



Høgskulen
på Vestlandet

BACHELOROPPGAVE:

BO19E-54 Norwegian Electric Systems

Marine applikasjoner på felles DC-nettverk

Marius Reigstad

Fredrik Storebø

Sindre Skotaam

Roger Dale

31. Mai. 2019

Dokumentkontroll

<i>Rapportens tittel:</i> BO19E-54 Bacheloroppgave Norwegian Electric Systems Marine applikasjoner på felles DC-nettverk	<i>Dato/Versjon</i> 31. Mai. 2019/3.0
	<i>Rapportnummer:</i> B019E-54
<i>Forfattere:</i> Marius Reigstad Roger Dale Sindre Skotaam Fredrik Storebø	<i>Studieretning:</i> HELK 16
	<i>Antall sider m/vedlegg</i> 102
<i>Høgskolens veileder:</i> Geir Omar Berland	<i>Gradering:</i> Åpen
<i>Eventuelle Merknader:</i> Vi tillater at oppgaven kan publiseres.	

<i>Oppdragsgiver:</i> Norwegian Electric Systems AS	<i>Oppdragsgivers referanse:</i> Torbjørn Haugland
<i>Oppdragsgivers kontaktperson</i> Torbjørn Haugland th@norwegianelectric.com	

Revisjon	Dato	Status	Utført av
3.0	31.05.2019	Ferdig rapport	Marius Reigstad Sindre Skotaam Roger Dale Fredrik Storebø

Forord

Denne oppgaven er resultatet av arbeidet med bachelorprosjekt for Høgskulen på Vestlandet i Bergen, ved institutt for elektrofag, avdeling elkraftteknikk, våren 2019.

Opgaven er skrevet av Fredrik Storebø, Roger Dale, Sindre Skotaam og Marius Reigstad.

Norwegian Electric Systems (NES) presenterte denne oppgaven for oss, etter at vi tok kontakt med de høsten 2018. To av gruppe-medlemmene har blant annet jobbet deltid hos NES, noe som har gitt oss muligheten til å knytte gode bånd mellom prosjektgiver og medlemmene på bachelorgruppen.

På forhånd hadde gruppen begrensede forkunnskaper om batterilagringssystemer, dielelektriske fremdriftssystemer på båt og testing opp mot dette. To av gruppe-medlemmene har sine hovederfaringer knyttet til arbeid med høyspenningssystemer og elektriske installasjoner. De to siste har jobbet hos NES i omtrent ett år, og har bygget seg opp litt kunnskaper på området.

Med en sammensatt bakgrunn i gruppen, så vi frem til å arbeide med et spennende selskap i ryggen, og med en oppgave som omhandler viktig ingeniørarbeid. Gruppen brukte en del tid i starten av prosjektet på å sørge for at problemstillingen var nøye analysert, og at det ikke skulle være noen tvil blant gruppe-medlemmene om hva oppgaven skulle handle om.

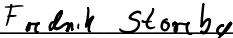
Vi fikk tidlig jobbet oss gjennom mye informasjon, datablader, opplasting av software og oppsettet på testmodell. Det gikk også mye tid på internett til å finne teori og fagstoff som kunne hjelpe oss med å løse oppgaven på best mulig måte.


Arbeidsoppgaver ble tidlig organisert, og det har vært nøye fokus på at alle skal få godt læringsutbytte av arbeidet knyttet til å løse oppgaven. Gruppen har hatt mulighet til å bruke Norwegian Electric Systems sitt lokale, benytte relevant programvare, fått bruke oppkoblet testmodell, og de ansatte hos NES har gitt oss hjelp når vi har hatt behov for det.

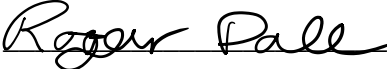
Vi vil rette en stor takk til Torbjørn Haugland, Kristian Liknes og Håvard Kallevik for oppgaven. Tommy Strand for god hjelp med PLS, instrumentering og automasjonsdelen av oppgaven. Eirik Sivertsen og Yngve Solbakken for hjelp med testmodellen, og øvrige ansatte i Norwegian Electric Systems for å ha blitt godt tatt imot i deres lokaler, entusiasme rundt oppgaven og god hjelp til å løse problemstillingen knyttet til bachelorprosjektet.

Til slutt vil vi også takke vår interne veileder Geir Omar Berland ved Høgskolen på Vestlandet.


Marius Reigstad


Fredrik Storebø


Sindre Skotaam


Roger Dale

Sammendrag

Bacheloroppgaven ble presentert av Norwegian Electric System AS ved deres lokaler i Drotningstveit tidlig i vinter 2018. Dette ble mulig etter at vi personlig tok kontakt med bedriften. Tittelen på oppgaven gruppen fikk presentert var: Bruk av industriell DC/AC konverterer i forskjellige applikasjoner på felles DC-nettverk.

Beskrivelsen innledes med at det skal brukes konvertere for motorstyring, omforming fra AC til DC, og DC til AC. Det skal brukes PLS for å styre omformerne, HMI for instrumentering og overvåking av omformerne gjennom bruk av automatiserte arbeidsprosesser.

Hovedpoenget med å binde disse komponentene sammen på en felles DC-forbindelse er for å spare konvertertrinn. Dette vil hovedsakelig bidra til å redusere kostnader knyttet til færre komponenter som trengs for å bygge systemet, mindre vedlikehold og ikke minst lavere utslipp ved at dieselmotorene kan gå med jevnere turtall.

Gjennom å benytte industrielle konverter moduler, koblet sammen på et felles DC-nettverk vil gruppen gjøre seg enda bedre kjent med den typen hardware og software NES benytter, for å kunne bruke applikasjonene på kraftsystemet ombord på et skip.

Det ble satt opp en testmodell av NES i samarbeid med gruppen på deres serviceavdeling. Denne var tilgjengelig til gruppens disposisjon gjennom hele tidsperioden bacheloroppgaven skulle skrives. Modulene en ser i kraftsystemet på skip er komplementert inn i denne testmodellen. Modellen ble brukt som hovedeksempel knyttet opp til oppgaven.

Bacheloroppgaven dokumenterer i all hovedsak arbeidsprosessen fra planlegging, testing av modell, PLS-styring, instrumentering med HMI, regulering og teori, til ferdig rapport med grundig analyse av testmodellen. Det ble besluttet at oppgaven skal samkjøre Elkraftteknikk og Automasjon for utvikling av tverrfaglig bacheloroppgave.

