

Sensur av hovedoppgaver Høgskolen i Buskerud Avdeling for Teknologi



Prosjektnummer: 2012-25

For studieåret: 2011/2012

Emnekode: [SFHO-3200](#)

Prosjektnavn

Stabilitet i Distribuert Kraftsystem.

Stability Analysis in Distributed Power.

Utført i samarbeid med:



Ekstern veileder: Erling B. Skallerud

Sammendrag:

Prosjektet handler om et distribuert kraftsystem beregnet for maritime miljøet. Målet med prosjektet er å avdekke om det er noen stabilitetsproblemer i kraftsystemet og lage et regneark til bruk ved dimensjonering av kabling og batteri størrelse i kraftsystemet. Det er distribuert 220VDC som blir transformert ned til 24V der det skal brukes. Kapasitans og induktans i sentral, noder og kabler sammen med karakteristikken til likeretterne i nodene har blitt undersøkt og konklusjonen er at dette kraftsystemet vil fungere med det oppsettet som er gitt i denne oppgaven.

Stikkord:

- Kraftdistribusjon
- Stabilitet
- DC-DC omformer

Tilgjengelig: JA

Prosjekt deltagere og karakter:

| Navn | Karakter |
|-----------------|----------|
| Oskar Hogganvik | |

Dato: 14. Juni 2012

Erling B. Skallerud
Intern Veileder

Olaf Hallan Graven
Intern Sensor

Knut Ivar Gjerde
Ekstern Sensor

Forord

Prosjektet handler om et distribuert kraftsystem beregnet for maritime miljøer. Målet med prosjektet er å avdekke om det er noen stabilitetsproblemer i kraftsystemet og lage et regneark til bruk ved dimensjonering av kabling og batteri størrelse i kraftsystemet. Det er distribuert 220VDC som blir transformert ned til 24V der det skal brukes. Fordelene med dette er å samle alle batteriene på et sted og dermed få enklere oversikt over og oppfølging av batteriene. Kapasitans og Induktans gir ekstra tap når AC fraktes i kabel. Fokuset for denne oppgaven har vært å se på stabiliteten i systemet. Kapasitans og induktans i sentral, noder og kabler sammen med karakteristikken til likeretterne i nodene har blitt undersøkt og konklusjonen er at dette kraftsystemet vil fungere med det oppsettet som er gitt i denne oppgaven. Det har vært et spennende prosjekt å jobbe med og jeg har lært mye om stabilitet i distribuert kraftsystem og om virkemåten til likeretterne til Eltek. Jeg vil takke Eltek for muligheten til å jobbe med denne oppgaven og all støtte fra gode kollegaer på Eltek. Til slutt vil jeg rette en spesiell takk til Erling B. Skallerud som har veiledet meg igjennom prosjektet.

29. mai 2012



Oskar Hogganvik

Innhold

| | | |
|-------|--|--------|
| 1 | Innledning..... | 1 |
| 2 | Distribuert kraftsystem..... | 2 |
| 2.1 | Sentralen | 3 |
| 2.2 | Node | 3 |
| 2.2.1 | Inngangen | 4 |
| 2.2.2 | Boost-leddet | 4 |
| 2.2.3 | DC-DC leddet | 6 |
| 2.2.4 | Egenskaper for Last | 6 |
| 2.3 | Batteri enheten: | 7 |
| 2.4 | Kabler..... | 8 |
| 2.5 | Parametere som innvirker på stabiliteten. | 9 |
| 2.5.1 | <i>Induktansen</i> | 10 |
| 2.5.2 | <i>Kapasitansen</i> | 10 |
| 3 | Metodebeskrivelse | 11 |
| 4 | Resultater og Diskusjon | 12 |
| 4.1 | Analyse av systemets statiske egenskaper..... | 12 |
| 4.2 | Analyse av systemets dynamiske egenskaper..... | 17 |
| 4.2.1 | Sprang i Lasten..... | 17 |
| 4.3 | Spolevirkning i lederne..... | 20 |
| 4.3.1 | Spolevirkningen i stasjonær drift..... | 26 |
| 5 | Konklusjon | 29 |
| 6 | Videre arbeid | 29 |
| 7 | Litteraturliste | 29 |
| 8 | Vedlegg | - 1 - |
| 8.1 | L i leder (Opprinnelig valgt) | - 1 - |
| 8.2 | L i leder (Skalert valg) | - 1 - |
| 8.3 | C og L i utgangen på sentralen | - 2 - |
| 8.4 | C og L i inngangen på Noden | - 3 - |
| 8.5 | Simulink modell | - 4 - |
| 8.5.1 | Script file | - 6 - |
| 8.6 | Excel ark for Statisk analyse | - 10 - |

1 Innledning

Det distribuerte kraftsystemet denne oppgaven handler om er beregnet for installasjon i skip og består av sentral, Batterienhet og 3 Noder. Energien hentes fra skipets generatorer som leverer 230/400VAC og likerettes til 220VDC som distribueres rundt i skipet. Nodene tar spenningen ned til eksempelvis 24VDC.

I denne oppgaven har jeg sett på elementer som påvirker stabiliteten i et slikt system. Kabellengde og dimensjon gir noen begrensninger og den ulineære oppførselen til de elektroniske omformere er grunner for å se nærmere på dette. Transienter som oppstår når lasten endres er også elementer som må sees nærmere på. De enkelte elementene skal jeg se nærmere på i teoridelen.

2 Distribuert kraftsystem

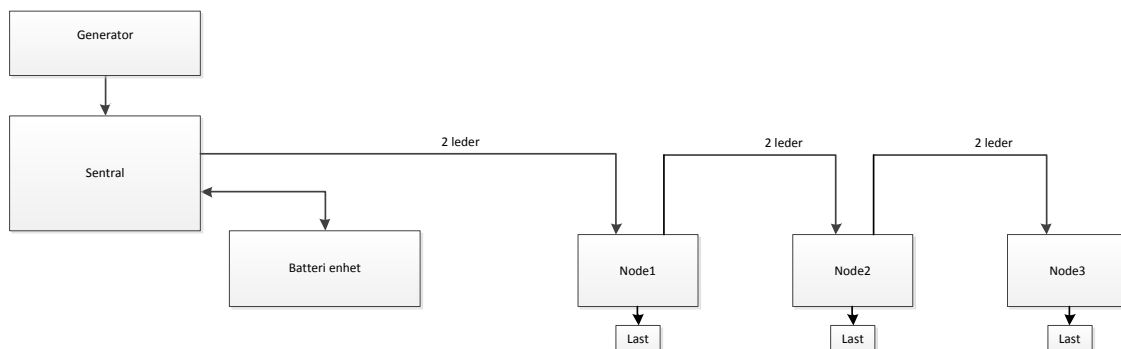
Dette kapitlet presenterer det distribuerte kraftsystemet. Starter med modellen av hele systemet og bryter det opp i mindre deler etter hvert.

Anlegget består av:

- Generator
- Sentral
- Batterienhet
- 3 Stk 3kW Noder
- Kabel

Generatoren produserer 230/400VAC som sentralen likeretter til 220VDC. Den likerettede spenningen brukes til å lade batteriene og til å drive lasten. Hvis lasten trekker mer effekt enn sentralen klarer å levere vil denne effekten trekkes fra batteriene. Når systemet designes må det sørges for at sentralen er stor nok til at det er kapasitet til å lade opp batteriene i tillegg til å drifte det daglige forbruket.

Generatoren ser jeg på som en stiv spenningskilde. I denne oppgaven begrenser jeg meg til å se på et anlegg med sentral på 10kW, batterienhet og 3 noder på 3kW. Figur 2-1 viser en blokkskjematisk oversikt over systemet.



Figur 2-1 Oversikt Kraftsystemet

2.1 Sentralen

Sentralen består i all hovedsak av likerettere. Den mates med 230/400VAC og likeretter det til 220VDC. Dette er knutepunktet i systemet. Som vi ser i Figur 2-1 er AC tilkobling og DC tilkoblingene i sentralen.

Nominell Inngangsspenning er 230/400V AC

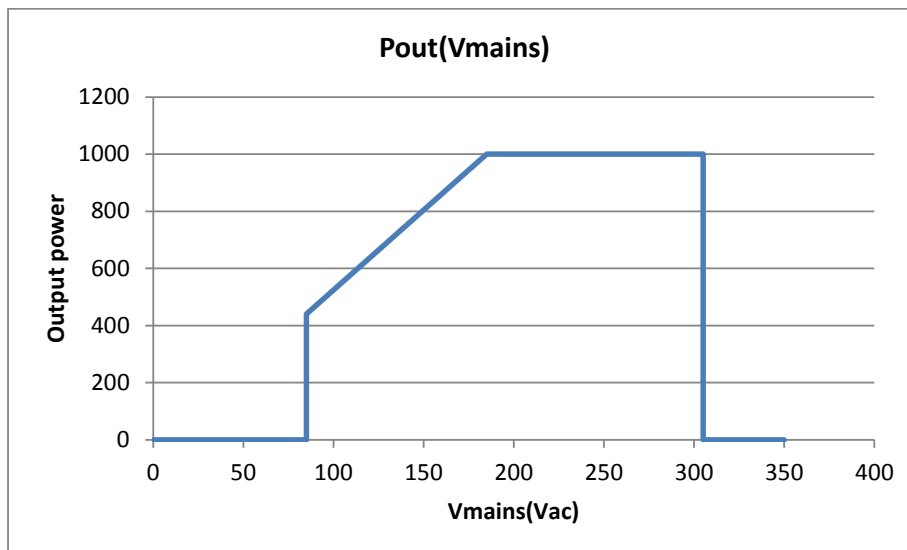
Nominell Utgangsspenningen er 245,16V DC.

Karakteristikken til sentralen har ikke vært i fokus fordi batterienheten alltid vil være tilkoblet. Det er to årsaker til at Nodene vil få effekten fra batterienheten. Enten er forbruket effekt større en sentralen klarer å levere (transienter), eller sentralen får ikke tilført kraft fra generatoren. Neste kapittel handler om Nodene.

2.2 Node

Som tidligere nevnt er det tre like noder i systemet og de består av 3 likerettere hver. Likeretteren har et nokså bredt inngangsspenningsspekter. Den kan levere full effekt fra 305V og ned til 185V. Derifra blir makseffekten redusert lineært fra 1000W ved 185V til 440W ved 85V. Ved for høy og for lav spenning vil likeretteren skru seg av. Se Figur 2-2 for en grafisk fremstilling.

Utgangsspenningen fra noden er 26,75VDC. Ved korte bortfall av inngangsspenningen vil likeretteren holde utgangsspenningen høyere enn 21V i mer enn 20ms ved 1000W effektuttak. Slike situasjoner kan forekomme hvis det oppstår en kortslutning i en av likeretterne i systemet. Det vil dra ned inngangsspenningen for alle likeretterne på den kursen inntil sikringen i inngangen på den ødelagte modulen løser ut.



Figur 2-2 Graf inngangsspenning – Maks utgangseffekt FPS 1000W

Oppbygningen til en likeretter er et inngangstrinn, med inngangsfiler og en likeretter (diodebro), Boost trinnet, som løfter spenningen til 400VDC, DC-DC omforming, som tar spenningen ned til 24VDC og tilslutt filter på utgangen.

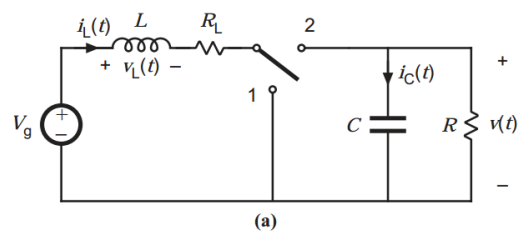
2.2.1 Inngangen

Jeg har sett på kondensatorer og spoler i inngangen for å få en enklere modell. Kapasitansen i inngangen er $5.916\mu\text{F}$ ($3 \times 1,972\mu\text{F}$). Spolevirkningen i differensielt modus i inngangsfileret er $75\mu\text{H}$ ($3 \times 25\mu\text{H}$) i hver Node. Verdiene er så små at vi kan se bort fra dem fordi det ikke får noen praktisk betydning. Se vedlegg 8.4 for detaljer om forenkling av inngangen. Spolene det er snakk om har en ringkjerne med to viklinger på. De er et «radio filter» og stenger for strøm med samme retning. Etter filtrene sitter det en likeretterbro som likeretter spenningen til Boost-leddet.

2.2.2 Boost-leddet

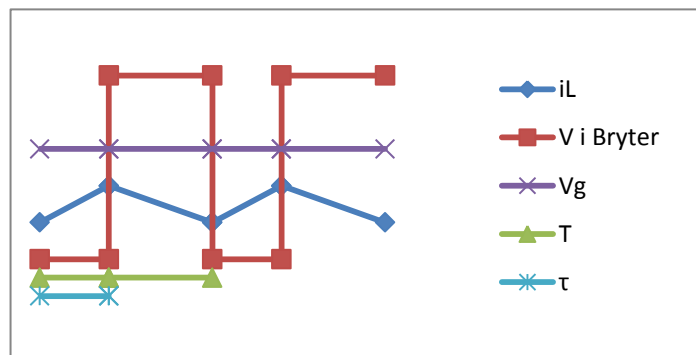
Boost omformer er en type svitsjet regulator som løfter spenningen fra et inngangs nivå til et høyere utgangsnivå (DC-DC). Figur 2-3 viser funksjonsprinsippet til en Boost.

Når bryteren står i pos 1 vil det settes opp en raskt voksende strøm i spolen L og når bryteren bytter til pos 2 vil den strømmen fortsette å gå men nå delvis i



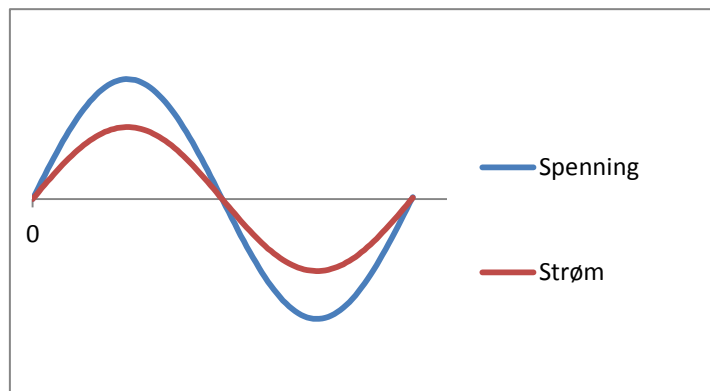
Figur 2-3 Funksjonsprinsipp Boost-leddet

lasten og delvis til å lade opp kondensatoren. Når bryteren settes tilbake til 1 igjen vil spolen på nytt bli «ladet opp» og strømmen til lasten blir hentet fra kondensatoren. Se Figur 2-4 med strøm og spenninger i Boosten. Hvis bryteren står i pos 2 hele tiden vil spenningen på utgangen være lik spenningen på inngangen.



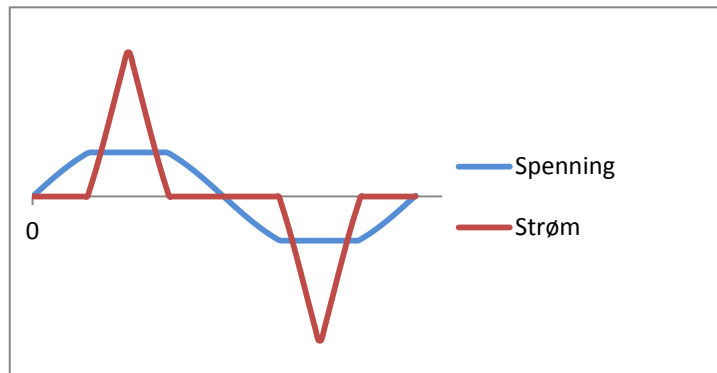
Figur 2-4 Strøm og spenning i Boost-leddet

Boosten benyttes for å trekke strøm i en sinusform med samme frekvens som inngangsspenningen har, som vist Figur 2-5. Det gjør at det trekkes lite strøm når spenningen er lav og mye strøm når spenningen er høy. For å illustrere hvorfor det er viktig å trekke strøm over hele sinusen vil jeg se på en enkel likeretter bestående av en diodebro med kondensator etter til å glatte ut spenningen. En slik krets vil bare trekke strøm fra nettet når spenningen i nettet er høyere enn spenningen på kondensatoren.



Figur 2-5 Sinusformet strøm og spenning

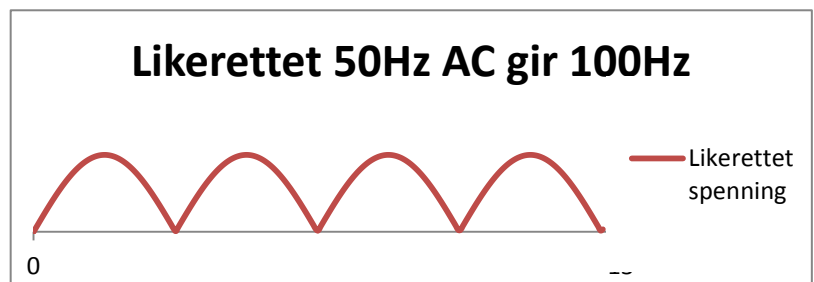
Jo større kondensatoren er, jo jevnere blir spenningen på utgangen og jo kortere tid får kondensatoren på seg til å lades opp. Det fører til at effekt blir hentet ut i et veldig kort tidsrom på toppen av spenningskurven. Det medfører en stor peak strøm når sinusen er på topp og bunn noe som vil flate ut sinusen så nettet ikke klarer å holde sinusformet spenning. Se Figur 2-6 for illustrasjon. For å beholde sinusformen på spenningen er det krav til utstyr som kobles til nettet at strømmen skal trekkes sinusformet.



