

TESTSTAND TIL BØRSTELØS DC MOTOR

BACHELORPROJEKT

PROJEKTDOKUMENTATION

SEYYID ÖZTOPRAK — 201270314

SIMON L. MADSEN — 201081227

Indholdsfortegnelse

Kapitel 1 Kravspecifikation	1
1.1 Revisionshistorie	1
1.2 Introduktion	1
1.3 Indhold	1
1.4 Systembeskrivelse	1
1.5 Funktionelle Krav	3
1.5.1 Aktør Beskrivelse	3
1.5.2 Use Case 1: Test med konstant moment	4
1.5.3 Use Case 2: Gem Datahistorik	5
1.6 Ikke-funktionelle Krav	6
1.6.1 Elektro-mekaniske system	6
1.6.2 Kontrolenheden	6
1.6.3 Brugergrænseflade	6
1.6.4 Gemt datahistorik	7
1.6.5 Krav til implementering	7
1.6.6 Krav til miljø	7
1.6.7 Krav til udviklingsproceses	7
1.6.8 Krav til eksterne grænseflader	7
1.6.9 Prototype på en brugergrænseflade	8
Kapitel 2 Systemarkitektur	10
2.1 Revisionshistorie	10
2.2 Indledning	10
2.2.1 Formål	10
2.2.2 Refereret dokumentation	10
2.3 Systemkomponenter	11
2.4 System design	11
2.5 Arkitektur for Teststand	12
2.5.1 Blokbeskrivelse for Teststand	12
2.5.2 Overordnet allokeringsdiagram for systemet	13
2.5.3 Yderligere nedbrydning af systemet	13
Kapitel 3 Hardware Design & Implementering	21
3.1 Revisionshistorie	21
3.2 Introduktion	21
3.2.1 Formål	21
3.3 Blokdiagram	22
3.4 Detaljeret Design, Implementering og Enhedstest	23
3.5 RS232/TCP Converter	23
3.6 Computer	24

3.7 Kontrolenhed	25
3.8 DC forsyning	27
3.9 Sensorer	32
3.10 Effekttransducer	32
3.11 Momenttransduceren	43
3.12 Belastningskredsløb	52
3.13 Det implementerede system	78
Kapitel 4 Software design & implementering	83
4.1 Revisionshistorie	83
4.2 Introduktion	83
4.3 Formål	83
4.4 Programstruktur	84
4.5 Data processering	89
4.6 Sampling	90
4.7 Regulering	92
4.8 Hastighedsmåling	101
4.9 Brugergrænseflade	104
4.10 Datalogning	107
4.11 Kommunikation	108
Kapitel 5 Integrationstest	114
5.1 Test Case 1 – Måling af Elektrisk tilført effekt	114
5.2 Test Case 2 – Måling af Mekanisk effekt	116
5.3 Test Case 3 – Måling af Elektrisk effektforbrug	118
5.4 Test Case 4 – Måling af Virkningsgrad	119
5.5 Test Case 5 – Beskyttelse mod overbelastning med Strømovervågning	121
5.6 Test Case 6 – Styring af strøm i Belastningskreds	122
5.7 Test Case 7 – Reguleringen	123
5.8 Test Case 8 – Kommunikation mellem Brugergrænseflade og PSoC	125
Kapitel 6 Accepttestspezifikation	127
6.1 Revisionshistorie	127
6.2 Introduktion	127
6.2.1 Formål	127
6.2.2 Reference	127
6.2.3 Omfang	127
6.2.4 Godkendelseskriterier	128
6.3 Testspezifikation	128
6.3.1 Hardware- og softwarekomponenter	128
6.3.2 Testsystemet	129
6.4 Testprocedure	130
6.5 Funktionelle krav	131
6.5.1 Test Case 1: Test med konstant moment	131
6.5.2 Test Case 2: Gem Datahistorik	132
6.6 Fejlrapport	133
6.7 Testresultat	134

Kapitel 7 Bilag	135
7.1 Indhold i vedhæftede bilag	135

Kravspecifikation 1

1.1 Revisionshistorie

Version	Dato	Initialer	Beskrivelse
1.00	29.05.2015	IO & SLM	Første version
2.00	25.08.2015	IO & SLM	Rettelser foretaget
3.00	08.09.2015	IO & SLM	Rettelser efter 1. review
4.00	10.09.2015	IO & SLM	Rettelser efter 2. review
5.00	31.10.2015	IO & SLM	Opdatering efter møde med kunden

1.2 Introduktion

Ud fra en analyse af opgaveformuleringen samt systemønsker, er der udarbejdet en række use cases. Disse use cases beskriver brugerens interaktion med systemet, og beskriver systemets funktionelle krav. For at beskrive kravene til systemet, der ikke er relateret til brugerinteraktion, er afsnittet ikke-funktionelle krav udarbejdet.

1.3 Indhold

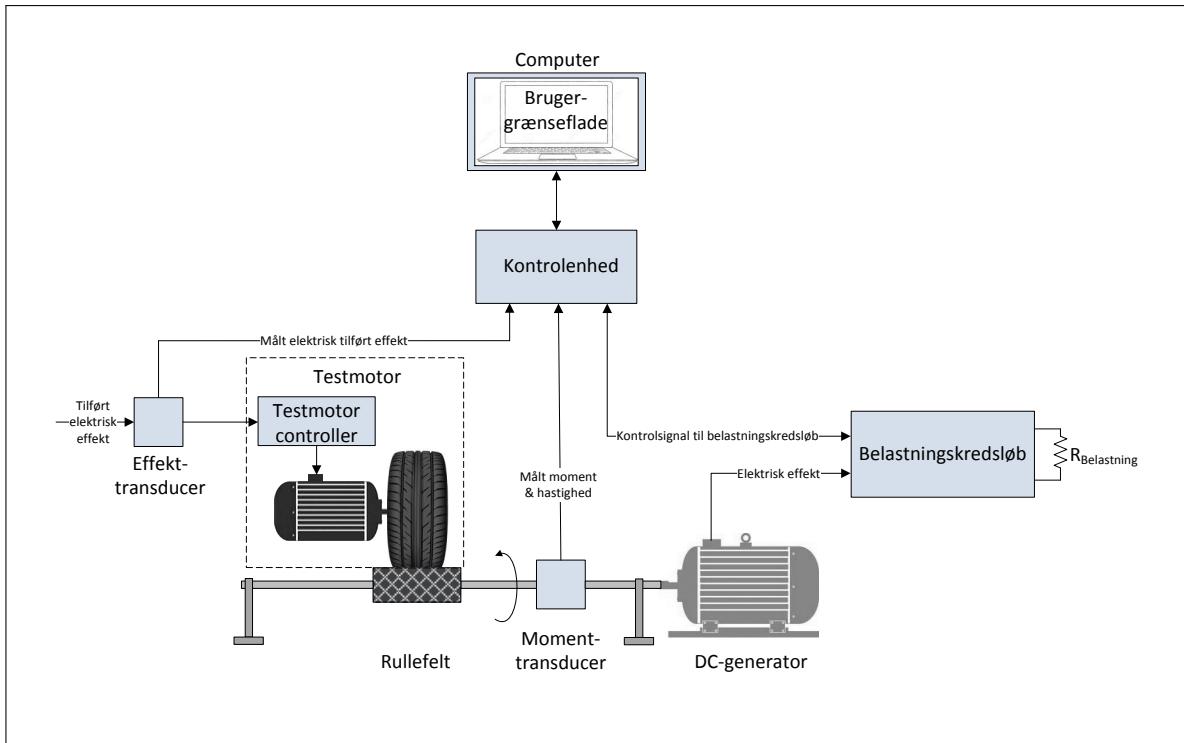
Dette dokument indeholder:

- Beskrivelse af funktionelle krav ved brug af use cases
- Beskrivelse af ikke-funktionelle krav

1.4 Systembeskrivelse

Teststanden's overordnede funktionalitet er at kunne belaste en given testmotor. Systemet skal kunne måle bilmotorens effektivitet og energioptag, ved forskellige styringsalgoritmer af testmotoren. Testmotoren belastes så den yder et ønsket moment. Målingerne der optages under test, skal efter testen være færdig kunne gemmes.

Systemet skal regulere momentet på baggrund af input fra en momenttransducer, der er monteret på den mekaniske aksel. Brugeren af systemet skal således kunne specificere momentet som systemet efterfølgende regulerer efter. Indstillingen af systemet sker gennem en brugergrænseflade, som placeres i nærheden af systemet. Figur 1.1 er en oversigt over teststanden, med en beskrivelse af funktionaliteten af de enkelte blokke.



Figur 1.1. Skitse over teststanden

Testmotor: Testmotoren er den motor systemet skal teste. Motoren overfører mekanisk effekt til systemet. Testmotoren kan kobles direkte på den mekaniske aksel, eller overføre energi via rullefeltet. Motoren er en ekstern enhed, der interagere med systemet.

Effekttransducer: Effekttransduceren optager måling af den elektriske tilførte effekt til testmotoren. Den målte effekt anvendes til at finde virkningsgraden på testmotoren.

Testmotor controller: Brugeren benytter testmotor controlleren til at styre testmotoren. Controlleren er en ekstern enhed, der interagere med systemet.

Rullefeltet: Via rullefeltet overføres den mekaniske effekt fra testmotoren til systemet.

Momenttransducer: Momenttransduceren optager måling af den mekanisk overførte effekt på akslen.

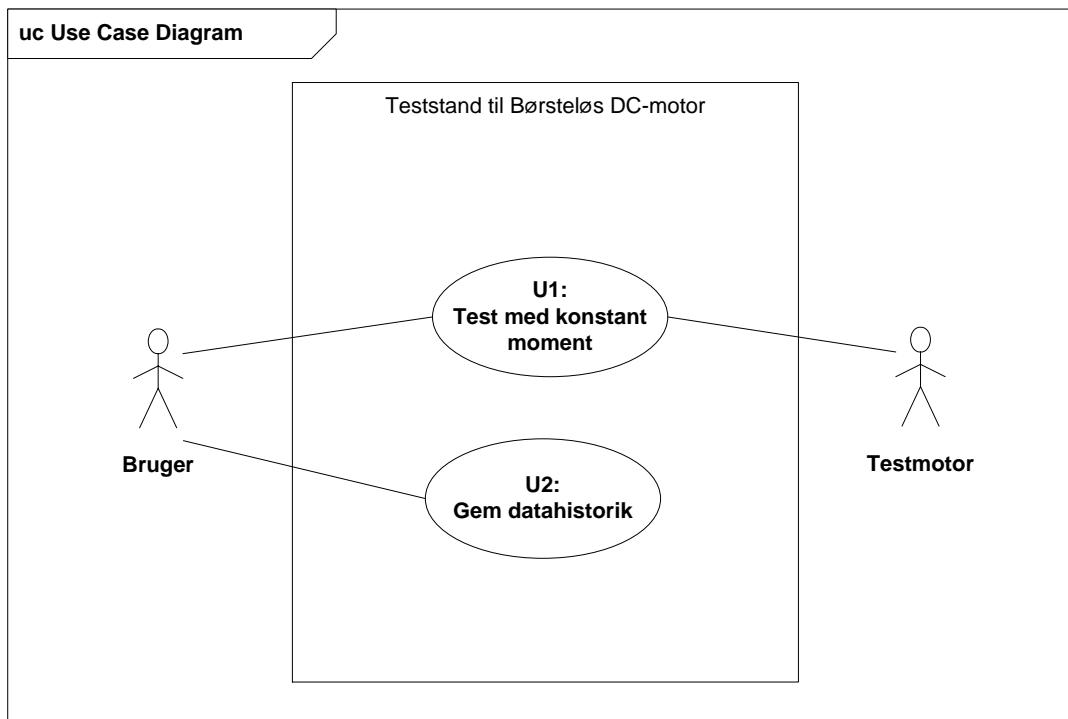
DC-generator: DC-generatoren omsætter den mekaniske effekt til elektrisk effekt.

Belastningskredsløb: Vha. belastningskredsløb reguleres mængden af elektrisk effekt der skal afsættes i belastningsmodstanden.

Kontrolenhed: Kontrolenheden er ansvarlig for sampling af data og reguleringen af systemet.

Computeren: På computeren ligger brugergrænsefladen, der er brugerens tilgang til systemet. Via brugergrænsefladen kan brugeren fortage indstillinger af systemet og få vist live-data fra testen. Det er på computeren at data, der er optaget under test, kan gemmes.

1.5 Funktionelle Krav



Figur 1.2. Use Case diagram for systemet

1.5.1 Aktør Beskrivelse

Navn på aktør:	Bruger
Alternativ reference:	-
Type:	Primær
Beskrivelse:	Brugeren kan foretage test på en testmotor ved anvendelse af systemet.
Navn på aktør:	Testmotor
Alternativ reference:	BLDC motor, Drivlinje, Bilen elmotor
Type:	Sekundær
Beskrivelse:	Testmotor er den aktør som systemet skal kunne teste. Aktøren påvirker systemet med en mekanisk effekt.

1.5.2 Use Case 1: Test med konstant moment

Navn:	Test med konstant moment
Use case ID:	UC1
Initiering:	Brugeren initierer denne use case
Aktører og Interessenter:	Bruger, Testmotor
Samtidige forekomster:	Ingen
Prækondition:	Brugeren er tilsluttet kontrolenheden med sin computer, systemet er tændt og testmotoren er tilkoblet systemet
Postcondition:	Testen er blevet udført, hvor testmotoren er blevet belastet med det moment, som brugeren har indtastet som setpunkt
Hovedscenarie:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Brugeren aktiverer brugergrænsefladen 2. Hovedmenuen vises (Udvidelse 2a: En af undermenuerne vises) 3. Menuen kan anvendes 4. Brugeren trykker på knappen "Konstant Moment" 5. Brugeren ender i undermenuen "Konstant Moment" 6. Brugeren indtaster et moment og trykker "Start" 7. Systemet vil regulere således at motoren belastes med det indtastede moment (Udvidelse 7a: Belastningen er for stor) 8. Brugeren trykker på knappen "Stop" 9. Testen afsluttes
Udvidelser:	<p>(Udvidelse 2a: En af undermenuerne vises)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hvis brugeren ønsker at gå tilbage til hovedmenuen trykkes der på knappen "Tilbage" <p>(Udvidelse 7a: Belastningen er for stor)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Testen afbrydes

1.5.3 Use Case 2: Gem Datahistorik

Navn:	Gem Datahistorik
Use case ID:	UC2
Initiering:	Brugeren initierer denne use case
Aktører og Interessenter:	Bruger
Samtidige forekomster:	Ingen
Prækondition:	Der er modtaget data fra UC1 Brugeren er tilsluttet kontrolenheden med sin computer
Postkondition:	Brugeren har fået gemt testdata for udført test
Hovedscenarie:	<ol style="list-style-type: none">1. Brugeren logger på kontrolenheden via computer2. Bruger trykker på fanen "Gem Datahistorik"3. Brugeren ender i undermenuen "Gem Datahistorik" (Udvidelse 3a: En af undermenuerne vises)4. Brugeren trykker på knappen "Gem"5. Beskeden "Data er gemt" vises6. Brugeren trykker på knappen "Tilbage"7. Brugeren kan nu tilgå de gemte data, der ligger i samme mappe som brugergrænseflade-programmet.
Udvidelser:	(Udvidelse 3a: En af undermenuerne vises) <ul style="list-style-type: none">• Hvis brugeren ønsker at gå tilbage til hovedmenuen trykkes der på knappen "Tilbage"

1.6 Ikke-funktionelle Krav

Dette afsnit beskriver de ikke-funktionelle krav for systemet.

1.6.1 Elektro-mekaniske system

Momenttransducer

- Skal kunne måle moment på akslen i området 0 - 5 Nm
- Skal kunne måle hastighed på akslen i område 0 - 6000 omdr./min
- Skal have en nøjagtighed på 1 %
- Signaloutput for momentet skal være analogt
- Signaloutput for hastigheden skal være digitalt

Belastningskredsløb

- Skal kunne afsætte elektrisk effekt på 500 W
- Mængden af effekt der skal afsættes skal kunne styres vha. PWM-signal
- Skal kunne måle strømmen i belastningskredsen på op til 21 A
- Skal kunne udkoble ved for høj belastning

DC-Generator

- Skal kunne levere en elektrisk effekt på 500 W, ved en spænding i intervallet 24-100 V
- Skal være en generator med permanente magneter

Effekttransducer

- Skal kunne måle elektrisk tilført effekt på 500 W
- Skal kunne måle elektrisk strøm på 10 A
- Skal kunne måle elektrisk spænding på 50 V
- Skal have en nøjagtighed på 1 %
- Signaloutput skal være analogt

1.6.2 Kontrolenheden

- Skal kunne foretage 20.000 samples/s
- Reguleringen skal have en nøjagtighed på 1 % i forhold til brugerens indtastede setpunkt

1.6.3 Brugergrænseflade

- Skal have én hovedmenu og to undermenuer:
 - Undermenu 1: Test med konstant moment
 - Undermenu 2: Gem datahistorik
- Det aktuelle omdrejningstal, moment, effekt og virkningsgrad skal kunne ses i undermenuen for test.

1.6.4 Gempt datahistorik

- Data gemmes på computeren
- Skal kan indeholde data for 60 sekunders test
- Skal indeholde 5 samples/s for hver datatype
- Data gemmes efter type:
 - Moment (Nm)
 - Hastighed (rad/sek)
 - Mekanisk Effekt (W)
 - Elektrisk tilført Effekt (W)
 - Virkningsgrad (η)
 - Elektrisk energiforbrug (Wh)
- Alle datatyper gemmes, uanset hvilken test der er foretaget
- Skal gemmes i filformat der er kompatibelt med Microsoft Excel 2013

1.6.5 Krav til implementering

- Systemet skal være transporterbart
- Systemet skal kunne flyttes af 2 personer
- Systemet må bestå af to enkelte moduler, der let kan samles

1.6.6 Krav til miljø

- Systemet skal kunne fungere i temperaturintervaller 5°C - 30°C
- Systemet designes til indendørs brug

1.6.7 Krav til udviklingsproceses

- ASE modellen
 - Semesterprojekt modellen
- Udvalgte dele af SCRUM
- Dokumentation
 - Skrives på dansk
 - Der anvendes SysML
 - Der anvendes L^AT_EX
- Mulige teknologier og værktøjer
 - PSoC Creator 3
 - Linux Ubuntu
 - Matlab/Simulink
 - TexMaker

1.6.8 Krav til eksterne grænseflader

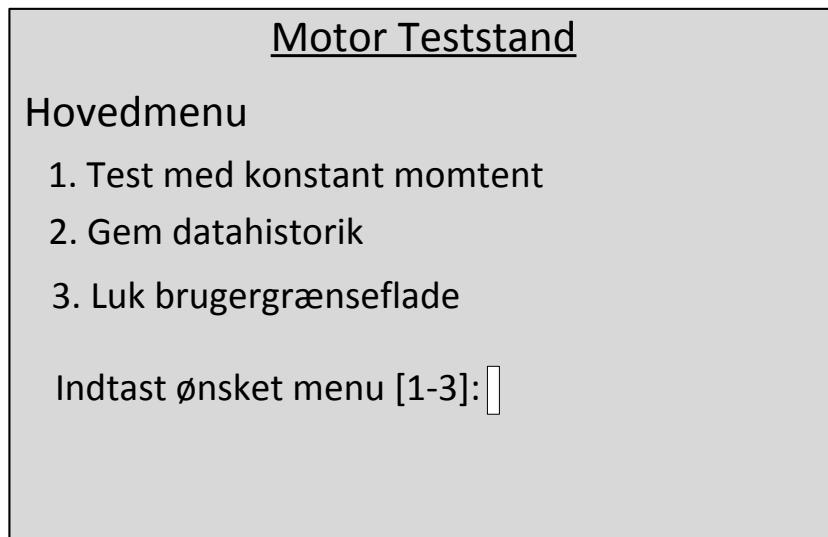
Kommunikations grænseflader

For at enhederne kan kommunikere med hinanden vil følgende protokoller blive benyttet:

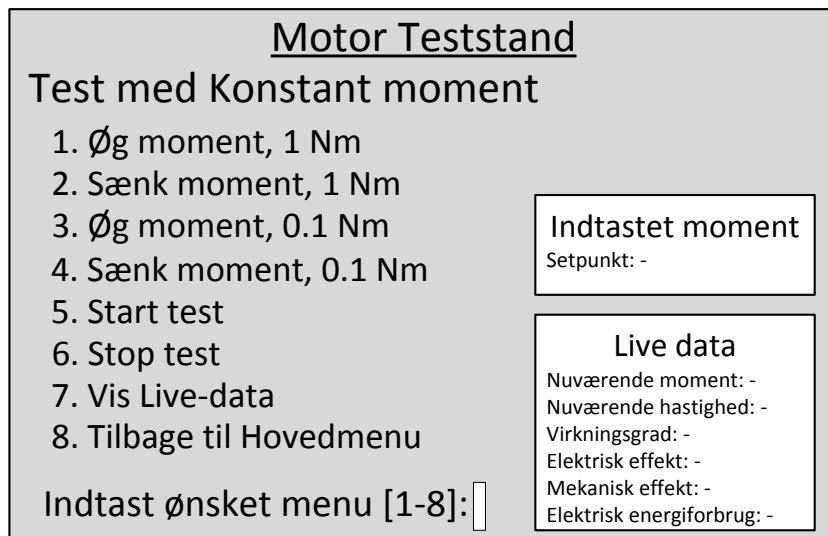
- Kommunikationen mellem Kontrolenheden og brugerens computer: TCP/IP

1.6.9 Prototype på en brugergrænseflade

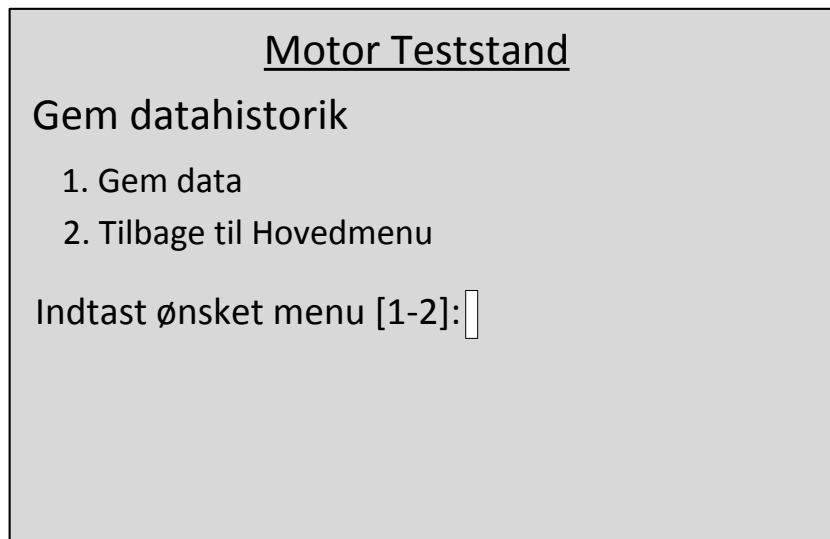
Herunder findes de foreløbige udkast til menuerne til systemets brugergrænseflade.



Figur 1.3. Hovedmenu



Figur 1.4. Undermenu til test med konstant moment



Figur 1.5. Undermenu til gem datahistorik

Systemarkitektur 2

2.1 Revisionshistorie

Version	Dato	Initialer	Beskrivelse
1.00	01.09.2015	IO & SLM	Første version
2.00	08.09.2015	IO & SLM	Rettelser efter 1. review
3.00	11.09.2015	IO & SLM	Rettelser efter 2. review
4.00	31.10.2015	IO & SLM	Opdatering efter møde med kunden

2.2 Indledning

Dette dokument beskriver systemarkitekturen for projektet *"Teststand til Børsteløs DC-motor"*, som formuleret i projektbeskrivelsen og specificeret i kravspecifikationen.

2.2.1 Formål

Formålet med dokumentet er:

- At fastlægge systemets overordnede HW- og SW-komponenter, drevet af kravene specificeret i kravspecifikationen
- At fastlægge grænsefladen mellem systemets overordnede komponenter
- At identificere arbejdsopgaver for projektets design- og implementeringsfase

2.2.2 Refereret dokumentation

- Kravspecifikation, kapitel 1
- Accepttestspezifikation, kapitel 6

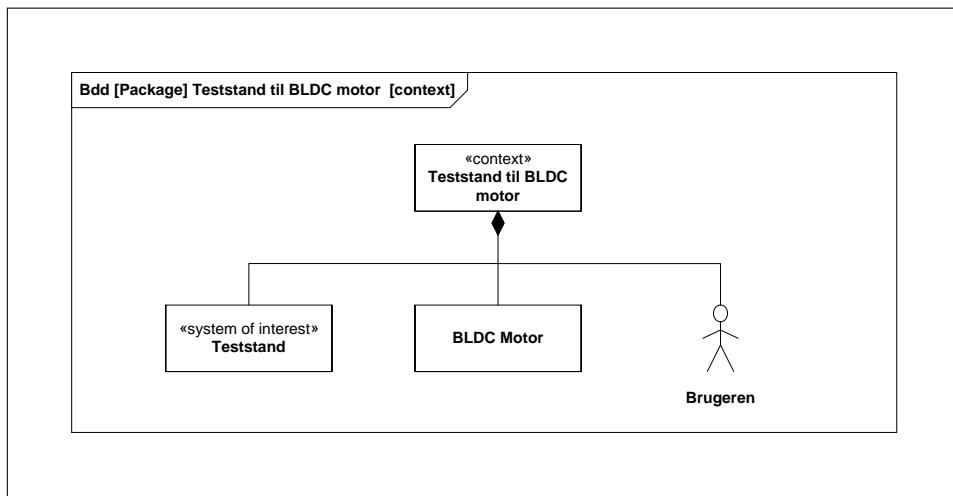
2.3 Systemkomponenter

Der er gennemført en analyse af kravene som givet i kravspecifikationen, og på baggrund af disse er der truffet følgende beslutninger om systemets komponenter og deres placering:

- Kontrolenheden implementeres som en PSoC5 μ Controller
- Brugergrænsefladen implementeres på en computer som et terminal program. Denne kommunikerer med PSoC5 via TCP/IP.
- Datahistorikken gemmes på brugerens Computer.
- Effekttransduceren implementeres som en spændings- og strømsensor, der opfylder kravet om at kunne måle den tilførte elektriske effekt.
- Momenttransduceren implementeres som en roterende momentsensor med indbygget hastighedsmåling.
- Der tilføjes en strømmåling der overvåger den kontinuerlige strøm i belastningskredsløbet.

2.4 System design

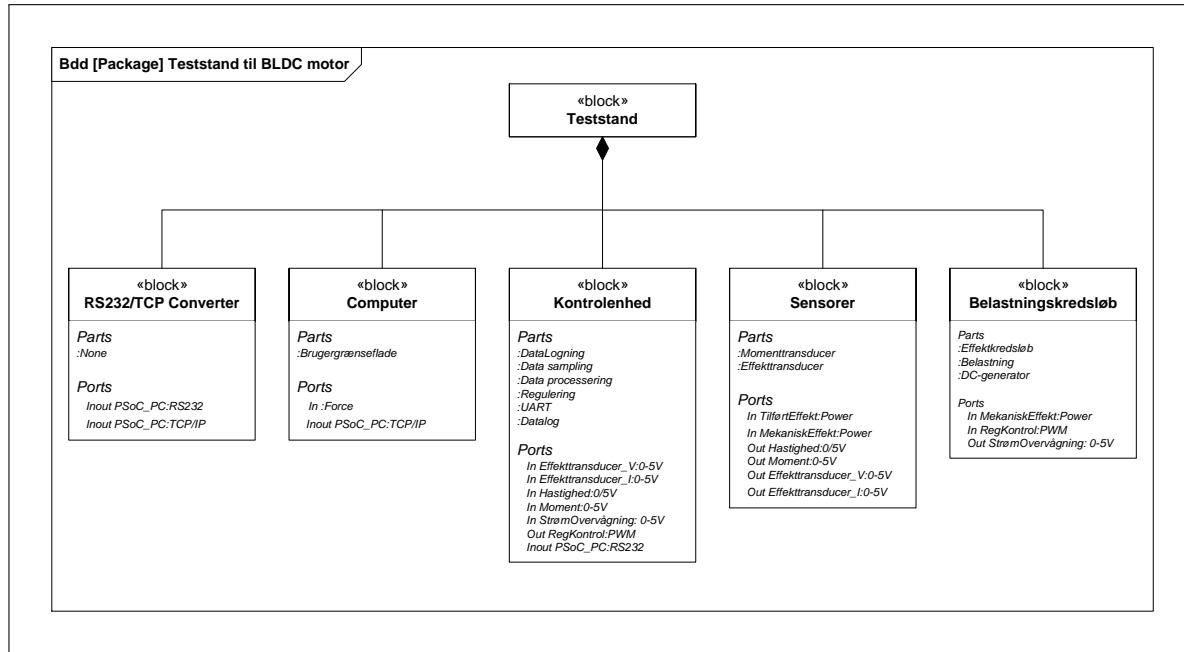
Systemets struktur er i dette afsnit beskrevet ved hjælp af SysML strukturdiagrammer. Den generelle struktur for systemet er beskrevet ved hjælp af et Blok Definitions Diagrammer. Disse diagrammer definerer systemets grænseflader, og interne blokke. En mere detaljeret oversigt over systemet er beskrevet via Interne Blok Diagrammer. Oversigt over hvordan de logiske blokke er allokeret på de fysiske ses på deployment diagrammet. Systemet er opdelt i mindre blokke således at arkitekturen bliver lagdelt, hvilket sikrer en fleksibel og testbar opbygning.



Figur 2.1. BDD context diagram

2.5 Arkitektur for Teststand

Analyse af det overordnede system, baseret på kravspecifikationen, har medført at følgende enheder skal indgå i teststanden: En **Computer**, en **Kontrolenhed**, **Sensorer**, en **RS232/TCP Converter** og et **Belastningskredsløb**. Alle disse overordnede komponenter skal implementeres som en del af teststanden, der overholder kravene specificeret i de ikke-funktionelle krav. Disse delsystemer ses beskrevet i de følgende afsnit.



Figur 2.2. BDD diagram

2.5.1 Blokbeskrivelse for Teststand

De definerede blokke i teststanden beskrives i det følgende:

RS232/TCP Converteren er tilføjet for at kunne konvertere data mellem UART og TCP/IP protokol. Dette er nødvendigt for at kunne oprette en kommunikation mellem computeren og kontrolenheden.

Computeren vil være brugerens PC, som vil være forbundet til kontrolenheden. Herfra kan brugeren interagere med systemet via brugergrænsefladen. Det er her brugeren kan foretage tests og kan se livedata fra test.

Kontrolenheden er ansvarlig for reguleringen og logning af data. Reguleringen foretages på baggrund af målinger fra momenttransduceren, og der sendes reguleringssignal til belastningskredsløbet.

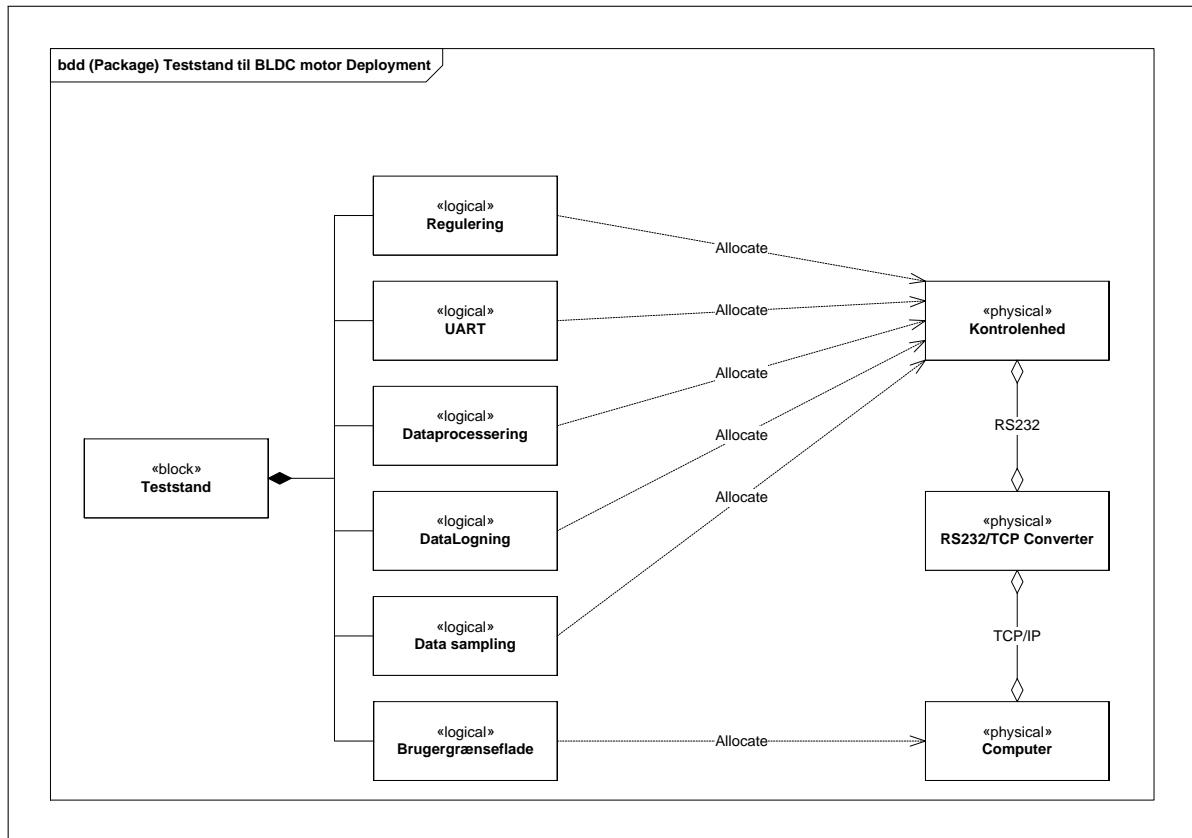
Sensorerne i systemet er henholdsvis en moment- og effekttransducer. Momenttransduceren optager måling af den mekanisk overførte effekt, i form af moment og hastighed. Målingerne sendes til systemets kontrolenhed.

Effekttransduceren optager måling af den elektriske tilførte effekt til testmotoren. Målingerne er i form af en spændings- og strømmåling. Det målte data sendes til systemets kontrolenhed.

Belastningskredsløbet bruges til at elektrisk belastning af systemet og derved kan man styre den mekaniske belastning på akslen. Belastningskredsen består af en DC-generator der omsætter den mekaniske effekt til elektriske effekt. Vha, effektelektronik kan man kontrollere mængden af elektrisk effekt der skal afsættes. Ydermere tilføjes en strømmåling der overvåger strømmen gennem belastningskredsløbet.

2.5.2 Overordnet allokeringsdiagram for systemet

Nedenfor på figur 2.3 ses et overordnet allokeringsdiagram for systemet. Teststandens logiske funktionalitet er allokeret på en række interne komponenter. Denne allokering er beskrevet senere i systemarkitekturen.

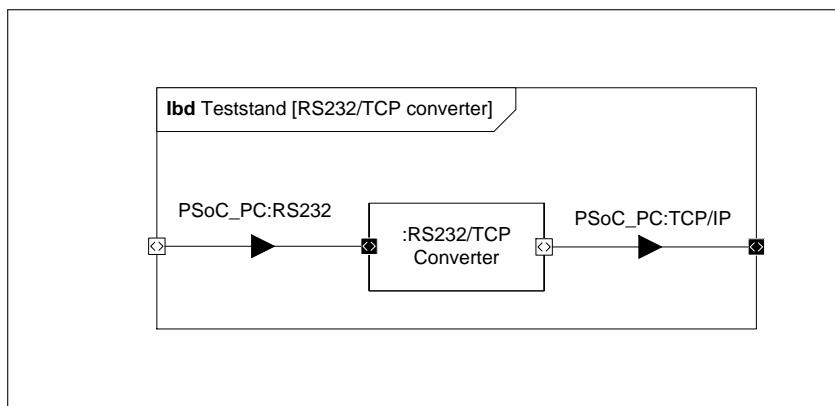


Figur 2.3. Overordnet allokeringsdiagram

2.5.3 Yderligere nedbrydning af systemet

For at de definerede blokke kan udføre deres funktionalitet skal de indeholde en række delsystemer. De blokke der er relevante at nedbryde er beskrevet i de nedenstående diagrammer.

Intern blok diagram for RS232/TCP Converter



Figur 2.4. IBD for RS232/TCP Converter

Partbeskrivelse af RS232/TCP Converter

RS232/TCP Converter konverterer data mellem UART og TCP/IP protokol. Dette er nødvendigt for at kunne oprette en kommunikation mellem computeren og kontrolenheden.

Grænsefladebeskrivelse af RS232/TCP Converter

PSoC_PC:RS232

Retning: [Kontrolenhed] \Leftrightarrow [RS232/TCP Converter]

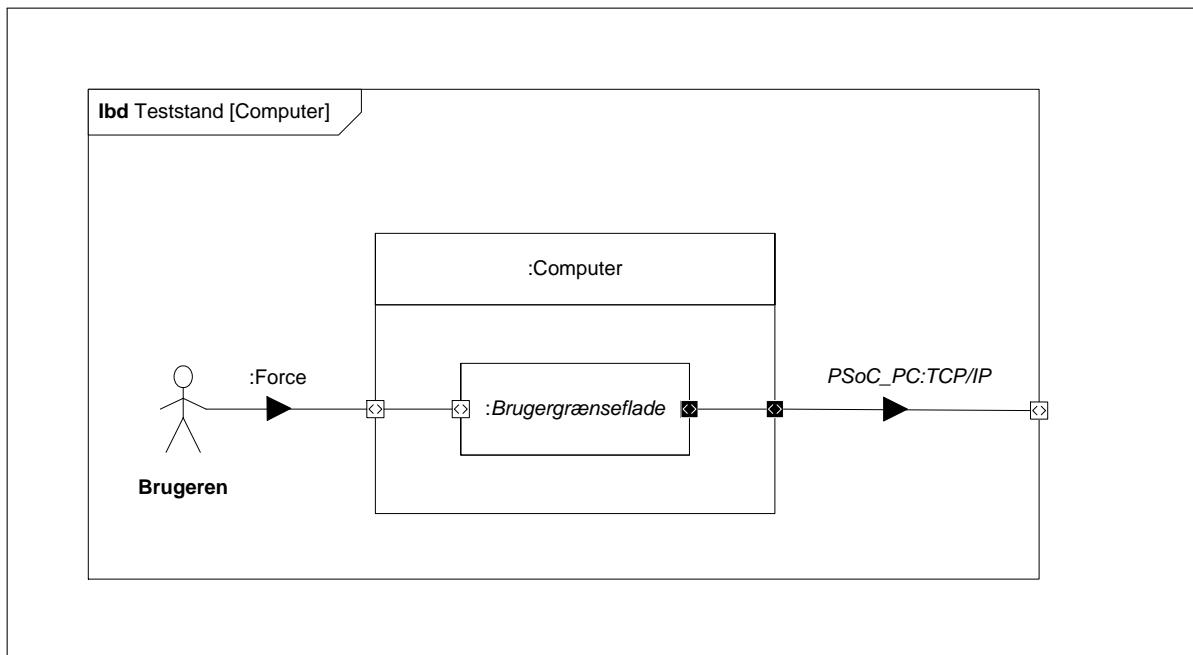
UART kommunikation mellem kontrolenheden og RS232/TCP Converter. Forbindelsen anvender RS232 standarden for transmittering og modtagelse af datapakker.

PSoC_PC:TCP/IP

Retning: [RS232/TCP Converter] \Leftrightarrow [Computer]

TCP/IP kommunikation mellem computeren og RS232/TCP Converteren. Kommunikationen anvender TCP/IP standarden for transmittering og modtagelse af data pakker.

Intern blok diagram for Computer



Figur 2.5. IBD for computer

Partbeskrivelse af Computer

Brugergrensefladen er brugerens tilgang til systemet. Det er her brugeren kan foretage test, se live-data fra igangværende test og gemme Datahistorikken.

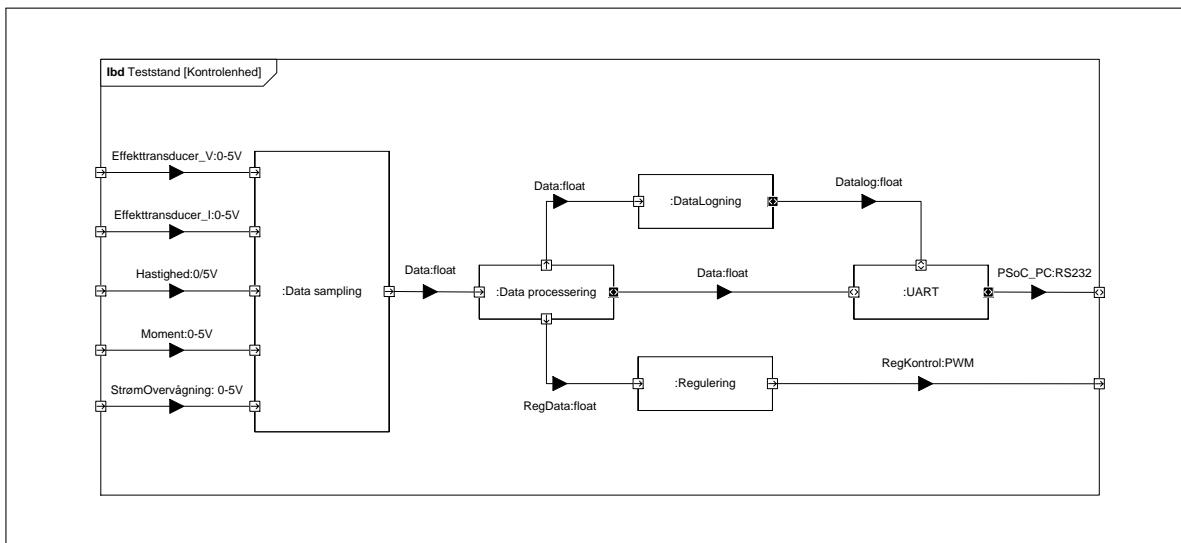
Grænsefladebeskrivelse af Computer

PSoC _PC:TCP /IP

Retning: [Computer] \leftrightarrow [RS232/TCP Converter]

TCP/IP kommunikation mellem computeren og RS232/TCP Converteren. Kommunikationen anvender TCP/IP standarden for transmittering og modtagelse af data pakker.

Intern blok diagram for Kontrolenhed



Figur 2.6. IBD for Kontrolenhed

Partbeskrivelse af Kontrolenhed

DataLogning står for at sende det processerede data til Datahistorikken på Computeren.

Data samplingen står for opsamling af data. Det er her de analoge og digitale signaler bliver opsamlet videresendt til dataprocesseringen.

Data processeringen står for behandling af det opsamlede data. Det processerede data bliver henholdsvis sendt videre til reguleringsblokken og loggen.

Regulering er hvor det processerede data bliver behandlet, og de nødvendige signaler vil blive sendt videre til belastningskredsløbet.

UART er protokollen der benyttes til datatransmission mellem reguleringsenheden og RS232/TCP Converteren.

Grænsefladebeskrivelse af Kontrolenhed

Effekttransducer_V:0-5V

Retning: [Sensorer] \Rightarrow [Kontrolenhed]

Et analogt signal, der angiver spændingen for den elektriske tilførte effekt. Signalet er i intervallet 0-5 V

Effekttransducer_I:0-5V

Retning: [Sensorer] \Rightarrow [Kontrolenhed]

Et analogt signal, der angiver strømmen for den elektriske tilførte effekt. Signalet er i intervallet 0-5 V

Hastighed:0/5V

Retning: [Sensorer] ⇒ [Kontrolenhed]

Et digitalt signal, 0/5 V, der angiver rotationshastigheden på den mekaniske aksel.