Innholdsliste

Dokumentkontroll	2
Forord	3
Sammendrag	5
Innholdsliste	6
Figurliste	10
Tabelliste	13
1 Innledning	14
1.1 Oppdragsgiver	14
1.2 Problemstilling	15
1.3 Mål for hovedoppgaven	15
1.3.1 Resultatmål	16
1.3.2 Prosessmål	17
1.4 Læringsutbytte	17
1.5 Hovedidé for løsningsforslag	17
2 Kravspesifikasjon	18
3 Analyse av problemet	20
3.1 Utforming av løsning	20
3.2 Gjennomførbarhetsanalyse	21
3.3 Risikoanalyse	21
3.4 Suksessfaktorer	22
4 Teoridel av systemet	23
4.1 Frekvensomformer	23
4.2 AC/ DC konverter	24
4.3 DC/ DC konverter	26
4.4 DC/ AC inverter	27
4.5 Filter	28

4.6 IGBT	28
4.7 Effektfaktor (PF)	29
4.8 Pre-charge	30
4.9 PLS	30
4.10 Asynkronmotor	30
4.11 Energilagring	31
4.12 Vern	33
4.13 PID-regulering	34
4.14 Instrumentering	35
4.15 3D-modellering	36
4.16 Profinet	37
4.17 Modbus	37
5 Spesifikasjon av teknisk utstyr	39
5.1 Bachmann PLS	39
5.2 IO-kort	39
5.3 uGrid-applikasjon	39
5.3.1 AFE control-mode	39
5.3.2 Island (Static Power Supply) mode	39
5.3.3 MicroGrid mode	40
5.4 AFE-applikasjon	40
5.5 Marine-applikasjon	41
5.6 PID-applikasjon	41
5.7 Asynkronmotor	42
5.8 L-Filter	43
5.9 LC-Filter	43
5.10 Diodelikeretter	44
5.11 Vacon NXP omformer	44

5.12 PC-verktøy	46
5.12.1 “NC-Load”	46
5.12.2 “NC-Drive”	46
5.12.3 “NCIP-Config”	46
5.12.4 “Bechhoff TwinCat”	46
5.12.5 “Node-RED”	46
5.13 Industri-kondensator	47
5.14 Transformator	48
5.15 Test-kofferter	49
6 Realisering av valgt løsning	50
6.1 Realisering av Marine-applikasjon	50
6.1.1 Opplasting av Marine-software	50
6.1.2 Start av Generator-omformereren	50
6.1.3 Generatordrift	52
6.2 Realisering av uGrid-applikasjon	53
6.2.1 Opplasting av uGrid-software	53
6.2.2 Start av Generator-omformereren	54
6.2.3 Generatordrift	54
6.3 Realisering av AFE-applikasjon	55
6.3.1 Dimensjonering og montering av kondensatorer	55
6.3.2 Opplasting av AFE-software	55
6.3.3 Start av Generator-omformereren	56
6.3.4 Generatordrift	56
6.4 Realisering av PLS styring	57
6.4.1 Funksjonsblokker	57
6.4.2 Tilleggsprogram	58
6.4.3 Control Word/Status Word	59

6.5 Realisering av HMI	60
6.6.1 Solution Center	60
6.6.2 Node-RED	60
6.6 Dimensjonering av PID-regulator	62
6.7 Måling	65
7 Testing	66
7.1 Testing av Marine-applikasjon	66
7.2 Testing uGrid-applikasjon	68
7.3 Testing AFE-applikasjon	70
7.4 Testing PLS-styring	72
7.5 Testing HMI med "Node-RED"	72
8 Diskusjon	73
9 Konklusjon	75
10 Vedlegg	76
10.1 Vedlegg 1: Kondensatorberegning	76
10.2 Vedlegg 2: Forslag til innstilling av regulatorparametre, PID-regulator	77
10.3 Vedlegg 3: Matlab-fil for dimensjonering av PID-regulator	77
10.4 Vedlegg 4: PLS program (Testsimulering)	78
10.5 Vedlegg 5: PLS Program (Styring av 2 omformere)	84
10.6 Vedlegg 6: "Node-RED" HMI program	90
10.7 Vedlegg 7: Prosjektledelse	91
10.8 Vedlegg 8: Prosjektfaser	92
10.9 Vedlegg 9: Organisasjonskart	93
10.10 Vedlegg 10: Fremdriftsplan	94
10.11 Vedlegg 11: Risikoliste	94
11 Referanser	95
12 Forkortelser og ordforklaringer	100

Figurliste

Figur	Tittel/ forklaring	Side
Figur 1	“The future is hybrid electric”	13
Figur 2	Enlinjeskjema DC-DC nettverk	18
Figur 3	DC-DC omformer	24
Figur 4	Frekvens og effekt ved oppladning/ utladning av batteri	24
Figur 5	AFE kretsskjema	25
Figur 6	Forhold mellom spenning inn og ut av systemet	26
Figur 7	Arbeidssyklus når bryter slås av og på	27
Figur 8	Antall harmoniske signaler i forhold til brytere i kretsen	27
Figur 9	LCL-filter	28
Figur 10	LC-Filter	28
Figur 11	Effektfaktor	30
Figur 12	Asynkronmotor	31
Figur 13	Batterisystem	33
Figur 14	Hybrid DC-bryter krets	34
Figur 15	Formler transferfunksjon PID-regulator	34
Figur 16	3D-modellering propell med aksling	36
Figur 17	3D-modellering oppbevaringsboks	36
Figur 18	Oppbygging av master til slave nettverk	38
Figur 19	Drooping modus på spenning og frekvens	40
Figur 20	Spesifikasjon asynkronmotor	42

Figur 21	L-Filter	43
Figur 22	LC-Filter	43
Figur 23	Luftkjølt Vacon-NXP frekvensomformer	45
Figur 24	Tekniske spesifikasjoner til industri kondensatorer	47
Figur 25	Kondensatorer tilkoblet systemet	47
Figur 26	Transformator koblet opp mot systemet	48
Figur 27	Testkoffert	49
Figur 28	Basis parametre i "NC-Drive"	51
Figur 29	Parameterliste til uGrid i "NC-Drive"	53
Figur 30	Generator og motor med aksling	56
Figur 31	PLS Status-word	59
Figur 32	PLS Control-word	59
Figur 33	Program for visualisering av HMI	61
Figur 34	Typisk reguleringsystem	62
Figur 35	Bode-diagram av transferfunksjon til systemet uten regulator	63
Figur 36	Bode-diagram etter å ha justert regulatorparametre fra beregning	64
Figur 37	Enhetssprangresponsen til systemet etter dimensjonering av PID-regulator	64
Figur 38	Skjerm bilde fra monitor vindu under Marine testing	67
Figur 39	Skjerm bilde fra monitor vindu under uGrid testing	69
Figur 40	Skjerm bilde fra monitor vindu under AFE testing	71