Figur 2-6 Stor peak-strøm ødelegger sinus spenningen

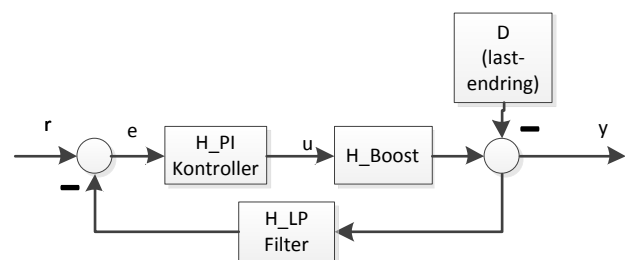
Regulatoren som styrer Boosten er treg for at den ikke skal regulere etter rippelen på boost kondensatoren, forårsaket av 100Hz (likerettet 50Hz Ac). Boosten skal styres etter en gjennomsnittlig verdi slik at strømmen trekkes sinusformet. Det vil skje når PI kontrolleren ikke endrer utstyringsgraden i forhold til kortvarige endringer i spenningen på boost kondensatoren.

Spenningen på boost kondensatoren vil ha rippel med samme frekvens som spenningen på inngangen, med fordi det ikke trekkes noen strøm når spenningen på inngangen er 0V og gradvis større strøm til maks spenning. Hvis regulatoren er så rask at den regulerer etter rippelen vil den forsøke å trekke en stor strøm når det er lav spenning for å kompensere for den lavere utgangsspenningen. Boosten jobber ved en frekvens på 90kHz som gir en periodetid $T = \text{ca. } 11\mu\text{s}$. Spenningen reguleres ved å endre hvor mye av den totale perioden transistoren er på og dermed «lader opp» spolen. Utstyringsgrad er et begrep på hvor stor del av tiden transistoren er på.



Figur 2-7 Rippel likerettet sinusspenning

Formelen for Utstyringsgrad er $D = \frac{\tau}{T}$ hvor D er Utstyringsgrad, τ er «På tid» og T er den totale periodetiden. Med $D=0,3$ er transistoren på i 30% av periodetiden. Det tilsvarer forholdet i illustrasjonen i Figur 2-4. Spenningen i bryteren er på 0V når bryteren står i pos1 og lik utgangsspenningen $V(t)$ når bryteren står i pos2. V_g er spenningen på inngangen til Boosten. I dette systemet vil Nodene mates med DC, men i andre system kan modulene få vekselspenning på inngangen. Derfor er det et poeng at kontrolleren ikke må styre etter de små endringene som forårsakes av sinusen som kan være på inngangen. Det er et målefilter på tilbakekoblingen som fjerner høyfrekvent støy, men det er kontrolleren som sørger for at det ikke blir regulert etter for



Figur 2-8 Blokkdiagram fra referanse til boost-spenning

raske endringer. I kraftsystemet jeg beskriver i oppgaven kunne Boost-leddet vært raskere fordi det er DC på inngangen. Det ville medført at hele systemet ville blitt raskere og spenningen på utgangen få en mindre nedsving ved øking av lasten. For den dynamiske analysen av systemet har jeg satt opp blokkskjemaet i Figur 2-8. Dette er et helt standard blokkdiagram med negativ tilbakekobling. r er referansen og y er Boost-spenningen. e er feilen, altså forskjellen på referansen og den målte Boost-spenningen. PI-kontrolleren får e inn og gir et pådrag u som gjør at boosten gir rett spenning på utgangen av prosessen. D er lastendring. Når lasten endres vil utgangsspenningen påvirkes og PI-Kontrolleren ta inn endringene så spenningen på utgangen igjen blir riktig.

2.2.3 DC-DC leddet

DC-DC leddet konverterer spenningen fra 400VDC til 24VDC. Dette leddet er raskt for å kunne reagere raskt på endringer på utgangen. I grove trekk fungerer det slik at det lages en høyfrekvent AC spenning som transformeres og likerettes med en diodebro. Utgangsleddet har jeg kikket mindre på fordi jeg har valgt å konsentrere meg om Boost-spenningen istedenfor. Grunnen for dette valget er at Boost-spenningen viser klare problemer fordi dette er det tregeste leddet. DC-DC leddet er som nevnt raskt og derfor vil avvik som vil vises på Boost-spenningen ikke vises på utgangen i like stor grad.

2.2.4 Egenskaper for Last

Først litt grunnleggende om strøm, motstand, spenning og effekt. De henger sammen gjennom disse to formlene: $P=U*I$ og $U=R*I$. De ligger i bunnen for å forstå hvordan lasten og likeretteren fungerer sammen.

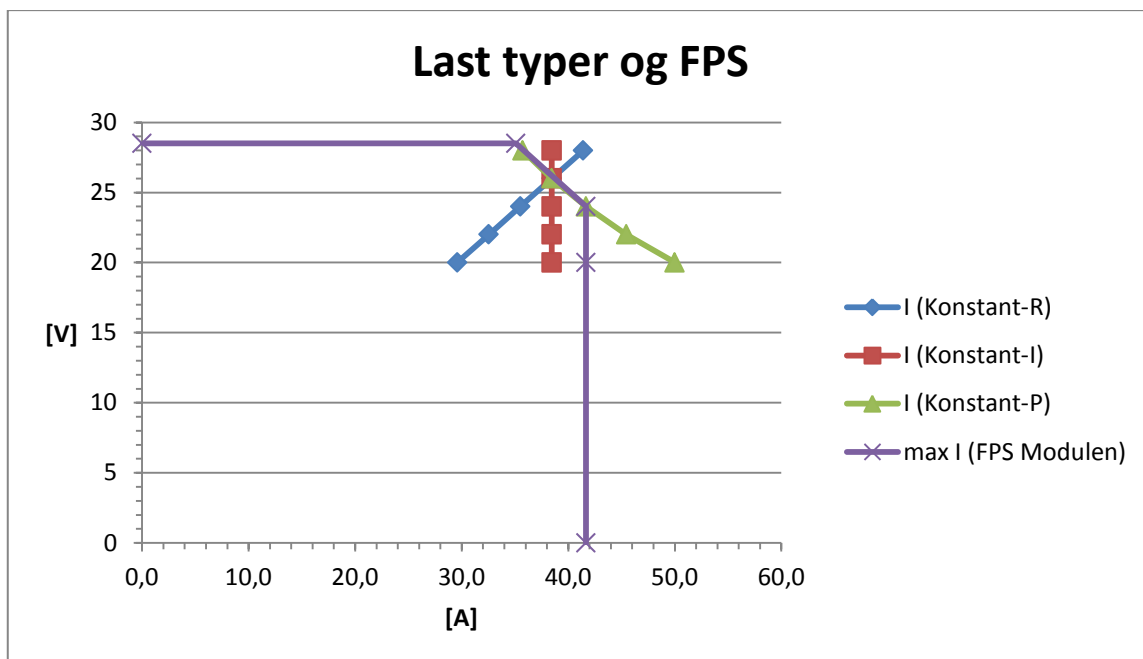
Egenskapene til lasten varierer med typen last som brukes. Lasten kan deles i 3 hovedgrupper

- Konstant motstand
- Konstant strøm
- Konstant effekt

En last med konstant motstand er den snilleste typen last vi har. Hvis lasten blir for stor for kilden vil kilden senke spenningen over lasten og det medfører en reduksjon i strømmen gjennom lasten og effekten som trekkes blir betydelig mindre fordi både strømmen og spenningen blir mindre. Se blå graf i Figur 2-9.

En last med konstant strøm er litt slemmere. Det er Ohms lov og effekt loven ($P=U*I$). Hvis lasten blir for stor for kilden vil spenningen synke, strømmen er den samme, men spenningen kan synke og det gir mindre effekt dratt ut av kilden. Se Rød graf i Figur 2-9.

En last med konstant effekt er den slemmeste lasten. Her er det også Ohms lov og effektloven som setter rammene. Hvis kilden ikke klarer å levere nok effekt vil den forsøke å senke spenningen for å klare seg. Det fører til at strømmen som trekkes økes fordi det er konstant effekt. Da blir ikke situasjonen for kilden noe bedre enn ved det opprinnelige spenningsnivået. Se Grønn graf i Figur 2-9.



Figur 2-9 Konstant motstand, konstant strøm, konstant effekt

Maks strøm i forhold til spenning som FPS modulen klarer å levere er den lilla grafen i Figur 2-9. I neste kapittel vil jeg ta for meg Batterienheten.

2.3 Batteri enheten:

Batterienheten er i systemet fordi det er krav til at utstyr på en båt skal være operativt en gitt tid uten at generatorene går/fungerer. Denne tiden kalles Backup tid og det som begrenser backup tiden er antall amperetimer tilgjengelig og spenningsfallet fra batterienheten til siste noden. (Fordi det blir størst spenningsfall til siste node.) Spenningsfallet vil jeg ta opp i kapitlet om kablene. Antallet amperetimer tilgjengelig i batteriet varierer med hvor fort vi tar det ut. Jeg har brukt 155ah batterier fra Exide. Tabell 2-1 gir en oversikt over hvor mye energi vi får ut av batteriet når vi tømmer det fra flytspenningen og ned til forskjellige spenninger over forskjellige tider. Energimengden vi får ut blir mye mindre hvis vi tar det ut fort. For eksempel med minste spenning på 189V, batteriet er helt tømt, hvis det tømmes på 12 timer er det 33,83kWh vi får ut, ved å gjøre det samme på 2 timer får vi bare 24,88 kWh. Velger jeg høyere minimum spenning på batteriene vil jeg naturlig nok få kortere backup tid med samme effektuttak, men jeg kan benytte en mindre kabel fordi spenningsfallet i ledningsnettet kan bli større. Det gir grunnlag for å vurdere pris på kabel opp mot flere batteristrenger. Forholdet mellom flere batterier og kabeldimensjon må velges slik at batterier og kabler til sammen tilfredsstillere kravet om backup tid og minimumskrav til dimensjonering.

Tabell 2-1 Ytelses spesifikasjon FT155

| | | Marathon FT155 Ytelses spesifikasjon kWt@25°C | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|--------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Volt/streng | Volt / celle | Tid i timer | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 24 | 12 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2,5 | 2 | 1,5 | 1 | 0,5 |
| 189,00 | 1,75 | 35,51 | 33,83 | 33,37 | 33,05 | 32,83 | 31,98 | 30,97 | 29,81 | 28,56 | 26,86 | 25,95 | 24,88 | 23,47 | 21,63 | 17,64 |
| 192,24 | 1,78 | 35,25 | 33,57 | 33,05 | 32,85 | 32,57 | 31,60 | 30,65 | 29,54 | 28,30 | 26,73 | 25,79 | 24,67 | 23,31 | 21,52 | 17,47 |
| 194,40 | 1,80 | 34,99 | 33,31 | 32,94 | 32,66 | 32,40 | 31,37 | 30,39 | 29,32 | 28,04 | 26,50 | 22,87 | 24,45 | 23,10 | 21,31 | 17,20 |
| 195,48 | 1,81 | 34,99 | 33,18 | 32,72 | 32,46 | 32,14 | 31,15 | 30,20 | 29,11 | 27,86 | 26,28 | 25,33 | 24,24 | 22,87 | 21,08 | 16,96 |
| 197,64 | 1,83 | 34,47 | 32,66 | 32,18 | 31,98 | 31,71 | 30,77 | 29,81 | 28,73 | 27,43 | 25,86 | 24,92 | 23,80 | 22,44 | 20,64 | 16,48 |
| 199,80 | 1,85 | 33,96 | 32,27 | 31,75 | 31,49 | 31,28 | 30,39 | 29,42 | 28,35 | 27,04 | 25,47 | 24,49 | 23,37 | 22,00 | 20,21 | 16,02 |
| 201,96 | 1,87 | 33,18 | 31,36 | 30,89 | 30,62 | 30,33 | 29,64 | 28,64 | 27,54 | 26,27 | 24,66 | 23,71 | 22,59 | 21,22 | 19,44 | 15,30 |
| 205,20 | 1,90 | 31,88 | 30,07 | 29,70 | 29,45 | 29,12 | 28,43 | 27,41 | 26,35 | 25,06 | 23,46 | 22,60 | 21,60 | 20,12 | 18,20 | 14,15 |
| 207,36 | 1,92 | 30,33 | 28,64 | 28,19 | 26,92 | 27,56 | 26,99 | 26,18 | 25,16 | 24,02 | 22,62 | 21,76 | 20,76 | 19,15 | 17,10 | 13,13 |
| 209,52 | 1,94 | 29,03 | 27,09 | 26,68 | 26,34 | 26,09 | 25,78 | 24,95 | 24,03 | 22,90 | 21,55 | 20,74 | 19,79 | 18,16 | 16,09 | 12,21 |

kWt Hele strengen

Batterienheten består av 18 stk. batterier med 6 celler i hvert Blybatteri. Det er bly syre batterier, VRLA (Valve Regulated Lead Acid).

- Nominell flytspenning 2,27V/celle => 18*6*2,27=245,16V
- Minimumspenning 1,75V/celle => 18*6*1,75=189V.
- Maks ladespenning 2,35V/celle => 18*6*2,35=253,8V.

For mer info om batteriene, se databladet fra leverandøren:

http://www.tpscrail.com/products/gnb/PDF/Marathon/Marathon_frontterminal_155.pdf

Kablene kommer det mer om i neste kapittel.

2.4 Kabler

For å levere full effekt må Nodene ha minimum 185V på inngangen. Det gir den minste spenningen som aksepteres på inngangen til alle nodene når batteriene er tappet til minste tillatte spenning. For å kunne ta ut full effekt på alle nodene må maksimalt spenningsfall fra sentralen til siste node tilfredsstillende:

$$\text{minste batterispenning} - \text{spenningsfall} \geq 185V$$

Som jeg har sagt tidligere vil batterikapasiteten bli mindre hvis vi velger høyere minimumsspenning på batterienheten og derfor vil det medføre at vi må ha større batterier, eller flere batterier i parallell for å oppnå samme backuptid. Fordelen med å velge høyere minimum batterispenning er at spenningsfallet i ledernettet kan være større. Det gir grunnlag for å velge ledere med lavere tverrsnitt. Velger jeg å kjøre batteriene helt ned til minimumsspenning må spenningsfallet være mindre enn

$$189V - 185V = 4V.$$

Økes tillatt spenningsfall til 15V må vi ha minste batterispenning på 200V. Det gir en stor forbedring når det gjelder lederdimensjon, men det reduserer backuptiden. Sier vi at vi tar ut en strøm på 25A vil backuptiden være litt under 6 timer når batteriene kan lades helt ut til 189V. Hvis vi skal stoppe når batteriene har en spenning på ca200V vil backuptiden ha sunket til ca. 5,5 timer.

I utgangspunktet hadde vi tenkt å bruke 3 stk. 100m lange kabler fra sentralen til node1, fra Node1 til Node2 og fra Node2 til Node3. For å oppnå spenningsfall på mindre enn 4V må vi bruke en

2x67,4mm² kabel. Det blir både dyrt og veldig plass krevende. Derfor har vi skalert ned lederne og bruke 3 stk. ca.15M 2x10mm² kabel. Det gir omtrent samme motstand i lederne som den opprinnelige, men spolevirkningen blir mindre. Det kan kompenseres for ved å legge inn ekstra spoler i lederne for å oppnå like verdier som i den opprinnelige lederen. Ekstra spolene lages av ledere med samme tverrsnitt som lederne som brukes på labben. Jeg har benyttet luft som kjernemateriale og kveilet opp ledning til en spole med diameter 10cm og stripset de sammen. For å få 7µF måtte jeg ha 7 omdreininger i spolen.

Har brukt formelen $L = \frac{31,6 * N^2 * d^2}{3d + 9l} \Rightarrow \sqrt{\frac{L*(3d+9l)}{31,6*d^2}} = \sqrt{\frac{7,3\mu H*(3*0,1+9*0,2)}{31,6*0,1^2}} \approx 7$

Kapasitansen i lederen må måles og regnes ut. Den kan deles i to. En kapasitans mellom lederne og en mellom lederne og skjermen. Disse to vil virke i parallell. Se [Drakas Teknisk håndbok Kraftkabel 4. utgave side 16 og 17]. Lederen jeg bruker er skjermet med en felles skjerm. I håndboken står det bare om 3 leder og jeg har derfor måttet endre formlene så de passer med to ledere istedenfor tre ledere.

Den opprinnelige for 3 ledere:

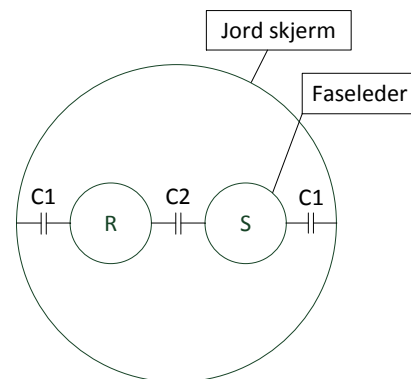
$$C' = C1 + 2C2 \mu\text{F}/\text{km} \text{ og } C'' = 3C1 \mu\text{F}/\text{km}.$$

Endret til 2 ledere:

$$C' = C1 + C2 \mu\text{F}/\text{km} \text{ og } C'' = 2C1 \mu\text{F}/\text{km}.$$

Se Figur 2-10 for hvor kapasitansen er i kabelen.

Ved å følge fremgangsmåten i håndboken har jeg funnet at C1=1,5nF/10m og C2= 1nF/10m. Den totale kapasitansen i lederen blir da C1 i parallell med C2 som gir 2,5nF/10m kabel.



Figur 2-10 Kapasitans i leder

2.5 Parametere som innvirker på stabiliteten.

For at nodene skal fungere stabilt er de avhengig av spenning på inngangen som er innenfor visse grenser. Nedre grense er 185V blir spenningen lavere enn dette vil noden levere mindre effekt en maks. Det er en lineær nedgang i effekt fra 1000W ved 185V til 440W ved 85V. Blir spenningen på inngangen lavere enn 85V vil modulen skru seg av. Figur 2-2 viser maksimal utgangseffekten som funksjon av inngangsspenningen. Kommer spenningen på inngangen høyere enn 305V vil modulen skru seg av.

