

Regulering og optimalisering av Shell Eco-maraton kjøretøy

Jardar Sølna Øverby

Master i teknisk kybernetikk

Oppgaven levert: Juni 2011

Hovedveileder: Jo Arve Alfredsen, ITK

Biveileder(e): Knut Einar Aasland, IPM

NTNU - NORGES TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE UNIVERSITET

TTK4900 - MASTEROPPGAVE TEKNISK KYBERNETIKK

Regulering og optimalisering av Shell Eco-marathon kjøretøy

Jardar Sølna
ØVERBY

Trondheim, 24. juni 2011

1 Oppgavetekst

Kandidatens navn: Jardar Sølna Øverby

Oppgavens tittel: Regulering og optimalisering av Shell Eco-maraton kjøretøy

Oppgavens tekst:

Shell Eco-maraton er en konkurranse der lag fra ulike universiteter i Europa kan delta og hvor formålet er å designe og bygge en bil som kjører lengst mulig på energien som tilsvarer en liter bensin. NTNU har i flere år stilt med eget studentutviklet kjøretøy til denne konkurransen. Det planlegges i år en videreutvikling av kjøretøyet der store deler av det eksisterende kjøretøyets elektroniske infrastruktur er tenkt gjenbrukt, men med en rekke forbedringer. Spesifikke arbeidsoppgaver for masterprosjektet vil være:

- Evaluering og videreutvikling av dagens «Cruise Control»-system. Dette vil innbefatte:
 - Muligheter for regenerativ bremsing/bremsing med motor
 - Utvikle løsninger for akselerasjon opp til ønsket hastighet med minimalt effektforbruk, dvs. launch control”
 - Bestemmelse av optimale arbeidspunkter for brenselcelle og motor, og muligheter for å utnytte disse
- Evaluere dagens løsning med tredjeparts motorkontroller fra SmartMotor, og eventuelt foreta endringer
- Sikre at strømforsyninga til kontrollsyste­met og sikkerhetssystemet er i henhold til regelverket for konkurransen
- Testing, validering og dokumentasjon av styresyste­met, fra sjåførens interaksjoner til kjøretøyets respons
- Identifikasjon av gode kjørestrategier med tanke på minimalt effektbruk og utnyttelse av konkurransebanens høydeprofil. Praktiske tester og simulering.

Hovedveileder: Jo Arve Alfredsen

Biveileder: Knut Einar Aasland

2 Sammendrag

Å bygge en bil som kan kjøre tusen kilometer på energien i en eneste liter bensin; er ingeniørkunst. Når tusenvis av Europas ypperste studenter innen teknologi og ingeniørvitenskap hvert år møtes i konkurransen Shell Eco-marathon, utfordres skillet mellom hva som oppfattes som mulige og umulige. Kreativitet og respektløs nytenkning utfoldes når morgendagens teknologer får muligheten til å følge nysgjerrigheten på jakt etter nye å bedre teknologiske løsninger for morgendagens samferdsel. Dette er hvordan det har vært å oppleve og være deltager i NTNU sitt fjerde bidrag til Shell Eco-marathon. Motivasjonen for prosjektet har med andre ord vært stor.

Arkitekturen og mange av modulene som ble brukt i kontrollsystemet i 2011-versjonen av DNV Fuel Fighter, ble arvet fra 2010-versjonen. Det ble i 2010 lagt ned et solid stykke arbeid i lage et modulbasert og fleksibelt kontrollsystem til bilen. Det lot seg derfor gjøre å kombinere en videreutvikling av noen av fjorårets løsninger, med også å introdusere helt ny funksjonalitet. Hver modul sin videre inndeling i en spesialmodul, og en universalmodul som er lik for alle nodene i det CAN-baserte nettverket har fortsatt fungert utmerket.

Av de nyvinningene som faller inn under denne rapporten, nevnes først og fremst arbeidet med utvikling av et hybridssystem for å kunne bruke en modul av superkondensatore til å øke energiutnyttelsen i den elektriske delen av framdriftssystemet. Det er da først og fremst muligheten til å kunne tilbakeføre noe av bevegelsesenergien fra bilen til kondensatorene under nedbremsing med elektromotoren, som har vært det viktigste formålet. Slik kan energien så lagres til videre bruk under påfølgende akselerasjon. Dette systemet er både simulert og produsert, men ble dessverre ikke tatt i bruk under faktiske konkurransen. For senere studenter ligger det flere muligheter her til å få tatt dette systemet ordentlig i bruk.

Videre nevnes det hardware-endringer for å bedre kontrollen over vifta som sørger for luftgjennomstrømning i den hydrogenbaserte brenselcella. Dette ga bedre kontroll over arbeidstemperaturen i cella. I tillegg en ny modul for å sikre gode målinger av flere viktige tilstander i systemet lagt til. Det medførte at det for første gang ble gjennomført målinger av strømmen i koblingene mellom brenselcelle og motorkontroller.

Årets største utfordring har imidlertid vært motoren. Uforutsette svakheter i designet av motoren, førte til store problemer å komme opp i store nok hastigheter. Årsaken var at en for høy tilbakeindusert spenning fra motoren gjorde at spenningsnivået som var tilgjengelig fra brenselcella ikke strakk til når turtallet vokste. Dette problemet ble ikke beskrevet i noen rapport fra 2010. I samarbeid med SmartMotor, som en av flere viktige partnere for prosjektet, fikk selv denne utfordringen en løsning. Denne løsningen innebar å øke luftgapet i motoren slik at koblingen mellom permanentmagnetene og statorviklingene ble svakere. Dette er imidlertid en løsning som kompromiterer virkningsgraden i motoren. Hvor mye redusert virkningsgrad denne tilpasningen førte til ble aldri forsøkt målt. Ved en eventuell gjenbruk av motoren, må dette problemet få en permanent løsning.

Som kronen på verket ble laget til slutt belønnet med to gjeve priser etter et godt gjennomført løp på konkurransens siste dag. Det ble andreplass i klassen, og pris for beste mediehåndtering.

3 Forord

Dette dokumentet er med på å dokumentere noe av den enorme jobben som er lagt ned i prosjektet Shell Eco-marathon ved NTNU i løpet av våren 2011. Det har vært en travelt semester, men når det krones med suksess når det virkelig gjelder, virker alt verdt det. Dokumentet er også ment å være en kilde til kunnskap for alle som er så heldige å få jobbe med dette prosjektet senere og være med å løfte det til nye høyder. I tillegg er det besvarelsen på min masteroppgave etter fem år som student ved NTNU.

Valget av prosjektet bunnet i et ønske om å gjøre noe mer praktisk ut av masteroppgaven, og ikke minst det å få kunne jobbe sammen med flere om et felles mål i et profesjonelt og motivert team. Det er begge forventninger som har blitt innfridd med glans. Veien fram til et vellykket resultat i Shell Eco-marathon Europe 2011 har bydd på mange overraskelser og utfordringer, som har satt mine ferdigheter både som ingeniør og lagspiller på prøvelser langt mer mangfoldige enn forestilt på forhånd. Det at vi allikevel har kommet ut av alt med glimt i blikket og hevde pokaler, gjør meg stolt av å ha vært en del den gruppa mennesker som dro det hele i land en lørdag i mai 2011.

Jeg vil med dette takke alle de som i løpet av våren har vært med å bidra til prosjektet. Den følelsen av å se DNV Fuel Fighter 2011 passere målstreken innenfor tidsgrensa, på siste mulige forsøk, var en stor og minnerik opplevelse. Tusen takk til alle studentene, til sponsorere, og til veileder på Institutt for teknisk kybernetikk Jo Arve Alfredsen, og medveileder Knut Aasland på Institutt for produktutvikling og materialer for muligheten til å velge denne oppgaven.

Trondheim 24. juni 2011

Jardar Sølva Øverby

Innhold

1	Oppgavetekst	i
2	Sammendrag	ii
3	Forord	iii
4	Forkortelser	viii
5	Innledning	1
5.1	Konkurransen	1
5.2	Historie	1
5.3	Årets Team	2
5.3.1	Teknologisk oversikt	3
6	Tidligere arbeid	5
6.1	Motorkontrolleren	5
7	Teori	6
7.1	Superkondensatorer	6
7.1.1	Modellering	6
7.2	Temperaturmåling	8
7.3	Isolert spenningsmåling	9
7.4	Strømmåling	9
7.5	Relékontroll	10
7.6	DC/DC-omformer	11
7.7	Brenselcella	11
7.8	Tutekontroll	12
7.9	Baklys	12
7.10	Motor og motorkontroller	12
8	Design og utvikling	15
8.1	Superkondensatorer	15
8.2	Overspenningsvern	16
8.3	PCD design	17
8.4	Kretskortdesign i Eagle CAD	19
8.5	Produksjon, kalibrering og testing	22
8.5.1	Lodding	22
8.6	Motor og Motorkontroll	26
9	Resultater	29
9.1	Simuleringsresultater	29
9.2	Motor og motorkontroll	32
10	Diskusjon og konklusjon	35
	Bibliography	37
A	Vedlegg	a-1
A.1	Innhold på CD	a-1

B Simuleringsmodeller i plecs	a-1
B.1 Skjemategninger i eagle	a-2

Figurer

1	Visuelt verktøy for å synliggjøre fremdrift og kritiske forsinkelser	3
2	Møte der kontaktflatene mellom de ulike modulene kartlegges	4
3	Modelskjema for superkondensatori plects	7
4	Simuleringsmodell for DC-link i plects	8
5	Innkjøpt Hall-effekt strømmåler	10
6	Fjorårets egenstøpte stator	13
7	Seks superkondensatorpakker ferdig koblet i 3 + 2	16
8	Motstand for overspenningsvern og forvarming av brenselcella satt sammen	17
9	Kretskortutlegg av nytt brenselcelle header-kort	17
10	Kretskortutlegg av kort til styring av tuta	18
11	Kretskortutlegg for kort til måling og effektkontroll	18
12	Kretskortutlegg av kort til DC/DC-omformer og overspenningsvern	19
13	Kretskortutlegg av kort for baklystilkobling	19
14	Kort til styring av tute mottatt fra produksjon	20
15	Kort for DC/DC konvertering og overspenningsvern mottatt fra produksjon	20
16	Modulkort for måling og kondensatorstyring mottatt fra produksjon	21
17	Kort til baklys mottatt fra produksjon	21
18	Nytt brenselcelle header-kort mottatt fra produksjon	22
19	Modulkort for måling og kondensatorstyring ferdig loddet, overside	23
20	Modulkort for måling og kondensatorstyring ferdig loddet, underside	23
21	Modulkort for måling og kondensatorstyring ferdig koblet til universalmodul	24
22	Kort for DC/DC konvertering og overspenningsvern ferdig loddet	24
23	Kort for styring av tuta ferdig loddet og tilkoblet	25
24	Baklys ferdig montert	25
25	Kort til signalfordeling for baklys ferdig loddet	26
26	Nytt brenselcelle header-kort ferdig loddet	26
27	Motor satt opp for test i testbenk hos SmartMotor	27
28	Motorhjulet ferdig montert på bilen	28
29	Tapt energi i superkondensatorpakka	29
30	Effekt gjennom superkondensatorpakka	30
31	Energi lagret i superkondensatorpakka	30
32	Effekt gjennom brenselcella	31
33	Effekt gjennom motoren	31
34	Spenning på DC-linken i testscenarioet simulert med plects	32
35	Komplett system for regenerative bremses settes sammen	33
36	DNV Fuel Fighter på vei ut på banen	34
37	Hele laget poserer foran standen vår inne på konkurranseområdet i Tyskland	34
38	DC/DC-omformer modell	a-1
39	Overspenningsvern modell i plects	a-2
40	Kretsskjema for kort til baklystilkobling	a-2
41	Kretsskjema for kort til overspenningsvern og DC/DC-omformer	a-3
42	Kretsskjema for kort til måling og effektkontroll	a-3
43	Kretsskjema for kort til styring av tuta	a-4
44	Kretsskjema for nytt brenselcelle header-kort	a-4

Tabeller

1	Meritter fra NTNU sine 4 år som deltager i Shell Eco-marathon.	2
2	Masterstudentene og kjernen i årets Shell Eco-marathon team.	2

4 Forkortelser

AC	Alternating Current	Vekselstrøm
ADC	Analog to Digital Converter	Analog til digitalomformer
CAN	Controller Area Network	
CAD	Computer Aided Design	Datamaskinassistert Design
DAC	Digital to Analog Converter	Digital til analogomformer
DC	Direct Current	Likestrøm
ESR	Equivalent Series Resistance	Ekvivalent seriemotstand
FC	FuelCell	Brenselcelle
IC	Integrated Circuit	Integrert krets
MMI	Man-Machine Interface	Menneske-maskin grensesnitt
NTC	Negative Temperature Coefficient	Negativ temperaturfaktor
PCB	Printed Circuit Board	Kretskort
POC	Proof Of Concept	Bekreftelse av konsept
PWM	Pulse Width Modulation	Pulsbreddemodulasjon
SMC	SmartMotor Controller	SmartMotor-kontroller

5 Innledning

5.1 Konkurransen

Shell Eco-marathon er en årlig begivenhet der studenter fra store deler av verden deltar. Hensikten er å kjøre så energieffektivt som mulig i egenkonstruerte kjøretøy. Den europeiske utgaven av konkurransen ble i år arrangert for 27. gang, og er den klart mest tradisjonsrike utgaven. I tillegg til den europeiske utgaven, har det i de senere årene kommet til en versjon av Shell Eco-marathon både for Amerika og Asia.

Alle som deltar i Shell Eco-marathon, deltar i en av to hovedklasser. Disse er Prototype” og ”Urban Concept”. ”Urban Conceptklassen kjennetegnes av at det stilles strenge krav til at kjøretøyene som deltar har et billiknende utseende og funksjonalitet. En solid mengde regler regulerer alt fra indre og ytre dimensjoner til hvordan føreren skal sitte, og i tillegg selvfølgelig alle sikkerhetsreglene. Kort sagt skal det som prinsipp bare være detaljer som skal hindre kjøretøy som deltar i ”Urban Concept fra å kunne registreres, få skilter, og dermed kjøre lovlig på veien. I Prototypeklassen er derimot reglene færre, og i all hovedsak knyttet til sikkerhet. Dette gjør at kjøretøyene i Prototype klassen generelt er mindre og lettere. Ved å dele inn i disse klassene kan en både belyse hva som lar seg gjøre hvis teknologien presses til det ytterste i Prototypeklassen, mens ”Urban Concept gir et innblikk i hva som er mulig i kjøretøy som er nærmere en kommersialisering.

I tillegg til disse to hovedklassene, er begge klassene delt inn videre i kategorier basert hvilken type motor som nyttes. En klasse for alle som har forbrenningsmotor, og for de med elektrisk motor. Energikildene deles videre inn i alt fra ethanol, bensin og diesel på den ene siden, til solcelle, batteri og hydrogen for de elektriske kjøretøyene. DNV Fuel Fighter deltok i år for 4. gang i klassen ”Urban Concept” i klassen for elektrisk drevne kjøretøy med hydrogen-brenselcelle som energikilde. Det var i år også for første gang åpnet for at elektriske kjøretøy kunne delta med utelukkende batteri som kilde.

Totalt deltok det i år om lag 200 lag med til sammen nesten 3000 studenter fra ulike utdanningsinstitusjoner over hele Europa. del [2011] Løpet forgikk på EuroSpeedway I Lausitz mellom Berlin og Dresden i Tyskland. Dette er en profesjonell racerbane, som blant annet også huser det tyske touring car mesterskapet. Det at banen og fasilitetene rundt arrangementet er solide og profesjonelle er også med på å understreke at arrangementet er prioritert og viktig fra Shell sin side.

5.2 Historie

Som Masteroppgave, er Shell Eco-marathon temmelig unik. I tillegg til at det teoretiske må stemme i utviklingsfasen, er det totalt avgjørende at det praktiske fungerer når løpet starter. På denne måten blir det praktiske arbeidet mot en endelig deadline det som til syvende og sist avgjør hvorvidt prosjektet blir en suksess eller fiasko. Slik sett er det mange sider ved prosjektet som er relevante mot en arbeidssituasjon.

NTNU har en stolt historie fra de nå 4 årene vi har deltatt. Årets knepene andreplass føyer seg inn i rekken som den andre andreplassen. I tillegg har vi en førsteplass og gjeldende verdensrekord for klassen fra suksessåret 2009. På toppen av dette kommer flere utgaver av media- og kommunikasjonsprisen, som er felles for absolutt alle klasser. Denne greide

vi å ta med oss hjem også i år. Noe vi er eksepsjonelt stolte av.

År	Plassering	Andre priser
2008	Andre plass	"Communications Award" og Road Safety Award"
2009	Førsteplass og gjeldende verdensrekord	"CO ₂ Award"
2010	Ikke gyldig resultat	
2011	Andre plass	"Communication and Marketing Award"

Tabell 1: Meritter fra NTNU sine 4 år som deltager i Shell Eco-marathon.

5.3 Årets Team

Fra år til år gjøres det også større og mindre endringer i regelverket. Motivasjonen til arrangøren for å gjøre dette kan være mange, men sikkerhet er alltid tilbakevendende. For oss betyr det i praksis at flere av de løsningene som var gode i konkurransen tidligere år, ikke nødvendigvis er verken gode eller tillatt i år. Dette fører dermed til at hver utgave av Shell Eco-marathon blir unik, og dermed krever nye og unike løsninger knyttet til funksjonaliteten på bilen vår. Som eksempler nevnes økte krav til minimumsvekt for føreren, og flere innlagte stopp underveis viktige regelendringer i forkant av årets konkurranse.

Navn	Studieretning	Stikkord for ansvarsområde
Uwe Schindler	"MSc in Project Management"	Prosjektstyring, økonomi og sponsorer
Alexander Weland	Global Technology Management"	Tekniske grensesnitt, koordinering og testing
Aksel Qviller	Ingeniørvitenskap og IKT	Hjuloppheng, bremses og motoraksling
Mats Hoel	Ingeniørvitenskap og IKT	Elektronikk, kjørestategi og sjåfør
Silje Lyngved Owrenn	Medier, kommunikasjon og informasjonsteknologi	Mediahåndtering, -strategi og PR
Sigri Halsteinslid Bleie	Produktutvikling og produksjon	Karbonfiber, støping og felger.
Jardar Sølva Øverby	Teknisk kybernetikk	Elektronikk, spenningsforsyning og motorkontroll
Tim Mjellem Stockfleth	Produktutvikling og produksjon	Karbonfiber, karosseri og mekaniske deler i motor

Tabell 2: Masterstudentene og kjernen i årets Shell Eco-marathon team.

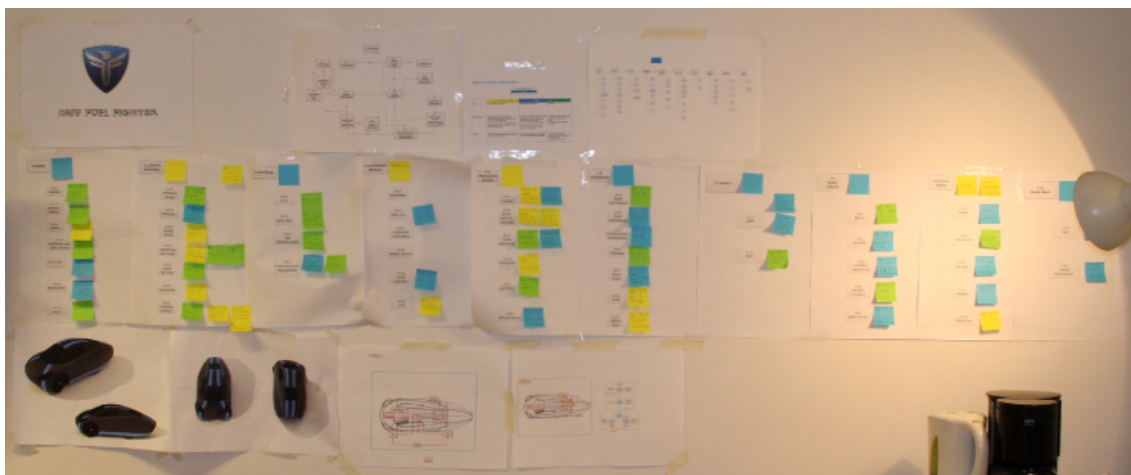
Tabellen er laget i samarbeid med resten av teamet. Se Hoel et al. [2011] for en mer utfyllende oversikt.