Moment:0-5V

Retning: [Sensorer] ⇒ [Kontrolenhed]

Et analogt signal i intervallet 0-5 V. Signalet angiver momentet på den mekaniske aksel.

StrømOvervågning:0-5V

Retning: [Belastningskredsløb] ⇒ [Kontrolenhed]

Et analogt signal i området 0-5 V der angiver strømmen i belastningskredsløbet.

RegKontrol:PWM

Retning: [Kontrolenhed] ⇒ [Belastningskredsløb]

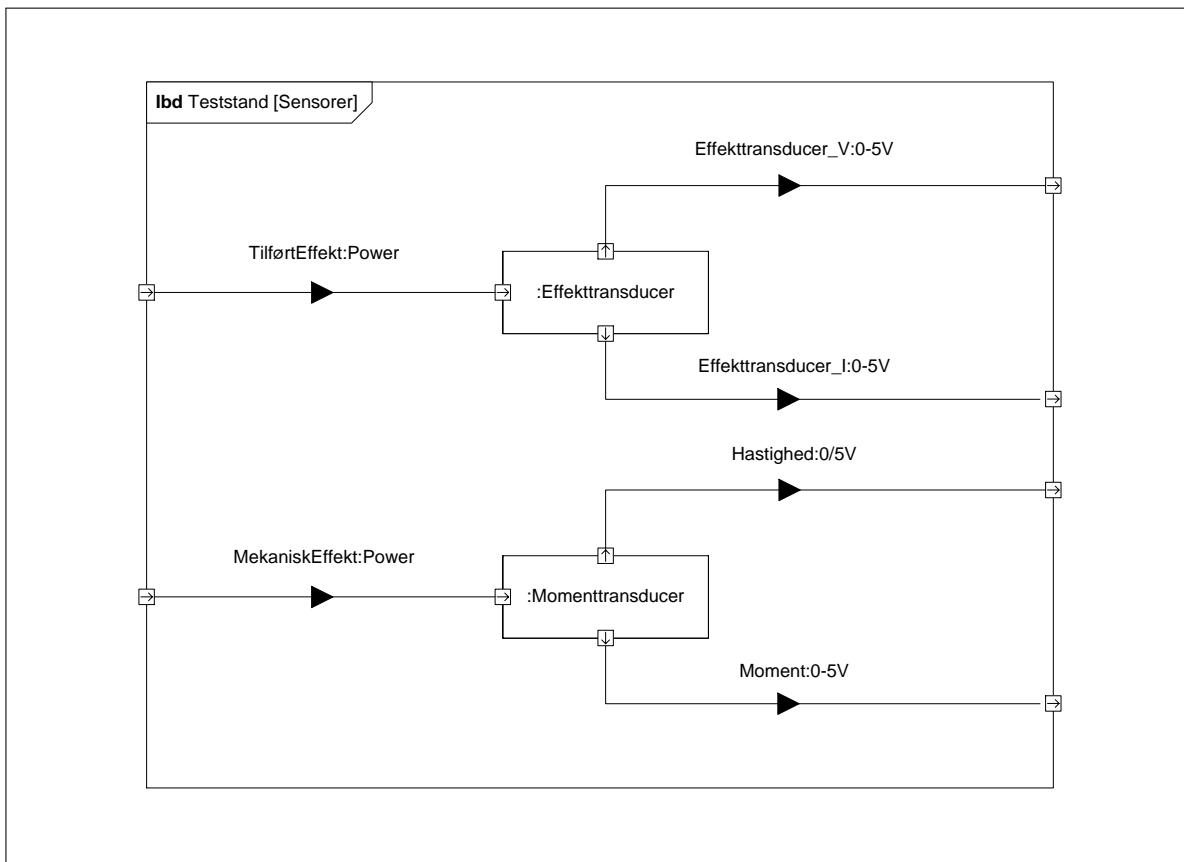
Et PWM signal, 0/5 V, der styrer belastningskredsløbet.

PSoC _ PC:RS232

Retning: [Kontrolenhed] ⇌ [RS232/TCP Converter]

UART kommunikation mellem kontrolenheden og RS232/TCP Converter. Forbindelsen anvender RS232 standarden for transmittering og modtagelse af datapakker.

Intern blok diagram for Sensorer



Figur 2.7. IBD for Sensorer

Partbeskrivelse af Sensorer

Effektransduceren mäter den elektriske tilførte effekt til testmotoren. Dette gøres i form af spændings- og strømmåling.

Momenttransduceren mäter momentet samt hastigheden på den roterende aksel.

Grænsefladebeskrivelse af Sensorer

Tilført effekt:Power

Retning: [Eksternt: Tilført elektrisk effekt] \Rightarrow [Sensorer]
Effekten tilført til testmotoren fra ekstern forsyningsskilde

Mekanisk effekt:Power

Retning: [Eksternt: Tilført mekanisk effekt] \Rightarrow [Sensorer]
Den tilførte mekaniske effekt på systemets aksel.

Effektransducer_V:0-5V

Retning: [Sensorer] \Rightarrow [Kontrolenhed]

Et analogt signal, der angiver spændingen for den elektriske tilførte effekt. Signalet er i intervallet 0-5 V

Effekttransducer _ I:0-5V

Retning: [Sensorer] ⇒ [Kontrolenhed]

Et analogt signal, der angiver strømmen for den elektriske tilførte effekt. Signalet er i intervallet 0-5 V

Hastighed:0/5V

Retning: [Sensorer] ⇒ [Kontrolenhed]

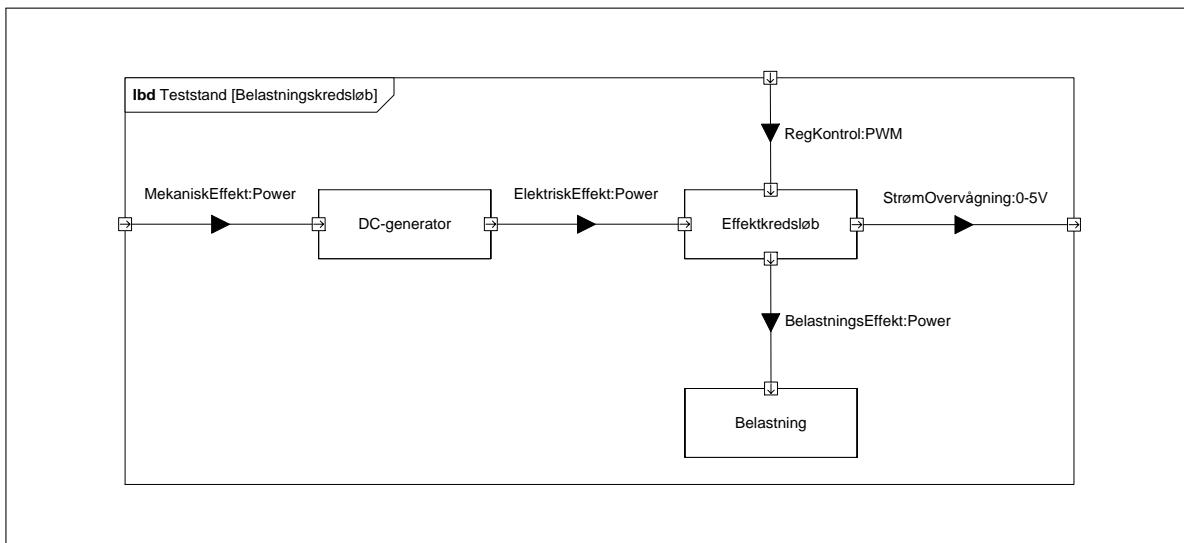
Et digitalt signal, 0/5 V, der angiver rotationshastigheden på den mekaniske aksel.

Moment:0-5V

Retning: [Sensorer] ⇒ [Kontrolenhed]

Et analogt signal i intervallet 0-5 V. Signalet angiver momentet på den mekaniske aksel.

Intern blok diagram for Belastningskredsløb



Figur 2.8. IBD for belastningskredsløb

Partbeskrivelse af Belastningskredsløb

DC-generatoren omsætter den mekaniske effekt til elektrisk effekt.

Effektkredsløbet regulerer mængden af elektrisk effekt der skal afsættes i belastningen.

Belastningen er hvori den elektriske effekt bliver afsat.

Grænsefladebeskrivelse af Belastningskredsløb

Elektrisk Effekt er den omsatte mekanisk effekt fra DC-generator til belastningskredsløbet.

Mekanisk effekt:Power

Retning: [Eksternt: Tilført mekanisk effekt] \Rightarrow [Belastningskredsløb]

Den tilførte mekaniske effekt på systemets aksel.

StrømOvervågning:0-5V

Retning: [Belastningskredsløb] \Rightarrow [Kontrolenhed]

Et analogt signal i området 0-5 V der angiver strømmen i belastningskredsløbet.

RegKontrol:PWM

Retning: [Kontrolenhed] \Rightarrow [Belastningskredsløb]

Et PWM signal, 0/5 V, der styrer belastningskredsløbet.

Hardware Design & Implementering

3

3.1 Revisionshistorie

Version	Dato	Initialer	Beskrivelse
1.00	15.09.2015	IO & SLM	Første version

3.2 Introduktion

Dette dokument specificerer hardware struktureringen af projektet *Teststand til Børsteløs DC motor*, som er formuleret i Projektbeskrivelsen¹ og specificeret i Kravspecifikationen kapitel 1 og Systemarkitekturen kapitel 2.

3.2.1 Formål

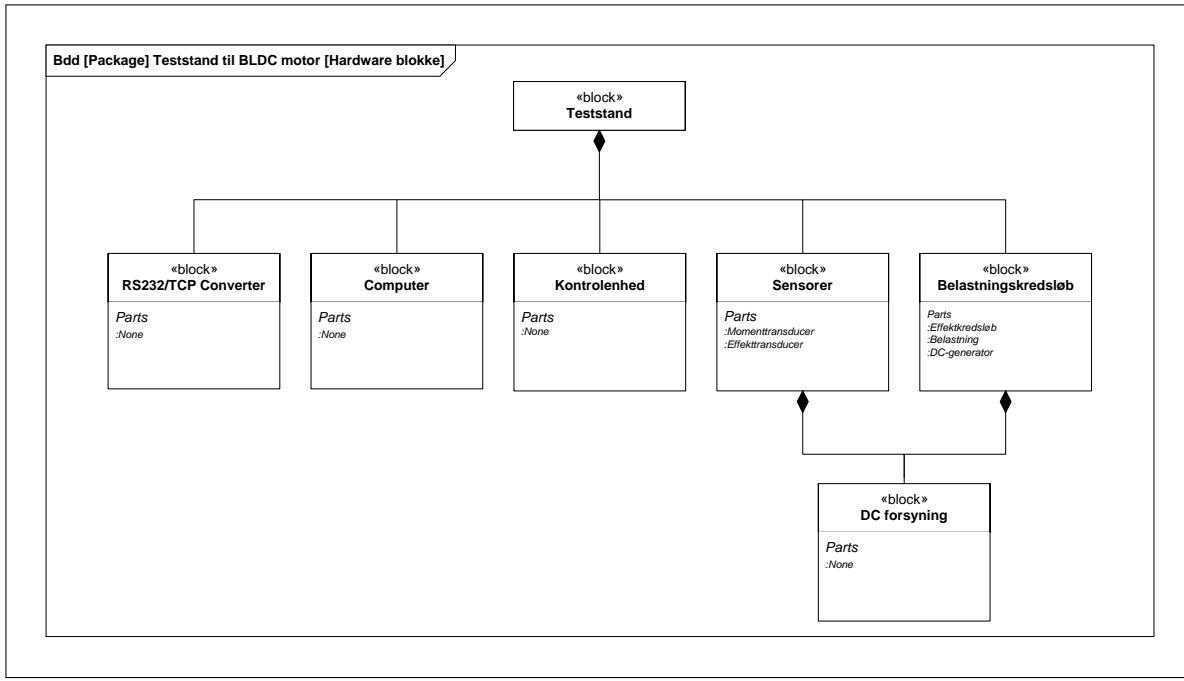
Formålet med dette dokument er at beskrive hardwaren i systemet. Dokumentet indeholder følgende:

- Generel blokdiagram
- Detaljeret blokdiagram
- Beskrivelse og specifikation af komponenter
- Enhedstest

¹Se Projektrapporten

3.3 Blokdiagram

Figur 3.1 under, viser det overordnede hardwarediagram for alle hardwareblokkene. Design og udviklingen af komponenterne er baseret på dette diagram. De enkelte blokke er detaljeret beskrevet, ved brug af interne blokdiagrammer. De interne blokdiagrammer er fundamentet for udviklingen af de enkelte blokke.



Figur 3.1. Hardware blokdiagram

Beskrivelse af de enkelte blokke kan findes i Systemarkitekturen, afsnit 2.5.

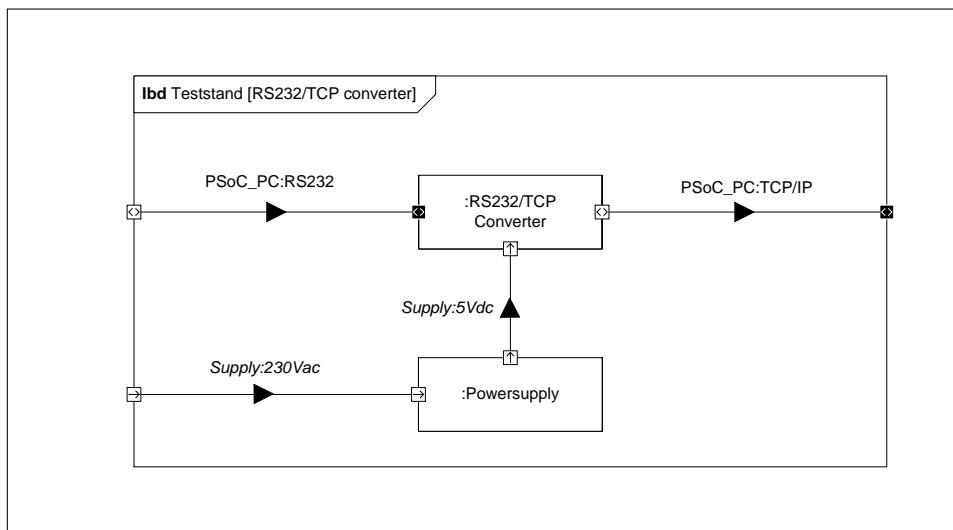
Forsyningen af enhederne er som følgende: **RS232/TCP Converter**, **Computeren** og **Kontrolenheden** har hver sin egen-forsyning. Enhederne **Sensorer** og **Belastningskredsløb** har ikke egen forsyning og derfor er blokken **DC forsyning** tilføjet. Designet af denne findes i sektion 3.8

3.4 Detaljeret Design, Implementering og Enhedstest

3.5 RS232/TCP Converter

Analyse & Design

Som beskrevet i Systemarkitekturen, afsnit 2.5.3 **Blokbeskrivelse for Teststand**, skal converteren konvertere data mellem UART og TCP/IP protokol. Dette er nødvendigt for at kunne oprette en kommunikation mellem Computeren og Kontrolenheden. På figur 3.2 ses det interne blokdiagram for RS232/TCP Converter. På diagrammet er blokken Powersupply blevet tilføjet. Blokke er tilføjet da enheden benytter sin egen medfølgende 230 V_{AC} – 5 V_{DC} strømforsyning.



Figur 3.2. Internt blokdiagram for RS232/TCP Converter

Implementering

Den valgte converter er typen Wiznet WIZ110SR². Denne converter konvertere mellem UART protokol og TCP/IP. Enheden understøtter 10/100 Mbps på Ethernet Interfacet og op til 230Kbps på Serial Interface. Enheden opsættes via medfølgende konfigurationssoftware³.

Enhedenets Ethernetport kobles til Computeren via et standard Netværkskabel, og Serialporten til Kontrolenheden via et standard, skærmet, RS232 kabel.

For opsætningen af konverteren se Software Design & Implementering, Afsnit 4.11.

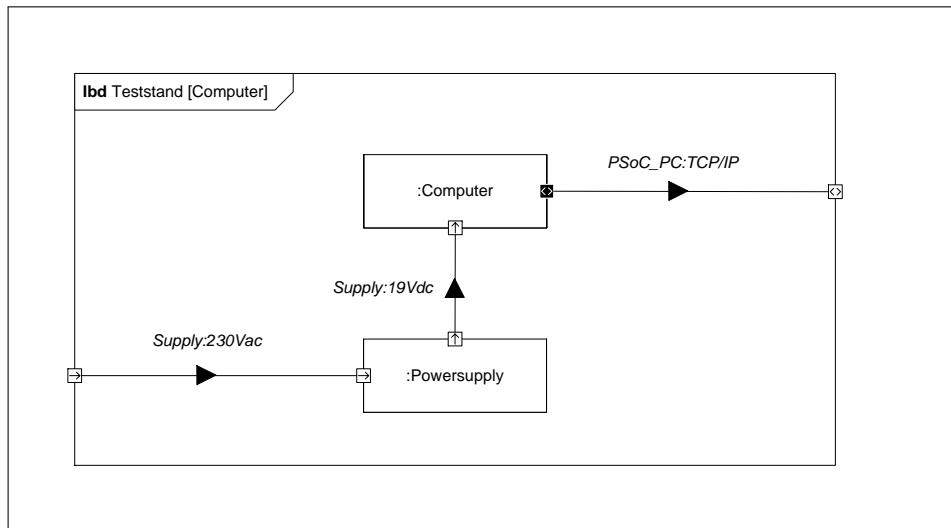
²Se Bilag/Datablade/Converter/WIZ110SR Converter

³Se Bilag/Software/Converter

3.6 Computer

Analyse & Design

Som beskrevet i Systemarkitekturen, afsnit 2.5.3 **Blokbeskrivelse for Teststand**, er Computeren brugerens PC, som vil være forbundet til kontrollenheden. På Computeren vil systemets brugergrænseflade være allokeret, hvorigennem brugeren kan interagere med systemet. På diagrammet er blokken Powersupply blevet tilføjet. Blokken er tilføjet da enheden benytter sin egen medfølgende 230 V_{AC} – 19 V_{DC} strømforsyning.



Figur 3.3. Internt blokdiagram for Computer

Implementering

Brugergrænsefladen er udviklet til at køre på Ubuntu 14, 64-bit operativsystem. For at Computeren kan køre brugergrænsefladen skal den køre med Ubuntu som operativsystem. Benyttes en Computer med andet primært styresystem, kan Ubuntu 14⁴ køres som virtuel maskine, gennem eksempelvis WMware Player⁵. Kravet til Computeren er at den understøtter denne Ubuntu version.

For beskrivelse af Brugergrænsefladen se Software Design & Implementering, Afsnit 4.9.

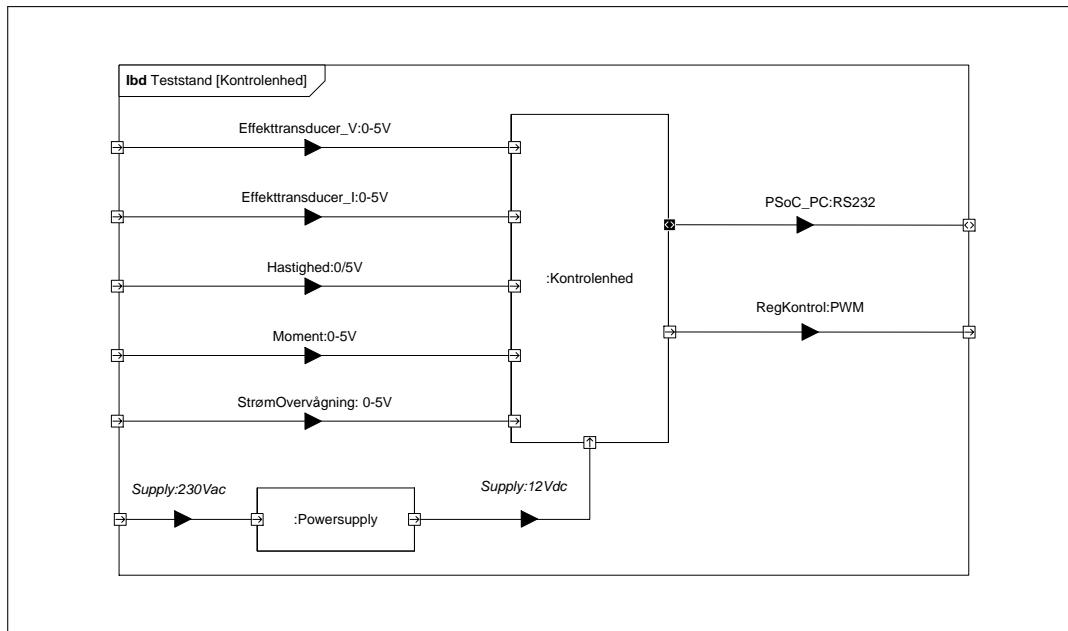
⁴<http://www.ubuntu.com/>

⁵<https://www.vmware.com>

3.7 Kontrolenhed

Analyse & Design

Som beskrevet i Systemarkitekturen, afsnit 2.5.3 **Blokbeskrivelse for Teststand**, er Kontrolenheden ansvarlig sampling af data fra sensorne, beregning af samplet data, reguleringen af systemet samt logning af data. Kontrolenheden vil være forbundet til brugerens Computer, hvorigennem systemet kan startes og stoppes, ændre reguleringspunkt samt udtrække Dataloggen. På diagrammet er blokken Powersupply blevet tilføjet. Blokke er tilføjet da enheden benytter sin egen medfølgende 230 V_{AC} – 12 V_{DC} strømforsyning.

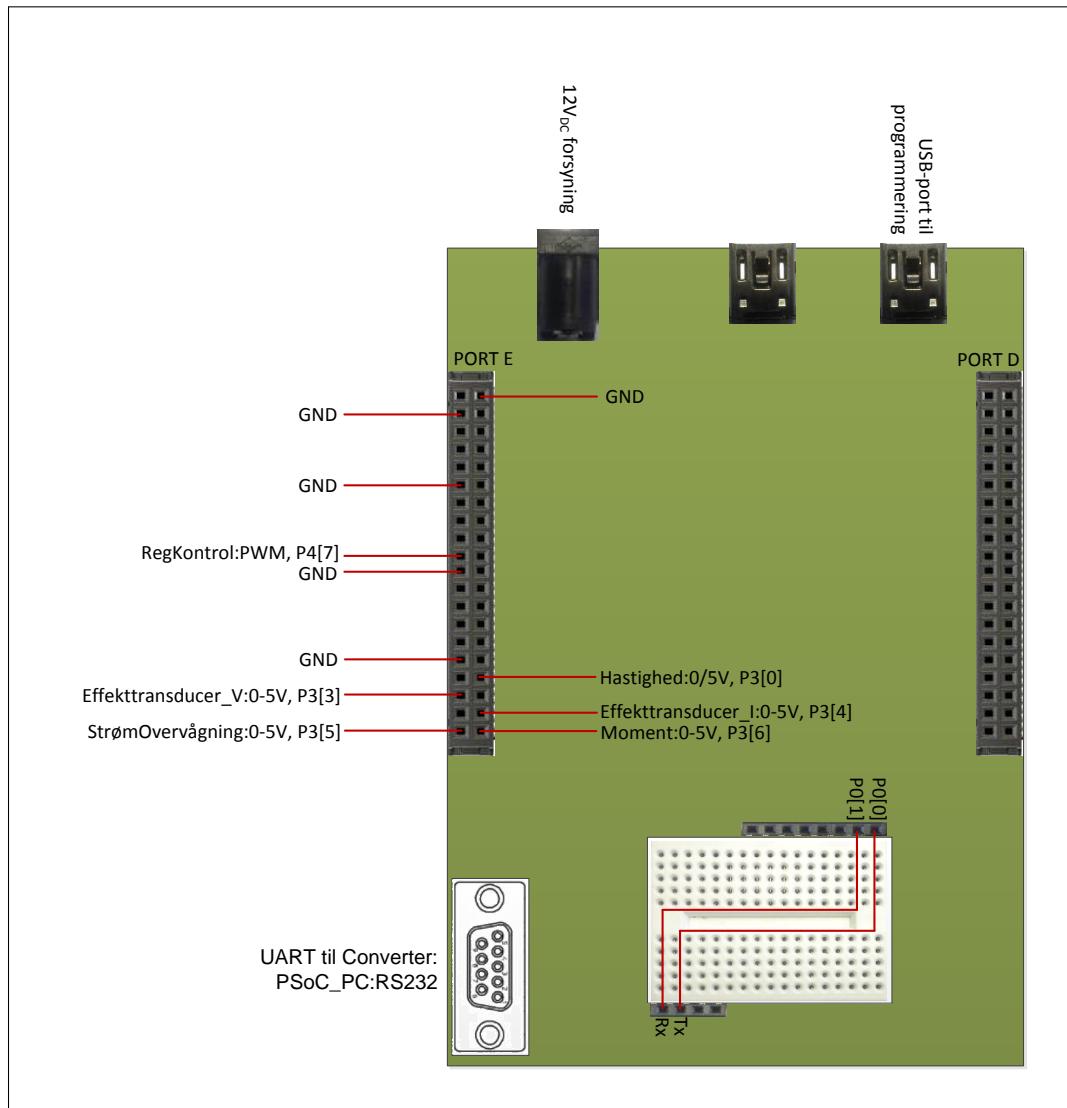


Figur 3.4. Intern blokdiagram for Kontrolenheden

Implementering

Kontrolenheden er implementeret som en PSoC5 *μController*⁶. Denne *μController* har en onboard RS232 port, som benyttes til kommunikation mellem Kontrolenheden og Computeren, samt to porte med analoge og digitale in- og outputs. Det er valgt at samle alle analoge og digitale signaler på en af de to porte. På figur 3.5 ses en oversigt over PSoC5, og hvilke pins, de enkelte signaler er tilkoblet.

For beskrivelse af Kontrolenhedens logiske funktionalitet se Software Design & Implementering, Afsnit 4.4.



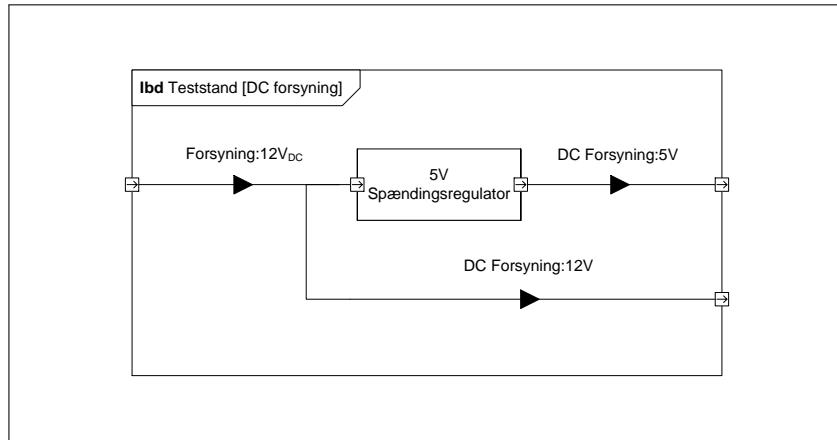
Figur 3.5. Oversigt over forbindelser på Kontrolenheden

⁶Se Bilag/Datablade/PSoC5/PSoC5LP

3.8 DC forsyning

Analyse

DC forsyningen skal forsyne Sensor- og Belastningskredsløbsblokkene med $5V_{DC}$ og $12V_{DC}$. I Sensorblokken skal der benyttes $5V_{DC}$ til forsyning af Effekttransduceren og både $5V_{DC}$ og $12V_{DC}$ til forsyning og signalomsætning af Momenttransduceren, se sektion 3.9. I Belastningskredsløbsblokkene skal der benyttes $5V_{DC}$ til forsyning af Strømovervågningen, og $12V_{DC}$ til Effektkredsløbet, se sektion 3.12.

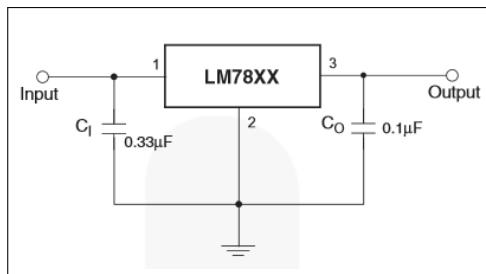


Figur 3.6. Internt blokdiagram for DC forsyning

Design

Blokken forsynes af en AC-DC adaptor der transformere spændingen fra netspændingen $230V_{AC}$ ned til en spænding på $12V_{DC}$. Adaptoren vælges så den kan levere en minimumsstrøm som er angivet under Implementering.

For at regulere spændingen ned til det ønskede niveau på $5V_{DC}$ benyttes en spændingsregulator. Spændingenregulatoren LM7805CT giver en outputspænding på $5V_{DC}$. På figur 3.7 ses en typisk konfiguration af en spændingsregulator⁷ og denne konfiguration benyttes i implementeringen af DC forsyningen.

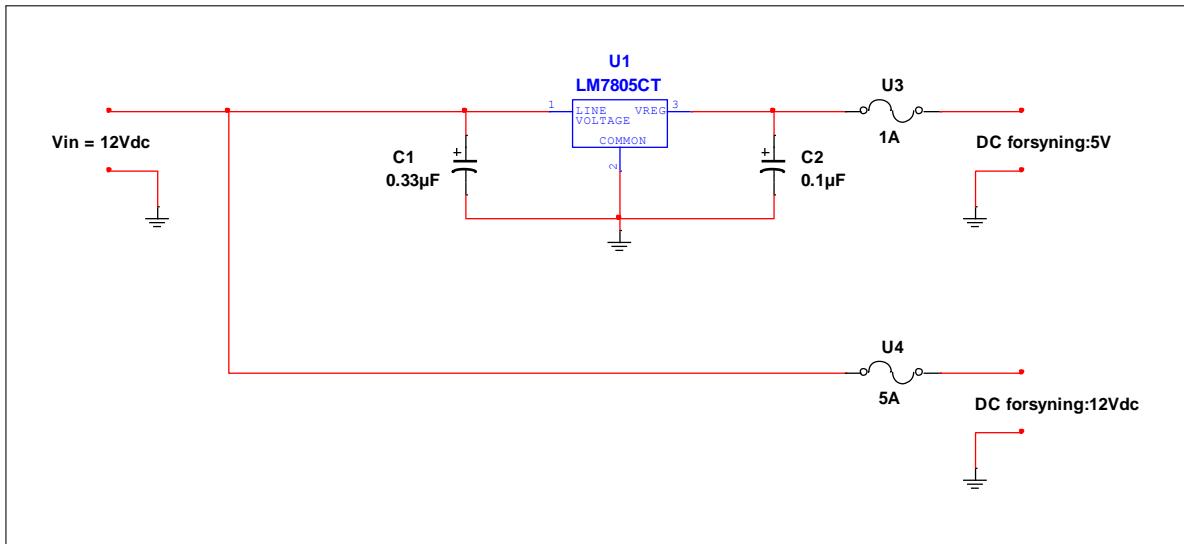


Figur 3.7. Typisk konfiguration af spændingsregulator

⁷Se Bilag/Datablade/Spændingsforsyning/Spændingsregulator LM78xx

Implementering

Kredsløbstegningen på figur 3.8 ses den endelige design af DC forsyningen. Der er implementeret to sikringer for at beskytte kredsløbet. På 5 V outputtet er implementeret en 1 A sikring, da dette er den højeste strøm LM7805 spændingsregulatoren kan levere. På 12 V outputtet er implementeret en 5 A sikring.



Figur 3.8. DC forsyningskredsløb

Beregning af det totale strømforbrug

Strømforbrug ved 5 V:

Enheder der forsynes med 5 V:

- Strømtransducerne
- Signalomsætningskredsløb, Momenttransducer
- Signaladskillelseskredsløb, Momenttransducer

Strømforbruget af Strømtransducerne i Sensor⁸- og Belastningskredsløb⁹ er givet ved¹⁰:

$$I_{consumption} = 28 + \frac{I_P}{N_S} + \frac{V_{out}}{R_L} \text{ mA} \quad (3.1)$$

Hvor I_P er størrelsen af strømmen der måles og er hhv: $I_{P_1} = 10 \text{ A}$ og $I_{P_2} = 21 \text{ A}$. N_S er antallet af viklinger på sekundær siden af transduceren og er: $N_S = 2000$. V_{out} er outputspændingen fra transduceren og R_L er indgangsmodstanden på PSoC'en.

Outputstrømmen fra sensoren sættes til at være den maksimale strøm der kan løbe på PSoC'ens indgang og er givet ved¹¹:

$$\frac{V_{out}}{R_L} = 5 \text{ mA} \quad (3.2)$$

⁸Se Sensorer afsnit 3.9

⁹Se Belastningskredsløb afsnit 3.12

¹⁰Se Bilag/Datablade/Effekttransducer/LEM Strømtransducer LTS NP

¹¹Se Bilag/Datablade/PSoC5/PSoC5LP

Strømforbruget for strømtransduceren i Sensorkredsløbet:

$$I_{consumption_1} = (28mA + \frac{10A}{2000} + 5mA) = 38 mA \quad (3.3)$$

Strømforbruget for strømtransduceren i Belastningskredsløbet:

$$I_{consumption_2} = (28mA + \frac{21A}{2000} + 5mA) = 43.5 mA \quad (3.4)$$

Strømtransducernes totale strømoptag:

$$I_{strømtransducer} = I_{consumption_1} + I_{consumption_2} = 87.5 mA \quad (3.5)$$

Måleomsætningskredsløbet og Signaladskillelseskredsløb i blokken Momenttransducer¹²:

Kredsløbenes eget strømforbrug er så lille at der ses bort fra denne.

Outputstrømmen fra de to kredsløbet til PSoC'en:

$$I_{signal} = 2 \cdot 5 mA = 10 mA \quad (3.6)$$

Det samlede strømforbrug ved 5 V:

$$I_{total_{5V}} = 97.5 mA \quad (3.7)$$

Spændingsregulatoren er rated til 1A:

$$I_{total_{5V}} < 1A \Rightarrow OK \quad (3.8)$$

¹²Se Momenttransduceren afsnit 3.11

Strømforbrug ved 12 V:

Enheder der forsynes med 12 V:

- Momenttransducer
- Gatedriverkredsløbet, Belastningskredsen

Momenttransducerens strømforbrug:

Transducerens egetforbrug¹³:

$$I_{momenttransducer} = 60 \text{ mA} \quad (3.9)$$

Outputstrømmen fra transduceren til PSoC'en:

$$I_{hastighedssignal} = 5 \text{ mA} \quad (3.10)$$

Gatedriverkredsløbets strømforbrug¹⁴:

$$I_{gate} = 3.9 \text{ A} \quad (3.11)$$

Det samlede strømforbrug ved 12 V:

$$I_{total_{12V}} = 3.97 \text{ A} \quad (3.12)$$

AC-DC adaptorens minimumsstørrelse:

AC-DC adaptorens skal minimum kunne levere en strøm på følgende:

$$I_{minimum} = I_{total_{5V}} + I_{total_{12V}} = 4.1 \text{ A} \quad (3.13)$$

Som AC-DC adaptor er det valgt, at anvende en variabel strømforsyning af typen NDN DF1730SL-10A. Denne type strømforsyning kan levere op til 10 A. Ved tilslutning af strømforsyningen er det vigtigt at dens outputspænding indstilles til 12 V_{DC}.

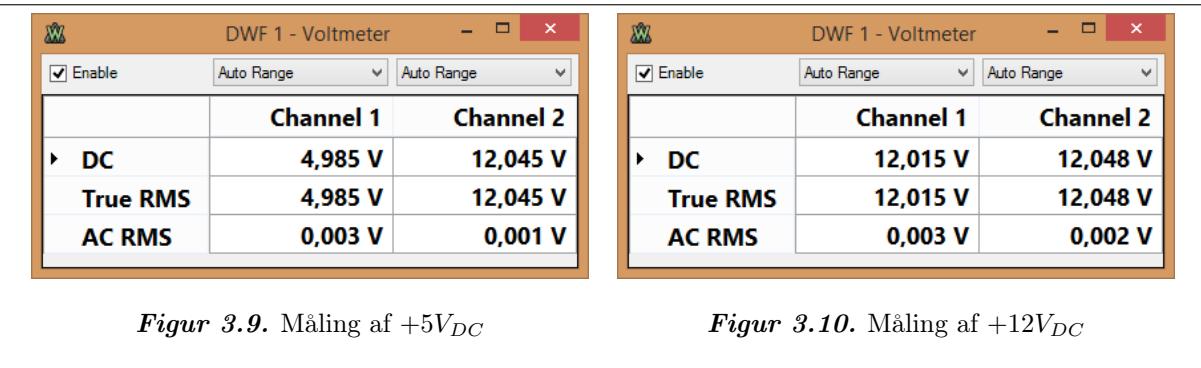
¹³Se Bilag/Datablade/Momenttransducer/Lorenz torque sensor - Analog

¹⁴Se Analyse og Design af Effektkredsløb afsnit 3.12

Enhedstest

Test	Udførsel	Resultat	Kommentar
Kravet er at DC forsyningen skal kunne forsynes med $12 V_{DC}$ og skal afgive en spænding på $+5V_{DC}$ og $+12V_{DC}$.	DC forsyningeskredsløbet påtrykkes en forsyningsspænding på $12 V_{DC}$. Outputspændingerne på hhv. $+5V_{DC}$ og $+12V_{DC}$ måles med et multimeter for at verificere kredsløbets funktion.	På figur 3.9 og 3.10 ses mælingerne af kredsløbet. Channel 1 er mæling af outputspændingen og Channel 2 er mæling af inputspændingen til kredsen. Med disse resultater er testen accepteret.	Da outputtet på $+12V_{DC}$ ikke er reguleret, men direkte forbundet til forsyningsspændingen, vil denne følge forsyningsspændingen. Det er derfor vigtigt at forsyningsspændingen er indstillet til $12 V_{DC}$.
Kravet er at DC forsyningen skal kunne levere en strøm på minimum $4.1 A$	Den maksimale strøm strømforsyningen kan levere, aflæses på dens mærkeplade.	Den maksimale strøm strømforsyningen kan levere er aflæst til $10 A$. Med dette resultat kan strømforsyningen benyttes til at forsyne prototypen af systemet.	

Tabel 3.1. Enhedstest af DC forsyning



3.9 Sensorer

Blokken *Sensorer* består af to forskellige sensorer:

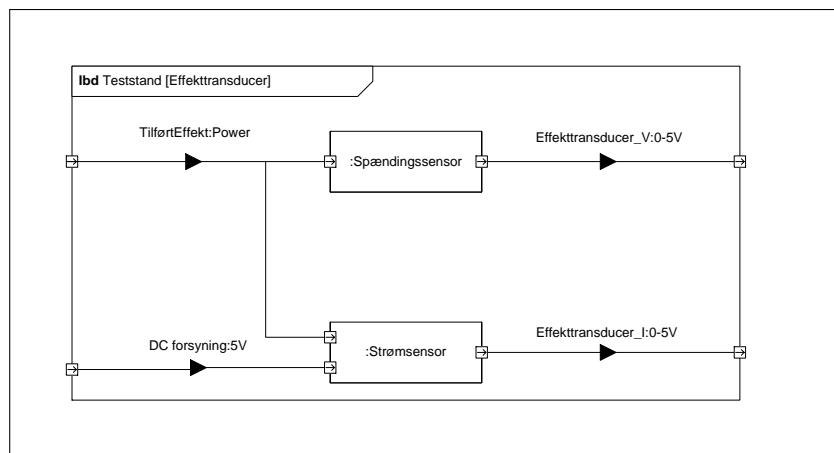
- Effektransduceren, afsnit 3.10
- Momenttransduceren, afsnit 3.11

Hver af de to sensorer er beskrevet hver for sig.

3.10 Effekttransducer

Analyse

Formålet med Effekttransduceren er at måle den elektriske tilførte effekt til testmotoren. Dette gøres for at kunne beregne testmotorens effektivitet. Effekttransduceren måler testmotorens optage effekt. For at kunne måle den tilførte effekt kræver det måling af den tilførte spænding og strøm, da $P_{tilført} = V_{tilført} \cdot I_{tilført}$.

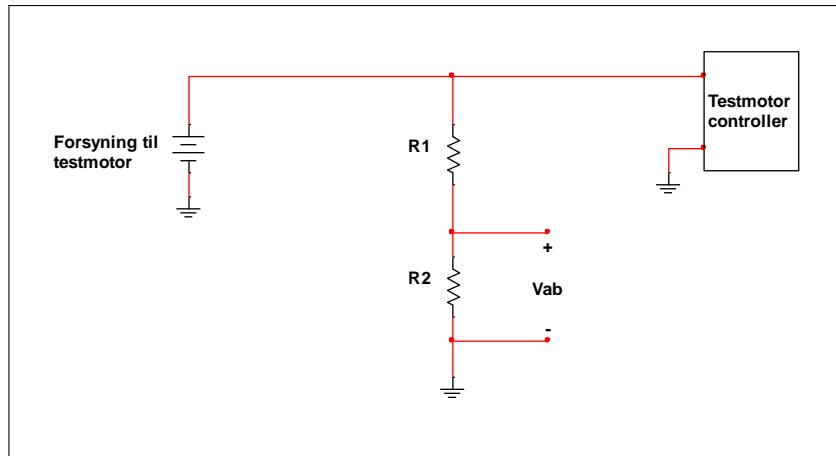


Figur 3.11. Internt blokdiagram for Effekttransducer

Design af Spændingssensor

Den valgte metode til at måle den tilførte spænding, er at måle spændingen over én modstand i et spændingsdeler bestående af to modstande. Modstandsnetværket er koblet parallelt over belastningen, som i dette tilfælde er testmotorcontrolleren og testmotoren.

Forholdet mellem modstandene beregnes således, at den tilførte spændingen nedskaleres til inputspændingsniveauet på kontrolenheden. På figur 3.12 ses principippet for spændingssensoren.



Figur 3.12. Princip for Spændingssensoren

Højeste nominelle tilførte spænding der skal måles:

$$V_{tilf\ddot{o}rt} = 50V \quad (3.14)$$

Den tilførte spænding skal deles mellem de to modstande så spændingen V_{ab} har samme størrelse som hele PSoC'en inputområde. Den maksimale inputspændingen til PSoC'en er:

$$V_{ab} = 5V \quad (3.15)$$

Den ene modstand i spændingsdeleren er bestem til at være:

$$R_1 = 10k\Omega \quad (3.16)$$

Størrelsen af den anden modstand i spændingsdelerne netværket:

$$V_{ab} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{tilf\ddot{o}rt} \Rightarrow R_2 = 1.11k\Omega \quad (3.17)$$

Modstanden vælges som den nærmeste afrundede:

$$R_2 = 1k\Omega \quad (3.18)$$

Inputspænding til PSoC'en med de valgte modstandsstørrelse:

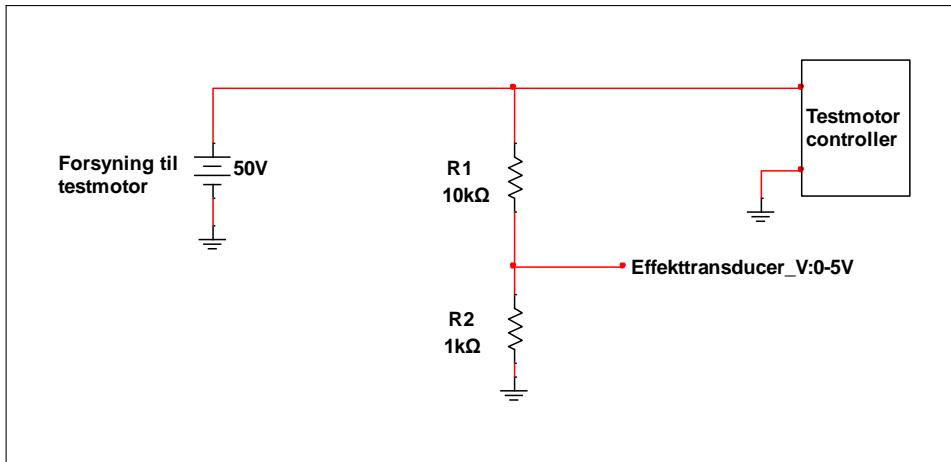
$$V_{input} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{tilf\ddot{o}rt} = 4.545V \quad (3.19)$$

Omsætningsforholdet for spændingssensoren bliver da:

$$K = \frac{V_{tilf\ddot{o}rt}}{V_{input}} = 11 \quad (3.20)$$

Implementering af Spændingssensor

Det endelige design af kredsløbet til spændingsmåling kan ses på figur 3.13



Figur 3.13. Færdig design af Spændingssensoren

Da modstandene i spændingsdelen er koblet mellem $V_{tilført}$ og GND , vil der løbe en strøm, og afsætte effekt i dem. De benyttede modstande er designet til maksimum 250 mW .