Figur 41	Skjerm bilde av HMI display	72
Figur 42	Kondensatorberegning	76
Figur 43	Forslag til innstilling av regulatorparametre	77
Figur 44	Matlab-fil for dimensjonering av PID-regulator i frekvensplan	77
Figur 45	"Node-RED" HMI program	90
Figur 46	Prosjektfaser	92
Figur 47	Organisasjonskart	93
Figur 48	Utklipp fra fremdriftsplanen	94

Tabelliste

Tabell	Tittel/ forklaring	Side
Tabell 1	Regulatorparameter-beregning	63
Tabell 2	Resultater av testing, Marine	67
Tabell 3	Resultater av testing, uGrid	69
Tabell 4	Resultater av testing, AFE	71

1 Innledning

1.1 Oppdragsgiver

Navn: Norwegian Electric Systems AS

Adresse: Janaflaten 10, 5179 Godvik

Telefon: +47 55 61 30 00

E-post: nes@norwegianelectric.com



Figur 1: Oversiktsbilde Norwegian Electric Systems [1]

Historikk/ informasjon:

Norwegian Electric Systems AS (NES) er en bedrift som ble etablert i 2009, og har rundt 40 ansatte. Firmaet ble kjøpt opp i 2018, og er heleid av Havyard Group. NES har spesialisert seg på kunnskap innenfor avanserte diesel, hybrid og elektriske fremdriftssystemer på skip. Arbeidet deres er rettet mot disse fremdriftssystemene på blant annet supplybåter, fiskebåter og passasjerfartøy. [2]

Bakgrunnen for oppgaven er at Norwegian Electric Systems AS ønsker at vi skal opparbeide oss kunnskap og erfaringer knyttet til deres fremdriftssystemer på båt. Oppgaven går hovedsakelig ut på anvendelse av kraftelektronikk, kontrollsystemer, reguleringsteknikk, industriell instrumentering med PLS, datanett, energilagring, PLS-styring, kraftsystem, motorstyring, DC-nettverk og omformer teori, knyttet opp til systemene NES prosjekterer på båtene.

1.2 Problemstilling

Det skal brukes industrielle konverter-moduler koblet sammen på en felles DC-forbindelse. Ved hjelp av automatiserte arbeidsprosesser, skal vi kunne overvåke driften, kjøre frekvensomformerne og motor ved hjelp av applikasjoner, PLS (Programmerbar logisk styring) og HMI (Human machine interface).

Gruppen bestemte seg for å besvare følgende problemstilling:

Kan vi benytte forskjellige applikasjoner til styring av generator?

1.3 Mål for hovedoppgaven

Målet med oppgaven er å øke forståelsen for industrielle konverter-moduler, samt å kunne bruke slike moduler. Dette innebærer å kunne laste opp, tilpasse og analysere system- og applikasjonsprogramvare til de fysiske modulene ved å benytte ulike dataverktøy. De fysiske konverter-modulene brukes for å energieffektivisere kraftsystemet på skip. Målet til gruppen vil være å styre disse enhetene, og i tillegg kunne endre parametre ved hjelp av programvare og bruk av PLS. Vi vil sikre oss et større oversiktsbilde av systemet, ved å kunne overvåke og måle ved hjelp av reguleringsteknikker og instrumentering.

1.3.1 Resultatmål

Sentralt punkt under resultatmål er interessentenes fordel med bacheloroppgaven. Her følger liste over mulige interessenter og en oversikt over hva de får ut av prosjektet.

Oppdragsgiver:

- Lære studentene opp i gjeldende hardware oppsett med egen applikasjon-software.
- Øke kompetansen til studentene på området, som vil bidra til at gruppemedlemmene blir ressurspersoner for fremtidig ingeniørarbeid.
- Faglig bidrag og støtte til gjennomføringen av oppgaven, som bidrar til å friske opp i minne innenfor teoridel om omformere, motorstyring, energilagring, automatiseringsprosesser osv.

Studentene:

- Gjøre seg kjent med hardware oppsett og applikasjon-software for å kunne kontrollere disse.
- Utføre relevant ingeniørarbeid med stort fokus på sentrale arbeidsoppgaver knyttet opp til markedet.
- Bruke automatiseringsverktøy for å få bedre oversikt over oppgaven, for best løsning av problemstillingen i henhold til kravspesifikasjon.
- Regulere og analysere systemet ved hjelp av sentrale automatiseringsprosesser.
- Bli bedre kjent med dagens kraftsystem på skip.
- Ressurs for fremtidige bedrifter innenfor området.
- Samarbeide i team.

1.3.2 Prosessmål

Hovedprosessmålet blir å styrke den praktiske og teoretiske kompetansen til hvert gruppemedlem. Dette vil sørge for at gruppemedlemmene i større grad blir en ressurs på området. Ingeniørbedrifter innenfor fagfeltet vil kunne dra nytte av deltakerne på gruppen, ved at vi har bekjentskap til systemene som blir brukt. Gruppen har videre opparbeidet seg kunnskap om hvordan sentrale beregninger blir knyttet opp til komponentene til selve fremdriftssystemene på båtene.

1.4 Læringsutbytte

Oppgaven vil styrke den praktiske og teoretiske kompetansen til hvert gruppemedlem innen maritime fremdriftssystemer. Gruppemedlemmene vil opparbeide seg kunnskap om oppbyggingen av omformere og deres virkemåte, samt en generell forståelse av virkemåten til kraftsystemer på skip.

Emner gruppemedlemmene tidligere har hatt på studiet og emner gruppemedlemmene kan ta ved videre studier, vil bli knyttet sammen med oppgaven. Dette gjelder i all hovedsak bruk av omformer-teori, motorstyring, DC/DC, DC/AC, PLS, regulering, instrumentering, måleteknikker og programvare tilhørende fagene dette gjelder. Dette knyttes opp mot følgende emner: Elektriske maskiner og anlegg, kontrollsystemer, kraftelektronikk, industriell instrumentering med PLS og datanett.