I tillegg til de som er tatt med i tabellen over, har en rekke studenter bidratt til prosjektet enten ved å ta fag relatert til spesielle deler av prosjektet, eller har vært ansatt som studentassistenter. Av de jeg har arbeidet med utenfor kjernen nevnes Brede Børhaug som studentassistent fra studieretning for teknisk kybernetikk, med spesielt ansvar for programmering til viftekontroll på brenselcella.

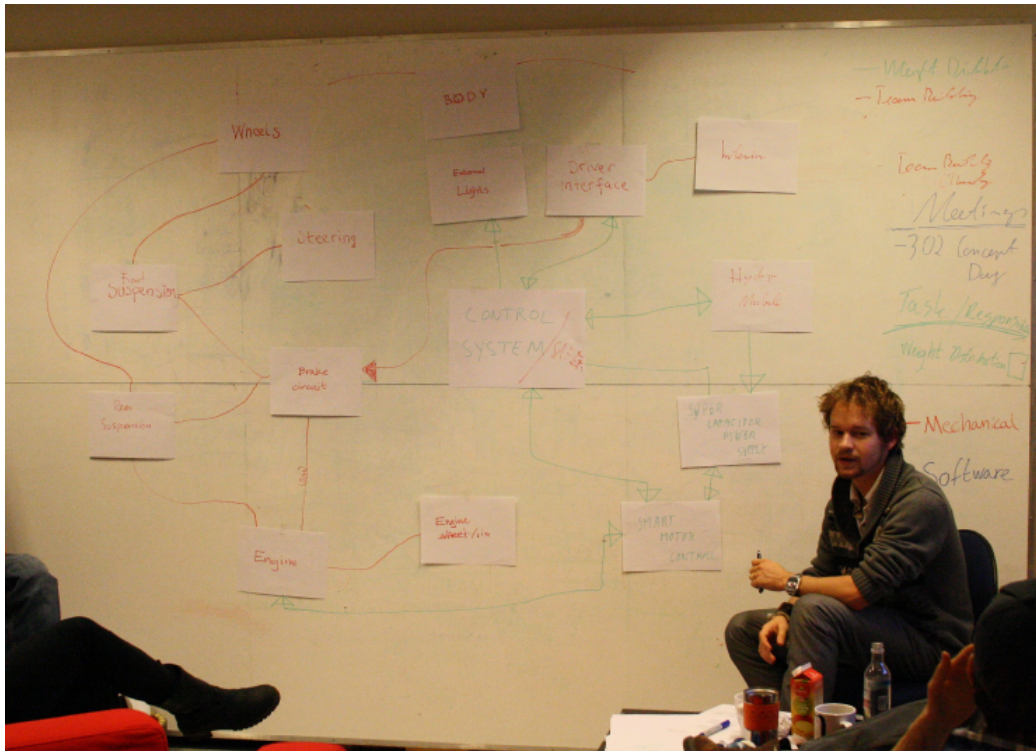
Blant masterstudentene, var det Mats Hoel jeg har samarbeidet tettest med. Vi har begge jobbet med funksjonalitet knyttet til bilens elektroniske kontrollsystem. I hovedsak kan det sies at Mats har jobbet mest med de delene av kontrollsystemet som ble gjenbrukt fra fjorårets team. I tillegg har han jobbet med interaksjonsmulighetene og grensesnittet han som sjåfør har mot bilen; det innebærer kalibrering av gasspedalen pluss diverse knapper og lysdioder i cockpit. Mine arbeidsoppgaver har dreid seg mer mot utvikling av nye systemer, med ny funksjonalitet som kan legges til det eksisterende kontrollsystemet.

5.3.1 Teknologisk oversikt

Nytt av året, var at vi hadde en dedikert student fra studieretning for Global Technology Management”. Hans ansvar var å sikre den overordnede tekniske funksjonaliteten til bilen. Dette gikk i praksis ut på å identifisere kontaktflater mellom de systemene hver spesialist holdt på med. I tillegg var han ansvarlig for all overordnet teknisk testing og utføring av disse testene. Et sentralt verktøy for å lykkes med å skaffe seg en sik oversikt, var veggen i figur 1. Ved hjelp av denne inndelingen i moduler med en ansvarlig person per modul, og et kart over hvilke andre moduler som kunne bli påvirket av endringer i figur 2, hadde vi viktige verktøy for å sikre at alt kom til å passe sammen til slutt. Denne framgangsmåten er bedre forklart i både Welland [2011] og Hoel et al. [2011].



Figur 1: Visuelt verktøy for å synliggjøre fremdrift og kritiske forsinkelser



Figur 2: Møte der kontaktflatene mellom de ulike modulene kartlegges

Systemet for arkene vist på figur 1 er slik at den ansvarlige for hver modul var ansvarlig for klistre en lapp på modulen. Fargen på lappen idikerte så om ting var i rute, noe forsinket, eller i fare for å forsinke forsinke prosjektet som helhet. Hver lapp ville også inneholde noen stikkord som forklarte hvorfor denne fargen var valgt. Det smarte her er at en med et raskt overblikk kan få en inntrykk av hvordan prosjektet ligger an, og hvor det eventuelt er fare for at forsinkelser skal kunne forplante seg. Ved hjelp av disse verktøyene var det enklere å beholde oversikten over framdriften, og videre prioritere tid og ressurser underveis i prosjektet til de modulene som var kritiske og/eller forsinket. Denne pragmatiske tilnærminga til hvor det er fornuftig å sette inn kompetanse og ressurser hjalp til løpende evaluering av framdrifta etter hvert som prosjektet skred fram.

6 Tidligere arbeid

I den tidlige fasen av prosjektet gikk mye tid til å sette seg inn i, og forstå virkemåten og baktankene med de systemene som ble arvet fra fjorårets team. Siden dette er fjerde året på rad at teamet fra NTNU deltar i Shell Eco-marathon, bygger det arbeidet som ble gjort i år mye på det som er utrettet av tidligere års team. I all hovedsak er systemarkitekturen i kontrollsystemet som ble utarbeidet av Anders Guldahl (Guldahl [2010]) i fjor, gjenbrukt og bygget videre på. Dette dreier seg om et modulert design, der modulene utveksler meldinger over CAN-bus.

6.1 Motorkontrolleren

En uhyre sentral komponent for å sikre at bilen skal kunne virke og prestere på en god måte, er en god motorkontroller. Det ble tidlig diskutert mulige løsninger for utarbeidelse av en egenutviklet løsning for dette. Fordelene med å gjøre ting selv, er selvfølgelig at en oppnår bedre kontroll over hvordan ting gjøres. I tillegg vil en egenutviklet løsning gjøre endringer som måtte gjøres underveis i konkurransen i Tyskland, enklere. Dette er viktige fordeler. Allikevel er det tydelig at kompleksiteten i en slik oppgave er langt over den tid og menneskelige ressurser vi hadde til rådighet i årets team.

Motorkontrolleren fra SmartMotor er ikke utviklet spesielt for vårt prosjekt. Samme hardware leveres av SmartMotor også til kommersielle prosjekter. Men med custom software som er utviklet i et tett samarbeid mellom oss og SmartMotor, er vi sikret den funksjonaliteten har ønsket å ha tilgjengelig.

7 Teori

7.1 Superkondensatorer

En av regelendringene som er dukket opp i forkant av årets Shell Eco-marathon-utgave, er en økning av antallet stopp som må gjøres under veis i løpet. rul [2011]. Det ble med bakgrunn i dette tidlig diskutert hvorvidt det ville være en spennende idé å lage et superkondensatorbasert system for regenerativ bremsing. Dette innebærer i praksis å utnytte elektromotorens virkemåte som generator, og slik bremse med motor framfor mekaniske bremses. Det er da mulig å gjenvinne noe av den energien som er lagret som mekanisk bevegelsesenergi når bilen er i fart. Siden hydrogencella ikke har noen mulighet for reversere prosessen som utvinner energien i hydrogengassen, trengs det da en ny modul for å kunne mellomlagre denne energien. Det er her et batteri av såkalte superkondensatorer dukker opp.

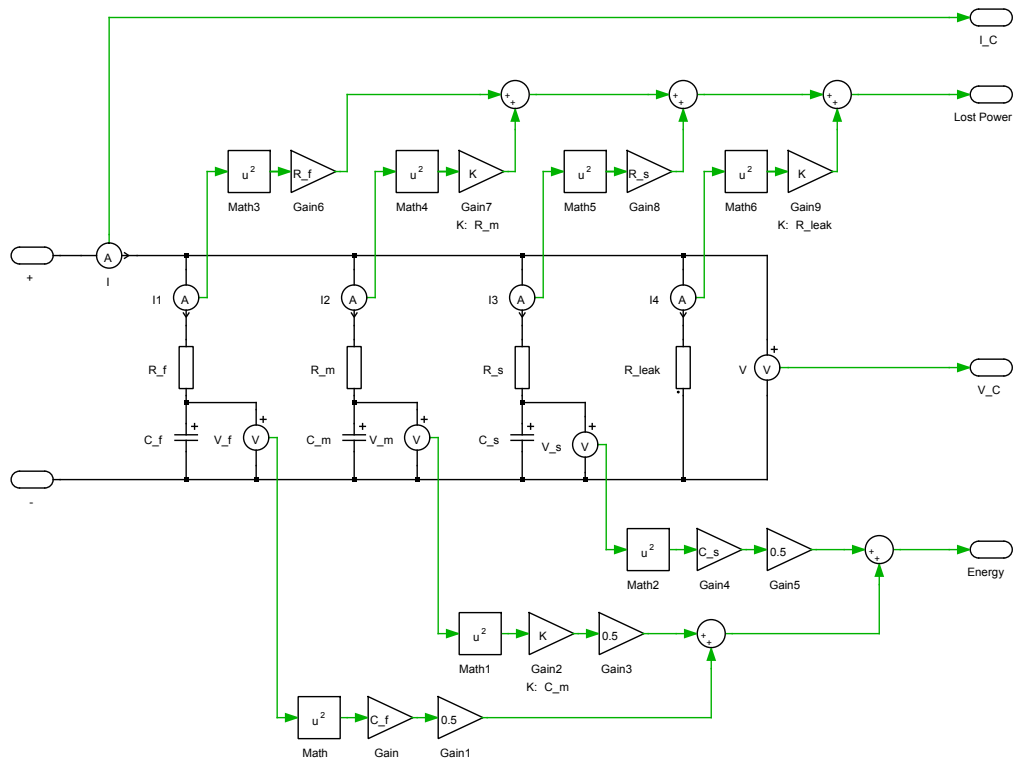
I henhold til regelverket, rul [2011] er det tillatt å bruke supekondensatorer til å lagre energi så lenge spenningen over kondensatorpakken er lik eller lavere etter målgang som spenningsnivået ved start. Etter et nettmøte med Shell Eco-marathon arrangørene, for å få endelig trygghet på reglenet rundt et slikt system, ble det besluttet at dette kunne være en spennende oppgave jeg kunne se nærmere på.

En annen potensiell fordel med et slik system som tidlig ble diskutert, var muligheten for å også bruke kondensatorbatteriet til å ha noe energi til overs for eventuell situasjonen i bakker eller liknende da det kunne være behov for å avlaste brenselcella fra de tyngste takene. Slik sett er tanken en form for et hybridsystem, der motoren kan bremse til kondensatorene, for så å velge om den vil ta energi fra brenseløcella, kondensatorene eller eventuelt begge, når det så skal akselereres og kjøres videre.

7.1.1 Modellering

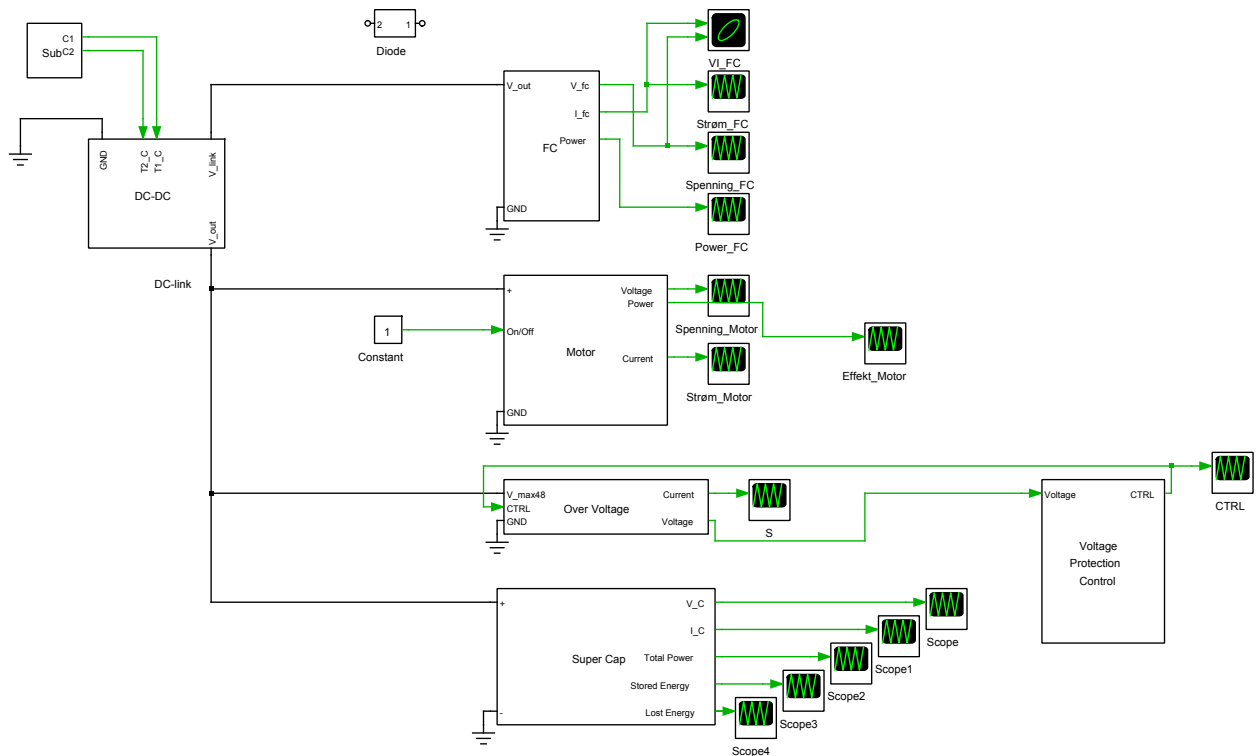
Den vanligste og billigste framgangsmåten å evaluere om et konsept kan la seg realisere i praksis, er noen form for simulering på datamaskin. På denne måten kan feil detekteres og grenser testes uten unødvendige kostnader til ødelagt testmateriell. For å gjøre realistiske simuleringer i en datamaskin, er en imidlertid avhengig av å ha en simulerbar modell av de komponenter eller systemer en ønsker å simulere.

I følge Barrade [2003], kan en superkondensator modelleres som vist i figur 3. Denne modellen består av tre kretser med kondensatorer og motstander og en rent resistiv gren som modellerer lekkasjestrøm. Hver av de tre kondensator-motstand grenene har forskjellige tidskonstanter.



Figur 3: Modellskjema for superkondensatori ples

Med enkle modeller av de andre komponentene koblet til DC-linken. Blant annet basert på Yu and Yuvarajan [2004], ble et enkelt simuleringsscenario satt opp på det Simulinkbaserte verktøyet ples som det ble skaffet en 30 dager prøvelisens for til dette formålet. I alt var det snakk om å simulere en tenkt sammenkobling av kondensatorbatteriet, overspenningsvern-motstanden, Buck-omformereren og en veldig enkel modell av motoren som enten last eller kilde i et scenario. Først vil motoren trekke strøm, så vil den levere, før den igjen vil trekke. Håpet var å verifisere at kondensatorpakken ville absorbere energien, at motsatnden kunne brukes til å garantere at spenningen over kondensatorene ikke kunne vokse over 40 V, og at kondensatorpakkea ville hjelpe brenselcella når lasten økte.



Figur 4: Simuleringsmodell for DC-link i plecs

7.2 Temperaturmåling

For å sikre at motstanden nevnt i kapittelet over ikke skal overopphetes, var det ønskelig å kunne måle og overvåke temperaturen på kjøleribba festet til motstanden, for slik å detektere mulige kritiske situasjoner i systemet. Prinsipper for temperaturmåling er flere. I denne applikasjonen ble det vurdert å være tilstrekkelig med en thermistor som temperatursensor. Dette er en type elektrisk resistor, hvor resistansen varierer ekstra mye som funksjon av omgivelsestemperaturen. Dette er en vanlig og rimelig måte å måle temperaturer på. Ulempene med en slik sensor er for det første at sammenhengen mellom resistans og temperatur er sterk ulineær. I tillegg er temperaturintervallet der en slik sensor kan gi en god måling smalt sammenliknet med dyrere løsninger. Nat [1995]

For å løse ut sammenhengen mellom temperatur og motstand i en elektrisk leder, brukes gjerne Steinhart-Hart-formelen. Steinhart and Hart [1968].

$$\frac{1}{T} = a + b \ln(R) + c \ln^3(R) \quad (1)$$

Denne kan imidlertid forenkles ved å sette inn for

$$a = \left(\frac{1}{T_0}\right) - \left(\frac{1}{B}\right) \ln(R_0) \quad (2)$$

$$b = 1 \quad (3)$$

$$c = 0 \quad (4)$$

Slik at

$$T = \frac{B}{\ln(R/r_\infty)} \quad (5)$$

$$r_\infty = R_0 e^{-B/T_0} \quad (6)$$

Resultatet er en enklere likning kalt B parameterlikningen. Denne er hyppig brukt, og mange produsenter av termistorer oppgir denne B parameteren i sine datablader. Denne er imidlertid kun interessant for termistorer med negativ temperaturfaktor (NTC). Det betyr at resistansen til termistoren er høyest ved lave temperaturer. Ved hjelp av likning 6, og The har vi et utgangspunkt for sammenhengen mellom motstand og temperatur hos termistoren.

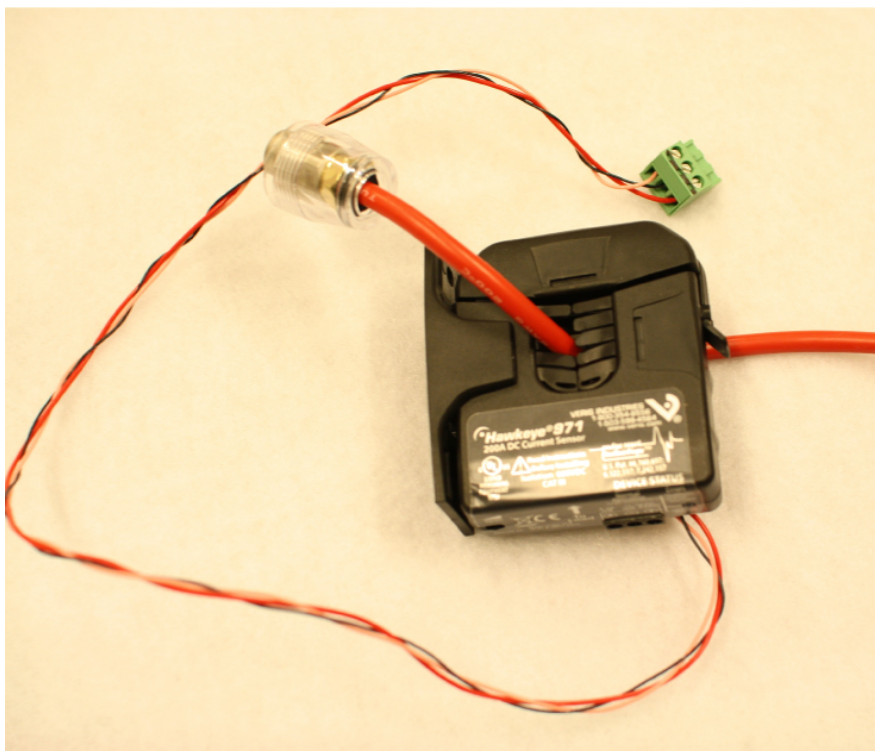
Resistansen til termistoren måles gjennom en vanlig spenningsdeling mellom en kjent temperaturuavhengig motstand og termistoren. Spenningen over termistoren er slik proporsjonal med motstanden i henhold til ohms lov. Denne spenning måles med en ADC inngang på mikrokontrolleren, og kvantifiseres så til en diskret størrelse i en variabel i mikrokontrollerens minne.