Strømmen gennem modstandsnetværket:

$$I_R = \frac{V_{tilført}}{R_1 + R_2} = 4.545\text{ mA} \quad (3.21)$$

Effekt afsat i modstandene:

$$P_{R1} = I_R^2 \cdot R_1 = 0.207\text{ W} \quad (3.22)$$

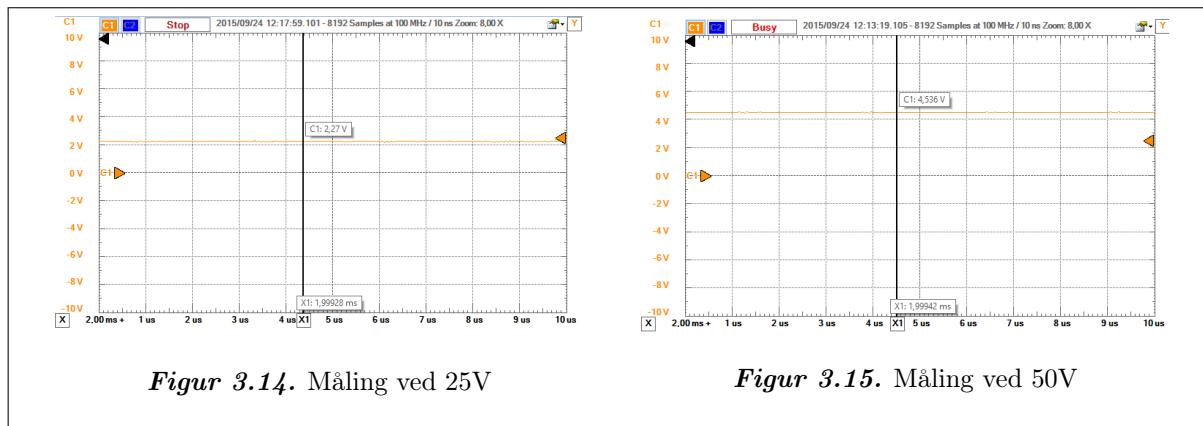
$$P_{R2} = I_R^2 \cdot R_2 = 0.021\text{ W} \quad (3.23)$$

$$P_{R1} \text{ og } P_{R2} < 250\text{ mW} \Rightarrow OK \quad (3.24)$$

Enhedstest af Spændingssensor

Test	Udførsel	Resultat	Kommentar
Kravet er at spændings-sensoren skal kunne nedskalere spændings-forsyningen, til et signal i intervallet $0 - 5V$, med en nøjagtighed på under 1%	Sensoren påtrykkes to spændinger inden for dens måleinterval på $0 - 50V$, og er i denne test valgt til $25V$ og $50V$. Outputspændingen måles med et oscilloscope.	Resultatet af testen kan ses på figur 3.14 og figur 3.15. Beregningen af forstærkningsforhølet og nøjagtigheden er angivet i tabel 3.3. Med disse resultater er testen accepteret.	

Tabel 3.2. Enhedstest af Spændingssensor



Den beregnede output spænding fra kredsløbet er fundet som:

$$V_{beregnet} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{tilf\ddot{o}rt} \quad (3.25)$$

Det aktuelle forstærkningsforhold for kredsløbet er fundet som:

$$K = \frac{V_{tilf\ddot{o}rt}}{V_{m\ddot{a}lt}} \quad (3.26)$$

Påtrykt spænding [$V_{tilf\ddot{o}rt}$]	Målt put spænding [$V_{m\ddot{a}lt}$]	Beregnet output spænding [$V_{Beregnet}$]	Nøjagtighed [%]	Aktuel stærkning [K]	forstærkning
25 V	2.27 V	2.273 V	0.12 %	11.013 gg	
50 V	4.536 V	4.454 V	0.208 %	11.023 gg	

Tabel 3.3. Måling af Spændingssensor

Gennemsnittet af den aktuelle forstærkning benyttes i PSoC'en til at beregne spændingen på forsyningen til testmotoren. Gennemsnittet af den aktuelle forstærkning er:

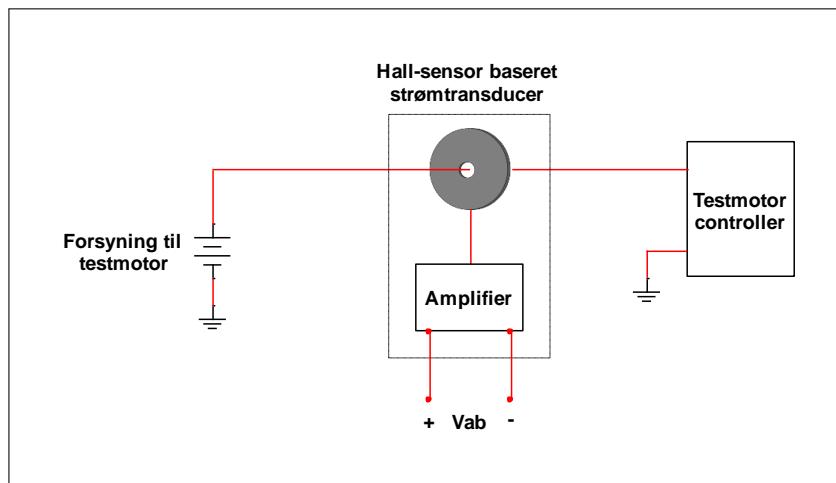
$$K_{gennemsnit} = \frac{V_{målt_{25V}} + V_{målt_{25V}}}{2} = 11.018 \text{ gg} \quad (3.27)$$

Design af Strømsensor

Der er flere forskellige muligheder for at kunne måle den tilførte strøm. Én mulighed er at indføre en shuntmodstand på forsyningslederen til motorcontrolleren og testmotoren, og måle spændingsfaldet over shuntmodstanden. Udfordringen ved at benytte denne metode er at effektafsættelsen i shuntmodstanden føre til varmeafsættelse, der vil få modstanden i shuntmodstanden til at stige. Dette giver en ulineær sammenhæng mellem strømmen i forsyningslederen og spændingsfaldet over shuntmodstanden. Denne metode vil også føre til et spændingsfald ved motorcontrolleren, der stiger med strømstyrken.

Den valgte metode til at måle den tilførte strøm, er ved brug af Hall-sensor baseret strømtransducer. Denne type transducer mäter magnetfeltet omkring forsyningslederen og omsætter det til spænding. Magnetfeltet omkring lederen, afhænger af strømstyrken gennem ledenen og derved fæs en outputspænding der afhænger af strømmen i forsyningslederen. Transduceren er designet således at outputspændingen er proportional med strømmen i transducerens måleområde.

På figur 3.16 ses princippet for strømsensoren.



Figur 3.16. Princip for Strømsensoren

Højeste nominelle tilførte strøm der skal måles:

$$P_{tilf\ddot{o}rt} = V_{tilf\ddot{o}rt} \cdot I_{tilf\ddot{o}rt} = 500W \Rightarrow I_{tilf\ddot{o}rt} = 10A \quad (3.28)$$

Der er foretaget en undersøgelse af forskellige typer Hall-effekt strømtransducere, for at finde en model der opfylder kravene. Kravene til sensoren, jf. Kravspecifikationen kapitel 1, er følgende:

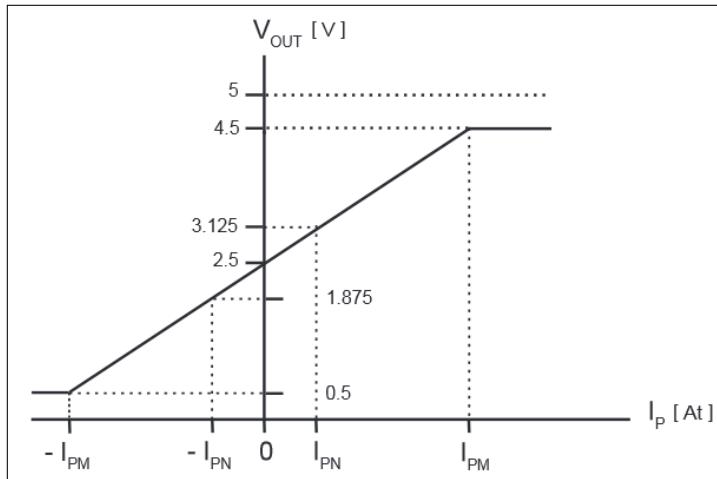
- Skal kunne måle en strøm på mindst 10A
- Skal have en nøjagtighed under 1 %
- Signaloutput skal være analogt

Den valgte transducer er: LEM Current Transducer LTS 15-NP, med et konfigurerbart måleområde, har en outspænding på 0.5 – 4.5V og en nøjagtighed på $\pm 0.2\%$.

Sammenhængen mellem den målte strøm og outputspændingen for den valgte transducer er følgende:

$$V_{output} = 2.5 \pm (0.625 \cdot \frac{I_{tilf\ddot{o}rt}}{I_{PN}}) \quad (3.29)$$

Figur 3.17¹⁵ viser outputspændingen som funktion af strømmen i forsyningslederen. I_{PN} er den nominelle RMS strøm, I_{PM} er det maksimale måleområdet, I_P er den målte strøm i forsyningslederen, V_{out} er outputspændingen.



Figur 3.17. Outputspænding som funktion af strømmen i forsyningslederen

På figur 3.17 ses det at outputspændingen V_{out} ved $0A$ er den halve forsyningsspænding:

$$\frac{V_{DC \text{ forsyning}}}{2} = 2.5 \text{ V} \quad (3.30)$$

Ved måling af nominel strøm I_{PN} er outputspændingen:

$$0.625V + \frac{V_{DC \text{ forsyning}}}{2} = 3.125 \text{ V} \quad (3.31)$$

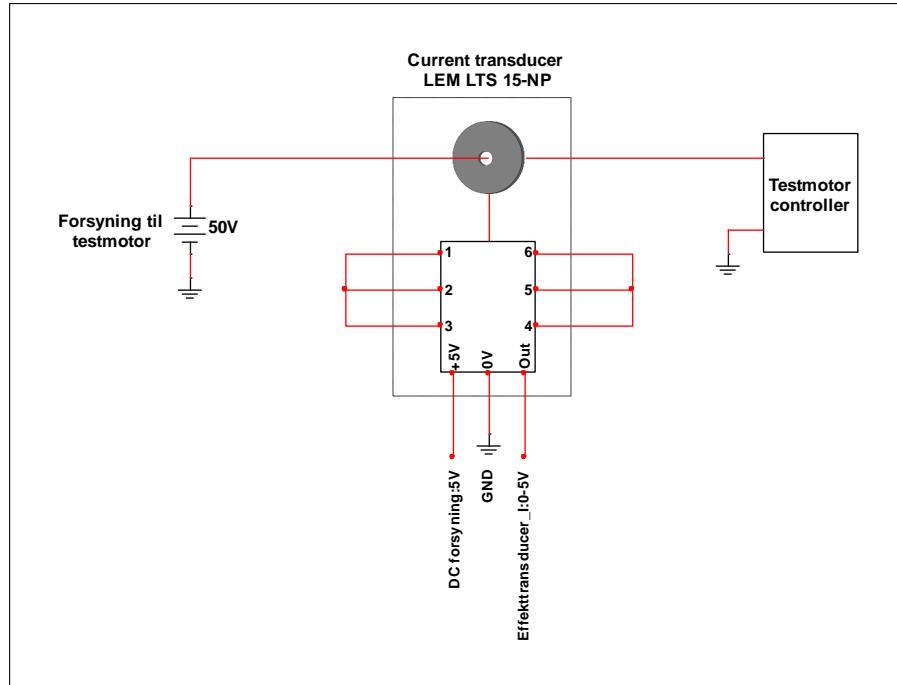
Transduceren bliver konfigureret til en nominel arbejdsmål område på $\pm 15 \text{ A}$. Opløsningen på output spændingen bliver da:

$$\frac{3.125V - 2.5V}{15A} = 41.67mV/A \quad (3.32)$$

¹⁵Se Bilag/Datablade/Effekttransducer/LEM Strømtransducer LTS NP

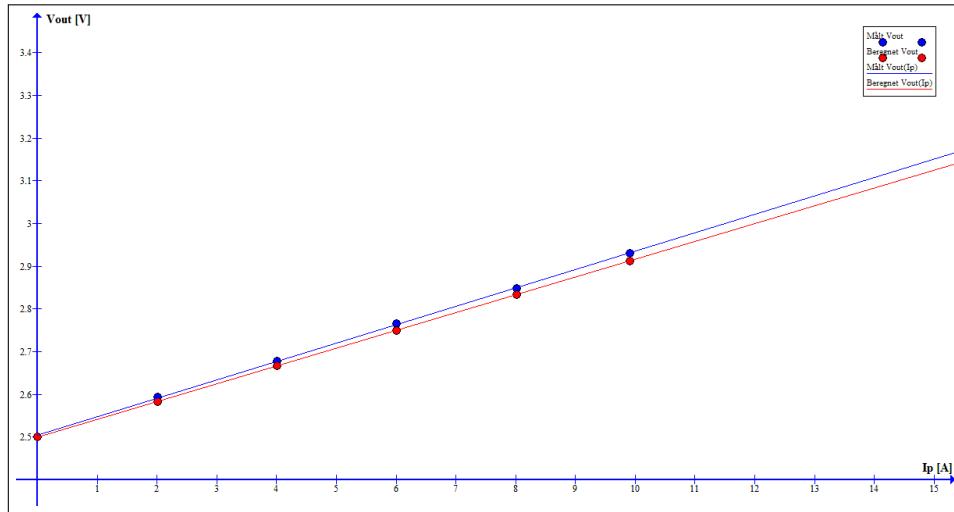
Implementering af Strømsensor

Figur 3.18 viser det færdige design af strømsensoren.



Figur 3.18. Færdig design af Strømsensoren

Der er foretaget målinger af strømsensoren for at verificere sammenhængen mellem strømmen I_P og outputspændingen V_{out} , givet i formel 3.29.



Figur 3.19. Graf for teoretisk og aktuel outputspænding som funktion af I_P

På figur 3.19 ses 2 kurver. Den røde kurve er den teoretiske V_{out} som er beregnet med formel 3.29 og den blå kurve er den målte V_{out} . Det ses at den målte V_{out} har en stejlere hældning end den beregnede V_{out} . For at få et præcist udtryk for V_{out} som funktion af I_P , er der fortaget lineær regression af den målte V_{out} .

Udtrykket for regressionslinjen for sammenhængen mellem V_{out} og I_P bliver da:

$$V_{out} = (0.043075 \cdot I_P + 2.5) \text{ V} \quad (3.33)$$

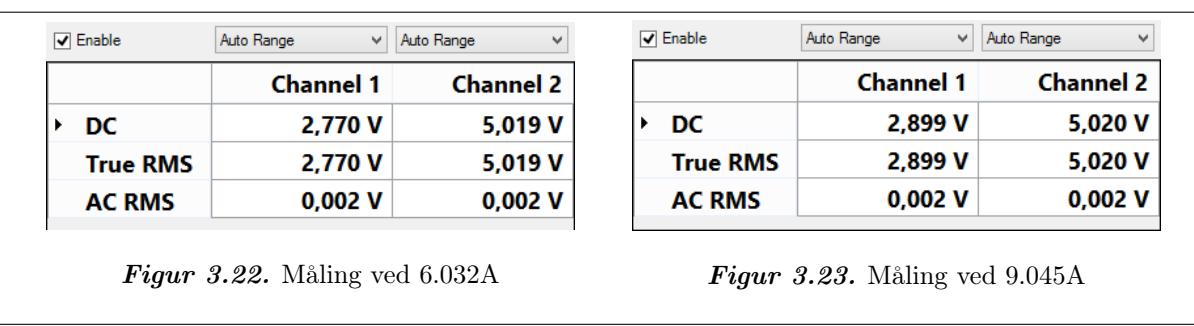
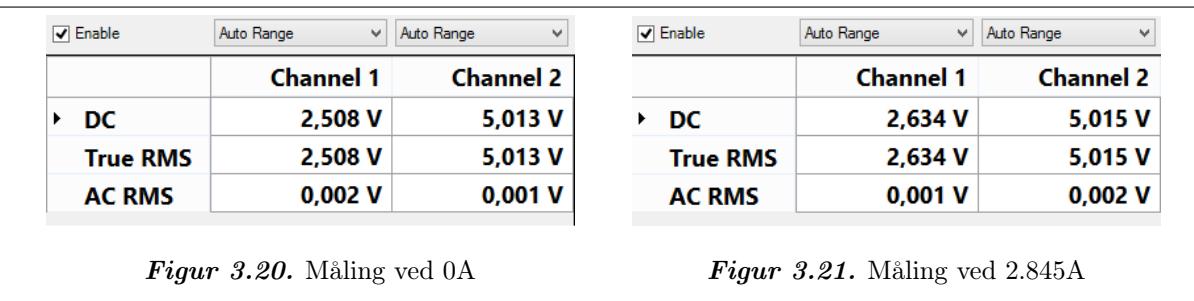
Udtrykket for den akutelle sammenhæng mellem V_{out} og I_P , givet i formel 3.33, benyttes i PSoC'en til at beregne strømmen fra forsyningen til testmotoren.

Enhedstest af Strømsensor

Test	Udførsel	Resultat	Kommentar
Kravet er at strømsensoren skal kunne måle den tilførte strøm, og afgive en spændingen, proportional med den tilførte strøm. Spændingen outputtet skal ligge i intervallet 0 – 5 V. Nøjagtigheden på sensoren skal være under 1%	Strømsensoren kobles på forsyningsleden, og belastning justeres så strømmen gennem forsyningslederen ændres med step på 1A. Den tilførte strøm gennem forsyningsleden måles med et amperemeter, og outputspændingen fra sensoren måles med et voltmeter.	Resultatet af testen er angivet på figur 3.20, 3.21, 3.22 og 3.23 og i tabel 3.5, hvor resultatet af den beregnede outputspænding og nøjagtighed er angivet. Med disse resultater er testen accepteret.	

Tabel 3.4. Enhedstest af Strømsensor

Figur 3.20, 3.21, 3.22 og 3.23 viser fire af de i alt ti målinger der er foretaget på strømtransduceren. På figurerne ses to kanaler, hvor kanal 1 er måling af outputspændingen og kanal 2 er måling af forsyningsspændingen til strømsensoren.



Den beregnede outputspænding V_{out} er beregnet som:

$$V_{out} = (0.043075 \cdot I_P + 2.5) V \quad (3.34)$$

Nøjagtigheden er beregnet som:

$$\frac{V_{målt} - V_{beregnet}}{V_{målt}} \cdot 100 \quad (3.35)$$

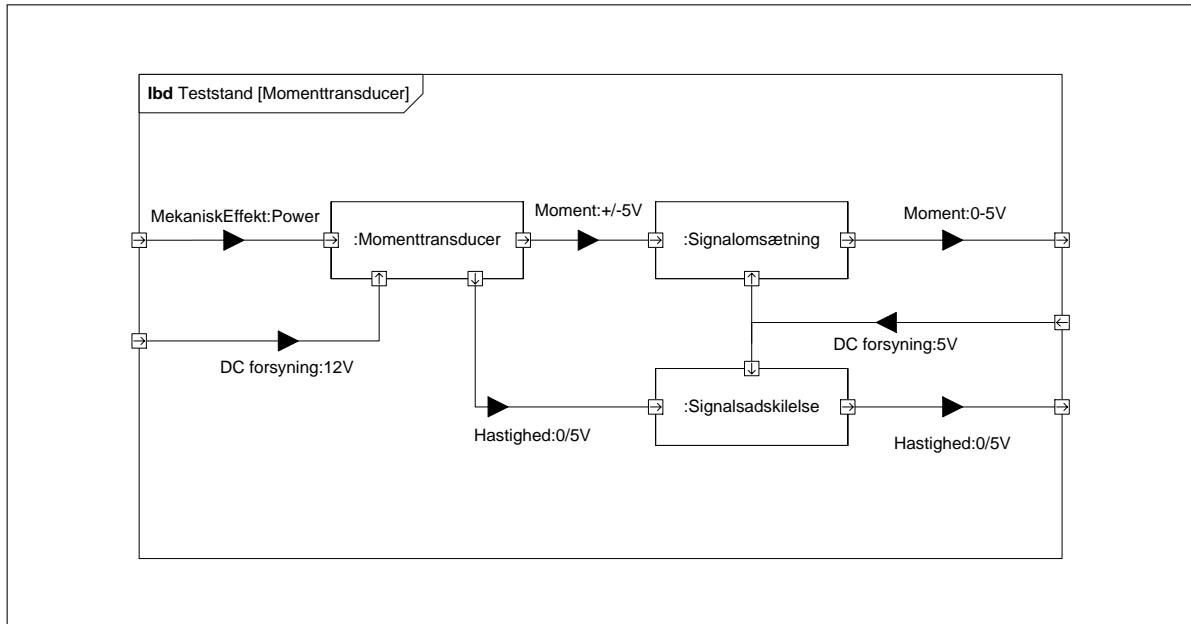
Tilført strøm [I_P]	Målt outputspænding [V_{out}]	Beregnet outputspænding [V_{out}]	Nøjagtighed [%]
0A	2.508V	2.5081V	0.004%
0.9965A	2.553V	2.5513V	0.069%
2.012A	2.589V	2.5952V	0.240%
2.845A	2.634V	2.6313V	0.103%
4.085A	2.687V	2.6850V	0.075%
5.025A	2.709V	2.7257V	0.048%
6.032A	2.77V	2.7693V	0.026%
7.117A	2.817V	2.8163V	0.026%
7.995A	2.854V	2.8543	0.010%
9.045A	2.899V	2.8999V	0.030%
9.731A	2.93V	2.9295V	0.019%

Tabel 3.5. Måling af Strømsensor

3.11 Momenttransduceren

Analyse

Formålet med Momenttransduceren er at måle momentet og den mekaniske effekt, leveret af testmotoren. Dette gøres for at kunne regulere systemet efter et ønsker moment og for at beregne testmotorens effektivitet. For at kunne måle den mekaniske effekt, kræver det måling af momentet på akslen og dennes rotationshastighed. Den mekaniske effekt er givet ved $P_m = T_{aksel} \cdot \omega_{aksel}$. På figur 3.24 ses blokdiagrammet for Momenttransduceren.



Figur 3.24. Internt blokdiagram for Momenttransducer

Design

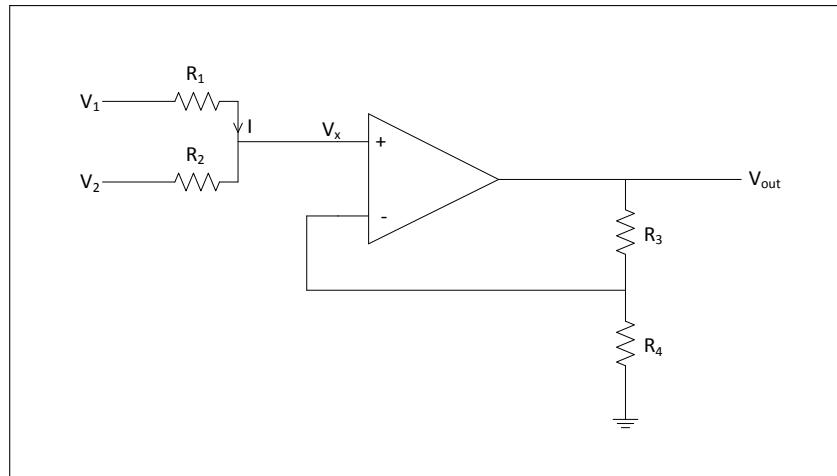
Momenttransduceren der sidder på teststanden er valgt af kunden og kan måle både moment og hastighed, og har et måleområde på $0 - 5 \text{ Nm}$ og $0 - 30.000 \text{ rpm}$ ¹⁶. Momenttransduceren kan måle momentet i begge omløbsretninger på akslen, dvs. i intervallet $-5\text{Nm} - +5\text{Nm}$. Det tilhørende målesignal er en analog spænding i intervallet $-5\text{V} - +5\text{V}$, hvilket giver et forhold mellem momentet og signalet på en-til-en.

Signalomsætning:

For at sikre at outputspændingen for det målte moment, ligge i intervallet $0 - 5 \text{ V}$, er blokken *Signalomsætning* tilføjet på blokdiagrammet, figur 3.24. For at omsætte momentsignalet fra $\pm 5 \text{ V}$ til $0 - 5 \text{ V}$ benyttes en ikke-inverterende adder. Der ligges et offset til målesignalet for at løfte outputsignalet op i det positive område.

På figur 3.25, ses det principielle kredsløb for en ikke-inverterende adder.

¹⁶Se Bilag/Datablade/Momenttransducer/Lorenz torque sensor - Analog



Figur 3.25. Principielt kredsløb for en ikke-inverterende adder

Beregning af outputspændingen fra adderen:

Det antages at alle modstande er lige store:

$$R = R_1 = R_2 = R_3 = R_4 \quad (3.36)$$

Da en ideel operationsforstærker har en uendelige stor indgangsimpedans, løber der ikke noget strøm i dens indgang. Strømmen bliver da:

$$I = \frac{V_1 - V_2}{2 \cdot R} \quad (3.37)$$

Spændingen på operationsforstærkerens positive indgang bliver da:

$$V_x = V_1 - I \cdot R = V_1 - \frac{V_1 - V_2}{2 \cdot R} \cdot R = \frac{V_1 + V_2}{2} \quad (3.38)$$

Det ses da at spændingen \$V_x\$ er gennemsnittet af spændingerne \$V_1\$ og \$V_2\$.

Forstærkningen for en ikke-inverterende operationsforstærker er:

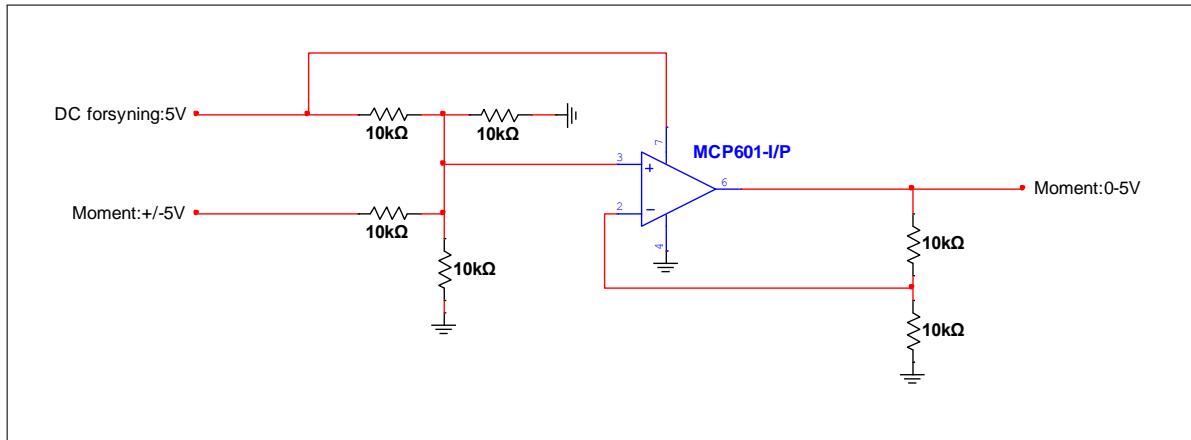
$$K = 1 + \frac{R_3}{R_4} = 2 \quad (3.39)$$

Outputspændingen bliver da:

$$V_{\text{out}} = V_x \cdot K = V_1 + V_2 \quad (3.40)$$

Det endelige design af signalomsætningen:

Da V_{out} skal ligge mellem 0 – 5 V, skal målespændingen ligge i intervallet ± 2.5 V og offsetspændingen skal være 2.5 V. Summen af de to spændinger kommer da til at ligge mellem 0 – 5 V. For at nedskalere inputspændingerne til adderen, benyttes modstande som spændingensdeler for at halvere spændingerne.



Figur 3.26. Det færdige design af Signalomsætningskredsen

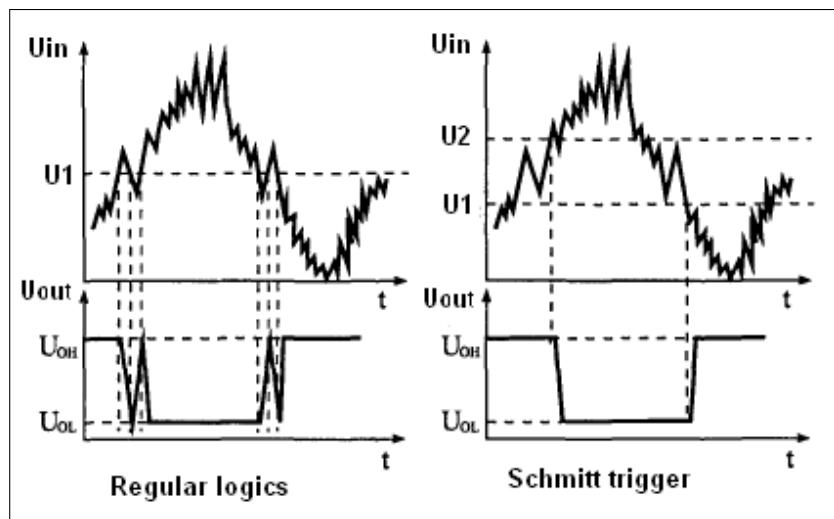
Det færdige adder-kredsløb kan ses på figur 3.26. Den valgte operationsforstærker er typen MCP601, der kan give en outputspænding helt nede fra referencespændingen og op til dens forsyningsspænding. Modstandene i kredsløbet er valgt til $10\text{ k}\Omega$, hvilket giver tilpas små strømme på maksimalt 0.25 mA .

Signaladskillelse:

Som beskrevet kan momenttransduceren også måle omløbshastigheden. Hastighedssignalet som transduceren giver, er et pulserende DC-signal, hvor frekvensen på pulserne angiver hastigheden. Transduceren afgiver 360 pulser per rotationsomgang¹⁷. Da spændingensniveauet på pulserne er 0/5 V kan signalet i princippet kobles direkte til PSoC'en.

Da der er mulighed for at der kan optræde elektrisk støj på hastighedssignalet, kan dette være en mulig fejlkilde til at hastighedssignalet ikke bliver læst korrekt. Dvs. PSoC'en fortolker støjen som værende pulser sendt fra momenttransduceren. For at minimere denne risiko er blokken *Signaladskillelse* blevet tilføjet på blokdiagrammet. Blokken har til formål at indføre en hysterese, så evt. støj ikke påvirker hastighedssignalet. Denne hysterese kan opnås ved at benytte en Schmitt trigger.

På figur 3.27 er vist et eksempel på hvordan et støjfyldt signal opfattes logisk, med og uden Schmitt trigger.



Figur 3.27. Logisk opfattelse af støjfyldt signal

Den højeste frekvens som Signaladskillelsen skal omsætte:

Den maksimale hastighed på akslen, med kundes valgte DC-generator, er $n_{aksel} = 1047 \text{ rpm}$ ¹⁸ bliver den maksimale frekvens på hastighedssignalet:

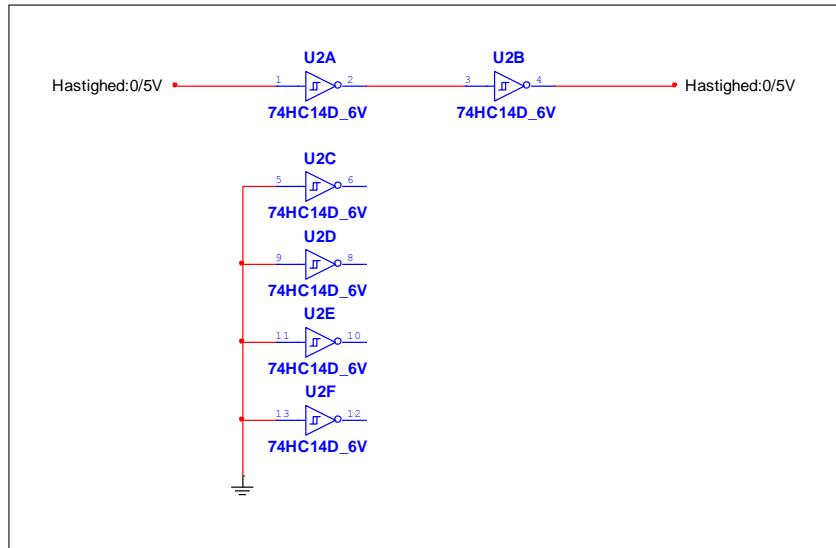
$$f_{hastighedssignal} = 360 \frac{\text{pulser}}{\text{omgang}} \cdot \frac{n_{aksel}}{60 \frac{\text{sek}}{\text{min}}} = 6.282 \text{ kHz} \quad (3.41)$$

¹⁷Se Bilag/Datablade/Momenttransducer/Lorenz torque sensor - Analog

¹⁸Se Analyse af DC-generator 3.12

Det endelige design af Signaladskillelse:

På figur 3.28 er vist det endelige design af Signaladskilleseskredsløbet. Da der benyttes inverterende Smith trigger¹⁹, er der koblet to Smith triggere i serie, for at outputtet følger inputtet. Den benyttede chip indeholder seks Smith triggere, hvoraf kun to benyttes. De ubenyttede kredse kobles til stel for at undgå oscillationer.

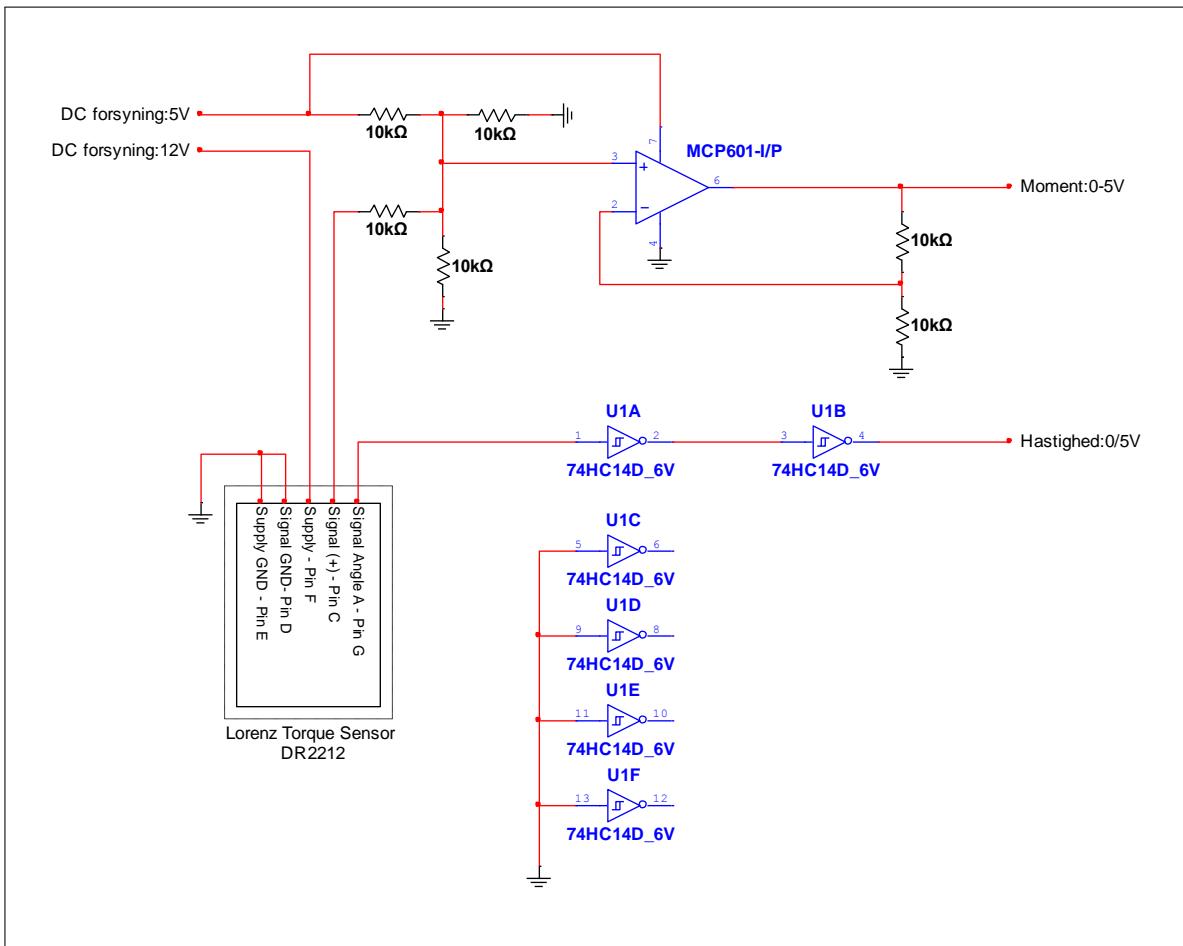


Figur 3.28. Det færdige design af Signaladskilleseskredsen

¹⁹Se Bilag/Datablade/Momenttransducer/Schmitt trigger - 74HC14

Implementering

Det endelige design af momenttransduceren kan ses på figur 3.29. Figuren viser forsyningen til momenttransduceren, måleomsætningskredsen og dennes forsyning, signaladskillelseskredsen, Pin connection for momenttransduceren samt outputsignalene til PSoC'en.



Figur 3.29. Færdig design af momenttransducer

Enhedstest

Det følgende afsnit omhandler kun enhedstest af måleomsætningskredsen for momentmålingen, samt signaladskilleeskredsen for hastighedsmåling. En nøjagtighed på 0.1%, på Momentmålingen i intervallet $\pm 5 V$ og Hastighedsmålingen, er garanteret af producenten²⁰ og undersøges derfor ikke nærmere i dette afsnit.

Enhedstest af måleomsætningskredsen:

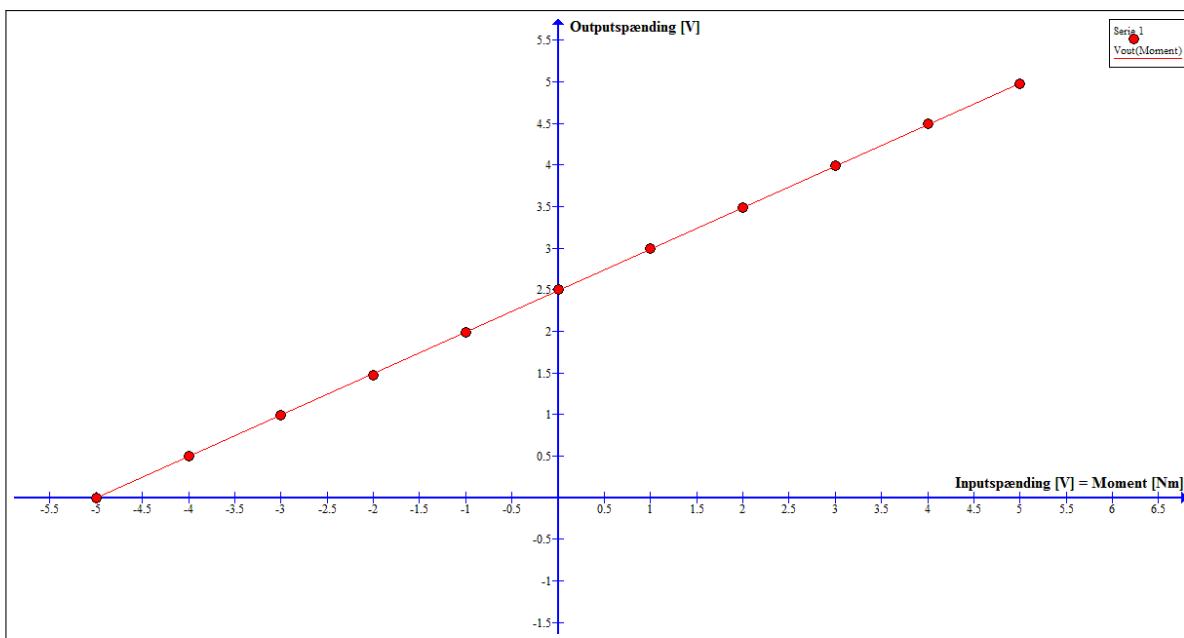
Test	Udførsel	Resultat	Kommentar
Kravet er at momenttransduceren skal kunne måle momentet på akslen og afgive en analog spænding i intervallet $0 - 5 V$ med en nøjagtighed på under 1%.	Kredsløbet påtrykkes forskellige spændinger. På det ene inputben påtrykkes $V_{offset} = 5 V$, og den andet inputben påtrykkes spændinger i intervallet $-5 V$ til $+5 V$, med én volts interval.	Resultatet af testen er angivet i tabel 3.7. Målingerne er plottet som en graf og kan ses på figur 3.30. Med disse resultater er testen accepteret.	