For å oppnå stabil spenning som er innenfor arbeidsområdet til noden må nettet være stabilt. Med stabilt menes at spenningen etter en endring i lastbildet skal finne sin stabile verdi innenfor arbeidsområdet innen rimelig tid uten for mye over- og under-sving. Stabiliteten i nettet påvirkes av lederne vi velger å bruke. Parameterne i lederne som påvirker stabiliteten er motstand R, kapasitans C og Induktans L. Motstanden fører til et spenningsfall i lederen når det går en strøm i lederen. I følge ohms lov er spenningsfallet over en motstand $U=R*I$.

I [Drakas Teknisk håndbok Kraftkabel 4. utgave side 14 og 15] er teorien om motstand og Induktans i

kabler hentet fra. Jeg har omsatt det til et Excel regneark som utgjør den stasjonære analysen av kraftsystemet. Der ser jeg på motstanden i lederen og spenningene rundt i kraftsystemet i stasjonær drift. Da er det bare spenningsfallet i kablene som er forårsaket av motstanden i kablene som virker inn.

2.5.1 Induktansen

Induktansen L gjør seg gjeldende bare når strømmen endres. Spolen motsetter seg strømdring ved å endre spenningen over seg. Resultatet er at spenningen over spolen endres raskt, men strømmen igjennom den endres sakte. Spenningen over en spole er $U = L \frac{di}{dt}$. Transienter er kortvarige signaler. Transientene oppstår på grunn av endring i arbeidsområde. Induktansen i lederne sammen med kapasitansen i og i endene av lederne bidrar til transientene. Induktansen sammen med kapasitansen lager «ringing» når strømmen endres. «Ringing» er at det oppstår svingninger i strøm og spenning fra den ene kapasitansen til den andre. Frekvensen på ringingen er $\omega = \frac{1}{LC}$. Ved økende induktans L vil frekvensen på «ringingen» bli lavere, fordi spolen motsetter seg strømdring, og svingningene vare lengere i tid. Ved økt kapasitans vil spenningen glattes mer ut og frekvensen blir lavere og «ringetiden» forblir uendret. Motstanden i kablene vil virke dempende på ringingen. Induktansen i de opprinnelige ledningene (100m 2x67,4mm²) er 24,14μH og i den nedskalerte lederen (15M 2x10mm²) er induktansen 4,16μH. Manglende induktans er 20μH. Se vedlegg [Vedlegg

L i leder (Opprinnelig valgt)] og [L i leder (Skalert valg)] for utregning. Induktansen øker med økende kabellengde og økende avstand mellom frem- og tilbake-leder og minker jo større diameteren til hver strømførende leder er. For å teste om det opprinnelige systemet er stabilt lager jeg spoler som gir den manglende induktansen. De plasseres en på hver leder på inngangen til nodene. Spolene må være på ca. 10μH som gir ca. 20μH for begge lederne.

2.5.2 Kapasitansen

Ser vi på hvor mye kapasitans det er i Nodene og i sentralen finner vi 840μF (5 x 168μF) i sentralen og 5.916μF (3 x 1,972μF) i hver av Nodene. Sammenlikner vi det med det vi tidligere fant i lederen som var 3,75nF på en 15m kabel ser vi at kapasitansen i lederne er mye mindre enn kapasitansen i resten av kretsen. Derfor kan vi se bort fra kapasitansen i lederne. Kapasitansen i inngangen i Nodene og utgangen på sentralen har jeg gjort en forenkling som vedlegg [8.3] og [8.4] viser.

3 Metodebeskrivelse

Jeg har startet med den statiske analysen av anlegget. Det er basert på lederne i systemet og effekten som er tatt ut på de forskjellige nodene. Hensikten er å kartlegge begrensningene som følger av spenningsfall i lederne. Jeg har brukt Excel til denne delen av oppgaven og har satt opp et regneark som gjør den statiske analysen for et system med 5 Noder. Regnearket beregner motstanden i kablene og utfra dette gjøres en knutepunkts spenningsberegning. Motstanden i Nodene er ikke konstant fordi det er en konstant effekt som trekkes ut. Derfor er det aktivert iterativ beregning så verdiene regnes rundt mange ganger til verdiene ikke endres mer enn 0,01 for hver gang det regnes rundt. Når denne analysen var ferdig gikk jeg over til den dynamiske analysen.

Den **dynamiske analysen** har fokus på hva endringer i lasten forårsaker av transienter og hvilken innvirkning dette har på stabilitet i systemet. Jeg begynte prosessen ved å kikke på skjema og finne funksjonsprinsippet og transferfunksjonen for alle leddene i systemet. Elementene jeg har sett på er utgangen i sentralen, lederne i systemet, inngangen på Nodene og Boost-leddet. Jeg har også kikket litt på DC-DC delen av modulen, men bare overfladisk fordi jeg fant ut at det er Boost-leddet som gir begrensningene. Årsaken til at boost-leddet er begrensningen er, som tidligere nevnt, at PI-kontrolleren er treg for å trekke strøm sinusformet når likeretteren kjøres på AC. Når jeg hadde fått litt innsikt i funksjonen startet arbeidet med å finne transferfunksjonene til alle leddene og lage Matlab modeller. Jeg startet med boost delen.

Når Matlab modellen av boosten med målefilter og PI-kontroller var klar skulle jeg gå videre å lage en modell av hele kraftsystemet sammensatt med kabler og tre noder. Det viste seg å være vanskelig i Matlab og jeg laget derfor modellen i Simulink. Simulink er en del av Matlab som fungerer mer blokkskjematisk. Der tegnet jeg opp Blokkdiagrammene og fikk de til å fungere. Først la jeg inn alle funksjoner og konstanter direkte i simulinkmodellen, men etter hvert fant jeg ut at det er mulig å lage et Matlab skript som styrer alt det og bare hente inn transferfunksjonene i Simulinkmodellen. Det gjorde modellene mer oversiktlige og det ble lettere å gjøre parameterendringer. Når jeg hadde fått på plass simuleringene var det tid for å gå på labben. Jeg monterte opp testsystemet og testet det som skulle testes.

Måleutstyret jeg brukte er et Tektronix TDS 3014C Digital Phosphor Oscilloscope med en strømmålings ring probe og to differensialspenningsmålere. Det digitale multimeteret var Fluke 177 True RMS Multimeter.

De første målingene jeg gjorde var den statiske analysen av systemet. Jeg satte gjorde dette i to lasttilfeller og målte spenning inn på nodene med multimeteret og sammenliknet med utregningene i Matlab og Excel. Se tabell 2 for å se resultatene.

Så var det sprangresponser og transienter jeg testet. De testene som jeg har gjennomført er tester av sprang i lasten på de forskjellige nodene og sett på inngangsspenningen og Boost-spenningen. Jeg har også sett på utgangsspenningen for å se om den er stabil.

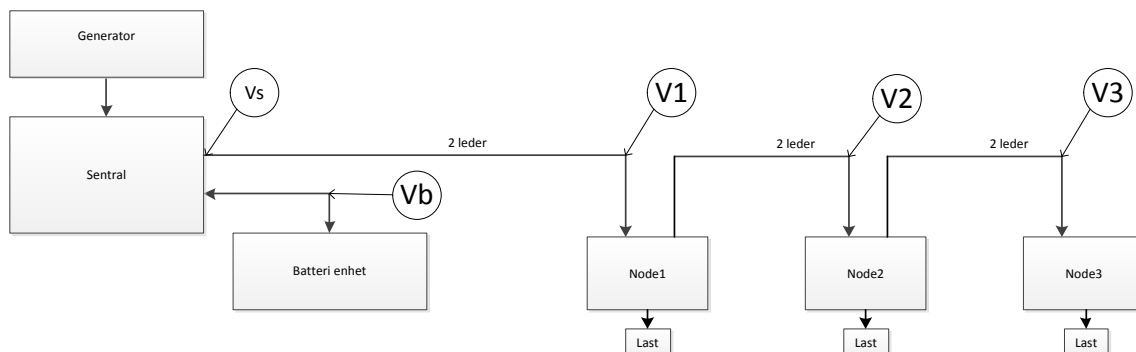
4 Resultater og Diskusjon

Testanlegget består av:

- Sentral
 - Kabinett
 - 5 stk FP2 HE 2kW 220V likerettere. PN: 241115.815
 - Batterier: 12V 18 stk (155Ah) PN: 244045.155
 - Batterikabinett
- 3 Stk 3Kw Noder Bestående av:
 - Power Core MS0803.000/CA0603.001
 - 3 stk 1kW 24V FPS likerettere PN: 241122.205 FPS 24/1000 HE
 - Last Justerbar 3kW/24V= 125A 24V/ 125A= 0,192 Ohm
- 45m Kabel
 - (Fordelt på 15m, 15m, 10m og 5m til batterienheten)
 - Spoler. (for å kompensere for kortere kabler) 3M leder kveilet opp i 7 turn med ca 10cm diameter.

4.1 Analyse av systemets statiske egenskaper.

Med statiske egenskaper mener jeg hvordan systemet oppfører seg i stabil drift. Stabildrift er når systemet har funnet et stabilt arbeidspunkt. Se Figur 4-1 for oversikt over målepunktene. Slike figurer i lite format kommer jeg til å bruke for å vise hva simuleringer og målinger viser.



Figur 4-1 Målepunkter

Jeg har satt opp en tabell med resultater fra to last tilfeller, vist i Tabell 4-1. Tilfelle 1 er nært opp mot maks effekt på nodene og tilfelle 2 er ved en liten last.

Tabell 4-1 Statistiske testresultater

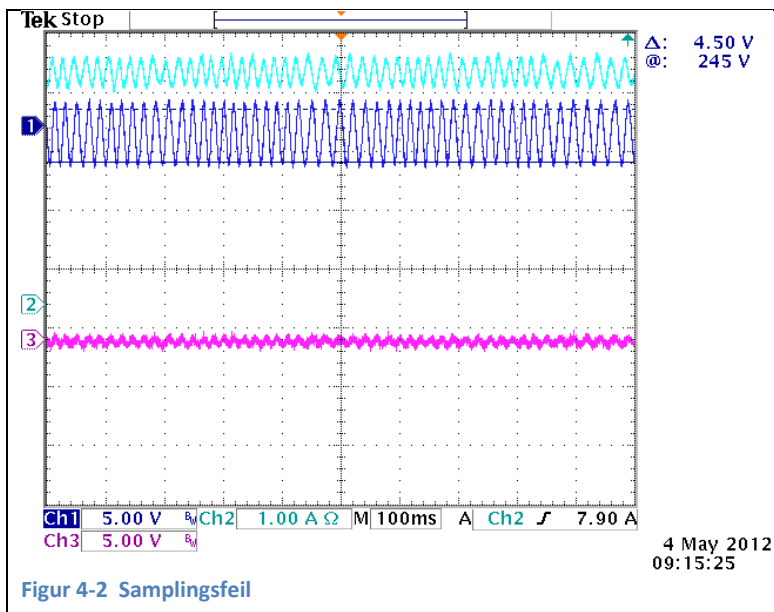
| | Tilfelle 1 | | | | | Tilfelle 2 | | | | |
|---------------------------------|------------|--------|-------|--------|-------|------------|--------|-------|-------|-------|
| | Lab | Matlab | AVVIK | Excel | Avvik | Lab | Matlab | AVVIK | Excel | Avvik |
| Spenning ut sentral (Vs) | 244,6 | 244,6 | 0,0 | 244,6 | 0,0 | 245,7 | 245,7 | 0,0 | 245,7 | 0,0 |
| Spenning Batteri (Vb) | 244,7 | | | | | 245,7 | | | | |
| Node1 | | | | | | | | | | |
| Last [W] | 2750,0 | 2750,0 | 0,0 | 2750,0 | 0,0 | 300,0 | 300,0 | 0,0 | 300,0 | 0,0 |
| Last i % | 91,7 | 91,7 | 0,0 | 91,7 | 0,0 | 10,0 | 10,0 | 0,0 | 10,0 | 0,0 |
| Inngangsspenning (V1) | 240,6 | 240,7 | 0,1 | 240,6 | 0,0 | 245,1 | 245,4 | 0,3 | 245,4 | 0,3 |
| Spenningsfall sentral til Node1 | 4,0 | | | | | | | | | |
| Utgangsspenning | 26,5 | | | | | 26,8 | | | | |
| Node2 | | | | | | | | | | |
| Last (Blålast) | 125,0 | 125,0 | 0,0 | 125,0 | 0,0 | 25,0 | 25,0 | 0,0 | 25,0 | 0,0 |
| Last i[W] | 2998,8 | 2998,8 | 0,0 | 2998,8 | 0,0 | 668,3 | 668,3 | 0,0 | 668,3 | 0,0 |
| Last i % | 100,0 | 100,0 | 0,0 | 100,0 | 0,0 | 22,3 | 22,3 | 0,0 | 22,3 | 0,0 |
| Inngangsspenning (V2) | 239,1 | 239,5 | 0,4 | 239,2 | 0,1 | 244,9 | 245,2 | 0,3 | 245,4 | 0,5 |
| Spenningsfall Node1 til Node2 | 1,5 | | | | | | | | | |
| Utgangsspenning | 24,0 | | | | | 26,7 | | | | |
| Node3 | | | | | | | | | | |
| Last | 2750,0 | 2750,0 | 0,0 | 2750,0 | 0,0 | 300,0 | 300,0 | 0,0 | 300,0 | 0,0 |
| Last i % | 91,7 | 91,7 | 0,0 | 91,7 | 0,0 | 10,0 | 10,0 | 0,0 | 10,0 | 0,0 |
| Inngangsspenning (V3) | 238,7 | 239,1 | 0,4 | 238,8 | 0,1 | 244,9 | 245,2 | 0,3 | 245,1 | 0,2 |
| Spenningsfall Node2 til Node3 | 0,4 | | | | | | | | | |
| Utgangsspenning | 26,5 | | | | | 26,7 | | | | |

Spenningsene utover i systemet stemmer nokså bra. Jeg velger å se på spenningen på Node3 fordi den er lengst ut i systemet og det er der avvikene blir størst. Spenningen på Node3 fra labben sammenliknet med simuleringene ser jeg et avvik 0,4V i Matlab simuleringen og 0,1V på Excel analysen i lasttilfelle 1. I lasttilfelle2 er det 0,3V avvik i Matlab-modellen og 0,2V avvik på spenningen på inngangen. Spenningsfallet i den virkelige modellen er større enn i simuleringene. Det kan skyldes overgangsmotstand i koblinger i og at virkningsgraden på modulene ikke stemmer overens med den verdien jeg har brukt i beregningene. Virkningsgraden varierer med varierende last. I modellen har jeg forenklet det til en fast virkningsgrad. Hvis virkningsgraden er dårligere enn jeg regner med vil det trekkes en større strøm i lederen og spenningsfallet blir større. I Simulink er det tatt med spolevirkning i kabelen. Spolevirkningen i kabelen gjør ikke noen forskjell i stabil drift fordi spolevirkningen ikke påvirker stabil drift. Denne effekten kommer det mer om i de dynamiske resultatene i neste kapittel.

Samplings tid ga målefeil. I Figur 4-2 er det svingninger i inngangsspenningen og inngangsstrømmen på noden. Periodetiden er på ca. 20ms som tilsvarer en frekvens på ca. 50Hz. Noden er matet med likestrøm fra batterienheten og sentralen. Det vil si at kilden ikke er opphavet til denne frekvensen fordi batteriet vil dempe rippel som eventuelt kunne kommet fra modulene i sentralen.

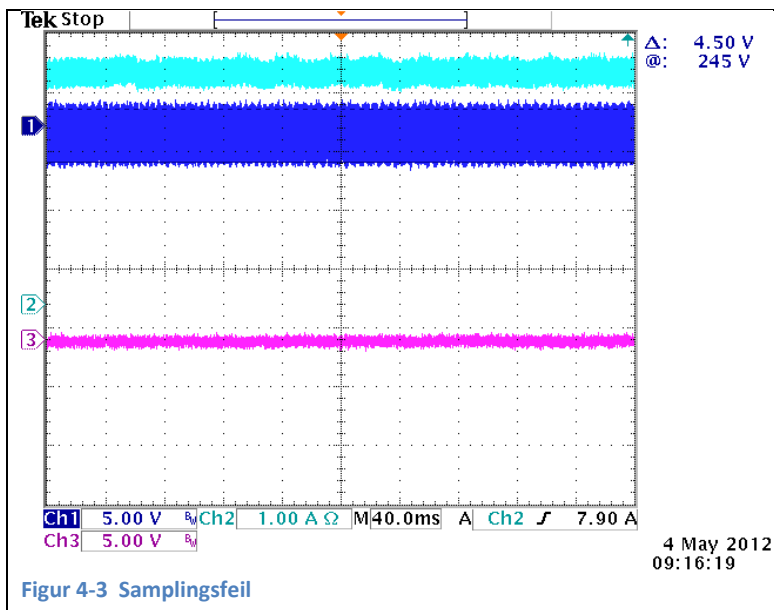
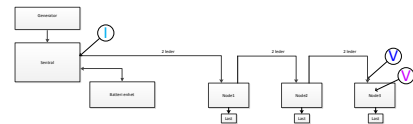
Ved å endre tidsskalaen på oscilloskopet og ta flere bilder fant vi ut at periodetiden er på ca. 12 μ s som tilsvarer en frekvens på ca. 90kHz. Det er frekvensen Boost-leddet jobber på. Det er naturlig at det oppstår en svingning i strøm og spenning på inngangen slik som grafene viser fordi boost-leddet reguleres med Utstyringsgrad med en total periodetid som tilsvarer 90kHz. Årsaken til at vi fikk det fine sinusformede signalet på ca. 50Hz er samplingsfeil. Det innebærer at det digitale oscilloskopet

traff «heldig» med sampling tiden så den satte sammen punkter fra flere bølger til en bølge. Figur 4-2 til Figur 4-7 viser noen forskjellige tidsinnstillinger på Oscilloskopet som viser det.



