\_sheet/MMA1270KEG.pdf](http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MMA1270KEG.pdf)  
26/05-2015
5. L293 - Texas,  
<http://users.ece.utexas.edu/~valvano/Datasheets/L293d.pdf> 26/05-2015

## 18 Ordliste

- Koerciv kraft: den modstående magnetisk intensitet.
- HB-kurve: en hysteresekurve
- Falling edge: Overgang fra højt til lavt.
- Rising edge: Overgang fra lavt til højt.
- Pulldown modstand: Signalet holdet lavt pga. pulldown modstand.
- RPS: Rounds pr. sekund
- RPM: Rounds pr. minut
- PPS: Pulses pr. sekund

## 19 Symbolliste

| Symbol                           | Betydning               | Enhed         |
|----------------------------------|-------------------------|---------------|
| B-felt                           | Flux densitet           | T             |
| H-felt                           | Felt styrke             | $\frac{A}{m}$ |
| $\mu_r$                          | Relativ permeabilitet   | -             |
| $\mu_0$                          | Permeabilitetskonstant  | $\frac{H}{m}$ |
| $F_{magn}$                       | Magnetisk kraft         | N             |
| $\epsilon$                       | Dielektrisk konstant    | -             |
| $f$                              | Frekvens                | Hz            |
| $B_g$                            | Flux densitet i luftgab | T             |
| $B_j$                            | Flux densitet i jern    | T             |
| $H_j$                            | Felt styrke i jern      | $\frac{A}{m}$ |
| $H_g$                            | Felt styrke i luftgab   | $\frac{A}{m}$ |
| $l_j$                            | Middelvejs længde       | m             |
| x                                | Lufgabs højde           | m             |
| I                                | Strøm                   | A             |
| N                                | Viklinger               | -             |
| $A_j$                            | Tværsnits areal         | $m^2$         |
| $U_B$ Magnetisk potentiel energi | J                       |               |

## 20 Bilag

### 20.1 Elektromagnet-kraftmåling

#### Formål

Formålet med denne journal er at undersøge effektiviteten af en elektromagnet. Elektromagneten skal bruges til at holde bilen på banen i sving. Resultatet af denne journal vil bruges i bedømmelsen om hvorvidt en elektromagnet er hensigtsmæssigt på bilen. Der laves en prøve magnet, der har pasform til at kunne placeres under bilen. Samtidig skal der testes for hvor meget kraften falder, i forhold til afstand mellem magneten og banen. Derudover testes den permanente magnet for hvor kraftig den er og sammenlignes herefter med elektromagneten.

#### Materiale liste

- Materiale af stål
- Kobbertråd af 0.25 mm
- Strømforsyning
- Pasco Force sensor
- Bilens permanent magnet
- Magnetisk metal plade
- Papir af 0.2 mm tykkelse
- Program, PASCO capstone
- Computer

#### Opstilling



Figur 19: Forsøgsopstilling for elektromagnet på kraftsensor

1. Der skæres og slibes en magnet af ferromagnetisk materiale.
2. Der vikles vindinger rundt om magneten indtil en bredde på ca. 4mm er opnået.  
Der er 6mm fra bilens undervogn til banen, derfor skal der måles med en afstand på 2mm luftgab.
3. Force sensoren placeres så den kan måle magnetens kraft, når den trækkes af en metalplade.
4. En computer med programmet PASCO capstone bruges til at læse kraftmålingerne.

Forsøget går ud på at lave en elektromagnet der kan sidde under bilen, derfor laves en test magnet med 660 vindinger, da der ikke kan være flere vindinger. En kraftmåler opstilles så den mäter begge elektromagneten ender, der sættes 14V og 1,4A over elektromagneten og kraften mäter nu ved at trække elektromagneten af kraftmåleren. Forsøget gentages nu, med et stykke papir på 0.2mm, dernæst 0,4mm, indtil vi når op på 2mm. Forsøget gentages med Permanentmagneten og målingerne gemmes på computer.