Tabel 3.6. Enhedstest af Momenttransducer - Moment

Inputspænding $V_1 [V]$	Tilsvarende moment $T_{aksel} [Nm]$	Inputspænding $V_{offset} [V]$	Outputspænding $V_{out} [V]$
-5	-5	5.01	0.0
-4	-4	5.01	0.5
-3	-3	5.01	0.996
-2	-2	5.01	1.47
-1	-1	5.01	1.99
0	0	5.01	2.5
+1	+1	5.01	2.99
+2	+2	5.01	3.49
+3	+3	5.01	3.99
+4	+4	5.01	4.49
+5	+5	5.01	4.97

Tabel 3.7. Måling af måleomsætningskredsløb

²⁰Se Bilag/Datablade/Momenttransducer/Lorenz torque sensor - Analog



Figur 3.30. Graf for sammenhængen mellem inputspændingen (momentet) og outputspændingen

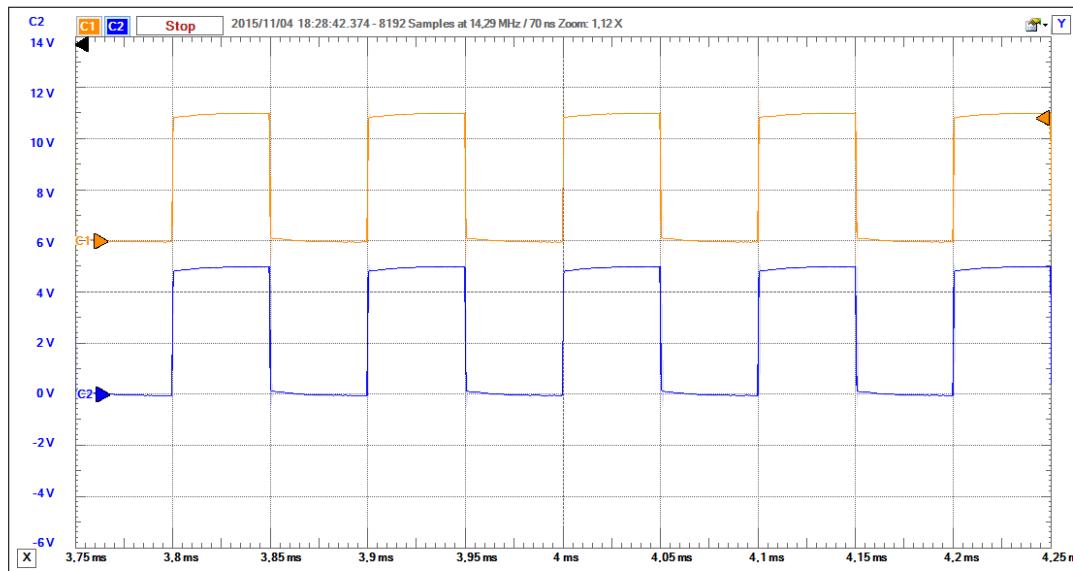
Sammenhængen mellem V_{in} (momentet) og V_{out} er fundet vha. lineær regression og har følgende forskrift:

$$V_{out} = 0.4985 \cdot V_{in} + 2.5V \quad (3.42)$$

Enhedstest af Signaladskillelseskredsen:

Test	Udførsel	Resultat	Kommentar
Kravet er at momenttransduceren skal kunne måle hastigheden på akslen og afgive pulser med en frekvens på op til 6.282 kHz jf. formel 3.41.	Kredsløbet påtrykkes, med en signalgenerator, et firkantsignal, med en amplitude på 5 V og en frekvens, der minimum tilsvarer den største frekvens momenttransduceren vil afgive. Frekvensen der benyttes til at teste kredsløbet, vælges til $f = 10 \text{ kHz}$.	Resultatet af testen er angivet på figur 3.31. Målingen viser outputsignalet på kanal 1, den gule kurve, og inputsignalet på kanal 2, den blå kurve. Af målingen ses det at outputtet fra kredsløbet følger inputtet, og med disse resultater er testen accepteret.	

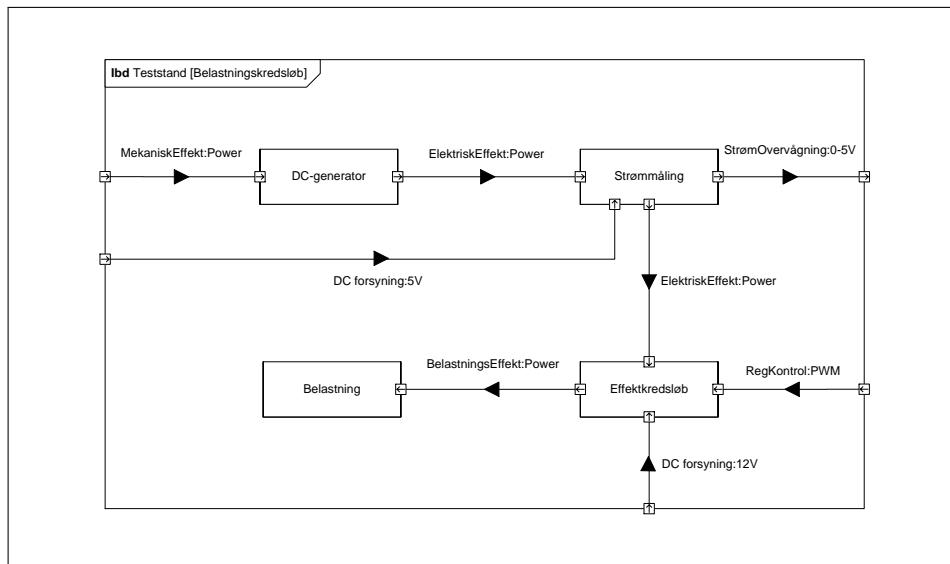
Tabel 3.8. Enhedstest af Momenttransducer - Hastighedssignal



Figur 3.31. Måling af Signaladskillelseskredsen

3.12 Belastningskredsløb

Analyse og Design af Belastningskredsløb



Figur 3.32. Internt blokdiagram for Belastningskredsløb

På figur 3.32 ses blokken Belastningskredsløb, der består af 4 parts:

- DC – generator
- Belastning
- Effektkredsløb
- Strømmåling

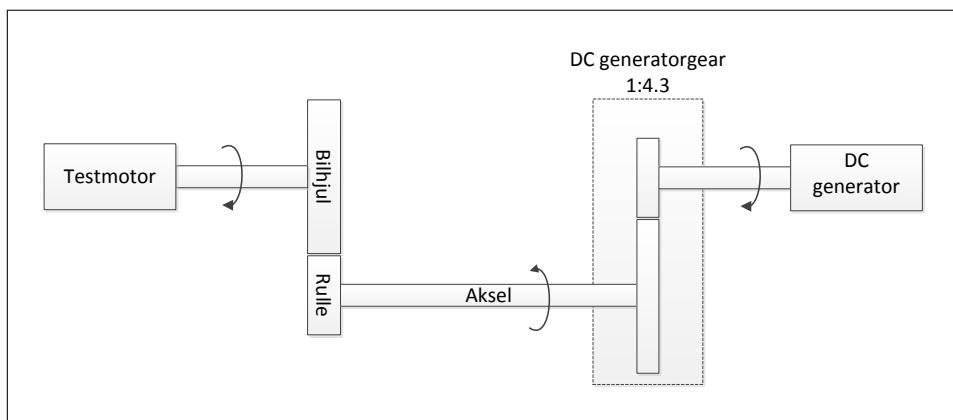
Som beskrevet i Systemarkitekturen kapitel 2, er der tilføjet strømmåling, der mäter strømmen gennem belastningskredsen. Blokken Strømmåling er derfor tilføjet på det interne blokdiagram for belastningskredsløbet. Blokken Effektkredsløb og Strømmåling kræver ekstern DC forsyning og derfor er disse tilføjet på det interne blokdiagram. De fire parts vil blive beskrevet hver for sig, i de følgende afsnit.

Analyse af DC – generator

Formålet med DC-generatoren er at omsætte mekanisk effekt til elektrisk effekt. DC-generatoren der er monteret på teststanden, er valgt af kunden og er en DC motor med permanente magneter af typen MAXON DC-motor, 200 W²¹. Selvom denne DC-generator ikke lever op til kravet om at skulle kunne levere 500 W, designes belastningskredsløbet således at der efterfølgende kan monteres en 500 W DC-generator i spændingsintervallet $24V_{DC} - 100V_{DC}$, som beskrevet i Kravspecifikationen kapitel 1.

Hastigheden på DC-generatoren - Eco-Marathon bilen på rullefeltet:

Da outputspændingen fra DC-generatoren er afhængig af generatorens rotorhastighed, er der lavet beregninger for at finde outputspændingen. Figur 3.33 er en skitse af systemets mekaniske opstilling, når der foretages test af Eco-Marathon bilen, stående på rullefeltet. Bilens hjul trækker rullen, som får akslen til at rottere. På akslen er DC-generatoren monteret med kundens valgte gearkasse, med et omsætningsforhold på 1:4.3.



Figur 3.33. Mekanisk opstilling af Eco-Marathon bil på rullefeltet

Følgende beregninger afklarer outputspændingen fra DC-generatoren når den drives ved Eco-Marathon bilens marchhastighed.

Data for den mekaniske opstilling²² og DC-generator²³ er følgende:

Eco-Marathon bilens marchhastighed:

$$v_{march} = 30 \frac{km}{t} = 8.333 \frac{m}{s} \quad (3.43)$$

Bilens hjuldiameter:

$$d_{hjul} = 0.478 m \quad (3.44)$$

Diameter på rulle:

$$d_{rulle} = 0.152 m \quad (3.45)$$

²¹Se Bilag/Datablade/Belastningskredsløb/DC-Generator

²²Se Bilag/Datablade/Belastningskredsløb/M7BAC-9 - Optimering af drivlinje

²³Se Bilag/Datablade/Belastningskredsløb/DC-Generator

Gearkassens omsætningsforhold:

$$\text{gear ratio} = 1 : 4.3 \quad (3.46)$$

Hastighed på bilen hjul:

$$\omega_{hjul} = \frac{v_{march}}{\frac{d_{hjul}}{2}} = 34.87 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 332.96 \text{ rpm} \quad (3.47)$$

Gearingsforhold mellem bilhjul og aksel:

$$\frac{O_{hjul}}{O_{rulle}} = \frac{\pi \cdot d_{hjul}}{\pi \cdot d_{rulle}} = 3.145 \quad (3.48)$$

Hastighed på aksel:

$$\omega_{aksel} = \omega_{hjul} \cdot \frac{O_{hjul}}{O_{rulle}} = 109.65 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 1047 \text{ rpm} \quad (3.49)$$

Rotorhastighed for DC-generator:

$$\omega_{DC\text{-generator}} = \omega_{aksel} \cdot \text{gear ratio} = 471.49 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 4502 \text{ rpm} \quad (3.50)$$

Spændingskonstant for DC-generator:

$$K_{hastighed} = 248 \frac{\text{rpm}}{\text{V}} \quad (3.51)$$

DC-generatorens inducerede spændingen ved marchhastighed:

$$V_b = \frac{n_{DC\text{-generator}}}{K_{hastighed}} = 18.16 \text{ V} \quad (3.52)$$

I afsnittet Analyse og Design af Belastning afsnit 3.12 foretages der beregning af loadmodstanden R_{load} . Det verificeres i afsnittet at den beregnede spænding V_b , kan afsætte 200W i loadmodstanden R_{load} .

Den maksimale effekt som kundens valgte DC-generator kan leve:

$$P_{max} = 200 \text{ W} \quad (3.53)$$

Momentet på akslen ved marchhastigheden:

$$T_{aksel} = \frac{P_{max}}{\omega_{aksel}} = 1.83 \text{ Nm} \quad (3.54)$$

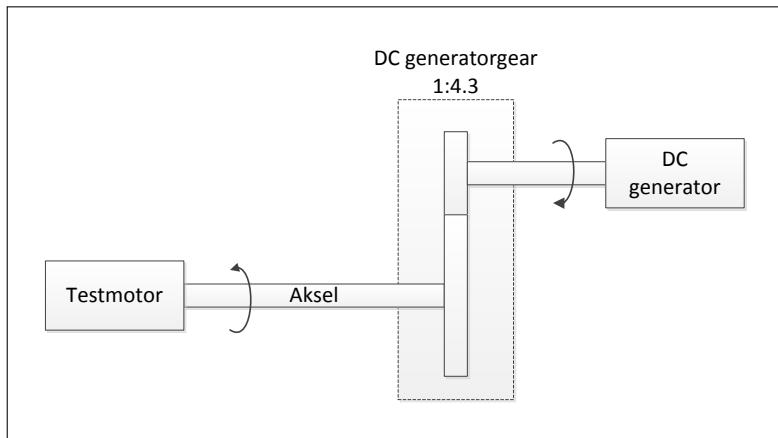
Maksimal moment på akslen er givet ved momenttransducerens arbejdsområde²⁴ på 5 Nm:

$$T_{aksel} \leq T_{momenttransducer} \Rightarrow OK \quad (3.55)$$

²⁴Bilag/Datablade/Momenttransducer/Lorenz torque sensor - Analog

Hastigheden på DC-generatoren - testmotoren er monteret direkte på akslen:

Ifølge Kravspecifikationen kapitel 1, skal teststanden kunne benyttes ved at drive systemet via rullen monteret på akslen eller ved at montere testmotoren direkte på systemets aksel. Figur 3.34 er en skitse af den mekaniske opstilling, når der foretages test med testmotoren monteret direkte på akslen. På akslen er DC-generatoren monteret med kundens valgte gearkasse, med et omsætningsforhold på 1:4.3.



Figur 3.34. Mekanisk opstilling af testmotor, koblet direkte på aksel

Følgende beregninger afklarer hastigheden som testmotoren skal drives ved, for at kunne afsætte 200W i belastningskredsløbet.

Den mindste terminalspænding på DC-generator der kan afsætte 200 W er jf. formel 3.71
 $e_a = 16.13 V$

Minimum rotorhastighed på DC-generator:

$$\omega_{DC\text{-generator minimum}} = e_a \cdot K_{hastighed} \cdot \frac{2 \cdot \pi}{60 \text{ s}} = 418.9 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 4000 \text{ rpm} \quad (3.56)$$

Minimum hastighed på aksel:

$$\omega_{aksel\ minimum} = \frac{\omega_{DC\text{-generator minimum}}}{gear\ ratio} = 97.42 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 930.3 \text{ rpm} \quad (3.57)$$

$\omega_{aksel\ minimum}$ er den laveste hastighed som testmotoren kan drives ved, for at kunne afsætte 200W i belastningskredsløbet. Hvis det ikke er muligt at drive motoren ved denne hastighed skal gearingsforholdet på DC-generatoren ændres, således at rotorhastigheden er minimum $\omega_{DC\text{-generator minimum}}$.

Gearingsforholdet hvis testmotoren skal drives ved marchhastighed:

$$\frac{\omega_{hjul}}{\omega_{DC\text{-generator minimum}}} = 12.0 \quad (3.58)$$

Analyse og Design af Belastning

For at kunne afsætte den producerede elektriske effekt, benyttes der effektmodstande hvor strømmen fra DC-generatoren ledes gennem. DC-generatoren med den mindste anførte spænding jf. Kravspecifikationen kapitel 1, er 24 V. Ved denne spænding skal systemet kunne afsætte 500W i belastningsmodstanden R_{load} . Spændingen på 24 V er udgangspunktet for beregningen af belastningsmodstanden, og der foretages beregning for at sikre at der kan afsættes 200 W med kundens valgte DC-generator.

Beregning af størrelse på belastningsmodstand:

Den maksimale effektafsættelse:

$$P_{max} = 500 \text{ W} \quad (3.59)$$

Spændingen effekten P_{max} skal kunne afsættes ved:

$$V_{minimum} = 24 \text{ V} \quad (3.60)$$

Størrelsen af belastningsmodstanden:

$$R_{load} = \frac{V_{minimum}^2}{P_{max}} = 1.152 \Omega \quad (3.61)$$

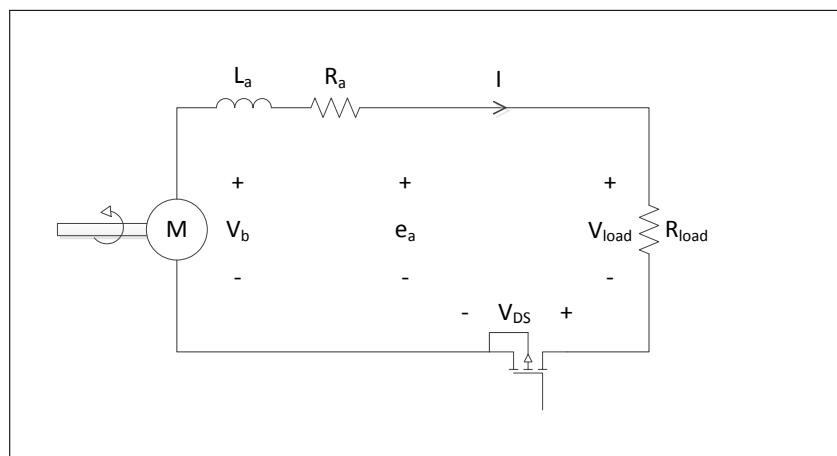
Den beregnede modstand kan realiseres med 2 stk 2.2 Ω modstande koblet parallelt.

$$R_{load} = \left(\frac{1}{2.2 \Omega} + \frac{1}{2.2 \Omega} \right)^{-1} = 1.1 \Omega \quad (3.62)$$

De valgte modstande er af typen TE Connectivity serie HSC250 Trådviklet Modstand til panelmontering, 2.2 Ω, 250 W²⁵.

Effektafsættelse med kundens valgte DC-generator:

I den følgende afsnit beregnes den størst mulige effektafsættelse i belastningsmodstandene med kundens valgte DC-generator.



Figur 3.35. Skitse af Belastningskredsløbet

²⁵Se Bilag/Datablade/Belastningskredsløb/Belastningsmodstande

Spændingen fra DC-generatoren²⁶

$$V_b = 18.16V \quad (3.63)$$

Spændingsfaldet over power MOSFET²⁷:

$$V_{DS} = 1.3 V \quad (3.64)$$

Strømmen der afsætter 200W:

$$I_{200W} = \sqrt{\frac{P}{R_{load}}} = 13.484 A \quad (3.65)$$

Ankermodstanden i DC-generatoren²⁸:

$$R_a = 0.103 \Omega \quad (3.66)$$

Spændingen over belastningsmodstanden:

$$V_{load} = V_b - I_{200W} \cdot R_a - V_{DS} = 15.47 V \quad (3.67)$$

Effektafsættelsen i belastningsmodstanden:

$$P_{load} = \frac{V_{load}^2}{R_{load}} = 217.6 W \Rightarrow OK \quad (3.68)$$

Kundens valgte DC-generator kan levele en nominel strøm på 10.8 A. Når der foretages test, hvor DC-generatoren skal afsætte 200 W ved marchhastighed, vil DC-generatoren ifølge formel 3.65, levele 13.484 A. DC-generatoren kan kortvarigt levele denne strøm²⁹, men det er vigtigt at være opmærksom på at DC-generatoren ikke kan levele 200 W kontinueret. For kontinueret at afsætte 200 W, skal hastigheden på bilen hjul være 340 rpm, der vil generere en spænding på 18.52 V som medfører en strøm på 10.8 A.

Laveste tilladelige terminalspænding e_a :

Minimum effektafsættelse:

$$P_{minimum} = 200 W \quad (3.69)$$

Minimumsspændingen for at afsætte 200W:

$$V_{load_{minimum}} = \sqrt{P_{minimum} \cdot R_{load}} = 14.83 V \quad (3.70)$$

Mindste terminalspænding for at afsætte 200W:

$$e_{a_{minimum}} = V_{load_{minimum}} + V_{DS} = 16.13 V \quad (3.71)$$

$e_{a_{minimum}}$ benyttes til at finde den laveste hastighed som systemet kan drives ved³⁰.

²⁶Se Analyse af DC-generator, afsnit 3.12

²⁷Bilag/Datablade/Belastningskredsløb/Power MOSFET

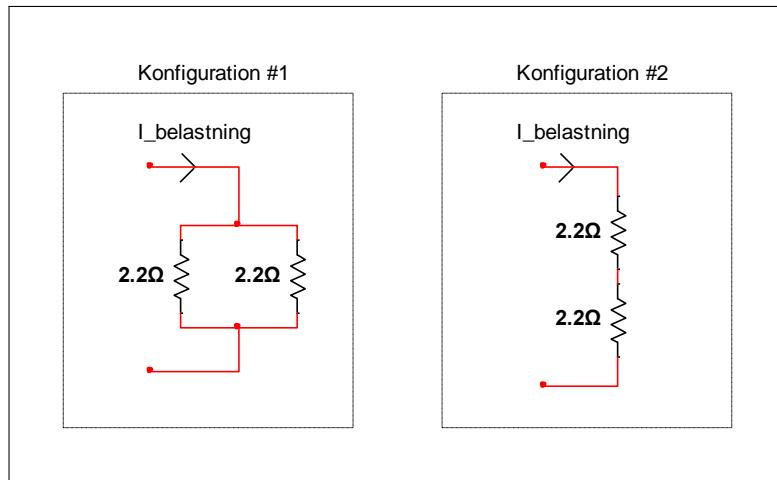
²⁸Se Bilag/Datablade/Belastningskredsløb/DC-generator

²⁹Se Bilag/Datablade/Belastningskredsløb/DC-generator

³⁰Se Analyse af DC-generator, afsnit 3.12

Konfiguration af belastningsmodstandene:

Systemet skal kunne benyttes med en DC-generator der ligger i spændingsintervallet 24 V – 100 V jf. Kravspecifikationen kapitel 1. Da strømmen er proportional med spændingen over belastningsmodstanden, vil strømmene i systemet bliver voldsomme høje pga. den lave modstand i belastningsmodstanden. For at imødekommne denne udfordring, er det besluttet at modstandene skal kunne omkonfigureres mellem parallel- og serieforbindelse, for at holde strømmen nede på et acceptabelt niveau.



Figur 3.36. Konfigurationer af belastningsmodstandene

På figur 3.36 er de to konfigurationer vist. Konfiguration #1 benyttes i spændingsintervallet 24 V – 48 V og konfiguration #2 benyttes i spændingsintervallet 48 V – 100 V.

Strømmen i belastningskredsen med kundens valgte DC-generator:

Modstanden i konfiguration #1:

$$R_{load_1} = \left(\frac{1}{2.2 \Omega} + \frac{1}{2.2 \Omega} \right)^{-1} = 1.1 \Omega \quad (3.72)$$

Peak strømmen i belastningskredsen:

$$I_{load_1} = \frac{V_{load}}{R_{load_1}} = 14.24 A \quad (3.73)$$

Højeste forekomne strøm i belastningskredsen:

Den største strøm vil forekomme ved den højeste spændingen gældende for konfiguration #1:

$$V_{max_1} = 48 V \quad (3.74)$$

Peak strømmen bliver da:

$$I_{load_{max}} = \frac{V_{max_1}}{R_{load_1}} = 43.64 A \quad (3.75)$$

$I_{load_{max}}$ sætter kravet til komponenterne i belastningskredsen.

Strømmen ved højeste forekomne spænding i belastningskredsen:

Den højeste spænding påtrykkes belastningskredsen, ved konfiguration #2 af modstandene:

$$V_{max_2} = 100 \text{ V} \quad (3.76)$$

Modstanden ved konfiguration #2:

$$R_{load_2} = 2 \cdot 2.2 \Omega = 4.4 \Omega \quad (3.77)$$

Strømmen i belastningskredsen:

$$I_{load_2} = \frac{V_{max_2}}{R_{load_2}} = \frac{100}{4.4} = 22.73 \text{ A} \quad (3.78)$$

Implementering af Belastningsmodstande:

De valgte effektmodstande har en tolerance på $\pm 5\%$, og for at finde deres præcise modstandsværdi, er det foretaget en måling af dem. Målingen er foretaget mens modstandene er koblet ved konfiguration #1, dvs. parallelt. Modstandskoblingen er blevet påtrykt en spænding og strømmen gennem koblingen er blevet målt

Påtrykt spænding:

$$V_{R_{load}} = 8 \text{ V}_{DC} \quad (3.79)$$

Den målte strøm:

$$I_{R_{load}} = 7.23 \text{ A} \quad (3.80)$$

Modstandskoblingens faktiske størrelse:

$$R_{load} = \frac{V_{R_{load}}}{I_{R_{load}}} = \frac{8}{7.23} = 1.1065 \Omega \quad (3.81)$$

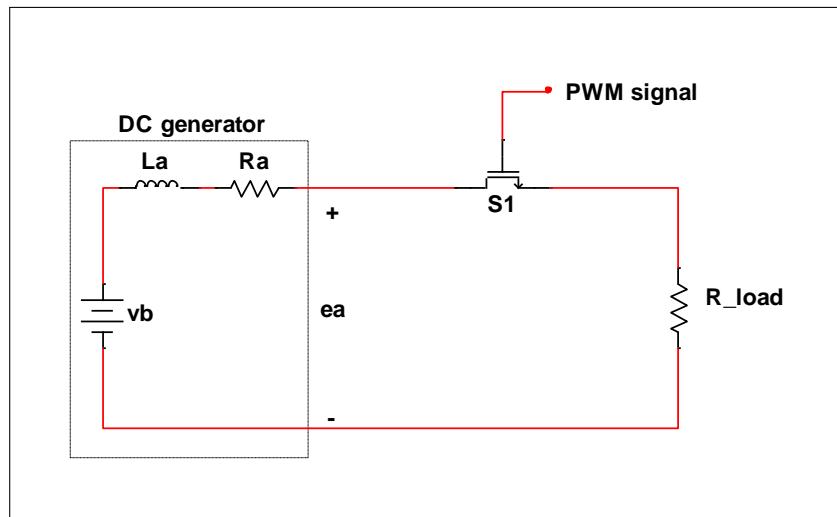
Afvigelsen mellem den aktuelle modstandsværdi og den forventede værdi bliver da:

$$Afvigelse = \frac{R_{load_{Aktuel}} - R_{load_{Forventet}}}{R_{load_{Forventet}}} \cdot 100 = \frac{1.1065 - 1.1}{1.1} \cdot 100 = 0.6\% \quad (3.82)$$

Afvigelsen er så lille at den forventede modstandsværdi på 1.1Ω , benyttes i de videre beregninger.

Analyse og Design af Effektkredsløb

For at kunne regulere mængden af effekt der skal afsættes i belastningsmodstanden R_{Load} , benyttes en MOSFET transistor til at styre strømmen. MOSFET'en styres ved hjælp af et PWM-signal, sendt fra Kontrolenheden. PWM-signalet reguleres så middelværdien af strømmen over en switchperiode, giver effektafsættelsen i belastningsmodstanden. På figur 3.37 ses den principielle kredsløb, bestående en af DC-generator med outputspændingen e_a , en MOSFET transistor der styres vha. et PWM-signal og belastningsmodstanden.



Figur 3.37. Princip for Effektkredsløbet

Grundet DC-generatorens selvinduktion vil der, når transistoren går fra ON til OFF tidstand, opstå en transient spændingen. Dinne spænding opstår da strømmen gennem en spole ikke kan ændres momentant.

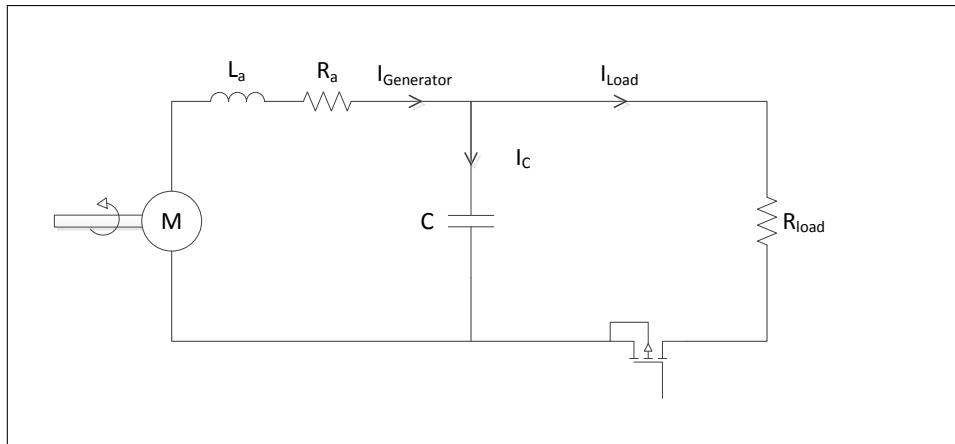
Spændingen over en spole er givet ved:

$$v_{spole} = L \cdot \frac{di}{dt} \quad (3.83)$$

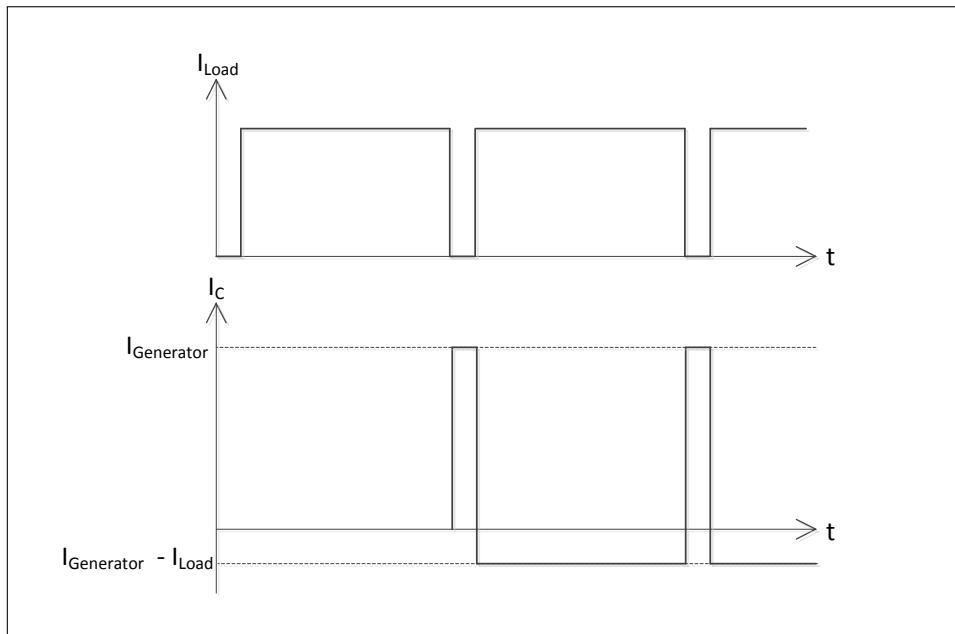
Da man forsøger at sætte dt tæt på 0 går ledet på højre side mod uendelig, og dermed vil spændingen også gå mod uendeligt. For at undgå dette skal der indføres en kontinueret strømvej, så strømmen ikke forsøges ændret momentant.

Kontinueret strømvej:

Den valgt metode til at sikre en kontinueret strømvej, er ved at benytte en kondensator der er koblet parallelt over generatorterminalerne, se figur 3.38. Dette medvirker at strømmen, i den tid hvor transistoren er OFF, vil løbe i kondensatoren og oplade denne. Når transistoren går ON vil strømmen fra DC-generatoren og Kondensatoren løbe i belastningsmodstanden, og dermed aflade kondensatoren igen. Strømmenes forløb under en switchperiode kan ses på figur 3.39.



Figur 3.38. Princip af effektkredsløb med kondensator



Figur 3.39. Strømmens forløb under en switchperiode

Da generatorens terminalspændingen e_a , er konstant for en given belastning, medfører det at op- og afladningen af kondensatoren, skal være den samme i løbet af en switchperiode. Hvis dette ikke var tilfældet ville spændingen e_a ændre sig.

Da en ikke-ideel kondensator har en ohmsk modstand og strømmen i kondensatoren ændre sig over en switchperiode, vil der afsættes effekt i kondensatoren. Modstanden i en kondensator bliver angivet som en ækvivalent seriemodstand og betegnes ESR.

Effektafsættelsen i kondensatoren er givet ved:

$$P_C = ESR \cdot I_{Crms} \quad (3.84)$$

For at minimere effektafsættelsen i kondensatoren, skal der vælges en kondensator med en lav ESR.

Beregning af kondensatorstørrelse:

Størrelsen af kondensatoren bliver givet ved det største tilladelige spændingsfald over den i løbet af en switchperiode. Beregningerne er foretaget for en effektafsættelse på 200W med kundens valgte DC-generator. Følgende udtryk for strømmen i en kondensator benyttes til at fastsætte kondensatorstørrelsen:

$$I_C = C \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (3.85)$$

Spændingen ved rated speed er givet ved formel 3.52:

$$e_a = 18.16 \text{ V}$$

Den mindste spænding der kan afsætte 200 W er givet ved formel 3.71:

$$e_{a_{minimum}} = 16.13 \text{ V}$$

Strømmen der kan afsætte 200 W er givet ved formel 3.65:

$$I_{200W} = 13.484 \text{ A}$$

Switchfrekvensen vælges så den ligger uden for det hørbare område på $20Hz - 20kHz$. Den vælges derfor til:

$$f_{sw} = 20 \text{ kHz} \quad (3.86)$$

Tiden som spændingen ΔV falder over er givet ved periodetiden for switchfrekvensen.

$$\Delta t = \frac{1}{f_{sw}} = 0.05 \text{ ms} \quad (3.87)$$

Den maksimale tilladelige spændingsfald over en switchperiode:

$$\Delta V = e_a - e_{a_{minimum}} = 2.03 \text{ V} \quad (3.88)$$

Den mindste kondensatorstørrelse bliver da:

$$I_{200W} = C \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t} \Rightarrow C_{minimum} = 333 \mu F \quad (3.89)$$

Valg af kondensator:

Den valgte kondensator skal opfylde følgende krav:

- Skal kunne klare op til $100V_{DC}$
- Skal minimum kunne klare en frekvens lig switchfrekvensen på $f_{sw} = 20kHz$
- Skal kunne klare den højeste forekomne rippetstrøm på $I_{load_{max}} = 43.64 A$, givet ved formel 3.75
- Have en lav ESR

Den valgte kondensator er: Epcos B41570 Aluminium elektrolytkondensator, $10.000 \mu F$, $100V_{DC}$ ³¹.

I systemet forekommer høje rippetstrømme og det ønskes at finde en kondensator med lav ESR. Kondensatorne der opfylder disse krav har høje kapacitetsværdier, og derfor er den valgte kondensator meget større end den beregnede værdi. Denne kondensator kan tåle en rippetstrøm på $16 A$, hvilket ikke opfylder kravet om den højeste forekomne rippetstrøm i systemet. Ved at parallelkoble 3 af disse kondensatorer vil de samlet set kunne klare $3 \cdot 16 A = 48 A$, hvilket opfylder kravet. Udfordringen ved denne løsning er at de tre kondensatorer skal have præcis samme ESR værdi, for at strømmene deler sig symmetrisk.

Da der i dette projekt udvikles en prototype, der skal kunne belaste kundens valgte DC-generator, er det valgt kun at benytte en af disse kondensatorer. I det færdigimplementede system skal der benyttes yderligere 2 kondensatorer af samme type.

Spændingsfald over kondensator:

Med den valgte kondensator bliver det største spændingsfald over en switchperiode:

$$I_C = C \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t} \Rightarrow \Delta V = \frac{I_{200W}}{C_{valgt}} \cdot \Delta t = 67 mV \quad (3.90)$$

Med det beregnede spændingsfald fra formel 3.90, kan spændingen antages at være konstant over kondensatoren.

Beregning af effektafsættelse i ESR i valgt kondensator:

Den største rms strøm i kondensatoren forekommer ved en dutycycle på 50%.

Strømmen der vil løbe i belastningsmodstanden:

$$I_{load_{50\%}} = \frac{e_a}{R_{load}} \cdot 50\% = 8.255 A \quad (3.91)$$

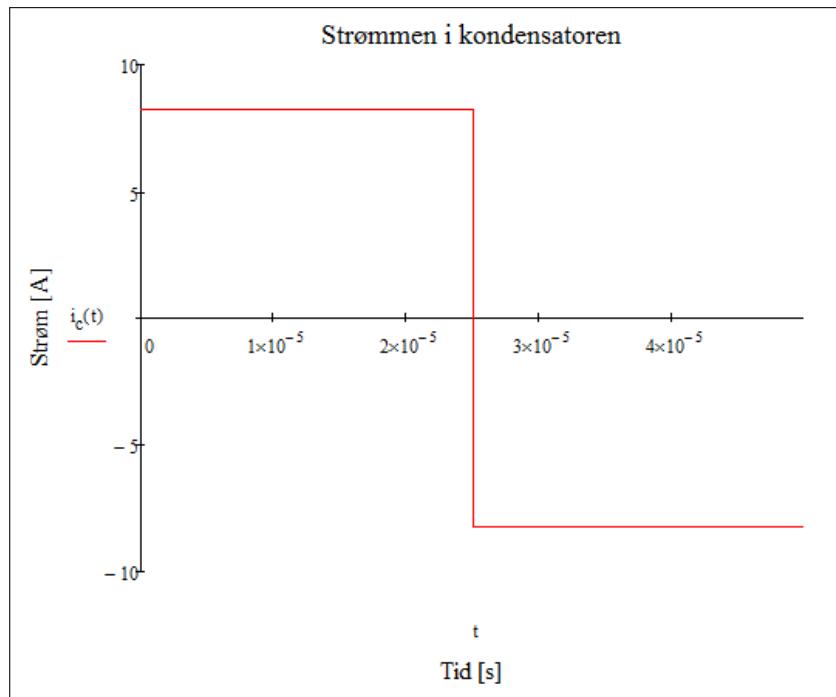
Denne strøm vil løbe fra kondensatoren når transistoren er ON og vil løbe til kondensatoren når transistoren er OFF.

Strømmen i kondensatoren er i løbet af en switchperiode med en dutycycle på 50% er givet ved:

$$i_c(t) = \begin{cases} I_{load_{50\%}} & \text{if } 0 < t \leq \frac{T}{2} \\ -I_{load_{50\%}} & \text{if } \frac{T}{2} < t \leq T \end{cases} \quad (3.92)$$

³¹Se Bilag/Datablade/Belastningskredsløb/Kondensator

På figur 3.40 ses plottet af $i_c(t)$.



Figur 3.40. Strømmen i kondensatoren

RMS strømmen i kondensatoren ved en dutycycle på 50% er givet ved:

$$I_{C_{RMS}} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T (i_c(t))^2 dt} = 8.255 \text{ A} \quad (3.93)$$

ESR modstanden i den valgte kondensator³²:

$$ESR = 15m\Omega \quad (3.94)$$

Effektafsættelse i ESR modstanden:

$$P_C = ESR \cdot I_{C_{RMS}}^2 = 1.022 \text{ W} \quad (3.95)$$

Beregning af RCL-filter:

Ved at indføre kondensatoren fås et RLC-lavpasfilter, bestående af DC-generatorens ankermodstand, selvinduktion og den tilføjede kondensator. Dette lavpasfilter vil dæmpe de højere frekvenser, der opstår pga. switching, og dermed vil strømmen fra DC-generatoren være en DC-strøm.

DC-generatorens selvinduktion³³:

$$L_a = 0.072 \text{ mH} \quad (3.96)$$

³²Se Bilag/Datablade/Belastningskredsløb/Kondensator

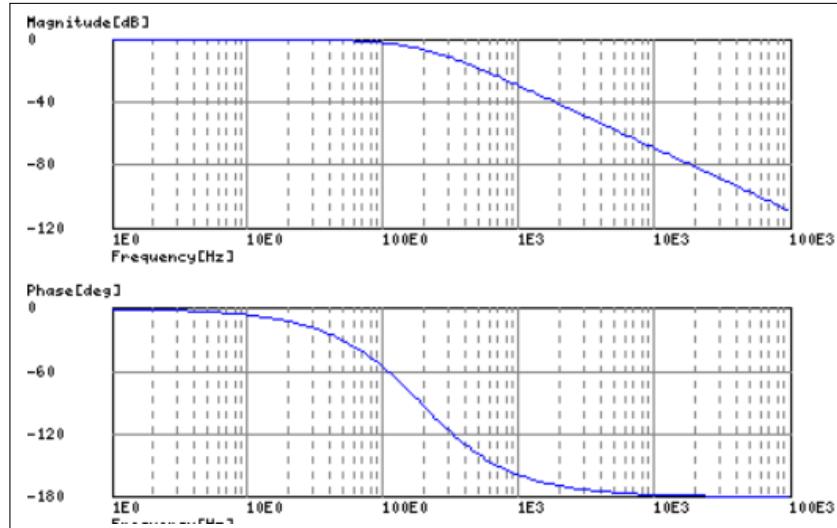
³³Se Bilag/Datablade/Belastningskredsløb/DC-generator

Kondensatorens størrelse:

$$C = 10.000 \mu F \quad (3.97)$$

Afskæringsfrekvensen for lavpasfilteret:

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_a \cdot C}} = 187.57 \text{ Hz} \quad (3.98)$$



Figur 3.41. Bodeplot for RCL filter

På figur 3.41 ses bodeplottet af RCL filteret. På figuren kan det aflæses at forstærkningen ved switchfrekvensen $f_{sw} = 20 \text{ kHz}$ er $-80 \text{ dB} = -10.000 \text{ gg}$.

Med denne store dæmpning vil strømmen fra DC-generatoren være en DC-strøm.

MOSFET:

Jf. Analyse af DC-generator afsnit 3.12, skal MOSFET'en kunne klare minimum 44 A. MOSFET'en er valgt som en n-kannals, da disse generelt har højere strømrating end p-kannals. Den valgt MOSFET er typen MOSFET Transistor, N Channel, 50 A, 200 V.

For at drive MOSFET'en benyttes en Gate driver, af følgende grunde:

- Gaten på en MOSFET har en indgangskapasitans, og for at undgå for stor effektafsættelse i MOSFET'en er det vigtigt at få den til at lede strømmen så hurtigt så muligt. Dette gøres ved at oplade Gate kapasitansen hurtigst muligt, hvilket kræver en større strøm end PSoC'en kan leve på sin udgang.
- MOSFET'en kræver en gate-to-source spænding på 12 V, og da PSoC'en kun kan leve en spænding på 5 V, er der behov for et trin hvor signalspændingen kan øges.

Beregning af den nødvendige strøm for at oplade indgangskapasitans:

MOSFET'en totale gate ladning³⁴:

$$Q_g = 234 \text{ nC} \quad (3.99)$$

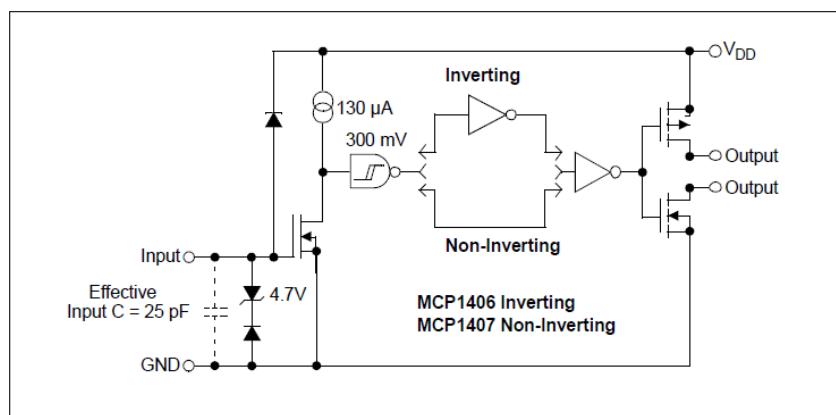
Switching tiden³⁵:

$$t = 60 \text{ ns} \quad (3.100)$$

Den nødvendige gatestrøm:

$$I_{gate} = \frac{Q_g}{t} = 3.9 \text{ A} \quad (3.101)$$

Den valgte gate driver er MCP1407 MOSFET Driver³⁶. Der benyttes standart konfiguration af driveren, og kan ses på figur 3.42.



Figur 3.42. Konfiguration af Gate driveren

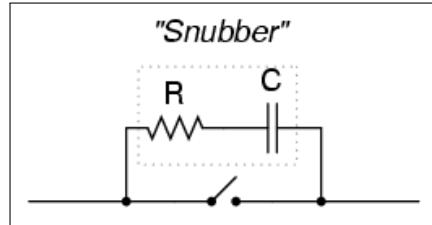
³⁴Se Bilag/Datablade/Belastningskredsløb/Power MOSFET

³⁵Se Bilag/Datablade/Belastningskredsløb/Power MOSFET

³⁶Se Bilag/Datablade/Belastningskredsløb/Gate driver

Beskyttelse mod transiente:

For at beskytte MOSFET transistoren mod de transiente spændinger, der vil opstå under switching, skal der implementeres en kreds der kan dæmpe disse transiente spændinger. Det er valgt at benytte en Snubberkreds, der består af en kondensatorer med serieforbundet modstand. På figur 3.43 er vist hvordan Snubberkredsen er koblet parallelt over switchen.



Figur 3.43. Princip for kobling af Snubber

Kravet til Snubberkredsen er følgende:

- Skal kunne klare den højeste forekomne spænding i systemet på $100V_{DC}$
- Skal have en dæmpningsfaktor på $\zeta < 1$

Det er valgt at benytte en integreret Snubberkreds af typen: RC-led 250nF 22Ω 630V_{DC}/250V_{AC}.