7.3 Isolert spenningsmåling

For å ha kontroll på spenningen over superkondensatorpakken nevnt i REF SECTION CAP, måtte en målekrets for spenning designes. Her var det mange ting å ta hensyn til. Det er et krav at batteriet som forsyner kontrollsystemet med energi, skal være fullstendig isolert fra kretsen fra brenselcella til motoren. Dette for å garantere at det ikke lekker noe energi over fra batteriet som ikke kan måles, og å unngå juks. I tillegg er det ønskelig å unngå at eventuell "common mode" og annen støy skal kunne forplante seg fra kraftforsyningskretsen med brenselcella, og til småsignalkretsene i kontrollsystemet. Etter diskusjon med veileder, kom vi fra til at en isolasjonsforsterker ville kunne gjøre denne jobben. Isolasjonsforsterkeren er en integrert krets (IC) som overfører signaler på tvers av et galvanisk skille. På denne måten vil kun informasjon og ikke noe energi overføres mellom de to isolerte kretsene.

7.4 Strømmåling

Strømmen som går inn og ut av kondensatorene, og ut fra brenselcella var noe som var ønskelig å få målt. Her er det flere prinsipper å velge mellom. I utgangspunktet er den enkleste og vanligste måten å gjøre en strømmåling på å måle spenningsfallet over en seriekoblet motstand. For denne applikasjonen derimot, er introduksjon av all seriemotstand på forsyningkretsen sterkt uønsket. Selv om tapene relativt sett ville være små i forhold til den strømmen som må til for å drive bilen framover, så er også marginene likeså små. Etter å ha undersøkt en del, viste det seg at strømsensorer som benytter Hall effekt som måleprinsipp var godt egnet til å måle DC-strøm i en leder. En unngår da å koble inn ekstra seriell motstand i kretsen.



Figur 5: Innkjøpt Hall-effekt strømmåler

7.5 Relékontroll

For å ha full kontroll med energiflyten i det elektriske forsyningssystemet, var det også nødvendig i innføre ekstra reléer i kretsen. Et Relé er i all hovedsak en elektronisk kontrollert mekanisk bryter. En Strøm gjennom en kontrollkrets vil gå gjennom en spole og skape en kraft som vil henholdsvis lukke eller åpne en kontakt. Ved bortfall av strøm gjennom spolen, vil en fjær føre bryteren tilbake til utgangsposisjonen. For bruk i dette prosjektet var det kritisk at reléene var lukket når det ikke gikk strøm gjennom dem. På denne måten vil strømmen gjennom reléet brytes hvis spenningen skulle falle bort på kontrollsystemet ved en nødsituasjon. På den måten kuttes også strømmen til motoren dersom noe skulle skje. Siden kontrollkretsen i reléet er en spole rundt en jernstang, er det viktig å huske på at en spole vil motsette seg endringer i strømmen gjennom den. En rask utkobling av kilden som holder reléet åpent vil dermed føre til en puls i spenningen over spolen. Dette kan potesielt skade andre komponenter koblet til kretsen og/eller forringe levetida til reléet. En tilbakeløpsdiode (flyback diode”) brukes slik for å lede restenergien som er lagret i spolen tilbake for så å brennes av i dioden og den indre resistansen i reléet. På denne måten elimineres støypulsen enkelt fra kretsen.

For å drive kontrollkretsen til et relé, trengs det generelt mer effekt enn en mikrokontroller i stand til å levere på egenhånd. Spenningen som er nødvendig er i det tilfellet 24V, og mikrokontrolleren har bare 3,3V linje tilgjengelig direkte på sine porter. For å forsterke signalet fra mikrokontrolleren, og gi den rette spenningen direkte fra 24V -batteriet brukes en rekke av bipolare transistorer, der to og to er parvis seriekoblet for å gi god forsterkning. Dette kalles et Darlington transistorrekke.

7.6 DC/DC-omformer

I utgangspunktet var tanken bak designet av DC-linken å minimere alle tap knyttet til ekvivalent seriemotstand (ESR). Dette innebærer at det i utgangspunktet ikke er ønskelig å bruke noen form for spenningsregulering på DC-linken. Spenningen på utgangen av brenselcella er tenkt brukt direkte til motorkontrolleren. Dette byr på en del vesentlige utfordringer. Siden brenselcella er for myk kilde å regne, vil spenningen på DC-linken derfor variere ganske mye avhengig av strømtrekket til motorkontrolleren. Den vanlige løsningen på et slikt problem er noen form for stabiliserende DC/DC Buck-boost omformere, eller liknende. I vårt tilfelle var dette utfordrende, siden dette innebærer tap av energi på linken. Sett i sammenheng med at vi var avhengige av at det alltid fantes ledig kapasitet på kondensatorene, var tanken dermed at en DC/DC Buck-omformer kunne testes for å begrense hvor høyt brenselcella fikk lov til å løfte superkondensatorene.

7.7 Brenselcella

Brenselcella vi bruker er av typen Mark1020 ACS Bal, og er levert av den kanadiske produsenten Ballard. Denne cella er godt egnet til å bruke i et slikt oppsett som DNV Fuel Fighter siden den ble skaffet til veie.

For egen del er problemet å bidra til at virkningsgraden til cella holdes så høy som mulig under hele løpet. Siden vi ikke hadde noen dedikert kjemisk utdannet eksperter på brenselcella i kjernen av årets team, fikk vi til en løsning ved å ansette fjorårets ekspert som studentassistent. Siden Brede var ansatt til å ta vare på programvaren for viftekontrollen, var jeg nødt til å gjøre noen endringer i hardware for å realisere en PWM kontrollert styring av vifta som både skulle holde cella kald, og sørge for nok oksygen til reaksjonen.

Helt kort så produserer ei hydrogen celle strøm ved at hydrogen fra en tank og oksygen fra lufta ledes til hver sin side av en membran som kun slipper igjen H^+ ioner. Dette ionet kan gå over til oksygenet å danne vann, men elektronet slipper ikke gjennom membranen og må gå en omvei gjennom en elektrisk leder for å fullføre reaksjonen. Dette potensialet kan så utnyttes som elektrisk energi helt uten noen forbrenning.

En slik reaksjon er imidlertid sterkt avhengig av omgivelser og ytre påvirkning. For det første er temperaturen kritisk for å skape en effektiv reaksjon. Ut over temperaturen er tilgang og trykk på henholdsvis både hydrogen og oksygenforsyningene viktige. I tillegg er det viktig at overflødig vann fra reaksjonen kan transporteres vekk, samtidig som membranen skal være fuktig nok. I tillegg vil en del andre og uønskede restgasser over tid samles opp i brenselcella. Dette skyldes urenheter i hydrogenet, som aldri er 100% reint. Med jevne mellomrom må derfor hydrogen cella blåses rein ved hjelp av en såkalt gjennomspyling med hydrogen. Alt dette i sum påvirker hvor effektiv i å utnytte energien i hydrogenet brenselcella til en hver tid er.

I følge Bal er det mest kritisk å holde øye med temperaturen, for så å styre vifta for å transportere overflødig varme etter reaksjonen. Så lenge cella er i nærheten av den riktige temperaturen, vil behovet for oksygen bli løst ved at kjølelufta passerer gjennom cella. Det samme gjelder til en viss grad membranfuktigheten. Det er imidlertid fare for uttørking av membranen hvis vifta kjører for mye, noe som også er lite fordelaktig for virkningsgraden og utnyttelsen av hydrogenbrenselet. Ved høy belastning vil derimot cella trenge ekstra

viftehjelpe for å få nok oksygen. Den eneste måten vi kan ”måle” at cella ikke får nok oksygen, er om spenningen faller over cella. Dette er imidlertid vanskelig å skille fra en økende last, siden det også vil få spenningen over cella til å falle. Dette er ikke imidlertid ikke noe stort problem, da det som regel er under sterk belastning at også oksygenmangelen oppstår.

Når det gjelder gjennomspylingsproblematikken og opphopningen av avgasser i cella, har vi gode tall fra brukermanualen til cella Bal, som gir eksakte tall om hvor ofte det er lønnsomt å gjøre en gjennomspyling.

7.8 Tutekontroll

rul [2011] angir tydelig at det kun er en type tute som er tillatt bruk. Denne er til salg i den offisielle butikken for Shell Eco-marathon. Denne behøver en 12V kilde som kan levere 3Ampere. Siden batteriet til kontrollsystemet er på 24V, og vi kun hadde lov til å bruke et batteri, trengtes det en smart løsning her også. Fjorårets team prøvde å bruke en enkel spenningsdeling mellom tuta og en seriekoblet motstand Guldahl [2010]. Dessverre virket ikke dette, og de endte opp med å installere to tuter, og så seriekople dem for så å kunne koble direkte på 24V batteriet. Dette virket fint. Imidlertid representerer et ekstra horn noe unødvendig ekstra vekt. Og det er et mål i selv å unngå å unngå.

Det finnes flere mulige løsninger på et slikt problem, men relativt sjelden bruk av tuta, samt stor strøm; gjorde at en løsning med lineær spenningsregulering ble valgt. Dette fungerer i praksis ved at all energi som ikke leveres til tuta, vil brennes til varme. I vårt tilfelle betyr det halvparten av energien. Sammen med et relé som tålte den angitte strøm og spenning og en egnet kjøleribbe, startet designet.

7.9 Baklys

Det trengtes også en ny løsning for baklys siden det ble bygget og montert en ny hale Hoel et al. [2011]. I praksis ønsket vi en ny og ryddig løsning for kablingen til baklysene også. Her ble et eget PCB-kort tegnet til formålet.

7.10 Motor og motorkontroller

Motoren er i følge Dahl-Jacobsen [2010] en jernløs aksialfluks permanentmagnet synkronmaskin. Det ble tidlig klart at motoren som var arvet fra i fjor hadde noen kritiske mekaniske svakheter Hoel et al. [2010]. I tillegg til det mekaniske arbeidet, ble det også bestemt at det skulle støpes en ny stator; da status på de gamle statorene var noe uvisst. Det ble også antydnet i Dahl-Jacobsen [2010] at det var noe å hente i forhold til å øke virkningsgraden, ved å støpe en ny stator. Fredrik Vihovde Endresen fra institutt for elkraftteknikk ble derfor ansatt som studentassistent for å løse denne oppgaven.

I tillegg til motoren, arvet vi også en motorkontroller som var sponset av selskapet SmartMotor AS i Trondheim. Under oppstartsfasen før jul, ble det diskutert hvorvidt det var fornuftig å fortsette å bruke denne kontrolleren. Bakdelen som teamet i følge Hoel et al. [2010] ble klar over på høsten 2010, var at SmartMotor ikke var villige til å gi fullt innsyn i programvare og teknologi i SmartMotorkontrolleren (SMC). Dette betydde at vi gjorde

oss veldig avhengige av støtte og hjelp fra SmartMotor, hver gang det skulle gjøres endringer på Motorkontrollern. Tanken om å utvikle en egen motorkontroller ble imidlertid tidlig lagt død da kompleksiteten ved oppgaven var lagt over det vi hadde kapasitet og kompetanse til på dette stadiet av prosjektet. SmartMotor var også en strategisk viktig partner for tilgang til lokaler og utstyr for testing av den nye motoren.



Figur 6: Fjorårets egenstøpte stator

Selv om vi ikke har hatt innsyn i mye av teknologien som finnes i motorkontrolleren, er det noen nøkkelpunkter det er viktig å kjenne til. Motorkontrolleren kjører en sensorløs-algoritme for løpende å estimere den relative posisjonen mellom magnetfeltene i rotor og stator. Det betyr at det ikke finnes noe takomter som måler posisjon og hastighet direkte på motoren. Algoritmen må da basere seg på en god modell av motoren, og frekvensen i den tilbakeinduserte spenningen for å avgjøre motorens posisjon. En svakhet med å kjøre sensorløst, er at algoritmen ikke har noen anelse om initialtilstanden til motoren. Siden det ikke produseres noen tilbakeindusert spenning når motoren står stille, må det trikkes litt for å få motoren i gang. Når en verken har målinger eller estimater av tilstandene i motoren tilgjengelig, er eneste alternativ å drive motoren med en ren foroverkobling. For å sparke motoren i gang, settes det ut en spenningsvektor som sakte akselereres og forlenges. Ved et forutbestemt transisjonspunkt må kontrolleren bare anta at motoren har hengt seg på den roterende spenningsvektoren i magnetfeltet, og har så stor hastighet at det kan gjøres målinger av tilbakeindusert spenning. Hvis dette har skjedd kan sensorløs-algoritmen begynne normal operasjon og estimere motorens posisjon og rotasjonshastighet. Med andre ord blir magnetfeltet akselerert opp, for så å håpe at kraften har vært sterk nok til at rotoren og dermed hele bilen har ”henger seg på”. Det krever imidlertid noe tilpassing og testing av diverse parametre før dette føles naturlig under akselerasjon med bilen. Motorkontrolleren fra SmartMotor ble i utgangspunktet utviklet til bruk i KongsbergGruppens

autonome undervannsfarkost Hugin. I dette oppsettet driver den en aksling med en propell. I dette oppsettet er startproblemet nesten ubetydelig siden en propell kun vil oppleve et lite motmoment ved lave turtall. For bruk på DNV Fuel Fighter var problemstillingen imidlertid vært motsatt. Her er det nettopp akkurat i oppstarten og initiell akselerasjon at en vil oppleve et sterkt motmoment. Dette har i følge SmartMotor vært et tilbakevendende problem også for tidligere års utgaver av Shell Eco-marathon prosjektet.

For mer utfyllende teori om prosjektet som helhet, se Hoel et al. [2011].

8 Design og utvikling

8.1 Superkondensatorer

For å designe et godt system for regenerativ bremsing og mellomlagring av energi, måtte en det spesifiseres noen viktige nøkkeltall for systemet. For kondensatorenes del var det et fornuftig krav at de alltid skulle være klare for å lagre unna all energi som var lagret i bilens bevegelse ved en hastighet på 30km/h . Det betyr at kondensatorene må kunne lagre unna

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \quad (7)$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 160\text{kg} \cdot \left(30\text{km/h} \cdot \frac{1000\text{ms}}{3600\text{s}}\right)^2 \quad (8)$$

$$= \frac{160 \cdot 30^2 \cdot 10^2}{2 \cdot 36^2} J \quad (9)$$

$$\approx 5556 J \quad (10)$$

Et overslag på bilens masse er 90 kg egenvekt pluss 70 kg sjåfør. Siden det maksimalt tillatte spenningsnivået i bilen er 48 V, det er ønskelig at det skal være tilgjengelig et energibuffer også når brenselcella er den primære kilden, ble en spenning på 40 V satt som et maksimalt spenningsnivå for å drive bilen med brenselcelle. Dette tallet var basert på lesning i Bal. Det betyr at minimumskapaitansen til kondensatorpakka måtte være

$$E = \frac{1}{2}Cv^2 \quad (11)$$

$$\Rightarrow C_{min} = \frac{2E}{v^2} \quad (12)$$

$$= \frac{2 \cdot 5556 J}{(48V)^2 - (40V)^2} \quad (13)$$

$$= \frac{2 \cdot 5556}{48^2 - 40^2} F \quad (14)$$

$$\approx 15.78 F \quad (15)$$

Etter å ha sjekket ut muligheten for å bygge et eget kondensatorbatteri av mange seriekoblede kondensatorer fra Maxwell Tech, ble det funnet funnet et firma i San Diego, USA ved navn Tecate Group. Disse kunne tilby en rekke større moduler blant annet spesielt konstruert for bruk i transportmidler. Produktet som passet best til vår bruk var Tecate PowerBurst PBL 16.2. Dette var en ferdig modul satt sammen av seks mindre superkondensatorer i serie, og meg integrert kontrollkort for aktiv balansering av spenningsvariasjoner mellom kondensatorene. Det var også en egen signalkabel som kunne benyttes for å gi aktiv balansering mellom flere slike moduler i serie. På toppen av det hele veide hver modul bare 216 gram, noe som også er en kritisk faktor i et system som vårt. Siden hver modul ga 25 F over 16.2 V, vil en 3 serie plus 2 prallell konfigurasjon gi

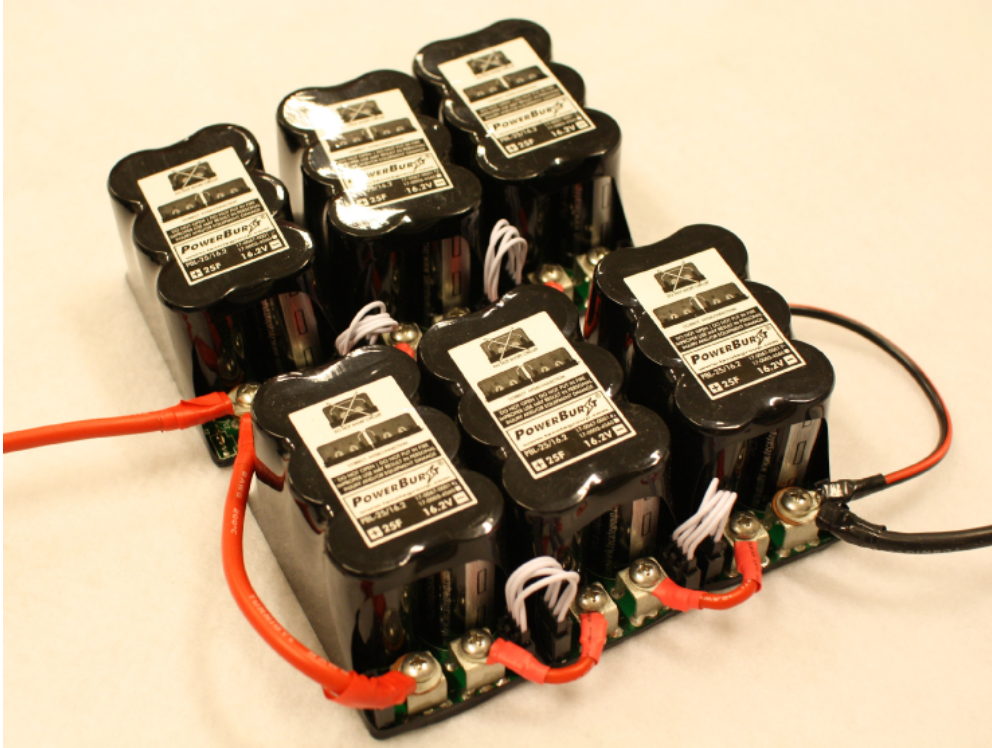
$$v = 3 \cdot 16.2V \quad (16)$$

$$= 48.6V \quad (17)$$

$$C = \frac{2}{3} \cdot 25F \quad (18)$$

$$\approx 16.67F \quad (19)$$

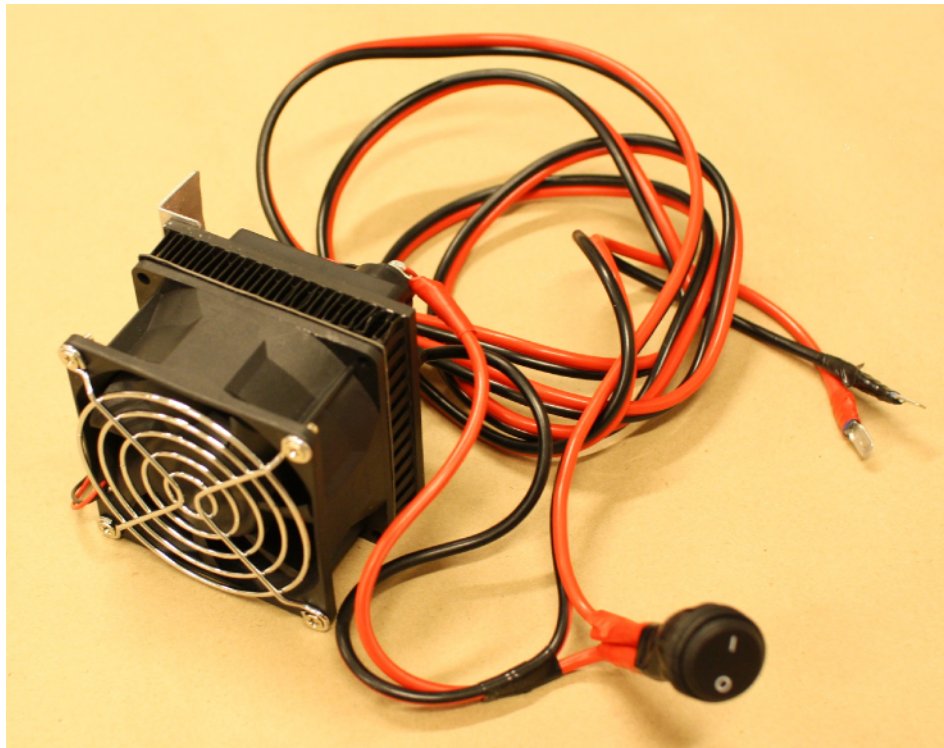
Denne konfigurasjonen oppfylte begge minimuskravene ganske så perfekt.



