UiT
NORGES
ARKTISKE
UNIVERSITET

Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi
Institutt for elektroteknologi

Electrical Power System on a small satellite

Strømforsyning på en småsatellitt

Waritsara Srikhong, Fanuel Beyene og Dan Bahadur Shrestha Newar

IHP1603 Bacheloroppgave i Elkraftteknikk

Narvik, mai 2021

UNIVERSITETET I TROMSØ

*Denne siden gjort blank med hensyn på dobbeltsidig utskrift

Tittel (norsk): Strømforsyning på en småsatellitt	*Dato:25.05.2021*
Title (english): Electrical Power System on a small satellite	*Gradering: åpen*
Veileder: Hussein Al -Sallami	*Antall sider: 77*
Forfattere: Waritsara Srikhong, Fanuel Beyene og Dan Bahadur Shrestha Newar	*Vedlegg: 3*

Oppdragsgiver: UiT Norges arktiske universitet
Oppdragsgivers kontaktperson: Tom Stian Andersen og Annette Fossli Brustad

Sammendrag:

Oppgaven går ut på å finne ut på å utforske mulige ingeniørløsninger til vesentlige problemstillinger innenfor temaet strømforsyning og distribusjon system ved bruke av COTS komponenter. For å blir kjent med batterilading og effektdistribuering i romsystemer. Dette skal også evalueres eksisterende COTS teknologier for solcellepaneler og batteri til å bruke i romfart. Dessuten skal lages prototyping av et ladesystem med kretser for batterimonitorering og prototying av efffektdistribuerende kretser med strøm -og spenningsmonitorering.

Abstract:

The project aims to explore possible engineering solutions to significant problems within the theme electrical power system of a small satellite, using commercial off-the-shelf (COTS) components. To get acquainted with battery charging and power distribution in space. It also evaluates the existing COTS technologies for solar panels, batteries, and charging systems for use in aerospace. In addition, the project suggests circuits for battery monitoring and circuits with current and voltage monitoring.

Forord

Hovedoppgaven markerer slutten av bachelorutdanningen innen elkraftteknikk ved UiT Narvik avdeling elkraft. Formålet for denne oppgaven er å bygge opp strømforsyning og distribusjon system på en småsatellitt. Denne oppgaven skal også teste prototypen av ulike komponenter med kretser om det fungere.

I siste har det vært mer og mer bruk småsatellitt i det siste 10 år. Derfor er vi tre elkraftingeniørstudenter som har stor interessert i strømforsyning og distribusjon system på en småsatellitt. Det kunne har vært lærerik å lage effektsystem til satellitten der i rommiljø som man må hensyn til mange faktorer enn i jorda.

Vi vil først og fremst takket vår oppdragsgiver Tom Stian Andersen og Annette Fossli Brustad UiT Norge Arktiske Universitet, studiested Narvik. Her vil vi takke for ansvarlig for Ketil Hansen og Johny Tokle som bidrar med lab utstyr. Vi vil gjerne å takke til Alexander Pankratov at han anbefaler en spennende og lærerik oppgave til oss. Vi virkelig vil si takk til våre veiledere Hussein-Al- Sallami. Han har stilt seg til rådighet for å hjelpe oss med faglig utfordringer gjennom hele prosjektet. Han har også hjulpet oss med å reflektere og stille spørsmål undervise. Dette har gitt oss selvstendig tankegang hvordan vi går framt for oppgaven.

Narvik, 25. Mai. 2021

Waritsara Srikhong

Dan Bahadur Shrestha Newar

Fanuel Beyene

Innhold

Sammendrag xi
Forkortelser xii
1 Innledning 1
1.1 Bakgrunn for oppgaven 1
1.2 Problemstilling 1
1.3 Et annet problem 1
1.3.1 Romstråling 2
1.3.2 Temperatur i rommet 2
1.3.3 Vakuum 3
1.4 Avgrensing av problemstilling 3
2 Framgangsmåte 4
3 Litteraturstudie 4
3.1 Småsatellitt 4
3.2 Batterilading 7
3.3 Effektdistribuering 8
3.3.1 Litteraturstudie om forskjellige EPS-system 8
3.3.2 Sentralisert mot distribuert arkitekturer 10
3.3.3 Strømforsyning typer 10
3.3.4 Busspenning 10
4 Teori og evaluering av komponentene 11
4.1 Teori om batteri 11
4.1.1 State of charge 12
4.1.2 State of health 12
4.2 Evaluerer av batteriladning 13
4.2.1 Batteri i rommet 13
4.2.2 Ladestrategi av litium-ion batteri 14
4.2.3 Konstant spenning (CV) 14
4.2.4 Konstant strøm - konstant spenning (CC/CV) 14
4.2.5 A123 system nanofosfatbatterier 15

4.3 Teori om solcelle 16
4.3.1 Solcelle typer 18
4.3.2 Virkningsgrad 18
4.3.3 IV og PV karakteristikk 18
4.4 Evaluering av solcelle 19
4.4.1 I rommet 19
4.4.2 Solcelle på jorda 20
4.5 Teori om DC/DC spenningsregulering 21
4.5.1 Lineærregulering 21
4.5.2 Bryterregulering 22
4.5.2.1 Buck konverter 22
4.5.2.2 Boost konverter 23
4.5.2.3 Buck-Boost konverter 25
4.6 Evaluering av spenningsregulator 25
4.7 Telemetri 26
4.8 Teori og evaluering av sensorer 27
4.8.1 Strømsensor 27
4.8.2 Spenningssensor 28
4.9 Operasjonsforsterker (Op-amp) 28
4.10 Nyttelast 29
4.11 Lastbeskyttelse 29
4.12 Strømforsyning og distribusjon system (EPS) 31
4.12.1 Sentralisert Arkitektur 32
4.12.2 Desentralisert Arkitektur 32
4.12.3 DET og non-DET (PPT, MPPT osv.) 33
5 Design av strømforsyning og distribusjon system 33
5.1 Batteripakke 35
6 Test og diskusjon. 36
6.1 Prototypen av ladesystem med krets for batterimonitorering. 36

Dette er en batterimonitorering krets som simulering med LTspice viser på figur 0.1Kretsen består av to inngangsspenninger og to utgangsspenninger. Dermed den ene

inngangsspenningen 3,3 V hører til utgangspenning for batteri1 og den andre inngangsspenningen 3 V hører til utgangspenning for batteri 2. 36
6.2 Prototypen av strømmonitorering 40
6.3 Prototyping av lineære spenningsregulator 44
6.4 Prototyping av terminal negativ spenningsregulator 48
6.4.1 Diskusjon om lineære spenningsregulator 52
6.4.2 Diskusjon om terminal negativ spenningsregulator. 53
7 Diskusjon 53
8 Konklusjon 56
8.1 Veien videre 56
9 Bibliografi 57
10 Vedlegg 64

Figurliste

Figur 1.4.1: Flytskjema for fremgangsmåte 4
Figur 4.2.1: CC/CV kurve[40, s.13] 15
Figur 4.2.2: Utladingkurven av123 APR18650M1A batter cell. Test utført av NASA [23, s.11] 16
Figur 4.3.1: Forskjell i båndgap mellom valensbånd og ledningsbånd til isolator, halvleder og leder [28, s3] 17
Figur 4.3.2: Ekvivalent krets av en solceller [34] 17
Figur 4.3.3: IV og PV-kurve for en solcelle med MPPT [34] i Excel 19
Figur 4.4.1: (a) Triple-Junction PV-Cell stacking up med AutoCAD[29],, (b) De forskjellige lagene har forskjellige med AutoCAD[28,s5], (c) virkningsgrad til de forskjellige lagene mot bølgelengden[28,s5] 20
Figur 4.5.1: LDO regulator med Negativ kanal MOSFET 22
Figur 4.5.2: Grunnleggende Buck konverter krets 23
Figur 4.5.3: Grunnleggende Boost konverter krets 24
Figur 4.5.4: Strømbane når bryteren er slått på 24
Figur 4.5.5: Strømbane når bryteren er slått av 25
Figur 4.5.6: Grunnleggende Buck-Boost konverter krets 25
Figur 4.9.1: Operasjonsforsterker diagram av LTspice [42]. 29
Figur 4.11.1: Typisk egenskaper referanseskjema for TPS2400[78] 30
Figur 4.11.2: Typisk aplisering av overstrøm beskyttelse [77] 31
Figur 4.12.1: Electrical power system (EPS) block diagram 31
Figur 4.12.2: Strømforsyning (EPS) Sentralisert Arkitektur 32
Figur 4.12.3: Strømforsyning (EPS) Desentralisert Arkitektur 32
Figur 4.12.1.1: Blokk diagram for hele EPS-system på småsatellitt [72, s.3]. 34
Figur 4.12.2.1: Strømforsyning og distribusjon system (EPS) for dette prosjektet 35
Figur 5.1.1: Batterioppsatt 35
Figur 0.1: Simulering av batterimonitorering krets med LTspice 36
Figur 0.2: Resulter for batterimonitorering sine utgangsspenning til batteri1 og batteri 2 37
Figur 0.3: Prototyping av batterimonitorering med krets 38
Figur 0.4: Resultat av batterimonitorering lest fra Oscilloskopet 38
Figur 6.2.1: Simulering strømmonitorering krets med LTspice 40
Figur 6.2.2: Resultat av inngangsspenning av strømmonitorering 41
Figur 6.2.3: Resultat av inngangsspenning av strømmonitorering. 41
Figur 6.2.4: Resultat av utgangsspenning av strømmonitorering. 42
Figur 6.2.5: Protyping av strømmonitorering 42
Figur 6.2.6: Resultatene av strømmonitorering fra Oscilloskopet 43
Figur 6.3.1: Lineære spenningsregulator krets av LTspice. 44
Figur 6.3.2: Resultater av inngangsspenning og utgangsspenning av lineære regulator 45
Figur 6.3.3: Prototyping av Lineære spenning regulator 46
Figur 6.3.4: Resultater av lineære spenning regulator 47
Figur 6.4.1: Simulering av terminal negativ spenning regulator av LTspice 48
Figur 6.4.2: Resultater av terminal negativ spenning regulator 49
Figur 6.4.3: Prototyping av terminal negativ spenning regulator. 50
Figur 6.4.4: Resultater av terminal negative spenning regulator av Oscilloskop 51

Tabelliste

Tabell 1.3.1: Driftstemperatur for STEP Cube Lab-komponenter [19] 3
Tabell 3.1.1: Småsatellitt masse klassifikasjon 5
Tabell 3.1.2: List av småsatellitter og småsatellitt konstellasjoner som ble lansert for jordobservasjon før 2009 5
Tabell 3.1.3: list av CubeSat konstellasjoner som har blitt lansert i 2021 6
Tabell 3.2.1: Sammenligne litteraturstudier om batteri teknologi 7
Tabell 3.3.1: CubeSat anmeldelse 9
Tabell 3.3.2: Sentralisert mot distribuert arkitekturer 10
Tabell 3.3.3: Strømforsyning typer 10
Tabell 3.3.4: Busspenninger 10
Det er mange forskjellige materialer som kan brukes i batteri som elektroder eller elektrolytter. Litium-ion batteri er det mest vanlig å bruke på satellitt. Tabell 4.2.1 nede som viser ulike batterikjemi. I litium-ion batteri er reduksjonsprosessen, der litiumionene blir kombinert med elektronene i katoden, ganske langsomme. Det finnes mange ulike typer batteriteknologi i dag. 13
Tabell 4.2.1: Sammenligning av batterikjemi [28, s.21] 14
Tabell 4.4.1: Ulike solcellepanel på jorda 20
Tabell 0.1: Sammenligner resultater mellom simulering og laben 39
Tabell 6.2.1: Sammenligner resultater mellom simulering og laben av strømmonitorering 43
Tabell 6.3.1: Sammenligner resultater mellom simulering og laben av lineære spenning regulator 47
Tabell 6.4.1: Sammenligner resultater mellom simulering og lab av terminal negativ spenning regulator 51
Tabell 6.4.2: Sammenligner resultater mellom simulering og laben av strømmonitorering 52
Tabell 6.4.3: Sammenligner resultater mellom simulering og laben av lineære spenning regulator 52
Tabell 6.4.4: Sammenligner resultater mellom simulering og lab av terminal negativ spenning regulator 53

Sammendrag

Problemstillingen går ut på å bygge strømforsyning til en småsatellitt ved bruk av elektronikk komponenter som finnes i vanlig elektronikk marked og som har lav pris. Hensikten med oppgaven er til å bli kjent med Electrical Power System (EPS) for en småsatellitt og forstå det samspill som skjer mellom solcelle, batteri og last. Og deretter evaluere komponenter som har lav pris men som også robust og passelig for EPS-en.

Oppgaven kan deles i 5 hovedkapitler: innledning, litteraturstudie, komponent evaluering, protyping av ladesystem - og effektdistribuering, og konklusjon.
I innledningsavsnitt vi går gjennom oppgavens bakgrunn, beskriver problemstillingen og nevner oppgavens avgrensninger. Deretter vi studerer de etablerte metoder for batterilading og effektdistribuering i romsystemer. Neste vi evaluerer solceller, batteri og spenningsregulatorer for EPS-en, siden komponent var ikke opprinnelig bygget for satellitter bruk, vi måtte være veldig nøye med evaluering. I neste to deler, vi tegner kretser for batteriladning og effektdistribuering og tester kretsene på laboratorium. Til slutt vi avslutte med å diskutere det resultater vi fikk i laboratoriet.

Vi kunne ikke lansere en småsatellitt for å se hvordan EPS-en vår ville fungere i romfartsmiljø, men testing - og simulerings resultatene viser at den ville fungerer bra.

Forkortelser

COTS	Commercial Off-The-Shelves
DET	Direct Energy Transfer
EPS	Electrical Power System
LDO	Low Drop Voltage
Li-ion	Lithium ion
Li-Po	Lithium Polymer
MPPT	Maximal Power Point Tracking
Si	Silicon

1 Innledning

1.1 Bakgrunn for oppgaven

Målet fra Stortinget 2019-2020 Høytflyvende satellitter-Jordnære er at Norge skal fokusere på romvirksomhet. Andøya rakettskytefelt har blir støttet med 365 millioner [32] til å utvikle sine oppskytningsmuligheter til å innefatte plassering av småsatellitter i lav baner. Dette åpner for muligheter for både utdanningssektoren og det kommersielle markedet i Norge. UiT Narvik har startet et studentsatellittprosjekt. Formålet er å bygge opp småsatellitter til bruk i utdanningssektoren. Siden campus Narvik har erfart fra NCUBE I&II og HiNCube, er campus klar til å gjøre et nytt prosjekt. For at gruppen skal komme fram til gode løsninger til de problemstillingene som oppstår i et slikt prosjekt behøves det mye planlegging og eksperimentering. Ifølge de strenge standardene på ytelse i romsystemer, brukes det som regel dyre komponenter for bygging av satellitt. I løpet av de siste ti årene har muligheten for å bygge opp en billig satellitt, ved å bruke av Commercial Off-The-Shelves' (COTS) komponenter, blitt mer realistisk. Fortsatt så må satellittsystemene testes slik at en vet at COTS komponentene kan overleve de påkjenningene i rommet. For eksempel trykk, temperatur, stråling, støv og meteoritter osv. som oppleves i lavbaner. I denne hovedoppgaven skal vi utforske mulige ingeniørløsninger til vesentlig problemstillinger innenfor temaet strømforsyning og distribusjon system ved bruk av COTS komponenter.

1.2 Problemstilling

Prosjektet går ut på å bygge strømforsyning- og distribusjonssystem til en småsatellitt. Ifølge standarder på ytelse og robusthet kreves det som regel dyre komponenter som er bygd for å tåle påkjenningene som finnes i rommet. Ved å bruke COTS komponenter går det ant å designe små og billige strømforsyning på en satellitt. I denne oppgaven skal vi undersøke strømforsyning og distribusjon ved bruk av COTS komponenter.

1.3 Et annet problem

I rommet har et spesielt miljø derfor må man være nøye å vurdere av elektroniske komponenter og materialer tåler dette miljøet. Det er viktig å velge de riktige materialene til

satellitten slik at de elektroniske komponentene overlever. Det er tre hovedfaktorer som påvirker elektronikk negativt i rommet. Den første er romstråling som elektromagnetisk stråling og høyenergipartikkelstråling. Den andre faktoren er de store temperaturvariasjonene i rommet. Den tredje faktoren er mangelen på trykk og luft, som kan skade deler som inneholder væsker eller andre ekspanderende materialer. Utenom disse faktorene må vi også se på pris.

1.3.1 Romstråling

Stråling er en form for energi som sendes ut i form av elektronetiske bølger og/eller partikler [20]. Rommet er fullt av stråling, for eksempel elektromagnetisk stråling og høyenergi partikkelstråling. Romstråling består av atomer der elektroner er blitt fjernet mens atomet akselerer i det interstellare rommet til hastighet som nærmer seg lysets hastighet. Strålingen kan ha negative effekter både på biologiske og mekaniske systemer [20]. Denne strålingen kan på forskjellige måter avbryte satellittens kommunikasjonssystemer og skade elektronikk, sensorer og solcellepaneler [21].

1.3.2 Temperatur i rommet

I rommet fungerer ikke konveksjon eller konduksjon på grunn av vakuum, som fører til mangel på luft. Det er bare direkte stråling som har noen påvirkning. Konduksjon er transport av varm gjennom et stoff. Den foregår ved at bevegelsenergi overføres mellom partiklene i stoffer [39]. Konveksjonen er å flytte varme, energi eller elektrisitet fra et sted til et annet ved hjelp av væske eller gass. Siden konveksjon og konduksjon ikke har noen innvirkning fører det til veldig høye og veldig lave temperaturer. Når satellitten er på siden av jorden som blir utsatt for sol blir den være veldig varm.
Derimot når den er på den siden av jorden der det ikke er sol vil den bli veldig kald. Grunnen til dette er mangelen på varmespredning som gjør at varmen ikke sprer seg. Disse store temperatur forskjellene kan skade komponentene. Derfor har satellittene en indre struktur som gjør slik komponentene ikke blir utsatt for varmestråling. Tabell 1.3.1 viser eksempler på hvordan man velge de komponentene ved å hensyn til temperatur i rommiljø. Vi tar hensyn til stor forskjell temperatur derfor velger vi de komponenter som tåler temperatur mellom - 40 til +125 grader °C. Tabell 1.3..1 nede er et eksempel for å velge de komponentene.

Tabell 1.3.1: Driftstemperatur for STEP Cube Lab-komponenter [19]

Enhet	Varmespredning [W]	Tillatt temperaturområde [°C]	
		T_{min}	T_{max}
EPS-kort	0.10	-40	+85
Batteri	0.60	-20	+60
Grensesnittkort	0.03	-40	+85
komunikasjontavle	0.27	-30	+60
OBC-kort	0.11	-40	+85
GPS-kort	0.27	-40	+85
MEMS kontrollkort	0.01	-35	+60
Solcellepaneler	-	-100	+100
SEC	-	-70	+80
HRM	-	-35	+50
MEMS-thruster	-	-35	+60

1.3.3 Vakuum

Vakuum er et rom som ikke inneholder noe materie og derfor har ikke noe trykk [38]. Mangelen på trykk påvirker de drift flytende komponenter fordi fordampingshastigheten til væske avhenger av trykk. Ved lavere trykk fordamper væsker mye fortere. [40, s.17].
På grunn av fordamping i vakuumet kan noen typer plast ikke brukes [40]. En god løsning for at væske ikke skal fordampe er å velge komponenter som inneholder væske i et trykkammer som holder trykket på et konstant valgt nivå. Problemet med trykkammer er at det øker vekten og kostnadene.

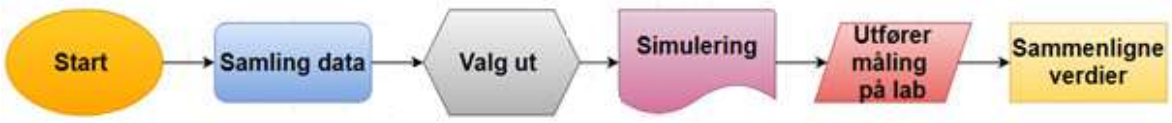
1.4 Avgrensing av problemstilling

Oppgaven går i hovedsak ut på småsatellittens (CubeSat) komponenter skal tilføres energi. Vi som gruppe skal i hovedsak utføre prosjektet etter målet til oppgaven. Vi vil fullføre det ved å gjøre:

- Litteraturstudie om etablerte metoder for batterilading og effektdistribuering
- Evaluere eksisterende COTS teknologier for solcellepaneler og batteri til bruk i romfart.
- Simulering og prototyping av et ladesystem med krets for batterimonitorering
- Simulering og prototyping efffektdistribuerende krets med strømmonitorering
- Simulering og prototyping lineær spenningsregulator med kretsen.
- Simulering og prototyping terminal negativ spenningsregulator med krets.

Satellitten skulle egentlig testes med to forskjellige inngangsspenninger, 5 V og 3,3 V, men i vårt prosjekt skal vi kun fokusere på 3,3 V. Vi vil heller ikke se på mikrocoltroll (MCU) og I2C. Grunnen til at vi har valgt bort disse delene er mangel på tid.

2 Framgangsmåte



Figur 1.4.1: Flytskjema for fremgangsmåte

For å gi god oversikt over framgangsmåten vi har brukt har vi valgt å lage et flytskjema som viser hvordan vi har løst oppgaven.
Vi startet med litteraturstudier om strømforsyning og distribusjonssystem på småsatellitt, samt samling av komponent data. Etter det valgte vi ut komponenter som ville passe til prosjektet. Det ble tatt hensyn til at komponentene skal tåle rommiljøet og at de har en rimelig pris. Så ble det foretatt manuelle utregninger på komponentene, og deretter simuleringer av kretser på LTspice. Deretter ble prototypen testet på laben. Til slutt ble lab- og simuleringsresultatene sammenlignet og drøftet.

3 Litteraturstudie

3.1 Småsatellitt

Sporing av flyer og skiper, detektering av utslipp i haver, måling av fuktighetsnivåer, observering av havets saltholdighet, kommunikasjon, og mange andre avhenges på småsatellitter. Alle satellitter som veier mindre enn 500 kg kalles småsatellitter, og basert på massen småsatellitter kan deles i 7 grupper [49, 50]. Gruppe deling vi kan se i tabell 3.1.1 [50].

Tabell 3.1.1: Småsatellitt masse klassifikasjon

Navn	Min størrelse	Maks størrelse
Mini – satellitt	100 kg	500 kg
Mikro – satellitt	10 kg	100 kg
Nano – satellitt	1,0 kg	10 kg
Pico – satellitt	0,1 kg	1,0 kg
Femto – satellitt	10 g	100 g
Atto – satellitt	1,0 g	10 g
Zepto – satellitt	0,1 g	1,0 g

I NanoSat, det finnes en type småsatellitter som kalles CubeSat. CubeSat bruker en standard størrelse og formfaktor som kalles 'en enhet' eller '1 U'. 1 U (U står for unit) er lik 10x10x11,35 cm, dette kan utvides til større størrelser for eksempel til 1,5 U, 2 U, 3 U, 6 U, 12 U, og 1 U veier rundt 1,33 kg. CubeSat brukes ofte COTS komponenter, og som vil si komponent som kan lett bestilles i en vanlig elektronikk marked og dette gjør dem billige å bygge [50, 51] [52, s.23].

De første småsatellitter ble lansert i periode 1957-1969, men ble populært litt senere i 1980 tallet. I periode fra 1980-1999, 238 mini-SAT og 249 mikro-SAT ble lansert, og 37,1 % av disse var for kommersielle, 35 % for militær, 17 % for myndighetens bruk, 6 % for universitet og 5 % andre. Og av disse 69 % hadde kommunikasjon applikasjoner, 15 % for vitenskap, 11 % for teknologi testing, 2 % for militær, 2 % for satellittsstudie og 1,4 % var for jordobservasjon [53, s.4340-4341].

Tabell 3.1.2 viser list av småsatellitter og småsatellitt konstellasjoner som ble lansert før 2009 for jordobservasjon, og som har hatt stor påvirkning inni jordobservasjon feltet.