Dæmpningsfaktoren for den valgte Snubberkreds når den er indkoblet i belastningskredsløbet er følgende:

$$\zeta = \frac{R_{Snubber} + R_{load} + R_a \cdot \sqrt{C_{Snubber} \cdot L_a}}{2 \cdot L_a} = 0.679 \quad (3.102)$$

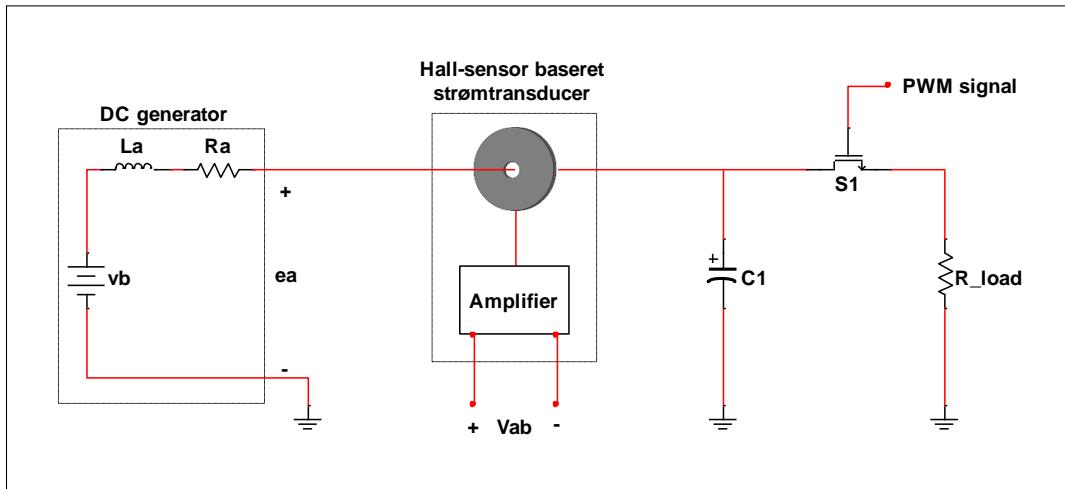
Hvor R_a og L_a er hhv. ankermodstanden og selvinduktionen i DC-generatoren³⁷.

Da dæmpningsfaktoren er mindre end 1, vil kredsen dæmpe de transiente spændinger der vil opstå, grundet switching.

³⁷Se Bilag/Datablade/Belastningskredsløb/DC-generator

Analyse og Design af Strømovervågning

For at beskytte DC-generatoren og Belastningskredsløbet mod overbelastning, skal der foretages måling af strømmen i Effektkredsen. Til at måle strømmen i Belastningskredsløbet benyttes en hall-sensor baseret strømtransducer. På figur 3.44, ses den principielle opbygning og placering af strømtransduceren i belastningskredsløbet.



Figur 3.44. Princip af strømmåling i belastningskredsen

Strømmen som transduceren skal måle er en DC-strøm, der løber fra DC-generatoren og ind i Effektkredsløbet. Effektafsstættelsen i Effektkredsløbet er givet ved størrelsen af denne DC-strøm. Den størst forekomne DC-strøm er givet ved DC-generatoren med den laveste spænding, der kan afsætte 500 W. Jf. Kravspecifikationen kapitel 1 er den mindste spænding, der kan afsætte 500 W: $e_{a_{minimum}} = 24 V_{DC}$.

Strømmen ved 24 V_{DC} der afsætter 500 W er givet ved:

$$I_{max} = 20.83 \text{ A} \quad (3.103)$$

Der er foretaget en undersøgelse af forskellige typer Hall-effekt strømtransducere, for at finde en model der opfylder kravene.

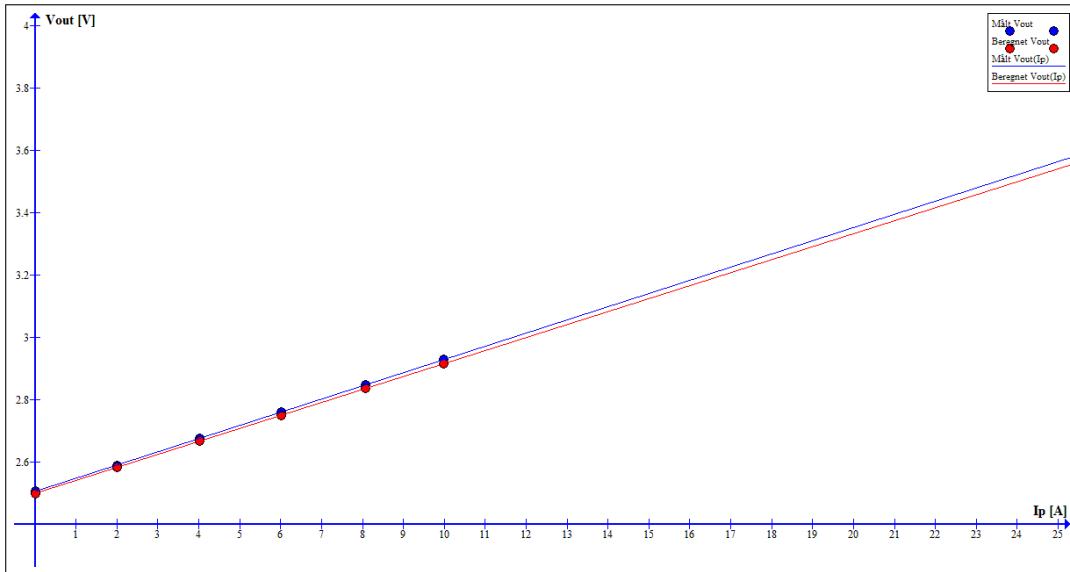
Kravene til transduceren jf. Kravspecifikationen kapitel 1, er følgende:

- Skal have en nøjagtighed under 1 %
- Signaloutput skal være analogt

Det er valgt at benytte samme type strømtransducer som er benyttet i Effektkredsløbet med samme konfiguration. Denne transducer kan måle strømme op til 48 A³⁸, og kan derfor opfylde kravet om at kunne måle en strøm på 20.83 A. For at se Analyse af strømtransducer, Se Design af Strømsensor, afsnit 3.10.

³⁸Se Bilag/Datablade/Effektkredsløb/LEM Strømtransducer LTS NP

For at verificere sammenhængen mellem strømmen I_P og outputspændingen V_{out} , givet i formel 3.29, er der foretaget målinger af strømsensoren.



Figur 3.45. Graf for teoretisk og aktuel outputspænding som funktion af I_P

På figur 3.45 ses 2 kurver. Den røde kurve er den teoretiske V_{out} som er beregnet med formel 3.29 og den blå kurve er den målte V_{out} . Det ses at den målte V_{out} har en støjtere hældning end den beregnede V_{out} . For at få et præcist udtryk for V_{out} som funktion af I_P , er der fortaget lineær regression af den målte V_{out} .

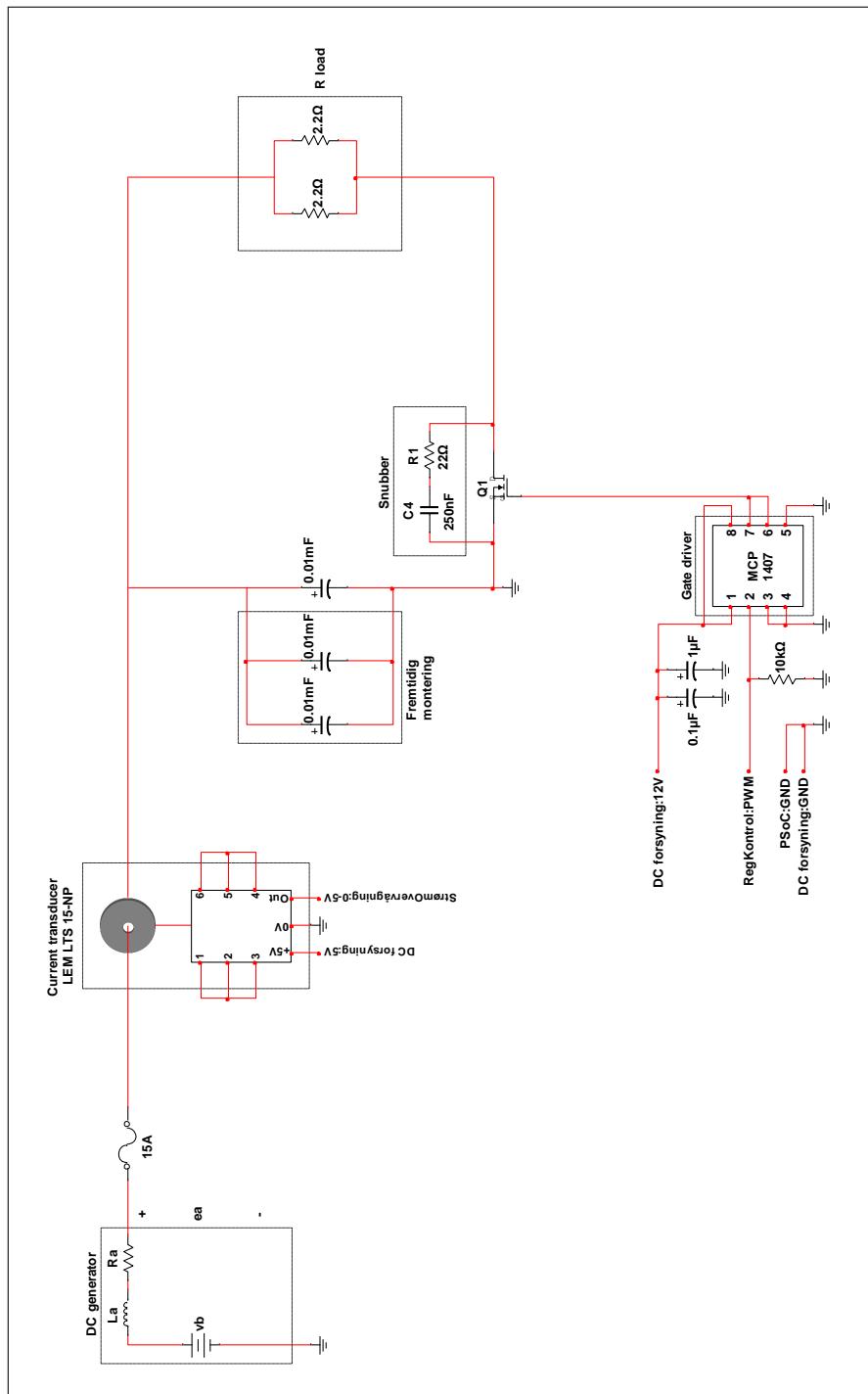
Udtrykket for regressionslinjen for sammenhængen mellem V_{out} og I_P bliver da:

$$V_{out} = (0.042347 \cdot I_P + 2.5) \text{ V} \quad (3.104)$$

Udtrykket for den akutelle sammenhæng mellem V_{out} og I_P , givet i formel 3.104, benyttes i PSOC'en til at beregne strømmen i Belastningskredsløbet.

Det endelige design af Belastningskredsløbet

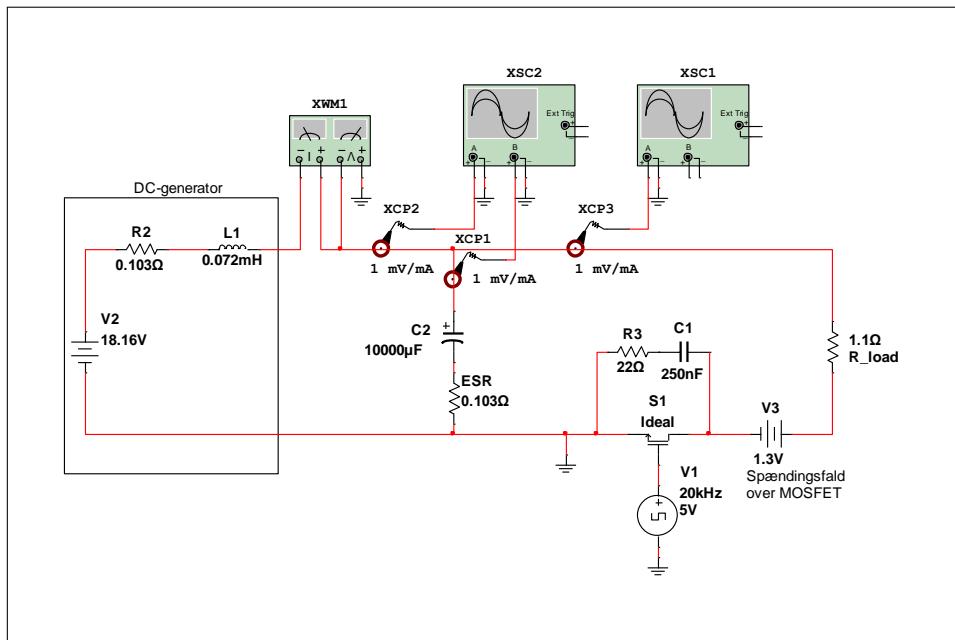
Det færdige design af belastningskredsløbet kan ses på figur 3.46, indeholdende de delelementer der er blevet beskrevet i de forgående afsnit. Der er tilføje sikring til kredsløbet for at beskytte DC-generatoren mod overbelastning. Sikringsstørrelsen for kundens valgte DC-generator er en 15 A.



Figur 3.46. Det færdige design af Belastningskredsløbet

Simuleringskredsløb

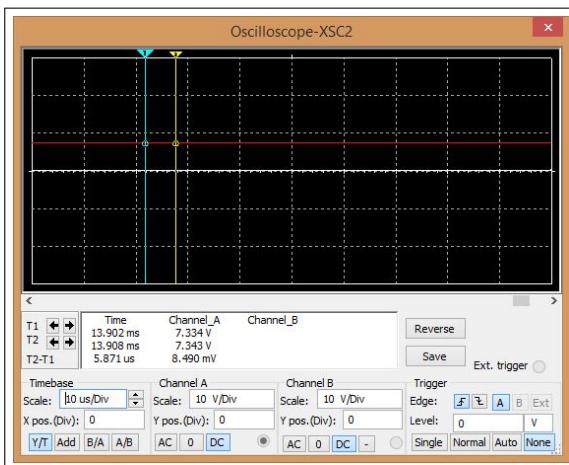
På figur 3.47 ses simuleringskredsløbet. Kredsløbet er opbygget på samme måde som beskrevet i analysen af Belastningskredsløb. Der er tilføjet en spændingskilde for at kompensere for spændingsfaldet over MOSFET'en. Kredsløbet er simuleret³⁹ i designværktøjet NI Multisim 13.0.



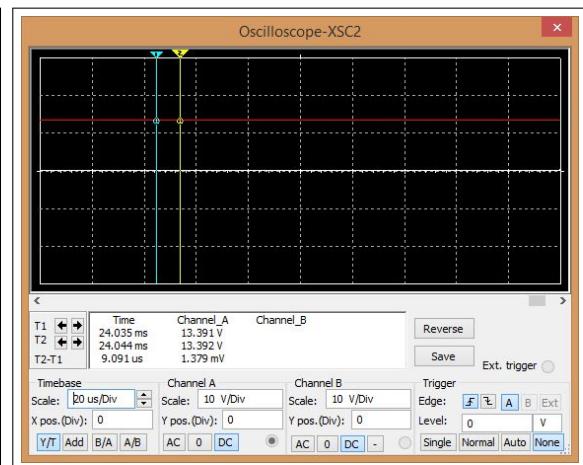
Figur 3.47. Simuleringskredsløbet

Strømmen fra DC-generatoren:

På figur 3.48 og figur 3.49 ses måling af strømmen fra DC-generatoren ved hhv. 50% og 95% dutycycle. Det kan ses at strømmen som forventet er en DC strøm hvis størrelse stiger med dutycyclen.



Figur 3.48. Dutycycle på 50%

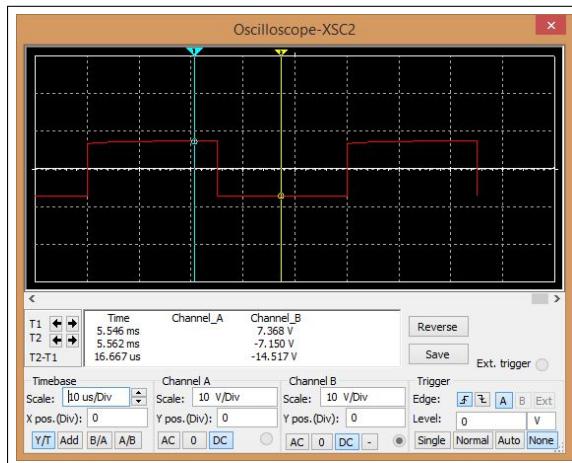


Figur 3.49. Dutycycle på 95%

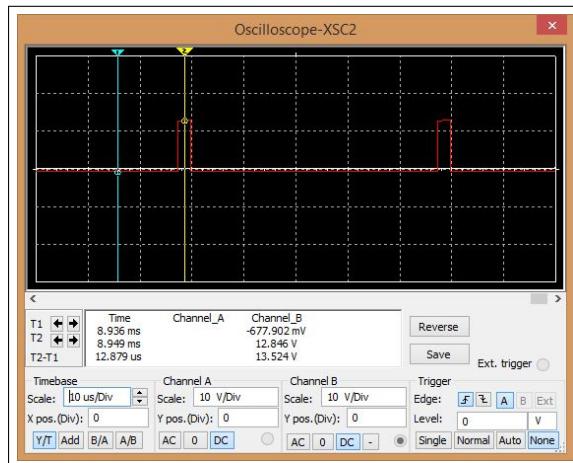
³⁹Se Bilag/Beregning og Simulering/Belastningskredsløb

Strømmen i kondensatoren:

På figur 3.50 og figur 3.51 ses måling af strømmen i kondensatoren ved hhv. 50% og 95% dutycycle. Det kan ses at arealet af strømmen i ON- og OFF tiden er den samme. Dette gør sig gældende da spændingen over kondensatoren er konstant, for stationær tilstand.



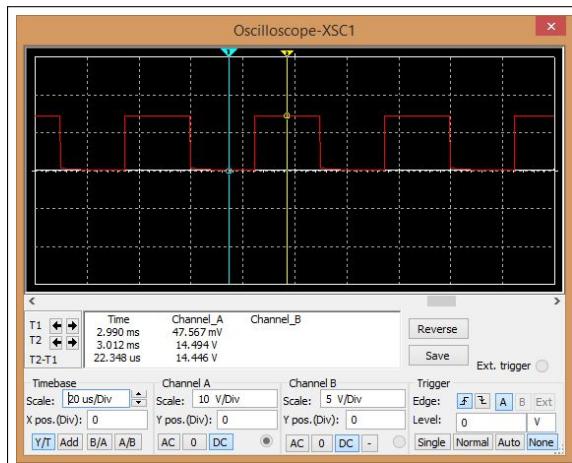
Figur 3.50. Dutycycle på 50%



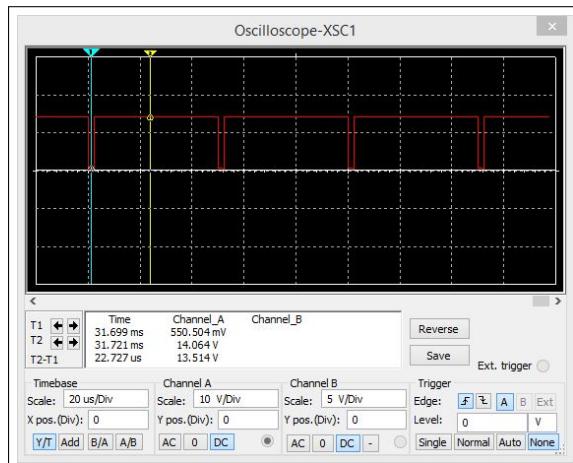
Figur 3.51. Dutycycle på 95%

Strømmen i Belastningsmodstanden:

På figur 3.50 og figur 3.51 ses måling af strømmen i belastningsmodstanden R_{Load} ved hhv. 50% og 95% dutycycle. Det ses af figurene at middelstrømmen i belastningsmodstanden stiger med dutycyklen, og dermed afhænger effektafsættelsen af dutycyklen.



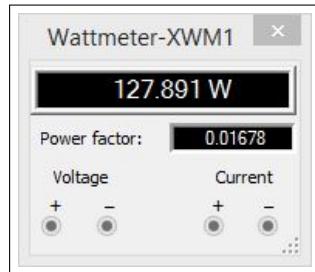
Figur 3.52. Dutycycle på 50%



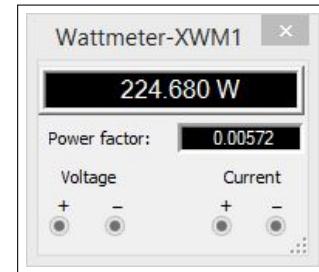
Figur 3.53. Dutycycle på 95%

Effekten fra DC-generatoren:

På figur 3.54 og figur 3.55 ses måling af effekten leveret af DC generatoren ved hhv. 50% og 95% dutycycle. Det ses af figurene at effekten, som forventet, stiger med dutycyclen. Ved en dutycycle på 95% afsættes en effekt på 224.7 W, og der må derfor forventes at det implementerede systemet kan afsætte en effekt på minimum 200 W, som det er designet til.



Figur 3.54. Dutycycle på 50%



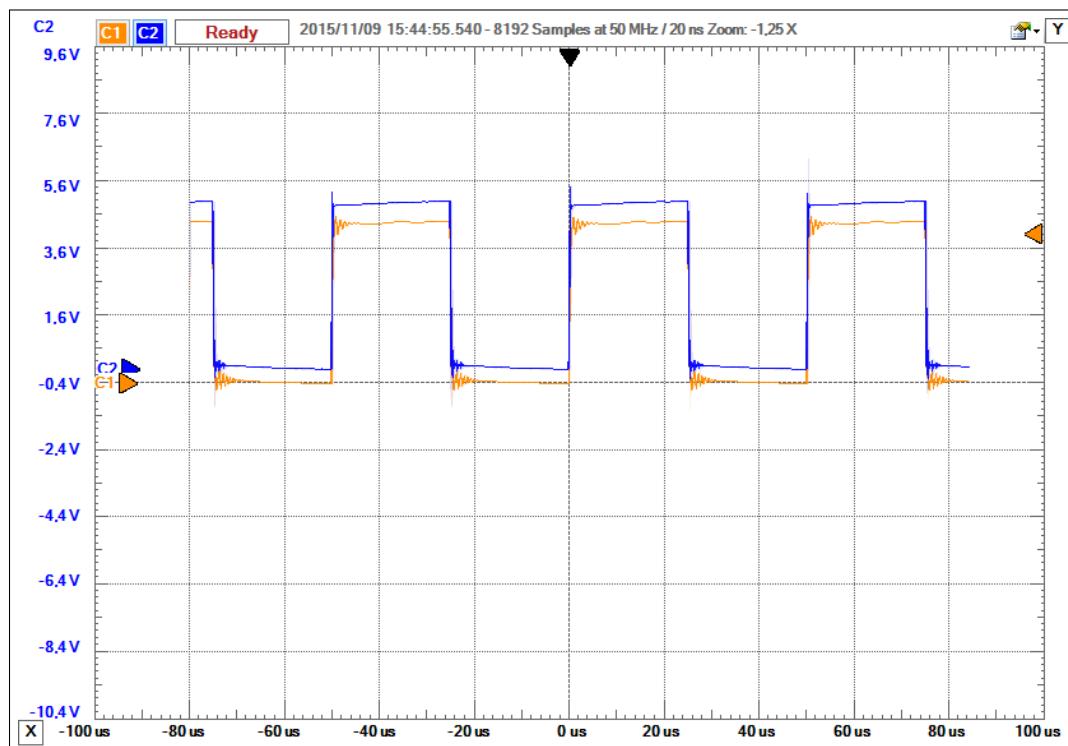
Figur 3.55. Dutycycle på 95%

Enhedstest

Enhedstest af Gatedriver

Test	Udførsel	Resultat	Kommentar
Kravet er at gatedriverkredsen skal kunne drive MOSFET'en med en switchfrekvens på 20kHz . Inputspændingen skal svinge mellem $0 - 5\text{V}$, og outputsignalet mellem $0 - 12\text{V}$. Yderligere skal udgangen af gatedriveren følge indgangenssignalet til kredsen.	Kredsløbet påtrykkes, med en signalgenerator, et firkantsignal, med en amplitude på 5 V og en frekvens, der tilsvarer switchfrekvensen der benyttes. Frekvensen der benyttes til at teste kredsløbet, vælges til $f_{sw} = 20\text{ kHz}$.	Resultatet af testen er angivet på figur 3.56. Målingen viser outputsignalet på kanal 1, den gule kurve, og inputsignalet på kanal 2, den blå kurve. Af målingen ses det at outputtet fra kredsløbet følger inputtet, og med disse resultater er testen accepteret.	

Tabel 3.9. Enhedstest af Gatedriverkredsen



Figur 3.56. Måling af Gatedriverkredsen

Enhedstest af Strømovervågning

Test	Udførsel	Resultat	Kommentar
Kravet er at strømtransduceren skal kunne måle strømmen i Belastningskredsløbet, og afgive en spændingen, proportional med den strømmen. Spændingenoutputtet skal ligge i intervallet 0 – 5 V. Nøjagtigheden på sensoren skal være under 1%.	Strømtransduceren kobles som vist på figur 3.46, og outputspændingen fra sensoren måles med et voltmeter. Et amperemeter kobles i serie med Strømtransduceren for at verificere målingerne. Gaten på MOSFET'en sættes høj, så der er en kontinueret strømvej i belastningskredsen. En strømforsyning kobles ind i stedet for DC-generatoren. Spændingen på strømforsyning justeres så strømmen i belastningskredsen ændres med step på 2A.	Resultatet af testen er angivet i tabel 3.11, hvor resultatet af den beregnede outputspænding og nøjagtighed er angivet. Med disse resultater er testen accepteret.	

Tabel 3.10. Enhedstest af Strømovervågning

Den beregnede outputspænding V_{out} er beregnet som:

$$V_{out} = (0.043075 \cdot I_P + 2.5) \text{ V} \quad (3.105)$$

Nøjagtigheden er beregnet som:

$$\frac{V_{målt} - V_{beregnet}}{V_{målt}} \cdot 100 \quad (3.106)$$

Tilført strøm [I_P]	Målt outputspænding [V_{out}]	Beregnet outputspænding [V_{out}]	Nøjagtighed [%]
0A	2.508V	2.5V	0.279%
2.002A	2.59V	2.583V	0.254%
2.012A	2.589V	2.5952V	0.240%
4.015A	2.676V	2.667V	0.209%
6.011A	2.762V	2.751V	0.277%
5.025A	2.709V	2.7257V	0.048%
8.066A	2.847V	2.836V	0.384%
9.975A	2.929V	2.916V	0.457%

Tabel 3.11. Måling af Strømovervågning

Enhedstest af Belastningskredsløb

Test	Udførsel	Resultat	Kommentar
Kravet til Belastningskredsen er at effektafsættelsen i kredsløbet skal kunne styres ved at ændre på dutycyclen til Gatedriver.	Kredsløbet kobles som vist på figur 3.46. Strømmen måles vha. strømovervågningen. En strømforsyning kobles ind i stedet for DC-generatoren. Spændingen indstilles til minimum den spænding som kundens valgte DC-generator vil leve ved rated hastighed. Spændingen, der vælges til denne test, er 20 V_{DC} . Gatedriveren påtrykkes et PWM-signal hvor dutycycelen varieres fra 10% – 90%.	Resultatet af testen kan ses i tabel 3.13. Med disse resultater kan det konkluderes at effektafsætelsen i kredsløbet kan styres vha. et PWM-signal og testen er accepteret.	
Kravet til Belastningskredsen er at den skal kunne afsætte 200 W , med kundens valgte DC-generator drevet ved rated speed. DC-generatoren, vil ved rated hastighed, generere en spænding på 18.16 V jf. formel 3.52.	Kredsløbet kobles som vist på figur 3.46. Strømmen måles vha. strømovervågningen. En strømforsyning kobles ind i stedet for DC-generatoren. Spændingen indstilles til den spænding, som kundens valgte DC-generator vil leve ved rated hastighed. Spændingen der vælges til denne test er 18 V_{DC} . Gatedriveren påtrykkes et PWM-signal, hvor dutycycelen varieres, for at finde den dutycycle hvor der afsættes 200 W i Belastningskredsløbet.	Resultatet af testen kan ses i tabel 3.14. Med disse resultater kan det konkluderes, at der kan afsættes 200 W ved den spænding, som DC-generator leverer ved rated hastighed. Med disse resultater er testen accepteret.	

Tabel 3.12. Enhedstest af Belastningskredsløb

Effekten er beregnet som:

$$P = I^2 \cdot R_{load} \quad (3.107)$$

Hvor $R_{load} = 1.1\Omega$

Terminalspænding [e_a]	Dutycycle [%]	Målt strøm [I]	Beregnet effekt [W]
20V	10 %	1.37A	2.06W
20V	20 %	3.02A	10.05W
20V	30 %	4.63A	23.56W
20V	40 %	6.38A	44.72W
20V	50 %	8.08A	71.74W
20V	60 %	9.63A	102.11W
20V	70 %	11.24A	138.98W
20V	80 %	12.80A	180.19W
20V	90 %	14.31A	225.25W

Tabel 3.13. Måling af Belastningskredsløb - Styring af effektafsættelse

Terminalspænding [e_a]	Dutycycle [%]	Målt strøm [I]	Beregnet effekt [W]
18V	90 %	12.81A	180.51W
18V	95 %	13.5A	200.48W

Tabel 3.14. Måling af Belastningskredsløb - Afsættelse af 200 W

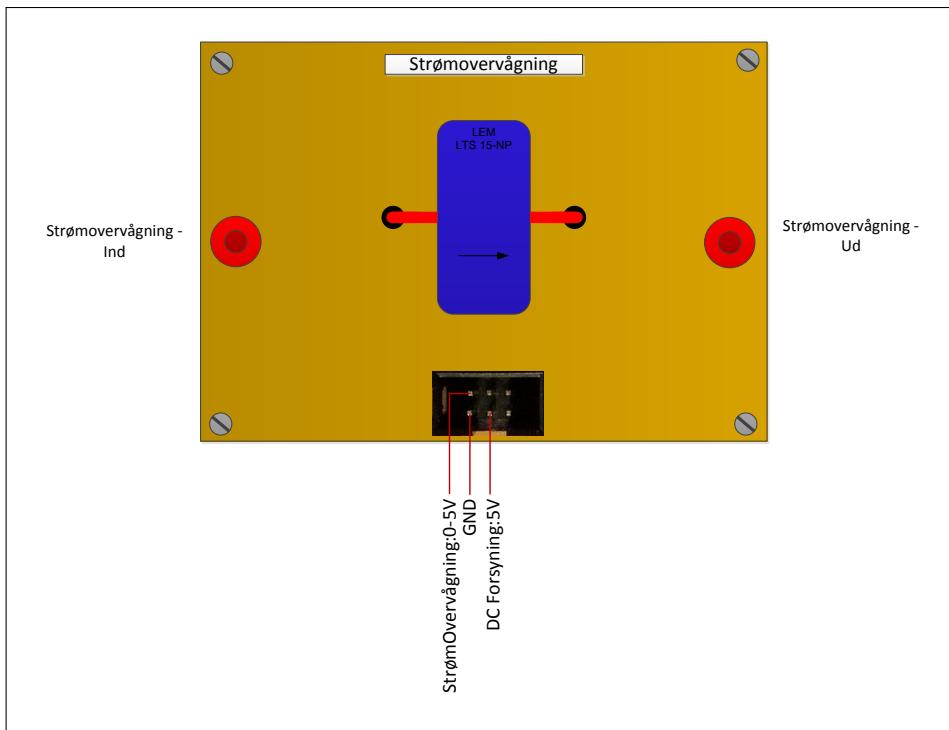
3.13 Det implementerede system

Som bekrevet er systemet blevet implementeret som en prototype. Det følgende afsnit har til formål at give et overblik over prototypens opbygning, samt hvilke komponenter der indgår.

Oversigt over implementerede print

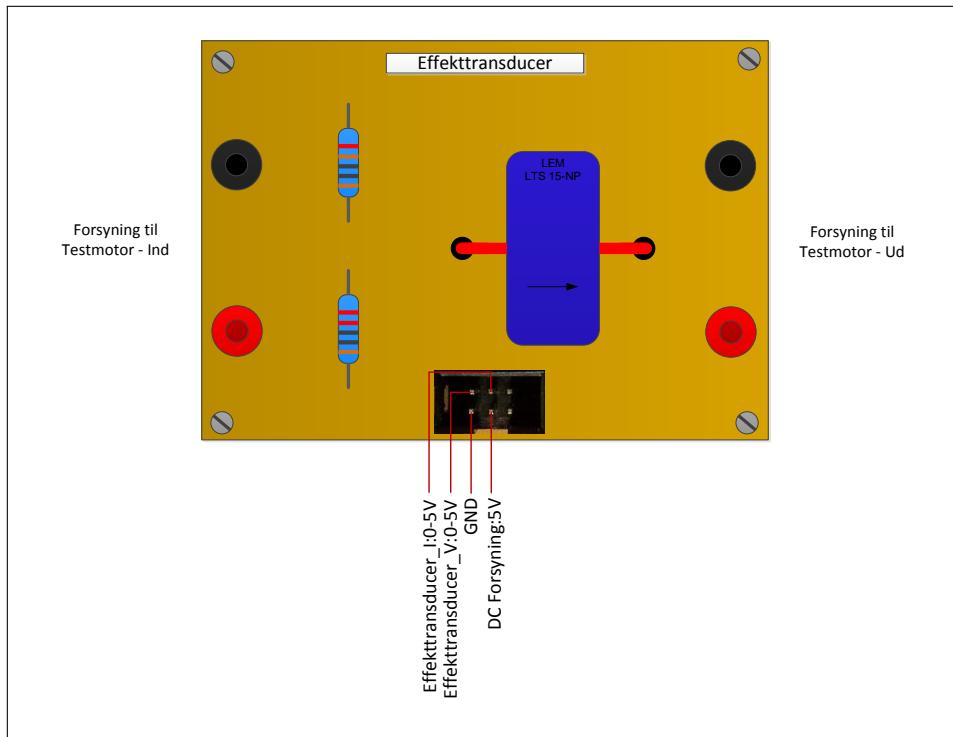
Der er implementeret 3 print i systemet. De 3 print er hhv. Strømovervågningen, der mäter strømmen i belastningskredsen, Effekttransduceren, der mäter Testmotorens optagne effekt, og et hovedprint hvor stikforbindelser og de resterende kredsløb er monteret.

På figur 3.57 ses printet Strømovervågning. På printet er der monteret en LEM LTS NP strømtransduceren. Forbindelsen til printet er gennem en IDC 6-pin male connector. Herigennem forsynes printet med $5 V_{DC}$ og strømovervågningssignalet føres til hovedprintet.



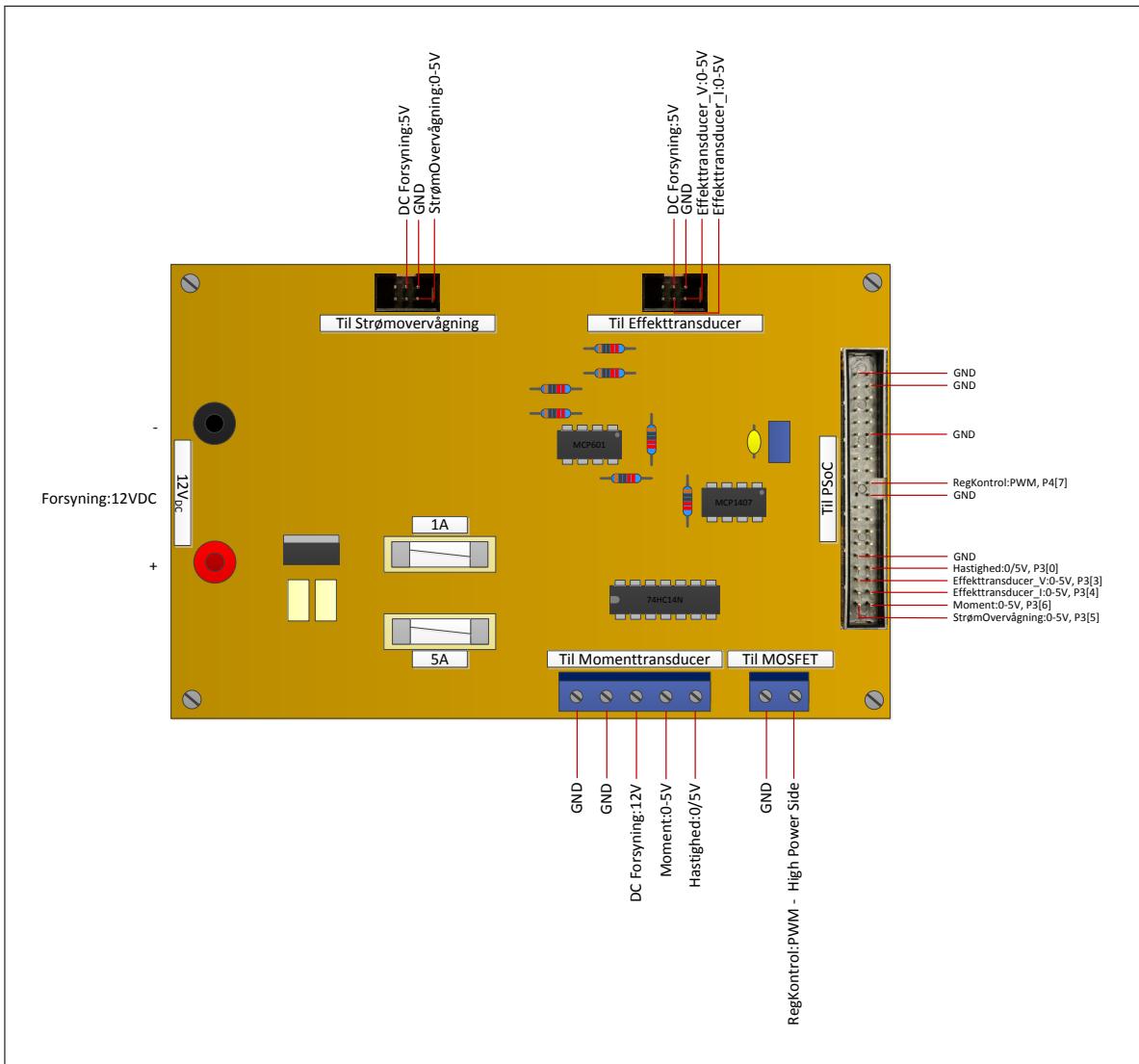
Figur 3.57. Implementeret print, Strømovervågning

På figur 3.58 ses printet Effekttransducer. På printet er monteret en LEM LTS NP strømtransduceren, samt en spændingsdeler. Forbindelsen til printet er gennem en IDC 6-pin male connector. Herigennem forsynes printet med $5 V_{DC}$ og signalerne for spænding og strøm for Testmotoren, føres til hovedprintet.



Figur 3.58. Implementeret print, Effekttransducer

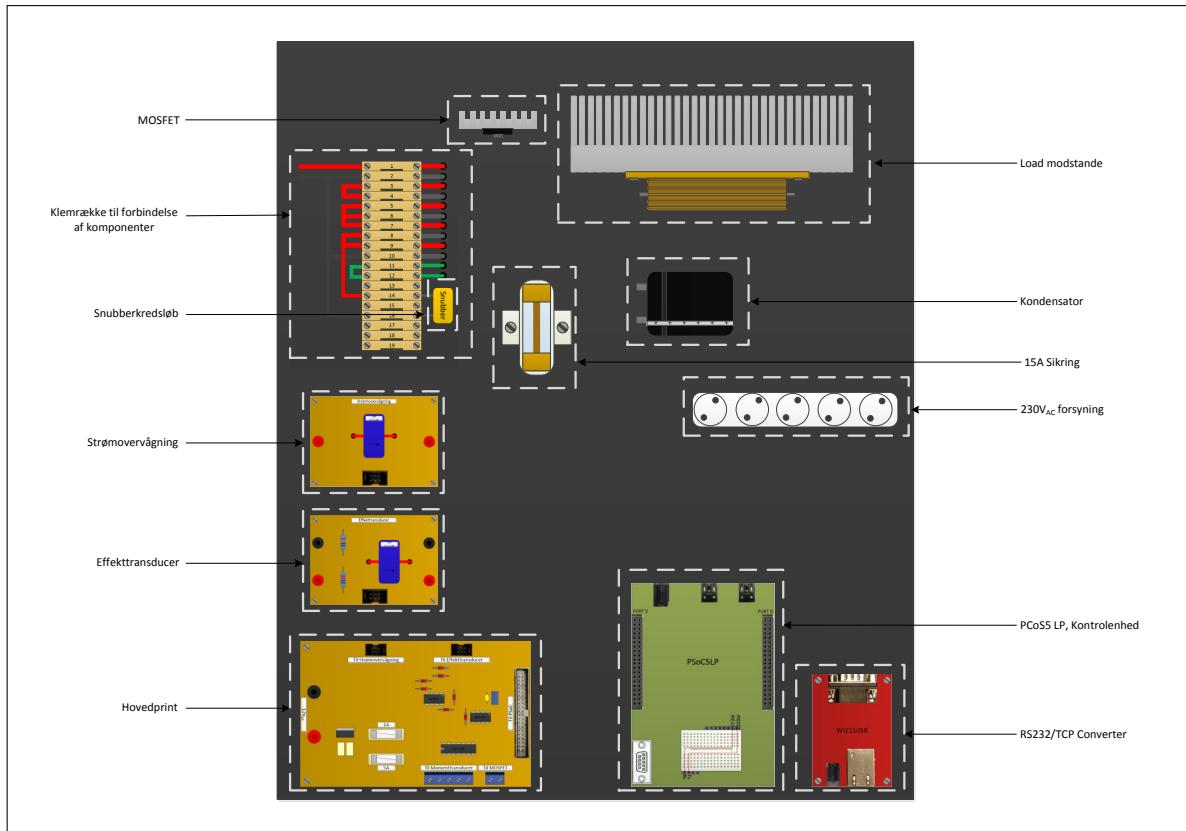
På figur 3.59 ses hovedprintet. På printet er der stikforbindelser til følgende: Strømovervågningprintet, Effekttransducerprintet, PSoc5, Momenttransducer samt MOSFET. På printet er DC forsyningen, Gatedriver, Signaladskillelse og Signalomsætningskredsløbene monteret. Printet forsynes med 12 V_{DC} fra en strømforsyning.



Figur 3.59. Implementeret print, Hovedprint

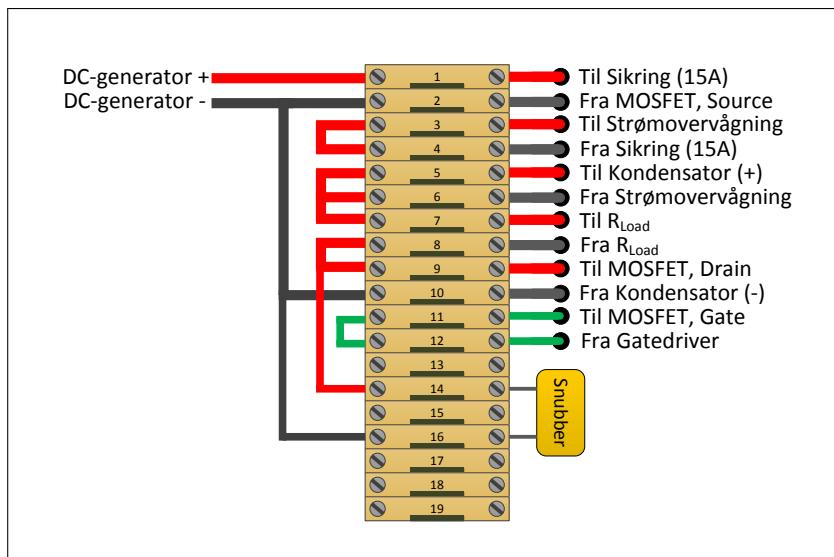
Oversigt over prototypen

På figur 3.60 ses selve prototypen. Prototypen er en træplade hvor komponenterne er monteret. De monterede komponenter er: Hovedprintet, Effekttransducerprintet, Strømovervågningsprintet, PSoC5LP, RS232/TCP Converter, Stikdåse til 230 V_{AC} forsyning, Kondensator, 15 A Sikring, Belastningsmondstante monteret på køleplade, MOSFET monteret på køleplade samt klemrække til at forbinde komponenterne.