## Data

Data i figur 20 er et forsøg der er gentaget 3 gange og luftgabet er lavet med flere stykker 0.2 mm papir, resultaterne er i Newton.

| Luftgab    | 0     | 0.2   | 0.4   | 0.6   | 0.8   | 1     | 1.2   | 1.4   | 1.6   | 1.8   | 2     |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Forsøg 1   | 1.345 | 1.320 | 1.090 | 1.100 | 1.090 | 1.130 | 1.060 | 1.090 | 0.930 | 0.970 | 0.960 |
| Forsøg 2   | 1.570 | 1.150 | 1.350 | 1.320 | 1.120 | 1.050 | 1.000 | 1.060 | 1.040 | 0.950 | 0.870 |
| Forsøg 3   | 1.000 | 1.440 | 1.350 | 1.100 | 1.200 | 1.200 | 1.200 | 1.100 | 1.000 | 0.930 | 0.980 |
| Gennemsnit | 1.305 | 1.303 | 1.263 | 1.173 | 1.137 | 1.127 | 1.087 | 1.083 | 0.990 | 0.950 | 0.937 |

Figur 20: Elektromagneten

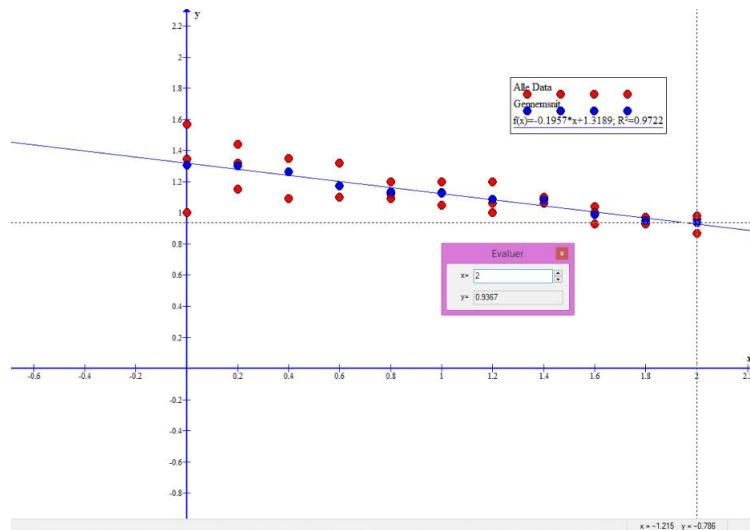
Data i figur 21 er fra målinger af permanentmagneten.

| Luftgab    | 0    | 0.2  | 0.4  | 0.6  | 0.8  | 1.0  | 1.2  | 1.4  | 1.6  | 1.8  | 2    |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Forsøg 1   | 4.20 | 4.82 | 3.34 | 4.17 | 4.12 | 4.14 | 3.25 | 2.97 | 2.18 | 2.52 | 1.65 |
| Forsøg 2   | 4.38 | 4.65 | 4.74 | 4.90 | 4.40 | 4.23 | 3.41 | 2.38 | 2.30 | 2.18 | 1.31 |
| Forsøg 3   | 4.67 | 4.95 | 4.37 | 4.79 | 4.12 | 3.44 | 3.30 | 1.96 | 1.85 | 1.65 | 1.48 |
| Gennemsnit | 4.42 | 4.81 | 4.15 | 4.62 | 4.21 | 3.94 | 3.32 | 2.44 | 2.11 | 2.12 | 1.48 |

Figur 21: Permanentmagneten

## Resultater

Her ligger punkterne over datasættet, hvor de røde punkter er data for alle forsøgene og de



Figur 22: Data sættet for elektromagnet behandlet i graf

blå er gennemsnittet af disse forsøg. Vi får nu at der er en kraft på 0.9367 N, ved luftgabet på 2 mm.

### Udregninger

Vi udregner hvordan elektromagneten ville virke under ideelle forhold, det vil sige hvis, der ikke var nogen fluxspredning i elektromagneten. For udregningerne antages det at materialet er en legering af jern, som ligger mellem 300-500 relativ permeabilitet.

$$H_j l_j + 2 H_g x = IN$$

$$H_j = \frac{B_j}{\mu_0 \mu_r}, H_g = \frac{B_g}{\mu_0}$$

Ved at antage at der ikke er nogen spredning i luftgabet er  $B_g = B_j$  som nu giver:

$$\frac{B_g}{\mu_0 \mu_r} * l_j + 2 * \frac{B_g}{\mu_0} = IN$$

$B_g$  isoleres og nu har vi ligningen:

$$B_g(x) = \frac{\mu_0 IN}{(\frac{l_j}{\mu_r} + 2x)}$$

Da elektromagneten er en jern legering vil permeabiliteten ligge mellem 300-500, derfor regnes  $B_g$  nedre og øvre grænse.