Figur 7: Seks superkondensatorpakker ferdig koblet i 3 + 2

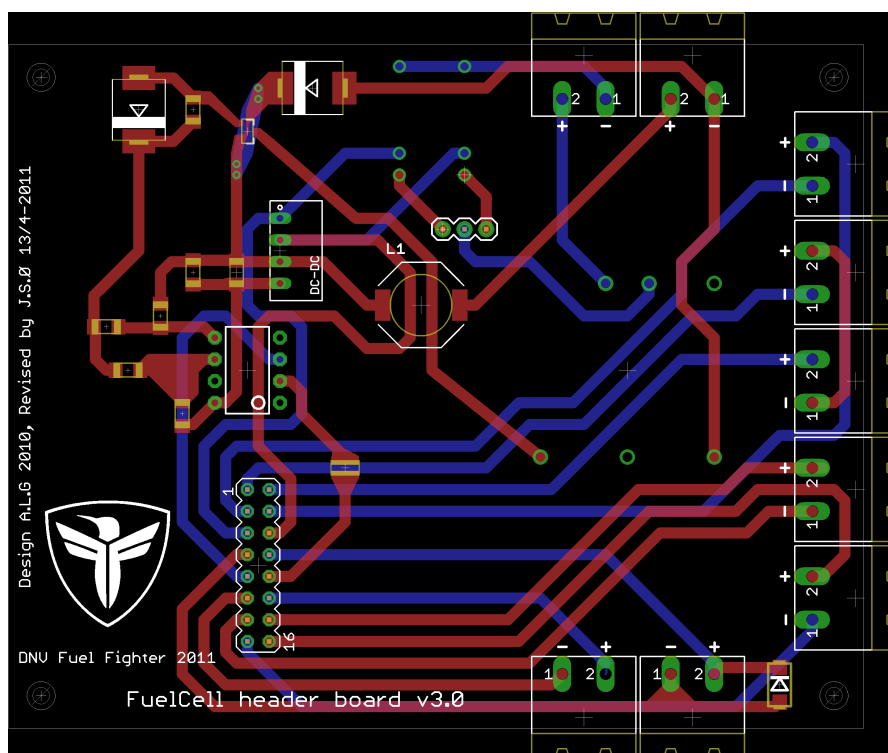
8.2 Overspenningsvern

Det er svært kritisk at kondensatorer av typen cap ikke lades over et gitt kritisk spenningsnivå. Det var derfor ønskelig med et system for å beskytte kondensatorene mot overlading dersom noe uventet skulle skje under drift. En høyeffekts motstand på 4.7Ω og som skal tåle en kontinuerlig effekt på $600W$ mot [2009] ble kombinert med ei god kjøleribbe rib og ei kraftig vifte pfa. På denne måten kan motstanden kobles inn i parallell med kondensatorpakken for å brenne av energi dersom dette skulle være ønskelig. Systemet kan enkelt kontrolleres ved hjelp av et relé eller en effektransist som igjen kontrolleres av en mikrokontroller som kontinuerlig måler spenningen over kondensatorpakken.

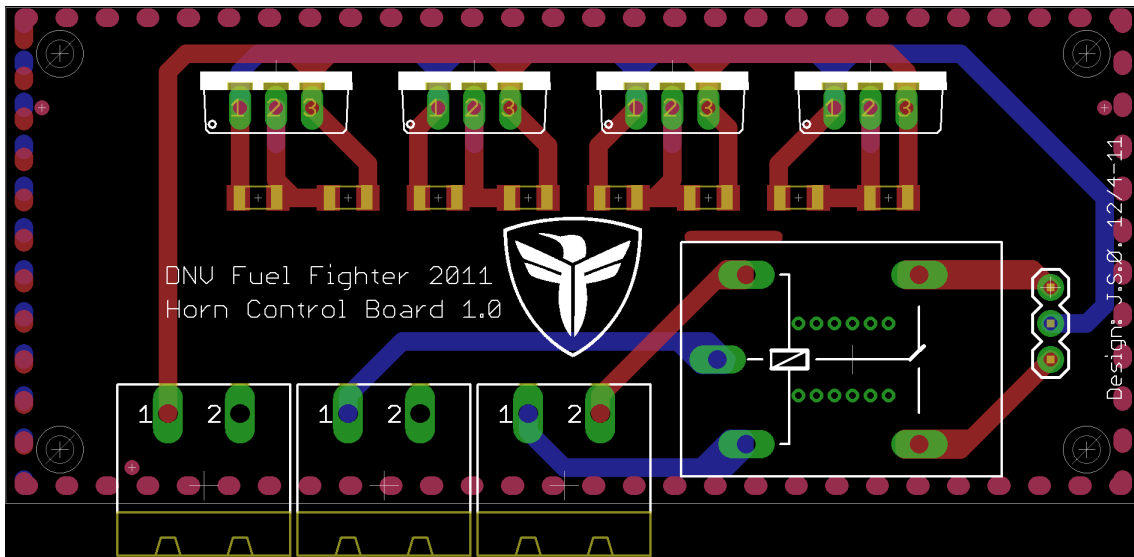


Figur 8: Motstand for overspenningsvern og forvarming av brenselcella satt sammen

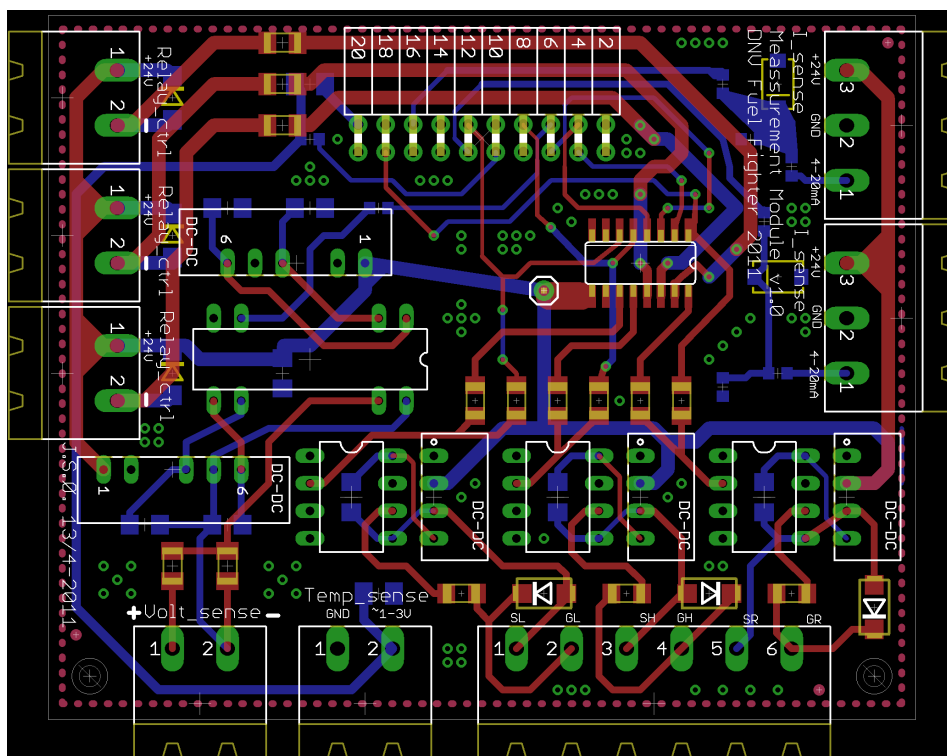
8.3 PCD design



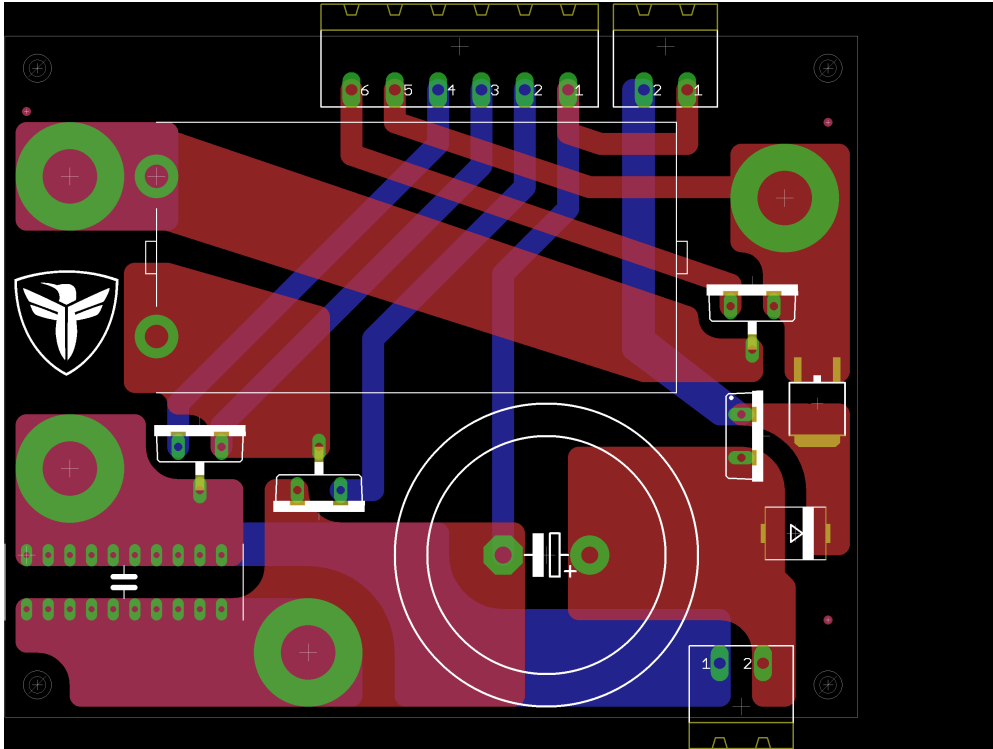
Figur 9: Kretskortutlegg av nytt brenselcelle header-kort



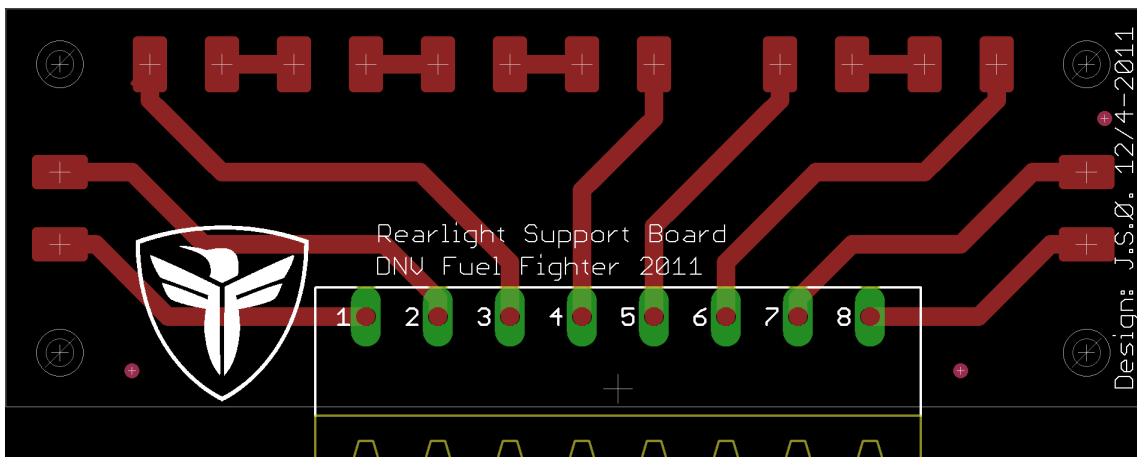
Figur 10: Kretskortutlegg av kort til styring av tuta



Figur 11: Kretskortutlegg for kort til måling og effektkontroll



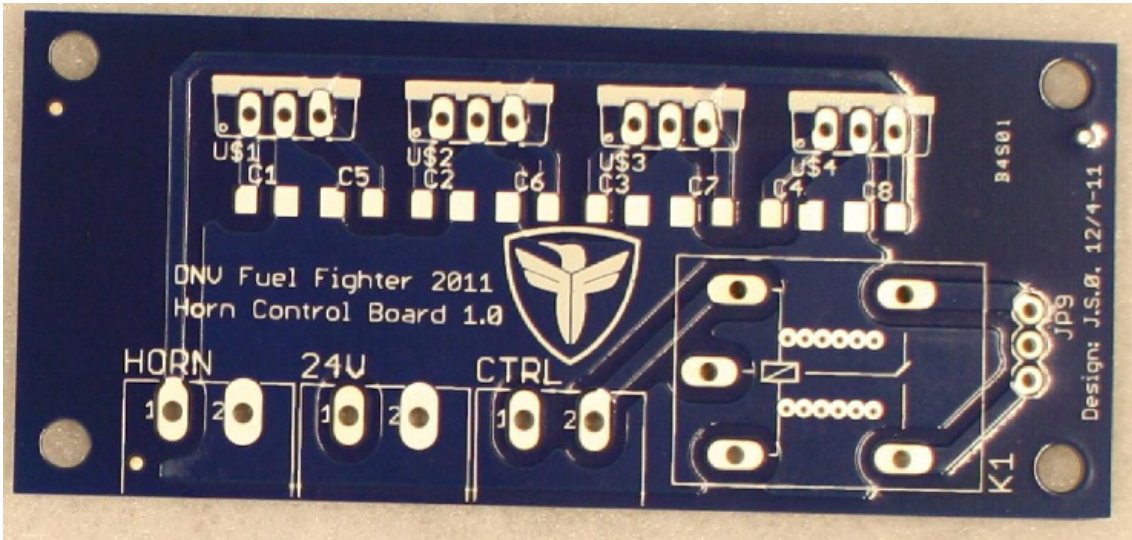
Figur 12: Kretskortutlegg av kort til DC/DC-omformer og overspenningsvern



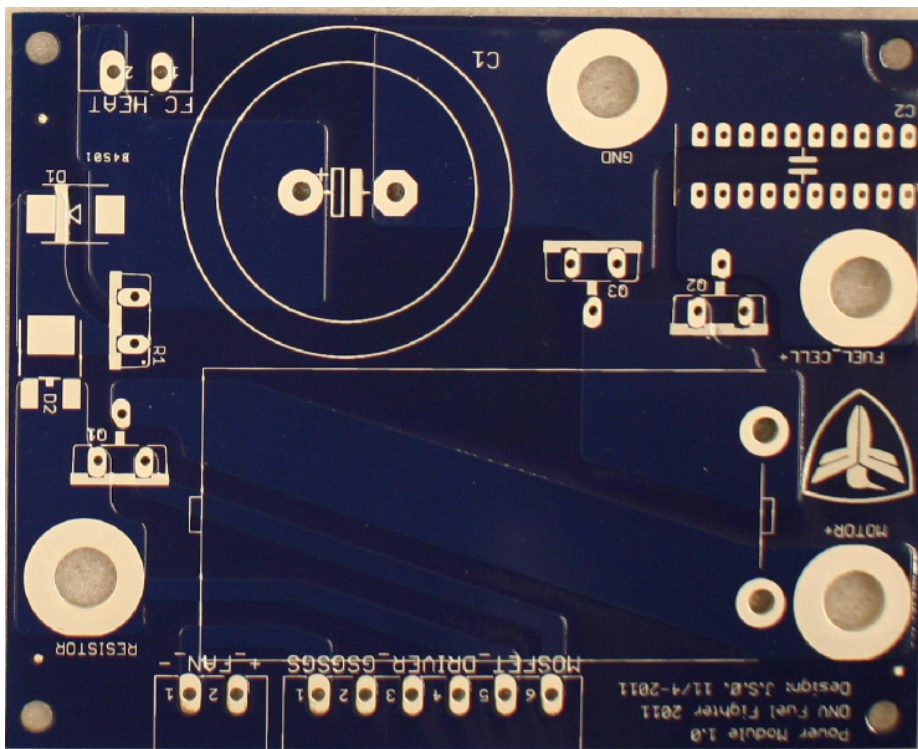
Figur 13: Kretskortutlegg av kort for baklystilkobling

8.4 Kretskortdesign i Eagle CAD

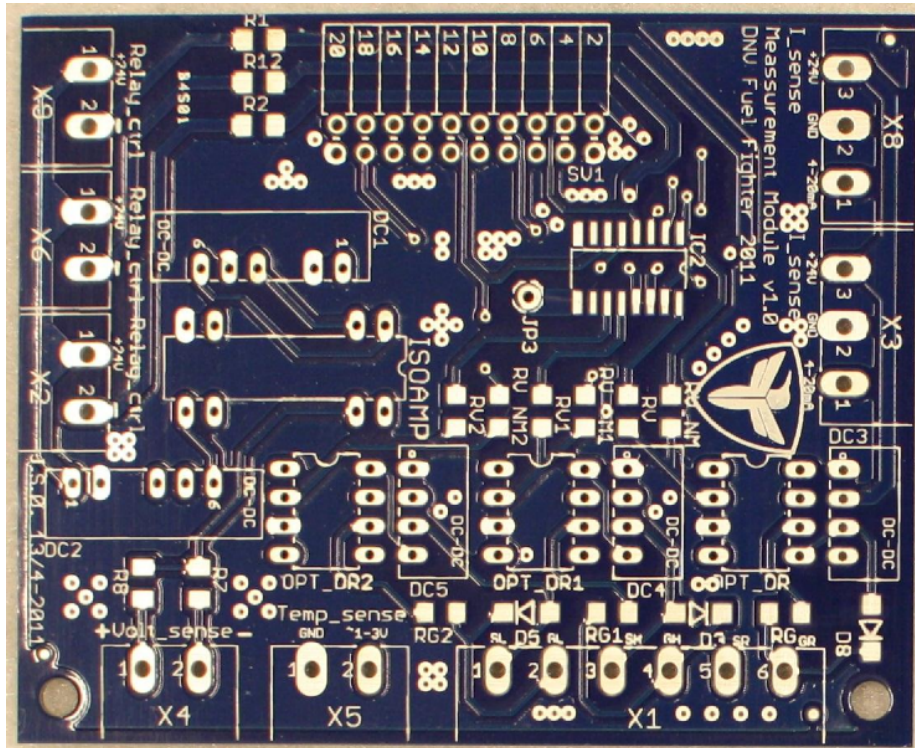
Eagle CAD er et program for design av elektroniske kretskort. Det skiller seg ut ved at det tilbyr en god gratisversjon slik at flere har mulighet til å plundre med kretskortdesign uten først å måtte punge ut store summer for programvare. I alt ble fire helt nye kort utviklet, og et fra fjoråret kraftig videreutviklet.