Figur 3.60. Oversigt over prototype

På figur 3.61 ses klemrækken, der er monteret på prototypen. I klemrækken er Snubberkredsen, der skal beskytte MOSFET'en mod transiente, monteret. Af figuren fremgår det hvordan komponenterne er forbundet.



Figur 3.61. Klemrække med beskrivelse af forbindelse

Software design & implementering 4

4.1 Revisionshistorie

Version	Dato	Initialer	Beskrivelse
1.00	15.09.2015	IO & SLM	Første version
2.00	21.11.2015	IO & SLM	Revision efter test

4.2 Introduktion

Dette dokument specificerer software struktureringen af projektet *Teststand til Børsteløs DC-motor*, som er formuleret i Projektbeskrivelsen i Projektrapporten og specificert i Kravspecifikationen kapitel 1 og Systemarkitekturen kapitel 2.

På baggrund af kravspecifikationen og systemarkitekturen udarbejdes der sekvensdiagrammer for softwarens funktionalitet. Herefter vil der vises et samlet Topdesign for softwaren på PSoC5'en, som efterfølges af en funktionsbeskrivelse, hvor header-filerne vil beskrives kort. De enkelte afsnit vil blive rundet af med en beskrivelse af hvordan softwaren er implementeret på de forskellige enheder. Herunder hvordan tests er blevet udført løbende under implementeringen.

4.3 Formål

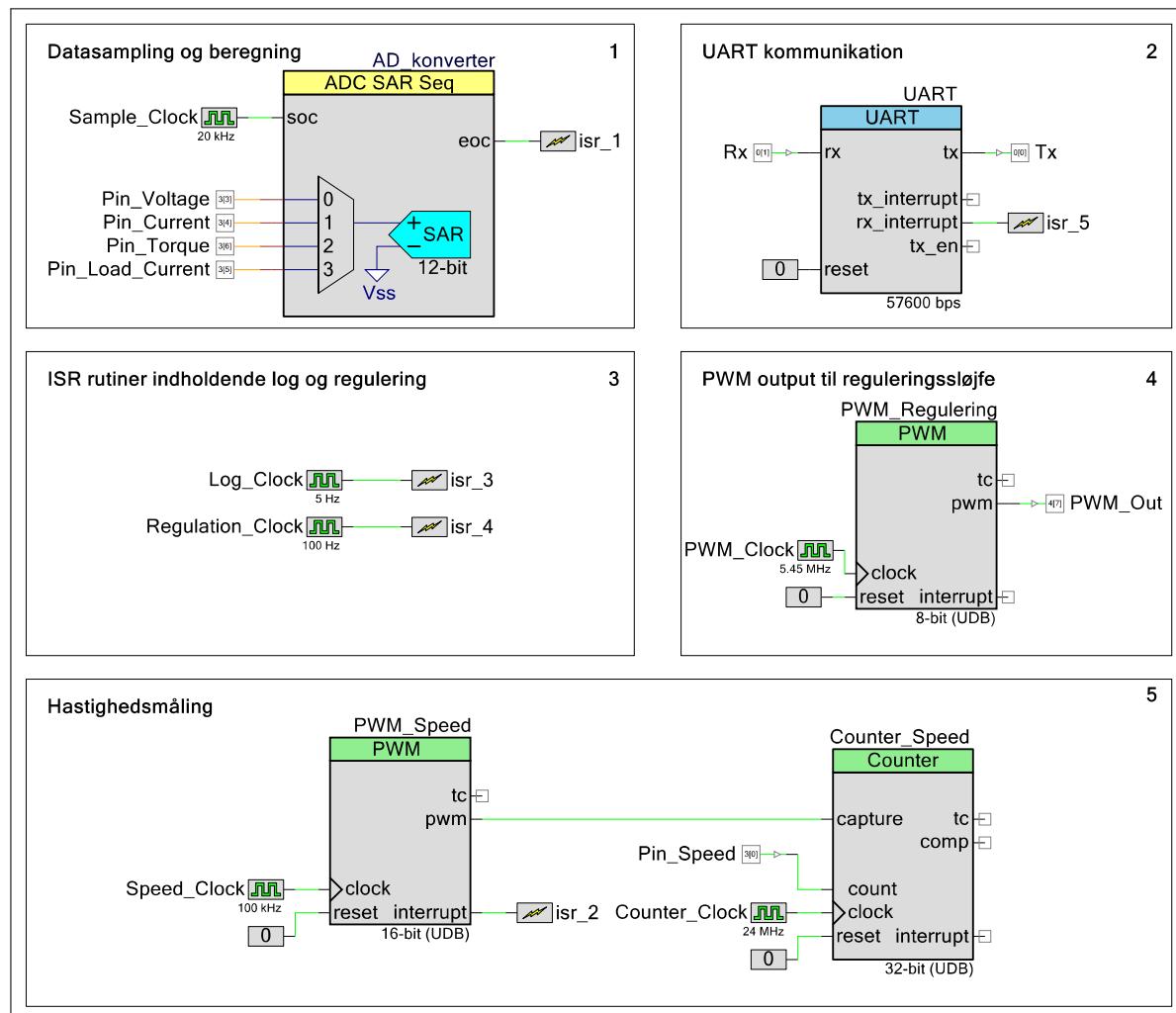
Formålet er at beskrive softwaren i systemet. Dokumentet indeholder:

- Generel programstruktur for PSoC5
- Beskrivelse af data processeringen
- Beskrivelse af brugergrænsefladen
- Beskrivelse af datalogningen
- Beskrivelse af kommunikation
- Enhedstest

4.4 Programstruktur

Analyse & Design

PSoC5 er den centrale kontrolenhed, der har til formål at være bindeleddet mellem brugergrænsefladen og hardwaren. På baggrund af signalinput fra strøm, spændings og momenttransducer vil der blive foretaget dataprocessering til kontrol og datalogning af systemet. Ud fra dette er der designet et Topdesign i PSoC Creator. Figur 4.1 er en repræsentation af Topdesignet for PSoC5 programmet.



Figur 4.1. PSoC5 Topdesign for programmet

Den første ramme indeholder komponenten ADC_SAR_Seq (benævnes herefter som A/D-konverter), som er en multi-kanals A/D-konverter til sampling af spænding, strøm og moment i systemet. Internt i A/D-konverteren er der en MUX der sekventielt sampler på hvert af de fire kanaler. De samplede værdier føres derefter ind i hver deres array, hvor de bruges under dataprocesseringen.

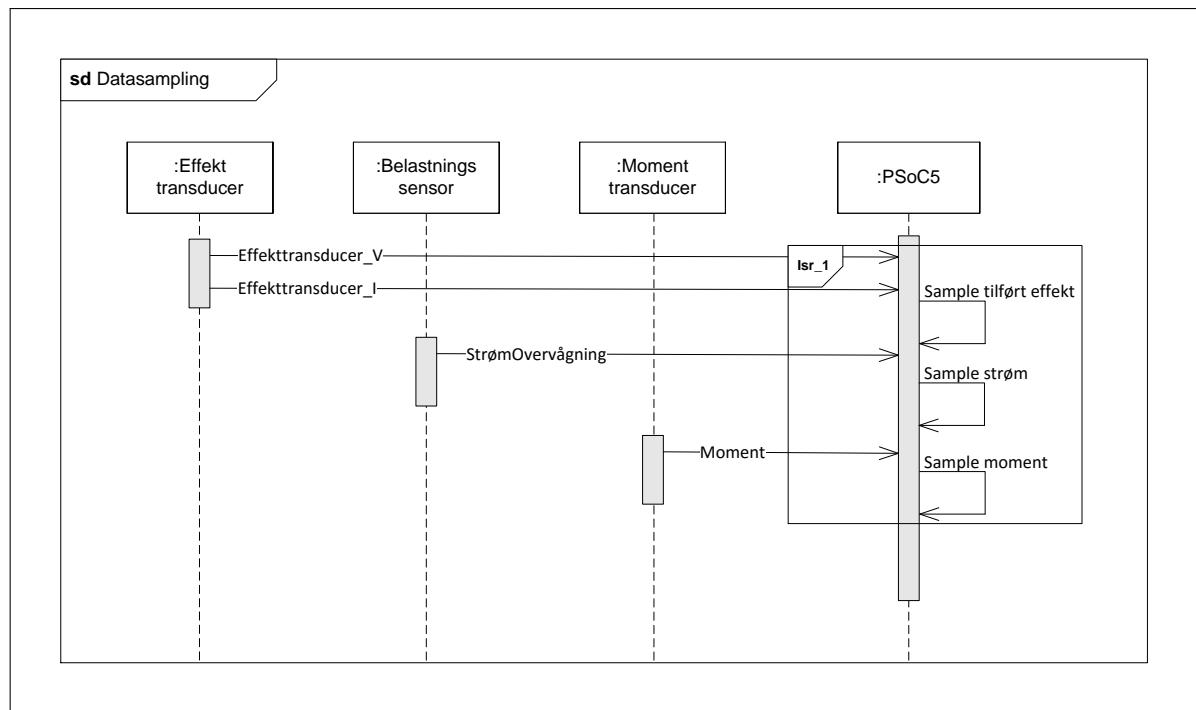
Da PSoC5 ikke kan håndtere negative spændinger, bruger PSoC5 dets egen $V_{dd}/2$ som reference for A/D-konverteren. Dette muliggør sampling af både negative og positive

spændinger. Den interne referencespænding på A/D-konverteren er $\pm 2.5V$, hvilket vil sige hele spændingsintervallet er på 5V.

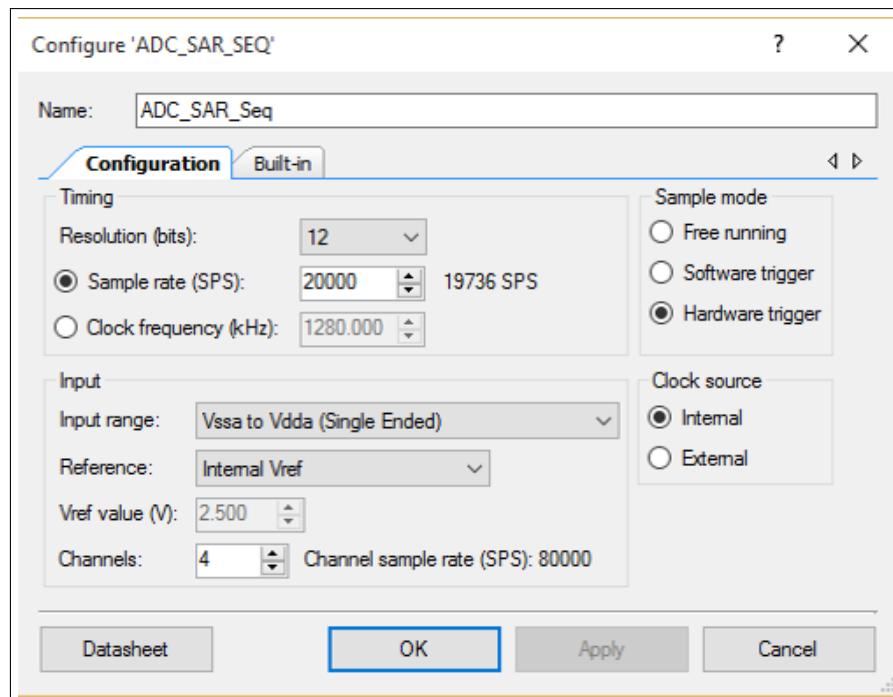
Der er lavet en hastighedsregulering af A/D-konverteren til styring af interrupt rutinen `isr_1`. Til dette er der brugt en clock (Sample_Clock) der kalder en interrupt rutine, `isr_1`, med frekvensen 20kHz, der går ind på indgangen `soc` (start of conversion). Som navnet antyder, starter `soc`-indgangen konverteringen. Dette gør den på en rising edge på dets input.

Interrupt rutinen `isr_1` indeholder sampling af spænding, strøm og moment. Det er i denne interrupt rutine den primære dataprocessering foregår.

Nedenstående sekvensdiagram viser hvordan samplingen forløber i programmet. Opsætningen af A/D-konverteren blokken på PSoC5 ses på figur 4.3.



Figur 4.2. Sekvensdiagram over datasamlingen



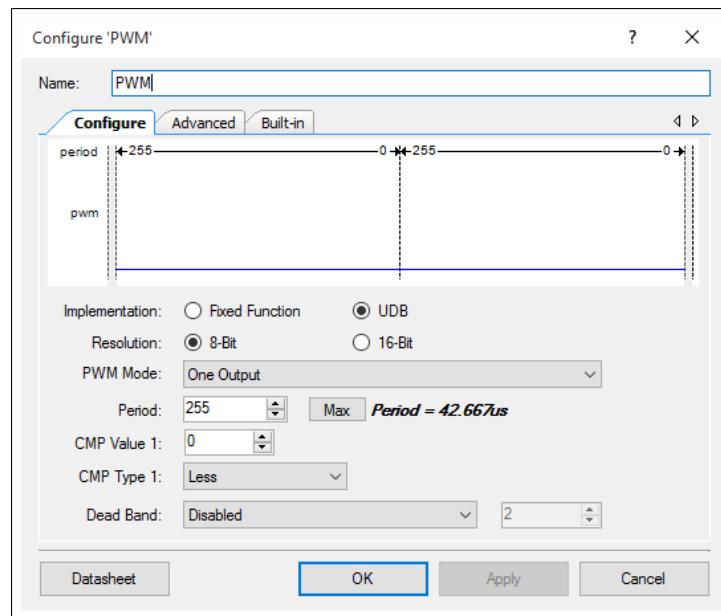
Figur 4.3. Konfiguration af ADC blokken

Den anden ramme indeholder komponenten UART. For at etablere en kommunikation mellem PSoC5 og Computeren, er der anvendt en UART blok i Topdesignet. Tx og Rx bruges henholdsvis til at sende og modtage bits. Det sendte data vil blive ført ind i en buffer, og derefter sendt til Computeren. Hver gang en byte er modtaget vil interrupt rutinen isr_3 blive kaldt og det modtagne byte vil blive læst. For mere om UART, se afsnit 4.11. isr_5 indeholder UART switch casen der står for kommunikationen mellem PSoC5 og brugergrænsefladen. På baggrund af input fra brugergrænsefladen eksekveres koden for den enkelte case.

Den tredje ramme indeholder to interrupt rutiner samt to clocks. Den første interrupt rutine, isr_3, indeholder log-variablerne der anvendes i isr_5. Det processerede data føres over til log-variablerne i denne interrupt rutine. isr_3 har en frekvens på 5 Hz, hvilket vil sige den eksekveres fem gange i sekundet.

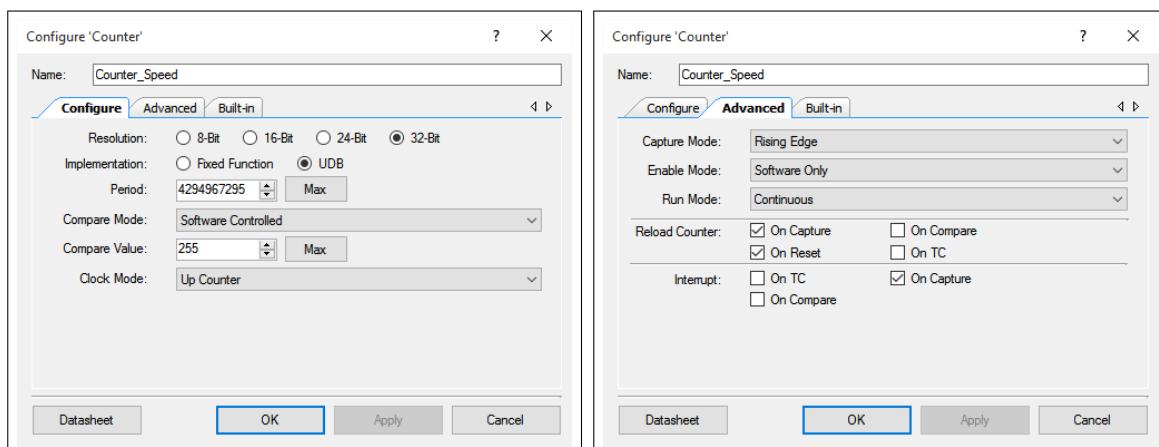
isr_4 indeholder reguleringen. Det er i denne interrupt rutine funktionen Regulator() kører med en frekvens på 100 Hz. For mere om reguleringen se afsnit 4.7.

Den fjerde ramme indeholder en PWM-blok samt en tilhørende PWM_clock. PWM-blokken giver et output på baggrund af en "compare value" der enten kan opsættes i PWM-blokken eller i programmet. Outputtet kan anvendes til generering af enkelte eller kontinuerlige tids- og kontrolsignaler i hardware. PWM-blokken giver en enkelt metode til generering af komplekse real-tids hændelser meget præcist. PWM-blokken på PSoC5 er opsat således, at "compare"outputtet er høj hvis "period counter" er mindre end den korresponderende compare-værdi. Opsætningen af PWM-blokken ses på nedenstående figur. PWM-outputtet styres ved funktionen Regulator(), der kører i isr_5 med frekvens på 100 Hz. Det er outputtet fra denne PWM-blok der føres ind på MOSFET'en i belastningskredsen.



Figur 4.4. Opsætning af PWM_Regulering blokken

Den femte ramme indholder også en PWM-blok samt en Counter, hver med deres egen clock. Formålet med den femte ramme er at kunne foretage en frekvensmåling. Frekvensmålingen går ud på at kunne måle antallet af pulser i løbet af et sekund. For at finde antallet anvendes et tidsinterval, og antallet af pulser bestemmes i den pågældende tidsperiode. Der anvendes en PWM til at generere tidsperioden. Signalet, hvis frekvens skal findes føres ind på count-innputtet på counterblokken. Count-værdien i counteren inde for tidsintervallet vil give et mål af indgangssignalets frekvens. Figur 4.5 og 4.20 viser opsætningen af henholdsvis Counter_Speed - og PWM_Speed blokken.

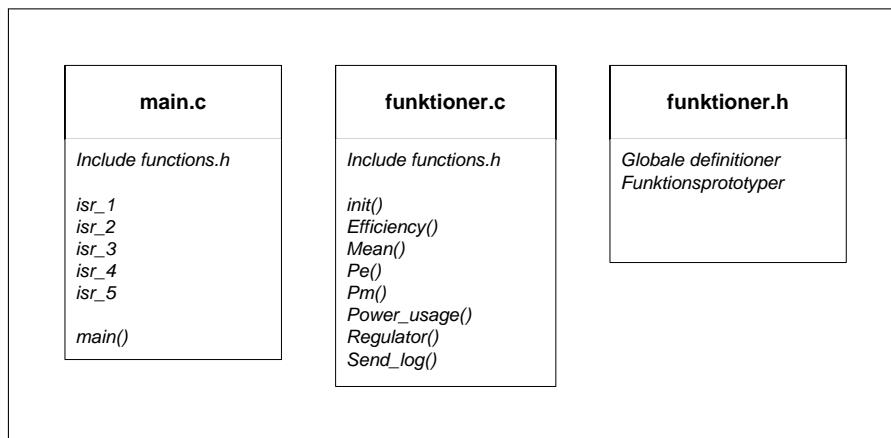


Figur 4.5. Opsætning af Counter_Speed blokken

Ydermere har PWM-blokken en interrupt rutine, `isr_2`. Denne indeholder frekvensen målt på hastighedsinputtet fra momenttransduceren. Det målte frekvensens værdi tælles op i en variabel, hvorefter vinkelfrekvensen for denne beregnes.

Filbeskrivelse

PSoC5 programmet er inddelt i tre filer; main.c, function_def.c og functions.h. Ydermere inkluderer PSoC Creator forskellige .c og .h filer. Selve idéen med at lave to .c filer er at strukturere koden og give .h filen en mere klasselignende rolle som man kender det fra C++. Nedenstående er en oversigt over de tre filer og deres indhold.



Figur 4.6. PSoC5 programstruktur

main.c indeholder variabler og interrupt rutiner, og selve mainfunctionen main().

function_def.c indeholder alle funktionsdefinitioner på de funktioner anvendt i main.c og internt i function_def.c

functions.h indeholder funktionsprototyper og definitioner, som er brugt i main.c og function_def.c.

Funktionsbeskrivelse

void init(void)

- Parametre: Ingen
- Returværdi: Ingen
- Anvendte globale definitioner: Ingen
- Beskrivelse: Denne funktion er anvendt i main() til initialisering af PSoC5

Efficiency(float32 Pout, float32 Pin)

- Parametre:
 - Pout: Skalarværdi
 - Pin: Skalarværdi
- Returværdi: Forholdet mellem Pout og Pin
- Anvendte globale definitioner: Ingen
- Beskrivelse: Denne funktion er anvendt til at finde virkningsgraden

float32 Mean(const float32 *x, const int16 size)

- Parametre:
 - x: Pointer til input array indholdene det samplede signal
 - size: Længden af input array x
- Returværdi: Middelværdien for input array'et x
- Anvendte globale definitioner: Ingen
- Beskrivelse: Denne funktion beregner middelværdien for input array'et x

Pe(float32 V, float32 I)

- Parametre:
 - V: Skalarværdi
 - I: Skalarværdi
- Returværdi: Produktet af V og I
- Anvendte globale definitioner: Ingen
- Beskrivelse: Denne funktion er anvendt til at finde effekten på indgangssiden af systemet

Pm(float32 torque, float32 omega)

- Parametre:
 - torque: Skalarværdi
 - omega: Skalarværdi
- Returværdi: Produktet af torque og omega
- Anvendte globale definitioner: Ingen
- Beskrivelse: Denne funktion er anvendt til at finde effekten på akslen af systemet

Power_usage(float32 power, float32 time)

- Parametre:
 - power: Skalarværdi
 - time: Skalarværdi
- Returværdi: Produktet af power og time
- Anvendte globale definitioner: Ingen
- Beskrivelse: Denne funktion er anvendt til at finde effekten per time

Regulator(float32 Curr_torque)

- Parametre:
 - Curr_torque: Skalarværdi
- Returværdi: Ingen
- Anvendte globale definitioner: Ingen
- Beskrivelse: Denne funktion indeholder reguleringsloopen

4.5 Data processering

Data processeringen foregår ud fra de fire arrays 'V', 'I', 'I_load' og 'Torque', der indeholder samplede værdier for henholdsvis spænding, strøm og moment. De efterfølgende afsnit er en beskrivelse af hvordan de enkelte rammer beskrevet i afsnit 4.4 er behandlet.

4.6 Sampling

Analyse & Design

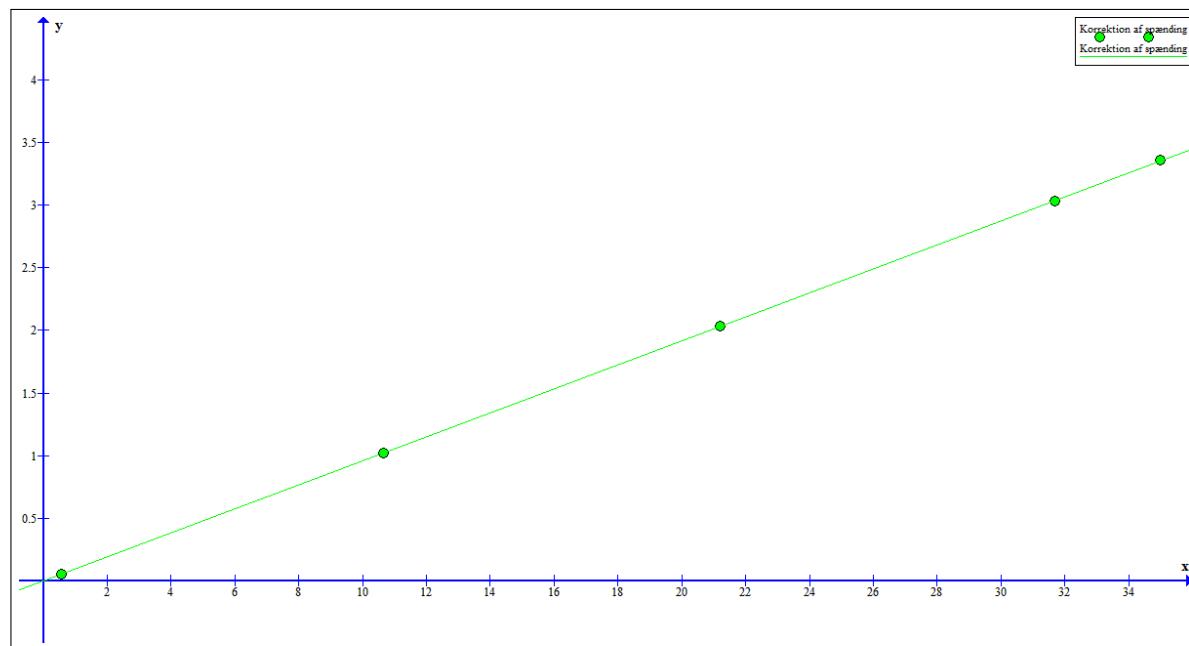
Under test af samplingen kunne det ses, at de modtagne inputsignaler på PSoC5 ikke kom rigtigt ud fra A/D-konverteren. Dette kan være grundet støj i hardwaren, men ikke desto mindre var der et behov for en korregering af inputsignalene, således det målte stemte overens med inputtet. Dette blev gjort ved at tage outputtet fra A/D-konverteren som funktion af inputsignalet, og tegne den bedste rette linje ud fra målepunkterne.

$$y = ax + b \quad (4.1)$$

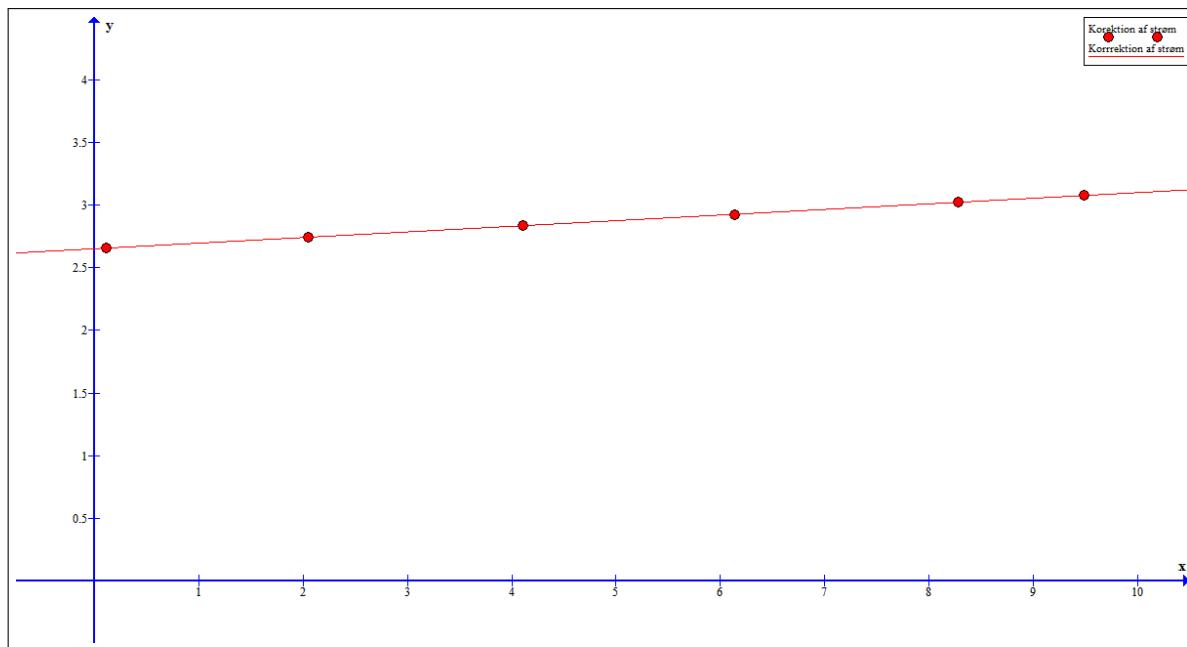
Ud fra den rette linje isoleres den afhængige variabel, som også er et udtryk for outputtet på A/D-konverteren. Under implementeringen vises der hvordan dette er implementeret på PSoC5.

$$x = \frac{(y - b)}{a} \quad (4.2)$$

Nedenstående to karakteristikker er fra korregeringen af henholdsvis spændings- og strømmålingen på effektransduceren.



Figur 4.7. Korrektion af spændingsmålingen på effektransduceren



Figur 4.8. Korrektion af strømmålingen på effektransduceren

Implementering

Korrigeringen fra forhenværende afsnit blev implementeret på følgende måde i programmet:

```

1 V_mean = Mean(V,N);
2 // average value of the voltage is being calculated
3 V_actual = (V_mean-V_add)*V_gain;
4
5 I_mean = Mean(I,N);
6 // average value of the voltage representation of the current
7 I_actual = (I_mean-I_add)*I_gain;
8
9 I_load_mean = Mean(I_load,N);
10 // average value of the voltage representation of the load current
11 I_load_actual = (I_load_mean-I_load_add)*I_load_gain;
12
13 Torque_mean = Mean(Torque,N);
14 // average value of the torque is being calculated
15 if(Torque_mean>=T_add){           // for positive torque
16   Torque_actual=(Torque_mean-T_add)*T_gain;
17 }
18 else if(Torque_mean<T_add){        // for "negative" torque
19   Torque_actual=(-T_gain*Torque_mean)+(2*T_add);
20 }
```

Hvor der startes med at tage middelværdien for de samplede værdier. Dette er for at eliminere støj. Derefter korrigeres det midlede data. Denne fremgangsmåde er anvendt for alle fire

inputsignaler på A/D-konverteren, dvs. der i softwaren er implementeret det samme for henholdsvis det samplede spænding, strøm og moment.

Enhedstest

Korregeringen blev testet ved at måle på inputtet, og sammenholde resultatet med det resultat der ligger i dataloggen, som PSoC5 har beregnet. Nedenstående tabeller viser hvordan test er forløbet.

Inputspænding [V]	Inputstrøm [A]	Beregnet [W]	effekt	Effekt fra Pe log- gen [W]
5.04	1.99	10.0296	10.05	
10.009	3.96	39.63564	39.89	
15.06	5.97	89.9082	90.07	
20.012	7.93	158.69516	159.04	
24.982	9.9	247.3218	247.83	
29.817	11.8	351.8406	352.25	

Tabel 4.1. Måling af elektrisk effekt

Målt belastningsstrøm [A]	Strøm fra Iload loggen [A]
14.41	14.4
10.83	10.41
7.31	6.93
3.56	3.69

Tabel 4.2. Måling af belastningsstrøm

4.7 Regulering

Analyse

Før reguleringen kan implementeres på software skal grænserne for reguleringssløjfen kendes. Jf. blokdiagrammet for reguleringssløjfen på figur 4.9, kan grænserne for denne findes. Grænserne skal kendes for at være i stand til at implementere regulatoren korrekt på μ Controlleren. Bemærk at forstærkningerne K_p og K_i først beregnes i det efterfølgende afsnit, men er brugt i analysen til beregning af den akkumulerede fejl. $T_{setpunkt}$ som sættes i brugergrænsefladen er i intervallet 0-5 Nm, kendes på forhånd. Feedbacket fra tilbagekoblingen er også kendt, og den er også i intervallet 0-5 Nm. Dvs. den størst forekomne ligger i intervallet -5-5 Nm. Derved kan grænserne for henholdsvis proportionaldet og integralledet for regulatoren findes.

$$PropTerm = CurrError \cdot K_p \quad (4.3)$$

$$IntlTerm = AccuError \cdot K_i \quad (4.4)$$

Summen af formel 4.3 og 4.4 giver anledning til den største output regulatoren kan give.

$$RegOut_{max} = CurrError \cdot K_p + AccuError \cdot K_i \quad (4.5)$$

Hvor $K_p = 5$ og $K_i = 62.89 \approx 63$. CurrErrorer er i intervallet -5-5, og er forskellen mellem $T_{setpunkt}$ og feedbacket fra tilbagekoblingen. Den totale output $RegOut_{max}$ repræsenteres ved en 16-bit integer. Idet alle parametre undtagen AccuError er kendt, isoleres der for denne og AccuError findes.

$$AccuError = \frac{2^{16} - 25}{63} = 1039.85 \approx 1039 \quad (4.6)$$

Da AccuError er kendt, kan den maksimale output for regulatoren beregnes.

$$RegOut_{max} = 5 \cdot 5 + 63 \cdot 1039 = 65482 \quad (4.7)$$

Det ses at $RegOut_{max}$ er inde for 16-bit ($2^{16} = 65536$) området, som det er repræsenteret ved. Nedenstående kodeudsnit viser hvordan de fundne værdier i analysen er implementeret i koden.

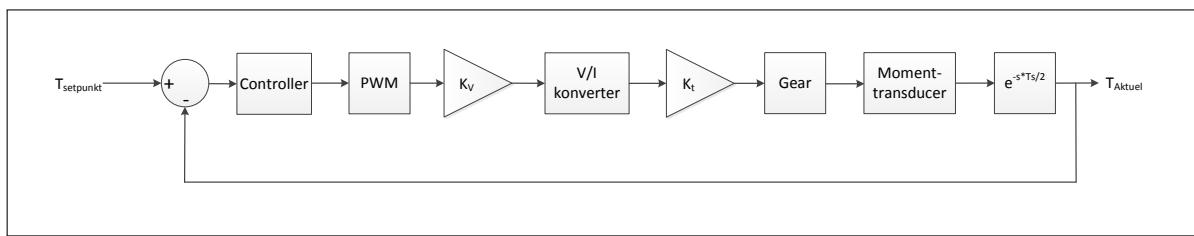
```

1 const int Kp          = 5;           //proportional gain parameter
2 const int Ki          = 63;          //integral gain parameter 62.89=63
3 const int PROP_REG_LIM = 25;        //working range of proportional element
4 const int INTL_REG_LIM = 65457;     //working range of integral element
5
6 int CurrError;                //current error
7 int AccuError;                //accumulated error
8 int PropTerm;                 //proportional term
9 int IntlTerm;                 //integral term

```

Design

På baggrund af analyse af systemet, er blokdiagrammet på figur 4.9 fremstillet. Blokdiagrammet er udgangspunktet for design og implementering af reguleringsloopen.



Figur 4.9. Blokdiagram af Systemet

Følgende antagelser er gjort for designet af reguleringen:

- $\omega_{DC-generator}$ holdes konstant ved rated hastighed
- Strømmen i DC-generatoren betragtes som DC.

Beskrivelse af blokdiagrammet:

Setpunktet $T_{setpunkt}$ er er brugerens ønskede setpunkt for momentet, som reguleringsloopet skal regulere efter, som er i intervallet $0 - 5 \text{ Nm}$.

Controlleren er den regulator der skal implementeres i systemet, for at opnå en hurtig og præcis regulering. Inputtet til regulatoren er:

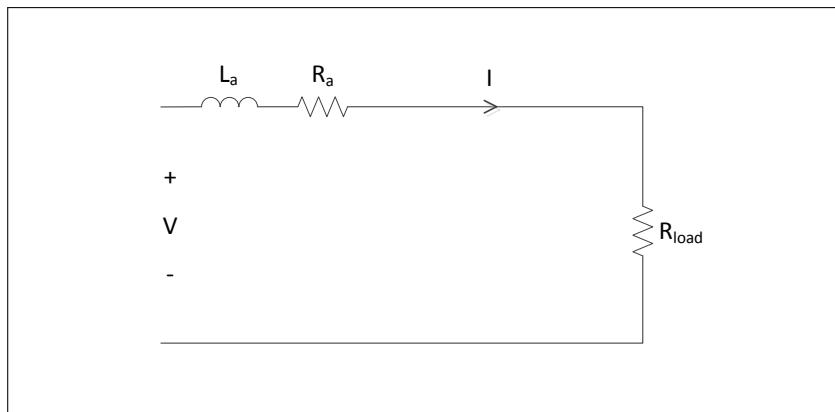
$$T_{error} = T_{setpunkt} - T_{aktuelt} \quad (4.8)$$

PWM-blokken omsætter outputtet fra regulatoren til et pulsbredde-moduleret signal, der benyttes til at styre strømmen i belastningskredsløbet. Middelværdien af outputtet fra PWM-blokken ligger i intervallet $0 - 5 \text{ V}$. Se Hardware Design & Implementering afsnit 3.12.

Forstærkningen K_v er forstærkningsforholdet mellem middelværdien af spændingen fra PWM-blokken og spændingen fra DC-generatoren.

$$K_v = \frac{\text{Range DC-generator}}{\text{Range PWM}} = \frac{18.16 \text{ V}}{5 \text{ V}} = 3.63 \text{ gg} \quad (4.9)$$

V/I konverter omsætter spændingen fra K_v blokken til en strøm. På figur 4.10 ses V/I konverteren, som er den principielle opbygning af belastningskredsløbet.



Figur 4.10. V/I konverter

Overføringsfunktionen for V/I konverteren er:

$$V = I \cdot (R_a + R_{load} + s \cdot L_a) \Rightarrow \frac{I}{V} = \frac{1}{s + \frac{R_a + R_{load}}{L_a}} \quad (4.10)$$

Forstærkningen K_t er DC-generatorens momentkonstant, der omsætter strømmen til en moment i DC-generatoren.

Gear er omsætningsforholdet af momentet mellem DC-generatoren og systemets aksel. Omsætningsforholdet er:

$$K_{gear} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{4.3}{1} = 4.3 \text{ gg} \quad (4.11)$$

Momenttransducer omsætter momentet på akslen, som ligger i intervallet $0 - 5 \text{ Nm}$, til et målesignal i intervallet $0 - 5 \text{ V}$.

Tidsforsinkelsen er tilføjet, da der opstår en tidsforsinkelse på tilbagekoblingen, grundet sampling. Tidsforsinkelsen er den halve samplingstid og er givet ved:

$$f_s = 20 \text{ kHz} \Rightarrow \frac{T_s}{2} = 0.025 \text{ ms} \quad (4.12)$$

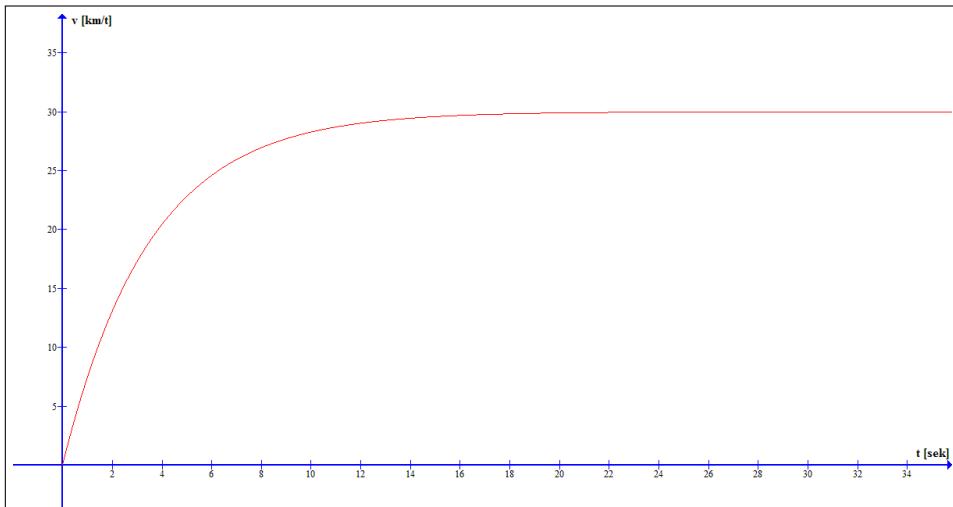
Overføringsfunktionen for det samlede systemet bliver:

$$G_{System}(s) = K_v \cdot K_t \cdot K_{Gear} \cdot G_{Regulator}(s) \cdot \frac{\frac{1}{L_a}}{s + \frac{R_a + R_{load}}{L_a}} \cdot e^{-s \cdot \frac{T_s}{2}} \quad (4.13)$$

Hvor $R_a = 0.103\Omega$, $R_{load} = 1.1\Omega$ og $L_a = 0.072\text{mH}$.

Båndbredden for reguleringen:

Båndbredden på reguleringen gives ved accelerationen for Eco-Marathon bilen, som systemet skal belaste.



Figur 4.11. Acceleration af Eco Marathon Bil

Bilen kan accelerere fra $0 - 30 \text{ km/t}$ på 20 sekunder ¹. På figur 4.11 ses kurven for bilens acceleration. På baggrund af kurven vælges reguleringens båndbredde til $\omega_{BW} = 100\text{Hz} \cdot 2\pi = 628.3\text{rad/sek}$. Med denne båndbredde opnås 2000 reguleringspunkter i løbet af accelerationstiden.

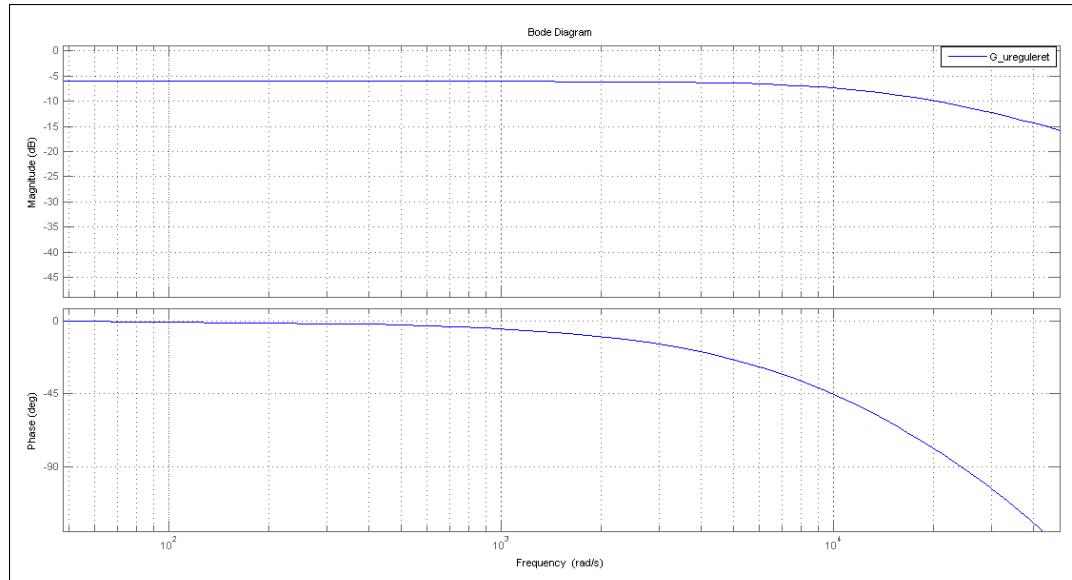
Det uregulerede systems respons:

Overføringsfunktionen for det uregulerede systemet bliver:

$$G_{System \text{ ureguleret}}(s) = \frac{8351}{s + 16710} \cdot e^{2.5 \cdot 10^{-5} \cdot s} \quad (4.14)$$

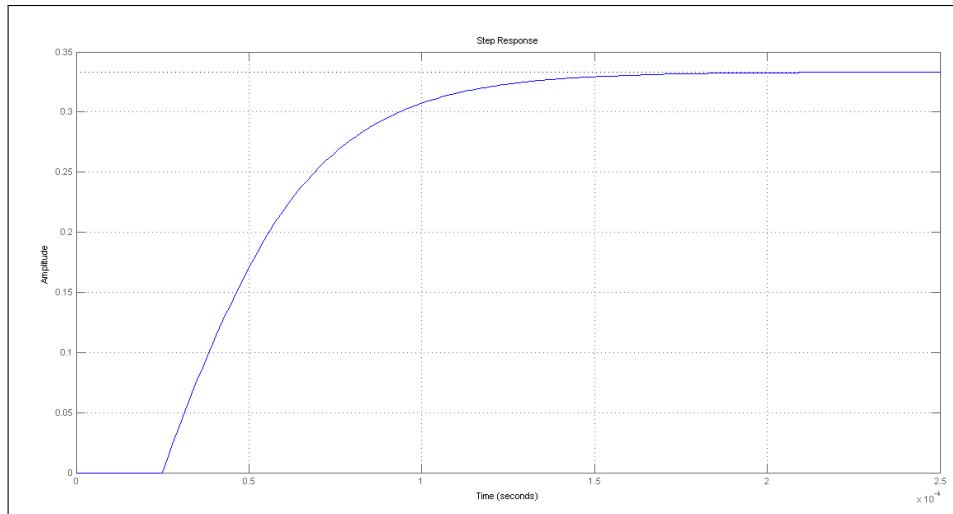
¹Se Bilag/Datablade/Belastningskredsløb/M7BAC-9 - Optimering af drivlinje

På figur 4.12 ses bodeplottet af systemet uden regulering. Ved ω_{BW} ses det at forstærkningen er $-7dB$, og fasen er -3 deg . Dette betyder at outputtet vil være mindre end 1, med et ubetydelig phasedrej.