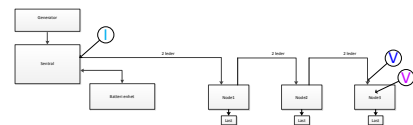
Figur 4-2 Samplingsfeil

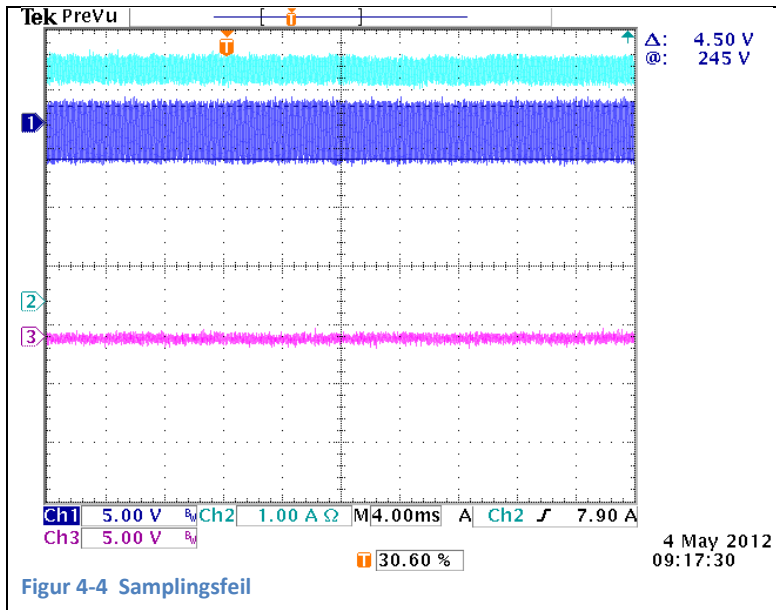
| Step 0 til 100% last | | |
|----------------------|----------------------|-------|
| Ch | Måling av | Skala |
| 1 | Inngangsspenning | 1V |
| 2 | Strøm ut fra sentral | 10A |
| 3 | Boost-Spenning | 10V |
| Tidsskala 100ms | | |



Figur 4-3 Samplingsfeil

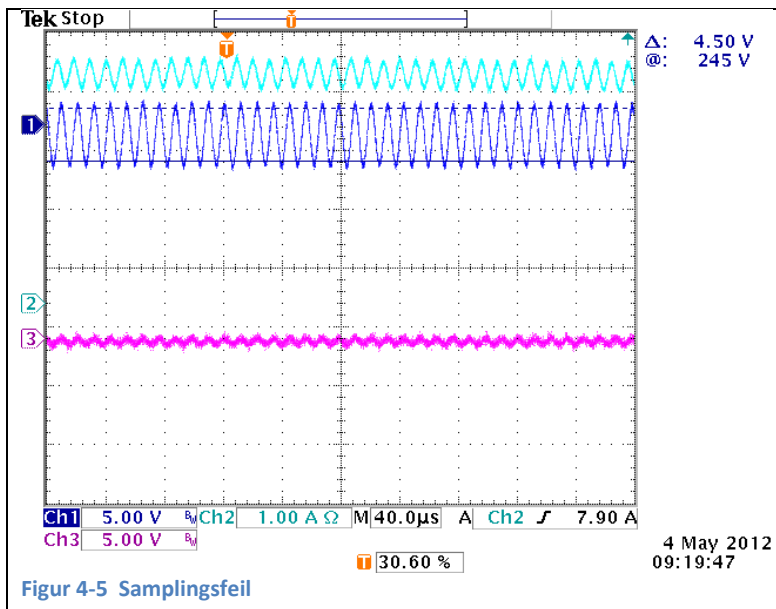
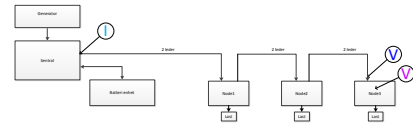
| Step 0 til 100% last | | |
|----------------------|----------------------|-------|
| Ch | Måling av | Skala |
| 1 | Inngangsspenning | 1V |
| 2 | Strøm ut fra sentral | 10A |
| 3 | Boost-Spenning | 10V |
| Tidsskala 40ms | | |





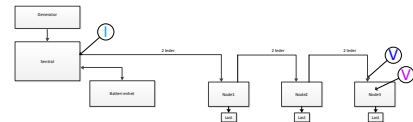
Figur 4-4 Samplingsfeil

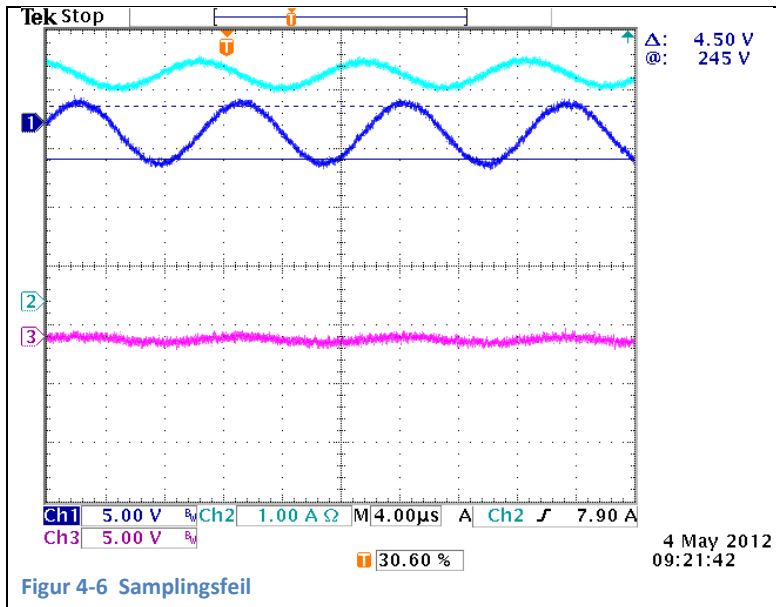
| Step 0 til 100% last | | |
|----------------------|----------------------|-------|
| Ch | Måling av | Skala |
| 1 | Inngangsspenning | 1V |
| 2 | Strøm ut fra sentral | 10A |
| 3 | Boost-Spenning | 10V |
| Tidsskala 4ms | | |



Figur 4-5 Samplingsfeil

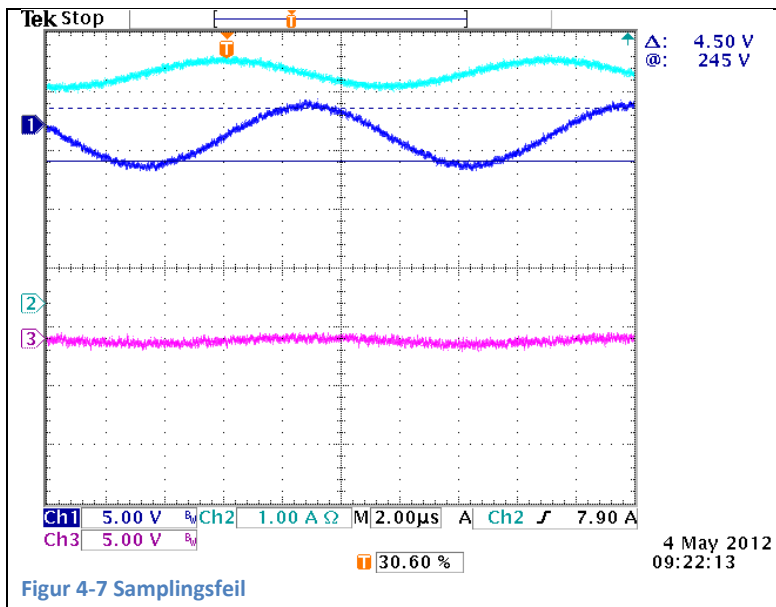
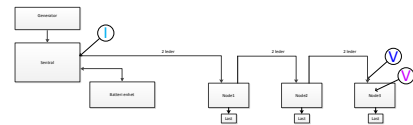
| Step 0 til 100% last | | |
|----------------------|----------------------|-------|
| Ch | Måling av | Skala |
| 1 | Inngangsspenning | 1V |
| 2 | Strøm ut fra sentral | 10A |
| 3 | Boost-Spenning | 10V |
| Tidsskala 40µs | | |





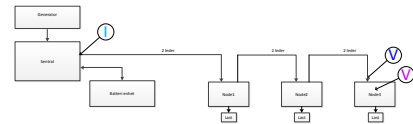
Figur 4-6 Samplingsfeil

| Step 0 til 100% last | | |
|----------------------|----------------------|-------|
| Ch | Måling av | Skala |
| 1 | Inngangsspenning | 1V |
| 2 | Strøm ut fra sentral | 10A |
| 3 | Boost-Spenning | 10V |
| Tidsskala 4μs | | |



Figur 4-7 Samplingsfeil

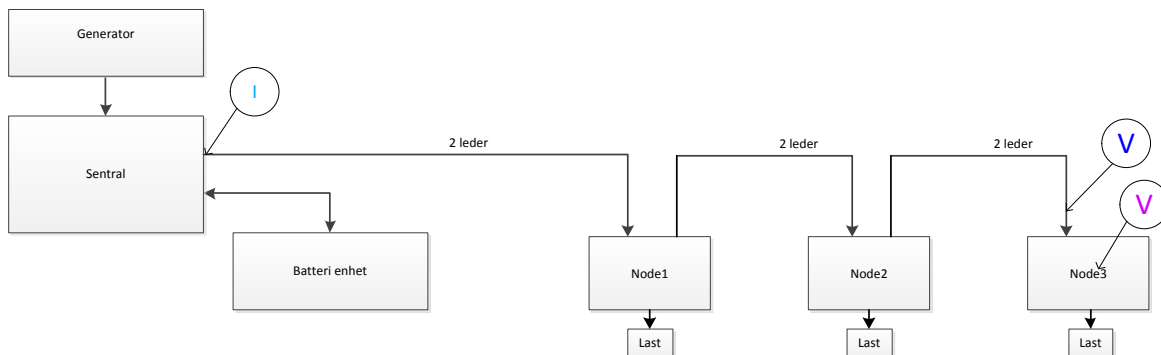
| Step 0 til 100% last | | |
|----------------------|----------------------|-------|
| Ch | Måling av | Skala |
| 1 | Inngangsspenning | 1V |
| 2 | Strøm ut fra sentral | 10A |
| 3 | Boost-Spenning | 10V |
| Tidsskala 2μs | | |



4.2 Analyse av systemets dynamiske egenskaper

Med Dynamiske egenskaper mener jeg hvordan systemet responderer på endring i driftspunkt. Det er endringer i lasten som er i fokus og jeg ser på hva som skjer når lasten trappes opp fra ingen eller lite last til en stor eller full last.

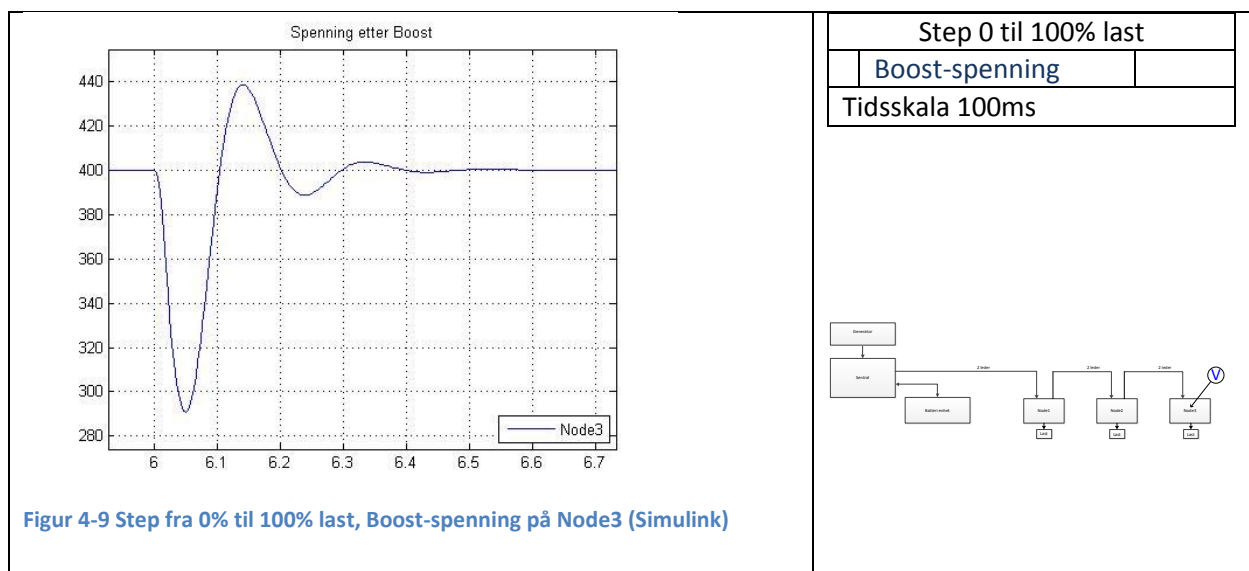
Kan være greit å ta en titt på Figur 2-8 for blokkskjema for boost-leddet. I Figur 4-8 er en oversikt over hele systemet med målepunkter. Simulink modellen er bygget opp med utgangspunkt i blokkskjema av Boost-leddet og bunnet sammen til systemet i modellen. Simulinkmodellen består av tre like noder og ledningene mellom dem. Noden består igjen av tre likerettere. I modellen har jeg forenklet de tre likeretterne til å være kun boost-ledd. For en innføring i Simulinkmodellen se vedlegg 8.5 om Simulink modellen. Jeg vil konsentrere meg om Boost-spenningen fordi den er den trege delen av likeretteren og vil derfor få størst avvik når det skjer en endring i arbeidspunktet. Sentralen og batterienheten er sett på som en stiv spenningskilde.



Figur 4-8 Målepunkter

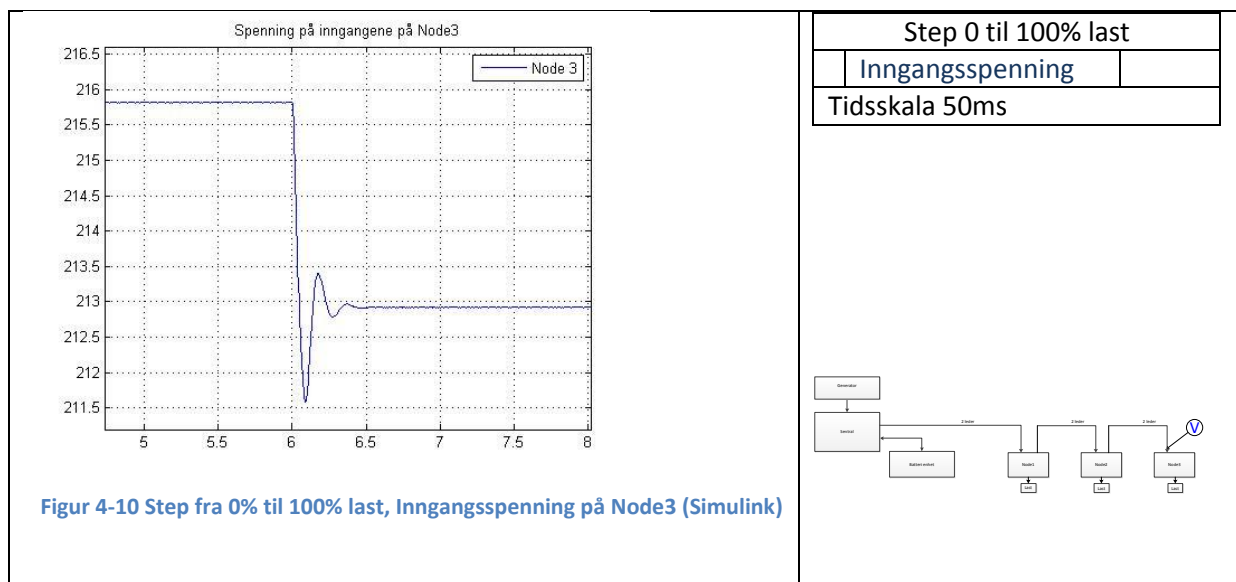
4.2.1 Sprang i Lasten

Jeg vil se på simuleringen først. Figur 4-9 viser Boost-spenningen etter et sprang fra 0 til 100% last. Det er noen svingninger på den og den svinger seg fint inn mot referansen igjen. Rett etter spranget er spenningsfallet på ca. 108V og spenningen er tilbake på rett høyde etter ca. 0,1s. Har en oversving på ca. 38V og svinger seg pent inn etter det.