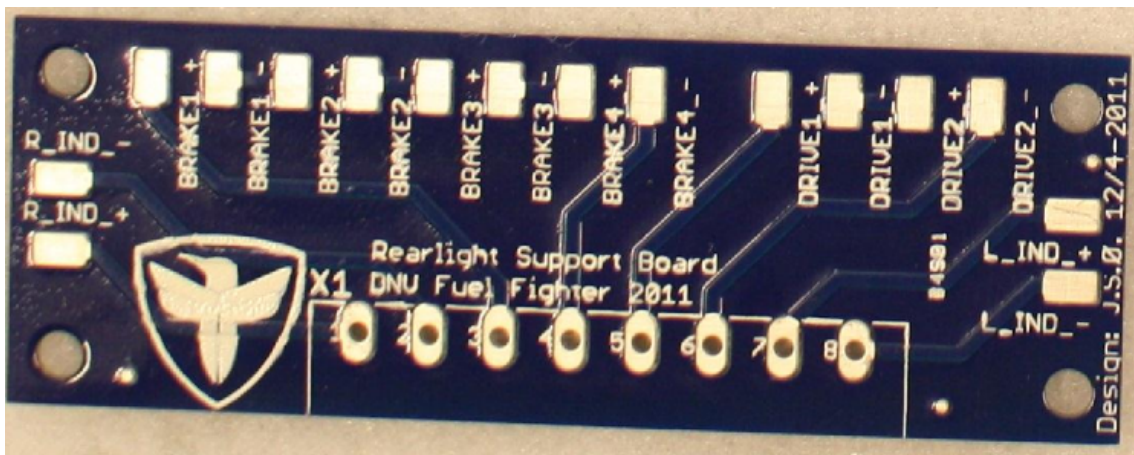
Figur 14: Kort til styring av tute mottatt fra produksjon



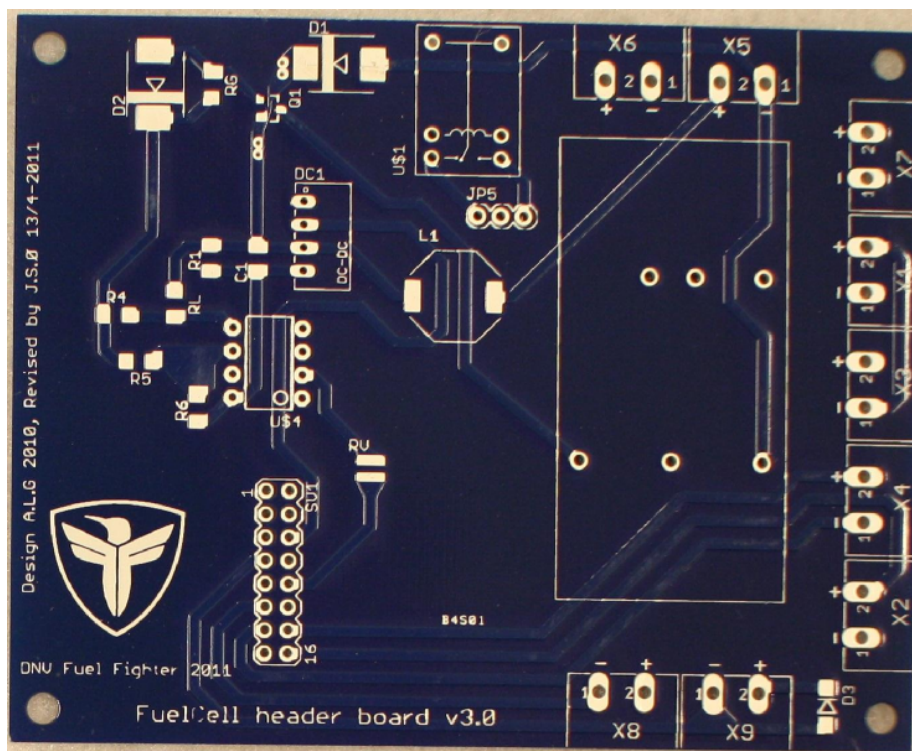
Figur 15: Kort for DC/DC konvertering og overspenningsvern mottatt fra produksjon



Figur 16: Modulkort for måling og kondensatorstyring mottatt fra produksjon



Figur 17: Kort til baklyst mottatt fra produksjon



Figur 18: Nytt brenselcelle header-kort mottatt fra produksjon

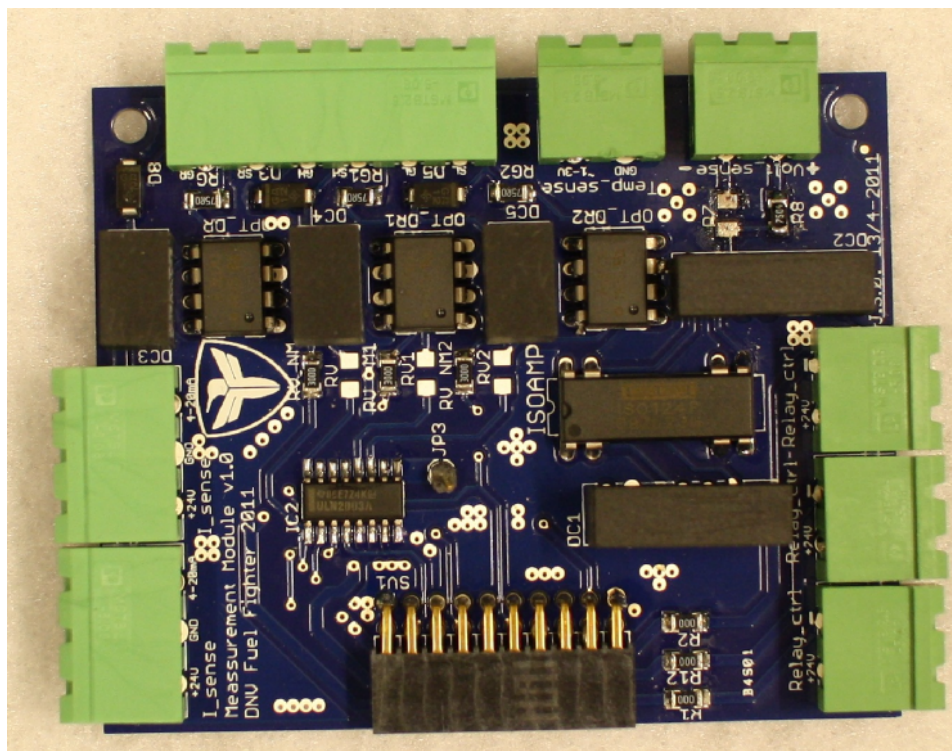
8.5 Produksjon, kalibrering og testing

Da kretskortutleggene var ferdig designet, sjekket og så dobbeltsjekket, ble de sendt til produksjon. Etter å ha surfet på nettet en liten stund, endte jeg med å plassere ordenen hos Gold Phoenix Printed Circuit Board Co.,Ltd Disse skilte seg ut ved at det var veldig fleksible på hvordan kortene kunne konfigureres, i tillegg til prisnivået virket fornuftig. Leveringstiden var også viktig.

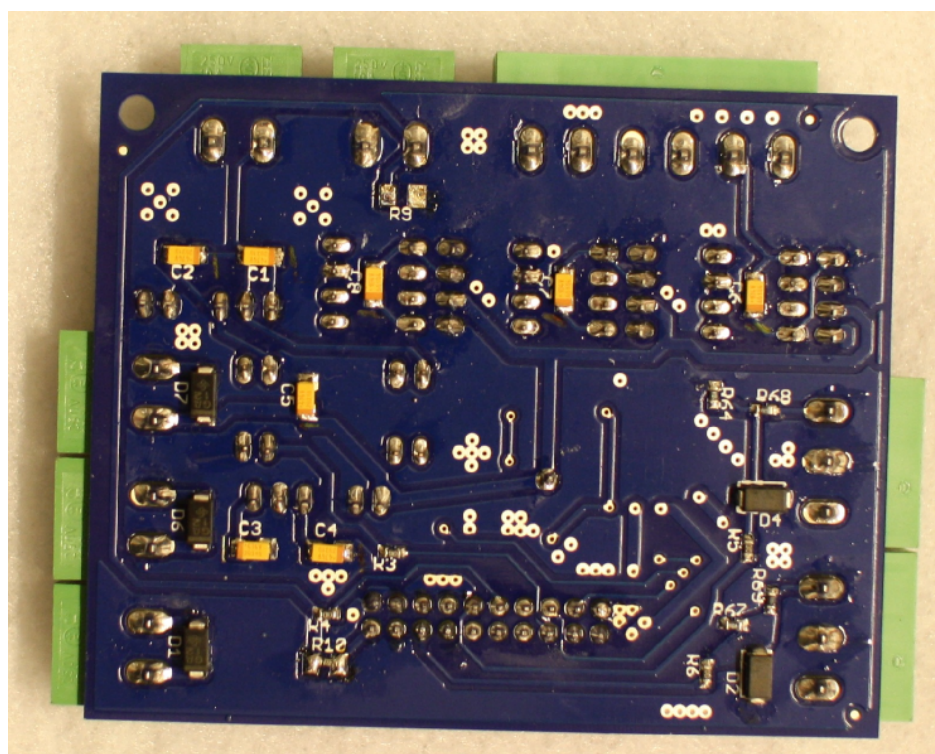
ENDRINGER

8.5.1 Lodding

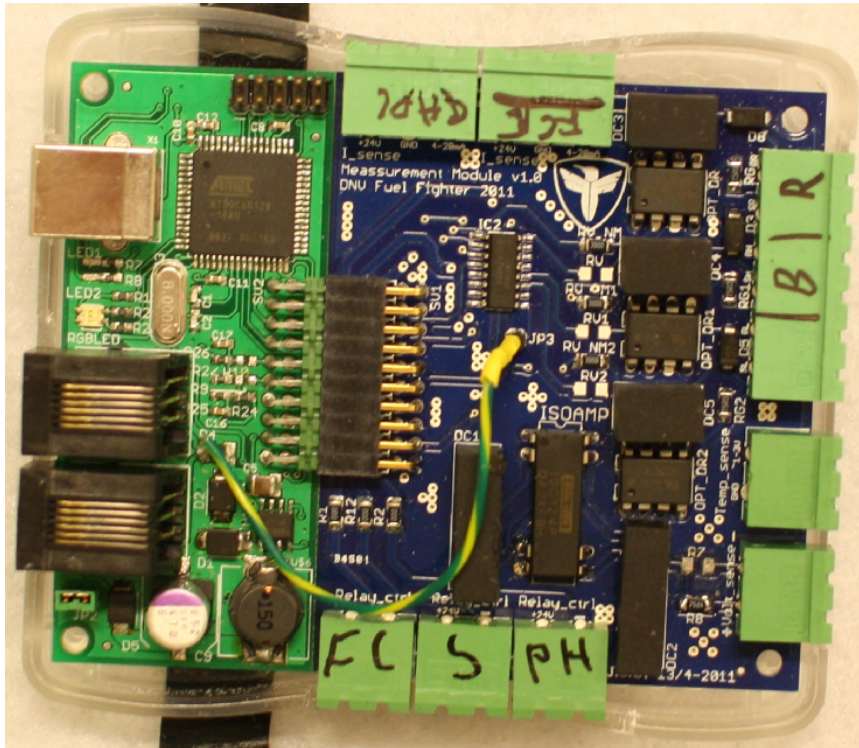
Vi var i år så heldige å ha et samarbeid med Noca AS for å lodde kortene på en profesjonell måte. Gjennom dette samarbeidet fikk vi tilgang til viktig kompetanse, og fikk sikret at risikoen for feil som skyldes dårlige loddinger ble minimert.



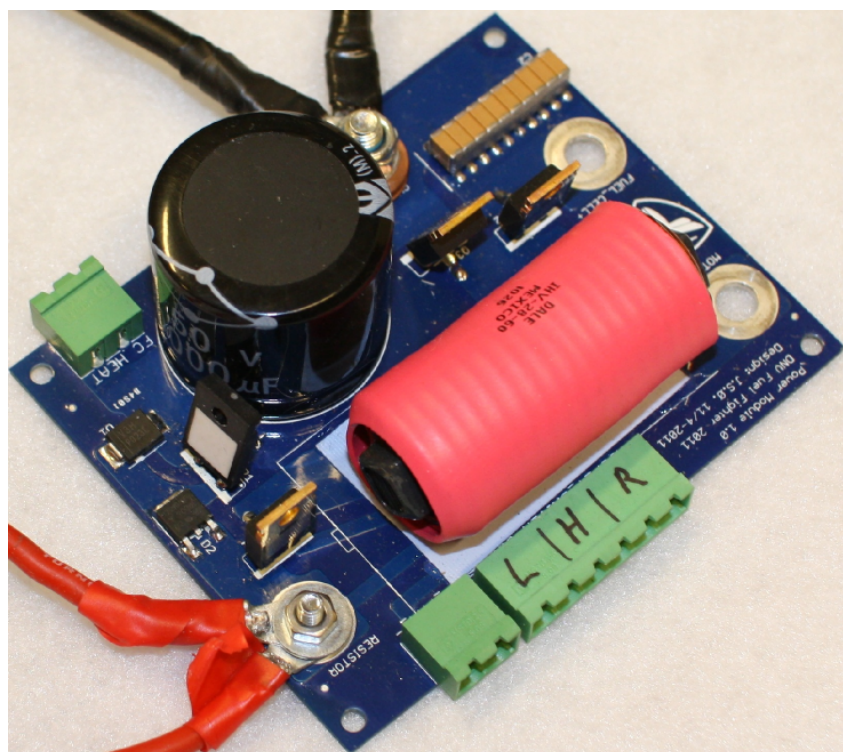
Figur 19: Modulkort for måling og kondensatorstyring ferdig loddet, overside



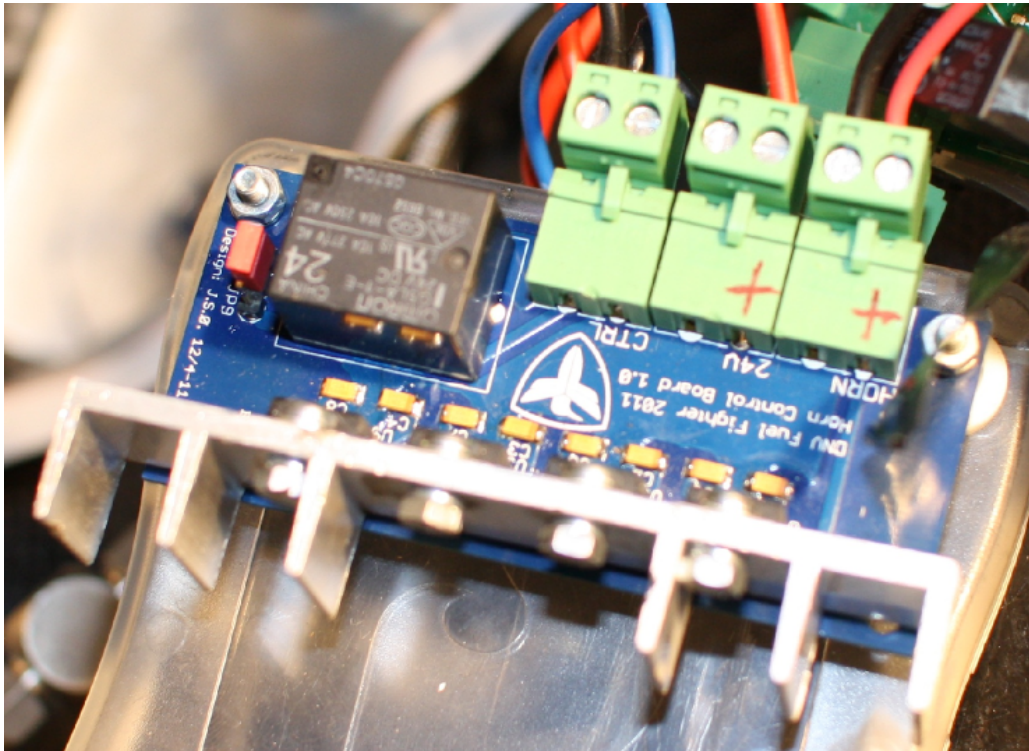
Figur 20: Modulkort for måling og kondensatorstyring ferdig loddet, underside



Figur 21: Modulkort for måling og kondensatorstyring ferdig koblet til universalmodul



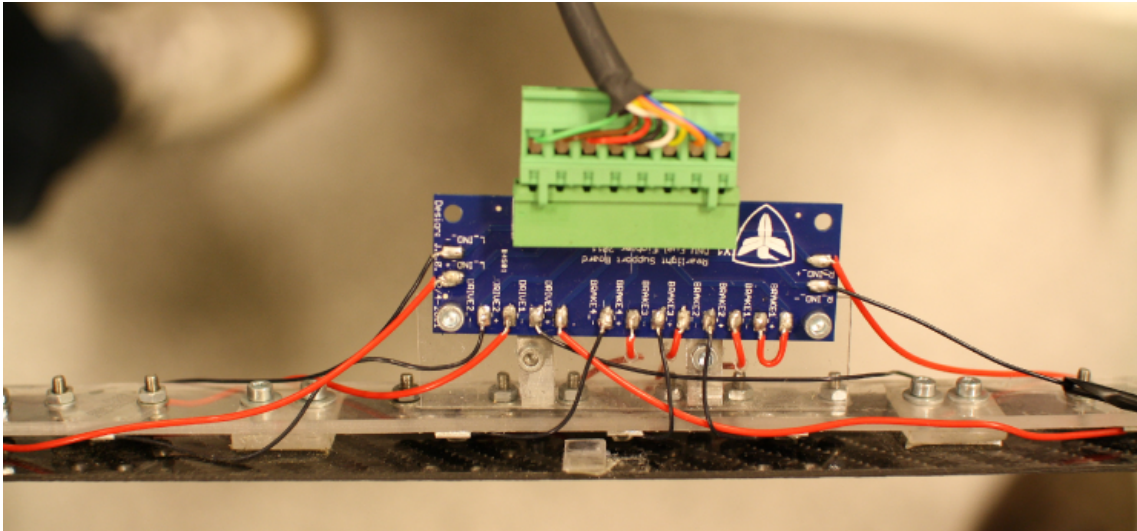
Figur 22: Kort for DC/DC konvertering og overspenningsvern ferdig loddet



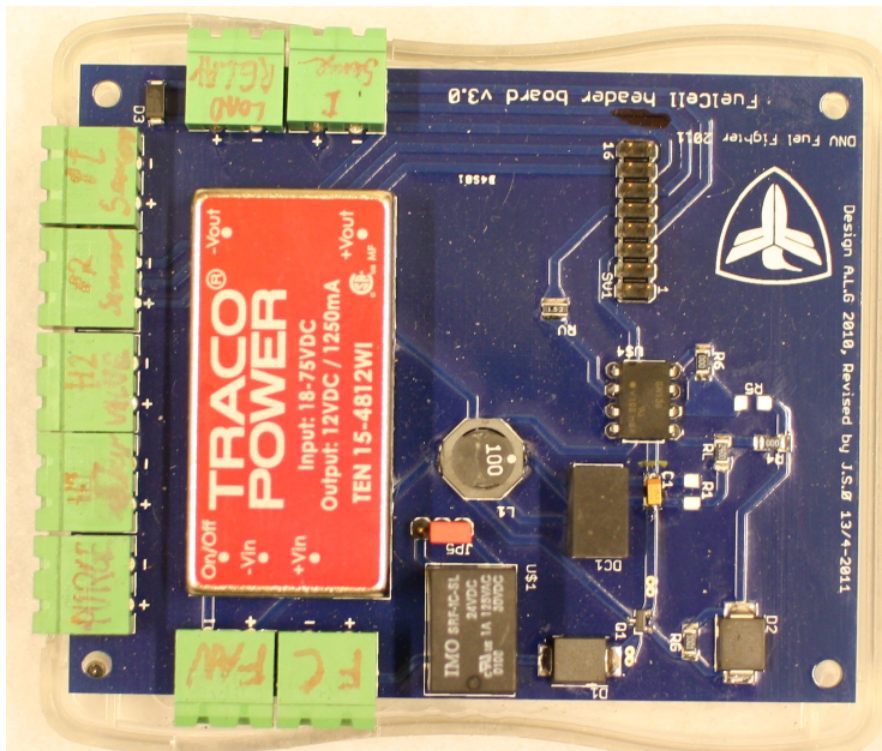
Figur 23: Kort for styring av tuta ferdig loddet og tilkoblet