$$B_{g,Min}(x) = \frac{1,256 \cdot 10^{-6} \cdot 1,4 \cdot 660}{\frac{0,07m}{300} + 2 \cdot 0,002m} = 0,27T$$

$$B_{g,Max}(x) = \frac{1,256 \cdot 10^{-6} \cdot 1,4 \cdot 660}{\frac{0,07m}{500} + 2 \cdot 0,002m} = 0,28T$$

Her kan vi se at forskellen i permeabiliteten ikke har den store betydning når det kommer til udregning af magnetisk induktion (B) og Magnetisk feltstyrke (H). De næste beregninger gælder for luftgab:

$$U_B = \frac{1}{2\mu_0} * \frac{(\mu_0 IN)^2}{(\frac{l_j}{\mu_r} + 2x)^2} * A_j * x$$

Den magnetiske kraft kan findes ud fra  $F_{magn,x} = \frac{dU_B}{dx}$

Hvilket giver:

$$F_{magn,x} = A_j * \frac{(\mu_0 IN)^2}{2\mu_0} * \frac{1}{(\frac{l_j}{\mu_r} + 2x)^2} + x * (-2) * \frac{2}{(\frac{l_j}{\mu_r} + 2x)^3}$$

Eller ved at reducere udtrykket:

$$F_{magn}(x) = -\frac{B_g^2}{2\mu_0} * A_j * \left( \frac{\frac{4x}{l_j}}{\mu_r + 2x} - 1 \right)$$

Nu kan kraften ideelt set regnes ud:

$$F_{magn,Min} = -\frac{0,27T^2}{2*1,256*10^{-6}} * 4,5m^2 * 10^{-5} * \left( \frac{\frac{4*0,002m}{0,07m}}{\frac{300}{500} + 2*0,002m} - 1 \right) = -1,1619N$$

$$F_{magn,Max} = -\frac{0,28T^2}{2*1,256*10^{-6}} * 4,5m^2 * 10^{-5} * \left( \frac{\frac{4*0,002m}{0,07m}}{\frac{500}{500} + 2*0,002m} - 1 \right) = -1,309N$$

Minustegnet indikerer at kraften virker nedad i samme retning som tyngdekraften.

## Konklusion

Ud fra data og beregninger kan man hurtigt konkludere at elektromagneten ikke er ideel, da der er et tab på 0,2249 – 0,372N ved en afstand på 0,2 mm fra skinnerne. Tabet er blandt andet fluxspredning og fluxfringing. Derudover kan man se på dataerne fra permanentmagneten at de falder og stiger hurtigt og er meget varierende, men som udgangspunkt går vi ud fra at de er rigtige. Permanentmagneten er 0,543N stærkere end elektromagneten ved de 0,2 mm afstand fra banen.

## 20.2 Beregning af gearing

For at udregne hvor langt hjulet drejer på en puls og hvor mange pulser der skal til for at hjulet drejer en hel omgang skal gearing udregnes.

Dette udregnes ved at kigge på de 4 tandhjul, som er henholdsvis gear 1 og 2. Der kigges på begge gearing og deres tænder tælles. Ved at dividere værdierne fås forholdet mellem tandhjulene.

Dette har givet følgende forhold:

$$Gear1 = 10/14 = 0,7143$$

$$Gear2 = 9/127 = 0,3333$$

Liges gearene sammen:

$$Gear1 * Gear2 = 0,7143 * 0,3333 = 0,2381$$

Dette betyder at når motoren har drejet en omgang så har hjulet drejet 0,2381 omgange.

Når sensoren giver en puls, har hjulet derfor drejet:  $\frac{0,2381}{4} = 0,0595 \text{ omgange}$

Da hjulet er 8,5 cm i omkreds så svarer 1 puls til:  $0,0595 * 8,5 = 0,50595 \text{ cm}$

### 20.2.1 Periodetid ved 4 m/s

Her udregnes periode tiden for signalet ved en hastighed på  $4 \text{ m/s}$ :  $\frac{4 \text{ m/s}}{0,085 \text{ m}} = 47,1 \text{ RPS}$ <sup>12</sup>

Når hjulet har kørt en omgang har motoren altså kørt:  $(\frac{27}{9}) * (\frac{14}{10}) = 4,2$

Så motoren kører:  $47,1 \text{ RPS} * 4,2 = 197,82 \text{ RPS} = 11869,2 \text{ RPM}$

Så der er:  $197,82 \text{ RPS} * 4 = 791,28 \text{ PPS}$ <sup>13</sup>

Dette giver altså en periodetid på:  $1,26 \text{ ms}$  ved en hastighed på  $4 \text{ m/s}$

## 20.3 Lookup Table - Bremse Værdi

Lookup-tabellen er udregnet på følgende måde:

$$Hastighed = \frac{0,00506}{(Periodetid * (256/16000000))}$$

Hastigheden udregnes ved at dividere distancen der køres på én puls med periodetiden multipliceret med prescalaren divideret med klokfrekvensen. Dette vil give hastigheden i meter pr. sekund.