Tabell 3.1.2: List av småsatellitter og småsatellitt konstellasjoner som ble lansert for jordobservasjon før 2009

Navn	Organisasjon/ land	Objektiv	Lansert	Kilde
Bispectral InfraRed Detection (BIRD)	Tyskland	Hot spot og brann deteksjon	2001 – 2004	[53, s.4346 og 4356]
Infra-Red minisatellite Unit for Terrestrial Environment (IRSUTE)		Miljøovervåking og landoverflate undersøkelse		[53, s.4358]

Tiungsat - 1	Malaysia og stor Britannia	Miljøovervåking og landoverflate undersøkelse		[53, s.4358]
AISAT-1	Algeria	Miljøvern og overvåking av katastrofer (del av DMC konstellasjon)	Nov. 2002	[53, s.4362]
BilSAT	Turkey	Miljøvern og overvåking av katastrofer (del av DMC konstellasjon)	Sep. 2003 – Aug. 2006	[53, s.4362]
NigerianSAT-1	Nigeria	Miljøvern og overvåking av katastrofer (del av DMC konstellasjon)	Sep. 2003	[53, s.4362]
UK-DMC	Stor Britannia	Miljøvern og overvåking av katastrofer (del av DMC konstellasjon)	Sep. 2003	[53, s.4362]
Beigin-1	Kina	Miljøvern og overvåking av katastrofer (del av DMC konstellasjon)	Okt. 2005	[53, s.4362]
RASAT	TUBITAK UZAY, Turkey	Jordobservasjon	2008	[53, s.4351]
RapidEye	RapidEye AG, Tyskland	Jordobservasjon	Vår 2008	[53, s.4351]
COSMOS-SkydMed	Italia	Jordobservasjon	2007	[53, s.4351]
Haunjing constellation	NDRCC/SEPA, Kina	Miljø og katastrofe overvåking	2006	[53, s.4351 og s.4361]

Tabell 3.1.3 viser list av CubeSat konstellasjon som er planlagt til å bli lansert ut over 2021. Som vi kan se i tabellen mest av de konstellasjoner er for jordobservasjon felt og en av dem for kommunikasjon.

Tabell 3.1.3: list av CubeSat konstellasjoner som har blitt lansert i 2021

Organisasjon	Lansert / planlagt størrelse	Formfaktor	Felt	Kilde
Sateliot	1/100	3 U	Kommunikasjon	[54] [73]

Telnet	1/?	3 U	Jordobservasjon, skip sporing	[54] [74]
Care weather	1/50	1 U	Jordobservasjon – vær	[54] [75]
GP Advanced projects (FEES)	1/?	0,25 U	Jordobservasjon	[54] [76]

Lansering og størrelsen er de største ulemper på en småsatellitt, det er dyrt å lansere, av og til like dyrt som en vanlig satellitt og det små størrelsen oversettes til at lasten må være lite. Men småsatellitter har en rask respons og kort behandlingstid og dette fordelen har gjort dem mer brukbare enn de store satellitter i felter som jordobservasjon [53, s.4340 og s.4368]. Fra til 2020 mer enn 1200 CubeSat/NanoSat har blitt lansert og det var planlagt å lansere ca. 300 mer i 2020 [4, s.1].

Mottoet og målene til romfartøyinstitusjonen som National Aeronautics and Space Administration (NASA) og European Space Agency (ESA) viser oss at det å stole på småsatellitter vil øke kraftig, for småsatellitter er det beste og rimeligste løsning på å observere jorden og teste nye teknologier. Og ikke minst for småsatellitter hjelper lander som er i utvikling for å forstå og få erfaring om satellitt bygging og for å bli kjent med romvirksomheten [53, s.4341 og s.4345] [55, s.1].

3.2 Batterilading

Tabell 3.2.1 viser ulike batteriteknologi der det har blitt valget til å bruke i forskjellige litteraturer. De velger et teknologisk batteri som passe bra i hvert sitt prosjekt. De fleste av litteraturstudier velger dem Litium-ion batteri. LiFePo4 er mest populært for småsatellitter fordi LiFePo4 gir høy energitetthet og stort antall ladesykluser. Den er lett og mindre størrelse da passer det bra for en småsatellitt.

Tabell 3.2.1: Sammenligne litteraturstudier om batteri teknologi

Teknologi	Model	Ah per stk.	V per stk.	Litteratur	Kilde
LiFePo4	A123 APR18650M1A	1,1	3,3	Electrical Power System of the NTU Test Satellite	[40, s.7]

LiFePo4	A123 APR18650M1A	1,1	3,3	Design and Implementation of the Electrical Power System for The CubeSTAR Satellite, University of Oslo.	[23, s.9]
Litium Polymer	-	-	3,6	A modular electrical power system architecture for small spacecraft, University of Kentucky Uknowledge.	[24, s.20]
LiFePo4	A123 APR18650M1A	1,1	3,3	Electrical Power System for the CubeSAR Nanosatellite, University of Oslo.	[44, s.41]
Litium ion	-	-	3,6/3,7	CubeSat electronic power system, Santa Clara University	[45, s.7]
Litium ion	-	-	3/4,2	Design and implementation of EPS (electrical power system) of a CubeSat	[46, s.26]
Litium ion	Panasonic CG18650HG	1,8	3,6	Electrical Power System for Finnish Nanosatellites.Aalto Universitty school of Engineering.	[47, s.53]
Li-Po	-	0,56	3,7	Electrical Power System (EPS), University Neuchatel.	[48, s.46]

3.3 Effektdistribuering

3.3.1 Litteraturstudie om forskjellige EPS-system

Tabell 3.3.1. viser navn av forskjeligger CubeSat-er, organisasjoner navn som laget Cubesatene, størrelse på CubeSat-er. Typer av arkitektur som brukte på CubeSat-er, hvilken CubeSat har brukt sentralisert og distribuert, nummer av busser som vil si hvor mange busser å bruke på en CubeSat og buss spenning på CubeSat. [36, s.16]

Tabell 3.3.1: CubeSat anmeldelse

Navn	Organisasjon	Størrelse	Arkitektur	Dist/Sent	# av Busser	Bus Spenning
CUTE-I	Tokyo Institute of Technology	1U	DET	Sentralisert	3	5R, 3.7bat, 3.3R
XI-IV	University of Tokyo	1U	DET	Sentralisert	3	5R
XI-V	University of Tokyo	1U	DET	Sentralisert	4	5, 3.8bat
CanX-1	University of Toronto, Canada	1U	DET/PPT			
CanX-2	University of Toronto, Canada	3U	DET			
DTUsat	University of Denmark	1U		Destribuert	1	3.6R
AAU	Alborg University, Denmark	1U	MPPT	Sentralisert	1	5R
QuakeSat	Stanford University	3U	DET	Sentralisert		5R, -5R
Ncube 1	Norwegian University of Science and Technology	1U				
Ncube 2	Norwegian University of Science and Technology					
UWE-1	University of Wurzburg, Germany	1U	PPT			
CUTE-1.7	Tokyo Institute of Technology	2U	PPT	Sentralisert	4	3.3R,5R, 6R,3.8Bat
ION	University of Illinoise	2U	PPT			
Sacred	University of Arizona	1U		Sentralisert	2	5R,3.3R
KUTEsat	University of Kansas	1U		Sentralisert	3	5R,3.3R, 12bat
ICE Cube 1	Cornell University	1U	PPT			
RINCON	University of Arizona	1U				
SEEDS 1	Nihon University, Japan	1U	DET		1	5R
SEEDS 2	Nihon University, Japan	1U	DET			
HAUSAT	Hankuk Aviatin University	1U		Sentralisert	3	5R, 3.3R, 3.6bat
MEROPE	Montana State University	1U	PPT	Sentralisert	5	5R,-5R,6R, 8R,5R,5R
AeroCube-1	Aerospace Corporation	1U				
CP2	Cal Poly	1U	PPT	Sentralisert	4	
CP1	Cal Poly	1U	DET	Sentralisert		
ICE Cube 2	Cornell University	1U	PPT			
Mea Huaka	University of Hawaii	1U				
GeneSat-1	Center for Robotic Exploration and Space Technologies	3U				
CP3	Cal Poly	1U	PPT	Distribuert	6	3R,3R,3R,3R,3R, 3.7bat
CP4	Cal Poly	1U	PPT	Distribuert	7	3R,3R,3R,3R,3R, 3.7bat
AeroCube-2	Aerospace Corporation	1U				
CSTB-1	Boeing	1U				
MAST	Tethers Unlimited	3 - 1U				
Cape-1	University of Louisiana	1U				
Libertad-1	University of Sergio Arboleda, Columbia	1U				
Delfi-C3	Delft University of Technology, Holand	3U	DET	Distribuert	1	12R
AAUsat-2	Alborg University, Denmark	1U				
Compass One	Fachhochschule Aachen, Germany	1U	PPT	Sentralisert	3	3.3R,5R,5R
AeroCube-3	Aerospace Corporation	1U				
Hawksat-1	Hawk Institute of Space Sciences	1U				
Pharmasat-1	Santa Clara University, Nasa	3U				
Polysat CP6	Cal Poly	1U				
Aggiesat-2	Texas A&M	1U				
BEVO 1	University of Texas at Austin					
Explorer1Prime	Montana State University					
Hermes	Colorado Space Grant Consortium	1U	DET	Distribuert	4	7.4R,7.4R,5R,3.3R
KySat	Consortium of Kentucky Universities	1U	PPT	Sentralisert	3	12bat,5R,3.3R
AtmoCube	University of Trieste, Italy	1U	DET	Sentralisert	6	3.3R,5R,6R,-6R,-100,3.3R
e-st@r	Politecnico di Torino, Itally	1U	PPT	Sentralisert	3	7.4bat,5R,3.3R
Goliat	University of Bucharest, Romania	1U	DET	Sentralisert	<1	7.4bat, others
OuFTI-1	University of Liege, Belgium	1U	DET	Sentralisert	3	7.2bat,3.3R,5R
DICE	Utah State University	1.5U	PPT	Sentralisert	3	7.2bat,3.3R,5R
Colony 1	Pumpkin	3U	PPT	Sentralisert	3	7.2bat,3.3R,5R

Tabell 3.3.1 viser totalt 52 CubeSat-er, informasjon om strømforsyning ble funnet på 33 av de 52 satellitter. Mesteparten av informasjonen kommer fra universitet og noe informasjon kommer fra annen bedrifter. 32 CubeSat har 1 U størrelse og andre har 1,5 U; 2U; og 3 U. På noen funnet ikke informasjon om størrelse. I denne anmeldelsen har også samlet informasjon

om typer av arkitektur, strømforsyning arkitektur, nummer av busser og bus spenninger. Alle av dem viser ned på tabell 3.3.2, 3.3.3 og 3.3.4.

3.3.2 Sentralisert mot distribuert arkitekturer

Tabell 3.3.2 viser typer av strømforsyning arkitektur. Den har to typer: sentralisert og distribuert. Tabell viser også mengde av sentralisert og distribuert fra gamle CubeSat. [36, s.17]

Tabell 3.3.2: Sentralisert mot distribuert arkitekturer

Strømforsyning Arkitektur Type	Mengde
Sentralisert	20
Distribuert	5

3.3.3 Strømforsyning typer

Tabell 3.3.3 viser mengde av DET og PPT som har brukt på gamle CubeSat-er. DET og PPT er typer av strømforsyning. [36, s.19]

Tabell 3.3.3: Strømforsyning typer

Strømforsyning arkitektur typer	Mengde
Direkte energioverføring (DET)	13
Peak power tracking (PPT)	15
Annen	1

3.3.4 Busspenning

Tabell 3.3.4 viser nummer av Busser og hvor mange mengde som brukte på de gamle CubeSat-er. For eksempel 10 CubeSat-er har brukt 3 busser. Det meste vanlig nummer av busser er 3. [36, s.20]

Tabell 3.3.4: Busspenninger

Nummer av Busser	Mengde
1	3
2	2
3	10
4	4
5	1
6	2

4 Teori og evaluering av komponentene

4.1 Teori om batteri

Et batteri er en komponent som brukes til å lagre energi i kjemisk form. Den består av en eller flere elektrokjemiske celler. Batterier har terminaler i begge ender, kalt anode (-) og katode (+). Inne i batteriet er det en elektrolytt som består av enten løselige salter eller syrer. Elektrolytten fungere som et ledende medium, slik at den elektriske ladningen kan bevege seg gjennom batteriet [1]. Generelt er batterier klassifisert i to typer, primære eller sekundære batterier, avhengig av hvilken type elektrokjemiske celler de er laget av. Primærbatterier, er engangsbatterier som kan kun brukes en gang. Sekundære batterier er oppladbare batterier som kan brukes mer enn én gang, men har en bestemt forventet levetid.

Alle romfartøy som bruker solceller som primær strømkilde, krever et system der de kan lagre energi på, og batterier oppfyller denne rollen. Romfartøyet bruker lagret energi under peak-power demand og/eller når romfartøyet er i eclipse og solcellene kan ikke produsere nok strøm.

Tilgjengelige batteriteknologier inkluderer nikkelmetallhydrid (NiMH), nikkelkadmium (NiCd), litium-ion (Li-ion) og Li-ion-polymer (Li-Po) [2, s.301].

NiMH og NiCd er veldig godt batterier for store satellitter, på grunn av robusthet. Derimot på småsatellitter passer de ikke for de har lav energitetthet. Da den eneste batteriteknologien som er levedyktig for bruk på CubeSat er Li-ion og Li-Po. Dette er på grunn av at Li-ion og Li-Po har høye volumetriske (energi per størrelse) og gravimetriske (energi per masse) energitetthet. Og dette passer bra med CubeSat for at CubeSat er små i størrelse og masse. Andre fordeler med litiumbatterier i forhold til NiMH og NiCd er, lav selvutladningshastighet, høy cellespenning, ingen minneeffekt og lange livssykluser. En ulempe i forhold til andre teknologier som NiCd, må litiumbatterier håndteres tettere med tanke på overladning og temperatur, og kreve dermed mer komplekse overvåkings- og beskyttelseskretser. Egenskapene til Li-ion og Li-Po er nesten like [2, s.301] [3, s.3] [4, s.2-3].

Oppover vi skrev at oppgaven til batteriet er å gi strøm når produksjonen fra solcellene er ikke full nok til å dekke forbruket. Da vi trenger å vite batteritilstand til å sikre at lasten får det strømmen den treng. State of Charge (SOC) og State of Health (SOH), hjelper oss til å overvåke batteritilstand.

4.1.1 State of charge

SOC er en måling som viser hvor mye energi som er igjen i batteriet (målingen vises i prosent), det er nesten som en drivstoffmåler. Dette er nyttig, for man må vite batteriets energitilstand og fra det kan man regne når neste batteriet opplading blir [5, s.1-2] [70].

$$SOC(t) = \frac{Capacity\ Remaning}{Total\ Capacity} = \frac{Q_t}{Q_n}$$

SOC er definert som forholdet mellom det nåværende kapasitet (Q_t) og den nominelle kapasitet (Q_n). Q_t representere det ladningen vi har nå, og Q_n representere det maksimal ladningen som kan lagres i batteriet og den er gitt av produsenten. Dette vil si at hvis batteriet er fullt ladet til 100 Ah og etter noen timer utlader 20Ah, SOC er lik 80 %. Hvis vi er interessert mer på energi som er enn kapasitet, det er viktig å legge merke til at enheten er på amper hours (Ah) og ikke på enhet til energi [5, s.1-2].

Det finnes flere metoder man kan bestemme batteriets SOC på, for å nevne noen [6]:

1. Coulomb counting: måle strømmen som går inn og ut av batteriet. For eksempel ved å bruke shunt strømsensor.
2. Voltmeter metode: måle spenningen når batteriet et åpen og uten belastning. Men dette er dårlig metode for man bør ikke måle SOC mens batteriet er i bruk.
3. Hydrometer metode: måle batteriets kjemi med et hydrometer eller sensor.

Det motsatt av SOC er Depth of discharge (DOD). DOD er forhold mellom nominelle kapasitet og utladet kapasitet, da vi kan utrykke det ved formel [5, s.2]:

$$DOD(t) = \frac{Discharged\ Capacity}{Total\ Capacity}$$

DOD er en alternativ metode for å overvåke batteriets SOC.

4.1.2 State of health

SOH går ut på hvor stor lagring kapasitet batteri har i forhold til når batteriet var helt nytt (begining of life, BOL). Med andre ord, SOH er måling på batteriets evne til å lagre og levere strøm i sammenlignet med batteriets evne i BOL. SOH er definert som forholdet mellom det maksimal batteri kapasitet i dag (Q_{max}) og det nominelle kapasitet [5, s.1-2] [70].

$$SOH(t) = \frac{Total\ capacity\ now\ [Ah]}{Total\ Capacity\ at\ BOL\ [Ah]} = \frac{Q_{max}(t)}{Q_{new}}$$

SOH beskrives den effekten man oppleve når man har 1-2 år gammel mobiltelefon og batteriet begynne å bli tom fort. Når mobilen er helt ny (BOL), SOH er lik 100 % men etter 1-

2 år SOH går ned kanskje til 70 % eller 60 %, og batteri blir svakere og svakere. Dette hjelpe oss til å forstå hvor mye tid batteri har til den dø, og/eller blir ubrukelig.
Et batteri blir svakere med tid, og dette er ved grunn av lading/utladingssyklus. Og indreresistansen til batteriet blir større og større med hver lading/utladingssyklus, og dette føre til spenningsfall og temperatur økning. Da batteriet blir mer resistiv dermed mindre effektiv og generer mer varme under utlading [70] [71, s.667 og s.669].
SOC og SOH har stor rolle når det kommer til estimering hvor lang en elektrisk bil eller en CubeSat kan kjøre/løpe. Vi skrev oppover at SOC er som en drivstoffmåler, dette er ikke helt rett. For å estimere hvor lang en elektrisk bil kan kjøre, først man trenger å gange SOH med bilens maksimale rekkevidde i BOL, og deretter gange svaret med SOC. Så man må forstå hva SOC og SOH er, for å estimere den rette lengden bilen kan kjøre.

4.2 Evaluerer av batteriladning

4.2.1 Batteri i rommet

En satellitt som går i bane rundt jorden vil ikke alltid være i en posisjon der den vil mota solskinn. Mangelen av solskinn vil føre til at solcellene ikke vil produsere energi til satellitten. Uten energi i satellitten vil den være ute av funksjon. Så en må finne en metode for å ha strøm i de mørke periodene.
Det er mest vanlig å bruke oppladbare batterier som energikilde når det er ikke sol. Satellittens banetid er ca. 90 minutter, en tredjedel av tiden vil den være i mørke [23, s.20], der batteriet vil gi energi til satellitten. Batteriene lades av at de får noe av energien solcellene produserer. Det er viktig å velge batterier som har god levetid, toleranse, formfaktor, vekt og kapasitet.
Det er mange forskjellige materialer som kan brukes i batteri som elektroder eller elektrolytter. Litium-ion batteri er det mest vanlig å bruke på satellitt. Tabell 4.2.1 nede som viser ulike batterikjemi. I litium-ion batteri er reduksjonsprosessen, der litiumionene blir kombinert med elektronene i katoden, ganske langsomme. Det finnes mange ulike typer batteriteknologi i dag.
Litium-ion batteri har selv mange forskjellige variasjoner i kjemisk oppbygging tilgjengelig. Den som skal fokuseres på i denne oppgaven er nanofosfatbatteri som er en variasjon på et standard litium ion-batteri.

Som navnet i teorien for batteri det finnes fire ulike batteriteknologi, NiMH, NiCd, Li-ion og Li-Po. De ulike batteriteknologi har det forskjellig energitetthet, stort antall ladesykluser og Nominellcellespenning.

Tabell 4.2.2: Sammenligning av batterikjemi [28, s.21]

Batterikjemi	Energitetthet [Wh/kg]	Stort antall ladesykluser	Nominellcelle spenning [V]
Nikkelkadmium	45-80	1500	1.25
Nikkelmetallhydrid	60-120	400	1.25
Litium-ion	110-160	400-750	3.6
Litiumpolymer	100-130	400	3.6

4.2.2 Ladestrategi av litium-ion batteri

Forskjellige batterier har forskjellige ladestrategier. En ladestrategi er hvordan batterier lades opp. Formålet med ladestrategiene er å forlenge levetiden til batteriet, med å for eksempel forhindre overspenning og /eller overstrøm, slik at batteriene ikke blir skadet. Noen batterier bruker strategier for å løse dette problemet. Det finnes flere forskjellige ladestrategier. Noen av de vanligste er CV og CC/CV.

4.2.3 Konstant spenning (CV)

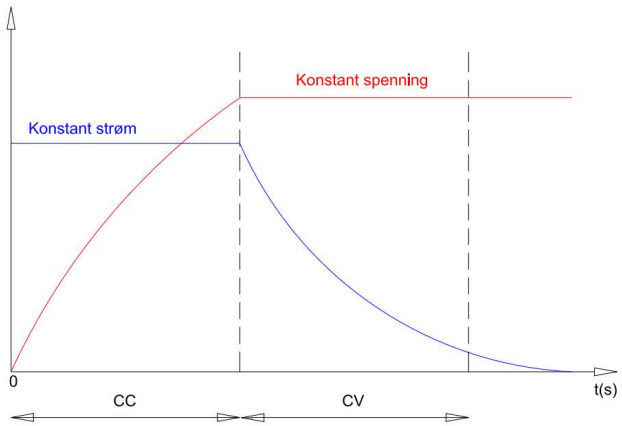
Konstant spenning er det enkel metode for å lade batteri. Det går ut på å holde spenninger på et konstant nivå. Dette beskytter batteriet mot overspenninger, ved at spenningene holdes på trygge nivåer. Metoden er billig og enkel, og krever få komponenter. Fordelen med det er at det er færre komponenter som kan rykke. Baksiden med denne metoden er at det tar lengre tid å lade opp batteriene [26].

4.2.4 Konstant strøm - konstant spenning (CC/CV)

For Litium-ion batterier finnes det en utviklet for av CV, CC/CV, konstant strøm og spenning. Det er i hovedsak to grunner for å velge denne metoden. Det først grunn, med CC/CV metode det tar mye kortere tid å lade opp batteriet, et batteri kan lade opp under en time [27]. Den andre grunnen er for at den beskytter batteriet. Først settes lade strømme i et konstant nivå (CC)-fase og holdes relative konstant. Spenningen vil begynner å stige, til den når konstant spenningsnivå, (CV)-fase. Som regel trenger batterier mindre strøm i CV-fase for å opprettholde samme spenningsnivå. Strømmen vil synke eksponentielt. Denne lademetoden vil beskytte batteriet

mot overstrøm og overspenning. Figur 4.2.1 nede viser hvordan CC/CCV-metode lader opp et batteri.

Figur 4.2.1 .1er en graf som viser karakteristikk for konstant strøm, konstant spenning ladestrategi. Det viser at når spenning begynt stig tid etter tid før den blir konstant. Imot setning til Strøm begynt det med konstant nivå, så synke de med etter hvert.

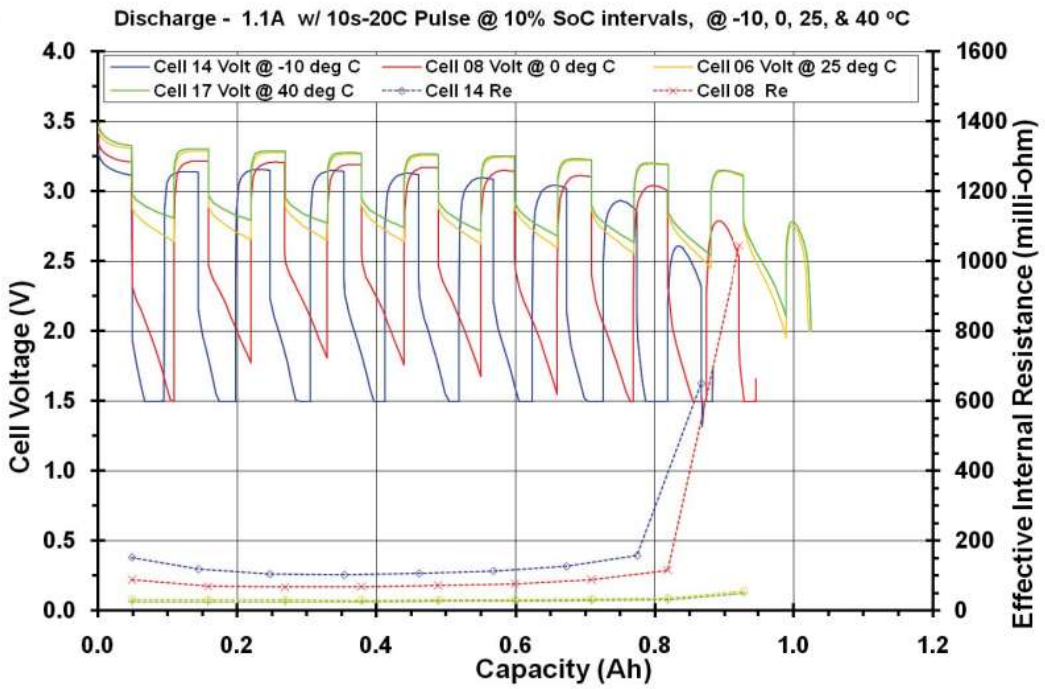


Figur 4.2.1: CC/CV kurve[40, s.13]

4.2.5 A123 system nanofosfatbatterier

For CubeSat er det benyttet APR18650 fra Elfa Distrelec (3.3 V, 1.1 Ah, 62,9 kr) som batteri. Dette er et LiFePo4 type batteri, som er A123 systems patenterte nanofosfatbatterier. Disse gir noen fordeler sammenlignet med batterier med annen kjemisk komposisjon.