Figur 24: Baklys ferdig montert



Figur 25: Kort til signalfordeling for baklys ferdig loddet

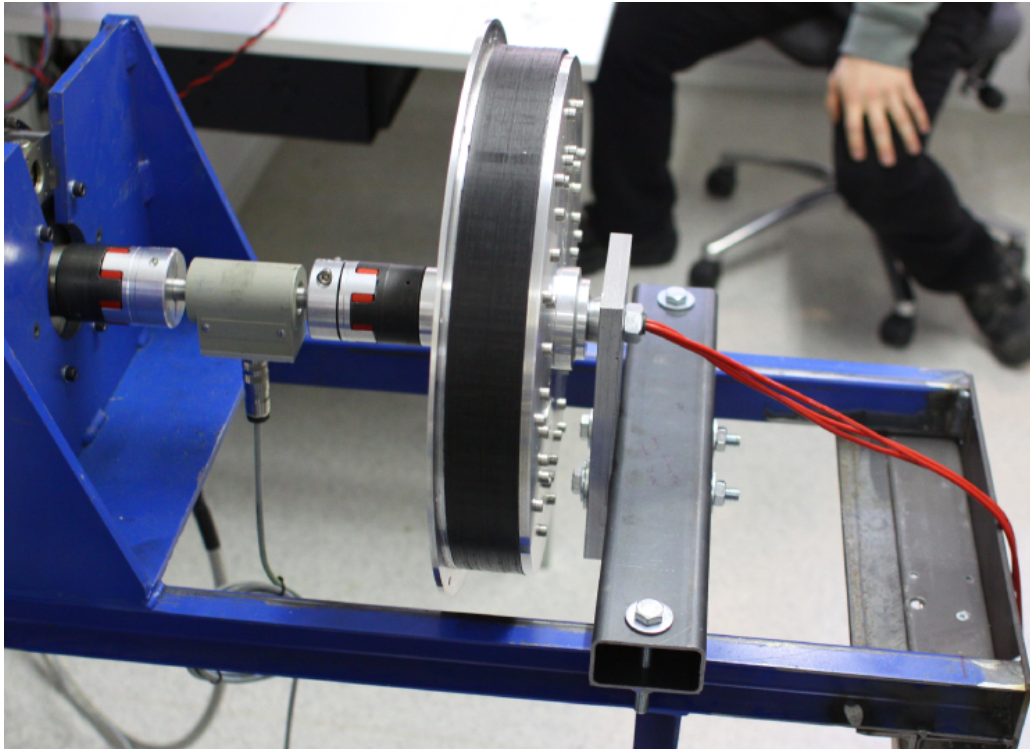


Figur 26: Nytt brenselcelle header-kort ferdig loddet

8.6 Motor og Motorkontroll

I det opprinnelige oppsettet av oppstartsalgoritmen brukt, var det både en rampe på spenningen og hastigheten til vektoren. Det betydde i praksis at motoren var aller svakest i det den forsøker å hekte seg på den første polpasseringa. Dette viste seg å være ekstra lite gunstig, siden det å glippe forbi en pol, betyr at kraften som virket forover før polpasseringa, nå vil virke bakover. I det magnetfeltet ligger midt mellom to permanentpoler, vil resultantkraften være null; for så igjen å skape en kraft framover fram til

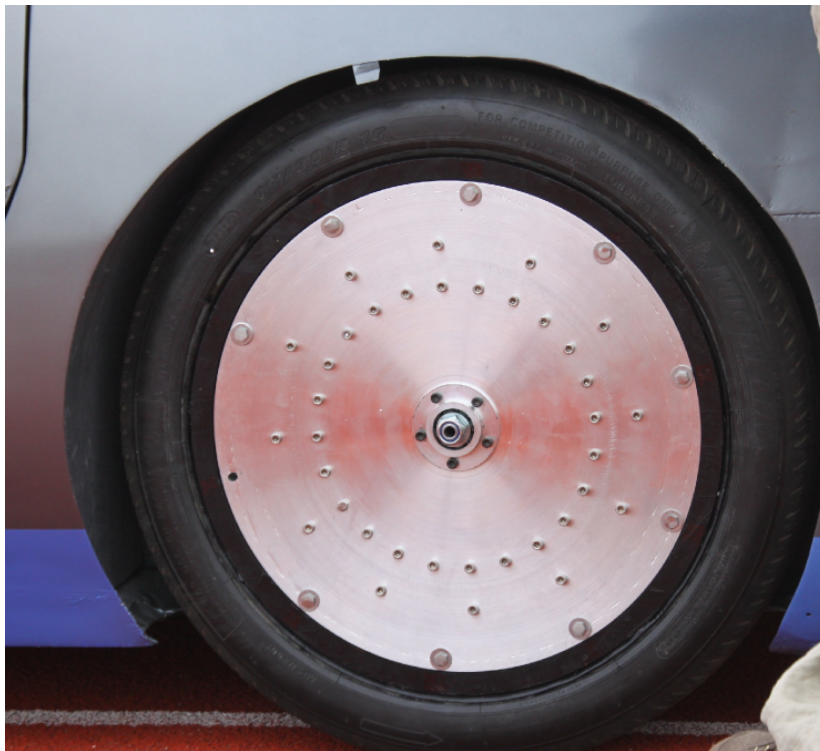
neste polpassering. Siden hastighet på magnetfeltet rampes opp av motorkontrolleren, vil også mulighetene for at rotoren skal ”hekte seg på” magnetfeltet bli mindre med tiden. Resultatet blir at bilen blir gjenstand for en alternerende kraft forover og bakover med økende frekvens, til motorkontrolleren når det forhåndsdefinerte transisjonspunktet. For de som ser på vil det arte seg noe merkelig som om bilen forsøker å logre med halensiden det kun er drift på ett bakhjul. Det er altså svært vanskelig å ta seg inn igjen, dersom den første polen skulle glippe.



Figur 27: Motor satt opp for test i testbenk hos SmartMotor

Etter å ha tenkt gjennom problemet grundig, ble det etter diskusjon bestemt det skulle forsøkes med en noe endret framgangsmåte. I stedet for å rampe opp både hastigheten og lengden på spenningsvektoren, skulle spenningsvektoren nå settes ut og holdes konstant helt fra starten, mens kun hastigheten skulle rampes opp. Fordelen blir da at styrken på spenningen som settes ut ved starten kan dimensjoneres slik at den første permanentmagnetpolen med mye større sannsynlighet vil bli med det roterende magnetfeltet rundt. Bakdelen ved å sette ut en stor spenningsvektor uten å vite motorens posisjon, er at bilen vil oppleve ett rykk i det spenningsvektoren retter seg in mot nærmeste permanentmagnetpol. Siden det som sagt ikke finnes noen holdepunkter for å anta motorens posisjon når vektoren settes ut, vil det være en 50/50 prosent sjanse for bilen vil rykkes bakover eller forover. Dette vil også opptre hvis bilen har en veldig lav hastighet, og vil oppleves som kraftig bremsing og låsing av motorhjulet. I praksis vil spenningsvektoren fra start måtte være sterk nok for til å ta med seg bilen forover, selv om det første rykket vil trekke den bakover. I tillegg vil en slik løsning kreve at sjåføren er veldig bevisst på akkurat denne problemstillingen, og dermed unngår å starte fra lave hastigheter, men heller gjør en kontrollert stopp med konvensjonelle bremsere, før en start kan forsøkes. Dette er på ingen måte en ideell løsning på problemet med foroverkoblet akselerasjon, men anses av

oss som bedre enn den tidligere løsningen.

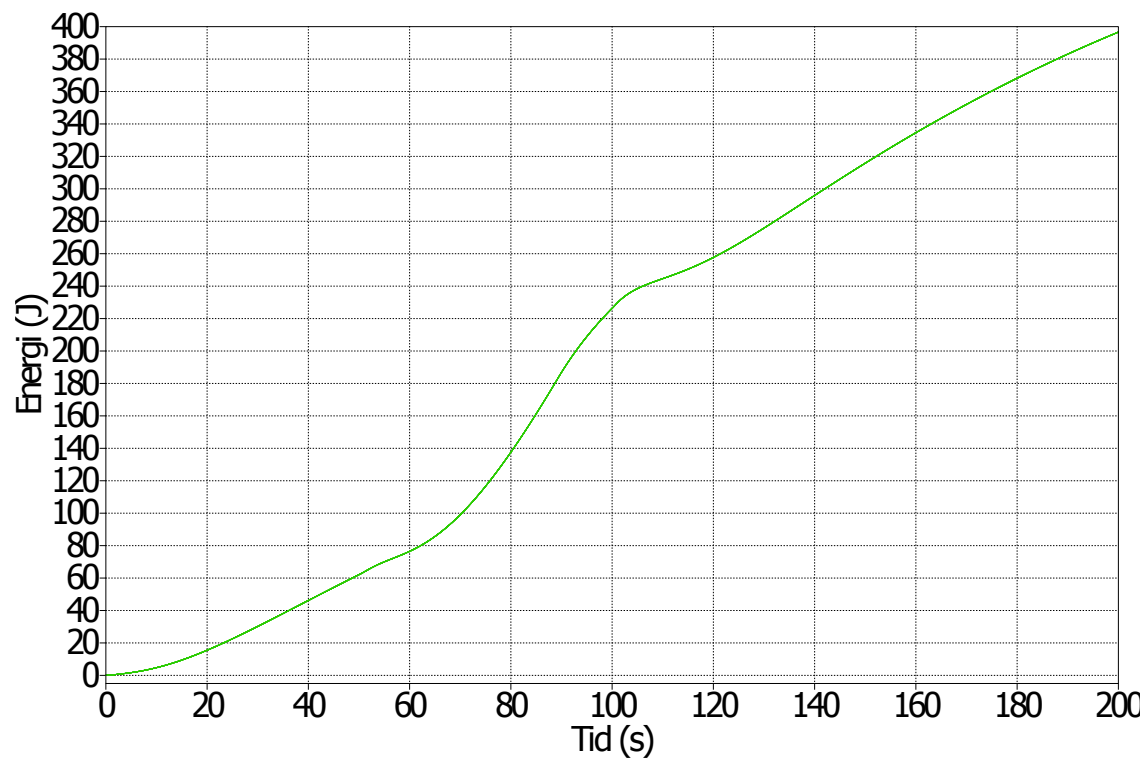


Figur 28: Motorhjulet ferdig montert på bilen

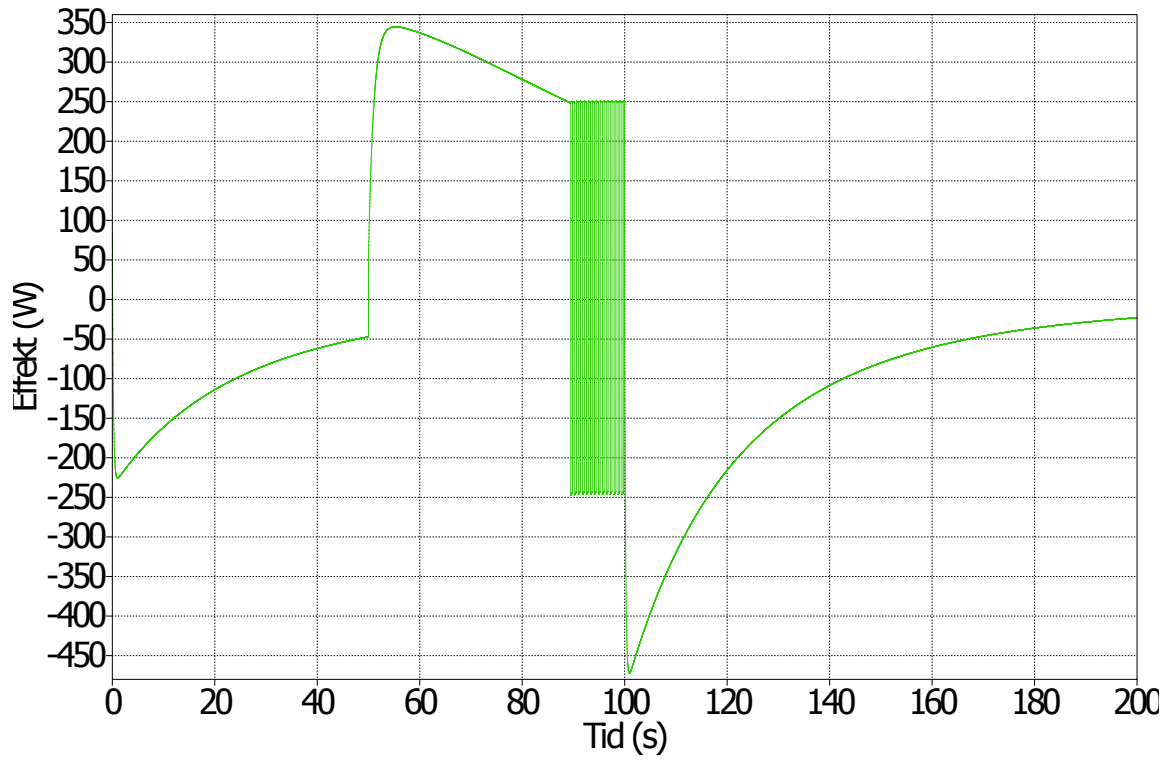
9 Resultater

9.1 Simuleringsresultater

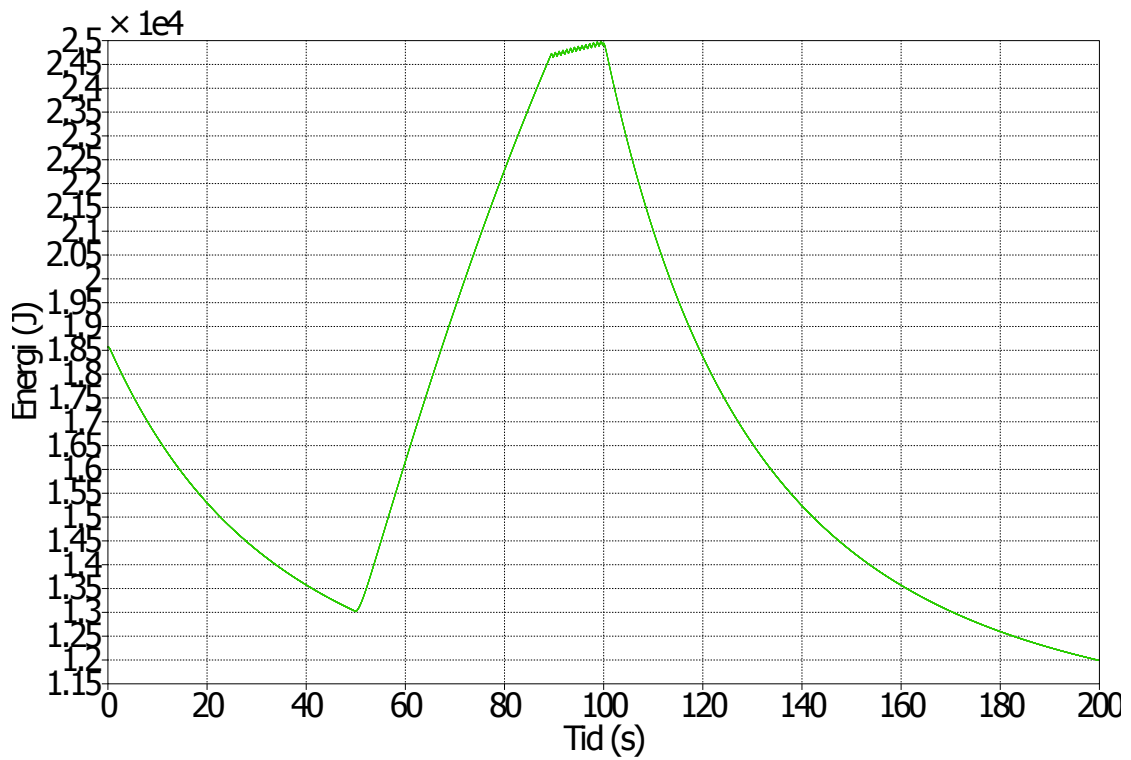
Figurene viser resultatene fra simuleringene gjort i plecs for å validere designet for superkondensatorermoduleen og tilhørende funksjonalitet. Modellen har etter beste evne fått verdier hentet databladene til delene selv.



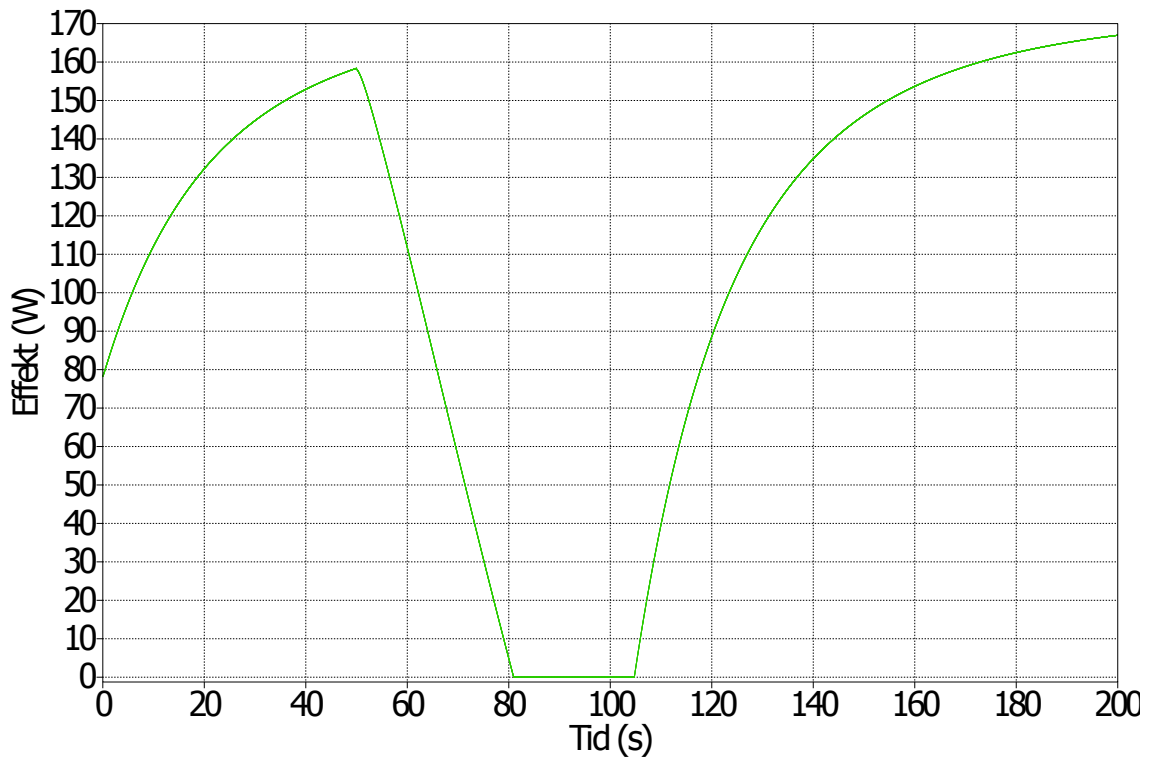
Figur 29: Tapt energi i superkondensatorpakka



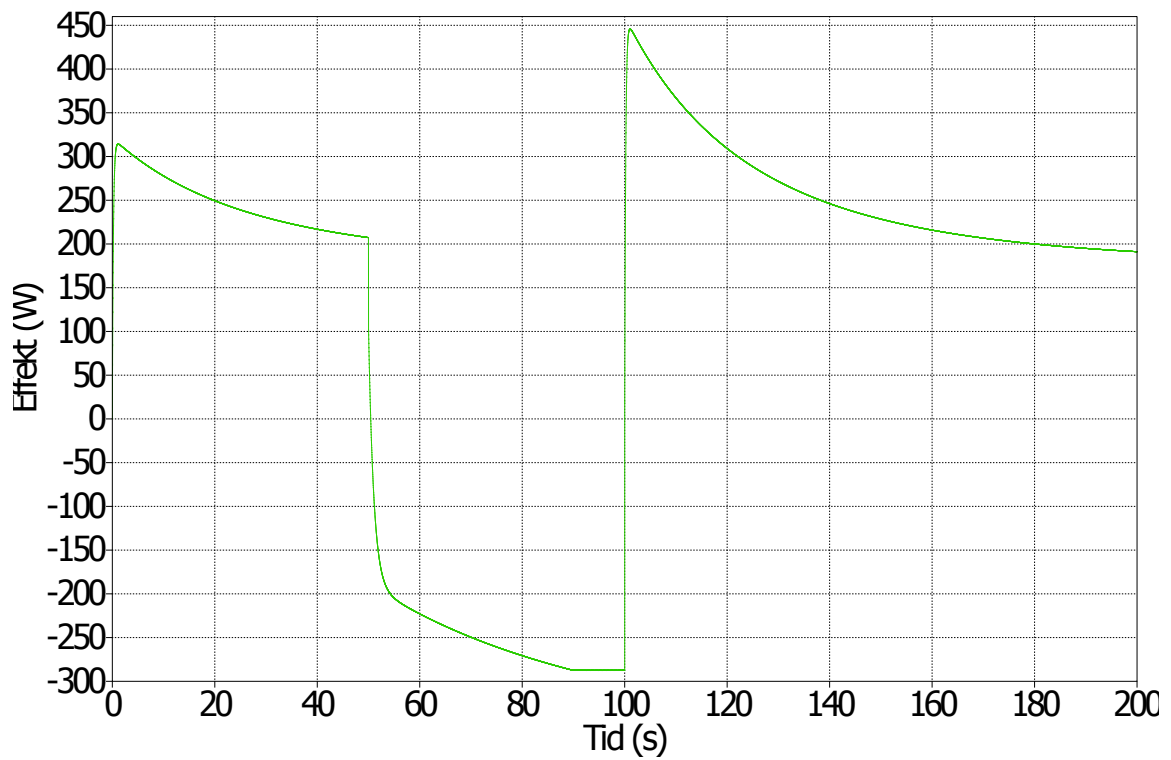
Figur 30: Effekt gjennom superkondensatorpakka