Herefter kan bremselængden udregnes i meter vha. formlen fra afsnit 12:

<sup>12</sup>Se ordliste i afsnit 18

<sup>13</sup>Se ordliste i afsnit 18

$$\frac{2,6 - Hastighed}{2 * -22}$$

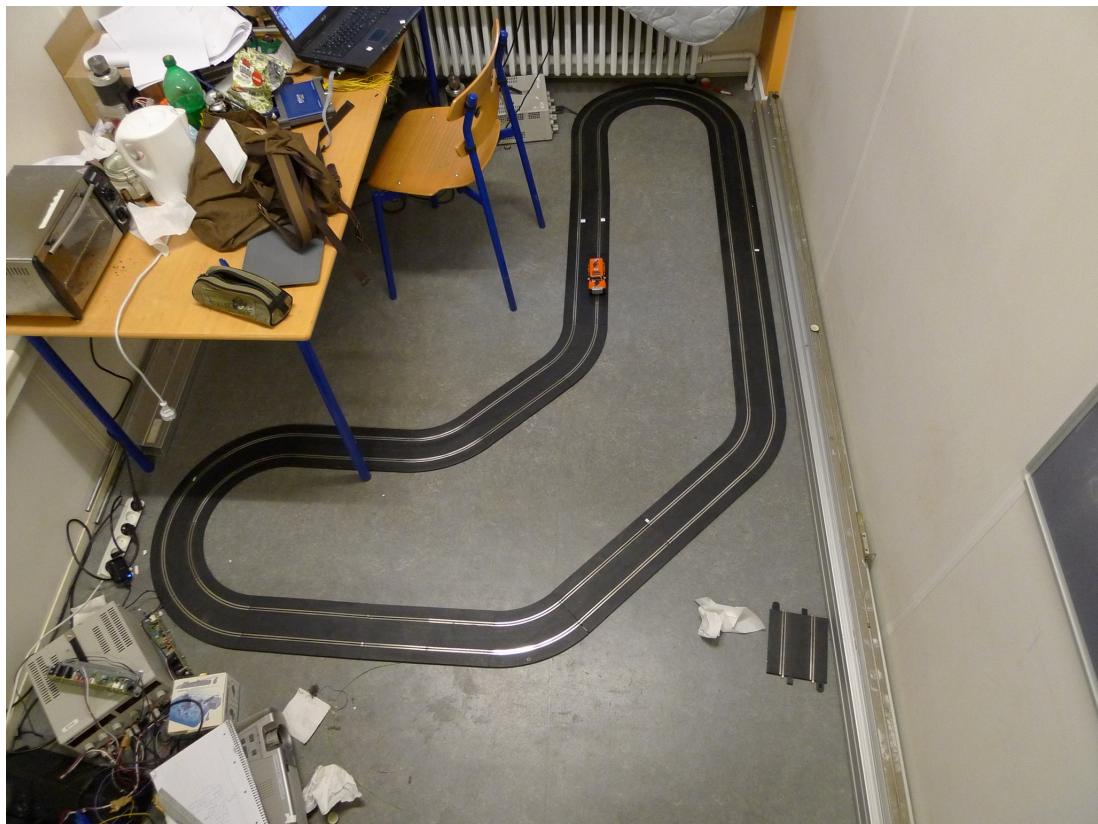
Herefter kan bremselængden omregnes fra enheden meter til pulser, da én puls er lig med 0,005m.