Figur 4.12. Bodeplot af systemet uden regulering

På figur 4.13 ses stepresponset af systemet uden regulering. Det ses at ved et stepinput på 1, stabilisere outputtet sig omkring 0.33.



Figur 4.13. Steprespons af systemet uden regulering

Da der ønskes at outputtet af reguleringen skal følge inputtet af, skal der indføres en regulator. Til dette formål benyttes en PI-regulator, som giver systemet forstærkning samt fjerner den stationære fejl på outputtet.

Design af PI-regulator:

Først fastsættes en forstærkning der løfter forstærkningen på bodeplottet over 0dB. Den valgte forstærkning sættes til: $K_p = 5 \text{ gg} = 13.98\text{dB}$. Denne forstærkning medvirker til at systemets output nærmer sig inputtet, dog stadig med en stationær fejl.

For at fjerne denne stationære fejl indsættes et integrerende led i regulatoren.

Overføringsfunktionen for det integrerende led er:

$$G_{Lag}(s) = \frac{s + \frac{1}{T_i}}{s + \frac{1}{\alpha \cdot T_i}} \quad (4.15)$$

Hvis forstærkningen $\alpha = \infty$, fås en integral kompensator som giver en uendelig stor DC-forstærkning, hvilket fjerner den stationære fejl. Overføringsfunktionen bliver da:

$$G_{Lag}(s) = \frac{s + \frac{1}{T_i}}{s} \quad (4.16)$$

Regulatorens nulpunktet lægges 10 gange lavere end båndbredden, da dette vil minimere regulatorens fasebidrag. Den integrerende tid bliver da:

$$\frac{1}{T_i} = \frac{\omega_{BW}}{10} \Rightarrow T_i = 0.016 \text{ s} \quad (4.17)$$

Overføringsfunktionen for den samlede PI-regulator:

$$G_{Regulator}(s) = K_p \cdot \frac{s + \frac{1}{T_i}}{s} = 5 \cdot \frac{s + \frac{1}{0.016}}{s} = 5 \cdot \frac{s + 62.89}{s} \quad (4.18)$$

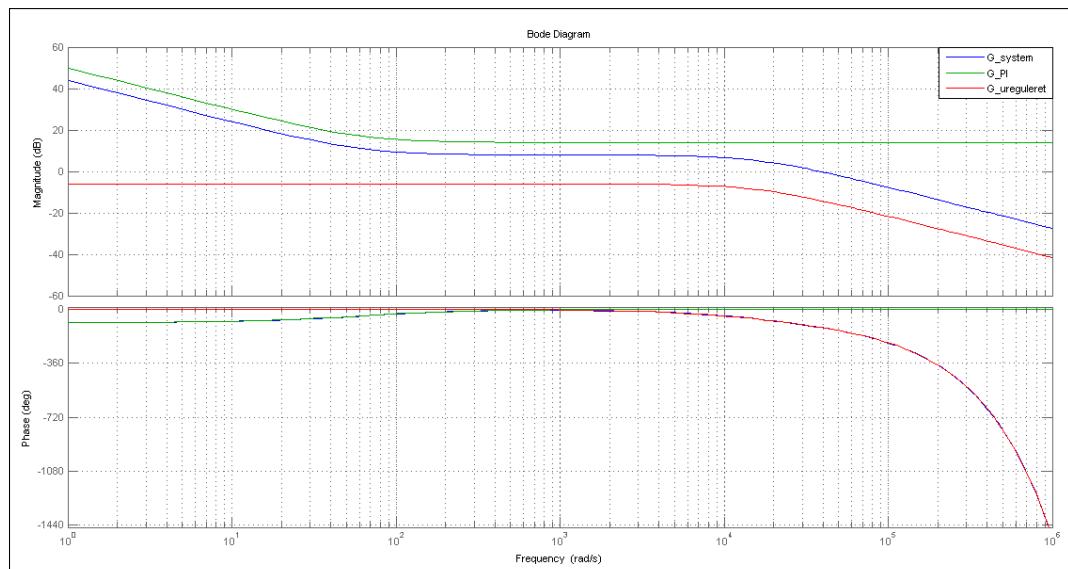
Hvor $K_p = 5$ og $K_i = 62.89$.

Det regulerede systems respons:

Overføringsfunktionen for det regulerede systemet bliver:

$$G_{System\ reguleret}(s) = \frac{4.176 \cdot 10^4 \cdot s + 2.61 \cdot 10^6}{s^2 + 1.671 \cdot 10^4 \cdot s} \cdot e^{2.5 \cdot 10^{-5} \cdot s} \quad (4.19)$$

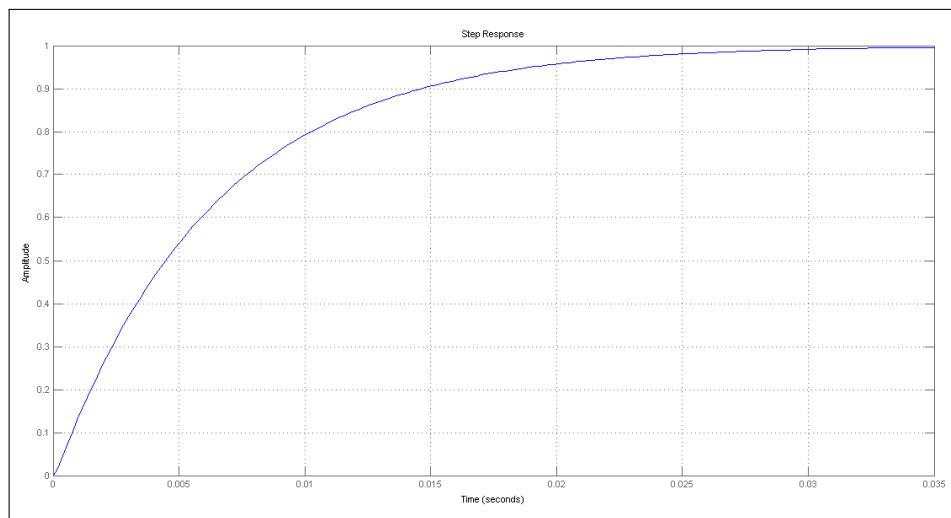
På figur 4.14 ses bodeplottet af regulatoren (Grøn kurve), systemet uden regulering (Rød kurve) samt systemet med regulering (Blå kurve).



Figur 4.14. Bodeplot af systemet med regulering

Ved $\omega_{BW} = 628.3 \text{ rad/sek}$ ses det at systemet med regulatoren er løftet til $+8\text{dB}$, men med samme fase på -3 deg som for det uregulerede system. Samtidig ses det at når frekvensen går mod 0, går forstærkningen mod ∞ .

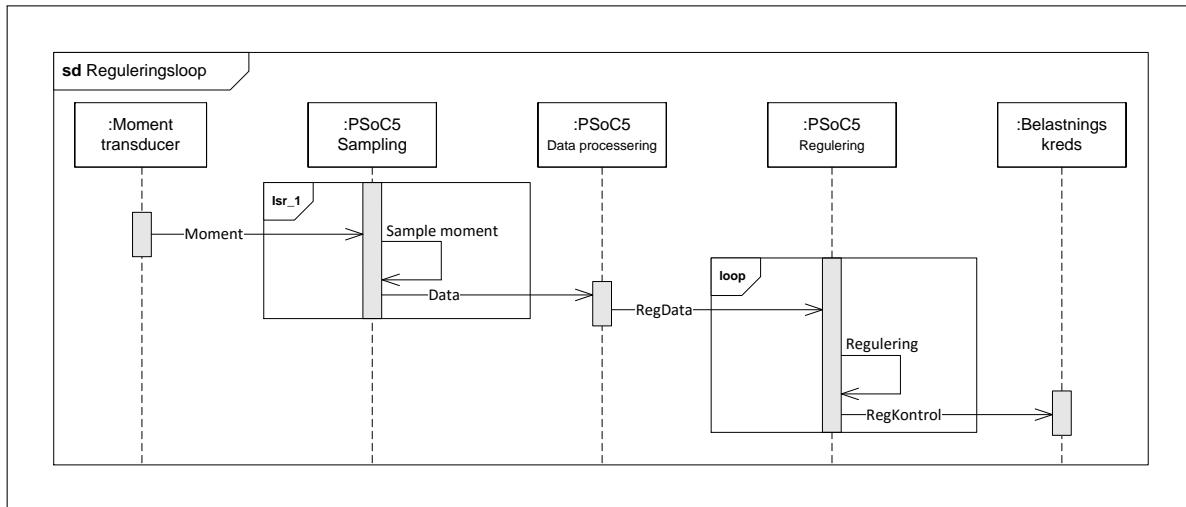
På figur 4.15 ses stepresponsen af systemet med regulering. Det ses at ved et stepinput på 1, stabilisere outputtet sig også omkring 1. Dvs. at regulatoren fjerner den stationære fejl, $e(\infty) = 0$.



Figur 4.15. Steprespons af systemet med regulering

Implementering

Den designede PI-regulator der skal implementeres på PSoC5 skal designes således, at programmet forløber som vist på nedenstående sekvensdiagram. Programmet starter med at sample på signalet fra momenttransduceren. Herefter bliver der sendt data videre til reguleringen på PSoC5, for derved at sende et reguleringssignal videre til belastningskredsen.



Figur 4.16. Sekvensdiagram over reguleringen

Nedenstående kodeudsnit viser hvordan P-delen er implementeret i software. Der startes med at finde den aktuelle fejl ved at tage forskellen mellem setpunktet og det nuværende moment. $T_{setpunkt}$ sættes i brugergrænsefladen, og det nuværende moment sendes fra samlingen på PSoC5, jf. figur 4.16. Efterfølgende beregnes proportionaldelen ud som vist i formel 4.3. Derefter tjekkes der om proportional delen er over eller under dets grænse.

```

1 CurrError = Tref - Curr_torque; // Current error
2
3 /* Calculate Proportional Term */
4 PropTerm = CurrError * Kp;
5 if(PropTerm > PROP_REG_LIM) //whether the proportional term is below/over
6     the proportional regulation limit
7     PropTerm = PROP_REG_LIM;
8 else{
9     if(PropTerm < -PROP_REG_LIM)
10        PropTerm = -PROP_REG_LIM;
}

```

Ligeledes ses hvordan I-delen er implementeret i softwaren. Her beregnes den akkumulerede fejl, der er summen af den forhenværende akkumulerede fejl plus den nuværende fejl. Der sørges for at den akkumulerede fejl ikke overskider dens grænse. Herefter beregnes integraldelen, og der tjekkes om hvorvidt det er inde for dets grænse.

```
1  /* Calculate Integral Term */
2  AccuError += CurrError;
3  if(AccuError > INTL_REG_LIM) AccuError = INTL_REG_LIM;
4  if(AccuError < -INTL_REG_LIM) AccuError = -INTL_REG_LIM;
5
6  Int1Term = AccuError * Ki;
7  if(Int1Term > INTL_REG_LIM) //whether the integral term is below/over the
     integral regulation limit
8  Int1Term = INTL_REG_LIM;
9  else{
10    if(Int1Term < -INTL_REG_LIM)
11      Int1Term = -INTL_REG_LIM;
12 }
```

På nedenstående kodeudsnit oprettes der en variabel som er summen af proportional - og integral leddet, som shiftes otte gange. Det at shifte otte gange er det samme som at dividere med 256. Dette gøres da PWM-blokken på PSoC5 har en oplosning på 8-bit, og variablerne der er blevet arbejdet med er repræsenteret ved 16-bit. Herefter anvendes variablen i funktionen PWM_WriteCompare, som er en indbygget funktion i PWM-blokken på PSoC5. PWM-blokken er opsat således, at den compare værdi den modtager, giver et højt output i løbet af perioden. Resten af perioden giver et lavt output.

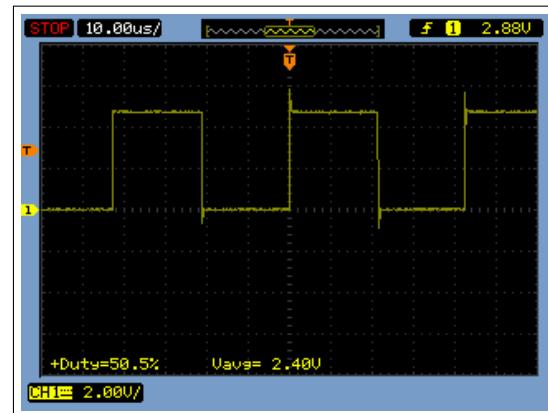
```
1  PWM_output = (PropTerm+Int1Term)>>8;
2  PWM_WriteCompare(PWM_output);
```

Enhedstest

Reguleringssløjfen blev testet, hvor feedbacket fra reguleringssløjfen blev simuleret med Analog Discovery. For at vise betydningen af at vælge den rigtige output port på PSoC5 er der testet to scenarier. Et hvor der anvendes et analogt output, og et hvor der anvendes et digital output. De analoge porte på PSoC5 er forbundet en kondensator på deres udgange, og det er dennes indvirkning der har betydning for output signalet. Nedenstående to oscilloskop billeder er fra henholdsvis en test med analog output port, og en med digital output port. Her ses kondensatorens indvirkning på udgangssignalet ved brug af en analog port.



Figur 4.17. Test med analog output port



Figur 4.18. Test med digital output port

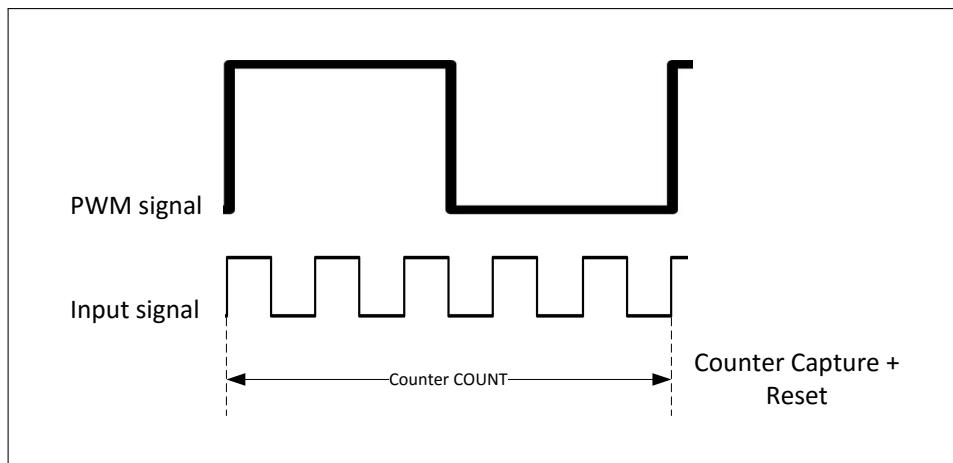
4.8 Hastighedsmåling

Analyse & Design

Som nævnt i afsnit 4.4 går hastighedsmålingen ud på at kunne måle antallet af rising edge pulser i løbet af et sekund. Clock-mode på Counteren er sat op til *Up Counter*. Counter-blokken har to inputs: *count* og *clock*. Signalet der skal måles, forbindes til count-inputtet og count-inputtet er synkroniseret til clock-inputtet, som er sat til 24 MHz. Counteren er sat til at være en Up-Counter fordi det at tælle fra 0 gør beregninger nemmere. Når Counteren er opsat til at være en Down-Counter skal den værdi, som er captured, trækkes fra counter-perioden for at få den eksakte count værdi. Dvs:

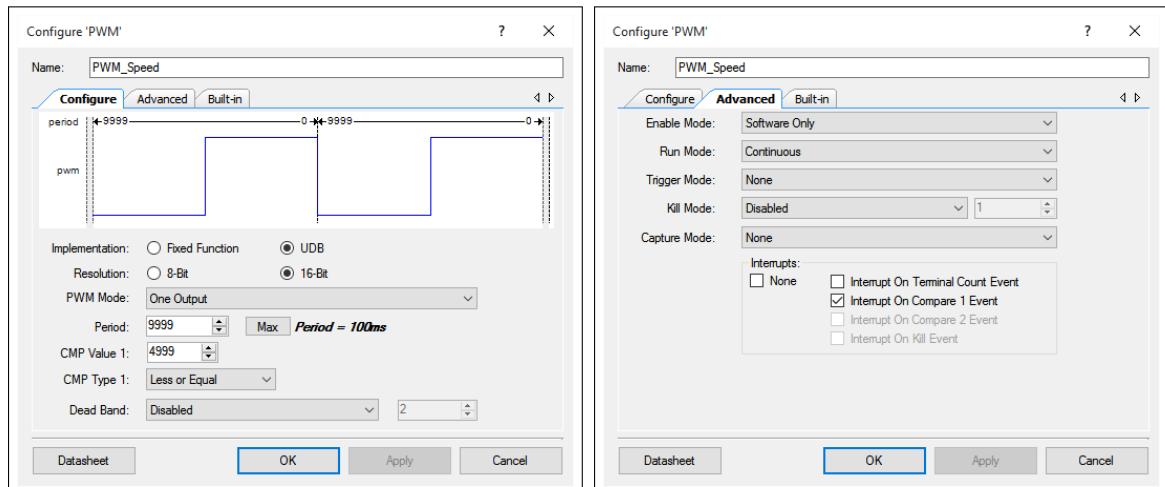
- Up counter: Tæller i 100 millisekunders tidsinterval = *Capture – værdi*
- Down counter: Tæller i 100 millisekunders tidsinterval = *Counterperiod – værdi*

Capture mode er konfigureret til rising edge. Dette er brugt til at detektere tidsintervallet, som PWM-blokkken genererer. Reload Counter er sat til On Capture og On Reset. Når en capture er detekteret, vil counteren nulstilles, og optællingen for den næste periode vil starte. Figur 4.5 viser opsætningen af Counter-blokken.



Figur 4.19. Tidsdiagram for hastighedsmålingen

PWM-outputtet genererer tidsintervallet som counter-blokken skal tælle i. PWM-outputtet fungerer som input til counter capture signalet. Desuden er PWM-blokken configureret for en compare type *Less or Equal* med en compare værdi på 4999. Dette vil generere en puls med en dutycycle på 50%, og en periodetid på 100ms. Periodelængden på PWM-outputtet er konfigureret til 9999. Periodetiden findes ved at gange periodelængden med clockfrekvensen; $(9999 + 1) \cdot 100kHz = 100ms$. Figur 4.20 viser opsætningen af PWM-blokken.



Figur 4.20. Opsætning af PWM_Speed blokken

Implementering

Hastighedsmålingen blev implementeret i en interrupt rutine, der sætter en flag højt, hver gang den kører. *PWM_Speed_ReadStatusRegister* kaldes for at fjernes interrupt bittet på PWM-blokken. Hvis interrupt bittet ikke fjernes vil interrupten køre uafbrudt, hvilket ikke er ønskeligt. Funktionen *Counter_Speed_ReadCapture* returnerer indholdet i capture registret eller outputtet på FIFO'en. Derefter beregnes hastigheden på akslen.

```

1 CY_ISR(isr_2) // speed pulse count and shaft speed calculation
2 {
3     // call the ReadStatusRegister to clear the Interrupt Status bit
4     PWM_Speed_ReadStatusRegister();
5     uint32 result = Counter_Speed_ReadCapture();
6     shaft_speed=(2*M_PI*result*10)/360;
7 }
```

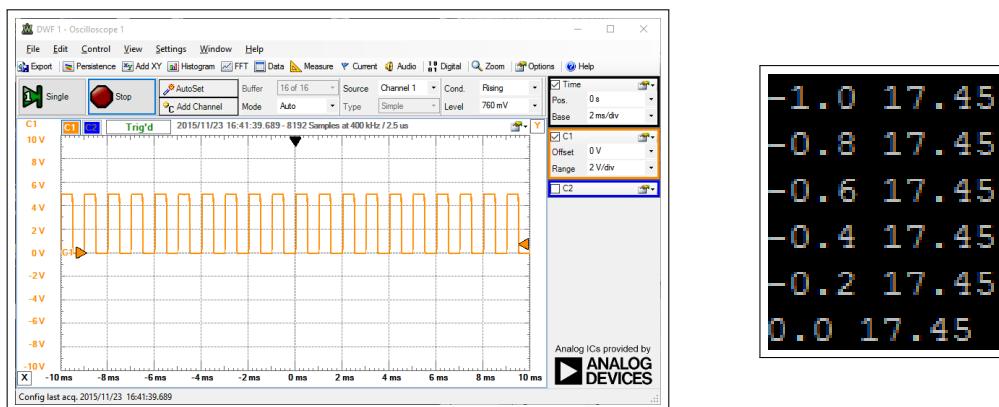
Enhedstest

Programmet blev testet hvor der blev sendt en firkantssignal med en frekvens på $1kHz$ ind på PSoC5. Idet periodetiden er på $100ms$ vil counteren kunne detektere 100 pulser i løbet af en periodetid. Dvs. hastigheden på akslen kan regnes ud på følgende måde.

$$shaftspeed = \frac{2 \cdot \pi \cdot result \cdot 10}{360} \quad (4.20)$$

$$shaftspeed = \frac{2 \cdot \pi \cdot 100 \cdot 10}{360} = 17.45 \quad (4.21)$$

Figur 4.21 er udklip fra henholdsvis frekvensgeneratoren og det beregnede tal i programmet, som er hentet fra brugergrænsefladen.



Figur 4.21. Test af hastighedsmålingen

4.9 Brugergrænseflade

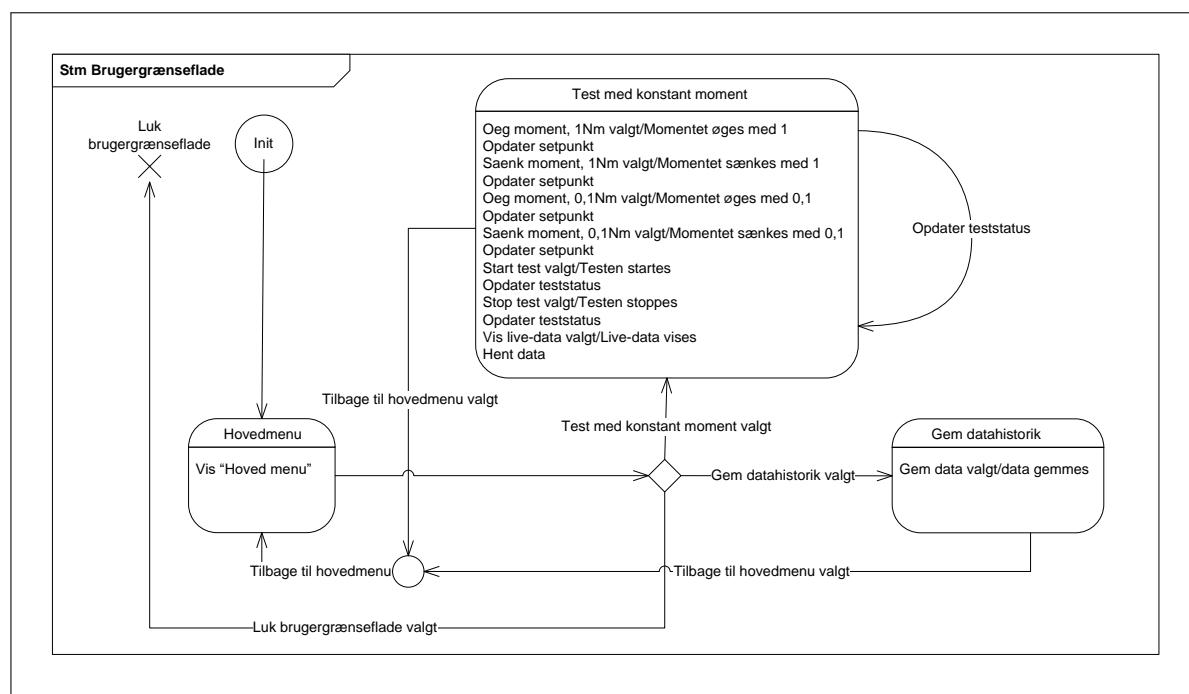
Analyse

Det overordne system er implementeret med en brugergrænseflade. Det er gennem denne at brugeren vil være i stand til at interagere med systemet. Brugergrænsefladen er udviklet som et shell script, som er et computerprogram designet til at blive eksekveret på en Unix kerne. Dette giver en begrænsning da brugergrænsefladen udelukkende vil fungere på en Linux OS platform. Shell script er valgt for at gøre implementeringen af brugergrænsefladen så enkelt som muligt.

Der er i vidt omfang forsøgt at gøre brugergrænsefladen så enkelt som muligt for brugeren. Dette har resulteret i at brugergrænsefladen har nogle bestemte restriktioner, såsom mulighed for at foretage test, se live-data og gemme data.

Design

Brugergrænsefladen er designet med én hovedmenu og to undermenuer ("Test med konstant moment" og "Gem data"). Brugergrænsefladen er implementeret som en state machine som vist på figur 4.22, hvor hver state repræsenterer de respektive menuer på brugergrænsefladen



Figur 4.22. State machine diagram over brugergrænsefladen

De enkelte states fungerer på følgende måde:

Hovedmenu: Hovedmenuen er det første brugeren ser når brugergrænsefladen eksekveres. Det er herfra brugeren kan tilgå de to undermenuer.

Test med konstant moment: I denne menu kan der foretages test. Ydermere er der mulighed for at se live-data på systemet.

Gem datahistorik: Her kan brugeren gemme data i loggen

På figur 4.23, 4.24 og 4.25 ses udsnit af brugergrænsefladen.

```
oztoprak@ubuntu: ~/Documents/BrugergraeNSEflade - Teststand/BrugergraeNSEflade
-----
Hovedmenu
-----
[1] Test med konstant moment
[2] Gem datahistorik
[3] Luk BrugergraeNSEflade
=====
Indtast oensket menu [1-3]:
```

Figur 4.23. Hovedmenu

```
oztoprak@ubuntu: ~/Documents/BrugergraeNSEflade - Teststand/BrugergraeNSEflade
-----
Test med konstant moment
-----
[1] Oeg moment, 1Nm
[2] Saenk moment, 1Nm
[3] Oeg moment, 0,1Nm
[4] Saenk moment, 0,1Nm
[5] Start test
[6] Stop test
[7] Vis live-data
[8] Tilbage til hovedmenu
=====
Indtast oensket menu [1-8]:
Teststatus: Startet
Setpunkt - Moment: 2 Nm
```

Figur 4.24. Test med konstant moment

```
oztoprak@ubuntu: ~/Documents/BrugergraeNSEflade - Teststand/BrugergraeNSEflade
-----
Gem datahistorik
-----
[1] Gem data
[2] Tilbage til hovedmenu
=====
Indtast oensket menu [1-2]:
```

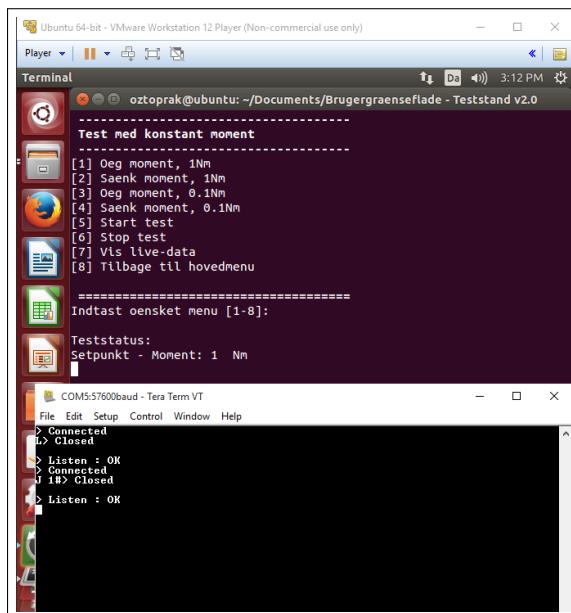
Figur 4.25. Gem datahistorik

Enhedstest

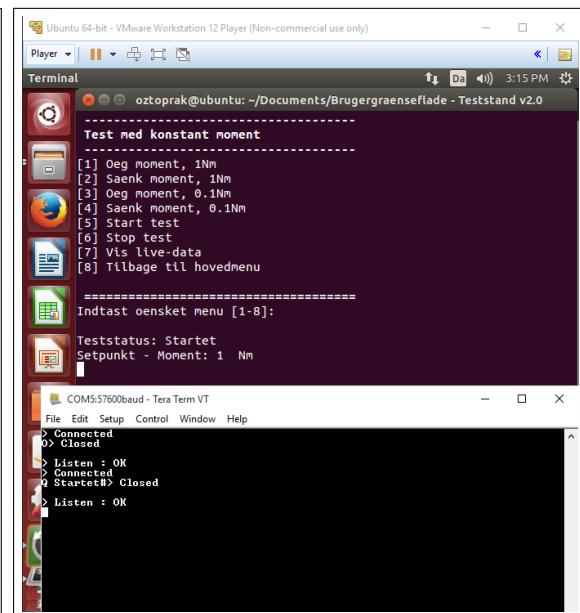
Brugergrænsefladen er testet med

På figur 4.26 testes funktionaliteten af momentsetpunktet. Der ønskes en forøgelse i moment på 1 Nm. Dette ses på terminalskærmen på Tera Term, da brugergrænsefladen sender et "L" efterfulgt af et "J". "L" angiver en forøgelse i moment med 1 Nm medens "J" opdaterer momentsetpunktet. Beskrivelsen for de enkelte bogstaver forefindes i tabel 4.3. Under test indtastes der en værdi manuelt på terminalen i Tera Term og afsluttes med "#". Dette vil herefter resultere i en opdatering af momentsetpunktet.

Ligeledes udføres der en test for opdatering af teststatus ved start/stop af test. Her testes der om teststatusen opdateres ved en teststart. Terminalen på Tera Term modtager et "O" efterfulgt af et "Q", der henholdsvis er et udtryk for start af test og opdatering af teststatus. Der gælder det samme for denne test som den forhenværende, at der indtastes en værdi manuelt på Tera Term. Der ses, at teststatusen opdaterer ved indtastning af teststatus.



Figur 4.26. Test af moment setpunkt opdatering



Figur 4.27. Test af opdatering af teststatus

4.10 Datalogning

Analyse & Design

Som en del af brugergrænsefladen er der implementeret en datalog. Dataloggen er i form af tekstdeler, der ligger på Computeren. Det er disse tekstdeler der bliver skrevet til, når data transmitteres fra PSoC5 til Computer. Ved en anmodning om datalog fra brugergrænsefladen, eksekveres de pågældende cases i isr_5. TCP-Client sørger derefter for at skrive logdata ind på de specifikke logfiler.

Implementering

Nedenstående kodeudsnit viser implementeringen af menuen *Gem datahistorik*. Det ses at, ved at trykke på knappen *Gem data* på brugergrænsefladen, sendes der karakterer fra brugergrænsefladen til PSoC5. Betydningen af de enkelte protokoller kan findes på tabel 4.3.

```

1 2) accessGemData="true"
2   while [ "$accessGemData" == "true" ]; do
3     gemDatahistorik
4     read gemdatach
5     case $gemdatach in
6       1) echo "";
7         ./file_client F Datahistorik/Moment_Historik.txt
8         #Hent Momenthistorik
9         ./file_client E Datahistorik/Hastighed_Historik.txt
10        #Hent Hastighedshistorik
11        ./file_client G Datahistorik/P_Mekanisk_Historik.txt
12        #Hent Mekanisk Effekt historik
13        ./file_client H Datahistorik/P_Elektrisk_Historik.txt
14        #Hent Elektrisk Effekt historik
15        ./file_client I Datahistorik/Virkningsgrad_Historik.txt
16        #Hent Virkningsgradshistorik
17        ./file_client R Datahistorik/Energiforbrug_Historik.txt
18        #Hent Energiforbrugshistorik
19        echo "Data er gemt i mappen Datahistorik"
20        ;;
21       2) accessGemData=false ;;
22       *) echo "Ugyldig indtastning - Vaelg menu [1-2]"; echo "";
23          echo "Tryk paa Enter for at fortsaette" ; read ;;
24     esac
25   done ;;

```

4.11 Kommunikation

Analyse

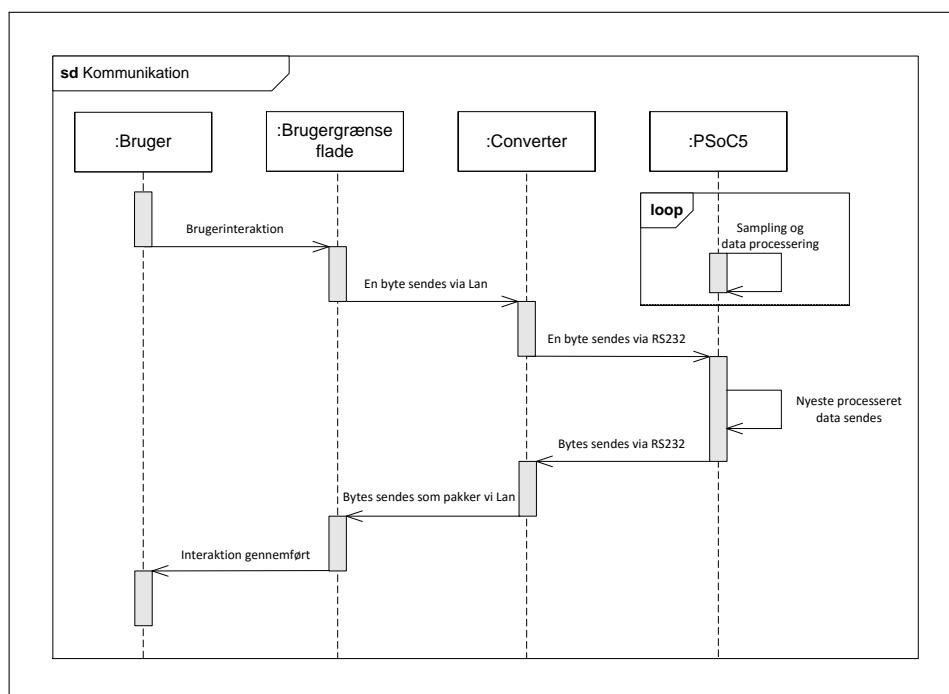
Fokuspunktet for kommunikationen var, at det skulle være enkelt for brugeren at kunne koble sig på systemet samt at det skulle være en kommunikationsprotokol der var tilgængeligt på de fleste computere i form af en port. Ydermere skulle det endelige system indeholde en form for sikker datatransmisison. Gruppen kom frem til to muligheder, ethernet & USB. Løsningen faldt på at implementere en TCP-forbindelse mellem PSoC5 og brugergrænsefladen i det færdige system. Grunden til dette, er at selve opsætningen af et USB interface er mere komplekst end et ethernet-forbindelse, og da fokuspunktet for projektet ikke ligger i kommunikationsprotokoller er ethernet valgt.

Design & Implementering

Før implementeringen af kommunikationen kunne begynde, var der et mindre problem der skulle løses. Som nævnt var det valgte at kommunikationsprotokollen mellem Computer og PSoC5 skulle være ethernet. Da PSoC5 ikke har en onboard ethernet-port, blev der fundet en alternativ løsning. PSoC5 har en onboard COM-port, og ved brug af en RS232/TCP Converter blev dette problem løst. Dette har resulteret i, at implementeringen af kommunikationen er blevet inddelt i tre dele, hvor funktionaliteten af de enkelte dele vil blive beskrevet.

1. TCP-Client
2. RS232/TCP Converter
3. UART

Den fulde kommunikation i systemet er blevet implementeret i form af et sekvensdiagram vist på nedenstående figur.



Figur 4.28. Sekvensdiagram over kommunikationen i systemet

TCP-Client

Som en del af brugergrænsefladen er to eksekverbare filer inkorporeret i shell scriptet. Disse eksekverbare filer sørger for forbindelse mellem brugergrænsefladen og converteren. Nedenstående er en beskrivelse af de to filers virkemåde.

file_client er brugt når der er behov for information om systemet. Filen eksekveres i shell scriptet når brugeren anmoder om data fra menuet "Test med konstant moment".

```
1   writeTextTCP(argv[1], sockfd);
```

Ovenstående er et kodeudsnit file_client filen. Når filen kører, vil en specifik karakter for en given anmodning, blive sendt til 'writeTextTCP' funktionen. En oversigt over protokollen for hele kommunikationen kan findes på tabel 4.3. Det første argument, argv[1], for den fornævnte funktion, er den karakter der sendes. Det andet argument, sockfd, angiver hvilket socket der skal forbindes til. I dette tilfælde er converteren konfigureret som en server, se afsnit 4.11.

```
1   myfile = open(argv[2], O_WRONLY | O_CREAT | O_TRUNC,
2     S_IRUSR | S_IWUSR | S_IRGRP | S_IROTH, 0755);
3
4   while(buf != '#')
5   {
6     n=read(sockfd, &buf, 1);
7     if(n<0) error("ERROR reading to socket");
8     if(buf != '#')
9       write(myfile, &buf, n);
10  }
11  close(myfile);
12  close(sockfd);
```

Når en karakter er sendt vil programmet vente på et svar fra PSoC5 indholdene det anmodede data. Ved datatransmission mellem PSoC5 og brugergrænsefladen vil programmet vente til det modtager et '#' karakter og derved terminere programmet.

Ovenstående kodeudsnit viser hvordan dette er implementeret. 'Open()' funktionen etablerer forbindelsen mellem logfilen (filen hvor informationer fra PSoC5 gemmes) og en file descriptor². Read funktionen, 'read(sockfd, &buf, 1)', læser en karakter ad gangen fra socket'en, og dette gør den så længe den ikke modtager et '#' karakter. Efter funktionen er færdig med at læse karaktererne og skrive dem til myfile med write() funktionen, vil henholdsvis filen og socket'en lukke med close(myfile) og close(sockfd).

test_kontrol filen anvendes når der er behov for at give systemet beskeder såsom setpunktet for test, og selve teststatusen. Filen eksekveres i shell scriptet når brugeren anmoder om de to fornævnte muligheder. test_kontrol filen er simpelere idet det ikke kræver feedback, men vil kun sende kommandoer til PSoC5.

²I Unix og relaterede operative systemer, anvendes en file descriptor til at tilgå filer eller andre input/output ressourcer

Nedenstående kodeudsnit er fra test_kontrol filen. Den fungerer på samme måde som 'writeTextTCP()' funktionen for file_client filen. Se beskrivelsen for denne for yderligere information.

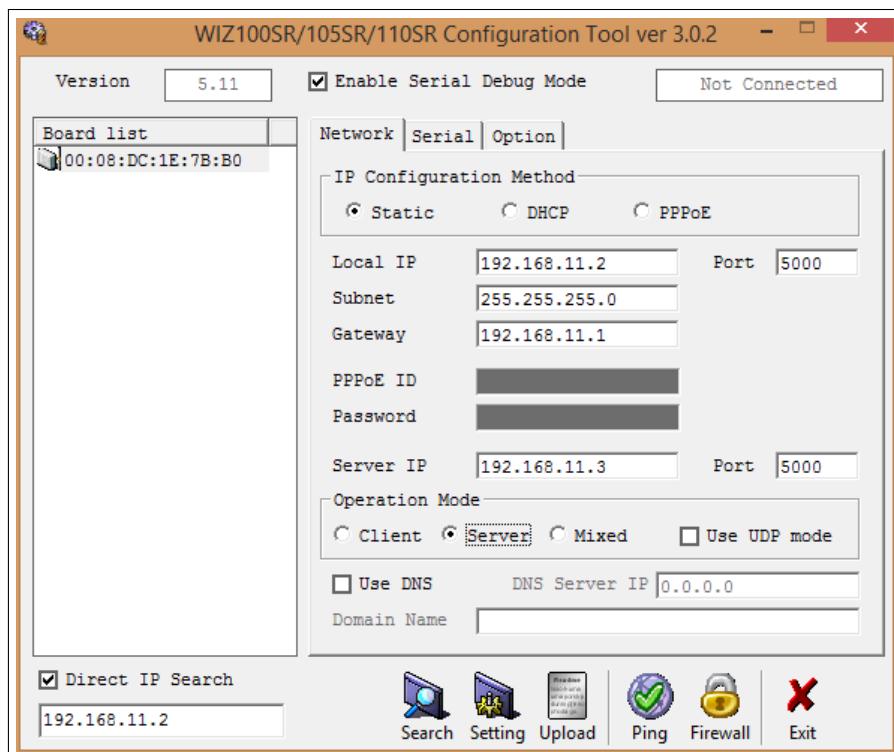
```
1   writeTextTCP(argv[1], sockfd);
```

Begge filer er i deres source kode blevet konfigureret med en IP-adresse og et portnummer. Dette er nødvendigt for at filerne kan kommunikere med converteren. For yderligere information om opsætning af converteren, se afsnit 4.11.