Grunnen til å velge LiFePo4 batteri fra A123 System er at det har patentert kjemi som heter Nanophosphate [31]. I forhold til andre Li-ion-batterier, kan Nanofosfat batteriene tåle mer belastning ifølge NASA [23, s.10]. Andre fordeler med å velge dem er at de har lav intern motstand som fører til lav strøm, og lavt effekttap [23, s.10]. Batteriene har også, ifølge NASA [23, s.10] høy sikkerhet, tåler høy belastning, stort antall DoD-sykluser og har høy feiltoleranse. I tillegg bruker de cc/cv ladningsmetoden så en får også fordelene dens.

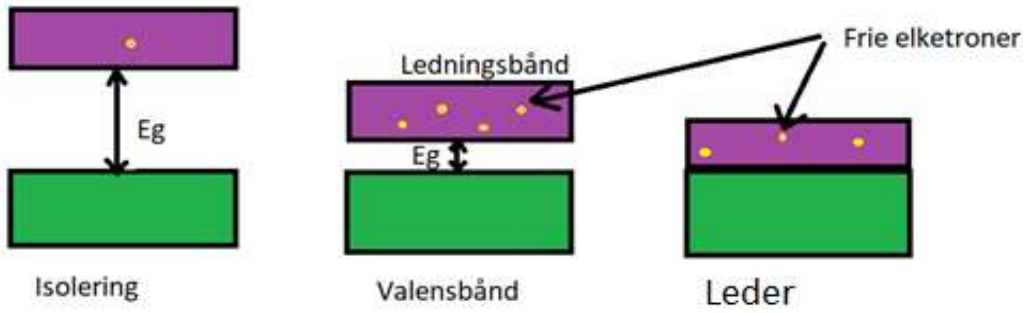


Figur 4.2.2: Utladingkurven av123 APR18650M1A batter cell. Test utført av NASA [23, s.11]

4.3 Teori om solcelle

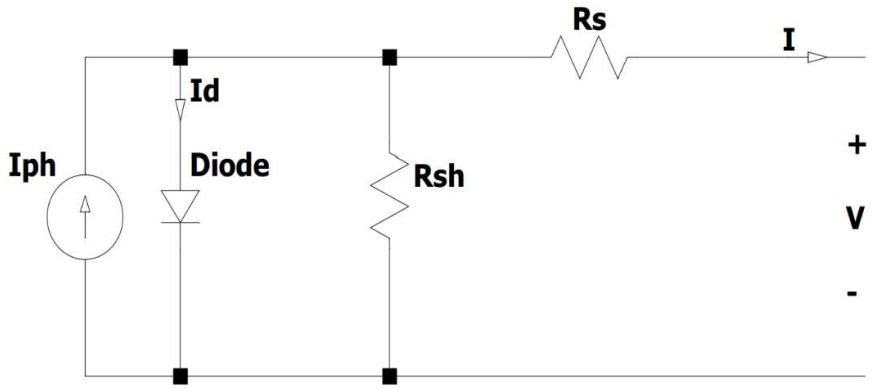
Solceller omgjør solenergi til elektrisitet ved hjelp av den fotovoltaiske effekten.[7]. En solcelle består av en skiver ('wafer') av en halvleder('semi-conductor') som er belagt med elektroder over og under [9].

Solceller er bygd opp av PV-celler som er laget av halvledermaterialer (vanligvis silisium) [9]. De er bygget opp for å danne et elektrisk felt med den positive undersiden vekk fra solen, og den negative oversiden mot solen. Energi i form av elektromagnetiske bølger fra solen treffer atomene på den negative oversiden av PV-celler. Dersom energien absorbert av atomer er høyere enn båndgapsenergien vil elektronene flyttes fra valensbåndet til ledningsbåndet. Elektrisk strøm er dannet av de frie elektronene i ledningsbåndet. Mesteparten av energien fra solen omgjøres til varme eller reflekteres på overflaten av PV-celler [9].



Figur 4.3.1: Forskjell i båndgap mellom valensbånd og ledningsbånd til isolator, halvleder og leder [28, s3]

Ulike halvledermaterialer har forskjellige energinivå i båndgapet. En må ha solstråling som er større enn båndgapet i halvlederen for at fotonet skal kunne absorberes [9]. Formelen for fotoenergi, E=hf, hvor h er Planks konstant og f er frekvens [23, s.4].
Når solenergi(fotoner) treffer solcellen, blir elektroner slått ut fra atomene i halvledermaterialet, og skaper elektron-hull par. Når elektriske ledere festet til de positive og negative sider, som danner en elektrisk krets der blir elektronene blir omgjort til elektrisk strøm, kalt fotostrøm, I_{ph} [9].En solcelle er vanlig representert av en elektrisk ekvivalent med en diodemodell, vist på figur 5 nede. Figur 4.3.2 viser Ekvivalent krets av en solceller [34]



Figur 4.3.2: Ekvivalent krets av en solceller [34]

Figur 4.3.2 inneholder modellen en strømkilde, I_{ph} en diode og en serie R_S som representerer motstanden inne i hver celle. Diode har også en intern shuntmotstand, R_{sh}. Nettstrømmen I er forskjellen mellom fotostrømmen, I_{ph} og den normale diodestrømmen [9]

$I = I_{ph} - I_D$

$$I_D = I_0[\exp\left(\frac{eV}{kTc}\right) - 1]$$

Hvor:

K Boltzman's konstant, =1.381 * 10^{-23} J/K.

Tc er absolutt temperatur på celle [K].

e er elektronisk ladning = 1.602*10^{-19} J/V.

V er spenning påført over celle [V].

I_0 er metningsstrømmen i materialet, som er sterk av temperaturen.

4.3.1 Solcelle typer

Solceller kan produseres i mange forskjellige materialer. Det vanligste bruker vi silisium (Si), men andre inkluderer Gallium Arsenide (GaAs), Kadmium Telluride (CdTe) og Kopper Indium Selenide (CIGS) [8]. Krystallinske solceller kan videre klassifiseres i to kategorier monokrystallinske og polykrystallinske [8].

4.3.2 Virkningsgrad

Virkningsgrad er per definisjon forholdet mellom avgitt effekt og tilført effekt. For en solceller tilsvarer dette forholdet mellom solinnstråling (soleffekt inn) og produsert strøm (elektrisk effekt ut) [9]

Hvor stor virkningsgrad er variere av dag og over året. Det er avhengig av flere faktorer som for eksempel mengde innstråling, overflatetemperatur og vinkelen som solen treffe panelet med. For en silisiumcelle synker virkningsgrad når overflatetemperatur øker. Ved maksimum ytelse er virkningsgraden redusert med 10 % etter 25 år. [9]

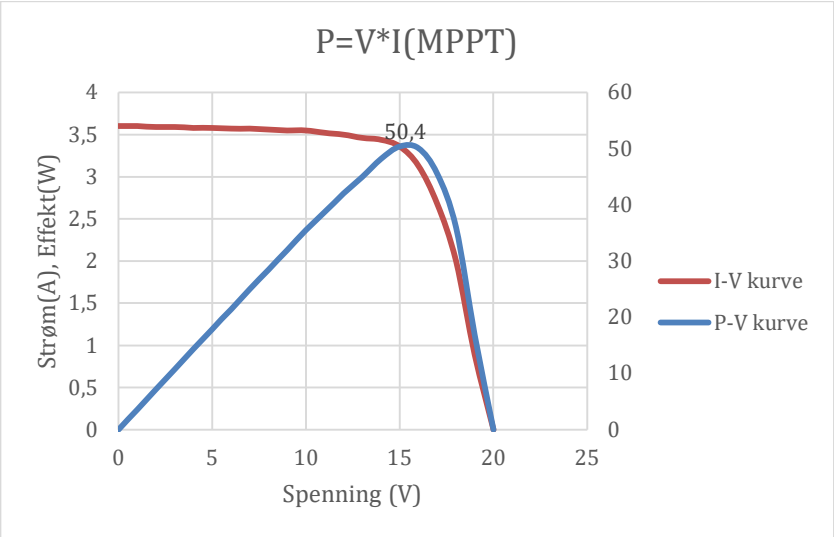
Den maksimale virkningsgrad til solcelle er gitt som:

$$\eta_{max} = \frac{P_{mak}}{P_{in}} = \frac{P_{mak} \bullet V_{mak}}{AG_t}$$

4.3.3 IV og PV karakteristikk

I-V karakteristiske kurven til en solcelle for en bestemt bestråling (G_t) ved en konstant celletemperatur, T_C [9]. Strøm er avhengig av mengde solstråling på cellen. Når det er kortsslutningstrøm (Isc), er det spenning over cellen lik null, mens det gir maksimal strøm. Ved åpen krets er spenning maksimal, og strøm er lik null. Siden P=V•I, er effekten lik null ved åpen krets og kortslutning. I følger etter IV-kurve er strømmen proporsjonal med solstråling, og spenning synker når temperatur øker.

P-V karakteristiske viser om effekten. Den maksimale effekten er den opp punkt (50,40) i figur 4.3.3. Egentlig ønsker man i de fleste tilfelle å nytte maksimal effekt. Det finnes forskjellige algoritmer for dette (maximum power point tracking). Vi bruker denne strategien til å trekke mak effekt til last. Mak effekt beregner fra maksspenning ganger med maksstrøm,($P_{MPP} = V_{MPP} \bullet I_{MPP}$). Figur 4.3.3 viser IV og PV karakteristiske og MPPT [34].



Figur 4.3.3: IV og PV-kurve for en solcelle med MPPT [34] i Excel

Følgende ligning

$$V_{oc} = \frac{nkT}{q} \ln\left[\frac{I}{I_0} l\right]$$

Isc er lik Ish, strøm er avhengig av solstråling, når V= 0•As tilsvare at strømmen er proporsjonal med solstråling.

Fill faktor er en parameter som bestemmer maksimal effekt fra en solcelle. FF er definert son forholdet mellom maksimal effekt fra solcellen til produktet av Voc og Isc [30] slik at:

$$FF = \frac{P_{MP}}{V_{OC} * I_{SC}}$$

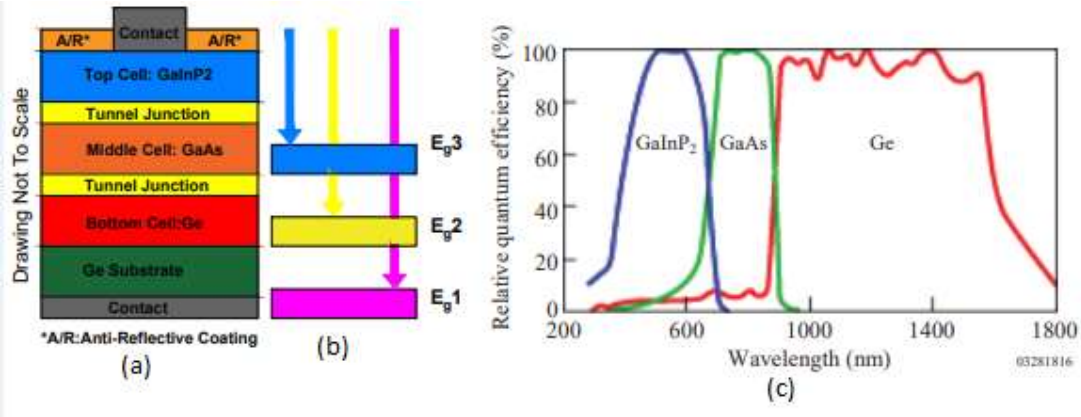
4.4 Evaluering av solcelle

4.4.1 I rommet

Solcellepanelene som er valgt til å brukes på CubeSat i dette prosjekt er Improved Triple Junction (ITJ) er fra Spectrolab [29]. Solcellepanelene består av Germanium (Ge), Gelliun

Arsenium (GaAs) og Gallium Indium Phosphide ($GaInP_2$). Størrelsen er 31 cm^2, 26,8 % av virkningrad, Voc = 2,565 Vog Isc=16,90 mA/cm^2

Det er enkelt å integrere inn i et eksisterende system, og panelet inkluderer integrert bypass-diode for hver solcelle. Hvor mye energi panelet produserer bestemmes av bølgelengdene til de elektromagnetiske bølgene som treffer panelet. Fordelen ved å bruke trippellagsstrukturen er at en kan hente ut energien fra bølgelengder rundt 300 nm opp til 1800 nm.



Figur 4.4.1: (a) Triple-Junction PV-Cell stacking up med AutoCAD[29],, (b) De forskjellige lagene har forskjellige med AutoCAD[28,s5], (c) virkningsgrad til de forskjellige lagene mot bølgelengden[28,s5]

4.4.2 Solcelle på jorda

Tabell 4.4.1: viser at de ulike solcellepanel komponenter fra forskjellige leverandør og forskjellig modell.

Tabell 4.4.1: Ulike solcellepanel på jorda

Delenummer	Effekt [W]	Strøm [mA]	Virkningsgrad (beregning)%	Størrelser [mm]	Pris/Stk / kr	Leverandør
485-1525	6	930	11,45 %	220x175x5	626,03	Mouser Elektronics
730-MP3-37	0.150	50	2,613 %	114x37x0.22	41,61	Mouser Elektronics
730 SP4,2-37	0.09	22	2,128 %	84x37x0.22	35,02	Mouser Elektronics
25-5081	50	2900	10,291 %	700x510x30	499	Biltema

Det er ikke mulig for gruppen å prøve strømforsyningen og distribusjon system i verdensrommet. Testingen for strømforsyningen og distribusjon systemet blir gjort på lab ved UiT Narvik. Derfor må vi velge et solcellepanel som brukes på jorda. For forsøket er delemunner 730 SP4,2-37 fra Mouser Elektronicx blitt valgt. Planen var å velge delenummeret 485-125 fra Mouser Elektronics på grunn av at den gir høyere virkningsgrad, men prisen er for høy i forhold til prisen for delenummer 730 SP4,2-37. Selv om 485-125 gir en mye høyere virkningsgrad enn 730 SP4,2-37, veier de økonomiske fordelene med 730 SPV4,2-37 mer for prosjektet.

4.5 Teori om DC/DC spenningsregulering

DC spenningsregulering handler om å regulere en jevn utgangsspenning, uavhengig av belastningsvariasjoner eller endring i inngangsspenning, og komponenter som hjelper oss å regulere spenningen kalles spenningsregulatorer [11]. Det meste brukte metoder for spenningsregulering er lineærregulering (linear regulation) og bryterregulator (switching regulator).

4.5.1 Lineærregulering

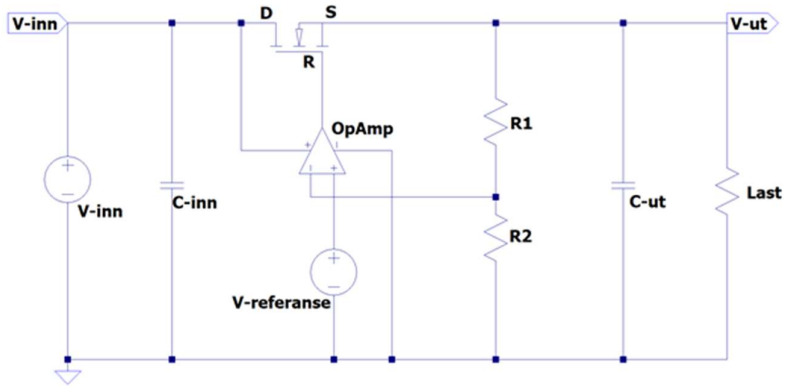
Lineære regulatorer tar inn en høyspenning og regulere det ned til en lavere spenning, dette gjøres ved å spre forskjellen i spenning over selve regulatoren. Det ekstra spenningen konverteres til varme. Fordelen med en lineærregulator er at den er billige, enkelt å designe, har lavt støynivå og er veldig stabilt for regulatoren har kondensator som brukes til å gi konstant spenning. Største ulempen er at virkningsgrad er lav, på grunn av overflødig energi blir spredt av regulatoren og typiske effektivitetsverdier for lineære regulatorer varierer mellom 50 % - 70 % Derfor lineære regulatorer ofte brukes for delsystemer som ikke krever mye energi, pluss lineære regulatorer har også termiske begrensinger [12, s.25-26].

Det finnes flere type lineærregulatorer, men det mest effektive lineære regulatorer er Low dropout regulator (LDO). For at LDO-er kan regulere utgangsspenningen selv om verdi av inngangsspenningen er veldig nær til verdi av utgangsspenningen [13].

<u>Hvordan en LDO virker</u>

Figur 4.5.1 viser krets av en LDO med N-kanal MOSFET (NMOS). Den består av en spenningsreferanse, et passeringselement (NMOS) og en feilforsterker som styrer passeringselementet.

Spenningsreferanse er tas som startpunktet av regulatorer for den starter feilforsterkeren. Feilforsterkeren styrer N-MOSFET port (G) for å holde spenning som kommer fra 'voltage divider' (R1 og R2) like med referansespenning. Når utgangsspenningen synker på grunn av økt belastning eller lavere inngangsspenning, senker portens (G) spenning. Med dette ledningsnivået til NMOS øker, og utgangsspenningen stiger igjen til den opprinnelige regulerte spenningen [14] [15, s.3-4].



Figur 4.5.1: LDO regulator med Negativ kanal MOSFET

4.5.2 Bryterregulering

Bryterregulatorer brukes til å regulere en høyere spenning til en lavere spenning eller regulere en lavere spenning til en høyere spenning. Dette gjøres ved å raskt bytte spenningen over en induktor, med komponentene i forskjellige konfigurasjoner avhengig av ønsket resultat. Ikke mye energi er bortkastet for å utføre konverteringen, dette gjør bryterregulatorer veldig effektive. Typiske effektivitetsverdier for bryterregulatorer varierer fra 80 % til 95 %. Ulemper med bryterregulatorer er at de har høyfrekvent svitsjesignal og dette medføre støy, pluss de er mer komplisert å designe og dyre. Bryterregulatorer brukes ofte til delsystemer som krever mer strøm fordi en regulator med lav effektivitet også vil kaste bort mye energi på spenningsregulering, noe som kan være skadelig for den totale kraften budsjett [12, s.26].

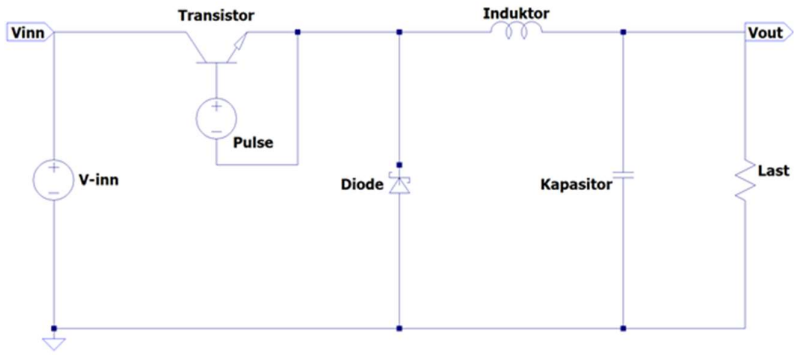
4.5.2.1 Buck konverter

Buck (step-down) konverter er den mest brukte regulator, og den brukes til å redusere en DC-spenning til en lavere DC-spenning med samme polaritet [16, s.34].

Hvordan en Buck-konverter virke

En Buck-konverter består av en kondensator (C), en induktor (L), en transistor (bryter) og en diode, pluss spenningskilde og last. En kondensator lagrer energi i et elektrisk felt (spenning), og når spenning påføres (når bryteren er på) lades kondensatoren opp, og når spenningen går

bort utlades den. En induktor lagrer energi i et magnetfelt (strøm), og når strøm flyter gjennom induktoren blir magnetfeltet ladet opp og når strømmen stopper kollapser magnetfeltet, og induktoren generer strøm. I bryterregulering man bruker disse energilagrinsegneskaper til å regulere utgangsspenningen. For å kontrollere ladding og utlading, man bruker dioder og transistorer [16, s.34-35] [17].

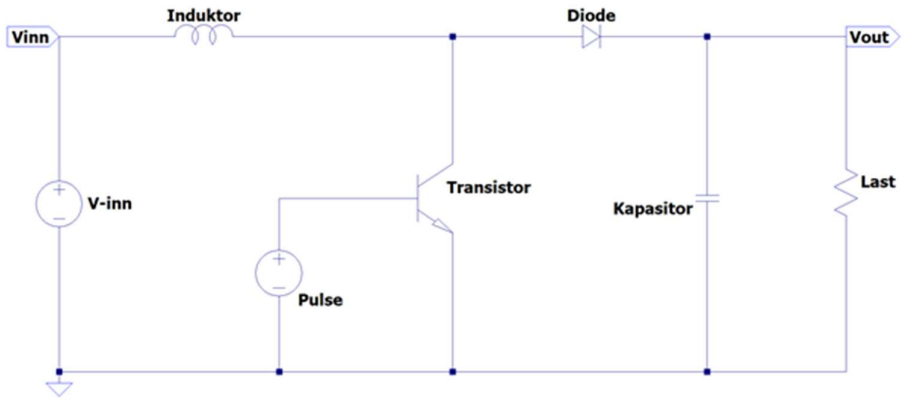


Figur 4.5.2: Grunnleggende Buck konverter krets

Når bryteren er slått på, strømmen går gjennom bryteren og videre til spolen og spolen lades opp, $U_L = L * \frac{di}{dt}$. Fra formelen vi ser at strømmen kan ikke lade opp spolen med engang, det tar tid for å lade den opp. Og sånn spolen begrense hvor stor strøm som kan nå lasten. For diode lar strøm å gå bare i en retning, når bryteren er på strømmen går ikke gjennom dioden. Når bryteren er slått av, spolen genere strøm. Strømmen går til last og kondensator, og lade opp kondensatoren, $i_C = C * \frac{du}{dt}$. Når strømmen i spolen går lavt, kondensatoren hjelper til og send strøm til lasten, sånn lasten får stabilt spenning.
Samme prosess gjentas når bryteren er slått på. Vi kontrollere verdien av utgangsspenningen ved å kontrollere hvor lang tid bryteren står slått på. I figur 4.5.2, bryteren styres av pulser [17].

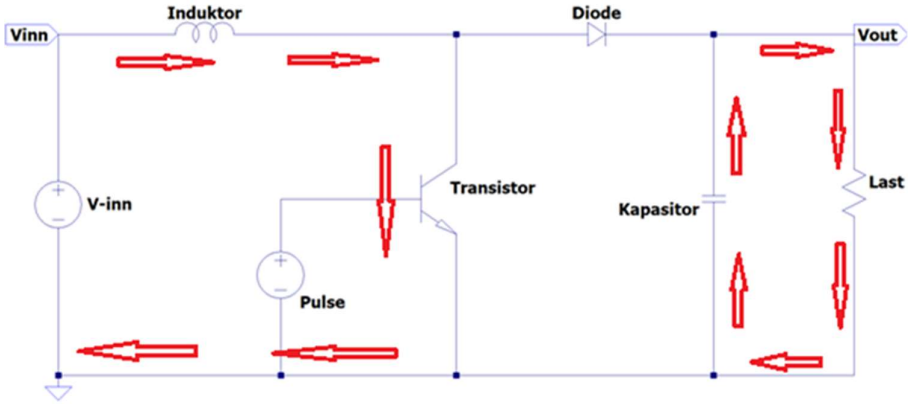
4.5.2.2 Boost konverter

Boost (step-up) konverter gir en utgangsspenning som er høyere enn inngangsspenning med samme polaritet [16, s.36].
Hvordan fungere en Boost-konverter?