$$Pulser = \frac{Bremseleangde(m)}{0,00506}$$

| Periodetid | Hastighed(m/s) | Bremselængde(m) | Bremselængde(pulse) | Prescalar |
|------------|----------------|-----------------|---------------------|-----------|
| 76         | 4,161          | 0,034572368     | 7                   |           |
| 77         | 4,107          | 0,033344156     | 7                   |           |
| 78         | 4,054          | 0,032147436     | 6                   |           |
| 79         | 4,003          | 0,030981013     | 6                   |           |
| 80         | 3,953          | 0,02984375      | 6                   |           |
| 81         | 3,904          | 0,028734568     | 6                   |           |
| 82         | 3,857          | 0,027652439     | 5                   |           |
| 83         | 3,810          | 0,026596386     | 5                   |           |
| 84         | 3,765          | 0,025565476     | 5                   |           |
| 85         | 3,721          | 0,024558824     | 5                   |           |
| 86         | 3,677          | 0,023575581     | 5                   |           |
| 87         | 3,635          | 0,022614943     | 4                   |           |
| 88         | 3,594          | 0,021676136     | 4                   |           |
| 89         | 3,553          | 0,020758427     | 4                   |           |
| 90         | 3,514          | 0,019861111     | 4                   |           |
| 91         | 3,475          | 0,018983516     | 4                   |           |
| 92         | 3,438          | 0,018125        | 4                   |           |
| 93         | 3,401          | 0,017284946     | 3                   |           |
| 94         | 3,364          | 0,016462766     | 3                   |           |
| 95         | 3,329          | 0,015657895     | 3                   |           |
| 96         | 3,294          | 0,014869792     | 3                   |           |
| 97         | 3,260          | 0,014097938     | 3                   |           |
| 98         | 3,227          | 0,013341837     | 3                   |           |
| 99         | 3,194          | 0,01260101      | 2                   |           |
| 100        | 3,163          | 0,011875        | 2                   |           |
| 101        | 3,131          | 0,011163366     | 2                   |           |
| 102        | 3,100          | 0,010465686     | 2                   |           |
| 103        | 3,070          | 0,009781553     | 2                   |           |
| 104        | 3,041          | 0,009110577     | 2                   |           |
| 105        | 3,012          | 0,008452381     | 2                   |           |
| 106        | 2,983          | 0,007806604     | 2                   |           |
| 107        | 2,956          | 0,007172897     | 1                   |           |
| 108        | 2,928          | 0,006550926     | 1                   |           |
| 109        | 2,901          | 0,005940367     | 1                   |           |
| 110        | 2,875          | 0,005340909     | 1                   |           |
| 111        | 2,849          | 0,004752252     | 1                   |           |
| 112        | 2,824          | 0,004174107     | 1                   |           |
| 113        | 2,799          | 0,003606195     | 1                   |           |
| 114        | 2,774          | 0,003048246     | 1                   |           |
| 115        | 2,750          | 0,0025          | 0                   |           |
| 116        | 2,726          | 0,001961207     | 0                   |           |
| 117        | 2,703          | 0,001431624     | 0                   |           |
| 118        | 2,680          | 0,000911017     | 0                   |           |
| 119        | 2,658          | 0,00039916      | 0                   |           |
| 120        | 2,635          | -0,000104167    | 0                   |           |

Tabel 4: Table med udregnede værdier for hurtig brug

## 20.4 Testbane Billede



Figur 23: Billede af testbanen hvor accelerometeret testet på.

## 20.5 Udrag af MMA1270KEG datablad

**Freescale Semiconductor**  
Technical Data

MMA1270KEG  
Rev 0, 11/2009



### Low G Micromachined Accelerometer

The MMA series of silicon capacitive, micromachined accelerometers feature signal conditioning, a 2-pole low pass filter and temperature compensation. Zero-g offset full scale span and filter cut-off are factory set and require no external devices. A full system self-test capability verifies system functionality.

#### Features

- Integral Signal Conditioning
- Linear Output
- 2nd Order Bessel Filter
- Calibrated Self-test
- EPROM Parity Check Status
- Transducer Hermetically Sealed at Wafer Level for Superior Reliability
- Robust Design, High Shock Survivability
- Qualified AEC-Q100, Rev. F Grade 2 (-40°C/ +105°C)

#### Typical Applications

- Vibration Monitoring and Recording
- Appliance Control
- Mechanical Bearing Monitoring
- Computer Hard Drive Protection
- Computer Mouse and Joysticks
- Virtual Reality Input Devices
- Sports Diagnostic Devices and Systems

### MMA1270KEG

MMA1270KEG: Z-AXIS SENSITIVITY  
MICROMACHINED  
ACCELEROMETER  
 $\pm 2.5g$



KEG SUFFIX (Pb-FREE)  
16-LEAD SOIC  
CASE 475-01

#### ORDERING INFORMATION

| Device Name   | Temperature Range | Case No. | Package              |
|---------------|-------------------|----------|----------------------|
| MMA1270EG     | -40° to 105°C     | 475-01   | SOIC-16              |
| MMA1270EGR2   | -40° to 105°C     | 475-01   | SOIC-16, Tape & Reel |
| MMA1270KEG*   | -40° to 105°C     | 475-01   | SOIC-16              |
| MMA1270KEGR2* | -40° to 105°C     | 475-01   | SOIC-16, Tape & Reel |

\*Part number sourced from a different facility.