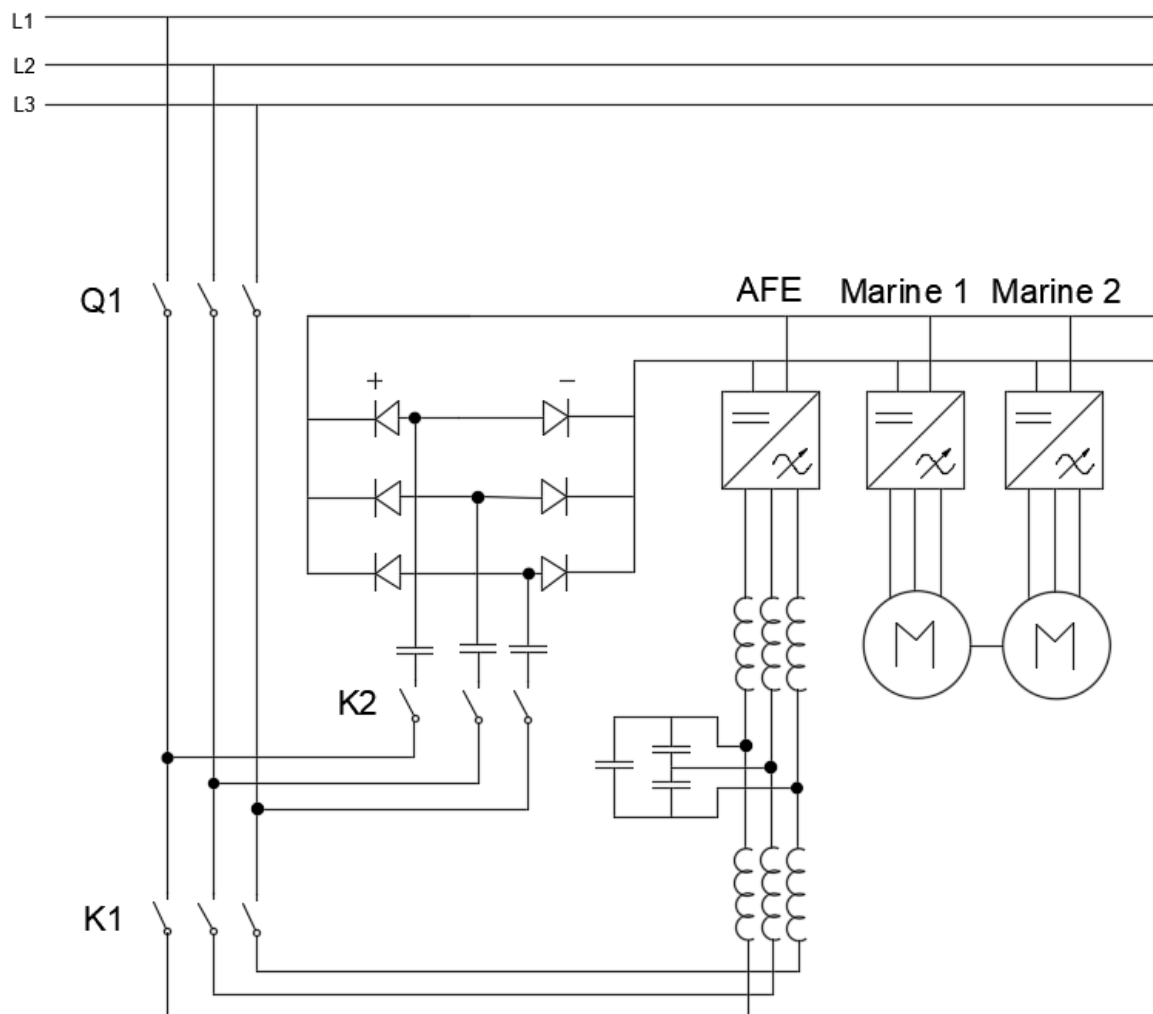
1.5 Hovedidé for løsningsforslag

Nettspenningen fra distribusjonsnettet skal forsyne modellen via AFE (Active Front End Converter) og lade opp DC-linken. Vi skal kjøre en motor med AFE-applikasjon og en generator med forskjellige applikasjoner. Det er ønskelig å undersøke om det er mulig å mate effekt tilbake til samme nettverk uten problemer, ved hjelp av de ulike applikasjonene. Det skal opprettes løsninger for automatisering av frekvensomformerne. Dette skal knyttes opp mot HMI for å sikre bedre oversikt over instrumentering og overvåkning av arbeidsprosessene.

2 Kravspesifikasjon

Undersøke om det er mulig å kjøre en motor som generator med forskjellige typer applikasjoner, og hva som skal til for å gjennomføre dette. Det skal også kunne endres parametere på omformerer med og uten PLS.

Oppdragsgiver ønsker at det skal benyttes industrielle konverter moduler, og samkjøre disse på et felles DC-nettverk. Enlinjeskjemaet under, viser hovedmodellen som benyttes i bacheloroppgaven.



Figur 2: Enlinjeskjema av DC-nettverket knyttet til bacheloroppgaven

Omformer-modulene er av typen Vacon NXP med luftkjøling. Modellen er originalt koblet opp slik at det er to omformere med Marine-applikasjon og en med AFE-applikasjon.

Mellom AFE og kontaktor K1 er det et sinusfilter. LC-filter med spole, som sammen står for LCL-filter. Under oppstart av omformerene, er den avhengig av en "precharge" krets, for å sikre at verken den eller kretsen blir ødelagt. Dette gjøres med kondensatorer og en fullbro-likeretter.

Vacon har egen programvare som brukes til å laste opp system- og applikasjonsprogramvare til omformerne. Disse programmene kalles: "NC-Drive", "NCIP-Config" og "NC-Load".

Motorene som brukes er to stk. trefase induksjonsmotorer.

Oppsummering av testene som utføres i hoveddelen av oppgaven:

- *Testing av forskjellige applikasjoner på frekvensomformerene, sammen med generator*
- *Analysere driften av motor som generator, med hver enkelt applikasjon*
- *Testing av PLS program til styring av en omformer, deretter koble inn og teste to omformere sammen*
- *Benytte HMI for overvåkning og kjøring av en enkel motor*

3 Analyse av problemet

3.1 Utforming av løsning

Fra testmodellen er hardware komponenter og system-software bestemt av NES. Gruppen har ikke planlagt å gjøre store endringer på testmodellen, men vil tilpasse den etter hvilken applikasjon som skal kunne kjøres på modellen. Vi har muligheten til å kunne endre parametrene i applikasjonsprogramvaren, for å teste ut ulike funksjoner.

Gruppen vil bruke "NC-Load" for å laste inn både system- og applikasjonsprogramvare. For å gjøre endringer i parametrene til omformerer, vil vi bruke "NC-Drive"-programvaren. NES har gitt tilgang til nødvendig programvare.