Figur 4.5.3: Grunnleggende Boost konverter krets

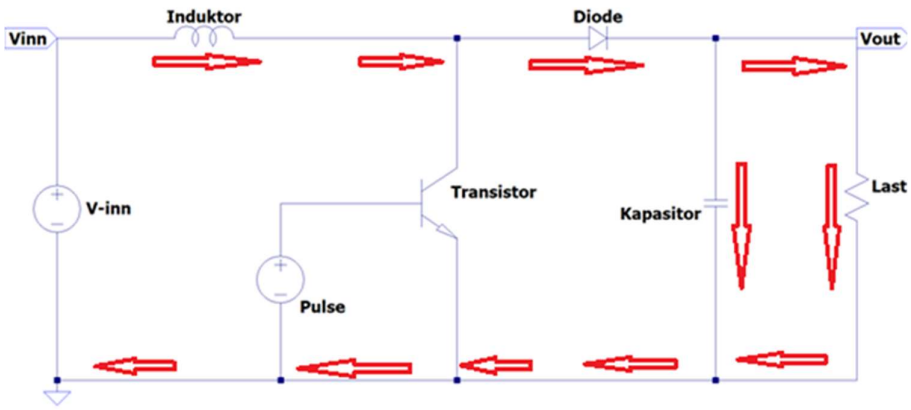
Som vi ser i figur 4.5.3, Boost konverter bruke samme komponenter som Buck konverter bare i forskjellige konfigurasjon. Når bryteren er slått på, strømmen går fra spenningskilden til spolen og videre til transistor og tilbake til spenningskilden. I denne prosessen spolen lades opp. Se figur 4.5.4 for å se strøm bane når bryteren er slått på.



Figur 4.5.4: Strømbane når bryteren er slått på

Når bryteren er slått av, spolen genere strøm og strømmen går til lasten og kondensatoren. Men utladning skjer med motsatt polaritet, sånn at spenning som kommer fra kilden blir i serie med spenning som ble produsert av spolen. Og dette vil si når spolen utlades vi får større spenning.

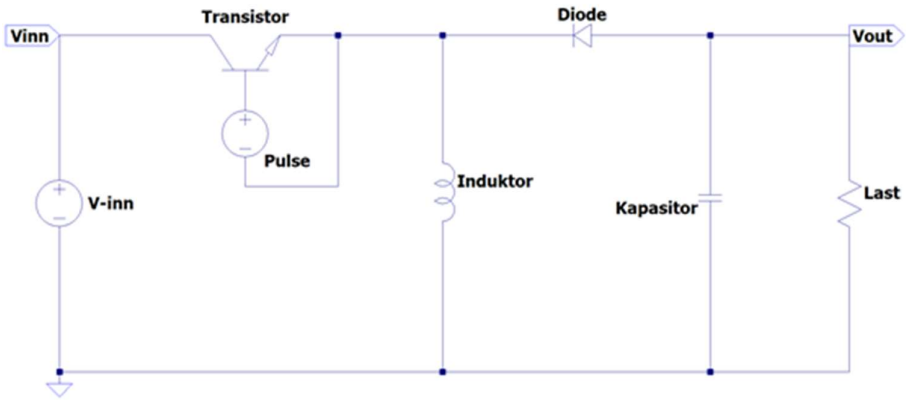
Mens bryteren er av, spolen lader opp kondensatoren. Og når bryteren er slått på kondensatoren stabilisere utgangsspenningen. Bryteren styres av pulse, samme som i Buck konverteren [18]. Se figur 4.5.5 for å se strøm bane når bryteren er slått av.



Figur 4.5.5: Strømbane når bryteren er slått av

4.5.2.3 Buck-Boost konverter

Buck-Boost konverter som navn indikerer, er en kombinasjon av Buck konverter og Boost konverter. Buck-Boost konverter kalles også 'Inverting regulator'. I figur 4.5.6 vi ser det grunnleggende krets for en Buck-Boost konverter.



Figur 4.5.6: Grunnleggende Buck-Boost konverter krets

Regulatoren fungerer sånn at, den tar en DC-inngangsspenning og produserer en DC-utgangsspenning som er motsatt i polaritet til inngangsspenningen. Med andre ord den tar inn en positiv spenning og tar ut regulerte negativ spenning. Også den negative utgangsspenningen kan være enten større eller mindre enn inngangsspenningen [16, s.37].

4.6 Evaluering av spenningsregulator

For å ha en konstant spenning inn på lasten og batteriet, vi trenger å regulere spenningen vi får fra solcellepanel. Buck-Boost konverter er en spenningsregulator som tar inn en inngangsspenning og gir tilbake spenningen som er enten høyere, lavere eller lik

inngangsspenning. I dette prosjektet, EPS-en har Buck-Boost regulator etter solcelle og en Buck-Boost regulator før lasten, som vi kan se i figur 4.12.3. Regulatoren som ligg foran lasten skal hele tiden regulere spenningen den får fra solcellepanelet eller batteriet til 3,3 V, siden lasten trenger en spenning på 3,3 V. Og den andre regulator den regulere det uregulerte spenning som kommer fra solcellepanelet til 5V og sender det videre til å lade batteriet og/eller for å forsyne lasten.

Grunner som fikk oss til å bruke Buck-Boost regulatorer og ikke andre type regulator, er at spenningen som solcellepanelet samler er ustabil (det går opp og ned), og da vi må ha en regulator som tar spenningen opp når inngangsspenningen er lav og omvendt. Det andre grunn er at når satellitten er i mørk (eclipse), batteriet fungerer som primær spenningskilde og i tilfelle satellitten ble i mørke lenger enn forventet, batteriet er i fare til å gå tom av ladning om vi bruke Buck regulator i stedet for Buck-Boost regulator.

Det er sant at dette problemet har en liten sannsynlighet til å skje i prosjektet vårt, siden satellitten bruker ca. 90 min for å fullføre en bane eller for å gå rundt jorden. Men siden vi må være klar for det verste scenario, dette må løses. For å reserve batteriladning lengst mulig, vi kan enten bruke et batteri som har lav utladningshastighet eller bruke en Buck-Boost regulator. Batteri med lav utladningshastighet er litt dyre, og siden vi løser problem som har liten sannsynlighet til å skje, vi valgte å bruke en Buck-Boost.

LTC3533 er det Buck-Boost regulator som vi valgte å bruke, grunnen er at den er ganske billige og den passer veldig bra med batteriet vårt '*produktet ideell for enkel celle litium-ion / polymer- eller flercellede alkaliske / NiMH applikasjoner der utgangsspenningen er innenfor inngangsspenningsområdet*'. Den har inngangsspenning fra 0,3 V til 6,0 V, utgangsspenning opptil 5,25 V, programbar frekvens fra 300 kHz til 2MHz, virkningsgrad på 96 % og utgangsstrøm fra 0,8 A til 2,0 A avhenge av inngangsspenningen. Regulatoren er fra Linear Technology og den koster 63,68 kr på Elfa Distrelec [56, s.1-2] [57].

4.7 Telemetri

Spenning regulatoren fungere slik at hvis batterikapasitet er mindre enn 3,3 V den fungere som en Boost regulator og hvis ikke, den fungere som en Buck-regulator. Det er sensorer som informere regulatoren på batterikapasitetsnivå, ved hjelp av telemetri systemet.

Telemetrikretsen hjelper oss til å overvåke regulatoren og resten av EPS-en, og det kan defineres som automatisk opptak og overføring fra ekstern eller utilgjengelige kilder til et IT-

system på et annet sted for overvåking og analysering. Telemetridata kan videresendes ved bruk av radio, infrarød, ultralyd, satellitt eller kabel, avhengig av applikasjonen [58]. Telemetri fungerer gjennom sensorer, for eksempel vi har flere sensorer på en satellitt. Disse sensorer måle/overvåke temperatur, trykk, strøm, spenning, batterilading osv. Telemetri systemet samles alle disse dataene fra sensorer og sende det videre til kontrollstasjon på jorda. Si4063/60 fra Silicon Labs, er det transmitter vi valgte å bruke på samling og overføring av data, med andre ord telemetrien vår. Den har inngangsspenning fra 1,8 V til 3,6 V og når chipen er i drift den bruker 18mA på 10dBm, dette vil si at den trenger veldig lite strøm når i drift som gjør den en bra løsning for applikasjon som drives av batteri. Si4063/60 har frekvensområder fra 142 til 1050 MHz, og bruker (G)FSK, 4(G)FSK, (G)MSK og OOK teknikker for å overføre datapakken til overvåkingsstasjon, med dataoverføringshastighet fra 100 bps til 1 Mbps.
Si4063/60 har veldig små shutdown strømgrense og kan stå på til strømmen går ned til 30 nA. Og den har driftstemperatur fra -40 til 85 ˚C. Disse egenskaper fikk også til å bruke den som telemetri krets i prosjektet, og pluss den koster 17,23 kr på Farnell og er billig [59, s.1 og s.9] [60].

4.8 Teori og evaluering av sensorer

4.8.1 Strømsensor

Strømsensor (strømmonitor) er en enhet som overvåker strømmen som går gjennom en bestemt ledning, uten å forstyrre flyten. Det finnes flere metoder man kan monitorer strømmen på, ved å måle Hall Effect (produksjon av spenningsfall gjennom en kondensator [61]), ved å bruke shunt motstand og måle spenning over motstanden, ved å bruke Rogowski spole osv. I dette prosjektet, siden strømkilden er batteri og/eller solceller, vi trenger en strømsensor som kan bare overvåke likestrøm (strøm som går i en retning) [62].
ZXCT1022 fra Zetex, er det strømsensoren vi valgte å bruke. Sensoren har inngangsspenning fra 2,5 V til 20 V, og den bruker kun 25 µA når det er i bruk, den har frekvensrespons på 300kHz og driftstemperatur fra -40 til 85 ˚C. Grunner som fikk oss til å velge sensoren er for at sensoren har funksjonalitet som passer godt med EPS-en vår, og strømsensoren kan brukes også som overstrøm beskyttelsen i tillegg til strøm overvåking. Plus den er billige og koster 13,83 kr på Farnell [63, 64, 65].

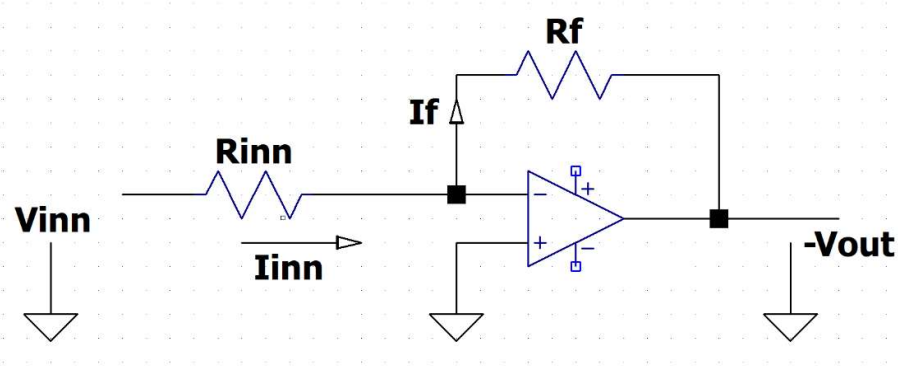
4.8.2 Spenningssensor

Spenningssensorer brukes til å beregne og overvåke spenning mengde i et objekt. Det finnes to type spenningssensorer, kapasitiv spenningssensor og resistiv spenningssensor, og som navn indikere man bruker kondensator og motstand for å måle spenningen [66]. I dette prosjektet vi trenger spenningssensorer som skal overvåke hvor stor spenning det kommer fra solcellepanelet, batteriet og hvor mye lasten bruke osv.
Det spenningssensor vi valgte er PAC1932T-I/JQ fra Microchip. Den har inngangsspenning på 2,7 V og 5 V, driftstemperatur mellom -40 og 85 grader celsius, og den har 16 pins man kan koble den med, og den koster 12,14 kr på Farnell. Prisen og PAC1932T-I/JQ funksjonalitet passer med oppgaven spenning monitor i prosjektet skal gjøres og dermed vi valgte PAC1932T-I/JQ [67] [68, s.5].

4.9 Operasjonsforsterker (Op-amp)

Operasjonsforsterker er kalt Op-amp. Op-amp er en integrert elektronisk forsterker, som vanligvis forsterker et signal enten ved å øke eller synke amplituden til signalet. Hvor mye den forsterker avhenger av hvordan den er koblet inn i kretsen. I denne oppgaven er den brukt til å måle strøm, ikke å øke eller minske et signal. En ideell operasjonsforsterker ha uendelig høy forsterkning, uendelig høy inngangsimpedans og null utgangsimpedans [41].
I dette prosjektet har vi bestemt å bruke en inverterende Op-amp**,** LT6015 til å bruke på både batterimonitorering og strømmonitorering fordi den tåler temperatur -55 til 150 °C. Denne er lav effekt og er veldig presis.

Figur4.9.1 viser karakteristikk om Op-amp. Op-Amp består av 3 terminal enhet, med 2 innganger og 1-utgang, unntatt strømtilkoblinger. De to hovedinngang av Op-amp er at den har en uendelig inngangsimpedans, ($Z= \infty$). Det gjør at ingen strøm kan gå inn på inngangene. Det er også null utgangsimpedans, ($Z=0$). Gain (A) er forholde mellom utgangsspenning og inngangsspenning. Hvor stor av utgangsspenning av henging av Gain (A). Op-amp kan koble forskjellige måter [42].



Figur 4.9.1: Operasjonsforsterker diagram av LTspice [42].

4.10 Nyttelast

CubeSat nyttelaster er hoved ting av oppdrag i rommet. Uten nyttelaster, CubeSat har ingen identitet eller vi får ingen informasjon fra rommet til jord. Nyttelast er den delen av satellitten som gjør at den kan oppfylle oppdraget den ble designet. Nyttelast bruker for forskjeller mål. Det er avhengig av bedriften. Hvis en bedrift vil ta bilde av jord og jord observasjon, bruker det forskjellige kamera; hvis en bedrift vil kommunikasjon, bruker det ADS-B (Automatic Dependent Surveillance – Broadcast) eller AIS (Automatic Identification System) og IOT (Iternet of things) eller VDES (VHF Data Exchange System). ADS-B eller AIS bruker for ensrettet system og IOT eller VDES bruker for to-vei system. Vi kan bruker også flere typer av nyttelast i en CubeSat. Vi må fokusere på vekt og kostnad til CubeSat-en, derfor må vi fikse første hva er vårt mål og bestemme hvilken nyttelast vi treng. [69]
CubeSat bruker vanligvis for 4 typer av nyttelast:

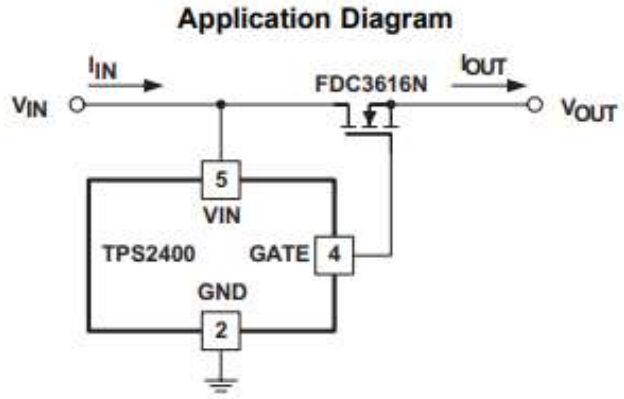
a. Jord observasjon
b. Kommunikasjon
c. Navigasjon
d. Vitenskap og teknologi

4.11 Lastbeskyttelse

EPS-system skal levere energi til last. Det kan oppstå enten overspenning, underspenning eller overstrøm. Dette kan føre til en korsluting og det kan skade komponentene i kretsen.

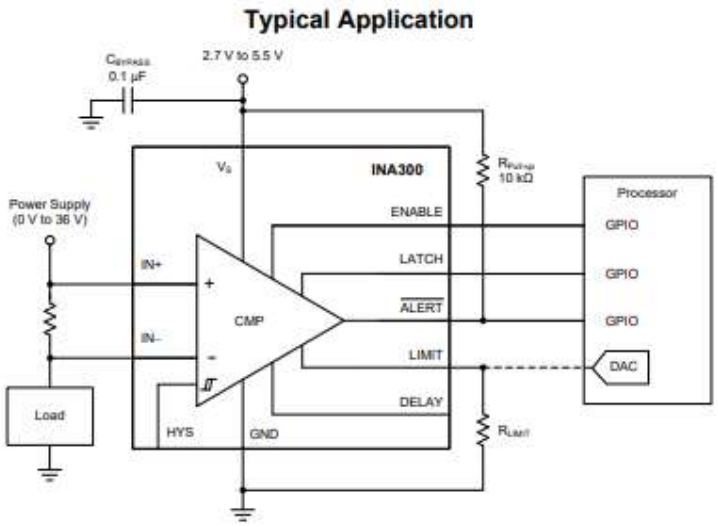
Lastbeskyttelse fungerer som en sikring der kobler det ut når overspenning, underspenning og overstrøm oppstår.

Overspenning og underspenning beskyttelse TPS2400 fra Texas Instrument er valgt til å brukes i dette prosjektet for den kan bruke både til å beskutte mot overspenning og underspenning TPS2400. Denne kan bruke med spenning up til 100V. Denne tåler temperatur -40 til +85 ˚C. [78] det viser typisk egenskaper referanseskjema for TPS på figur 4.11.1 nede.



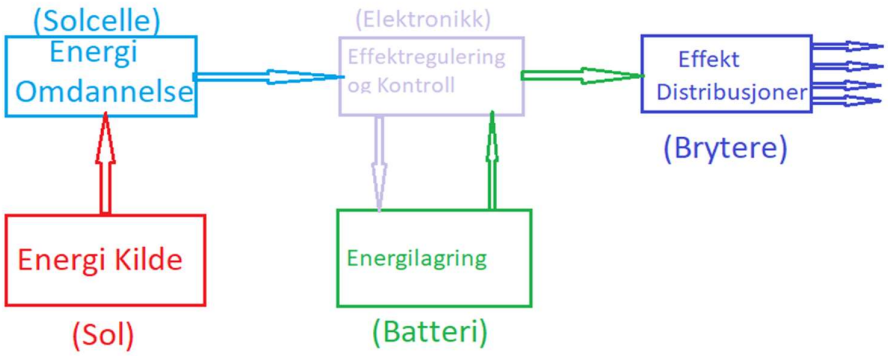
Figur 4.11.1: Typisk egenskaper referanseskjema for TPS2400[78]

Overstrøm beskyttelse er blitt valget av INA300 fra Texas Instruments fordi den er Wide Common - Mode Range fra 0 V til 35 V, har valgbare svartider 10 µs, 50 µs, 100 µs, og programmerbar fra 0 mV til 250 mV. Denne enheten fungerer fra en enkelt 2,7V til 5,5V forsyning med en maksimal forsyningsstrøm på 135 µA. Den tåler temperatur - 40 til +125 ˚C [77]. Det viser på figur 4.11.2 nede.



Figur 4.11.2: Typisk aplisering av overstrøm beskyttelse [77]

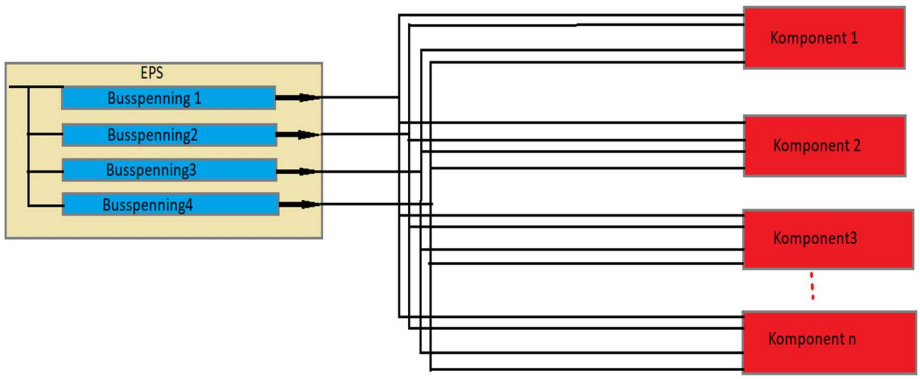
4.12 Strømforsyning og distribusjon system (EPS)



Figur 4.12.1: Electrical power system (EPS) block diagram

Figur 4.12.1 viser EPS blokk diagram. EPS består av energi kilde, energiomdannelse, effekt regulering og kontroll, energilagring og effekt distribusjoner. For å fungere de andre CubeSat delsystemene det strømforsyning og distribusjon system er nødvendig, for eksempel kommunikasjon, kamera og mikrokontroller. Det mål for design av strømforsyning og distribusjon er å gi tilstrekkelig effekt til elektriske delsystem, sikre oppladning effektiv av batteriene, batteri beskyttelse, last beskyttelse og minimere vekt og volum. Vanligvis det er to typer av EPS som er Sentralisert arkitektur og Desentralisert arkitektur. De har egen sine fordeler og ulemper. [36, s.2-3] og [33]

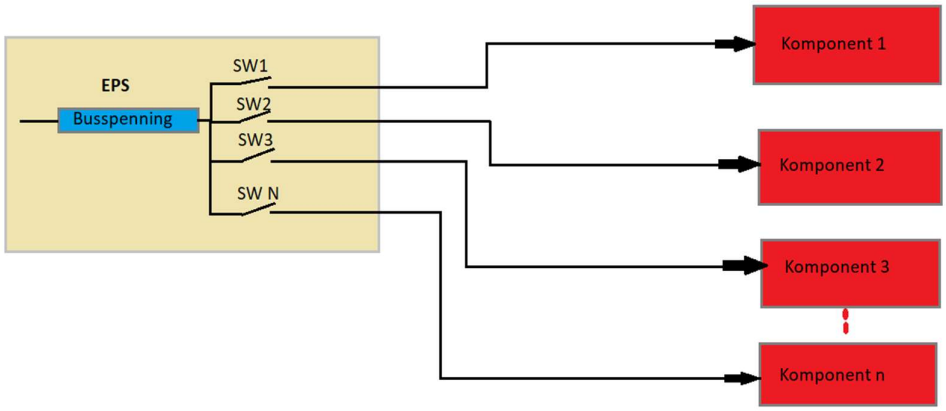
4.12.1 Sentralisert Arkitektur



Figur 4.12.2: Strømforsyning (EPS) Sentralisert Arkitektur

Figur 4.12.2 viser sentralisert arkitektur. Fra siste forskjellers gjennomgang av CubeSat, kan vi si sentralisert arkitektur bruker mer enn desentralisert arkitektur. Den sentralisert arkitektur har brukt ca. 80 % de gamle CubeSat. En sentralisert arkitektur fordeler helle eller det meste av spenningskinnene brukt av CubeSat fra en sentral plass. I tillegg til batteribusen, typisk CubeSat vil distribuere en 5 V buss, en 3,3 V buss og noen ganger en tredje skal implementere spenning regulert. Noen sentralisert systemer skal implementere belasting regulering for spesielle spenninger som er ikke gitt av EPS kortet. Avhengig av graden av tillatt spenning rippel, en LDO regulator, er ofte valget å konvertere til det nye, lavere spenning. Sentralisert arkitektur har færre regulator og kan være veldig plasseffektiv [36, s.6] [37]. CubeSat må være små i størrelser og har mindre vekt.