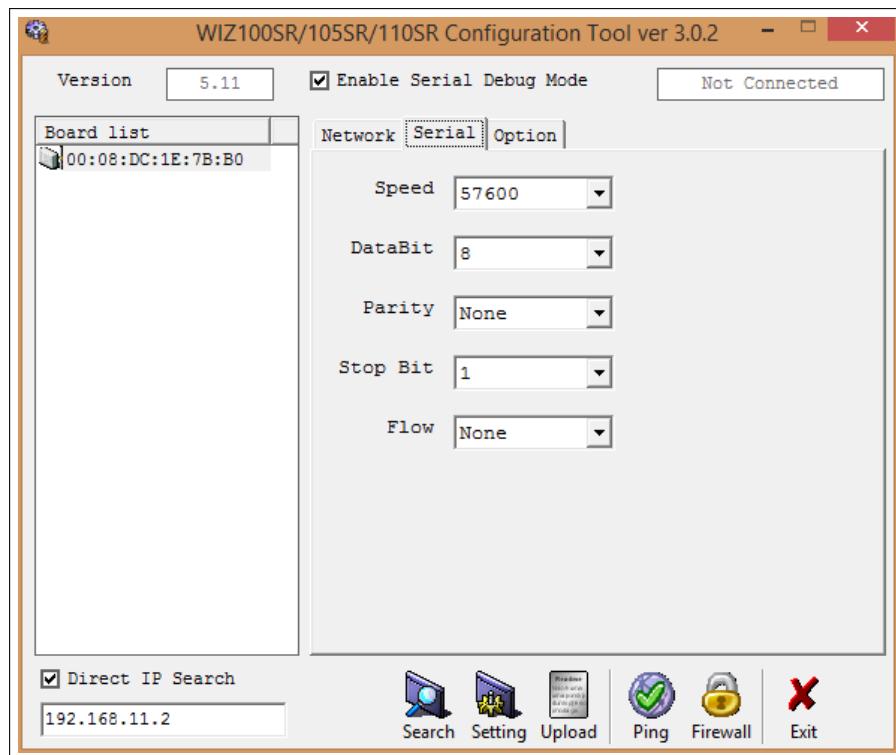
```
1   int portno = 5000;
2   string ip = "192.168.11.2";
```

RS232/TCP Converter

Som nævnt var problemet med PSoC5'en at den ikke havde en onboard ethernet-port. Dette blev løst ved en RS232/TCP Converter mellem PSoC5 og Computeren. Nedenstående billeder viser hvordan converteren er konfigureret.



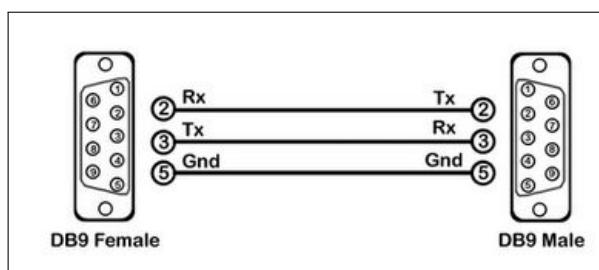
Figur 4.29. IP opsætning



Figur 4.30. Seriel opsætning

UART

Kommunikationen mellem RS232/TCP Converter og PSoC5 er realiseret ved brug af UART. UART sender/modtager bytes af data. Transmissionen sker ved at de individuelle bits transmitteres sekventielt. *μControlleren* der skal kommunikeres med modtager bits, og samler dem til hele bytes igen.



Figur 4.31. RS232 kobling

Som nævnt er PSoC5 den centrale kontroldelen i systemet medens Computeren er anvendt til at håndtere og modtage data. Kommunikationen er lavet således, at data er konverteres til ASCII-karakterer før det sendes til Computeren, sammen med beskrivende tekst til udprintning på brugergrænsefladen. Dvs. der vil ikke blive nogen form for dataprocessering på Computer, idet det modtagne data allerede er på formen krævet fra brugergrænsefladen. Fordelen ved dette er, at systemet er enkelt at debugge ved brug af et terminalprogram. På den anden side er denne metode ikke effektiv, idet der vil blive sendt mere data end nødvendigt, sammenlignet med en mere effektiv, binær protokol.

En fuld log er den største datamængde der kan blive sendt på én gang. For at sikre at processen ikke bliver for tidskrævende er der lavet en approximeret beregning på overførselstiden af data. Tiden som data er i loggen sættes til 60 sekunder. Hvert 200 millisekund vil loggen blive opdateret med ny data, og hvis loggen er fuld vil det ældste data blive overskrevet med det nye.

$$\text{baud_rate} = 57600 \frac{\text{bit}}{\text{s}} \quad (4.22)$$

$$\text{data_rate} = \frac{\text{baud_rate}}{10} = 5760 \frac{\text{byte}}{\text{s}} \quad (4.23)$$

$$\text{store_time} = 60\text{s} \quad (4.24)$$

Den tid data er gemt i loggen

$$\text{update_time} = 0.2\text{s} \quad (4.25)$$

Opdateringshastigheden på loggen

$$\text{log_len} = \frac{\text{store_time}}{\text{update_time}} = 300 \quad (4.26)$$

Log størrelsen findes som forholdet mellem den tid data er gemt i loggen og opdateringshastigheden.

$$\text{place_len} = 12\text{byte} \quad (4.27)$$

Antallet af bytes det tager for at sende data for et enkelt datatype fra loggen.

$$\text{to_send} = \text{log_len} \cdot \text{place_len} = 3600\text{byte} \quad (4.28)$$

Mængden af bytes der skal sendes

$$\text{send_time} = \frac{\text{to_send}}{\text{data_rate}} = 0.625\text{s} \quad (4.29)$$

Siden det kun tager ca. 0.63 sekunder for systemet at transmittere data, kan det siges at være tilstrækkeligt hurtigt. Ydermere vil der være en tidsforsinkelse fra TCP-forbindelsen, men denne forsinkelse antages for at være relativt konstant, og er derfor ikke med i beregningerne.

Selve transmitteringen af data kan gøres hurtigere ved at vælge en større baud rate idet PSoC5 og Converteren håndtere baud rates væsentligt højere end $57600 \frac{\text{bit}}{\text{s}}$. Det er dog ikke hensigtsmæssigt at køre med så høj en baud rate idet den serielle kommunikation ikke er pålidelig. Baud raten er ikke valgt så høj, da der vil opstå flere fejl ved en højere baud rate, hvorimod TCP-forbindelsen mellem Converter og Computer er en pålidelig forbindelse.

Protokol for kommunikationen

Beskrivelse	Tilsvarende ASCII værdi
Hastighedslog	E
Momentlog	F
Elektrisk effekt	G
Mekanisk effekt	H
Virkningsgrad	I
Effektforbrug	R
Moment setpunkt	J
Teststatus	Q
Øg moment med 1 Nm	L
Sænk moment med 1 Nm	N
Øg moment med 0,1 Nm	M
Sænk moment med 0,1 Nm	K
Start test	O
Stop test	P
Vis live-data	D

Tabel 4.3. Protokol for datatransmission fra PC til PSoC5

Description	The ascii value for
Ny linje	10
enter	13
End data transfer	#

Tabel 4.4. Protocol for transition from PSoC5 to PC

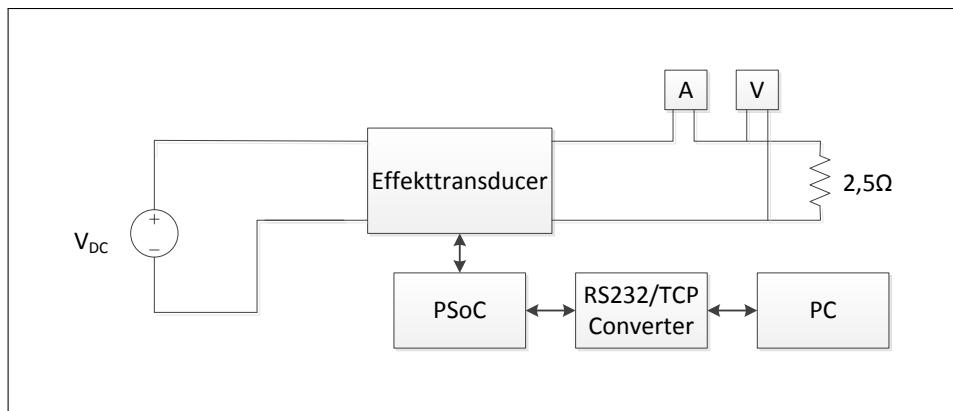
Integrationstest 5

Prækonditionen for alle test er at systemer er forsynet med $12 V_{DC}$ forsyningsspænding og PSoC'en er programmeret med den nyeste softwareversion¹.

Da kommunikationen med brugergrænseflader fejlede testen, jf. Testcase 8, afsnit 5.8, så foretages kommunikationen vha. terminalprogrammet PuTTY². En oversigt af betydningen af de sendte kommandoer kan findes i tabel 4.3, Protokol for datatransmission fra PC til PSoC5.

5.1 Test Case 1 – Måling af Elektrisk tilført effekt

På figur 5.1 er en illustration af testopstillingen. En strømforsyning leverer effekt, der afsættes i en belastningsmodstand. Effekten måles med af effekttransduceren, og verificeres med måling med et voltmeter og amperemeter³.



Figur 5.1. Testopstilling - Effekttransducer

¹Se Bilag/Software/PSoC Programmer

²PuTTY er en open-source terminal emulator, som virker som en klient for SSH- og Telnet-protokollerne

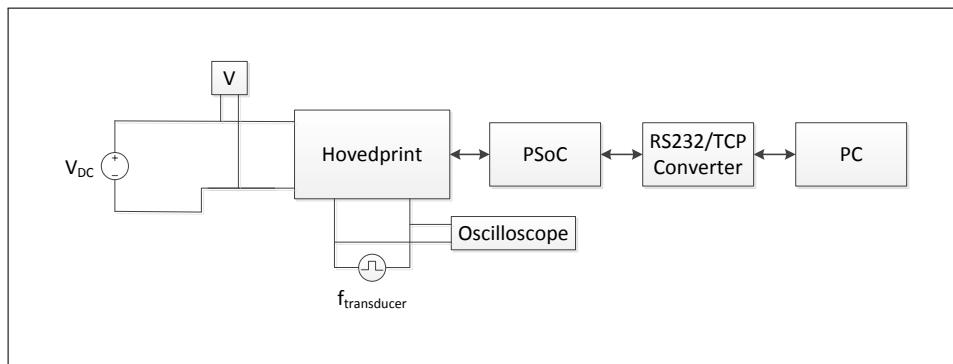
³Målinger samt beregninger kan findes i bilagsmappen under Bilag/Integrationstest/Elektrisk tilført effekt

Step	Handling	Forventet resultat	Resultat
1	Der anmodes om at starte systemet. ASCII karakteren "O" sendes fra terminalprogrammet.	Systemet starter	$\Rightarrow OK$
2	Der anmodes om at hente teststatus. Teststatus hentes med ASCII karakteren "Q", sendt fra terminalprogrammet.	Teststatus er "Startet"	$\Rightarrow OK$
3	Effektmodstanden påtrykkes en spænding, med strømforsyningen.	-	-
4	Der anmodes om at modtage den elektriske effekten fra dataloggen. Effekten hentes med ASCII karakteren "H", sendt fra terminalprogrammet.	Modtaget effekt ligger inden for 1% af målt effekt	Modtaget effekt: 10.05 W Målt effekt: 10.02 W $\Rightarrow OK$
5	Spændingen på strømforsyningen øges.	-	-
6	Der anmodes om at modtage den elektriske effekten fra dataloggen. Effekten hentes med ASCII karakteren "H", sendt fra terminalprogrammet.	Modtaget effekt ligger inden for 1% af målt effekt	Modtaget effekt: 352.25 W Målt effekt: 351.84 W $\Rightarrow OK$

Tabel 5.1. Integrationstest - Effekttransducer

5.2 Test Case 2 – Måling af Mekanisk effekt

På figur 5.2 er en illustration af testopstillingen. Da Momenttransducer ikke har været til rådighed ved test, er signalerne simuleret med en spændingsforsyning og frekvensgenerator. Resultaterne verificeres med måling med et voltmeter og et oscilloscope⁴.



Figur 5.2. Testopstilling - Mekanisk Effekt

Step	Handling	Forventet resultat	Resultat
1	Der anmodes om at starte systemet. ASCII karakteren "O" sendes fra terminalprogrammet.	Systemet starter	⇒ OK
2	Der anmodes om at hente teststatus. Teststatus hentes med ASCII karakteren "Q", sendt fra terminalprogrammet.	Teststatus er: "Startet"	⇒ OK
3	Systemet påtrykkes en spænding på 0.99 V svarende til 0.99 Nm og en frekvens på 6.3 kHz svarende til en akselhastighed på 109.69 rad/sek.	-	-
4	Der anmodes om at modtage den elektriske effekten fra dataloggen. Effekten hentes med ASCII karakteren "G", sendt fra terminalprogrammet.	Modtaget effekt ligger inden for 1% af målt effekt	Modtaget effekt: 108.87 W Inputeffekt: 116.14 W Nøjagtigheden er 6.68% ⇒ Ikke OK *)

⁴Målinger samt beregninger kan findes i bilagsmappen under Bilag/Integrationstest/Mekanisk effekt

5	Systemet påtrykkes en spænding på 4.98 V svarende til 4.98 Nm og en frekvens på 6.3 kHz svarende til en akselhastighed på 109.69 rad/sek. .	-	-
6	Der anmodes om at modtage den elektriske effekten fra dataloggen. Effekten hentes med ASCII karakteren "G", sendt fra terminalprogrammet.	Modtaget effekt ligger inden for 1% af målt effekt	Modtaget effekt: 508.99 W Inputeffekt: 547.36 W Nøjagtigheden er 7.01% \Rightarrow Ikke OK *)

Tabel 5.2. Integrationstest - Mekanisk effekt

*) Det kunne ved test ses, at unøjagtigheden lå i målingen af momentet. Det forventes at denne unøjagtighed skyldes induceret støj i det elektriske kredsløb.

Målingen af hastigheden kunne verificeres som værende inde for det acceptable område på 1%. Jf. udklip fra loggen for hastighedsmålingen ses det at de målte værdier for akselhastigheden stemmet overens med den beregnede hastighed. Derved kan det konkluderes, at den primære fejlkilde er ved måling af momentet.

5.3 Test Case 3 – Måling af Elektrisk effektforbrug

Der benyttes samme testopstillingen som benyttet i Test Case 1, figur 5.1⁵.

Step	Handling	Forventet resultat	Resultat
1	Effektmodstanden påtrykkes en spænding, med strømforsyningen.	-	-
2	Der anmodes om at starte systemet. ASCII karakteren "O" sendes fra terminalprogrammet.	Systemet starter	$\Rightarrow OK$
3	Der anmodes om at hente teststatus. Teststatus hentes med ASCII karakteren "Q", sendt fra terminalprogrammet.	Teststatus er "Startet"	$\Rightarrow OK$
4	Efter 30 sekunder anmodes der om at modtage det seneste beregnede data. Data hentes med ASCII karakteren "D", sendt fra terminalprogrammet.	Modtaget effektforbrug ligger inden for 1% af målt effektforbrug	Modtaget forbrug: 0.21 Wh Målt forbrug: 0.24 Wh Nøjagtigheden er 13.4% \Rightarrow Ikke OK *)

Tabel 5.3. Integrationstest - Elektrisk effektforbrug

*) Idet at effektforbruget summeres over tid, summeres unøjagtigheden på effekttransduceren ligeledes. Dette er grundet den store afvigelse fra den modtaget værdi.

⁵Målinger samt beregninger kan findes i bilagsmappen under Bilag/Integrationstest/Elektrisk effektforbrug

5.4 Test Case 4 – Måling af Virkningsgrad

Der benyttes samme testopstillingen som benyttet i Test Case 1, figur 5.1 og i Test Case 2, figur 5.2⁶.

Step	Handling	Forventet resultat	Resultat
1	Der anmodes om at starte systemet. ASCII karakteren "O" sendes fra terminalprogrammet.	Systemet starter	$\Rightarrow OK$
2	Der anmodes om at hente teststatus. Teststatus hentes med ASCII karakteren "Q", sendt fra terminalprogrammet.	Teststatus er "Startet"	$\Rightarrow OK$
3	Elektrisk effekt: Effektmodstanden påtrykkes en spænding på 20.8 V, med strømforsyningen. Mekanisk effekt: Systemet påtrykkes en spænding på -4.99 V svarende til 4.99 Nm og en frekvens på 1 kHz svarende til en akselhastighed på 17.45 rad/sek.	-	-
4	Der anmodes der om at modtage det seneste beregnede data. Data hentes med ASCII karakteren "D", sendt fra terminalprogrammet.	Modtaget virkningsgrad ligger inden for 1% af målt effekt	Modtaget virkningsgrad: 0.72 Beregnet virkningsgrad: 0.69 Nøjagtigheden er 4.09% $\Rightarrow Ikke OK ^*)$
5	Elektrisk effekt: Spændingen på strømforsyningen øges så Effektmodstanden påtrykkes en spænding på 34.7 V, med strømforsyningen. Mekanisk effekt: Systemet påtrykkes en samme spænding og frekvens som i step 3.	-	-
6	Der anmodes der om at modtage det seneste beregnede data. Data hentes med ASCII karakteren "D", sendt fra terminalprogrammet.	Modtaget virkningsgrad ligger inden for 1% af målt effekt	Modtaget virkningsgrad: 0.26 Beregnet virkningsgrad: 0.25 Nøjagtigheden er 4.53% $\Rightarrow Ikke OK ^*)$

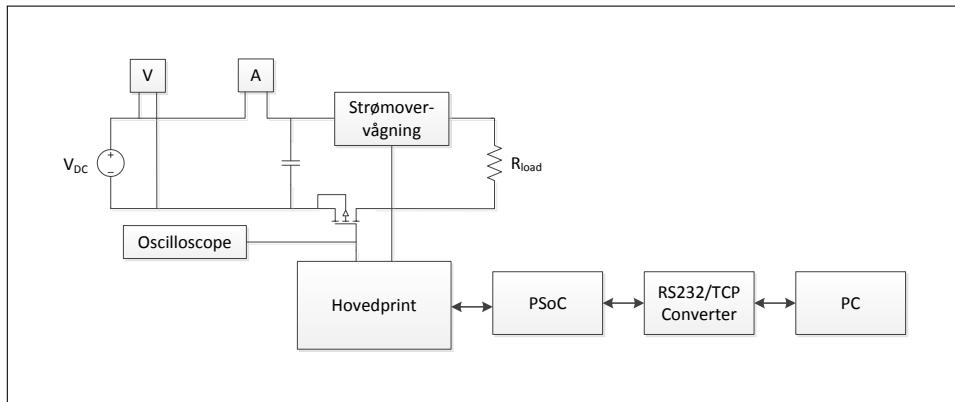
Tabel 5.4. Integrationstest - Virkningsgrad

⁶Målinger samt beregninger kan findes i bilagsmappen under Bilag/Integrationstest/Virkningsgrad

*) Jf. Begrundelsen for unøjagtigheden i måling af momentet i Test Case 2, har unøjagtigheden i denne test samme fejlkilde.

5.5 Test Case 5 – Beskyttelse mod overbelastning med Strømovervågning

På figur 5.3 er en illustration af testopstillingen. En strømforsyning leverer effekten, der afsættes i belastningsmodstanden. Strømmen måles af strømovervågningen, og verificeres med måling med et amperemeter⁷.



Figur 5.3. Testopstilling - Belastningskredsløb

Step	Handling	Forventet resultat	Resultat
1	Dutycyclen på PWM-signalet til Belastningskredsen sættes til 100% i PSoC programmet.	-	-
2	Der anmodes om at starte systemet. ASCII karakteren "O" sendes fra terminalprogrammet.	Systemet starter	⇒ OK
3	Der anmodes om at hente teststatus. Teststatus hentes med ASCII karakteren "Q", sendt fra terminalprogrammet.	Teststatus er: "Startet"	⇒ OK
4	Systemet påtrykkes en spænding med strømforsyningen. Spændingen øges indtil systemet udkobler pga. overstrøm i belastningskredsløbet.	Systemet slår fra ved en strøm over 13.5 A	Målt strøm ved udkobling med strømovervågning: 13.85 A Målt strøm ved udkobling med multimeter: 13.91 A ⇒ OK
5	Der anmodes om at hente teststatus. Teststatus hentes med ASCII karakteren "Q", sendt fra terminalprogrammet.	Teststatus er har ændret sig til "Stoppet"	⇒ OK

Tabel 5.5. Integrationstest - Strømovervågning

⁷Målinger kan findes i bilagsmappen under Bilag/Integrationstest/Strømovervågning

5.6 Test Case 6 – Styring af strøm i Belastningskreds

Der benyttes samme testopstillingen som benyttet i Test Case 5, 5.3. Dutycyclen på PWM-signalet måles med et oscilloscope og strømmen måles med et amperemeter⁸.

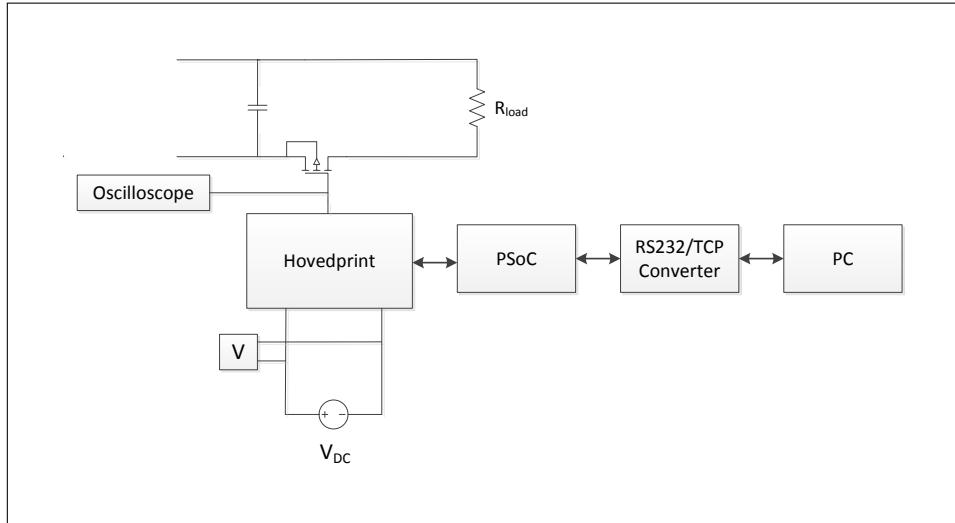
Step	Handling	Forventet resultat	Resultat
1	Systemet påtrykkes en spænding på 18.2 V med strømforsyningen. Dutycyclen på PWM-signalet til Belastningskredsen sættes til 25% i PSoC programmet.	-	-
2	Der anmodes om at starte systemet. ASCII karakteren "O" sendes fra terminalprogrammet.	Systemet starter	$\Rightarrow OK$
3	Der anmodes om at hente teststatus. Teststatus hentes med ASCII karakteren "Q", sendt fra terminalprogrammet.	Teststatus er: "Startet"	$\Rightarrow OK$
4	Dutycyclen på PWM signalet måles	Dutycyclen er 25%	Dutycyclen måles til 25.01% $\Rightarrow OK$
5	Strømmen i Belastningskredsen måles med ampermeter	-	Målte strøm: 3.56 A $\Rightarrow OK$
6	Dutycyclen på PWM-signalet til Belastningskredsen sættes til 75% i PSoC programmet. Der anmodes om at starte systemet. ASCII karakteren "O" sendes fra terminalprogrammet. Dutycyclen på PWM signalet måles.	Dutycyclen er 75%	Dutycyclen måles til 74.63%
7	Strømmen i Belastningskredsen måles med ampermeter	Det forventes at strømmen er 3 gange højere end strømmen fra step 5	Målte strøm: 10,83 A $\Rightarrow OK$

Tabel 5.6. Integrationstest - Belastningskreds

⁸Målinger kan findes i bilagsmappen under Bilag/Integrationstest/Belastningskreds

5.7 Test Case 7 – Reguleringen

På figur 5.4 er en illustration af testopstillingen. Da Momenttransducer ikke har været til rådighed ved test, er momentsignalet simuleret med en spændingsforsyning. Dutycyclen på PWM-signalet måles med et oscilloscope⁹.



Figur 5.4. Testopstilling - Regulering

⁹Målinger kan findes i bilagsmappen under Bilag/Integrationstest/Regulering

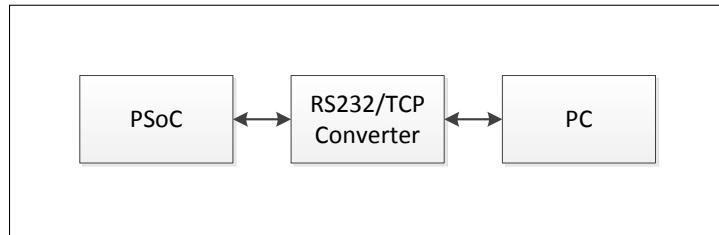
Step	Handling	Forventet resultat	Resultat
1	Der anmodes om at øge momentsetpunktet til 2.5 Nm og derefter hente det aktuelle momentsetpunkt. ASCII karakterne "LLM-MMMMJ" sendes fra terminalprogrammet.	Momentsetpunktet er 2.5 Nm	$\Rightarrow OK$
2	Der anmodes om at starte systemet og hente teststatus. ASCII karakterene "OQ" sendes fra terminalprogrammet.	Systemet starter og teststatus er "Startet"	$\Rightarrow OK$
3	Spændingen fra spændingsforsyningen sættes til 0 V. Dutycyclen på PWM signalet måles	Dutycyclen er 100%	$\Rightarrow OK$
4	Spændingen fra spændingsforsyningen øges. Dutycyclen på PWM signalet måles	Dutycyclen begynder at falde	$\Rightarrow OK$
5	Spændingen fra spændingsforsyningen indstilles, således at dutycyclen på PWM signalet ikke længere ændrer sig. Spændingen fra spændingsforsyningen måles	Spændingen er 2.5 V	Spændingen er målt til 2.64 V $\Rightarrow (OK) ^*)$

Tabel 5.7. Integrationstest - Reguleringen

*) Afvigelsen mellem det målte og det indtastede moment er 5.6 %, opfyldes kravet om en præcision på 1 % ikke. Grunden til denne afvigelse er beskrevet i noten i Test Case 2.

5.8 Test Case 8 – Kommunikation mellem Brugergrænseflade og PSoC

På figur 5.5 er en illustration af testopstillingen¹⁰.



Figur 5.5. Testopstilling - Brugergrænseflade

Step	Handling	Forventet resultat	Resultat
1	Ubuntu operativsystemet startes	-	-
2	Via programmet <i>Terminal</i> tilgås stien hvor Brugergrænsefladen er placeret.	-	-
3	Brugergrænsefladen eksekveres ved kommandoen <i>.Brugergrænseflade.sh</i>	<i>Hovedmenuen</i> vises	⇒ OK
4	Menuen <i>Test med konstant moment</i> tilgås med ved at taste "1"+ "Enter"	Menuen <i>Test med konstant moment</i> vises, Status er: "Stoppet" og Momentsetpunkt er: 0 Nm	Vist Status: Startet Vist Momentsetpunkt: 0 Nm ⇒ Ikke OK *)
5	Momentsetpunktet øges med 1 Nm ved taste "1"+ "Enter"	Forventet momentsetpunktet på 1.0 Nm	Vist Momentsetpunkt: 2.1 Nm ⇒ Ikke OK **)
6	Systemet startes ved at taste "5"+ "Enter"	Status er: "Startet"	Vist Status: Startet ⇒ (OK) ***)
7	Systemet startes ved at taste "6"+ "Enter"	Status er: "Stoppet"	Vist Status: Startet ⇒ Ikke OK ***)

¹⁰Screenshots kan findes i bilagsmappen under Bilag/Integrationstest/Brugergrænseflade

8	Live-data hentes ved at taste "7"+ "Enter"	Forventede værdier: 0 i alle målinger	Viste værdier: Flere af værdierne er forskellig fra 0 ⇒ <i>Ikke OK ****)</i>
9	Fra hovedmenuen kan menuen <i>Gem datahistorik</i> tilgås ved at taste "2"+ "Enter"	Menuen <i>Gem datahistorik</i> vises	⇒ <i>OK</i>
10	Data gemmes ved at taste "1"+ "Enter"	Forventet resultat: Brugergrænsefladen svarer med beskeden "Data er gemt"	Viste værdier: Ingen besked vist ⇒ <i>Ikke OK ****)</i>
11	Log filerne tilgås i mappen "Datahistorik"	Forventet resultat: Log filerne indeholder måleværdier	Viste værdier: Ingen måleværdier i log filerne ⇒ <i>Ikke OK ****)</i>

Tabel 5.8. Integrationstest - Brugergrænseflade

*) Det ses at både teststatus og momentsetpunktet ikke stemmer overens med det forventede resultat. Ved analyse af problemet kunne det konkluderes, at der en fejl i kommunikationen mellem PSoC og Brugergrænsefladen.

**) Testen er udført for henholdsvis øgning og sænkning af momentsetpunktet med 1.0 Nm og 0.1 Nm. Da alle testscenarier for ændring af momentsetpunktet fejlede, er de resterende scenarier ikke dokumenteret.

***) Idet at teststatus allerede er "Startet", kan det ikke verificeres om hvorvidt systemet er "Startet" eller "Stoppet".

****) Jf. samme begrundelse for fejl som i *).

Accepttestspezifikation 6

6.1 Revisionshistorie

Version	Dato	Initialer	Beskrivelse
1.00	27.08.2015	IO & SLM	Første version
2.00	11.09.2015	IO & SLM	Rettelser efter review
3.00	31.10.2015	IO & SLM	Opdatering efter møde med kunden

6.2 Introduktion

Dette dokument specificerer accepttesten af projektet *Teststand til Børsteløs DC motor*, jf. kravspecifikationen, kapitel 1. Dokumentet vil i udfyldt stand udgøre accepttestrapporten.

6.2.1 Formål

Før accepttesten påbegyndes udføres der tre niveauer af test:

1. Enhedstest:

Dette omfatter test af de enkelte funktioner implementeret i komponenter og klasserne (modulerne), som produktet bestående af hardware og software er sammenstykket af.

2. Integrationstest:

Dette omfatter test af grænseflader mellem komponenter og klasser (moduler), der indgår i det samlede system eller produkt.

3. Accepttest:

Dette omfatter en samlet test af funktionelle krav fra kravspecifikationen for hele systemets funktionalitet.

Dette dokument omhandler testniveau 3, Accepttesten. Væsentlige ændringer i accepttesten beskrives i dokumentets versionshistorie.

6.2.2 Reference

Kravspecifikationen kapitel 1.

6.2.3 Omfang

Accepttestspezifikationen vil omfatte de implementerede dele af kravspecifikationen, dvs. use cases. De dele af kravspecifikationen der ikke implementeres vil markeres som "ikke implementeret".

6.2.4 Godkendelseskriterier

Godkendelse af selve accepttesten:

Dette gøres i afsnit Testresultat.

Accepttesten er afsluttet, når alle de specificerede testcases i afsnit Testprocedure er gennemført og godkendt. Se afsnit 6.3

Hvis der under accepttesten opstår fejl der umuliggør forsæt udførelse af de efterfølgende testcases afbrydes denne test og selve accepttesten underkendes under Testresultat.

Hvis der opstår fejl i enkelte testcases; men forsæt accepttest er mulig, underkendes den enkelte test og accepttesten fortsættes med efterfølgende testcases. Antallet af opståede fejl markeres under Testresultat.

Såfremt en test afbrydes eller et testcase underkendes, skal der udfærdiges en fejrapport, der beskriver årsagen til underkendelse. Fejrapporten godkendes af både internt og af kunde eller product manager. Kunde/product manager for dette projekt er bachelorvejleder Emir Pašić og projektansvarlig Carl Jacobsen.

6.3 Testspezifikation

Testspezifikation for projektet *Teststand til Børsteløs DC motor*.

6.3.1 Hardware- og softwarekomponenter

Følgende komponenter indgår i denne accepttest. De forskellige komponenter identificeres entydigt ved navn, versionsnummer samt releasedato.

Hardwarekomponenter der skal testes:

Hardwarekomponenter	Version	Release dato	Bemærkning
Belastningskreds	1.0	11.11.15	Se Hardware Design & Implementering
Effekttransducer	1.0	30.10.15	Se Hardware Design & Implementering
Momenttransducer	1.0	30.10.15	Se Hardware Design & Implementering

Tabel 6.1. Hardwarekomponenter til test

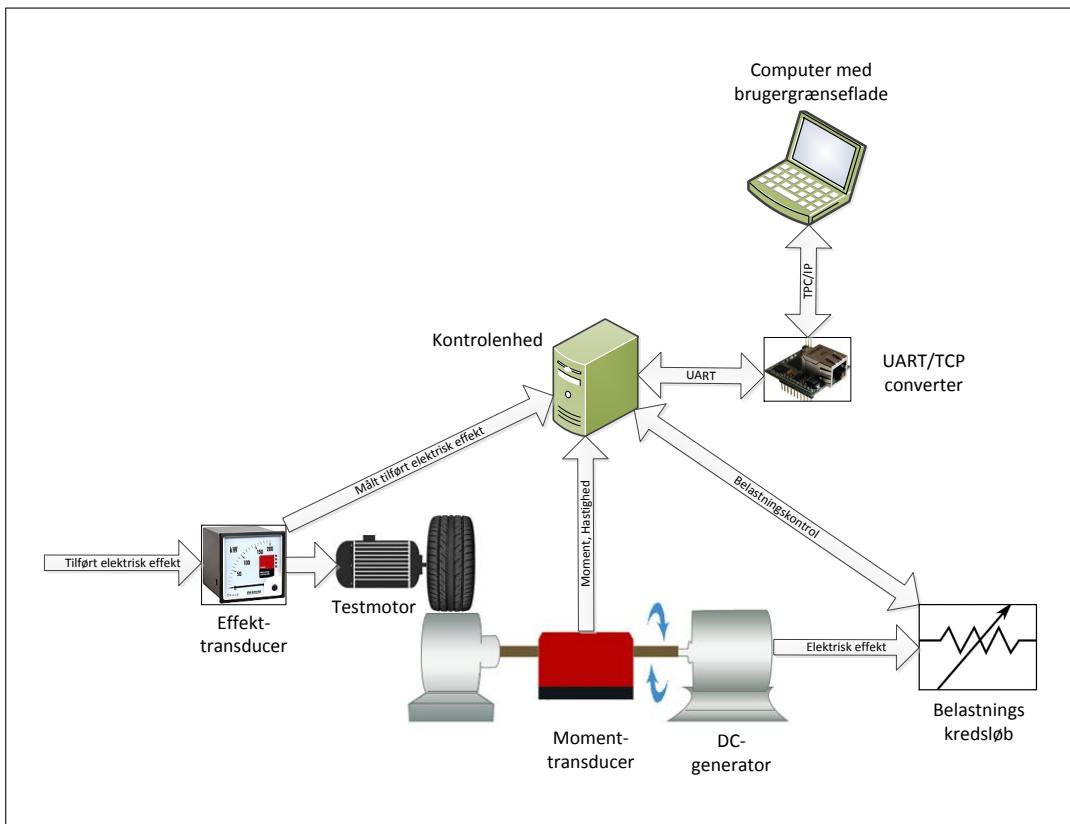
Softwarekomponenter der skal testes:

Softwarekomponenter	Version	Release dato	Bemærkning
Brugergrænseflade	2.0	07.11.15	Se Bilag/Software/Brugergrænseflade
TCP client	1.0	05.11.15	Se Bilag/Software/TCP Client
PSoC5 program	9.0	23.11.15	Se Bilag/Software/PSoC Programmer

Tabel 6.2. Softwarekomponenter til test

6.3.2 Testsystemet

På figur 6.1 under ses testopstillingen med de komponenter der skal indgå i testen. Komponenterne der er liste i tabel 6.1 og tabel 6.2 er interne testkomponenter. Testmotoren og dens tilhørende controller er et eksternt testkomponent.



Figur 6.1. Testopstillingen

Testmiljø

Alle test foretages indendørs, ved en temperatur i intervallet 5°C - 25°C

6.4 Testprocedure

De individuelle Use Cases og scenarier i kravspecifikationen testes i enkelte test cases med testdata som angivet for test casen.

- Hvis et teststep gennemføres fejlfrit markeres dette med ”OK” i feltet ”resultat” for testen, for det pågældende test step
- Hvis et teststep gennemføres med ubetydelige fejl, markeres dette med ”(OK)” i feltet ”resultat” for det pågældende test step, samt evt. en henvisning til en fejlrappor t hvori fejlen beskrives
- Hvis et teststep gennemføres med betydelige fejl, markeres dette med en henvisning (”1”, ”2”, ”3”,...) til en fejlrappor t, som genereres med en beskrivelse af fejlen samt hvordan fejlen rettes og eftervises at være rettet

Det overordnede testresultat angives på sidste side i dette dokument. Ved kundens og projektgruppens underskrift på samme side godkendes det af begge parter, at testresultatet er som angivet.

6.5 Funktionelle krav

6.5.1 Test Case 1: Test med konstant moment

Use Case under test: UC1 - Test med konstant moment

Forudsætning: Brugeren er tilsluttet kontrolenheden med sin computer, systemet er tændt og testmotoren er tilkoblet systemet

Hovedscenarie:

Step	Handling	Forventet resultat	Resultat
1	Brugeren aktiverer brugergrænsefladen	Brugergrænsefladen åbnes	OK
2	Brugeren trykker på "Test med konstant moment"	Undermenuen "Test med konstant moment" vises	OK
3	Brugeren indtaster et ønsket moment	Det indtastede moment gemmes som reguleringssetpunkt	Fejl 1
4	Brugeren trykker på knappen "Start"	Systemet starter regulering med det indtastede moment som setpunkt	Fejl 1
5	Brugeren starter testmotoren	Systemet vil belaste testmotoren med det indtastede moment	Fejl 2
6	Brugeren stopper testmotoren	Testmotoren stopper	Fejl 2
7	Brugeren trykker på knappen "Stop"	Systemet stopper reguleringen	Fejl 1

Udvidelse 2a: En af undermenuerne vises

Step	Handling	Forventet resultat	Resultat
1	Brugeren trykker på knappen "Tilbage"	Hovedmenuen vises	OK

Udvidelse 7a: Belastningen er for stor

Step	Handling	Forventet resultat	Resultat
1	Systemet belastes med for stor effekt	Reguleringen stopper og teststatus ændres til "Stoppet" på brugergrænsefladen	Fejl 1

6.5.2 Test Case 2: Gem Datahistorik

Use Case under test: UC2 - Gem Datahistorik

Forudsætning: Brugeren er tilsluttet kontrolenheden med sin computer. Der er foretaget en test og der er data fra UC1 klar.

Hovedscenarie:

Step	Handling	Forventet resultat	Resultat
1	Brugeren logger på kontrolenheden via sin computer	Bruger har oprettet forbindelse til kontrolenheden	OK
2	Brugeren trykker på fanen "Gem Datahistorik"	Undermenuen "Gem Datahistorik" vises	OK
3	Brugeren trykker på knappen "Gem data"	Data er gemt på computeren i samme mappe hvor programmet "Brugergrænseflade" ligger.	Fejl 1
4	Brugeren trykker på knappen "Tilbage"	Hovedmenuen vises	OK

Udvidelse 3a: En af undermenuerne vises

Step	Handling	Forventet resultat	Resultat
1	Brugeren trykker på knappen "Tilbage"	Hovedmenuen vises	OK

6.6 Fejlrapport

Væsentlige fejl:

Fejl 1 - Kommunikationen mellem Brugergrænsefladen og Kontrolenheden fejler

Rettelse - Kommunikationsprotokollen skal revideres således at der opnås en pålidelig data-transmission

Test af rettelse - Gentag Test Case 1 og 2

Fejl 2 - De mekaniske dele af teststanden er ikke blevet leveret i tide

Rettelse - Teststanden færdigmonteres når de mekaniske dele modtages

Test af rettelse - Gentag Test Case 1

6.7 Testresultat

Nedenfor angives det overordnede testresultat

[] Accepttesten er gennemført uden anmærkninger eller fejl

- Resultat accepteres

[] Accepttesten er gennemført med ubetydelige anmærkninger eller fejl

-Resultat accepteres

[X] Accepttesten er gennemført med betydelige anmærkninger eller fejl. Der er genereret 2 antal fejlrapporter

-Resultat accepteres ikke

Kundens repræsentant:

Dato: 25. november 2015

Underskrift:

Projektgruppens repræsentant:

Dato: 25. november 2015

Underskrift:

Bilag 7

7.1 Indhold i vedhæftede bilag

Bilag til projektet *Teststand til Børsteløs DC motor* kan findes i det vedhæftede bilag.

Datablade

Filnavn	Beskrivelse
Belastningsmodstande	<i>Effektmodstandene i Belastningskredsløbet</i>
DC-generator	<i>Datablad for kundens valgt DC-generator</i>
Gate driver	<i>Gatedriver der driver MOSFET'en</i>
Spændingsregulator LM78xx	<i>Spændingsregulator i DC-forsyningskredsløbet</i>
M7BAC-9 - Optimering af drivlinje	<i>Bachelordokumentation om drivlinje på Eco-Marathon Bil</i>
Power MOSFET	<i>MOSFET i Belastningskredsløbet</i>
WIZ110SR Converter	<i>RS232-TCP Converter</i>
LEM Strømtransducer LTSNP	<i>Strømtransducer i Belastningskredsløbet og Effekttransducer</i>
Lorenz torque sensor - Analog	<i>Momenttransducer</i>
OPAMP - MCP601	<i>Operationsforstærker i sensorkredsløb</i>
Schmitt trigger - 74HC14	<i>Schmitt trigger i sensorkredsløb</i>
PSoC Creator	<i>PSoC Creator - System Reference Guide</i>
PSoC5 Overview	<i>Oversigt over PSoC5LP board</i>
PSoC5 Program Datasheet	<i>Datasheet for den udviklede PSoC5 program v9.0</i>
PSoC5	<i>PSoC5LP Development Kit Guide</i>
PSoC5LP Schematic	<i>Skematisk oversigt over PSoC5LP</i>
PSoC5LP	<i>PSoC5LP CY8C58LP Family Datasheet</i>

Integrationstest

Mappe	Description
Belastningskredsløb	<i>Målinger og beregninger for intergrations-test af Belastningskredsløb</i>
Brugergrænseflade	<i>Screenshots for intergrationstest af Brugergrænseflade</i>
Elektrisk energiforbrug	<i>Målinger og beregninger for intergrations-test af Elektrisk energiforbrug</i>
Elektrisk tilført effekt	<i>Målinger og beregninger for intergrations-test af Elektrisk tilført effekt</i>
Mekanisk effekt	<i>Målinger og beregninger for intergrations-test af Mekanisk effekt</i>
Regulering	<i>Målinger for intergrationstest af Mekanisk effekt</i>
Strømovervågning	<i>Målinger for intergrationstest af Strøm-overvågning</i>
Virkningsgrad	<i>Målinger og beregninger for intergrations-test af Virkningsgrad</i>

Kredsløbstegninger

Filnavn	Beskrivelse
Belastningskredsløb	<i>Kredsløbstegning af Belastningskredsløb</i>
DC forsyningskredsløb	<i>Kredsløbstegning af DC forsyningskredsløb</i>
Signaladskillelseskredsløb	<i>Kredsløbstegning af Signaladskillelseskredsløb - Momenttransducer</i>
Signalomsætningskreds	<i>Kredsløbstegning af Signalomsætningskreds - Momenttransducer</i>
Spændingssensorkredsløb	<i>Kredsløbstegning af Spændingssensor - Effekttransducer</i>
Strømsensorkredsløb	<i>Kredsløbstegning af Strømsensor - Effekttransducer</i>

Rapport og Dokumentation

Filnavn	Beskrivelse
Rapport	<i>Projektrapport for projektet Teststand til Børsteløs DC-motor</i>
Dokumentation	<i>Projektdokumentation for projektet Teststand til Børsteløs DC-motor</i>

Simuleringer

Filnavn	Beskrivelse
Belastningskredsløb	<i>Multisim simulering af Belastningskredsløb</i>
Regulering	<i>Matlab beregning og simulering af Reguleringen</i>

Software

Mappe	Beskrivelse
Brugergrænseflade	<i>Brugergrænseflade shell script for LINUX OS</i>
Converter	<i>Software til opsætning af RS232-TCP Converter</i>
PSoC Programmer	<i>PSoC5 kode til PSoC5LP Development Kit</i>
TCP Client	<i>TCP client og test kontrol c-code for Linux OS</i>

Diverse

Filnavn	Beskrivelse
Referater - Vejledermøder	<i>Dagsordner og referater fra vejledermøder</i>
Tidsplan	<i>Tidsplan for projektforløbet</i>