Gruppen har valgt å utvide oppgaven med styring av de forskjellige omformerne, direkte fra en PLS. Det skal kobles opp en Bachmann PLS for å overføre de nødvendige parametrene til styring av motoren. Gruppen vil dermed unngå å måtte gå inn og trykke på control-unit (Betjeningspanel), for å kunne kjøre et bestemt program på systemet. Med denne metoden vil vi kunne eksperimentere med ulike måter å kjøre omformerene på, noe som gir mulighet til å automatisere viktige arbeidsoppgaver på båtene.

Instrumentering og overvåking av de automatiserte arbeidsprosessene vi kjører på modellen, vil gruppen gjennomføre ved hjelp av et program som heter "Node-RED". Dette er et programmeringsverktøy som skal knytte sammen hardware komponenter opp mot IOT.

NES har stilt en PLS av typen Bachmann til gruppens disposisjon for bruk gjennom semesteret. Ved hjelp av "Node-RED", vil disse samkjøres for å kunne realisere overvåking og drift av systemet vha automatisering. Det er ikke nødvendig for gruppen å bruke mye tid videre på fysisk design av systemet, siden vi skal bruke testmodellen vi og NES har koblet opp i henhold til enlinjeskjema av nettverket. Det vil eventuelt bli mulighet til å kunne endre på modellen om gruppen har behov for dette, dersom det oppstår utfordringer knyttet til drift av de ulike applikasjonene. Testmodellen fremstiller i all hovedsak en liten del av DC-link systemet som NES bruker.

3.2 Gjennomførbarhetsanalyse

Norwegian Electric Systems har nødvendig kompetanse innen fagområdet, og tilbyr veiledning til gruppen. Siden NES eier testmodellen og har tilgang til alle de forskjellige komponentene oppgaven har behov for, vil det ikke være hensiktsmessig å ta hensyn til forskjellige kostnader tilknyttet prosjektet.

3.3 Risikoanalyse

Risiko tilknyttet arbeidet med oppgaven, vil i all hovedsak være knyttet til testing av modellen fra NES som vi skal bruke. Anlegget som skal bli brukt i bacheloroppgaven er etter samarbeid med gruppen, koblet opp av sertifisert elektriker som til daglig jobber i Norwegian Electric Systems.

Det nye systemet gjør det mulig å kutte et konverterledd i omformerprosessen, som byr på utfordringer. Dette krever DC-spenning på samleskinnen, som er forholdsvis nytt på disse fremdriftssystemene, i motsetning til elektronikk der det er vanlig med DC for lave spenningsnivåer. Ved prosjektering av kraftsystem på skip er DC svært mye i bruk ved høyere spenningsnivåer og blir brukt til å forsyne systemet med energi.

En av hovedutfordringene knyttet til bryting av krets med høy DC-spenning, er at det vil kunne generere en lysbue, og dermed skape farlige berøringsstrømmer som det er knyttet stor risiko til med DC-spenning. Dette vil kunne reguleres og begrenses med ulike typer vern.

Vern i systemet består av fysiske beskyttelsesmekanismer mot ledende spenningskilder, som for eksempel kabelvernrør, skillevegger og isoleringer. Automatiske brytere/sikringer er en sentral del av vern i nettverket, som skal slå av systemet eller den komponenten det gjelder, ved en overbelastning eller strøm som går over max verdi.

3.4 Suksessfaktorer

For å sikre gruppen større muligheter for å komme i mål med oppgavens krav, har det blitt gjennomført nærmere analyse av de tre hovedparametrene innenfor prosjektet, som omhandler tid, ressurser og kvalitet. Det har vært sentralt å ha gode løsninger knyttet til mål, arbeidsmengde og gjennomførbare tiltak for å sikre at applikasjonene kan styres i henhold til valgt løsning. Vurdering av hvilke tiltak som er kritiske for at selve oppgaven skal bli en suksess, vil bli gjort fortløpende gjennom semesteret. [3]

Andre ressurser knyttet til oppgaven vil være nødvendig kunnskap og kompetanse hos personene tilknyttet NES, som gruppen er avhengig av for å kunne produsere en tilfredsstillende bacheloroppgave. Dette vil være en kritisk suksessfaktor for at prosjektet skal lykkes. På første møte med NES, fikk gruppen en overordnet kontaktperson hos NES som gruppen skal henvende seg til når gruppen har spørsmål rundt oppgaven. NES har flere ingeniører som arbeider med fokus på forskjellige deler av systemet, som har sagt seg villig til å hjelpe ved behov for spørsmål rundt ulike deler av oppgaven. I tillegg har vi mulighet til å spørre intern veileder ved høyskolen.

4 Teoridel av systemet

4.1 Frekvensomformer

En frekvensomformer er en elektrisk komponent som omformer vekselstrøm (AC) med en gitt frekvens, om til en strøm som går på en annen frekvens. Nettspenningen på distribusjonsnettet som er av type vekselstrøm (AC), blir gjennom vårt system på båt, transformert til likestrøm (DC), via DC-nettverket. Nettverket som også blir omtalt som DC-Link, er en samlebetegnelse for hovedtransformasjonen fra AC til DC på kraftnettet til båtene. [4]

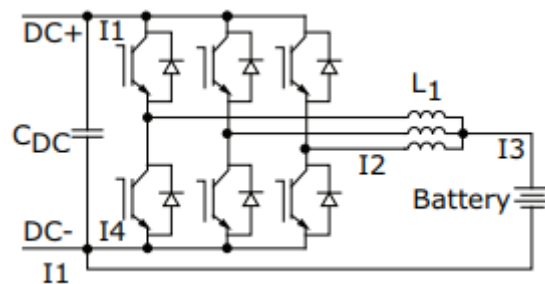
Knyttet opp til båter og ladestasjoner til skip, er frekvensomformere brukt for å sikre at den elektriske energien kan flyte mest mulig uforstyrret fra land til skip. På båten brukes frekvensomformere for at energiflyten skal tilpasses propellenes pådrag til enhver tid, med minst mulig tap av energi. Nettfrekvensen i Norge på distribusjonsnettet skal ligge nærmest mulig 50 Hz, mens størsteparten av alle skip har nettfrekvens på 60 Hz. Dermed bidrar blant annet frekvensomformeren til å være et viktig knutepunkt mellom landstrømsanleggene og skip.