4.12.2 Desentralisert Arkitektur



Figur 4.12.3: Strømforsyning (EPS) Desentralisert Arkitektur

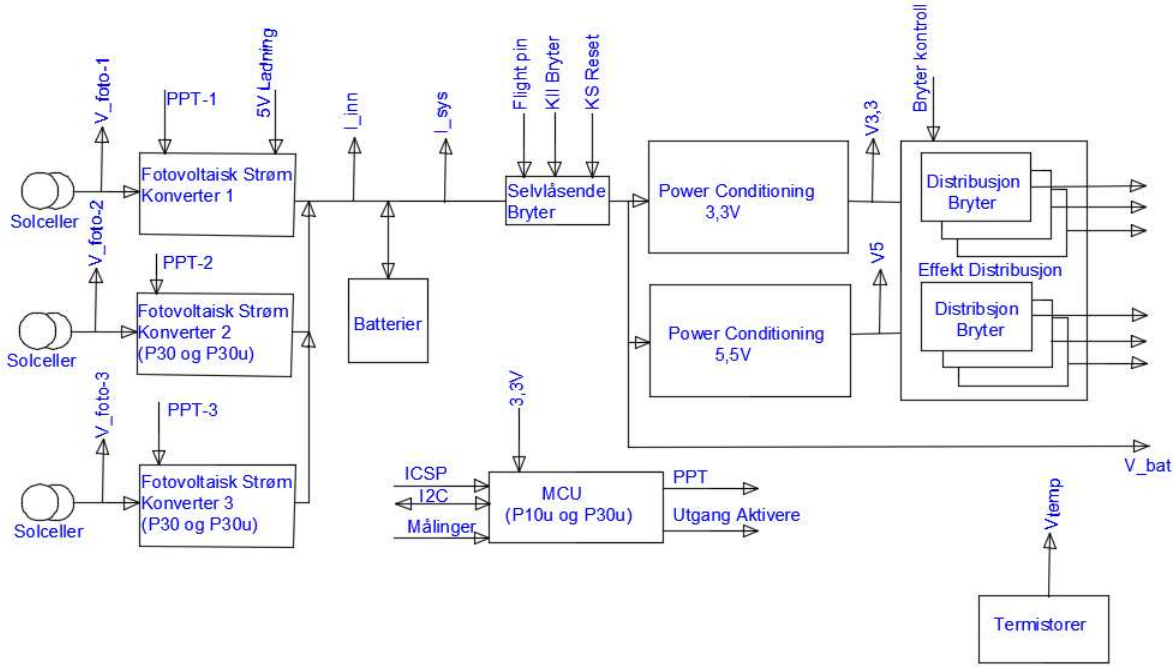
Figur 4.12.3 viser desentralisert arkitektur. Fra siste forskjellers gjennomgang av CubeSat, kan vi si desentralisert arkitektur bruker mindre enn sentralisert arkitektur. Den sentralisert arkitektur bruker ca. 20 % de gamle CubeSat. Desentralisert arkitektur Distribuerer fra en enkelt busspenning til forskjellige delsystemer og hvert delsystem har sin eget dedikerte buss. Hvert komponenter kan være bryter slå på og slå av uten påvirker til alle av de andre komponenter eller delsystemer [37]. Desentralisert arkitektur er mer komplisert enn sentralisert arkitektur også det er større nytte.

4.12.3 DET og non-DET (PPT, MPPT osv.)

I Direct Energy Transfer (DET) – systemer er det en direkte koble mellom solcellepanelet, batteri og last. DET-systemer er det meste shunt typen og bruke shuntregulator. På gamle CubeSat-er brukte den mindre enn non-DET. DET har mindre virkningsgrad enn non-DET. DET fungere bare når sola er på solcelle og batteriet er fulladet. I non-DET system kobling DC-DC (Buck, Boost og Buck-Boost) konverter mellom solcelle og batteriet også kobling det mellom batteri og effektdistribuering [25].

5 Design av strømforsyning og distribusjon system

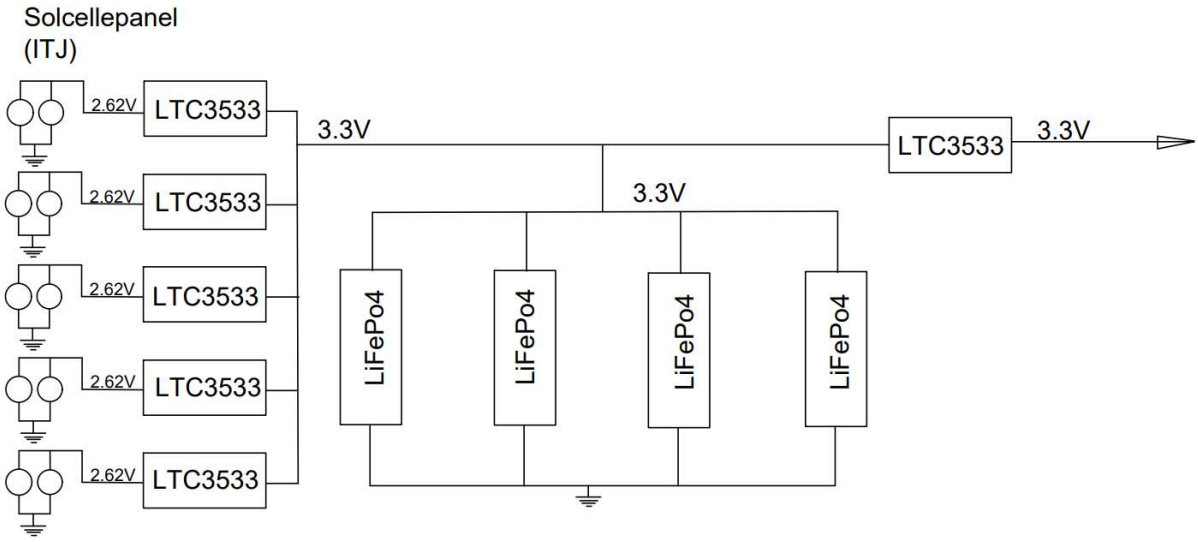
Figur 4.12.1.1 viser hvordan EPS-system ser ut. Den består hovedsak av solceller, fotovoltaisk strøm konverter, batteri, selvlåsende bryter, Power Conditioning for spenning 3 V og spenning 5 V, distribusjon bryter, I2C, termistorer, termostorer og MCU.



Figur 4.12.1.1: Blokk diagram for hele EPS-system på småsatellitt [72, s.3].

Blokk diagram EPS-system for dette prosjektet.

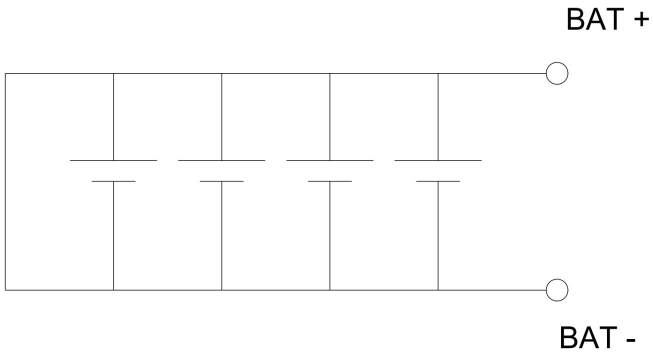
Figur 4.12.2.1 viser vårt EPS-system består av to solcellepanel som koblet i parallell. Disse er så koblet i serie med en Buck-Boost konverter. Vi har fem av disse setene av oppkoplinger, og hver av dem dekker en side av satellitten. Dette gjør at det blir en side ledig for andre komponenter. Alle setene er koblet i parallell med hverandre. Utgangsspenning fra solcellepanelene er 2,62 V. Utgangsspenning fra Buck-Boost konverter er 3,3 V. Den skal gå direkte til en batteripakke og til en Buck-Boost konverter 3,3 V som skal til last. Batteripakken kobler vi også i parallell med spenning 3,3 V.



Figur 4.12.2.1: Strømforsyning og distribusjon system (EPS) for dette prosjektet

Totalt av lasten 300 mW [43, s.13]. der er strøm på last side er 0.09 A. Ved mak effekt fra solceller er når satellitt roterende ca. 45 ˚C mot solar. Der er tre sider av alle sidene til satellitten treffer solar. Det vil si sannsynlighet for satellitt å treffe solar enten en side, to sider og tre sider.

5.1 Batteripakke



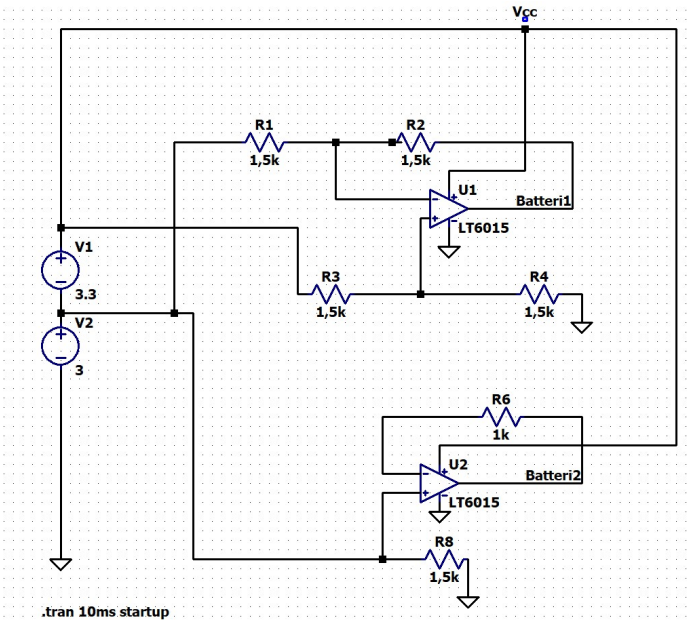
Figur 5.1.1: Batterioppsatt

Batteri LiFePO4 A123 apr 18650 har blitt valget. disse 4 batteriene kobler i parallell. Da er hvert batteri 3,3 V og har hurtiglading på 3,6 V. Kapasiteten til batteriene er 1,1Ah/stk. Det vil derfor total kapasitet er 4,4 Ah. I watt time er 14,52 Wh.

6 Test og diskusjon.

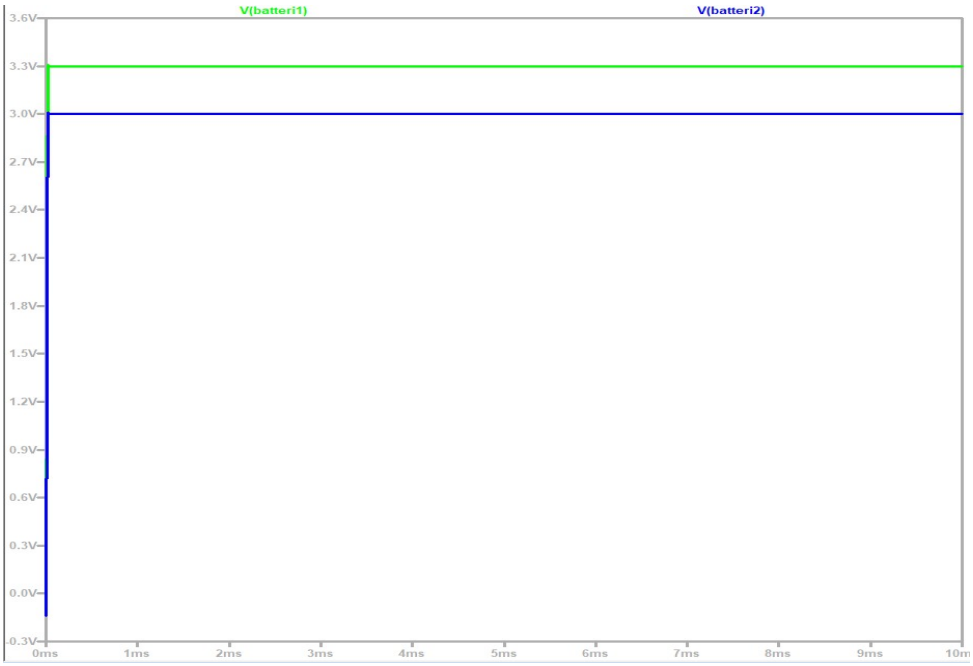
6.1 Prototypen av ladesystem med krets for batterimonitorering.

Dette er en batterimonitorering krets som simulering med LTspice viser på figur 0.1Kretsen består av to inngangsspenninger og to utgangsspenninger. Dermed den ene inngangsspenningen 3,3 V hører til utgangspenning for batteri1 og den andre inngangsspenningen 3 V hører til utgangspenning for batteri 2.



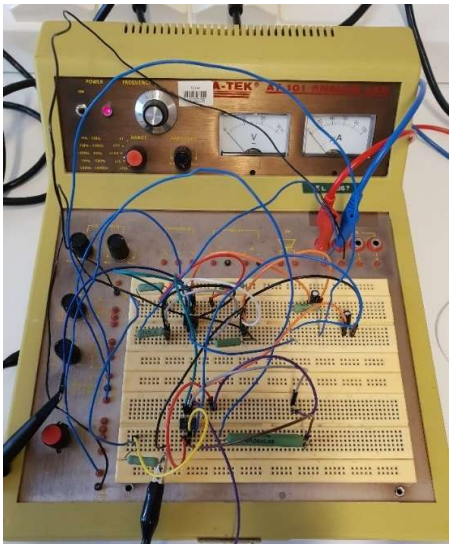
Figur 0.1: Simulering av batterimonitorering krets med LTspice

I fra simuleringen på LTspice figur 0.2 har det en resultater viser som en graf figur 0.2 nede. Grafen viser seg at y-aksen tilhører for spenning[v], og x-aksen hører til tid [ms]. Denne grafen består av to vannledd linjer. Den Grønne linjen er resultater for batteri1 sin utgangspenning 3,3 V, og den blåe linjen er resultater for batteri2 sin utgangspenning 3 V.



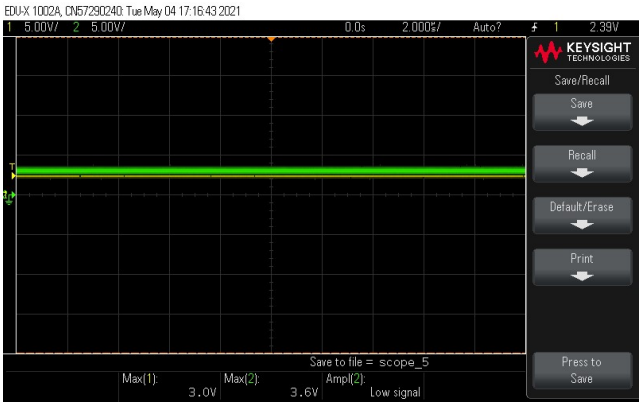
Figur 0.2: Resulter for batterimonitorering sine utgangsspenning til batteri1 og batteri 2

Dette er en prototypen med batterimonitoreringkrets kobler på en koblings brett. Koblings brettet kan tilføre spenning minimum 5 V. For å måle verdier i kretsen er blitt koblet den til en Oscilloskopet for å måle utgangsspenning. Det viser på figur 0.3 nede.



Figur 0.3: Prototyping av batterimonitorering med krets

Resultater av batterimonitoreringen lest fra Oscilloskopet viser seg på figur 0.4 nede. For å lese resultater på skjermen i Oscilloskopet, viser det seg som en graf. Grafen består av vandlede og loddledd. Loddledd er verdier for spenning[V]. I skjermen viser seg at det har mange ruter. Det vi si en rute tilhører spenning 5 V. På skjermen viser det to rett linje, grønn og gul farge. Den gule leser av Max (1) med utgangsspenning 3,0 V og den kaller kanal. Den grønne leser av Max (2) med utgangsspenning 3,6 V, og den kaller kanal2.



Figur 0.4: Resultat av batterimonitorering lest fra Oscilloskopet

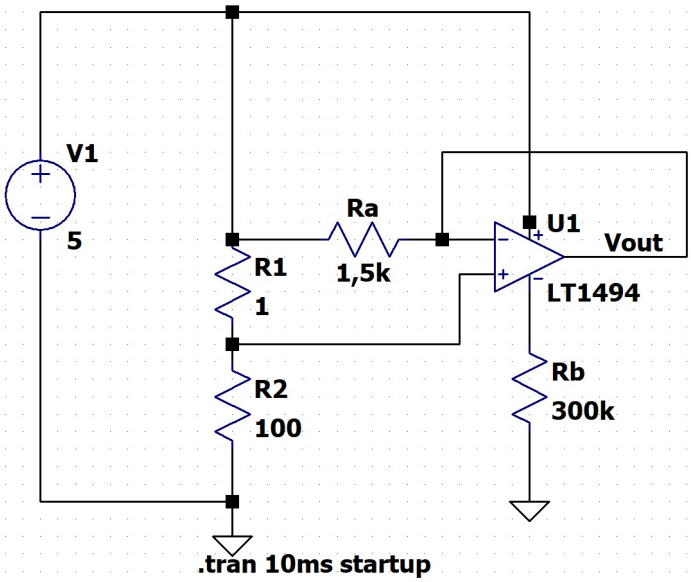
Tabell 0.1: Sammenligner resultater mellom simulering og laben

	Inngangsspenning		Utgangsspenning	
	Batteri1 [V]	Batteri2 [V]	Baterri1	Batteri2
Simuleringen	3,3	3	3,3 V	3 V
laben	5,3	5	3,6 V	3 V

I simuleringen ble det brukt Op-amp LT1494, men på laben brukte vi Op-amp MC1748CP1 siden Op-amp LT1494 ikke var tilgjengelig. På grunn av det ble oppkoblingen på laben litt annerledes fra hvordan kretsen ble satt opp i LTspice. På laben ble det tilført en 5 V spenning på batteri2 og en 5,3 V spenning på batterri1. Grunnen til at inngangsspenningene er endret fra 3 V og 3,3 V til 5 V og 5,3 V er at koblingsbrettet brukt har minimumsspenning på 5 V. Målingene på kanal1 viser at utgangsspenningen på batteri2 er på 3 V, og kanal 2 viser at utgangsspenningen på batteri1 er på 3,6 V. Utgangsspeningene på både battei1 og batteri2 er mindre enn inngangsspenningene fordi Gain på Op-amp er lik 0,6. Dette er en endring gjort for at utgangsspeningene skulle være nær de simulerte utgangsspenningsverdiene, og at verdiene skulle passe med komponentene vi hadde valgt. Utgangsspenningen for batteri1 ble noe høyere enn det som ble beregnet i LTspice. Dette kan ha oppstått på grunn av komponentene og/eller instrumentene ikke var ideelle, samt at stråling, trykk og temperatur kan også ha påvirket resultatene. Testene ble utført på jorda, dermed er trykk og stråling ikke det samme som i rommet. Resultatene kunne også ha vært bedre hvis samme Op-amp som simulert LTspice ble brukt. Samt at å ha et brett som kan ha ~~3V~~3 V som inngangsspenning ville ha gjort målingene enda mer lik simuleringene.

6.2 Prototypen av strømmonitorering

Detter er en simulering strømmonitorering krets i LTspice. Det viser på figur 6.2.1 nede. Strømmonitorering- kretset har inngangspenning(V) 5 V. Det består av en Op-amp, LT1494 der måles utgangspenning (Vout) fra Op-amp.



Figur 6.2.1: Simulering strømmonitorering krets med LTspice

Resultater fra simulering i LTspice fra figur 26. Det viser som en graf der y-aksen er spenning[V] nivå, og x-aksen er tid[ms]. En grønn trekk i grafen er verdier av strømmonitorering sin inngangspenning 5 V. det viser på figur 6.2.2 nede. På sammen måte er strømmonitorering sin utgangspenning 5 V viser seg på figur 6.2.3 litt lenge ned.] inngangsspenning av strømmonitorering 5 V. En grønn trekk er verdier av inngangsspenning

Figur 6.2.2: Resultat av inngangsspenning av strømmonitorering

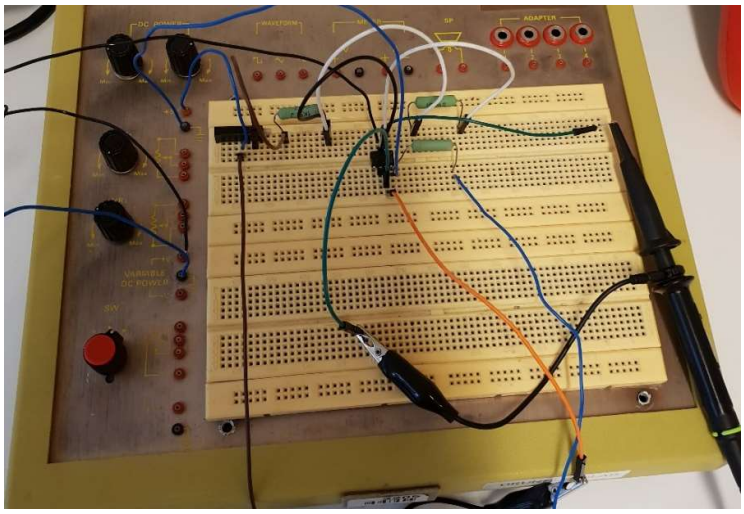
Figur 6.2.3: Resultat av inngangsspenning av strømmonitorering.

.

Figur 28 viser resultater fra simulering av LTspice fra figur 26. Det viser utgangsspenning av strømmonitorering 5 V.

Figur ~~28.~~6.2.4: Resultat av utgangsspenning av strømmonitorering.

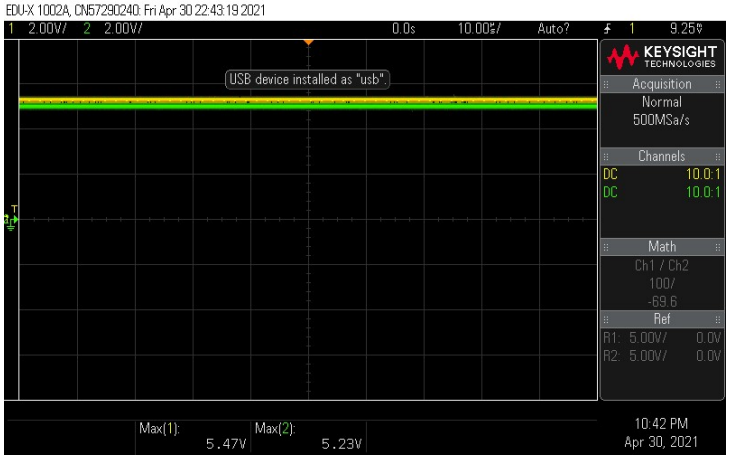
Detter er en prototype av strømmonitorering med krets. Det kobles på en koblings brett på vanlig lab-rommet. Koblings brett kan fører til minimum spenning 5V.For å lese av utgangsspenning sine verdier er blitt koblet det med et Oscilloskop. Det viser på figur 6.2.4



Figur 6.2.5: Protyping av strømmonitorering

Dette er resultater av strømmonitorering der leser av Oscilloskopet. Oscilloskop sitt skjerm viser som en graf. Det består av loddledd er spenningsnivå[V]. En rute som tår på skjermen tilhører spenning 2V. Max (2) er strømmonitorering sin inngangsspenning 5,23V og kaller kanal 2, og den ler av den gule linjen. Max (1) er strømmonitorering sin utgangsspenning 5,47V, og kaller kanel1, og den leser av den grønne linjen. Det viser på figur 6.2.5

Figur 30 viser resultater prototyping fra figur 29 av strømmonitorering av Oscilloskopet. Kanal2 er inngangsspenning 5,23 V og kanal1er utgangsspenning 5,47 V



Figur 6.2.6: Resultatene av strømmonitorering fra Oscilloskopet

Tabell 6.2.1: Sammenligner resultater mellom simulering og laben av strømmonitorering

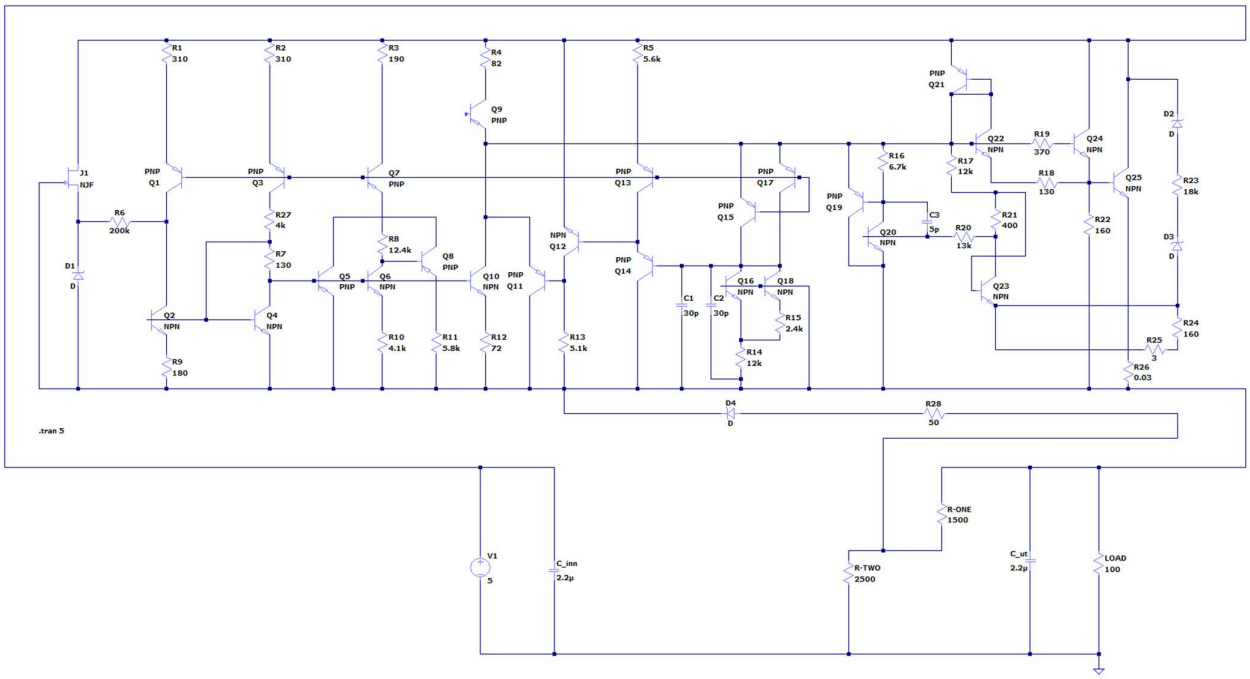
	Inngangsspenning [V]	Utgangsspenning [V]
Simulering	5	5
Lab	5,23	5,47

Tabell 6.2.1 viser resultater til inngangsspenning og utgangspenning både fra simuleringen og laben. På simuleringen er strømmonitorering en sin inngangsspenning er 5 V, og strømmonitorering sin utgangspenning er også 5 V fordi på simuleringen er Gain liker 1. Det vil derfor inngangsspenning liker utgangspenning. Og det stemmer det etter teorien.
Siden koblings brett har tilført inngangsspenning 5,23 V. Etter teorien skal utgangspenning være 5, 23 V. Men verdien av strømmonitorering utgangspenning er 5,47 V. Det skulle være inngangsspenning og utgangsspenning 5,23 V. Det blir ikke like på grunn av dette er ikke ideell krets, temperatur, instrument, stråling og trykksom påvirker. Siden den testen har gjort på et vanlige lab-rom ved UiT Narvik. Siden prototypen av kretset til strømmonitorering ser

det litt annerledes ut fra simuleringen fordi på simulering bruker Op-amp LT1494, men vi bruker på laben er Op-amp MC1748CPA i stedet.