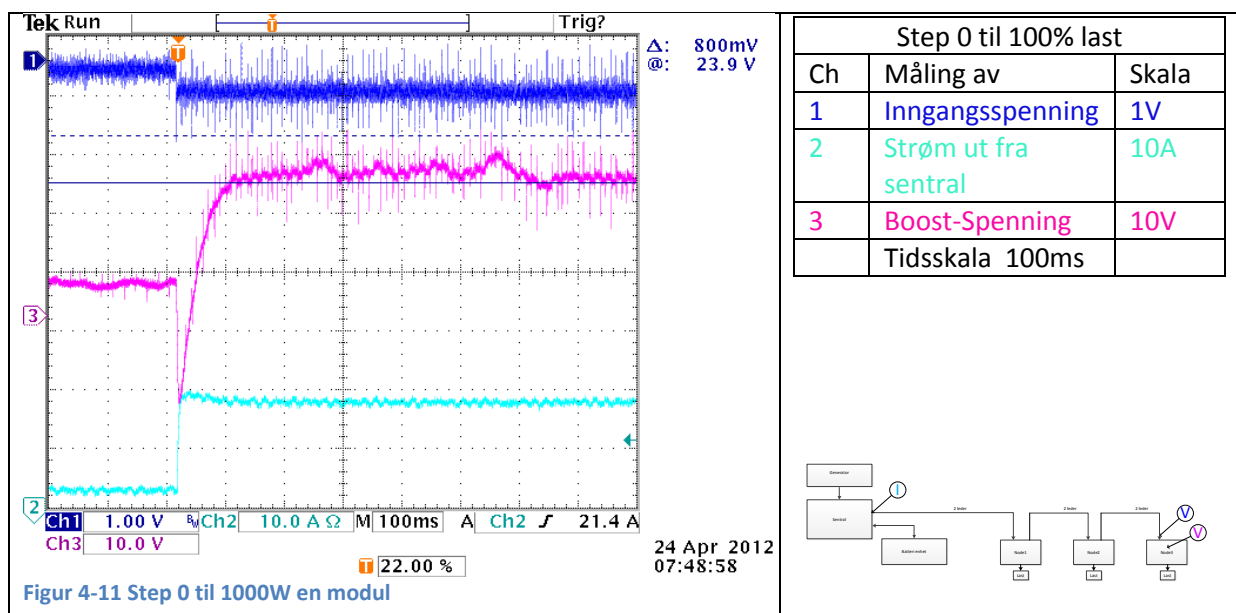


Figur 4-9 Step fra 0% til 100% last, Boost-spenning på Node3 (Simulink)

Figur 4-10 viser spenningen på inngangen. Som forventet faller spenningen når lasten øker. Det er forårsaket av motstanden i lederne. Ser at spenningsfallet er ca. 3V. Spenningen faller litt under før den stabiliserer seg.



I Figur 4-11 er et tilsvarende plot fra labben. Ch 3 er Boost-spenningen. Den har som forventet undersving, men størrelsen på den er mye mindre enn i simuleringen. Uten last ligger den på 406V og når lasten økes til 100% detter den til 382V en kort stund før den stiger opp og stabiliserer seg på 425V. Den har ikke oversving, men går i en bue opp til den nye referansen. Årsaken til dette er at jeg tok utgangspunkt i en eldre likeretter enn den som skal brukes i systemet fordi jeg ble rådet til det av Erik Myhre på R&D. Den er enklere oppbygd enn FPS likeretteren. FPS likeretteren er digital og den jeg har tatt utgangspunkt i er analog. FPS likeretteren har styrt referansen på Boost-spenningen så spenningen er høyere når det trekkes mye effekt ut av den. I modellen jeg har laget i Matlab er det forenklet til en fast referanse på 400V. Det er også en forover kobling i styresløyfen til modulen som gjør at responsen blir raskere når effekt tatt ut av likeretteren endres. Det gjør at Simulink modellen min får mye større spenningsfall på Boost-spenningen enn det blir i virkeligheten. På grund av modellforenklinger har ikke Simulink-modellen med svingningene som er forårsaket av 90kHz vekslingen til Boost-leddet, men fremstiller en gjennomsnittsverdi og derfor er resultatet fra simuleringen en enkel strek, mens målingene fra labben har en tilnærmet sinusform med frekvens på 90kHz. Årsaken til at modellen er forenklet er at modellen blir lettere å simulere på PC-en. Hvis alle elementer skulle vært modellert opp helt riktig hadde PC-en brukt enormt lang tid på å regne ut simuleringen.



I Simulink modellen i Figur 4-9 er tiden det tar fra steppet i lasten til Boost-spenningen er oppe på referansenivået ganske lik som kanal 3 i Figur 4-11 fra labben, men spenningen pendler litt rundt referansespenningen før den blir stabil igjen. I resultatene fra labben ser vi, som forventet, svingningene forårsaket av Boost frekvensen.

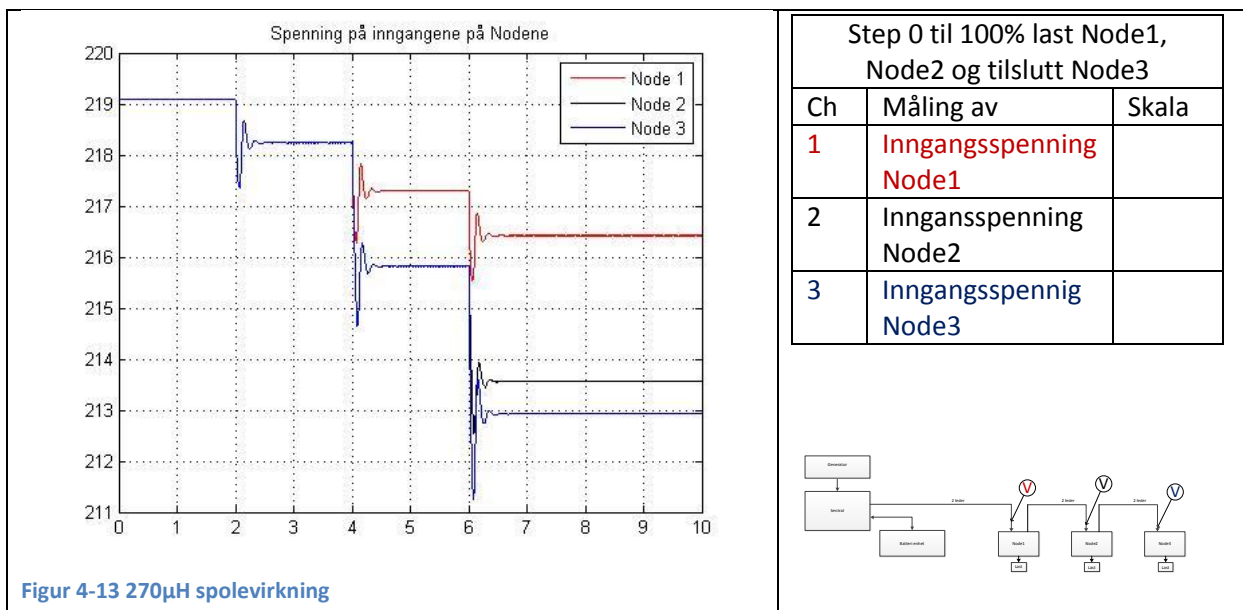
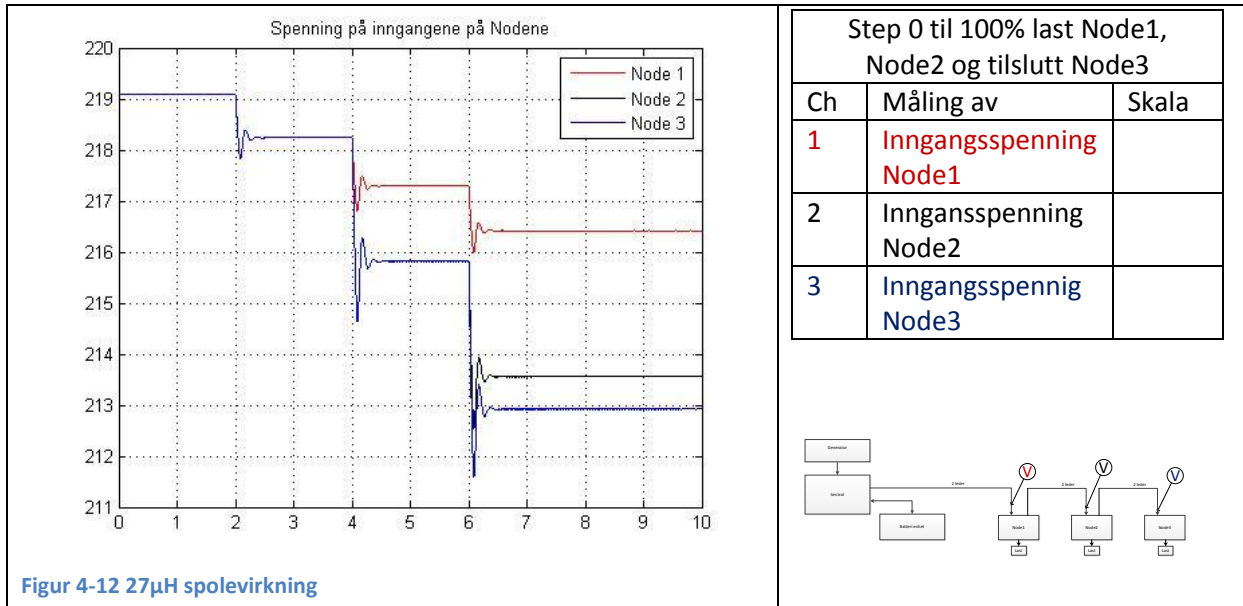
Den blå grafen i Figur 4-11 er spenningen på inngangen på noden. Spenningsfallet er på ca. 0,5V. Ser vi i figur Figur 4-10 er spenningsfallet ca. 3V. Det er forskjell fordi i Simulinkmodellen er det regnet med 3000W last, mens i labresultatet er det brukt bare 1000W last på en likeretter. Derfor er ikke dette sammenlignbart.

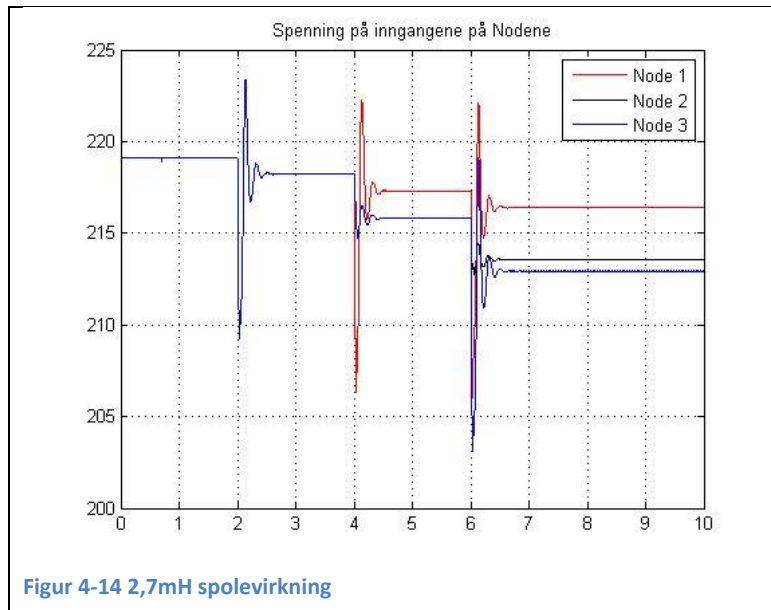
Konklusjon fra stepp responsen: Når systemet får en endring i lasten finner systemet seg et nytt arbeidspunkt og fortsetter stabil drift. Ingen tegn til ustabilitet.

Den lyseblå grafen er strømmen som trekkes fra sentralen. Den er brukt for å trigge på så oscilloskopet tar bildet når jeg ønsker det.

4.3 Spolevirkning i lederne.

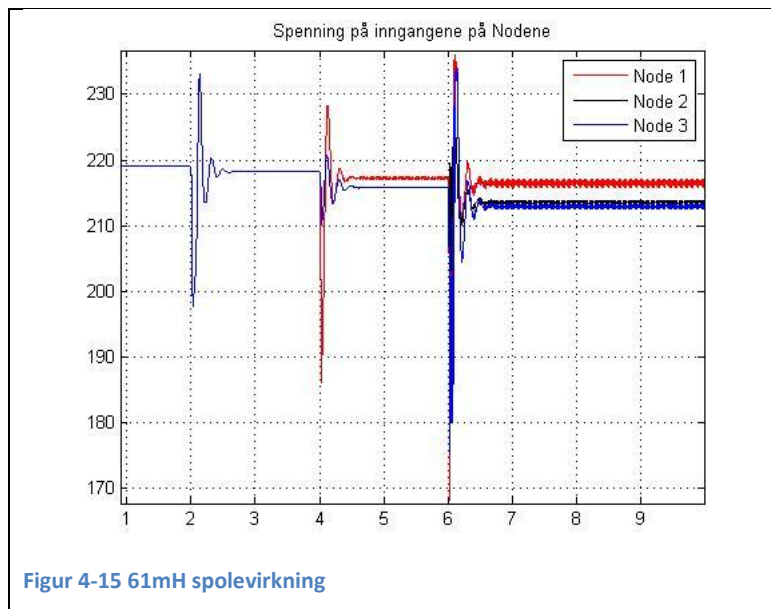
Videre vil jeg se på hva spolevirkningen i lederne innvirker på. Jeg har gjort noen simuleringer hvor jeg har økt spolevirkningen fra 27 μ H og opp til 61mH.





Step 0 til 100% last Node1, Node2 og tilslutt Node3

| Ch | Måling av | Skala |
|----|------------------------|-------|
| 1 | Inngangsspenning Node1 | |
| 2 | Inngangsspenning Node2 | |
| 3 | Inngangsspenning Node3 | |

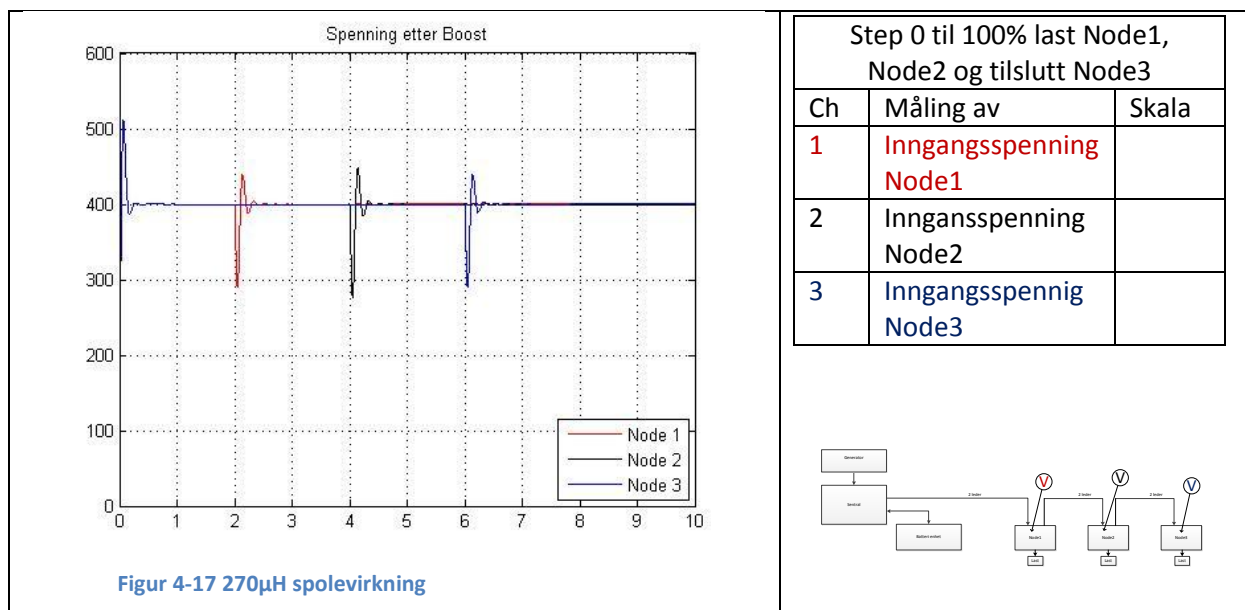
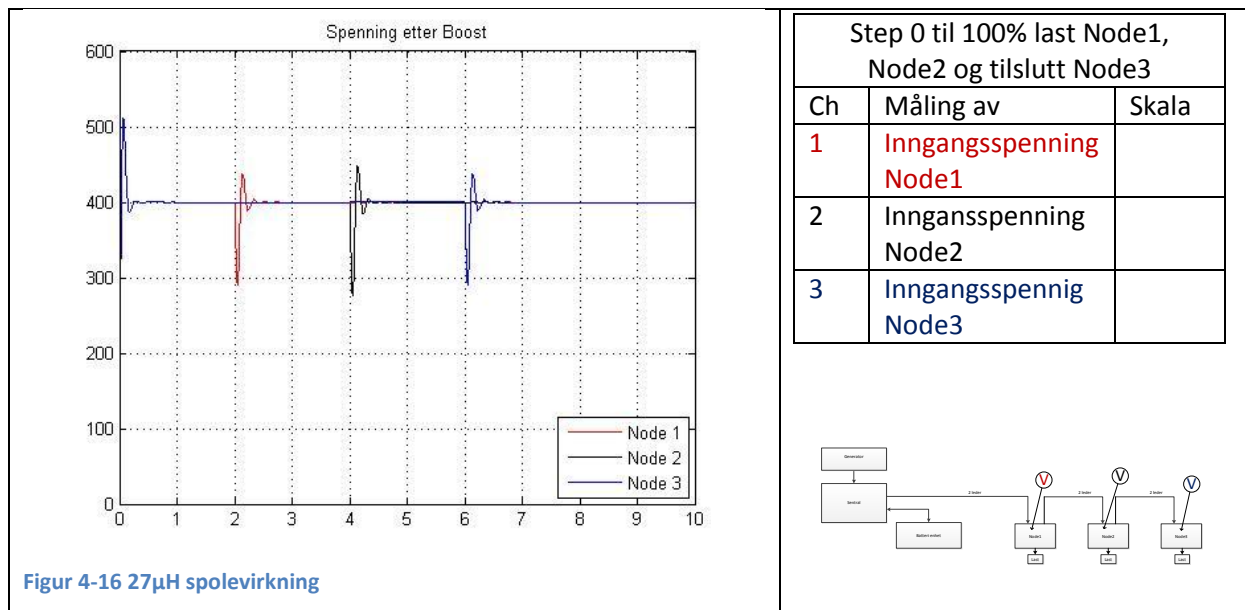


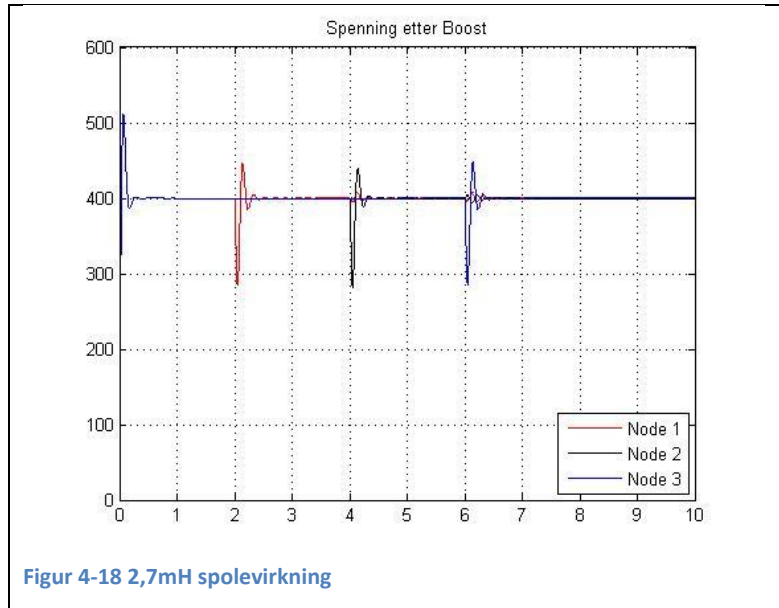
Step 0 til 100% last Node1, Node2 og tilslutt Node3

| Ch | Måling av | Skala |
|----|------------------------|-------|
| 1 | Inngangsspenning Node1 | |
| 2 | Inngangsspenning Node2 | |
| 3 | Inngangsspenning Node3 | |

Ser at når induktansen blir veldig stor blir det mer svingninger i inngangsspenningen. Men selv med hele 61mH i hver leder vil systemet være stabilt.