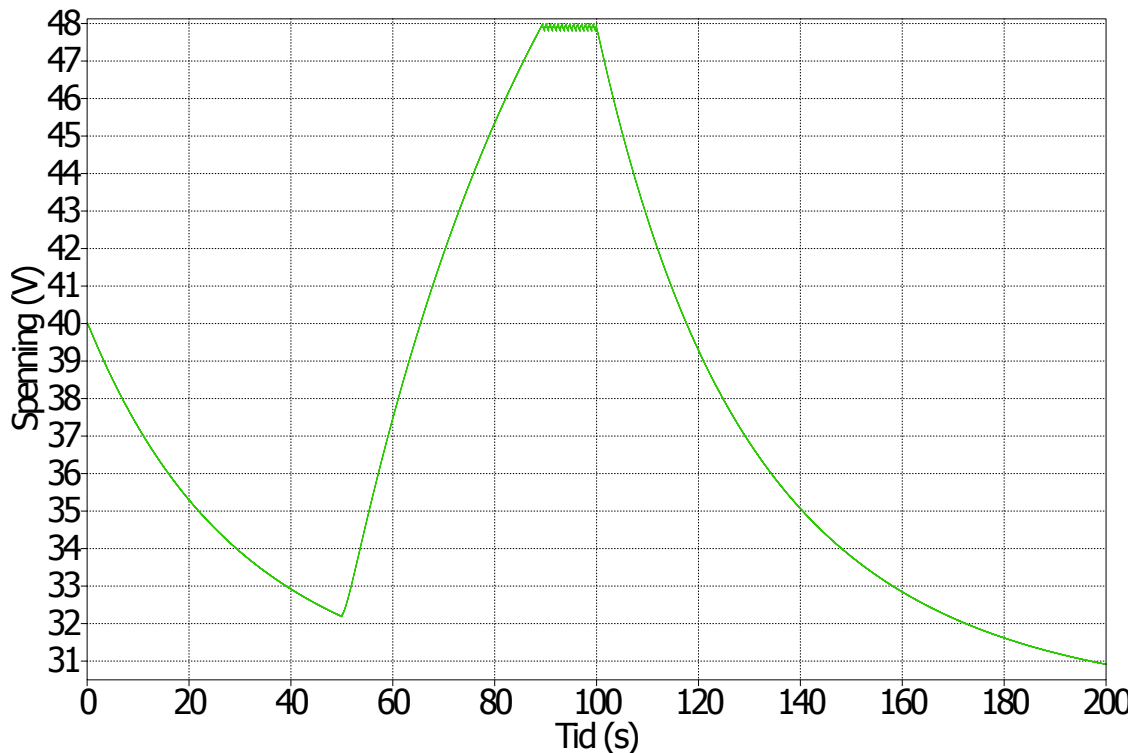
Figur 31: Energi lagret i superkondensatorpakka



Figur 32: Effekt gjennom brenselcella



Figur 33: Effekt gjennom motoren



Figur 34: Spøning på DC-linken i testscenarioet simulert med plecs

Av plotene ser systemet ut til å være stabilt, og det er tydelig hvordan energireservene på kondensatorpakken varierer med spøningsnivået på DC-linken i figur 34. Resultatene tyder også på an en enkel hystereseregulering av transistoren som leder strøm gjennom motstanden som forhindrer spøninger over $48V$, er god nok. Tapene i kondensatorpakke er ikke avskrekkende. Dette er viktig siden de resistive tapene i superkondensatorene er sammen med vekt de eneste ankepunkter mot implementasjon av superkondensatorene. Utver dette er det tydelig at brenselcella ser en mye mer lavfrekvent last enn kondensatorene, og slik sett er enda en av hensiktene med kondensatormoduelen bekreftet.

9.2 Motor og motorkontroll

Resultatet av å endre oppstartsalgoritmen, var en stor suksess, og bilen starten veldig forsiktig å fint under testing i verksted og testbane.

En stor del av tiden i Tyskland, gikk med til å gjøre endringer på motoren. Det at luftgapet måtte økes, betydde også at motoren ble svakere, og en høyere spøning over fasene trengtes, for å oppnå den samme kraften. Dette betydde også økt strøm i kobberviklingene og større resistivt tap her. For Oppstartsalgoritmen, betydde det at de fin innstillinger som ble gjort før avreise nå måtte forandres. Det resulterte i en grovinnstilling som natt til lørdag ble enstemmig vedtatt som godt nok for racing. Oppstarten ble med andre ord ikke like mjuk og pålitelig som under testing.

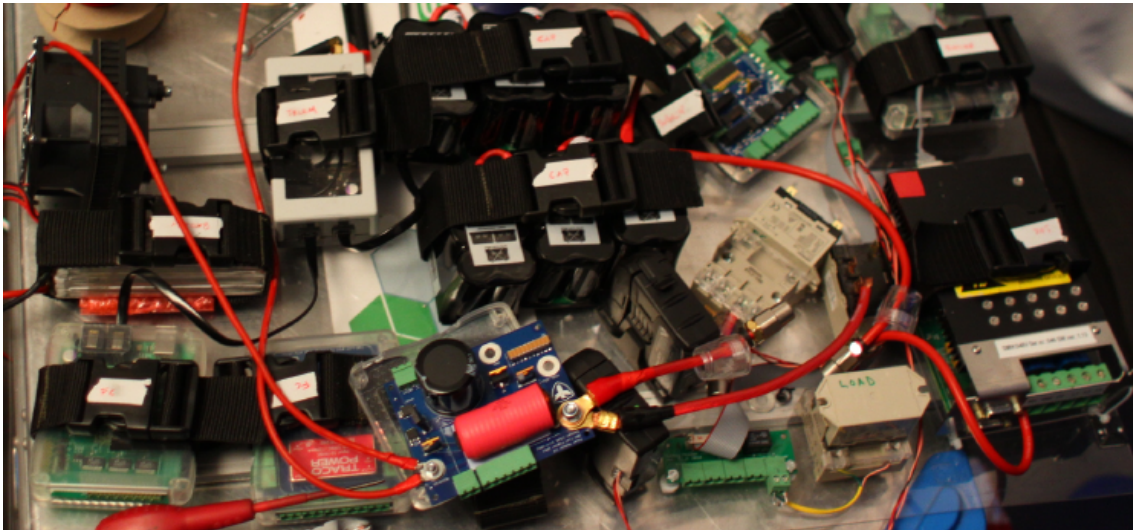
Under testing hos i SmartMotor sine lokaler rundt påsketider, ble det også oppdaget en annen svakhet ved motordesignet, som ikke var beskrevet i noen rapporter fra 2010. Nemlig det at det var et feilaktig forhold mellom den spøning som brenselcellen var antatt å kunne

produsere, den spenningen som motorkontrolleren trengte for å overvinne den tilbakeinduserte spenningen som motoren ga på det turtallet vi måtte opp i for å greie å holde den krevde gjennomsnittshastigheten. Den tilbakeinduserte spenningen var rett og slett for å til å få motoren opp i riktig turtall med den spenningskilden vi hadde tilgjengelig. Dette var et stort tilbakeslag for teamet, og gjorde det tydelig at motorens kompleksitet på den elektriske siden var undervurdert. Siden Studentassistenten fra institutt for elkraftteknikk var satt i arbeid med en ny stator, ble det min jobb å ordene opp i dette problemet. Mitt arbeid med systemet for regenerativ bremsing, ble dermed satt noe på vent, da motoren naturlig nok var rangert blant de aller mest kritiske komponentene på bilen.

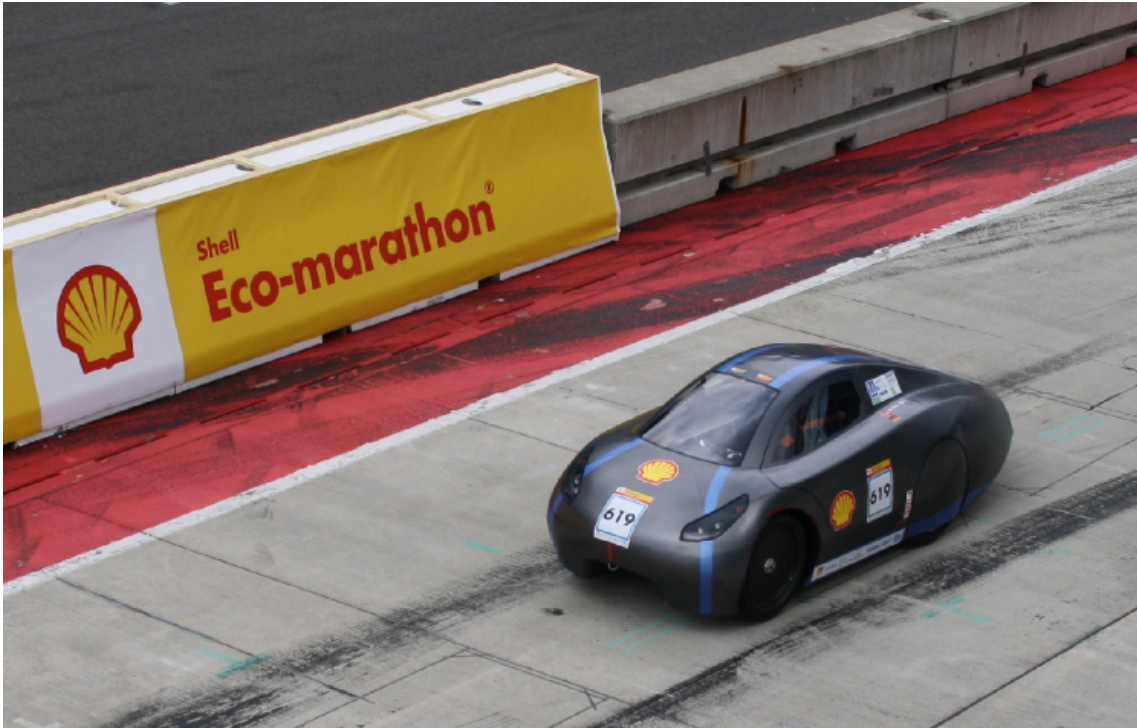
Det viset seg at det var noen alternativer til hvordan problemet kunne unnvikes. Det ene ville være en DC/DC boost-omformer på brenselcellas utgang. Denne ville kunne øke spenningen som motorekontrolleren hadde tilgjengelig for å overvinne den tilbakeinduserte spenningen i høye hastigheter.

Den andre muligheten ville være å redusere viklingstallet i stator slik at indusert spenning således ble mindre. Dette er etter samme prinsipp som en vanlig transformator. Produksjonen av den nye statoren var imidlertid allerede begynt, slik at dette alternativet var utelukket.

Det siste gode alternativet, var å øke luftgapet mellom permanetmagnetene, slik at fluks-tettheten gjennom kobberviklingene ville bli mindre. Etter detaljert diskusjon og koordinering med de ingeniørstudentene som var ansvarlige for motorens mekaniske deler, kom vi fram til en måte å gjøre nettopp dette. Bakdelen av det er et kompromiss med virkningsgraden på motoren, da mere strøm nå må gå i statorviklingene for å produsere det samme dreiemomentet. Siden det resistive tapet i en leder vil øke med kvadratet av strømmen, er dette en løsning som velges utifra nødvendighet.



Figur 35: Komplet system for regenerative bremses settes sammen



Figur 36: DNV Fuel Fighter på vei ut på banen



Figur 37: Hele laget poserer foran standen vår inne på konkurranseområdet i Tyskland

10 Diskusjon og konklusjon

Alt i alt er det veldig vanskelig å ikke være veldig fornøyd ved prosjektets ende. Allikevel er det fortsatt noe ufullendt over det hele når det det beskes i retrospekt. en har bare lyst til å bli med videre, og jobbe videre med dette fantastiske prosjektet.

Det er nok en klassisk felle å ta seg noe vann over hodet, med store ambisjoner ved inngangen til et slikt prosjekt. Allikevel er det blitt utviklet mange nye spennende systemer og løsninger for bruk videre. Det er stor trøst i at også mange nye funksjoner virket utmerket i praktisk bruk i bilen. Alle målinger av både spenning, strøm og temperatur virket som de skulle. Den nye kretsen for måling av temperatur tiltenkt kjøleribba til motstanden for beskyttelse av kondensatorpakkene, ble imidlertid redningen for måling av temperaturen i lufta under brenselcella, da fjorårets løsning endte med å feile på dette punktet. Også nye ting som kortet til kontroll av tuta, og variabel viftekontroll virket utmerket. Motstanden opprinnelig tenkt som overspenningsbeskyttelse, ble lett modifisert brukt til å forvarme brenselcella ved å belaste cella en kort tid før vært forsøk. Dette fungerte i tillegg meget bra.

Når det gjelder evalueringen av dagens system for "Cruise Control", er mye forbedret ut at systemet virker perfekt av den grunn. Dette vil være en balansegang mellom hva som kan gjøres for å presse virkningsgraden til det ytterste, og hva som må til å for å gi sjøføren et fornuftig og håndterbart brukergrensesnitt. I årets utgave førte flere tilpasninger under løpsuka til at veldig mye av ansvaret for at bilen skulle virke, plassert hos føreren. Dette gikk med et nødsrik, men er ikke et ønskelig oppsett. Motorkontrolleren har i tillegg til hastighetskontrollen som ble brukt under løpet, også støtte for momentkontroll. Et eksperiment med momentkontroll kunne vært spennende, uten at det er reflektert over potensielle problemer knyttet til en slik konfigurasjon.

Systemet for regenerativ bremsing og regulering av kondensatormodulen er ikke gjennomgått noen fullskala test, men er et bevist konsept som gir mange potensielt spennende muligheter. I tillegg til at en kondensatormodul kan lagre ebergi fra bremsing, er det også diskutert muligheter for å ha en energireservoar eller buffer tilgjengelig for å filtrere"vekk høydevariasjonene på banen. På denne måten vil det reelle arbeidspunktet for hydrogen-cella midels mot et minimum. Dette virker å by på fordeler både i det at cella er mest effektiv på lav belastning, men også i det at det vil minimere bruken av vifta og forenkle temperaturreguleringen av brenselcella. Til sist vil naturlig nok brorparten av energien som skal til for å akselerere bilene opp igjen etter en stopp kunne trekkes fra kondensatorpakke og slik bidre til en form for effektiv Launch control Dette er alle funksjoner som var tenkt realisert realisert med årets system, men som i all hovedsak ikke er blitt prøvd ut i praksis da andre ting har vært mer presserende. For motorens del trives den best på turtall rundt den ønskede arbeidshastigheten mellom 25 og 30 km/h .

Motorkontrolleren fra SmartMotor viser sin styrke i at den er veldig fleksibel i forhold til hvilken funksjonalitet vi ønsker ut av den. Det også en vanvittig viktig støtte å god tilgang til gode råd fra dyktige ingeniører hos SmartMotor. Motorkontrollerens store ankepunkt er som nevnt det begrensede innsynet vi får tilgang til. Det er nok også sikkert at en nytt design av en ny motorkontroller med et kompromissløst fokus på virkningsgrad, ville gjøre teamet i stand til å presse enda noen prosenter ut av den totale virkningsgraden til systemet for kraftforsyning. Dette er imidlertid en veldig kompleks oppgave, som nok

krever mye kompetanse fra først og fremst Institutt for elkraftteknikk, i tillegg til Institutt for teknisk kybernetikk. Så langt de selv ønsker det, vil miljøet på SmartMotor være en naturlig og nærmest uvurderlig partner i et slikt prosjekt. Inntil videre har vi imidlertid levd godt også med dagens løsning, selv om den krever noe spesialtilpasning for hver oppgave som er ønsket løst.

Det har ikke vært noen betydelige endringer i reglene for hvordan batteriet som er tilknyttet kontrollsystemet har blitt benyttet. Det å isolere alle målinger og signalflyt mellom kontrollsystemet på den ene siden, og DC-linken på den andre siden, har helt klart komplisert systemene for måleng ganske mye. Dette er imidlertid et godt prinsipp å følge uansett for å hindre problematikk knyttet til fellessignalspenning (common mode) som eksempelvis uønskede jordsløyfer. Som eneste komponent utenom motoren, er vifta som blåser luft gjennom brenselcella, også drevet med cella som kilde. Dette er ikke forandret og sikrer at systemet fortsatt er i henhold til regelverket også på dette punktet, da nevnte vifte har direkte innflytelse på hvor effektivt cella kan arbeide. Dette gjelder også etter at den nye PWM kontrollen av vifta ble implementert i år ved hjelp av en krets som sikrer isolert kontroll av en MOSFET.

Testing ble det tross alt gjort en del av før avreisen til Tyskland. Prosjektet bekrefter dermed, som tidligere erfaringer, at testing kan det knapt gjøres for mye av. Spesielt i et prosjekt da alt avhenger av å få gode resultater i en konkurranse. Det er imidlertid tiden til rådighet som har vært den begrensende faktoren også her, som forøvrig i prosjektet. Sjøførens grensesnitt ble som nevnt tidligere endret en del gjennom uka i Tyskland, slik at noen god oversikt og dokumentasjon ikke lenger er tilgjengelig uten en ny runde testing og innstilling av ting som begrensning av hastigheten basert på brenselcellespenningen, og andre faktorer.

Til sist kommer noen tanker om kjørestrategi. Dette var et område som ble nedprioritert når det dro seg til mot konkurranse. Allikevel var de få tankene som ble gjort om temaet før avreise også bortkastet i møte med banen. I praksis ble nemlig den altoverskyggende kjørestrategien å gi full gass for å sikre et gyldig resultat innenfor tidsgrensen. Problematikken rundt høydeprofilen til banen var imidlertid også tenkt løst gjennom energibufferet realisert gjennom kondensatormodulen. Dessverre var dette ikke implementert under det tellende forsøket på konkurransens siste dag. Dette for å eliminere antallet feilkilder og sikre et gyldig resultat å bygge videre på for kommende studenter. Dette var en riktig tilnærming, og sikrer altså at nye håpefulle kan nyte godt av både en nå fungerende plattform og et stort potensiale for nye løsninger klare for implementering og praktisk testing.

Referanser

Datablad for K 227/33 k/A1 Thermistor.

Datablad for PBL 16.2V Supercondensator.

Datablad for SUNON PMD4808PMB1 Vifte.

Datablad for Omron G7L Relé.

Datablad for HS marsston CP464 Kjøleribbe.

URL <http://en.wikipedia.org/wiki/Thermistor>. Besøkt 22. juni 2011.

Datablad for Vishay LPS 600 effektmotstand., 2009.

27th edition of shell eco-marathon europe kicks off, Besøkt 23. juni 2011. URL http://www.shell.com/home/content/ecomarathon/europe/for_media/news_and_media_releases/2011/may_26_01.html.

Shell eco-marathon 2011 chapter 1 - official rules, 2011.

8-bit AVR Microcontroller with 128K Bytes of ISP Flash and CAN Controller. Atmel, 7679h-can-08/08 edition.

Mark1020 ACS(TM) Fuel Cell Stack, Product Manual and Integration Guide. Ballard Power Systems Inc., man5100192-0e edition. Commercial Confidential.

P. Barrade. Energy storage and applications with supercapacitors. Technical report, Laboratoire d'Electronique Industrielle, LEI STI-ISE, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, EPFL, 2003.