6.3 Prototyping av lineære spenningsregulator

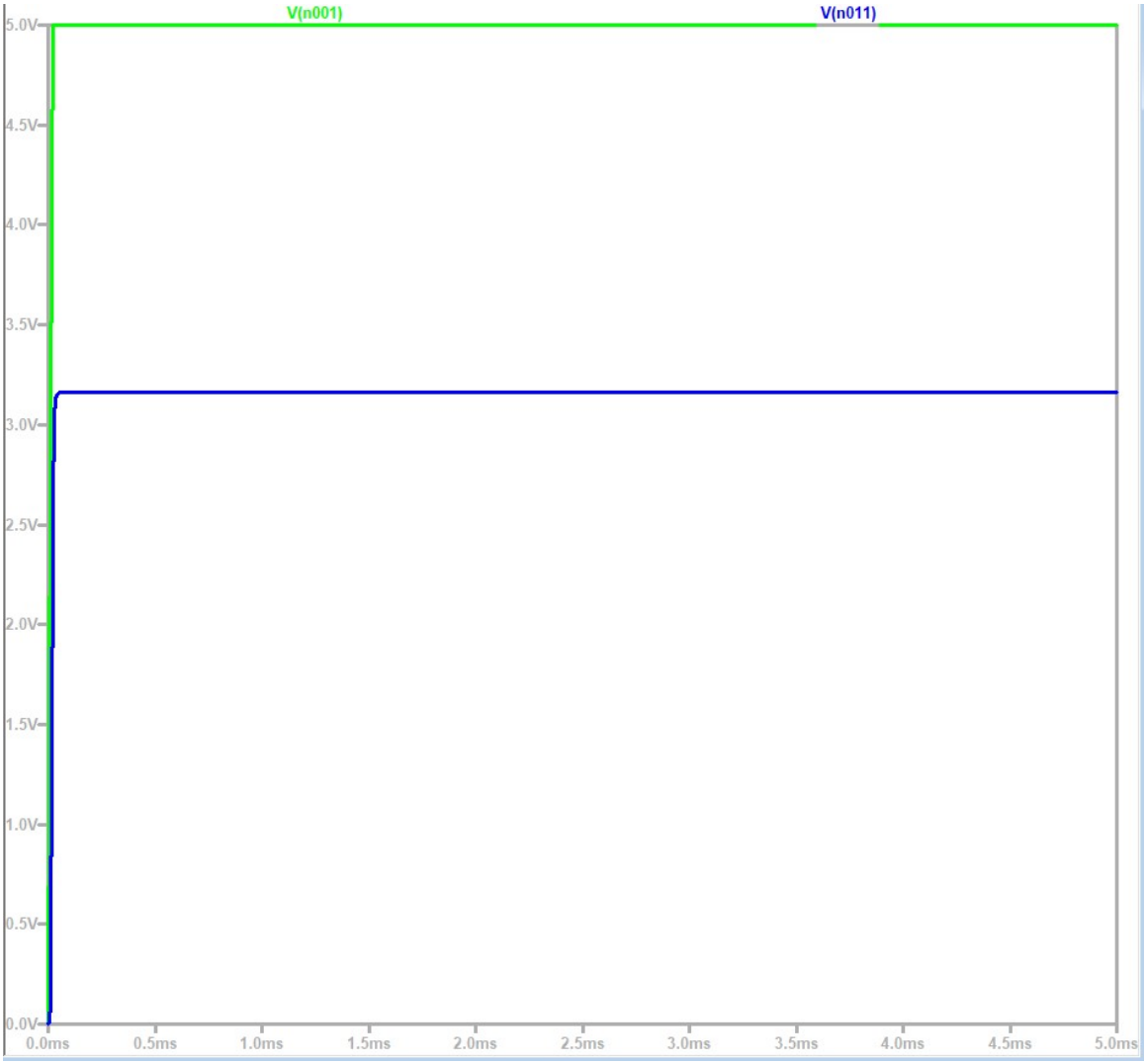
Figur 6.3.1 viser simuleringen til lineære spenning regulator, LM350at av LTspice med inngangsspenning 5 V.



Figur 6.3.1: Lineære spenningsregulator krets av LTspice.

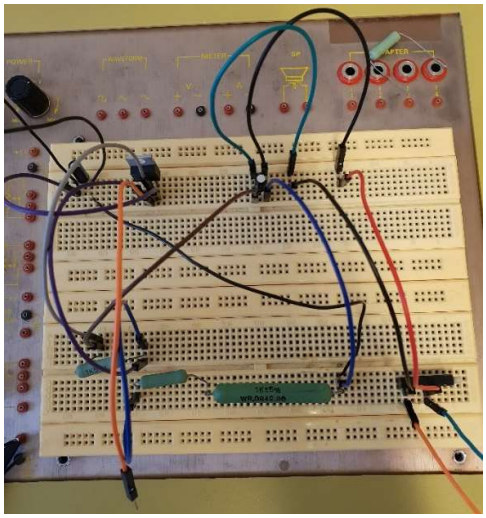
Figur 6.3.2 viser resultater av simulering lineære spenning regulator av LTspice fra figur 6.3.1. I fra grafen er den blåe utgangsspenning 3,6 V, og den grønne er inngangsspenning 5 V.

Detter er resultater fra lineær spenningsregulator fra LTspice. Det viser som en graf. På y-aksen er spenningsnivå[V] og på x-aksen er tid[ms]. Grafen viser to rette linjer. Den grønne er lineære sin inngangsspenning 5V, og den blåe er lineære utgangspenning 3,16V



Figur 6.3.2: Resultater av inngangsspenning og utgangsspenning av lineære regulator

Figur 6.3.3 er prototype av lineære spenning regulator med krets. Den bruker en ferdig lager lineære spenning regulator, LM350 og kobler etter krets på figur 6.3.1 på en koblings brett. Det viser en ledning er ikke ferdig koblet til noe fordi den er for å ta måling. Koblings brett kan føre minimum spenning 5V. For å les av utgangspenning verdier skal kobling brett kobles til en Oscilloskopet.

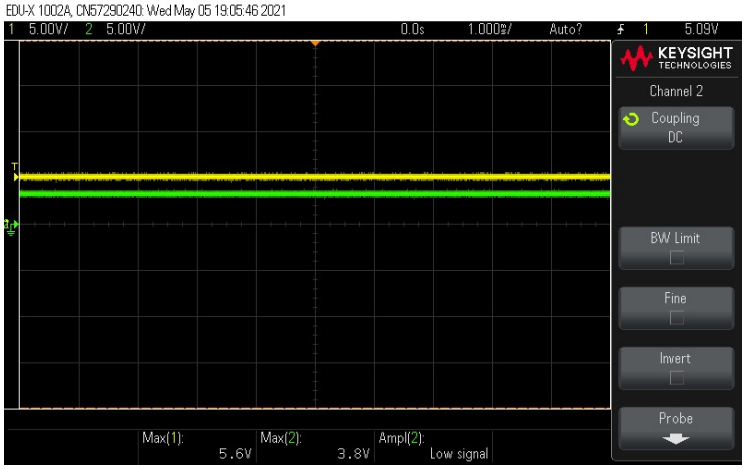


Figur 6.3.3: Prototyping av Lineære spenning regulator

.

Figur 6.3.3 Prototyping av Lineære spenning regulator. Figur 6.3.4 viser resultater av lineære spenning regulator fra prototyping figur33 av Oscilloskopet. Med den gule er kanal 1 (Max 1) med inngangsspenning 5,6 V og den grønne er kanal 2 (Max 2) med utgangsspenning 3,8 V.

Dette er resultater av prototyping av lineære spenning regulator som leser av Oscilloskopet sin skjerm. Skjermen viser som en graf. Grafen har loddledd som spenningsnivå [V]. Denne viser at en rute betyr at spenning er 5 V. med den gule er kanal 1 (Max 1) med inngangsspenning 5,6 V og den grønne er kanal 2 (Max 2) med utgangsspenning 3,8 V. Det viser på figur 6.3.4 nede.



Figur 6.3.4: Resultater av lineære spenning regulator

Tabell 6.3.1 viser inngangsspenning og utgangspenning mellom simulering og laben. For simuleringen er inngangsspenningen 5 V og utgangsspenningen 3,16 V. Fra laben er inngangsspenningen 5,6 V og utgangsspenningen 3,8 V.

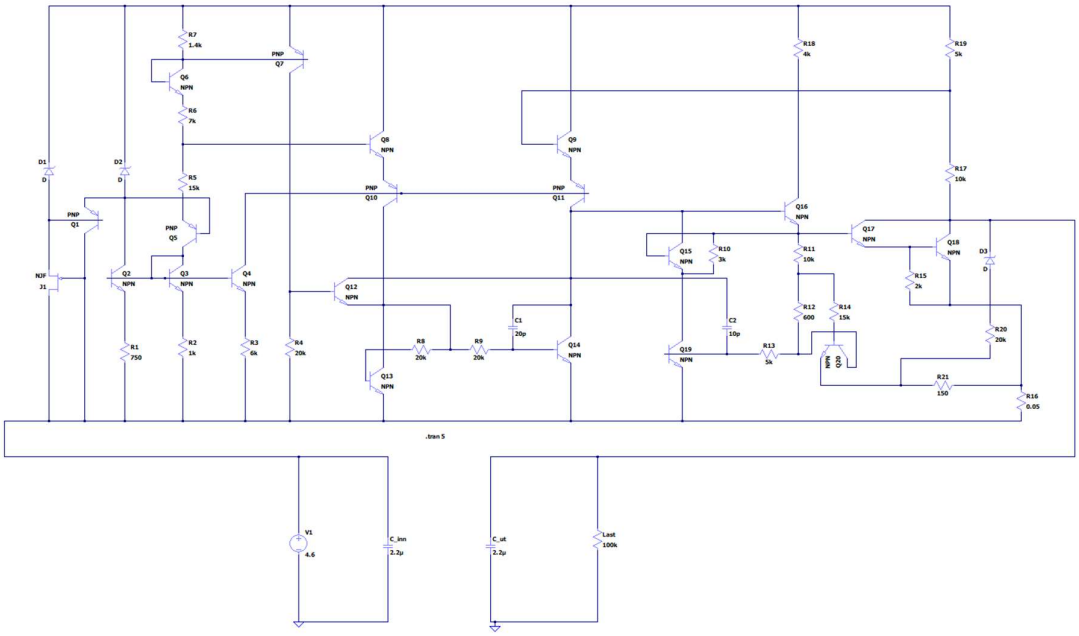
Tabell 6.3.1: Sammenligner resultater mellom simulering og laben av lineære spenning regulator

	Inngangsspenning [V]	Utgangsspenning [V]
Simulering	5,0	3,16
Lab	5,6	3,8

En ser av resultatene både fra simulering og laben at utgangsspenningen mindre enn inngangsspenningen på grunn av den lineære spenningsregulatoren. Dette stemmer med teorien. Regulatoren er en Buck-konverter, derfor utgangsspenning er mindre enn inngangsspenning. På grunn av at brettet ikke ville gå ned til 5 V for dette forsøket satt vi den på 5.6 V, som var det laveste vi fikk den. På grunn av at inngangsspenningen er høyere på laben enn på simuleringen, blir også utgangsspenningen høyere. Dette er hovedgrunnen til de forskjellige resultatene, men kondensatoren i kretsen har også noe innvirkning på resultatet.

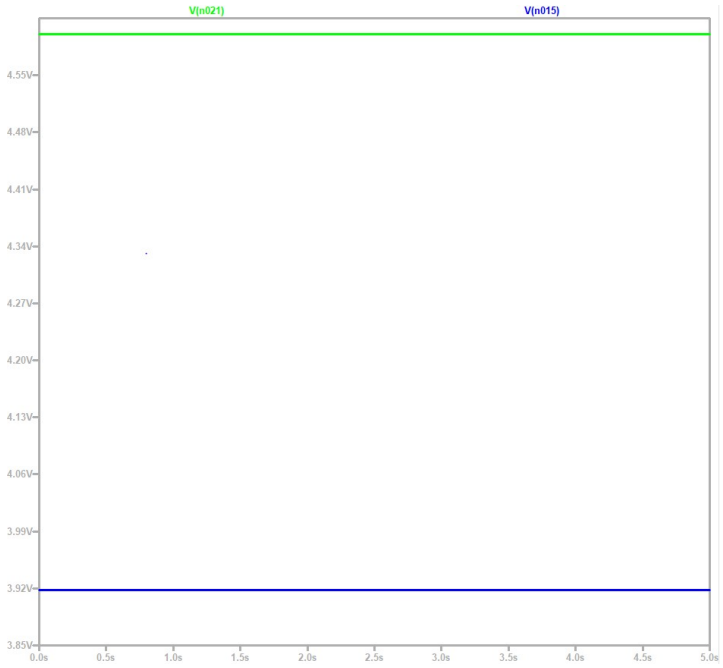
6.4 Prototyping av terminal negativ spenningsregulator

Figur 6.4.1 viser simulering krets for terminal negativ spenning regulator, LM320MP av LTspice. Inngangsspenningen er 4,6 V.



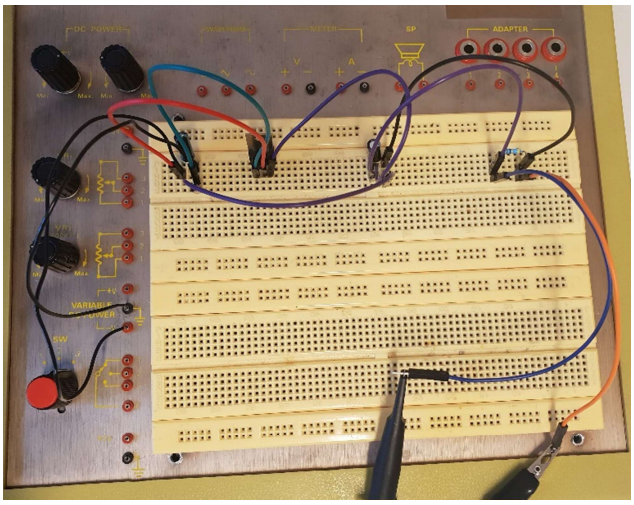
Figur 6.4.1: Simulering av terminal negativ spenning regulator av LTspice

Figur 6.4.2 viser resultater av terminal negativ spenning regulator kretssimuleringen av LTspice. Grafen vier at y-aksen er spenningsnivå [V], og på x-aksen er tid [s]. Det består av to rette linjer i grafen. Den grønne linje er terminal negativ inngangsspenning regulator sin inngangsspenning 4,6 V, og den blåe linje er utgangsspenning 3,92 V. 3,92 V til terminal negativ inngangsspenning regulator.



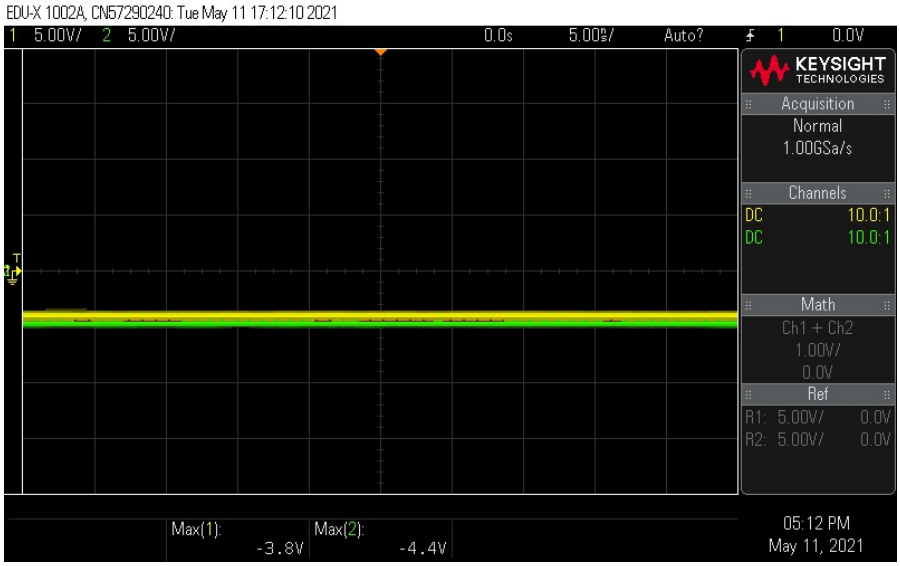
Figur 6.4.2: Resultater av terminal negativ spenning regulator

Figur 6.4.3 viser en kobling av terminal negativ spenning regulator LM320MP på en koblings brett. Koblingen er koblet etter kretsen på figur 6.4.1 med en ferdig lage LM320MP. Koblings brett tilfører minimum spenning 5 V.



Figur 6.4.3: Prototyping av terminal negativ spenning regulator.

Figur 6.4.4 viser resultater fra Oscilloskopet av terminal negativ spenning regulator LM320MP. På loddledd er spenningsnivå med en rute for 5 V spenning. På kanal 2 (Max2) leser av den grønne strekk er inngangsspenning -4,4 V og kanal 1(Max1) ler gule strekk er utgangsspenning -3,8 V.



Figur 6.4.4: Resultater av terminal negative spenning regulator av Oscilloskop

Tabell 6.4.1 viser resultater fra laben og simulering av terminal negativ spenningsregulator. For simuleringen er inngangsspenningen 4,6 V og utgangsspenningen 3,92 V. Fra laben er inngangsspenningen -4,4 V og utgangsspenningen -3,8 V.

Tabell 6.4.1: Sammenligner resultater mellom simulering og lab av terminal negativ spenning regulator

	Inngangsspenning[V]	Utgangsspenning[V]
Simulering	4,6	3,92
Lab	-4,4	-3,8

Grunnen til at det ble negative verdier på laben er fordi at på koblingsskjema så angis det at en må koble probe til negativside og krokodilleklemme til positivside. Når vi koblet probe på plusside og kobler krokodilleklemme til negativside, blir det varm i terminal negativ spenning regulator grunnen til det er at terminal negativ spenning regulator dessinere til å bruke som en negativ spenning kilde. Siden den er også en type lineære spenningsregulator derfor fikk vi utgangsspenning mindre enn inngangsspenning. I dette tilfelles bruker vi sammen lab utstyr og lab-rom de faktorene som vi har nevnt før kan påvirker utgangsspenning.

Diskusjon /drøfting Tabell 6.4.2 viser resultater for strømmonitorering fra simulering og laben. For simuleringen er inngangsspenning 5 V og utgangspenning 5 V. For laben er inngangsspenning 5.23 V og utgangspenning 5,47 V.

Tabell 6.4.2: Sammenligner resultater mellom simulering og laben av strømmonitorering

	Inngangsspenning	Utgangsspenning [V]
Simulering	5,0	5,0
Lab	5,23	5,47

Også her ble Op-amp MC1748CPA brukt i stedet for Op-amp LT1494. Utgangsspenningen på kanal1 er 5,47 V og på kanal2 er inngangsspenningen 5,23 V. Gain er lik 1 derfor forventer en at utgangsspenningen er lik inngangsspenningen. På laben tilfører vi inngangsspenningen 5,23 V, og det forventes en utgangsspenning på 5,23 V, men det ble en spenning på 5,47 V. Dette er innenfor, men forskjellen i verdi kommer nok av at Op-amp-en ikke er ideell, og at komponentene brukt i kretsen, samt måleutstyret heller ikke er perfekt.

6.4.1 Diskusjon om lineære spenningsregulator

Tabell 6.4.3 viser inngangsspenning og utgangspenning mellom simulering og laben. For simuleringen er inngangsspenningen 5 V og utgangsspenningen 3,16 V. Fra laben er inngangsspenningen 5,6 V og utgangsspenningen 3,8 V.

Tabell 6.4.3: Sammenligner resultater mellom simulering og laben av lineære spenning regulator

	Inngangsspenning	Utgangsspenning
Simulering	5 V	3,16 V
Lab	5,6 V	3,8 V

En ser av resultatene både fra simulering og laben at utgangsspenningen mindre enn inngangsspenningen på grunn av den lineære spenningsregulatoren. Dette stemmer med teorien. Regulatoren er en Buck-konverter, derfor utgangsspenning er mindre enn inngangsspenning. På grunn av at brettet ikke ville gå ned til 5 V for dette forsøket satt vi den på 5,6 V, som var det laveste vi fikk den. På grunn av at inngangsspenningen er høyere på laben enn på simuleringen, blir også utgangsspenningen høyere. Dette er hovedgrunnen til de forskjellige resultatene, men kondensatoren i kretsen har også noe innvirkning på resultatene.

6.4.2 Diskusjon om terminal negativ spenningsregulator.

Tabell 6.4.4 viser resultater fra laben og simulering av terminal negativ spenningsregulator. For simuleringen er inngangsspenningen 4,6 V og utgangsspenningen 3,92 V. Fra laben er inngangsspenningen -4,4 V og utgangsspenningen -3,8 V.

Tabell 6.4.4: Sammenligner resultater mellom simulering og lab av terminal negativ spenning regulator

	Inngangsspenning[V]	Utgangsspenning[V]
Simulering	4,6	3,92
Lab	-4,4	-3,8

Grunnen til at det ble negative verdier på laben er fordi at på koblingsskjema så angis det at en må koble probe til negativside og krokodilleklemme til positivside. Når vi koblet probe på plusside og kobler krokodilleklemme til negativside, blir det varm i terminal negativ spenning regulator grunnen til det er at terminal negativ spenning regulator dessinere til å bruke som en negativ spenning kilde. Siden den er også en type lineære spenningsregulator derfor fikk vi utgangsspenning mindre enn inngangsspenning. I dette tilfelles bruker vi sammen lab utstyr og lab-rom de faktorene som vi har nevnt før kan påvirker utgangsspenning.

7 Diskusjon

Oppgaven går ut på å bygge opp strømforsyningen til en småsatellitt. Vi hadde designet en stor del av EPS-systemet. Det fungerer bra i teorien, men vi kan dessevere ikke teste hele systemet i praksis. Vårt EPS-system er i hovedsak bygget opp av solcellepanel, Buck-Boost konverter, batteri, batterimonitorering og strømmonitorering.

For DC/DC-spenningsregulator valgte vi en Buck-Boost konverter istedenfor Buck eller Boost. Buck-Boost konverter passer bedre siden satellitten vil både bli utsatt for mye og liten solstråling. Med Buck-Boost kan energien bli konvertert uansett mengden sol, siden den vil fungere både som step -up og step-down konverter for spenningen. Vi velger å ikke bruke lineær spenningsregulator på grunn av at den vi testet hadde dårligere virkningsgrad enn Buck-Boost konverteren. Resultantene fra laben og LTspice simuleringen viser dette. En ser

at utgangspenningen ikke blir lik inngangsspenningen, og dette kommer av at virkningsgraden til lineær spenningsregulator er på mellom 50 og 70 prosent.
Buck-Boost konverter er koblet til 5 set med solcellepanel i parallell slik at hvis en rykker, så blir satellitten å fortsatt kunne være i drift.
Vanligvis bruker en Maksimal power point tracking (MPPT) til å kontrollere duty cycle til en dc/dc konverter. MPPT beveger på solcellene slik at de får maksimal stråling hele tiden, og så gir den videre beskjed til Buck-Boost konverteren slik at den konverterer spenningen til angitt spenning. Å bruke Buck-Boost uten MPPT fungerer, men burde man erstatte MPPT-en med mikrokontroll unit (MCU). Da gir MCU beskjeden til Buck-Boost konvertert om hvor mye solstråling det er. Siden MPPT sin eneste oppgave er å lete etter solstråling og gi beskjed til Buck-Boost konverteren om å stille om ratioen. MCU kan brukes til flere ting, men dette kan slitte mer på MCU-en.