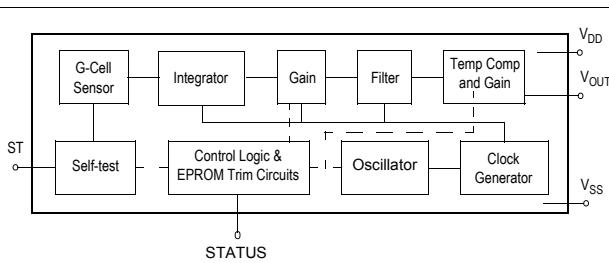


Figure 1. Simplified Accelerometer Functional Block Diagram

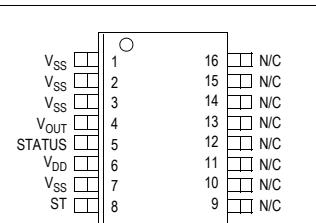


Figure 2. Pin Connections

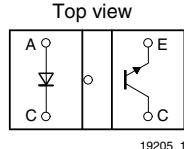
## 20.6 Udrag af TCST1230 datablad


**TCST1230**

Vishay Semiconductors

### Transmissive Optical Sensor with Phototransistor Output

21833



#### FEATURES

- Package type: leaded
- Detector type: phototransistor
- Dimensions (L x W x H in mm): 9.2 x 4.8 x 5.4
- Gap (in mm): 2.8
- Aperture (in mm): 0.5
- Typical output current under test:  $I_C = 2 \text{ mA}$
- Daylight blocking filter
- Emitter wavelength: 950 nm
- Lead (Pb)-free soldering released
- Material categorization: For definitions of compliance please see [www.vishay.com/doc?99912](http://www.vishay.com/doc?99912)


**RoHS**  
COMPLIANT

#### DESCRIPTION

The TCST1230 is a transmissive sensor that includes an infrared emitter and phototransistor, located face-to-face on the optical axes in a leaded package which blocks visible light.

#### APPLICATIONS

- Optical switch
- Shaft encoder
- Detection of opaque material such as paper
- Detection of magnetic tapes

#### PRODUCT SUMMARY

| PART NUMBER | GAP WIDTH (mm) | APERTURE WIDTH (mm) | TYPICAL OUTPUT CURRENT UNDER TEST <sup>(1)</sup> (mA) | DAYLIGHT BLOCKING FILTER INTEGRATED |
|-------------|----------------|---------------------|---|-------------------------------------|
| TCST1230    | 2.8            | 0.5                 | 2   | Yes                                 |

#### Note

- Conditions like in table basic characteristics/coupler

#### ORDERING INFORMATION

| ORDERING CODE | PACKAGING | VOLUME <sup>(1)</sup>      | REMARKS |
|---------------|-----------|----------------------------|---------|
| TCST1230      | Tube      | MOQ: 4800 pcs, 60 pcs/tube | -       |

#### Note

- MOQ: minimum order quantity

#### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ( $T_{amb} = 25^\circ\text{C}$ , unless otherwise specified)

| PARAMETER                 | TEST CONDITION                                   | SYMBOL    | VALUE         | UNIT |
|---------------------------|--|-----------|---------------|------|
| <b>COUPLER</b>            |  |           |               |      |
| Total power dissipation   | $T_{amb} \leq 25^\circ\text{C}$                  | $P_{tot}$ | 250           | mW   |
| Ambient temperature range |  | $T_{amb}$ | - 25 to + 85  | °C   |
| Storage temperature range |  | $T_{stg}$ | - 40 to + 100 | °C   |
| Soldering temperature     | Distance to package 1.6 mm, $t \leq 5 \text{ s}$ | $T_{sd}$  | 260           | °C   |
| <b>INPUT (EMITTER)</b>    |  |           |               |      |
| Reverse voltage           |  | $V_R$     | 6             | V    |
| Forward current           |  | $I_F$     | 60            | mA   |
| Forward surge current     | $t_p \leq 10 \mu\text{s}$                        | $I_{FSM}$ | 3             | A    |
| Power dissipation         | $T_{amb} \leq 25^\circ\text{C}$                  | $P_V$     | 100           | mW   |
| Junction temperature      |  | $T_j$     | 100           | °C   |