Så ser vi hva som skjer med Boost-spenningen når spolevirkningen øker i Figur 4-16 til Figur 4-19 ser vi utviklingen på samme måte som for inngangsspenningen. Det skjer egentlig ikke så mye før vi når 61mH i Figur 4-19. Der ser vi at det blir en del forskjeller på Nodene.

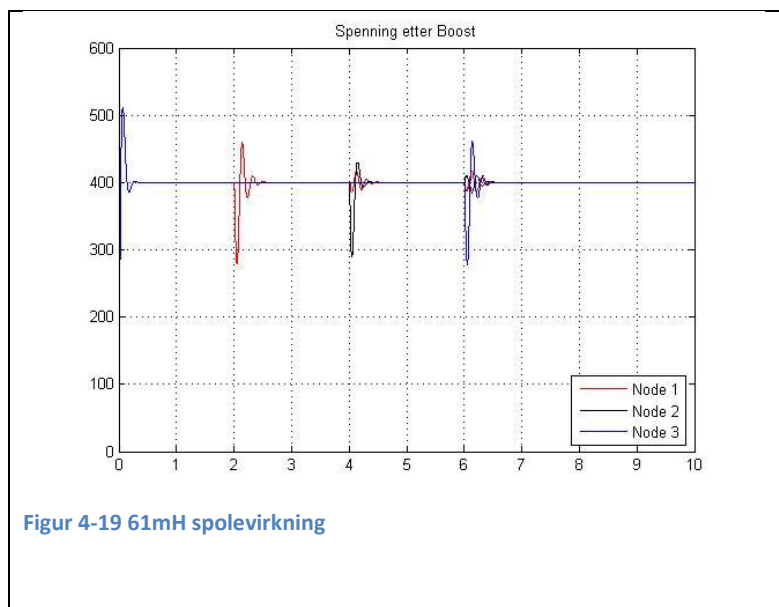
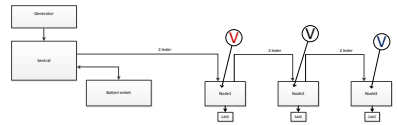




Figur 4-18 2,7mH spolevirkning

Step 0 til 100% last Node1, Node2 og tilslutt Node3

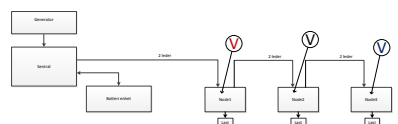
| Ch | Måling av | Skala |
|----|------------------------|-------|
| 1 | Inngangsspenning Node1 | |
| 2 | Inngangsspenning Node2 | |
| 3 | Inngangsspenning Node3 | |

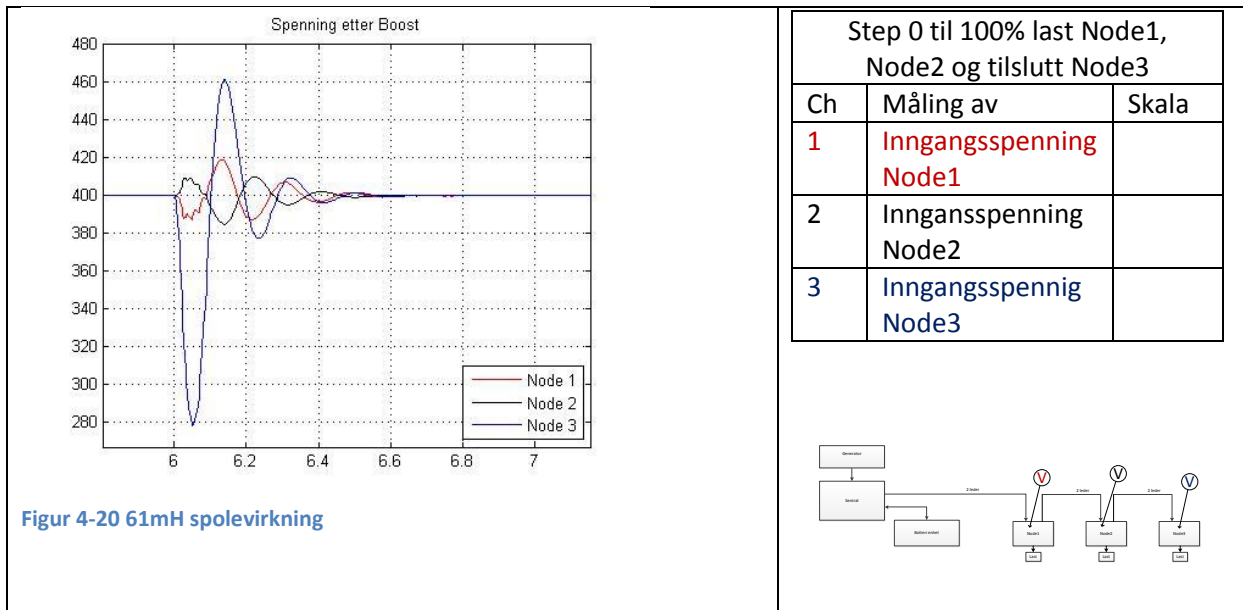


Figur 4-19 61mH spolevirkning

Step 0 til 100% last Node1, Node2 og tilslutt Node3

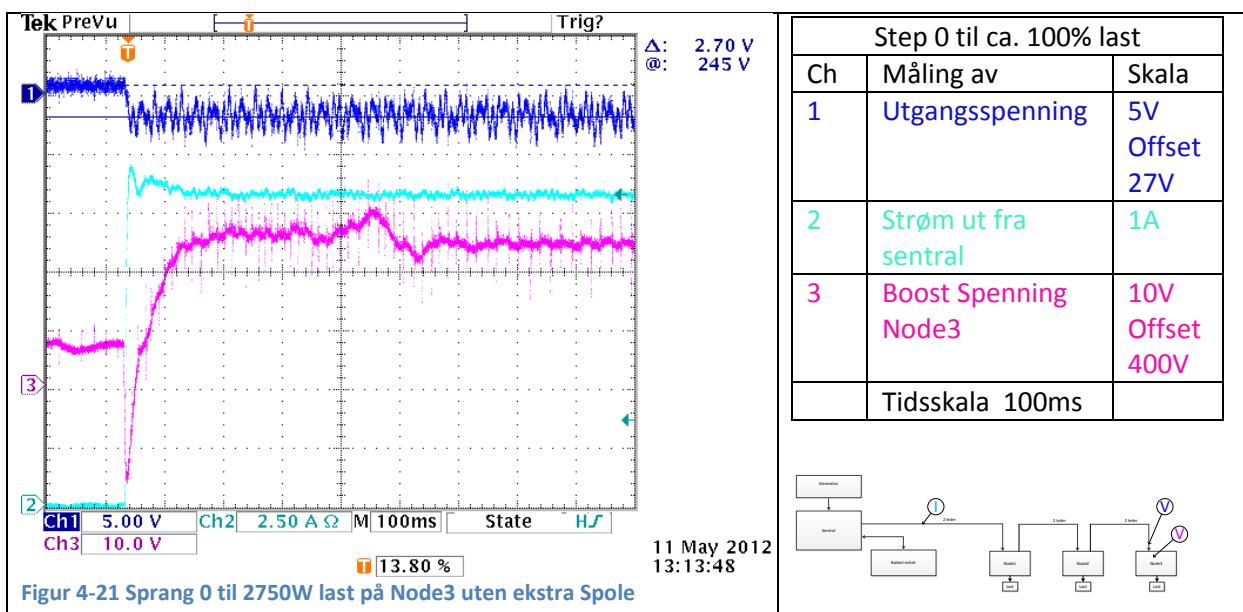
| Ch | Måling av | Skala |
|----|------------------------|-------|
| 1 | Inngangsspenning Node1 | |
| 2 | Inngangsspenning Node2 | |
| 3 | Inngangsspenning Node3 | |

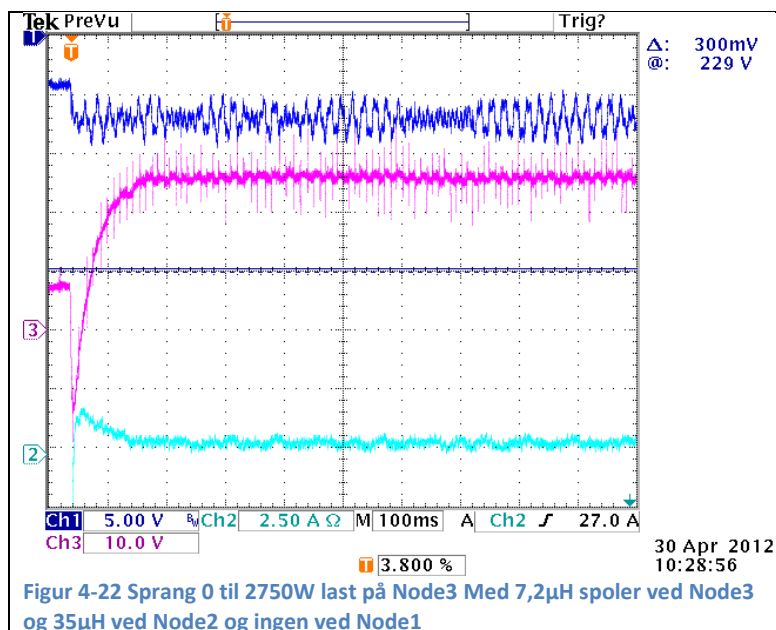




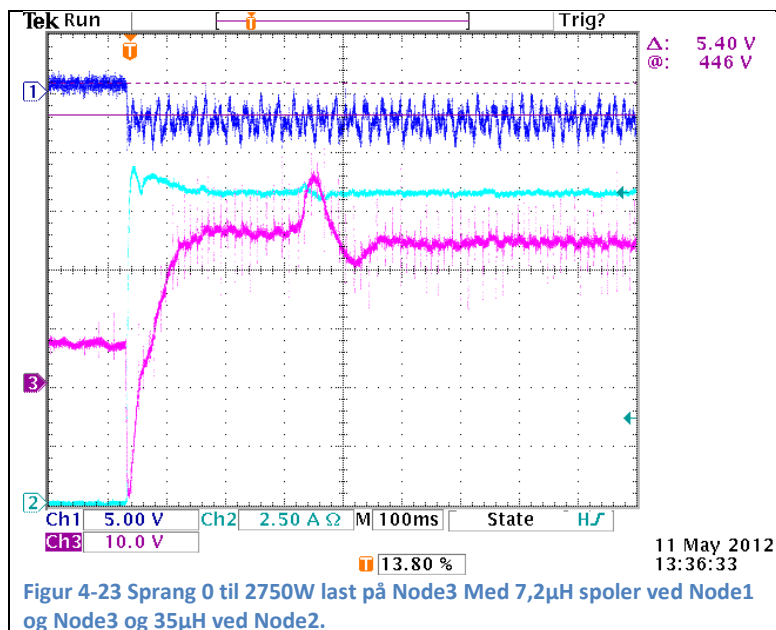
Figur 4-20 viser detaljert bilde av den. Der ser vi at spenningen pumper litt mellom nodene. 61mH er veldig mye mer spolevirkning en det er i kablene og systemet er stabilt i og med at spenningene faller til ro i sitt nye arbeidspunkt.

Så skal jeg på labben og se hva spolevirkningen gjør med spenningene når vi utsetter systemet for et sprang i lasten. I Figur 4-21 er sprangresponsten uten ekstra spoler. I Figur 4-22 er det med 7,2µH ekstra spolevirkning i alle lederne og i Figur 4-23 er det lagt inn 7,2µH ved Node1 og Node3 mens det er 35µH ved Node2. Boost-spenningen får litt og litt større undersving når induktansen øker. Det kommer av at systemet blir mer og mer vanskelig å endre strømmen i. Det gjør at Boosten må vente litt før strømmen øker.





| Step 0 til ca. 100% last | | |
|--------------------------|----------------------|-----------------------|
| Ch | Måling av | Skala |
| 1 | Utgangsspenning | 5V Offset 27V |
| 2 | Strøm ut fra sentral | 1A |
| 3 | Boost Spenning Node3 | 10V Offset 400V |
| Tidsskala 100ms | | |



| Step 0 til ca. 100% last | | |
|--------------------------|----------------------|-----------------------|
| Ch | Måling av | Skala |
| 1 | Utgangsspenning | 5V Offset 27V |
| 2 | Strøm ut fra sentral | 1A |
| 3 | Boost Spenning Node3 | 10V Offset 400V |
| Tidsskala 100ms | | |

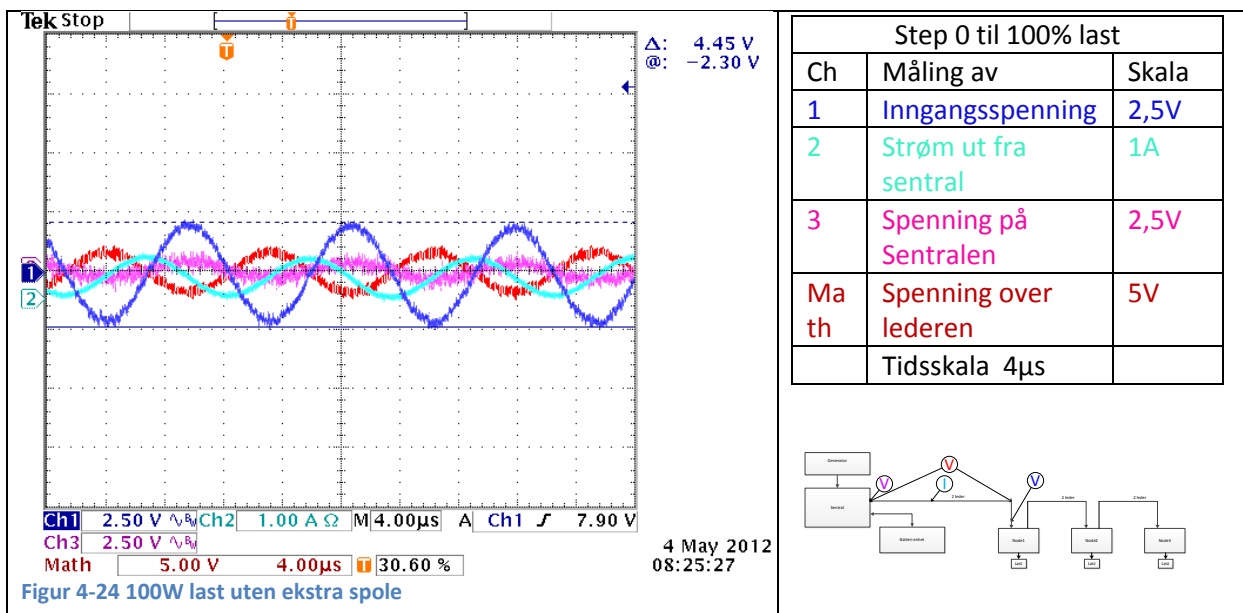
I Figur 4-21 uten ekstra spolevirkning er undersvingen på ca. 20V, men med 7,2 μ H ekstra spolevirkning i Figur 4-22 er undersvingen på boost-penningen på ca. 21V. I Figur 4-23 har jeg lagt til en enda større spole for å se om det har noen betydning for stepp-responsen. Undersvingen har blitt på ca. 24V. Stigetiden er fortsatt nokså lik. Altså øker undersvingen på Boostspenningen med mer spolevirkning, mens stabiliseringstiden er lik. Systemet er fortsatt stabilt.