Software til frekvensomformerne sørger for styring av de interne bryterne sine signaler, og mønsteret de opererer innenfor, for å regulere opp mot ønsket spenningsnivå til motor og batteri. Omformerne styres direkte fra fysisk betjeningspanel, som er festet til omformeren. Ved bruk av PLS, ønsker gruppen å kunne styre omformerne fra PC uten å måtte bruke trykkpanel. Dette vil være essensielt for å automatisere prosessen, observere styringen fra et kontrollsystem, og å sikre oss større muligheter til å kunne analysere data fra systemet.

DC-nettverket gruppen arbeider med består av: *AFE*, *Marine 1* og *Marine 2*. Dette er forkortelsene for kjennetegnene på frekvensomformerne. *Marine 2* vil bli brukt som generatoromformer. Vi vil laste opp de forskjellige applikasjonene på denne omformeren.

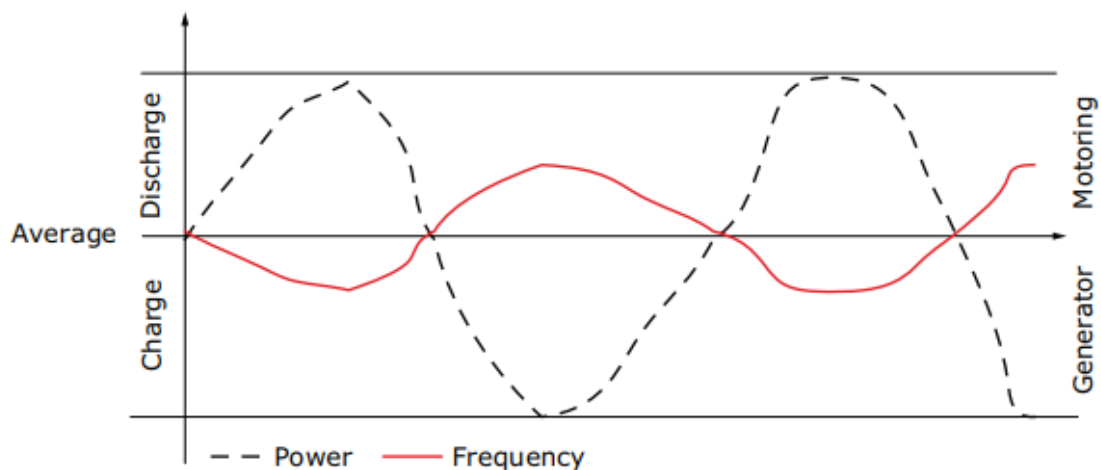
DC/DC-Vacon NXP omformerne er bygget opp av *IGBT* -brytere som svitsjer i bestemte mønstre for å styre spenningen opp og ned, enten ved å tilføre spenning via filter L1 til å lade opp batteriet innenfor dens max/min grense, eller svitsje om slik at strøm føres ut fra batteriet til nettverket. Avhengig om frekvensomformerne skal gi ut lavere utgangsspenning (*Buck converter*), eller høyere utgangsspenning (*Boost converter*), vil bryterne bestemme reguleringen i forhold til nødvendig spenningsnivå, og hvilken retning strømmen skal gå.

Kretsskjemaet viser hvordan DC/DC-omformeren er bygget opp. Omformeren sikrer oppladning og utladning av batteriene når det trengs.



Figur 3: DC-DC omformer [5]

Figuren under teksten viser den grafiske fremstillingen av hvordan generator og batteri jobber sammen for å holde jevn frekvens på systemet. Dette forholdet vises ved oppladning og utlading av batteriet knyttet til systemet.



Figur 4: Frekvens og effekt ved oppladning/ utladning av batteri [6]

4.2 AC/ DC konverter

På de fleste skip består fremdriftssystemene av en dieselmotor som er knyttet sammen med en generator. På denne måten brukes bevegelsesenergi til å produsere elektrisk energi. Denne metoden er hovedkilden til elektrisk energi på båtene. Knyttet til generatoren, kalles dette for en AC/DC konverter.

AFE-konverteren brukes til å glatte ut vekselspenningen (AC), slik at vi får ønsket DC-spenning. DC-spenningen legger seg på en link/ felles nettverk, som resten av systemet er koblet på. Ved behov, gjør "Active Front End" det mulig å levere effekt tilbake til nettet.

Dette er mulig siden den kan kjøre regenerativ bremsing med lav harmonisk spenning. Oppbyggingen til *AFE-konverteren* gjør det mulig å styre effekten begge veier. Alle frekvensomformerne som er omtalt i denne oppgaven har *AFE* innebygget i systemet.

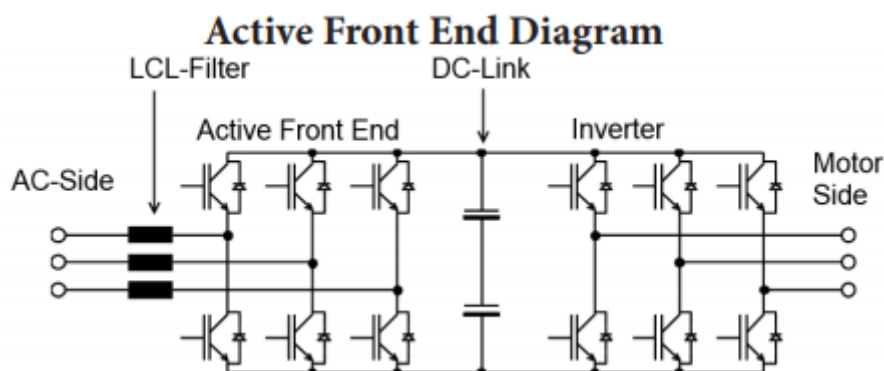
Mange steder er det blitt mulig å lade passasjerfartøy fra kai som de opererer til og fra. For å gjøre dette hurtig nok den korte tiden som er mellom av- og påstigning, kreves det store effekter fra distribusjonsnettets til å kunne lade opp de store batteripakkene ombord på båtene. Dette medfører at det ofte har vært behov for å oppgradere nettet som forsyner ladestasjonene på kai, for at distribusjonsnettets skal tåle denne belastningen uten at det skjer strømutfall.

Når skipet kobles til ladestasjon under hurtiglading, er startstrømmen veldig høy, og nettet må dimensjoneres for å tilfredsstille det nødvendige lastbehovet som trengs for å tilføre nok effekt til ladeprosessen. Det er også blitt nyttig å ha batteripakker på land ved ladestasjonen, for å sikre at det blir mindre belastning på distribusjonsnettets akkurat i det øyeblikket ladingen starter.

I systemer der frekvensomformere er sentrale komponenter, må (*THD*) totale harmoniske signal, som kan skape overbelastende støy på nettverket, dempes.