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

**TCST1230**

Vishay Semiconductors

| <b>ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS</b> ( $T_{amb} = 25^\circ\text{C}$ , unless otherwise specified) |                                 |           |       |                  |
|--|---------------------------------|-----------|-------|------------------|
| PARAMETER  | TEST CONDITION                  | SYMBOL    | VALUE | UNIT             |
| <b>OUTPUT (DETECTOR)</b>   |                                 |           |       |                  |
| Collector-emitter voltage  |                                 | $V_{CEO}$ | 70    | V                |
| Emitter-collector voltage  |                                 | $V_{ECO}$ | 7     | V                |
| Collector current  |                                 | $I_C$     | 100   | mA               |
| Power dissipation  | $T_{amb} \leq 25^\circ\text{C}$ | $P_V$     | 150   | mW               |
| Junction temperature   |                                 | $T_j$     | 100   | $^\circ\text{C}$ |

#### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

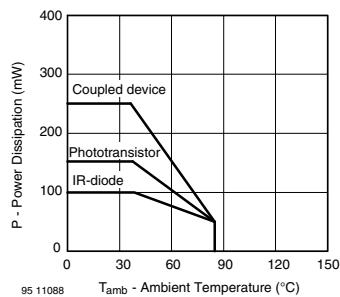


Fig. 1 - Power Dissipation Limit vs. Ambient Temperature

| <b>BASIC CHARACTERISTICS</b> ( $T_{amb} = 25^\circ\text{C}$ , unless otherwise specified) |  |             |      |      |      |               |
|---|--|-------------|------|------|------|---------------|
| PARAMETER   | TEST CONDITION   | SYMBOL      | MIN. | TYP. | MAX. | UNIT          |
| <b>COUPLER</b>  |  |             |      |      |      |               |
| Collector current   | $V_{CE} = 10\text{ V}$ , $I_F = 20\text{ mA}$  | $I_C$       | 0.5  |      | 14   | mA            |
| Collector-emitter saturation voltage  | $I_F = 20\text{ mA}$ , $I_C = 0.2\text{ mA}$   | $V_{CEsat}$ |      |      | 0.4  | V             |
| <b>INPUT (EMITTER)</b>  |  |             |      |      |      |               |
| Forward voltage   | $I_F = 60\text{ mA}$   | $V_F$       |      | 1.25 | 1.5  | V             |
| Junction capacitance  | $V_R = 0\text{ V}$ , $f = 1\text{ MHz}$  | $C_J$       |      | 50   |      | pF            |
| <b>OUTPUT (DETECTOR)</b>  |  |             |      |      |      |               |
| Collector-emitter voltage   | $I_C = 1\text{ mA}$  | $V_{CEO}$   | 70   |      |      | V             |
| Emitter-collector voltage   | $I_E = 10\text{ }\mu\text{A}$  | $V_{ECO}$   | 7    |      |      | V             |
| Collector dark current  | $V_{CE} = 25\text{ V}$ , $I_F = 0\text{ A}$ , $E = 0\text{ lx}$                        | $I_{CEO}$   |      | 10   | 100  | nA            |
| <b>SWITCHING CHARACTERISTICS</b>  |  |             |      |      |      |               |
| Turn-on time  | $I_C = 1\text{ mA}$ , $V_{CE} = 5\text{ V}$ , $R_L = 100\text{ }\Omega$ (see figure 2) | $t_{on}$    |      | 15   |      | $\mu\text{s}$ |
| Turn-off time   | $I_C = 1\text{ mA}$ , $V_{CE} = 5\text{ V}$ , $R_L = 100\text{ }\Omega$ (see figure 2) | $t_{off}$   |      | 10   |      | $\mu\text{s}$ |