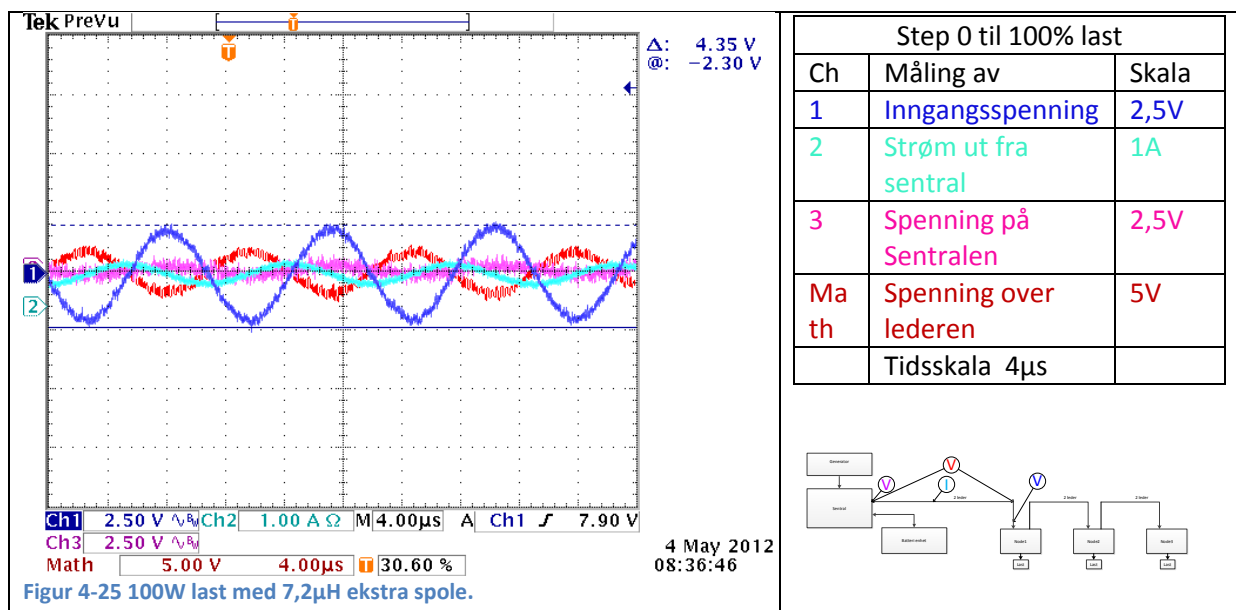
Induktansens innvirkning på inngangsspenningen. Vi går tilbake til Figur 4-21 som viser et stepp i lasten på Node3 uten ekstra spolevirkning. Den blå grafen er spenningen på inngangen. Ser at den varierer som forventet, men variasjonen er nokså lik uten ekstra og med ekstra spolevirkning. Figur 4-22 og Figur 4-23 viser responsen med ekstra spoler på 7,2 μ H ved Node1 og Node3 og 35 μ H ved Node2. Sammenliknet med Figur 4-21 som er uten ekstra spoler er grafen for inngangsspenningen

nokså lik i begge plotene. Spenningsfallet frem til Node3 er blitt litt større når det er ekstra spoler med. Det kommer av at det er motstand i spolene som jeg har satt inn i modellen på laboratoriet.

4.3.1 Spolevirkningen i stasjonær drift

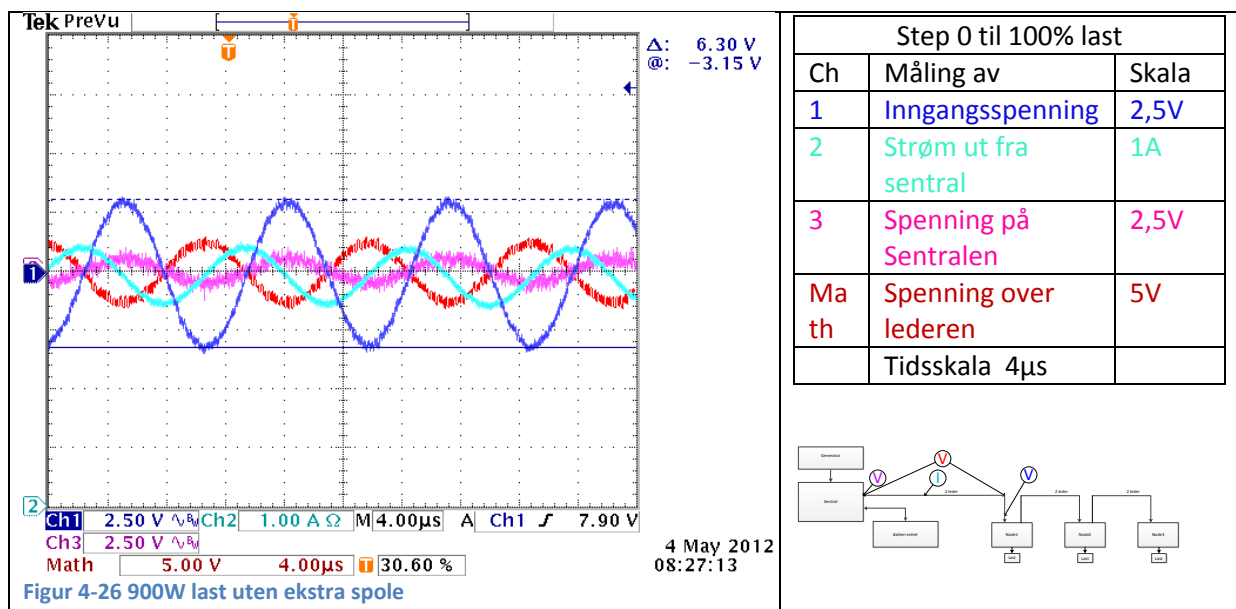
For å finne effektene som spolevirkningen har på spenningene under stabil drift har jeg gjort noen tester hvor jeg har målt spenningen i sentralen og spenningen på noden og sett på strømmen i forhold til spenningen over lederen. Ved å bruke kun en likeretter i noden får jeg se et klart bilde hvor strøm og spenning over lederen ligger i riktig fase. Jeg har satt oscilloskopet på AC og bare sett på vekselstrøm komponenten av spenningen. Hvis vi først ser på et tilfelle med 10% last på Node1. Figur 4-24 og deretter på Figur 4-25 ser vi endringen det gjør å ha med 7,2μH ekstra spolevirkning. Det er litt forskjell i spenningsendringene og i strøm endringene uten og med ekstra spole. Forskjellen i spenning på inngangen til Noden er 0,1V i amplituden på spenningsvariasjonen. Årsaken til forskjellen er at spolen motsetter seg endring i strømmen og endrer spenningen over seg for å motvirke strømendringen. Når strømmen øker vil spolevirkningen minke spenningen over spolen for å minke strømmen og når strømmen minker vil spolevirkningen øke spenningen over spolen for å øke strømmen som går. Det fører til jevnere strøm og spenning.

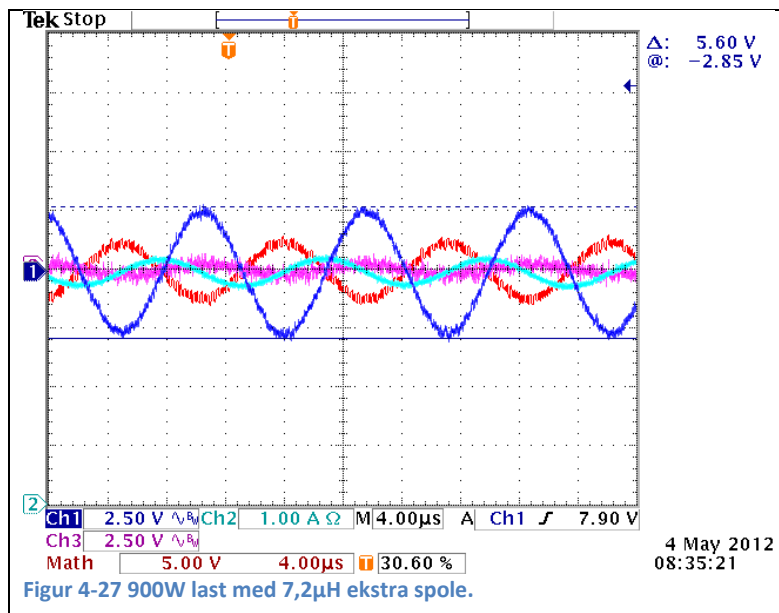




Ved liten last er det liten forskjell.

Så øker jeg lasten til 90%. Se Figur 4-26 og Figur 4-27. Strømmen øker og dermed øker også spennings variasjonen. I og med at Boost-leddet jobber ved frekvensen den gjør trekkes det strøm i veldig korte perioder og det medfører at når strømmen blir større vil også forskjellene i strøm og spenning bli større. Ved å legge til ekstra spole vil endring i strøm bli vanskeligere og det gir seg utslag i mindre endringer i strømmen og dermed mindre spenningsvariasjon på noden og over lederen. Spenningsvariasjonen uten ekstra spole er 6,3V og med 7,2µH er den 5,6V. Det er reduksjon på 0,7V.





Figur 4-27 900W last med 7,2µH ekstra spole.

| Step 0 til 100% last | | |
|----------------------|-----------------------|-------|
| Ch | Måling av | Skala |
| 1 | Inngangsspenning | 2,5V |
| 2 | Strøm ut fra sentral | 1A |
| 3 | Spenning på Sentralen | 2,5V |
| Math | Spenning over lederen | 5V |
| Tidsskala 4µs | | |

Konklusjon: Når det blir mer spolevirkning vil strømmen bli gjevner for di spolene motsetter seg endring i strømmen. Det medfører også en utjevning av spenningsvariasjonene.

5 Konklusjon

Dette strømforsyningssystemet med 3 noder og 100M 64,7mm² kabel vil fungere stabilt under de omstendighetene som oppgaven legger til grunn. Som resultatene viser gjør spolevirkningen lite av seg i dette oppsettet og gir ingen grunn til bekymring. Når det gjelder dimensjonering av kabelen er den statiske analysen jeg har laget i Excel et nyttig verktøy. Kablingen skal være i henhold til standard i forhold til strømtrekk og tverrsnitt. Likevel er det noen flere momenter som burde jobbes videre med. Det er beskrevet i korte trekk i neste kapittel.

6 Videre arbeid

Hva kan/bør gjøres videre:

- Lage simulering med forover-kobling av effekuttaket slik det er i FPS.
- Se på kortslutningsstrømmer og sikring av systemet i forhold til det.
- Se på system med A og B mating.

7 Litteraturliste

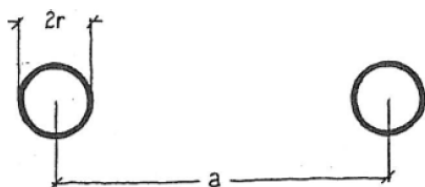
http://www.draka.no/draka/countries/draka_norway/languages/norsk/navigation/Produkter/Teknik info/Teknisk_Haandbok_del_1.pdf

http://www.eng.auburn.edu/~agrawvd/COURSE/READING/LOWP/Erikson_DC_2_DC.pdf

8 Vedlegg

8.1 L i leder (Opprinnelig valgt)

| | | |
|------------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Utvendig diameter på isolert leder | 12,0637112 [mm] | |
| Leder radie | 4,6318556 [mm] | ($\sqrt{A/\pi}$) |
| Leder Diameter | 9,26371121 [mm] | |
| Leder Kvadrat | 67,4 [mm ²] | |
| Isolasjon på lederen | 1,4 [mm] | |
| Isolasjon mellom lederne | 2,8 [mm] | |
| a | 12,0637112 [mm] | a => se Figur 21 |
| L/km | 0,24144886 [mH/km] | $L=0,05+0,2*\ln(a/r)$ |
| leder lengde | 100 [M] | |
| L i valgte lengde | 0,02414489 [mH] | |



Figur 8-1 L i to-leder

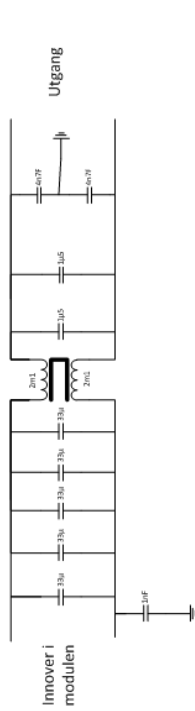
8.2 L i leder (Skalert valg)

| | | |
|------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Utvendig diameter på isolert leder | 5,568248232 [mm] | |
| Leder radie | 1,784124116 [mm] | ($\sqrt{A/\pi}$) |
| Leder Diameter | 3,568248232 [mm] | |
| Leder Kvadrat | 10 [mm ²] | |
| Isolasjon på lederen | 1 [mm] | |
| Isolasjon mellom lederne | 2 [mm] | |
| a | 5,568248232 [mm] | |
| L/km | 0,27763058 [mH/km] | $L=0,05+0,2*\ln(a/r)$ |
| leder lengde | 15 [M] | |
| L i valgte lengde | 0,004164459 [mH] | |

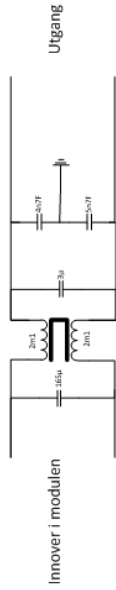
Hentet fra [Draka, teknisk håndbok 4. utgave]

8.3 C og L i utgangen på sentralen

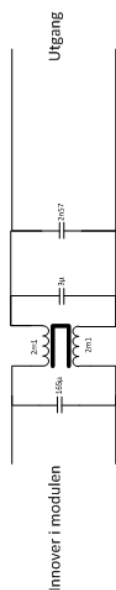
C og L i Utgangen på 241115.815



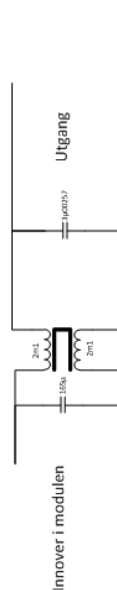
Ekvivalent til C og L i Utgangen på 241115.815



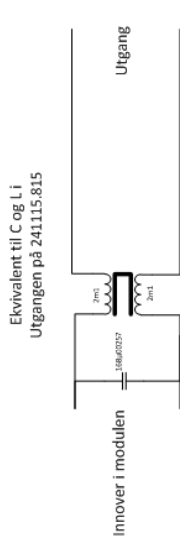
Ekvivalent til C og L i Utgangen på 241115.815



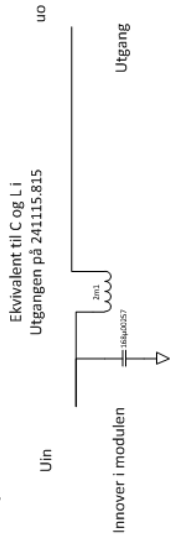
Ekvivalent til C og L i Utgangen på 241115.815



Capasitansen er 55 ganger større innenfor spolen enn utenfor spolen. Derfor ser jeg på de som i parallell på innsiden av spolen.



Går over til å se på enlinje skjema.



Innover i modulen

$$Z = R + j[\omega L - 1/\omega C] = |Z| e^{j\phi}$$

$$U_o = U_{in} \frac{1}{C} (\omega + L)$$

$$U_o = U_{in} (L\omega - 1/(L\omega C))$$

$$U_o = U_{in} / (L\omega C) + U_s * L\omega$$

Laplasf) => $U_o = U_{in} / (Cs) + U_s * Ls$

$$H(s) = (1/Cs) + Ls$$

Hittil har jeg sett på Commonmode. Det som er interessant er differential mode fordi vi skal ta ut en strøm på den ene lederen og sende inn en strøm på den andre lederen. Differential mode verdiene på spolen vil i følge Erling ligge på ca 1/100 av commonmode verdiene. Etter måling fant vi differential mode L=12µH

Noe som mindre enn 1/100 del av commonmode verdiene, dette er neglisjerbart og kretsen kan forenkles til kun en kondensator.

Ekvivalent til C og L i Utgangen på 241115.815



$$U_o = U_{in} (1/(L\omega C))$$

$$U_o = U_{in} / (L\omega C)$$

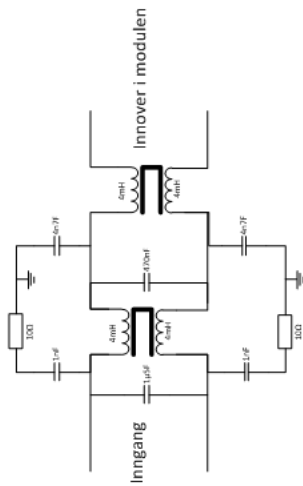
Laplasf) => $U_o = U_{in} / Cs$

$$H(s) = (1/Cs)$$

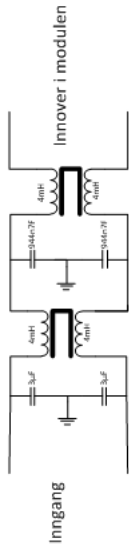
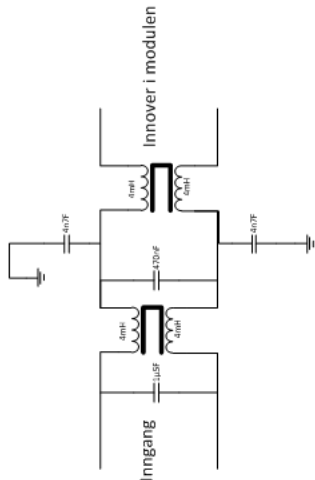
Etter denne utgangen sitter det en batteripakke som kan levere veldig mye mere effekt enn det nodene kan klare å bruke. Derfor kan vi se bort fra sentralen og se på den som en stiv spenningskilde.

8.4 C og L i inngangen på Noden

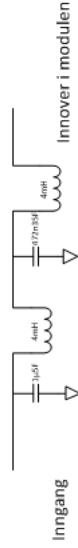
C og L i inngangen på
241122.205



RC-leddene mellom leder og jord blir så små sammenliknet med resten av C at den er neglisjerbar



Går over til en-linje skjema



$$Z_L = j\omega L$$

$$Z_C = 1/j\omega C$$

$$H(j\omega) = 1/j\omega C + j\omega L + 1/j\omega C + j\omega L$$

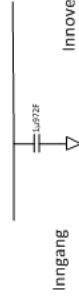
$$H(s) = 1/sC + sL + 1/sC + sL$$

$$= 1/s3\mu + s4mH + 1/s0,944\mu + s4mH$$

Hittil har jeg sett på Commonmode. Det som er interessant er differential mode fordi vi skal ta ut en strøm på den ene lederen og sende inn en strøm på den andre lederen. Differential mode verdiene på spolen vil i følge Erling ligge på ca 1/100 av commonmode verdiene.

Etter måling fant vi differential mode $L=25\mu H$

Noe som er neglisjerbart og kretsen kan forenkles til kun en kondensator.