AFE er en *IGBT* basert aktiv likeretter, som har den fordelen at den demper de største harmoniske svingningene i motsetning til en diodebasert omformer. Ved å transformere inngangssignalet om til sinusformet utgangssignal sammen med *LCL-filter*, vil dette redusere høye harmoniske signal som kommer fra *IGBT* sin svitsjefrekvens.

Dette gjør *AFE* til en ideell komponent for å levere effekt tilbake til nettet ved regenerativ bremsing.



Figur 5: *AFE* kretsskjema [7]

4.3 DC/ DC konverter

I stedet for å endre hastigheten på dieselmotorene etter behov, kan man holde turtallet konstant, og bruke batteriene når det trengs ekstra kraft. I perioder hvor båten ligger i ro, kan man lagre energien fra generatorene i batteriene. Da unngår man å stoppe dieselmotorene unødvendig, og bruke ekstra drivstoff på dette. Mellom DC-linken og batteriene har man en DC/DC omformer. Denne gjør det mulig å bestemme riktig DC-spenning inn eller ut fra batteriene etter behov.

For å kunne skape en transformasjon fra en DC-spenning til en annen DC-spenning, må det brukes DC til DC-konverter krets, som består av komponenter som opererer som brytere, som svitsjer til enten helt av eller helt på i bestemte mønstre. Dette for å sikre at spenningsnivået reguleres til den nødvendige DC-spenningen båten trenger for å drifte fremdriftssystemet, og for å forsikre at båten har tilstrekkelig med energitilførsel til systemet til enhver tid.

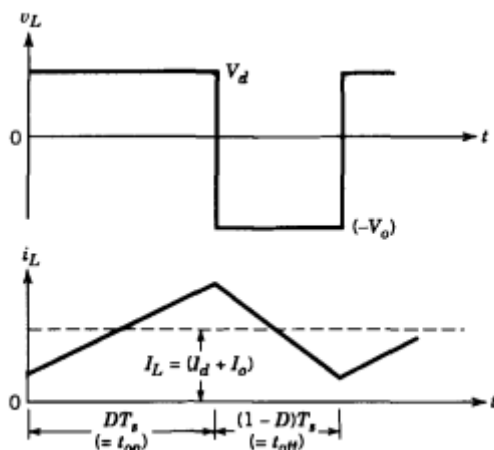
Eksempel:

Trenger systemet til båten 1000 V DC, svitsjer bryterne av og på i bestemte sekvenser for å levere ønsket DC-spenning fra batteriet og ut til DC-nettverket. Når systemet går med overskudd av energi, føres dette tilbake til batteriet som er på 800 V DC-spenning via kretsen, der hovedkomponentene skal dempe støy som oppstår ved høye svitsjefrekvenser. Dette er vanlig under nedtransformeringen av spenning, til ønsket verdi inn på batteriet som er koblet opp mot nettverket.

Med “*buck-boost*” krets, der opp- og nedtransformerende konvertere er kaskadekoblet, tillater dette systemet at energien kan strømme begge veier. Kaskadekoblingen gjør at ned- og opptransformerende konvertere koblet i serie med samme funksjon, fungerer sammen, selv med forskjellige formål. Antagelser gjort ved at bryterne har samme arbeidssyklus, gjør at forholdet mellom inngående og utgående spenning kan beregnes ved hjelp av en bestemt formel.

$$\frac{V_o}{V_d} = D \frac{1}{1 - D}$$

Figur 6: Forholdet mellom spenning inn og ut av systemet [8]



Figur 7: Arbeidssyklus når bryteren slås av og på. [9]

4.4 DC/ AC inverter

På en båt har man en eller flere motorer. Disse betegnes som “*Main Propulsion*”, som er kjennetegnet til hovedmotoren, eller “*Thruster Engines*”, som kjennetegner sidepropellene på skip. For å kunne styre de nevnte motorene bruker man en DC/AC omformer, og den går under navnet “*Marine inverter*”. Denne transformerer om til riktig spenning og frekvens til motorene.

Strøm til lys, stikkontakter og andre apparater er også nødvendig på en båt. Da ønsker man å ha et fast settpunkt på 230 V AC-spenning. Det er også mulig å gjøre samme jobben med et annet settpunkt og tilknytning til en transformator. Til å gjøre dette brukes det en “*Microgrid/ uGrid inverter*”, som produserer ønskelig AC-spenning.

Ved å bremse overharmoniske signal som kan skade komponentene, er det mulig å øke antall *IGBT*-brytere med en faktor på seks. Dette vil føre til jevnere AC-spenning ved omforming fra DC. Oppstår det høy merkeeffekt vil en økning av brytere regulere ned utgangsspenning uten å øke størrelsen på filtrene. Harmoniske signal kan reguleres ut fra antall brytere ganget med n -heltall.

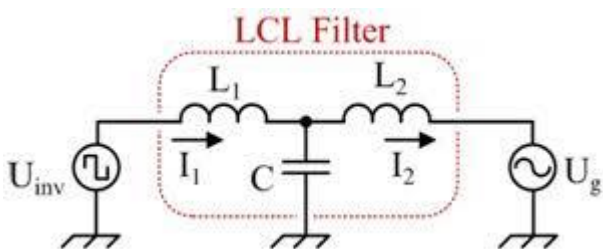
$$h = 6n \pm 1$$

Figur 8: Antall harmoniske signaler i forhold til brytere i kretsen [10]

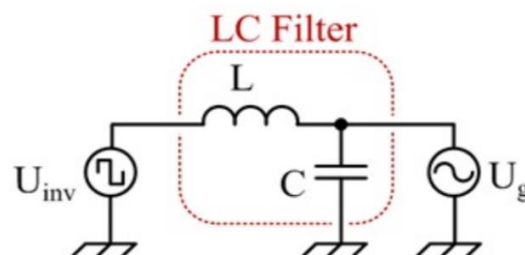
4.5 Filter

Ut fra omformeren vil det produseres støy på AC-siden, som kan smitte over til komponenter og kretser som ikke skal lede strøm. Filter mellom omformeren og nettet skal jevne ut vekselspanning, og fjerne rippelspenning, som er høyfrekvent støy. “*LCL-filter*” blir oftest valgt, med tanke på dens egenskaper til å fjerne høye og potensielt skadelige frekvenser. [11]

“*LCL-filter*” består av to sett med spoler og et sett med kondensatorer. I vår testmodell er “*LCL-filteret*” koblet i en stjernekobling, mot en alternativ deltakobling. Ved DC/DC omformeren vil vi kun trenge et “*L-filter*” for å fjerne hoveddelen av støyen produsert av omformeren. “*L-filteret*” består av 3 spoler koblet i en stjernekobling.