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

**TCST1230**

Vishay Semiconductors

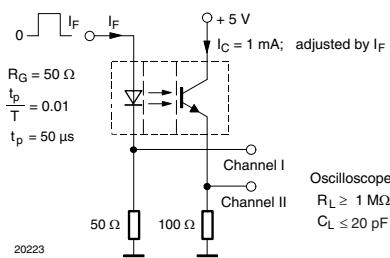


Fig. 2 - Test Circuit for  $t_{on}$  and  $t_{off}$

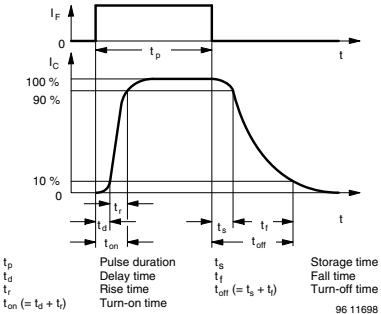


Fig. 3 - Switching Times

#### BASIC CHARACTERISTICS ( $T_{amb} = 25^\circ C$ , unless otherwise specified)

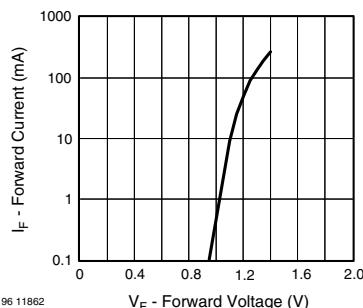


Fig. 4 - Forward Current vs. Forward Voltage

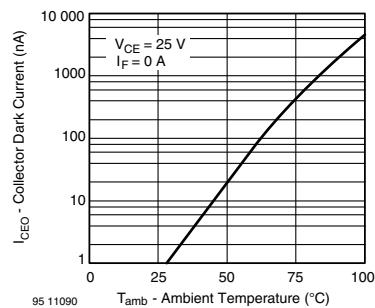


Fig. 6 - Collector Dark Current vs. Ambient Temperature

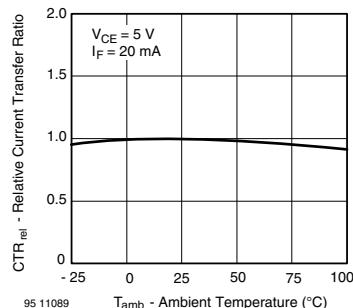


Fig. 5 - Relative Current Transfer Ratio vs. Ambient Temperature

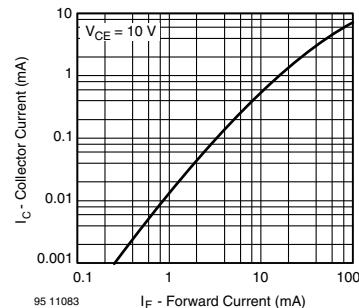


Fig. 7 - Collector Current vs. Forward Current



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

**TCST1230**

Vishay Semiconductors

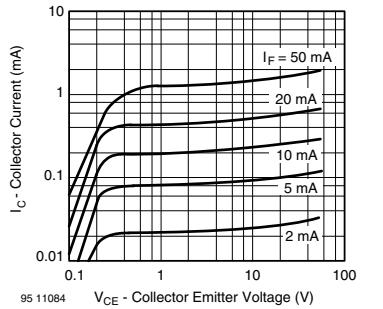


Fig. 8 - Collector Current vs. Collector Emitter Voltage

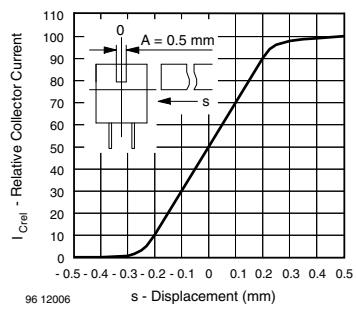


Fig. 11 - Relative Collector Current vs. Displacement

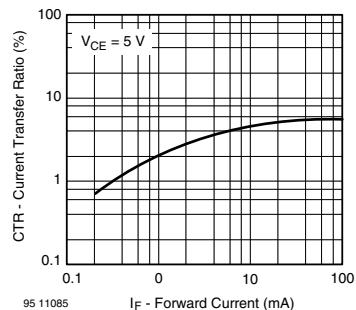


Fig. 9 - Current Transfer Ratio vs. Forward Current

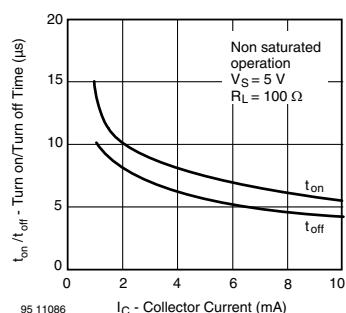


Fig. 10 - Turn-on/Turn-off Time vs. Collector Current