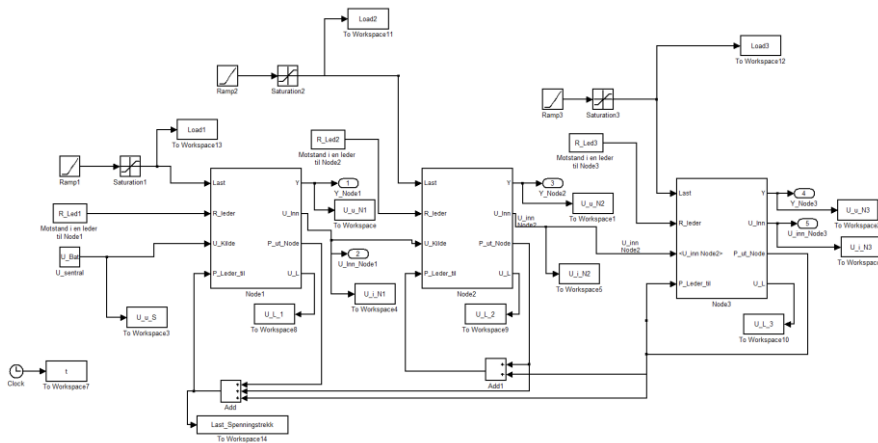
Etter neglisjeringen av L blir

$$Z_C = 1/j\omega C$$

$$H(j\omega) = 1/j\omega C$$

$$H(s) = 1/sC = 1/s3,944\mu$$

8.5 Simulink modell

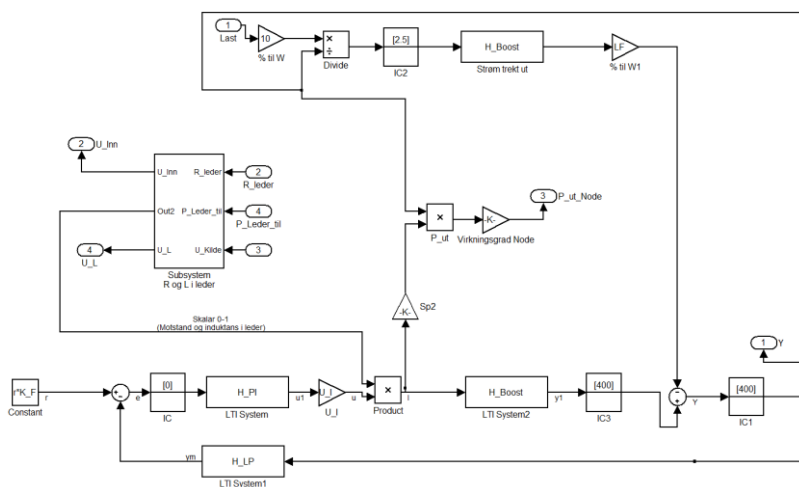


Figur 8-2 Simulink modell av System med 3 Noder

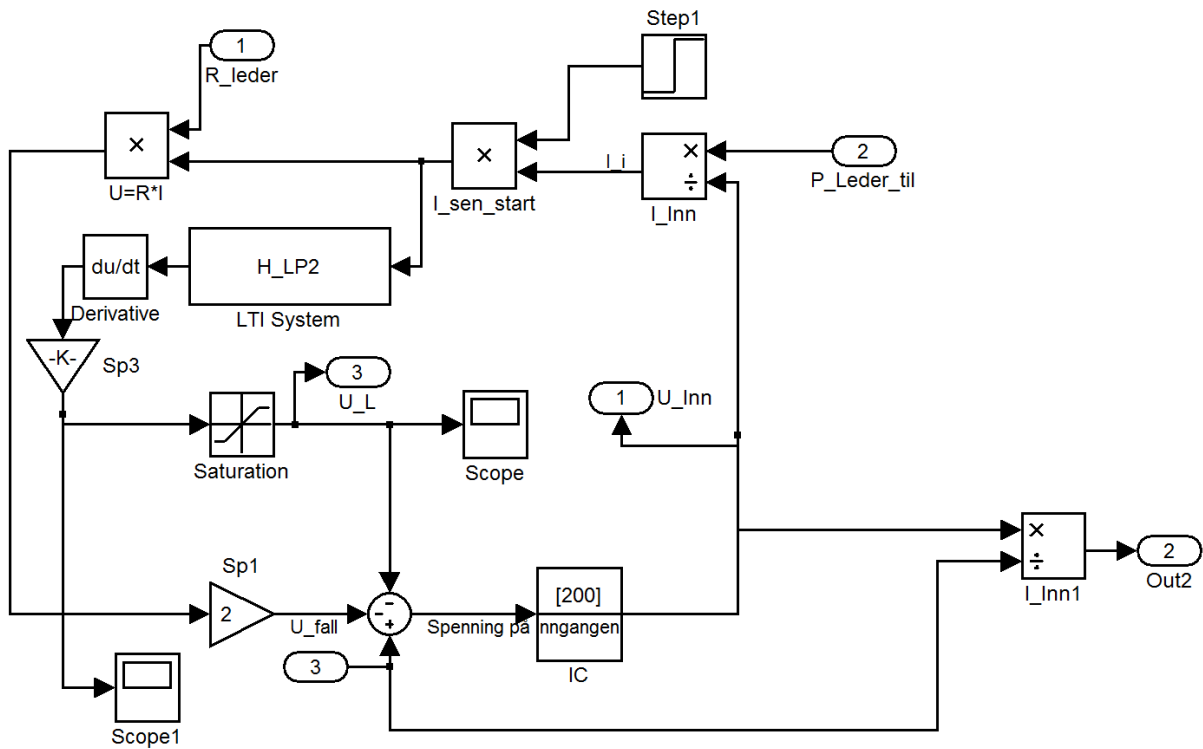
Figur 8-2 viser Simulink modellen av systemet og er oppbygd av 3 like blokker som fremstiller en node hver og lederen frem til den noden. Noden er basert på boost-leddet i likeretteren. Innputtene til modellen er: Last, Motstanden i lederen til Noden, Spenning på kilden eller Noden før og Effekten som blir tatt ut gjennom lederen til noden. Utganger fra systemet er: Y som er Boost-spenningen, Spenning på inngangen av Noden, P ut av Noden og spenningsbidraget på utgangen forårsaket av spolevirkningen i kabelen.

Alle innputt til systemet styres fra et script. Der defineres alle transferfunksjoner og variabler. Lasten er gjort til en rampe med ganske rask stighetid for å bli likest mulig lasten som jeg bruker på labben. Alle utputt blir sendt tilbake til workspace og kan fremstilles som plot i matlab når scriptet er kjørt.

Figur 8-3 viser Simulink modellen av Boost-leddet. Den er basert på blokkskjema i Figur 2-8 på side 5. Det er et undersystem som simulerer lederen med motstand og induktans.



Figur 8-3 Undersystem Boost-leddet



Figur 8-4 Undersystem for leder til Noden

Figur 8-4 viser undersystemet som simulerer lederen med spenningsendring over lederen etter hvor stor strøm som går igjennom lederen. Det er virkningen av motstanden R og Induktansen L som blir simulert av dette systemet.

8.5.1 Script file

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Anlegg med tre Noder utstyrt med 3 stk 1kW FPS moduler.
% Kabel_Noder_Sim_Model_Med_L
% Laget av Oskar Hogganvik Mars 2012
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

clc
clear all
close all
s=tf;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Parametere (R og C fra fysisk modell). %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% PI-Controller
R1=16000;
R2=33000;
C1=1e-006;

% Boost
Ant_p=2; % Ant_RC_ledd_i_paralell
R=(1/Ant_p)*0.83;
C=Ant_p*2.1e-004;
% LP-Filter
Rf=230444;
C2=680e-012;

%Referanse spenningen = r
r=400;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Forstyrrelse (Last på utgangen) %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Eks: 3 stk 1000w moduler i hver Node:
% Ant_mod/Node=3
% P_Stepx= maksimalt 100.
% P_initx= maksimalt 100.

Ant_mod_Node=3; % [stk] Antall moduler i hver Node.
LF=1; % Faktor som direkte påvirker sprandresponsen. 1=ingen endring i
modellen
Virkningsgrad_Node=91; % [%]
Slope1=5000; % Rampestigning på lasten Slope=100/(rampe tid [s]) 5000 gir
0,02s rampuptid.
Slope2=Slope1;
Slope3=Slope1;

P_init1=0; % [%] (100%= (Maks)= 1000 W/modul)
P_Step1=91.6667; % [%] (100%= (Maks)= 1000 W/modul)
P_init2=0; % [%] (100%= (Maks)= 1000 W/modul)
P_Step2=99.956; % [%] (100%= (Maks)= 1000 W/modul)
P_init3=0; % [%] (100%= (Maks)= 1000 W/modul)
P_Step3=91.667; % [%] (100%= (Maks)= 1000 W/modul)
% Tider for sprang
t_step1=2; % [s] Tid for sprang i lasten på node1
t_step2=4; % [s] Tid for sprang i lasten på node2
t_step3=6; % [s] Tid for sprang i lasten på node3
```



```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Batterispenning %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

U_Bat=219.1; % [V] Batteri- eller Sentral-spenning
           % Min Batterispenning: 189 V
           % Max Batterispenning: 253,8 V

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Ledere mellom sentral og node1, Node1 og Node2, Node2 og Node3 %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

rho_c=17.241; % [ohm*mm^2/km]
Alfa=0.00393;

A_Led1=10; % [mm^2] Leder 1 tversnitt.
A_Led2=10; % [mm^2] Leder 2 tversnitt.
A_Led3=10; % [mm^2] Leder 3 tversnitt.

Led1=15+3; % [m] Lengde leder fra sentral til Node1
Led2=15+13; % [m] Lengde leder fra Node1 til Node 2
Led3=10+3; % [m] Lengde leder fra Node2 til Node 3

R20_Led1=rho_c*Led1/(A_Led1); % Motstand i leder1 ved 20 grader.
R20_Led2=rho_c*Led2/(A_Led2); % Motstand i leder2 ved 20 grader.
R20_Led3=rho_c*Led3/(A_Led3); % Motstand i leder3 ved 20 grader.

Temp1=20; % [grader celsius] temperatur i leder
Temp2=20; % [grader celsius] temperatur i leder
Temp3=20; % [grader celsius] temperatur i leder

R_Avvik1=Alfa*(Temp1-20);
R_Avvik2=Alfa*(Temp2-20);
R_Avvik3=Alfa*(Temp3-20);

R_Led1=(R20_Led1+R_Avvik1)/1000 % Beregnet motstand i en leder fra sentral
til Node1
R_Led2=(R20_Led2+R_Avvik2)/1000 % Beregnet motstand i en leder fra Node1
til Node2
R_Led3=(R20_Led3+R_Avvik3)/1000 % Beregnet motstand i en leder fra Node2
til Node3

% For beregning av L iledere
Led_rad1=sqrt(A_Led1/pi); % Leder radie
Led_rad2=sqrt(A_Led2/pi); % Leder radie
Led_rad3=sqrt(A_Led3/pi); % Leder radie

a_1=Led_rad1*2+2*1; % Avstand fra senter til senter av lederene
a_2=Led_rad2*2+2*1; % Avstand fra senter til senter av lederene
a_3=Led_rad3*2+2*1; % Avstand fra senter til senter av lederene

l=reallog(a_1/Led_rad1); % ln(a/pi)
Led_L1=(0.05+0.2*l)/1000; % Induktans i leder1
l=reallog(a_2/Led_rad2); % ln(a/pi)
Led_L2=(0.05+0.2*l)/1000; % Induktans i leder2
l=reallog(a_3/Led_rad3); % ln(a/pi)
Led_L3=(0.05+0.2*l)/1000; % Induktans i leder3

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Kode %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%PI-Kontroller.%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

Kp=R2/R1
Ti=R2*C1
num=[Ti 1];
den=[Ti 0];
H_P=tf(num,den);
H_PI=Kp*H_P

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Overgang %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
U_I=2.5/5; %overgang fra 0-5V til 0-2,5A

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Boost%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
num=[1];
den=[C 0];
H_B=tf(num,den);
H_Boost=H_B
CS=tf(den);
H_d=H_B
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%LP Filter%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% H(s)=1/(1+(1/knekkfrekvens)*S)
K_F=16/1020; % K_F er en forsterkningsfaktor som kommer fra konstruksjonen
av styrekortet til Boosten
CutOff=1/(2*pi*Rf*C2);
num=[1];
den=[1/CutOff 1];
H_LP=tf(num,den);
H_LP=H_LP*K_F;
num=1
den=[1/100 1]
H_LP2=tf(num,den)

```

```

t_stop=10;
sim('Kabel_Noder_Sim_Model_Med_L_1',t_stop);

```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Plot
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
figure (5)
plot (t,U_u_N1,'r')
hold on
plot (t,U_u_N2,'k')
plot (t,U_u_N3,'b')
legend('Node 1','Node 2','Node 3','Location','SouthEast')
title ('Spenning etter Boost')
grid on
```

```
figure (6)
plot (t,U_i_N1,'r')
hold on
plot (t,U_i_N2,'k')
plot (t,U_i_N3,'b')
legend('Node 1','Node 2','Node 3','Location','NorthEast')
title ('Spenning på inngangene på Nodene')
grid on
```

8.6 Excel ark for Statisk analyse

| Ledere og Effektutak | | | | | |
|--|------------|------------|------------|------------|------------|
| | Node1 | Node2 | Node3 | Node4 | Node5 |
| Minste kabel for strøm i ledere | 0,75 [mm²] | 0,75 [mm²] | 0,75 [mm²] | 0,75 [mm²] | 0,75 [mm²] |
| Tversnitt leder til Node | 300 [mm²] | 300 [mm²] | 300 [mm²] | 300 [mm²] | 300 [mm²] |
| Kabel Lengde til Node | 0,0 [m] | 0,0 [m] | 0,0 [m] | 0,0 [m] | 0,0 [m] |
| Effekt tatt ut av Node (24V) | 0,0 [W] | 0,0 [W] | 0,0 [W] | 0,0 [W] | 0,0 [W] |
| Virkningsgrad | 96 % | 96 % | 96 % | 96 % | 96 % |
| Effekt Noden trekker | 0 [W] | 0 [W] | 0 [W] | 0 [W] | 0 [W] |
| Total kabellengde | 0 [m] | | | | |
| Noder starter derating | 185 [V] | | | | |
| Konstanter i Batteristreng | | | | | |
| Antall celler i et batteri | 6 [Stk] | | | | |
| Kapasitet per batteri | 155 [Ah] | | | | |
| Antall batterier i en streng | 18 [Stk] | | | | |
| Batterienhet | | | | | |
| Antall strenger i parallell | 1 [Stk] | | | | |
| Ønsket Backup tid | 12 [h] | | | | |
| Effekt forbruk i Backup tid | 5000 [w] | | | | |
| Minste spenning ut fra batterienhet | 189 [Vdc] | | | | |
| Effekt forbruk i Batteridriftstiden | 60 [kW] | | | | |
| Strøm trengt i Batteridriftstiden | 26 [A] | | | | |
| Antall strenger beregnet behov | 3 [Stk] | | | | |
| Min batterikapasitet | 317 [Ah] | | | | |
| Kapasitet alle strenger | 155 [Ah] | | | | |
| Backupetid m. valgt antall strenger | 5,86 [h] | | | | |
| Per celle | | | | | |
| Max spenning | 2,35 [V] | | | | |
| Flytspenning | 2,27 [V] | | | | |
| Min Spenning | 1,75 [V] | | | | |
| Hele batteri enheten | | | | | |
| Max spenning | 253,8 [V] | | | | |
| Flytspenning | 245,16 [V] | | | | |
| Min Spenning | 189 [V] | | | | |
| Maks spenningsfall (Verste tilfelle) | | | | | |
| Spenningsfall fra sentral til siste node | 4 [Vdc] | | | | |
| Spenningsfall fra sentral til siste node | | | | | |
| 0,00 [Vdc] | | | | | |

Før du bruker dette regnearket:

- 1) Sett inn 300 i **Tversnitt leder til Node** for hver Node. Hvis du skal ha færre en 5 noder fyll inn 0 i Effekt og kabellengde på de nodene du ikke skal ha med.
- 2) Fyll inn **Max Effekt tatt ut av Node (24V)** for hver Node (fra sentral for Node1).
- 3) Fyll inn **Kabel Lengde til Node** (fra forrige Node (fra sentral for Node1)).
- 4) Fyll inn **Tversnitt leder til Node** i selve B3 (de andre blir lik denne når du).
- 5) Fyll inn **Kapasitet per batteri** og **Antall batterier i en streng**.
- 6) Fyll inn **Ønsket backup tid**.
- 7) Fyll inn **Effekt forbruk i Backup tid**.
- 8) Fyll inn **Minste spenning ut fra batterienhet**.
- 9) Fyll inn **Max Effekt for hver enkelt strekk**. Hvis det skal beregnes av Motstanden).
- 10) Det er mulig å beregne for andre temperaturer enn 20 grader ved å endre ledertemperaturen i arket.
- 11) Feltet **Minste kabel for strøm i leder** angir for hver enkelt strekk. Hvis det skal benyttes forskjellig dimensjon på ledere må systemet designes med sikringer (Beregning av Motstanden).
- 12) Fyll inn **Antall strenger i parallell** med en verdi som gir tilstrekkelig backupetid.

Verdiene i gule celler er formler i arket må du aktivere iterative beregninger.
Får du trøbbel med sirkelreferanser i arket må du aktivere iterative beregninger.

Generator

↓

Sentral

↓

Batteri enhet

Spenningsfall på Inngang

189,0 [V]

0 [A]

Spenningsfall på Inngang

189,0 [V]

0 [A]

Spenningsfall på Inngang

189,0 [V]

0 [A]

Spenningsfall på Inngang

189,0 [V]

0 [A]

Spenningsfall på Inngang

189,0 [V]

0 [A]

Spenningsfall på Inngang

189,0 [V]

0 [A]

Spenningsfall på Inngang

189,0 [V]

0 [A]

Node1

Node2

Node3

Node4

Node5