Som nevnt kapittel 4.2 har vi valgt å bruk APR18650 fra Elfa Distrelec (LiFePo4 type batteri) som batteri, og konstant spenning, konstant strøm (CC/CV) som ladestrategi. Grunnen til at vi valgte APR18650 var fordi det gir høy energitetthet og høyt antall ladesykluser. APR18650 er basert på LiFePo4 patentet, som er basert nanofosfat oppbygging, som har høyere kontinuerlig strøm og tåler høy belastning. Med CC/CV spares det penger, siden ikke trenger ekstern batteri beskyttelse. De 4 batteriene kobles i parallell slik at de kan tilpasses med Buck-Boost konverteren sin spenning på 3,3V. APR18650 er valgt også i henhold til pris, og at de ikke er så veldig store, slik at de passer på satellitten.

For solcellepanel tar vi hensyn til at de tåler høy stråling og høy temperatur mens de er i rommet. Derfor er ITJ -PV blitt valgt fordi de har en trippelagsstruktur som består av Germanium (Ge), Gelliun Arsenium (GaAs) og Gallium Indium Phosphide ($GaInP_2$). Denne strukturen gjør slik at panelene kan lagre energi fra stråling med bølgelengde mellom 300 nm til 1800 nm.

For solcellepanel må hensyn til at den tåler høystråing og høy temperatur på rommet. Derfor er ITJ -PV blitt vagles fordi den består av Germanium (Ge), Gelliun Arsenium (GaAs) og Gallium Indium Phosphide ($GaInP_2$). Den bruker trippelagsstrukturen da kan den hente energi fra bølgelengder rundt 300 nm til 1800 nm. ITJ -PV har også vært vurdert med satellittstudier på UiT Narvik.

Lastbeskyttelse har blitt valgt til selve konstruksjonen, men den har ikke blitt simulert på grunn av mangel av tid. Lignende forsøk/oppgaver fra UiO og NTNU har ikke brukt last beskyttelse i det hele tatt. Lastbeskyttelsen vi har valgt er over -og underspenning TSP2400 og overstrøm INA300, fordi vi syns at det passer for dette prosjektet.

Strømmonitorering og spenningsmonitorering er viktig, slik at en får overvåket strøm og spenning slikt at en kan vite hvor mye strøm og/eller spenning det er i kretsen. Strømsensor ZXCT1022 fra Zetex ble egentlig valgt, men vi fikk ikke testet den ut, men vi vil fortsatt anbefale den for dette prosjektet. Istedenfor ble strømmonitoreringen gjort med Application Note 105 (AN105) i stedet. AN105 ble simulert i LTspice og testet på laben, resultatene fra simuleringen vises.. Resultatene fra laben på figur. For spenningsmonitor anbefales PAC1932T-T/JQ fra Microchip. Den er ikke blitt testet på laben. Simuleringen av PAC er funnet på internatnett. Grunnen til å simulere er for at det skal vise at det stemmer etter teorien om utgangsspenning er lik inngangsspenning.

For effekt distribusjonssystem. Det er to type effekt distribusjon systemer som er blitt nevnt i oppgaven. Det er sentralisert arkitektur og desentralisert arkitektur. Sentralisert arkitektur er mest brukt for småsatellitt ca. 80 %. Den består av mange busspenninger som er koblet i parallell, og hver busspenning er koblet til alle komponentene. Fordelen med denne strukturen er at hvis en busspenning kobles ut, får fortsatt alle komponentene spenning fra andre busspenninger.
Dette passer bra med småsatellitter fordi en sparrer plass og kostnader med å ikke trenge like mange regulatorer. I hovedsak er sentralisert arkitektur kun brukt på energikilder.
Desentralisert arkitektur er mer komplisert enn sentralisert arkitektur. Den har bare en busspenning som fordeler energi til komponentene. Hver komponent har en egen bryter. For deler av satellitten som ikke er i bruk kan de slås av. Dette passer for store satellitter siden en trenger å spare mer energi. Vi valgte sentralisert struktur siden vi trenger ikke å kunne skru av deler av satellitten, samt at vi sparer penger på ikke å trenge kjøpe regulatorer, i tillegg er sentralisert mer trykt, siden en feil vil ikke slå ut hele eller deler av satellitten.

8 Konklusjon

Oppgaven gitt ut på å bygge strømforsyning på småsatellitt. Systemet skal fungere i teorien, men vi har dessverre ikke hatt muligheten til å teste hele system enten i rommet og på jorda. Ifølge oppgaveteksten, skulle vi teste ut noen komponenter. Disse var batterimonitor, strømmonitor, lineære spenningsregulator og terminal negativ spenningsregulator. Vi aksepterte alle verdiene. Når vi tester batterimonitorering og strømmonitorering burde vi planlagt bedre for å kunne bruke sammen Op-amp både på simulering og på laben. Det ville nok ha gitt bedre resultater

Selv om vi ikke fikk se at hele system fungerte, er vi fornøyd med arbeidet vi har gjort. Til tross for at vi alle tre er elkraftstudenter, og derfor hadde ikke så mye kunnskap om elektronikk og satellitt. Oppgaven har vært en lærerik opplevelse.

8.1 Veien videre

Hvis vi hadde hatt mer tid skulle vi gjerne ha testet solcellene på lab og studert resultatene. Vi burde også ha kunne undersøke videre batteriets laddingssyklus. Vi skulle også gjerne gjør det 'utvidelse oppgaven' som er nevnt i oppgaveteksten (se vedlegg 1), som går ut på å lage prototype med lastvarierende algoritmer for å utnytte den maksimale effekt vi kan få fra solcellene.
Vi håper de neste studentene bygger på oppgaven videre fra dette punktet, og kanskje gå litt dypt på strøm - og spenning sensorer enn det arbeidet som er gjort i dette prosjekt.

9 Bibliografi

[1] I. Gunvaldsen; S. Mathiesen og K. A Rosvold, *batteri*, 2019. Hentet fra: https://snl.no/batteri. Lastet ned 20.04.2021.

[2] J. Bester; B. Groenewald og R. Wilkinson, *EPS for a 3U CubeSat nanosatellite incorporating peak power tracking with dual redundant control,* 2012. Hentet fra: http://digitalknowledge.cput.ac.za/bitstream/11189/5784/1/Bester_J_Groenewald_BBJ_Wilkinson_R_Electrical%20power%20system%20for%20a%203U%20CubeSat%20_.pdf. Lastet ned 20.04.2021.

[3] P. Bugryniec, *CubeSat: The Need for More Power to Realise Telecommunications*, 2016. Hentet fra: http://www.energystorage-cdt.ac.uk/outputs/cohort-2/Bugryniec+mini+project+report.pdf. Lastet ned 20.04.2021.

[4] V. Knap; L. K. Vestergaard og D. Stroe, *A Review of Battery Technology in CubeSats and Small Satellite Solutions*, 2020. Hentet fra: UiT nettbibliotek https://res.mdpi.com/energies/energies-13-04097/article_deploy/energies-13-04097-v2.pdf . Lastet ned 20.04.2021.

[5] M. Murnane og A. Ghazel, *A Closer look at SOC and SOH estimation techniques for batteries*, 2017. Hentet fra: https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/technical-articles/A-Closer-Look-at-State-Of-Charge-and-State-Health-Estimation-Techniques.pdf . Lastet ned 20.04.2021.

[6] K. Brush, *state of charge (SOC)*. 2019. Hentet fra: https://whatis.techtarget.com/definition/state-of-charge-SOC . Lastet ned 20.04.2021.

[7] Norsk Solenergiforening, *Solceller*. Hentet fra: https://www.solenergi.no/solstrm .Lastet ned 03.04.2021.

[8] B. Afework, J. Hanania, K. Stenhouse, B. Yyelland, J. Donev, *Energy Education*, 2018. Hentet fra: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Photovoltaic_cell . Lastet ned 03.04.2021.

[9] Kilde:Hentet fra. Solarceller -Energi og Miljø.pdf Lastet ned 21.03.2021

[10] Chemistry Explani, Solar Cells : Hentet fra Solar Cells - Chemistry Encyclopedia - structure, metal, equation, The pn Junction (chemistryexplained.com): Lastet ned 22.02.2021

[11] Sasmita, *DC voltage regulator circuit*, 2015. Hentet fra: https://electronicspost.com/dc-voltage-regulator-circuit. Lastet ned: 18.04.2021.

[12] T. M. Lim, *A modular electrical power system architecture for small spacecraft*, 2016. Hentet fra: https://uknowledge.uky.edu/cgi/viewcontent. Lastet ned: 18.04.2021.

[13] ABLIC, *introduction - what is a LDO? What is a linear regulator*? Hentet fra: https://www.ablic.com/voltage-regulator-ldo/intro. Lastet ned: 18.04.2021.

[14] Electronics Hub, *LDO voltage regulator*, 2019. Hentet fra: https://www.electronicshub.org/ldo-low-drop-out-regulator/. Lastet ned: 18.04.2021.

[15] W. Fwu; A. Paxton; J. G. Torres og M. Sellers, *LDO basics,* 2020. Hentet fra: https://www.ti.com/lit/eb/slyy151a/slyy151a.pdf¨. Lastet ned: 18.04.2021.

[16] Texas Instruments, *Linear and Switching Voltage Regulator Fundamental Part 2,* 2012. Hentet fra: https://r.search.yahoo.com/communityserver-discussions-components-files%2f188%2fsnva559.pdf. Lastet ned: 18.04.2021.
Tilgjengelig også i mappe 'alt annet relevant vedlegger'.

[17] Swagatam, *How Buck Converters Work*, 2020. Hentet fra: https://www.homemade-circuits.com/how-buck-converter-works/. Lastet ned: 18.04.2021.

[18] Swagatam, *How Boost Converters Work'*, 2019. Hentet fra: https://www.homemade-circuits.com/how-boost-converters-works. Lastet ned: 18.04.2021.

[19] International Journal of Aerospace Engineering,On-Orbit Thermal Desing and Validation of 1 U Standardized CubeSat of STEP Cube Lab,2016: Hentet fra: https://www.hindawi.com/journals/ijae/2016/4213189/ .Lastet ned 04.05.2021.

[20] Analog Missions, Why Space Radiation Matters: Hentet fra https://www.nasa.gov/analogs/nsrl/why-space-radiation-matters .Last ned 04.05.2021

[21]NASA,Space Weather,Jun 10,2019:Hentet fra https://www.nasa.gov/feature/how-nasaprepares-spacecraft-for-the-harsh-radiation-of-space: Lastet ned [08.05.2021]

[22] ELFA DISTRELEC, APR18650M1-Oppladbart batteri,3.3V,1.1Ah,A123 Sysstems: Hentet fra : APR18650M1 | A123 Systems Oppladbart batteri, 3.3V, 1.1Ah | Elfa Distrelec Norge : Lastet ned 09.04.2021

[23] Knut Olav Skyttemyr,Design and Implementation of the Elekctrical Power System ofr the CubeSTAR Satellite,2013: Hentet fra UiO Skyttemyr-master.pdf: Lastet ned 16.04.2021

[24] Timothy M. Lim «A modulr electrical power system architeeture for samll spacecraft»(2016)[internett] Tilgjengelig: A MODULAR ELECTRICAL POWER SYSTEM ARCHITECTURE FOR SMALL SPACECRA.pdf.[Besøk 13.04.2021]

[25] Jean Bester, Ben Groenewald,Richardt Wilkinson,Elektrical power system for a 3U CubeSat nanosatelitte incorporation peak power tracking with dual redundant control:Hentet fra 72.pdf. Lastet ned 13.04.2021.

[26] Panasonic. Charging Methods,Methods of Charging the Volve-Regulated Lead-Acid Battery, August 2005: Hentet fra VRLA - BSG (master-instruments.com.au)):Lastet ned Besøk 13.04.2021.

[27] A123 System,High Power Litium Ion APR18650m1,2008: Hentet fra :Microsoft PowerPoint - APR18650M1 Datasheet MARCH 2008 (elfadistrelec.no): Lastet ned 25.04.2021

[28] *Timothy M. Lim, A MODULAR ELECTRICAL POWER SYSTEM ARCHITECTURE FOR SAMLL SPACECRAFT, 2016: Hentet fra* .A MODULAR ELECTRICAL POWER SYSTEM ARCHITECTURE FOR SMALL SPACECRA.pdf: Lastet ned 22.04.2021.

[29] Spectrolab,26.8% Improved Triple Junction (ITJ) Solar Cells: Hentet fra PV ITJ Cell 4-29-08.pub (spectrolab.com)[Besøk 14.05.2021]

[30] Fill Factor:Hentet fra Fill Factor | PVEducat]ion: Lastet ned 06.04.2021

[31]. A123 Systems. Nanophosphate Basics [internett] Tilgjengelig til. 26650M1B v_2 (batteryspace.com) [Besøk 16.04.2021]

[32] Regjeringen 365 millioner kroner i finansiering til satellittbase på Andøya,2020: Hentet fra https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/365-millioner-kroner-i-finansiering-til-satellittbase-pa-andoya/id2704501/: Lastet ned 01.05.2021

[33] 5.0 Power Subsystem, [Internett] Tilgjengelig til. Microsoft Word - 5.0 Power Subsystem.doc (utexas.edu) , Lasted ned 20.04.2021

[34] IJAREEIE,Internationa Journal og Advanced Research in Electrical Electronics and Instrumentation Engineering, DC To Dc Converter in Maximun Power Point Tracker,2013: Hentet fra 25_2Copies_DCToDC.pdf (ijareeie.com): Lastet ned 16.04.2021.

[36] R. Bur,t Distributed Electrical Power systems in CubeSat applications, 2011, Distributed Electrical Power System in Cubesat Applications.pdf , Lastet ned 01.04.2021

[37] R. Burt, Distributed EPS in a CubSat Application [Paper Number] (usu.edu) Lasted ned: 20.04.2021.

[38] Store norske leksikon,Vakuum: Hentet fra :vakuum – Store norske leksikon (snl.no): Lastet ned besøk 24.04.2021.

[39] Store norske leksikon,varmeleding: hentet fra tilgjengelig: varmeledning – Store norske leksikon (snl.no): Lastet ned 26.04.2021.

[40] Lars Erik Jacobsen,Electrical Power System of the NTNU Test Satellite,2012: Hentet fra Electrical Power System of the NTNU Test Satellite: Lastet ned 11.04.2021.

[41] Dataelektroniker, Operasjonsforsterker [internett] tilgjengelig på 1.2.9 Operasjonsforsterker — Dataelektroniker (fagbokforlaget.no)

[42] Operational Amplifiers Summary[intenett]: tilgjengelig på Operational Amplifier Summary, Op-amp basics (electronics-tutorials.ws). [besøk 05.05.2021].

[43] Distributed Elektrical Power System in Cubesat Application, Robert Burt ,Utah State University (12-2011):tilegnelig til Distributed Electrical Power System in Cubesat Applications.pdf [besøk 10.50.2021].

[44] Martin Oredsson,Electrical Power System for the CubeSTAR Nanosatellite,2010:Hentetfra 11.05.2021.
Electrical_Power_System_for_the_CubeSTAR_Nanosatellite.pdf (uio.no)

[45] Benjamin Lynch ,Cubesat electronic power system,2014: Hentet fra CubeSat electronic power system (scu.edu). Lastet ned: 11.05.2021.

[46] Ibrahim Tahir Osman, DESIGN AND IMPLEMENTATION OF EPS (ELECTRICAL POWER SYSTEM) OF A CUBESAT,2012: Hentet fra DESIGN AND IMPLEMENTATION OF EPS (ELECTRICAL POWER SYSTEM) OF A CUBESAT (uofk.edu). Lastet ned 11.05.2021.

[47] Jussi Hemmo, Electrical Power System for Finnesh Nanosatellites,2013: Hentet fra 80710965.pdf (core.ac.uk). Lastet ned 11.05.2021.

[48] Fabien Jordan,Electrical Power System (EPS),2006: Hentet fraMicrosoft Word - S3-A-EPS-1-0-EPS.doc (goldstem.org). Lastet ned 11.05.2021.

[49] Alen, *Q&A on cubesat payloads: what can you put in a small satellite,* 2020. Hentet fra: https://info.alen.space/cubesat-payloads-what-can-you-put-in-a-small-satellite. Lastet ned 12.05.2021.

[50] Nanosats Database, *What is a CubeSat & other picosatellites*. Hentet fra: https://www.nanosats.eu/cubesat. Lastet ned 12.05.2021.

[51] E. Mabrouk, *What are SmallSats and CubeSats,* 2017. Hentet fra: https://www.nasa.gov/content/what-are-smallsats-and-cubesats. Lastet ned 12.05.2021.

[52] California Polytechnic State University, *CubeSat Design Specification*. Hentet fra: https://blogs.esa.int/philab/files/2019/11/RD-02_CubeSat_Design_Specification_Rev._13_The.pdf. Lastet ned 12.05.2021.

[53] Y. Xue; Y. Li; J. Guang; X. Zhang og J. Guo, *Small satellite remote sensing and applications – history, current and future*, 2008. Hentet fra: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01431160801914945 . Lastet ned 12.05.2021. [sjekk om dette kilde er brukt på de andre linker]

[54] Nanosats database, *Cubesat Commercial Constaellations*. 2021. Hentet fra: https://www.nanosats.eu/tables#constellations. Lastet ned 12.05.2021.

[55] NASA Office of inspector general, *Faster, better, cheaper: policy, strategic planning, and human resource alignment*, 2001. Hentet fra: https://oig.nasa.gov/audits/reports/FY01/ig-01-009.pdf. Lastet ned 12.05.2021.

[56] Linear technology, *Link for LTC3533 datablad*. Hentet fra: https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/3533fc.pdf. Lastet ned: 06.05.2021.

[57] Elfadistrelec, *Link for LTC3533 pris*. Hentet fra: https://www.elfadistrelec.no/en/dc-dc-converter-step-up-step-down-inverting-non-inverting-dfn-3v-linear-technology-ltc3533ede-pbf/p/30167452?track=true&no-cache=true&marketingPopup=false. Lastet ned: 06.05.2021.

[58] A. Altvater, *'What is Telemetry? How Telemetry Works, Benefits, Challenges and more'*, 2017. Hentet fra: https://stackify.com/telemetry-tutorial/. Lastet ned: 06.05.2021.

[59] Silicon labs, *Link for datablad for Si4063/60*. Hentet fra: http://www.farnell.com/datasheets/1810308.pdf Lastet ned: 06.05.2021.

[60] Farnell, *Link for Si4063/60 pris.* Hentet fra: https://no.farnell.com/silicon-labs/si4060-b1b-fm/rf-transmitter-142mhz-1-05ghz/dp/2414373?st=telemetry. Lastet ned: 06.05.2021.

[61] Tech Target Contributor, *Hall effect,* 2021. Hentet fra: https://whatis.techtarget.com/definition/Hall-effect. Lastet ned 06.05.2021.

[62] DEWESoft, *How To Measure Current Using Current Sensors and Transducers*, 2020. Hentet fra: https://dewesoft.com/daq/how-to-measure-current-using-current-sensors. Lastet ned: 06.05.2021.

[63] LION PRECISION, *Definition Bandwidth,* 2021. Hentet fra: https://www.lionprecision.com/definition-bandwidth/. Lastet ned: 06.05.2021.

[64] Zetex, *link for datablad for ZXCT1022*. Hentet fra: http://www.farnell.com/datasheets/1846240.pdf . Lastet ned: 06.05.2021.

[65] Farnell, *link for ZXCT1022 pris*. Hentet fra: https://no.farnell.com/diodes-inc/zxct1022e5ta/current-monitor-high-side-1022/dp/1461563?st=current%20sensor . Lastet ned: 06.05.2021.

[66] Electrial4U, *Voltage sensor: working principle, type and circuit diagram*, sist oppdatert 31.01.2021. Hentet fra: https://www.electrical4u.com/voltage-sensor/. Lastet ned: 06.05.2021.

[67] Farnell, *link for spenningssensoren PAC1932-I/JQ*. Hentet fra: https://no.farnell.com/microchip/pac1932t-i-jq/dc-power-energy-monitor-with-accumulator/dp/2907896?st=pac1932. Lastet ned: 06.05.2021.

[68] Microchip, *datablad for spenningssensoren PAC1932T-I/JQ.* Hentet fra: http://www.farnell.com/datasheets/2628647.pdf. Lastet ned: 06.05.2021.

[69] Alen, *Q&A on cubesat payloads: what can you put in a small satellite,* 2020. Hentet fra: https://info.alen.space/cubesat-payloads-what-can-you-put-in-a-small-satellite. Lastet ned 13.05.2021 (den har er allerede på [49])

[70] Electricalvoice, *state of charge (SOC) and state of health (SOH)*, 2017. Hentet fra: https://electricalvoice.com/state-of-charge-soc-state-of-health-soh/. Lastet ned 20.04.2021.

[71] X. Kong; A. Bonakdarpour; B. T. Wetton; D.P. Wilkinson og B. Gopaluni, *state of health estimation for lithium-ion batteries,* 2018. Hentet fra: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896318320329 . Lastet ned: 20.04.2021.

[72] GOMspace,NanoPower P-series Dahasheet,Electric Power System for mission critical space spplication with limitet resources,2010:Hentet fra GS-DS-NANOPOWER-2.0.6 (3).pdf: Lastet ned 12.05.2021.

[73] D. Messier, *Sateliot, together with Spanish ministry of defense, promoting first IOT Nanosat constellation for IOT and secure information exchange,* 2021. Hentet fra: http://www.parabolicarc.com/2021/05/05/sateliot-together-with-spanish-ministry-of-defense-

promoting-first-iot-nanosat-constellation-for-iot-and-secure-information-exchange/. Lastet ned 12.05.2021.

[74] F. Ebel, *Tunisia's first satellite to highlight country's technology,* 2020. Hentet fra: https://phys.org/news/2020-06-tunisia-satellite-highlight-country-technology.html . Lastet ned 12.05.2021.

[75] Carewather, *track the weather where you'll be when you'll be there,* 2021. Hentet fra: https://careweather.com/#. Lastet ned 12.05.2021.

[76] A. Nyirday, *momentus signs launch service agreements with pixel, GP advanced projects*, 2020. Hentet fra: https://www.satellitetoday.com/launch/2020/09/23/momentus-signs-launch-service-agreements-with-pixxel-gp-advanced-projects/. Lastet ned: 12.05.2021.

[77] Texas Instruments, *INA300 Overcurrent-Protection, Current-Sense Comparator*, 2016. Hentet fra: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina300.pdf?ts=1621764976973&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fsitesearch%252Fdocs%252Funiversalsearch.tsp%253FlangPref%253Den-US%25: Lastet ned 23.5.202.

[78] Texas Instruments, *TPS2400 Overvoltage Protection Controller*,2015. Hentet fra: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps2400.pdf?HQS=dis-dk-null-digikeymode-dsf-pf-null-wwe&ts=1621771485949&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.digikey.no%2: . Lastet ned 23.05.2021.