L. I. Bjugstad, M. S. Henriksen, O. A. D. Herland, E. S. Jahren, J. Jung, H. Mjøvik, and T. Rygh. Purechoice i shell eco-marathon. Master's thesis, NTNU, 2008.

A. Dahl-Jacobsen. Energy efficient motor for shell eco-marathon. Master's thesis, NTNU, 2010.

J. W. Dixon, M. Ortúzar, and E. Wiechmann. Regenerative braking for an electric vehicle using ultracapacitors and a buck-boost converter. Technical report, Catholic University of Chile, 2010.

NTC Thermistors Application notes. EPCOS AG, February 2009.

A. Gellein. Framdriftssystem til eco marathon kjøretøy. Master's thesis, NTNU, 2009.

A. L. Guldahl. Fjernovervåkningssystem for shell eco-marathon kjøretøy. Technical report, NTNU, 2009.

A. L. Guldahl. Styre- og overvåkningssystem for shell eco-marathon kjøretøy. Master's thesis, NTNU, 2010.

M. Hoel, C. Knudtzon, T. M. Stockfleth, and H. Jenserud. Shell eco-marathon, prosjekt-rapport. Technical report, NTNU, 2010.

M. Hoel, A. Qviller, T. M. Stockfleth, and S. H. Bleie. Shell eco-marathon, master's thesis. Master's thesis, NTNU, 2011.

- C. Lungoci and E. Helerea. Evaluation of supercapacitors effects on hybrid energy systems for automotive. Technical report, Transilvania University of Brasov,, 2010.
- National Semiconductor's Temperature Sensor Handbook*. National Semiconductor Corporation, 1995.
- U. Schindler. Project managemant of an environmently friendly vehicle - shell eco.marathon. Master's thesis, NTNU, 2011.
- T. G. Skarsgard. Optimalisering av brenselcelle til shell eco-marathon 2010. Master's thesis, NTNU, 2010.
- J. S. Steinhart and S. R. Hart. *Calibration curves for thermistors*. Deep Sea Res., 1968.
- Datablad for H971SP Direct Current Transducer*. VERIS industries, 2010.
- A. Welland. Systems engineering in practice: Developing a worldclass car for the shell eco-marathon. Master's thesis, NTNU, 2011.
- D. Yu and S. Yuvarajan. A novel cricuit model for pem fuel cells. Technical report, NORTH DAKOTA STATE UNIVERSITY, 2004.

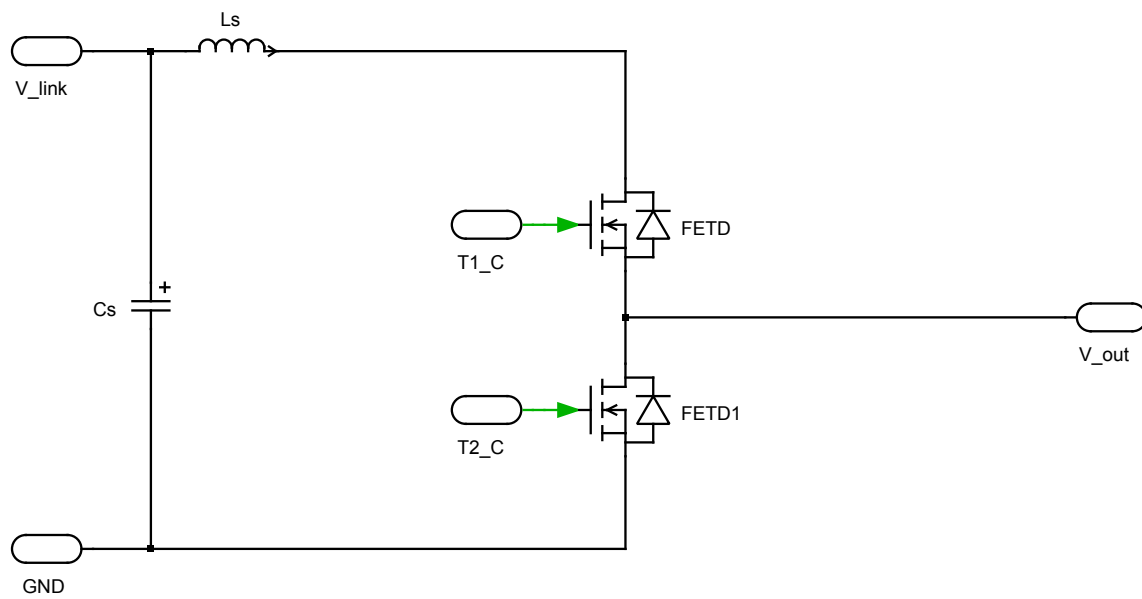
A Vedlegg

or section

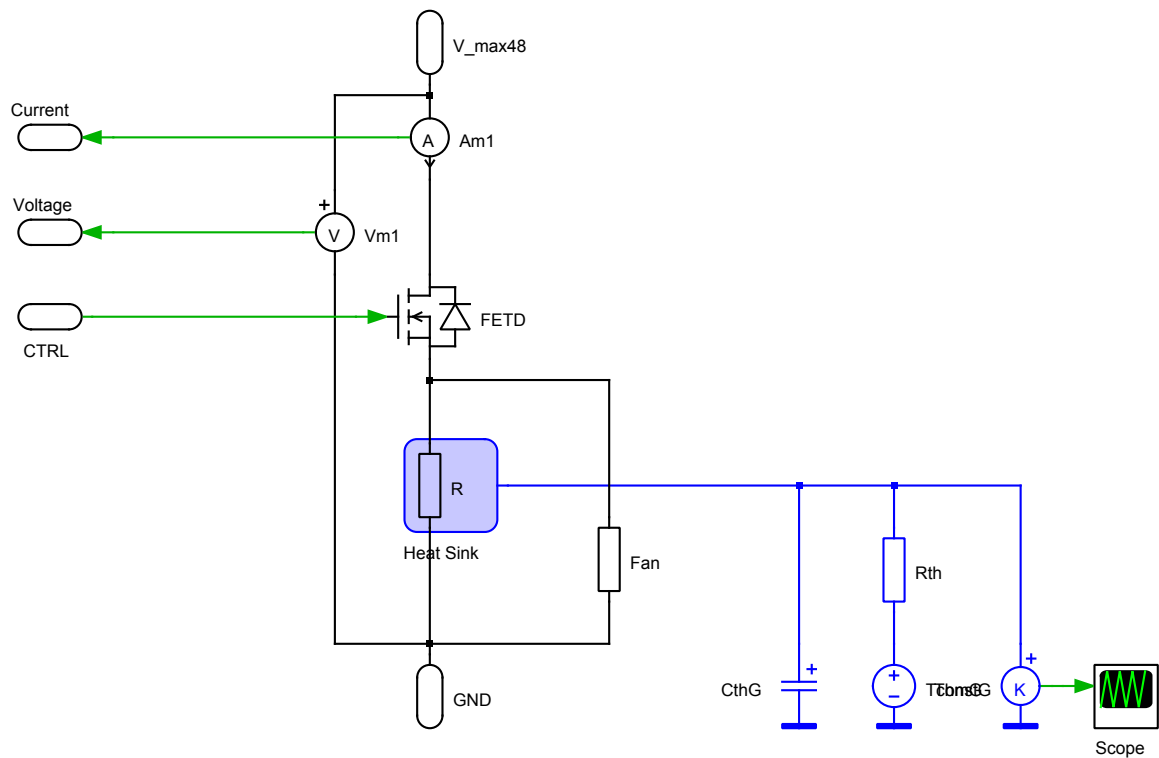
A.1 Innhold på CD

- skjemategninger - Bestilling av kretskort

B Simuleringsmodeller i plecs

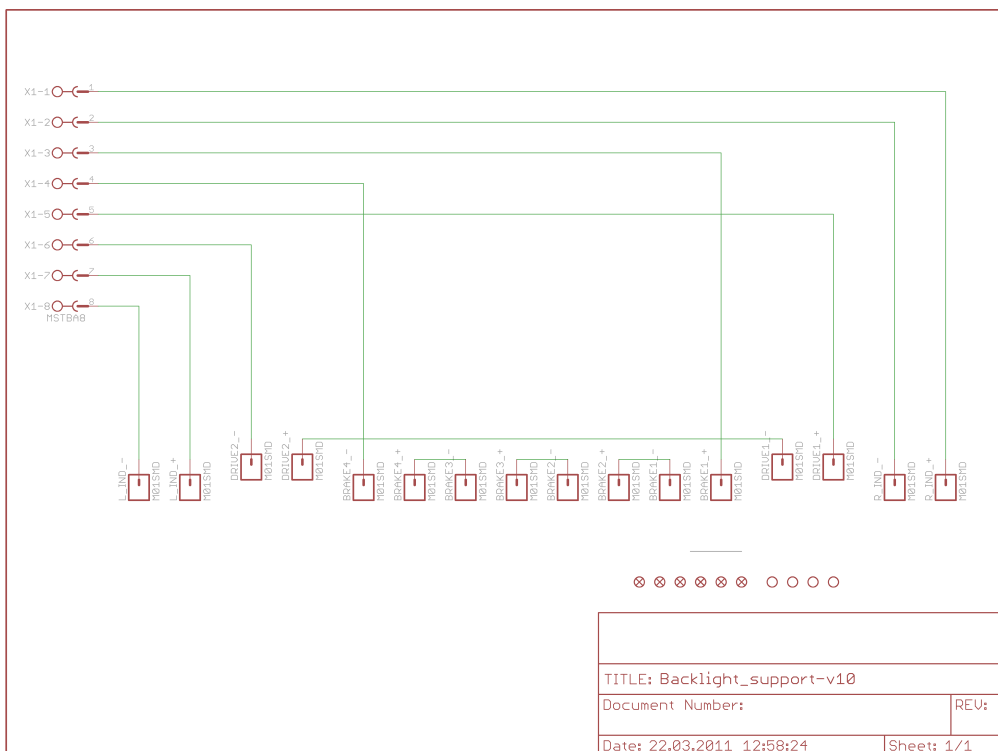


Figur 38: DC/DC-omformer modell

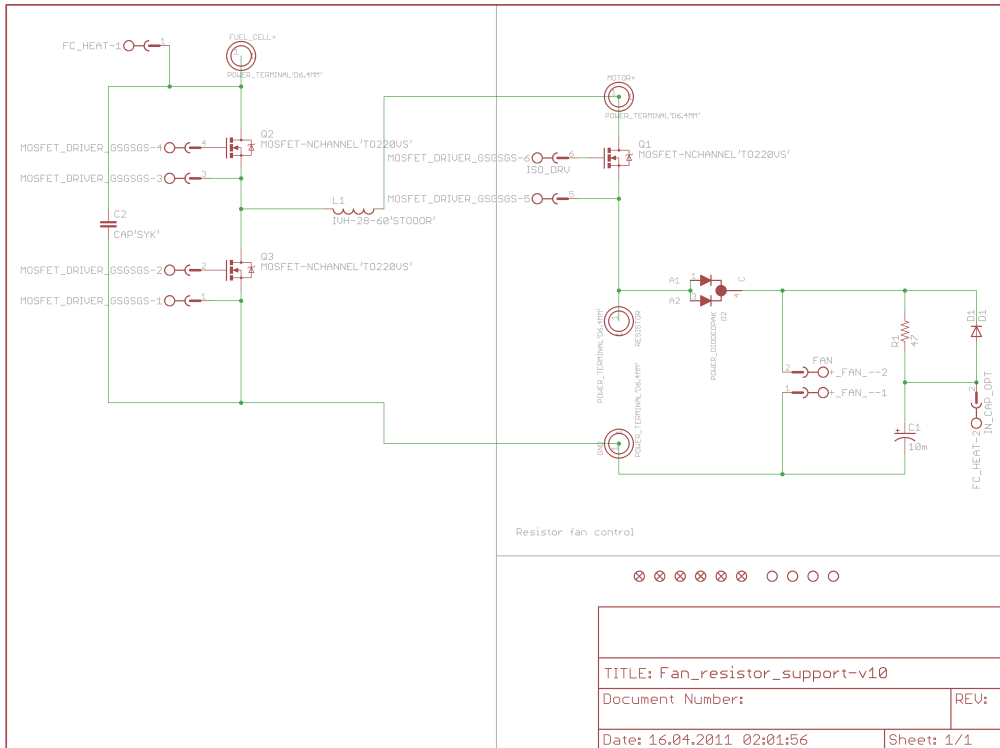


Figur 39: Overspenningsvern modell i ples

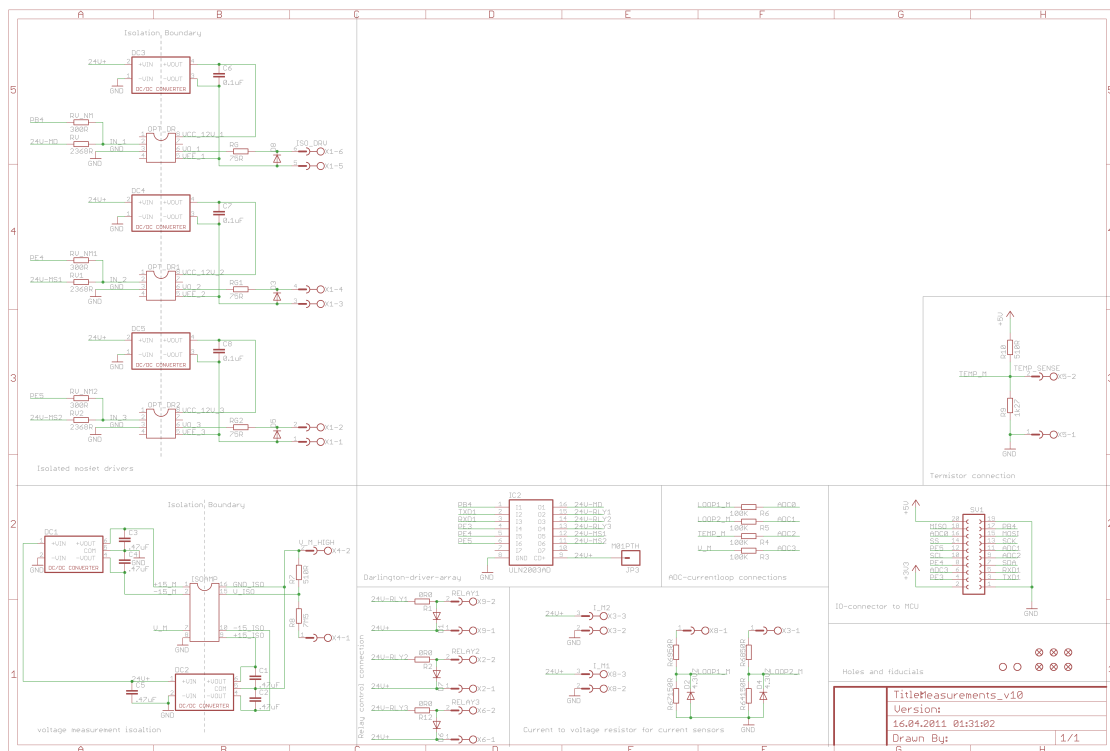
B.1 Skjemategninger i eagle



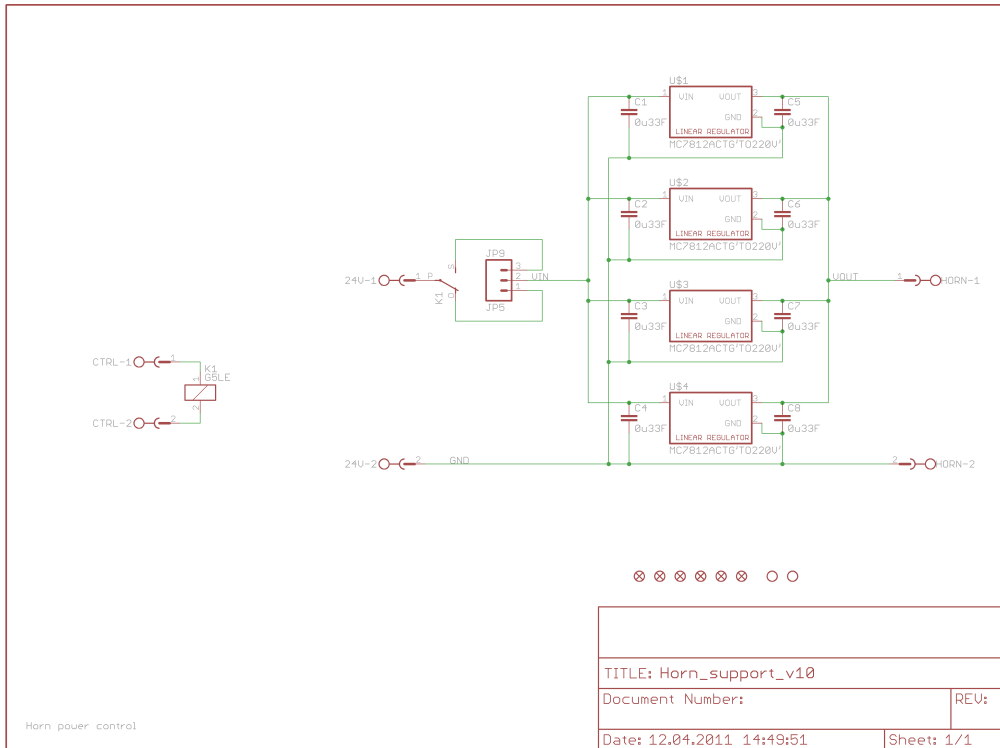
Figur 40: Kretsskjema for kort til baklystilkobling



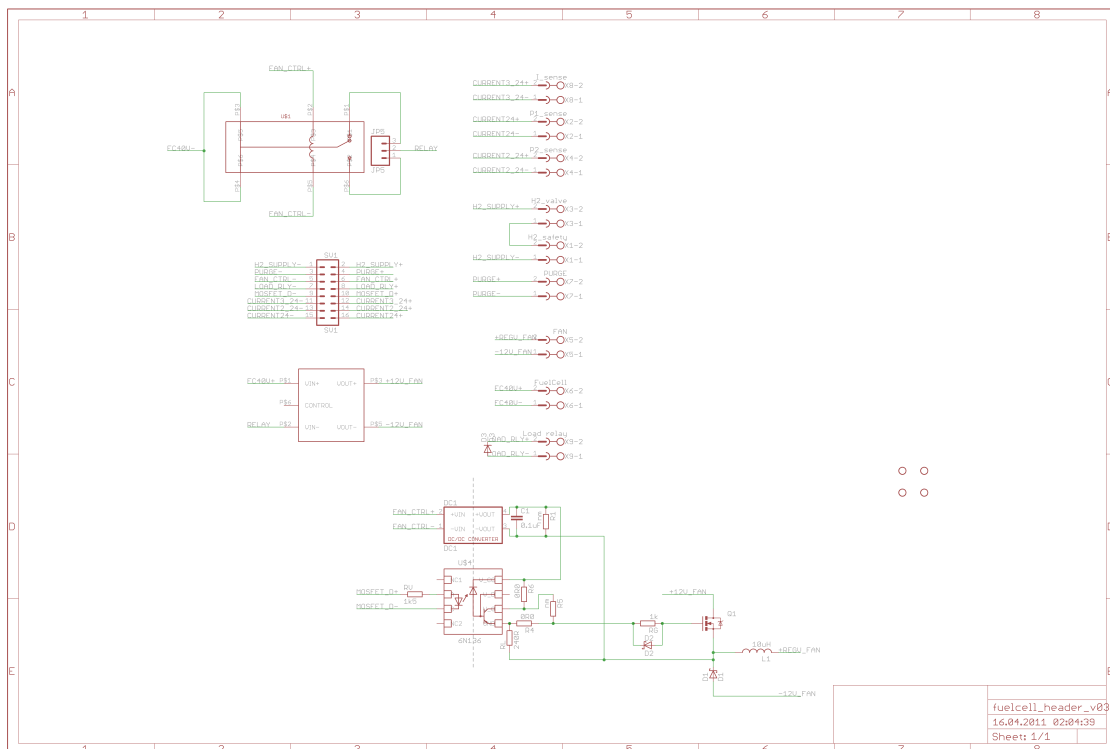
Figur 41: Kretsskjema for kort til overspenningsvern og DC/DC-omformer



Figur 42: Kretsskjema for kort til måling og effektkontroll



Figur 43: Kretsskjema for kort til styring av tuta



Figur 44: Kretsskjema for nytt brenselcelle header-kort