10 Vedlegg

1. Oppgavetekst
2. Simuleringskretser
3. Lab utstyrsliste

Oppgavetekst

Hovedoppgave ved UiT Norges arktiske universitet

Referansenummer	
Oppgavens tittel:	Hardware evaluering av en ’functional model’ for et ’electrical power system’ på en småsatellitt.
Oppdragsgiver:	Tom Stian Andersen og Annette Fossli Brustad
Referansepersonen(e):	Tom Stian Andersen og Annette Fossli Brustad
Antall Studenter:	2-3
Passer for studenter fra:	Elkraft

Bakgrunn

I “Melding til Stortinget 2019-2020 Høytflyvende satellitter – jordnære formål” er det gjort klart at Norge har lyst å satse på romvirksomhet. Dette har blitt eksemplifisert med at Andøya rakettskytefelt fikk innvilget 365 millioner kroner til utviding av sine oppskytningsmuligheter til å innefatte plassering av småsatellitter i lavbaner. Dette åpner opp for spennende muligheter for både utdanningssektoren og det kommersielle markedet i Norge. Ved Norges Arktiske Universitet i Narvik så er det nylig startet et studentsatellittprosjekt der målet er å bygge småsatellitter til bruk i utdanningssektoren. Campus Narvik har lang erfaring med satellittbygging fra NCUBE I&II og HiNCube og er nå klar til å gå over til et nytt prosjekt. Et satellittprosjekt krever mye planlegging og ikke minst eksperimentering for å komme fram til gode ingeniørløsninger til de problemstillingen som fremkommer i et slikt prosjekt. Vanligvis i romsystemer så brukes dyre komponenter designet ut i fra strenge standarder på ytelse og robusthet, men i de siste tiårene har det vært stor framgang i sensorteknologi som gjør det mulig å designe små og billige satellittsystemer ved bruk av ’Commercial Off-The-Shelves’ (COTS) komponenter. Bakdelen er at COTS komponenter er ikke designet for bruk i ekstreme miljøer og dermed stiller dette krav til utvidet testing for å demonstrere at satellittsystemene kan overleve de påkjenningene som oppleves i lavbaner. I denne hovedoppgaven skal studentene utforske mulige ingeniørløsninger til vesentlige problemstillinger innenfor temaet ’Electrical Power System’ ved bruk av COTS komponenter.

Mål

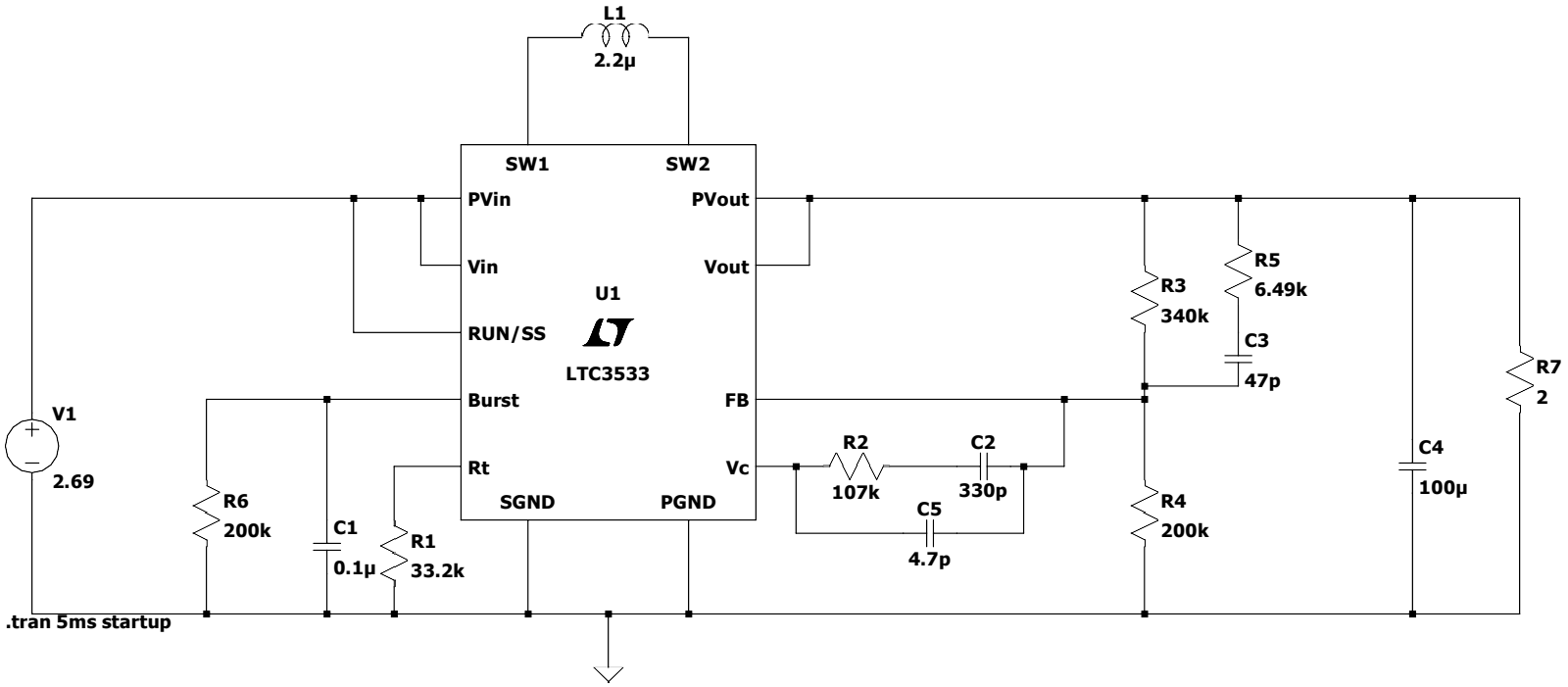
- Litteraturstudie om etablerte metoder for batterilading og effektdistribuering i romsystemer.
- Evaluere eksisterende COTS teknologier for solcellepaneler og batteri til bruk i romfart.
- Prototyping av et ladesystem med kretser for batterimonitorering.
- Prototyping av effektdistribuerende kretser med strøm- og spenningsmonitorering.

Utvidelse

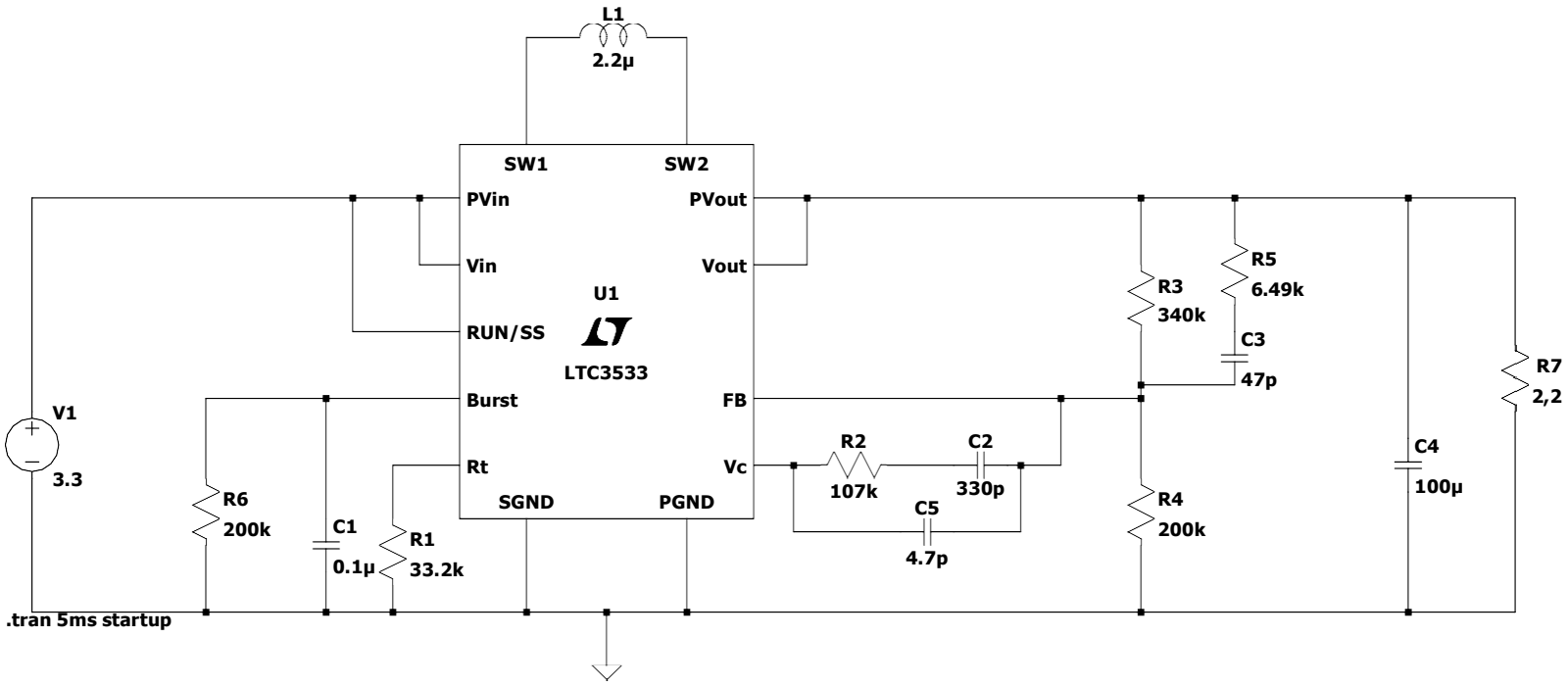
- Prototyping av lastvarierende algoritmer for maks effektutnyttelse av solcellepanel.

Simuleringskretser

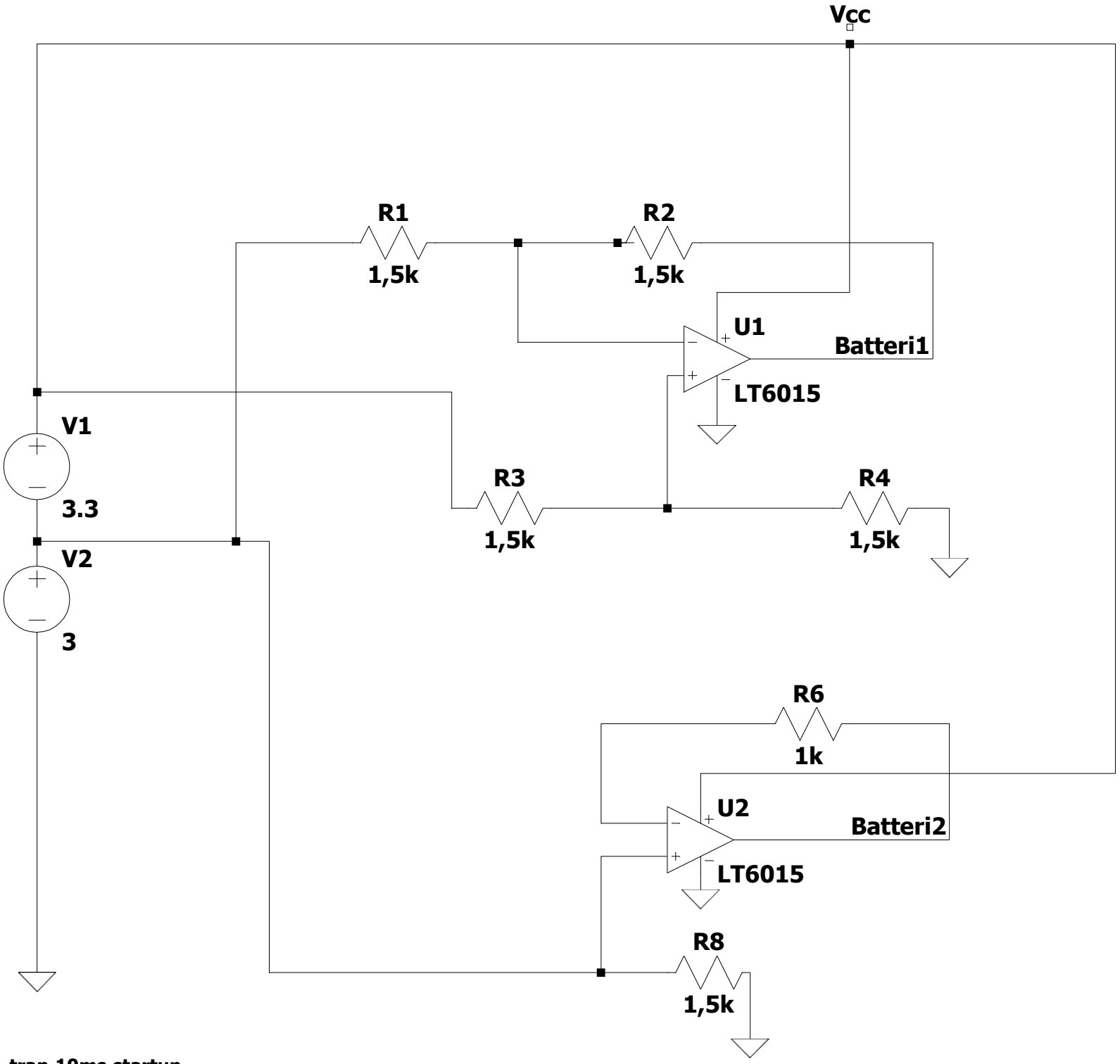
Krets for simulering av Buck-Boost LTC3533 (fra solcelle)



Krets for simulering av Buck-Boost LTC3533 (til last)

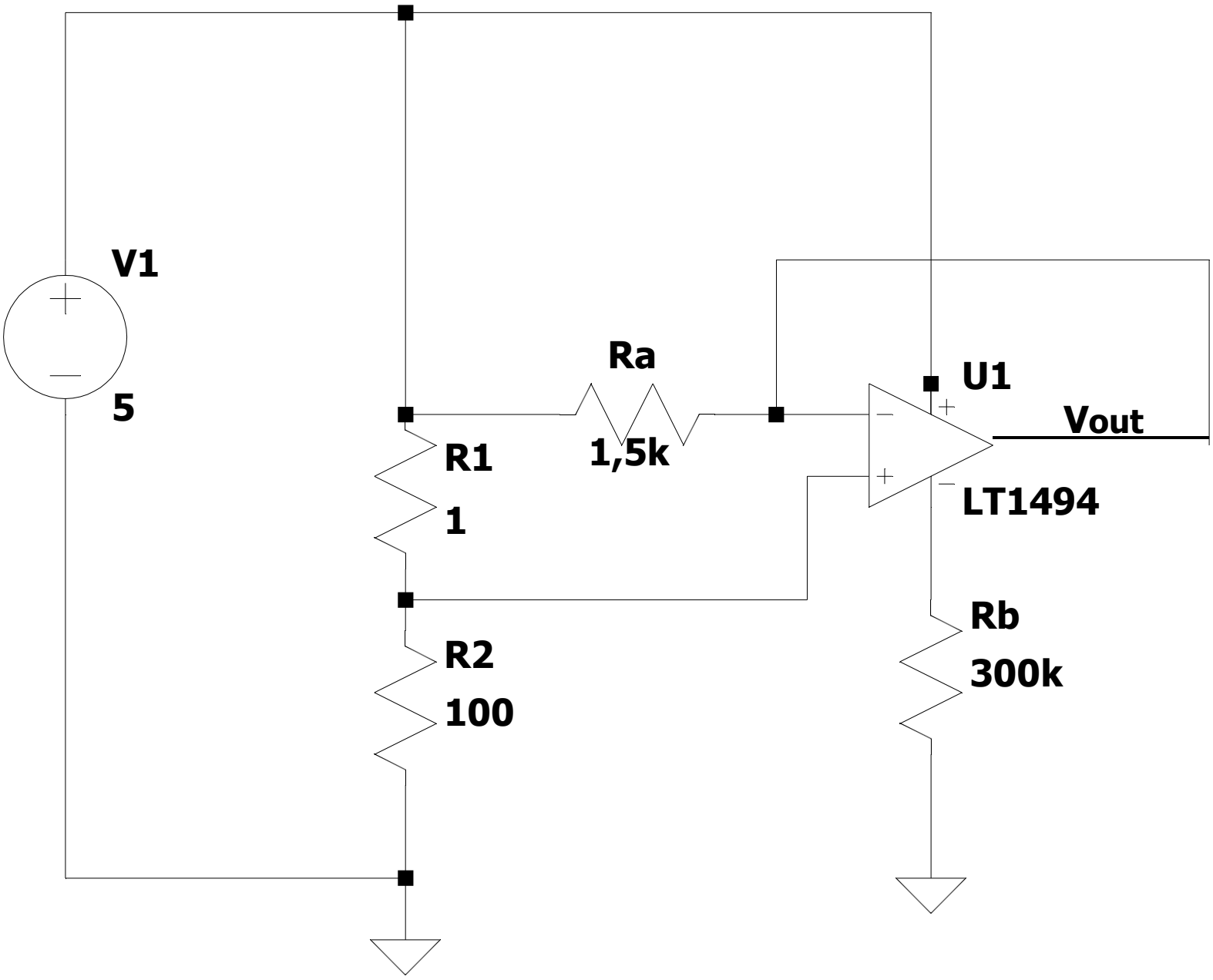


Krets for simulering av batteri overvåking



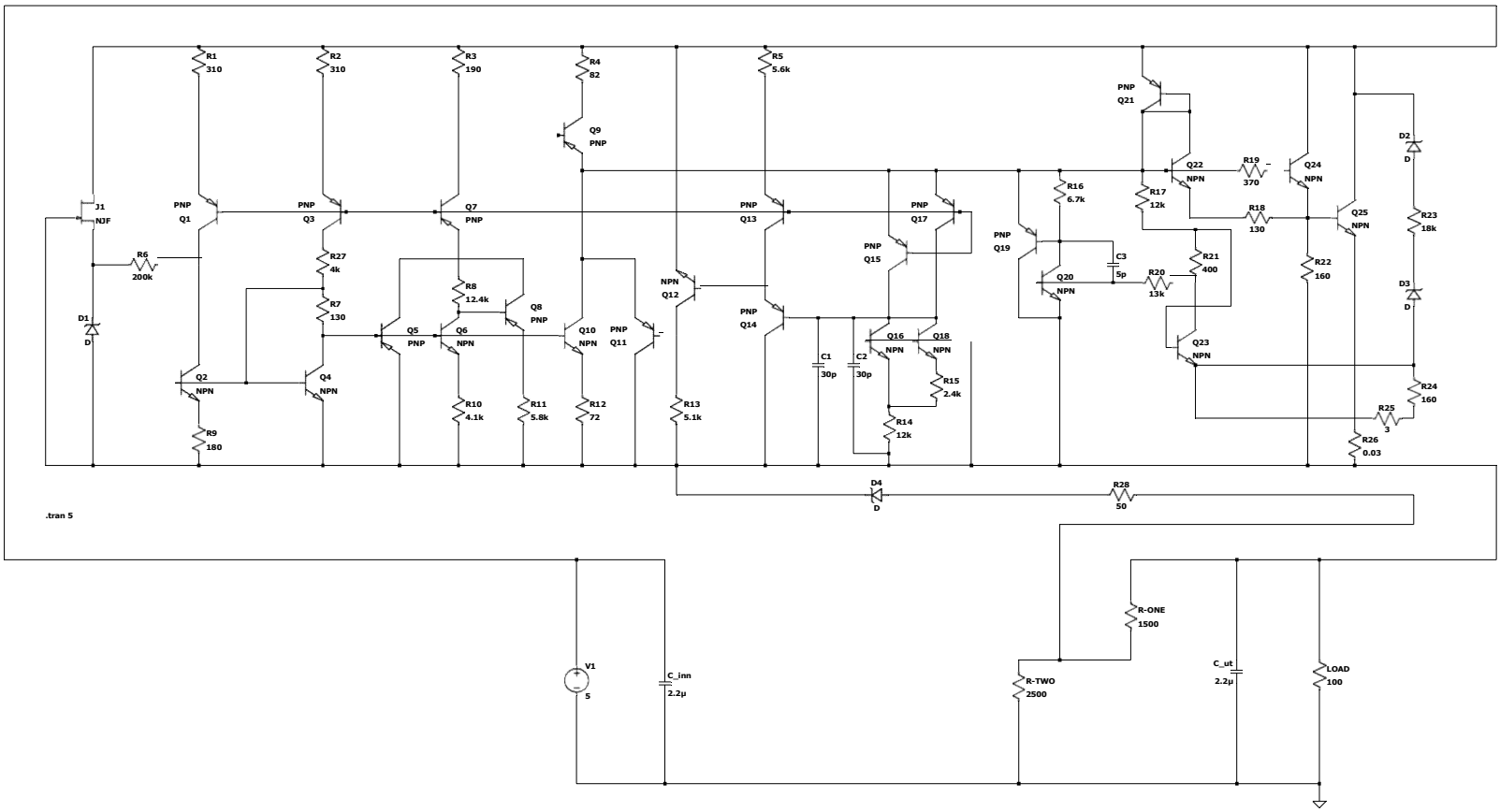
.tran 10ms startup

Krets for simulering av strøm overvåking

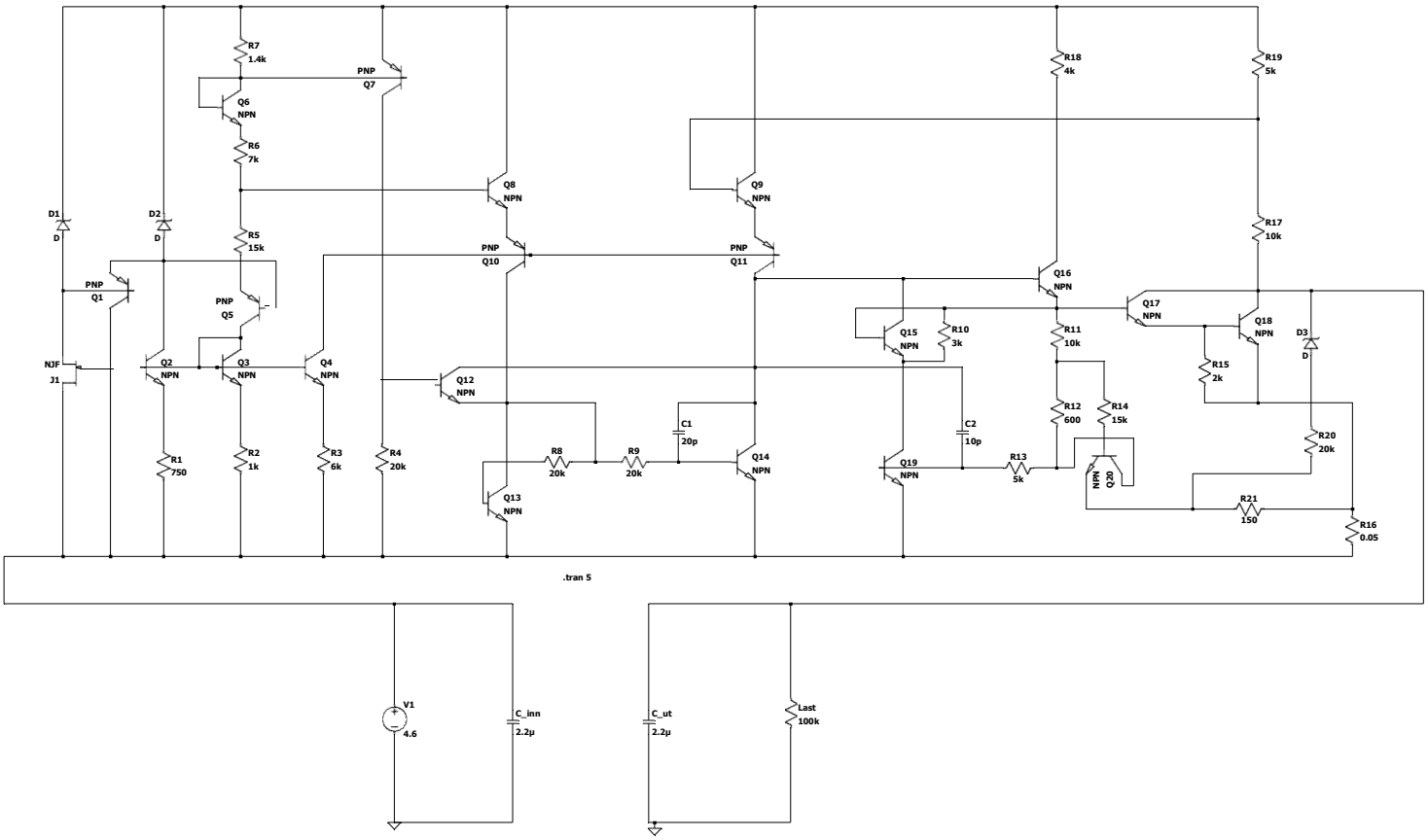


.tran 10ms startup

Krets for simulering av lineær spenningsregulator (LM350AT)



Krets for simulering av 3 - terminal negative regulator (LM320MP)



Lab utstyrsliste

Navn	Produsent	Lab nr.
Grunnlagslab	A – TEK	2205
Voltmeter	UNI – T	EL-1557/13
DC Spenningskilde (ekstra)	RND LAB	EL-1562/7
Oscilloskop	Mega zoom infiniivision	EL-1566/1

Navn	Produsentens varenummer	Produsent
3- terminal negativ regulator	LM320MP	National Semiconductor
Lineær regulator	LM350ATP+	Texas instruments
Op-amp	MC1748CP1	Motorola Linear/Interface Devices

- For mer info på LM320MP, LM350AT og MC1748CPI se datablad for hvert av dem i vedlegg mappe.