Figur 9: LCL-Filter [12]



Figur 10: LC-Filter [13]

Et alternativ til *AFE* som vi bruker, vil være *harmoniske filtre* for å holde orden på *THD* og *PF*. Disse filtrene er mer kosteffektive når en har flere laster, da en kun trenger ett filter.

Harmoniske filtre bruker *IGBT's* for å tilføre strøm til å korrekte for lasten.

Sinusfilter, også kalt *LCL-filter*, brukes i forbindelse med moduler med variabel hastighet. Filteret beskytter motoren mot store spenningsbølger og overoppheting. Det demper også store mengder støy fra *IGBT'ene*, og gjør det mulig å ha lengre kabelgater. Levetiden til motoren blir forlenget, da den blir utsatt for mindre “stress”. Bokstavene i *LCL* betyr induktans og kapasitans, da filteret består av spoler og kondensatorer. [14]

4.6 IGBT

Kombinasjonen av fordelene til *GTO*, *MOSFET* og *BJT*, brukes for å lage *IGBT*. For å minske av- og på-tiden til svitsjeegenskapene til de applikasjonene man ser i omformerne, blir det i stor grad brukt *IGBT* som brytere for å transformere om til nødvendig DC-spenning.

BJT og *MOSFET* har ulike fordeler når det gjelder egenskaper knyttet til av- og på-tid, som i all hovedsak beskriver tiden der bryterne er enten helt av eller helt på. Dette er svært sentralt

for å spenningsregulere til nødvendige verdier til ethvert tidspunkt.

BJT har mindre tap knyttet til overføringen av energi ved på-tid, men bruker lengre tid under svitsjing til av-tid. *MOSFET* har raskere samlet tid der den svitsjer av og på, men deres på-tid overføringstap er store. *GTO* har fordelen at den er designet for å blokkere negative spenninger.

Ved å kombinere fordelene til disse komponentene ble det laget *IGBT*, “*Insulated Gate Bipolar Transistor*” som er svært populære i bruk ved nye applikasjoner knyttet til energibesparelse for omformere, og lignende komponenter som skal utføre tilnærmet like operasjoner som *IGBT*.

Enlinjeskjemaet knyttet til vårt fremdriftssystem viser hvordan *IGBT-brytere* brukes til å samordne DC-linken opp mot DC/DC omformeren, for nedtransformeringen av høy nettspenning, ned til den ønskelige spenningsverdien som batteriet klarer å operere innenfor.
[15]

4.7 Effektfaktor (PF)

“*Active Front End*” konverteren gjør at inngangssignalet får sinusformet utgangssignal. Den totale harmoniske forvrengningen av signalet blir bestemt ut fra utgangssignalet til omformerene.

Effektfaktoren (*PF*) til systemet er knyttet til AC-drift, som i stor grad blir styrt av størrelsen på den totale harmoniske forvrengningen av signalet, vinkelen ($\cos \theta$) mellom inngangsspenning og strømmen ut fra systemet. *PF* er den bestemmende faktoren for hvor effektiv den elektriske energien til komponentene i systemet er.

For et ideelt system uten noe form for tap av energi, hadde *PF* hatt verdi lik 1.

Ved høy total harmonisk forvrengning av signalet (*THD*), bidrar dette til lavere effektfaktor og større tap. Vinkelen ($\cos \theta$) til inngangsspenning og strømmen ut fra omformerne vil i fase med hverandre, bidra til mindre tap og bedre *PF*, noe som vil føre til besparelse av energi og bedre arbeidsforhold for de elektriske komponentene i systemet.

$$PF = \frac{\cos\theta}{\sqrt{1 + THD^2}}$$

Figur 11: Effektfaktor [16]

4.8 Pre-charge

Pre-charge er knyttet til oppladning av DC-nettverket. Under oppstart av omformerer er den avhengig av en “*precharge*” krets for å sikre at verken den eller kretsen blir ødelagt. Dette gjøres med kondensatorer og en fullbro-likereetter. Likeretteren er en “*Powersem PSD 35/18*”, detaljer ligger under punkt: “5, Spesifikasjon av teknisk utstyr”.

4.9 PLS

Programmerbar logisk styring eller *PLS* er en “enkel datamaskin”, som i all hovedsak styrer automatiserte arbeidsoppgaver og prosesser innenfor industri. Gruppen bruker *Bachmann PLS* i oppgaven, som er den NES bruker mest i sine prosjekter.

4.10 Asynkronmotor

Asynkronmotor er en roterende elektromagnetisk maskin, som jobber under induksjonsprinsippet. Dette kommer fra at motoren produserer spenning, når den blir utsatt for et varierende magnetisk felt. Betegnelsen asynkronmotor, kommer fra at det ved en gitt belastning på motor, vil gjøre at den går med et asynkront turtall. Dette er avhengig av den varierende mekaniske lasten fra vekselstrøm-nettet sin “*dreiefelt-frekvens*”.

Asynkronmaskin blir ofte brukt som motor der man vil omgjøre elektrisk effekt fra nettet, eller i denne sammenhengen batterier, til mekanisk effekt på en aksling. Asynkronmotoren er en enkel og robust konstruksjon med gode driftsegenskaper. Motoren har stor overbelastningsevne, relativt enkle startforhold, billig å anskaffe og kan lett implementeres i systemene på skip.

Motoren består av stator med viklinger, og en rotor som roterer etter magnetfeltet som blir produsert mellom stator og rotor. Vekselspenningen fører til at magnetfeltet vil rotere.

For å styre motoren blir det brukt *DTC (Direct Torque Control)* metode i frekvensomformerne til motorstyring. Momentet til motoren og hastigheten blir bestemt ut fra

parameterberegninger fra omformerne. Beregninger fra flux og motormoment, basert på strøm og spenningsmålinger, gjør at frekvensomformerer stiller seg inn direkte i forhold til ønsket pådrag til rotor. *DTC* optimaliserer svitsjetiden etter motorens behov, slik at støynivået holdes til et minimum og kostnadseffektiviteten øker.



Figur 12: Asynkronmotor [17]

4.11 Energilagring

Hybride fremdriftssystemer er knyttet opp mot energilagring, og fordelene med dette. Hybridfartøyene går på to eller flere energikilder. Dette består av en hovedmotor og generator, som igjen er integrert med energilagring i batterier eller superkondensatorer.

Det vil være ulike løsninger tilpasset skipenes behov. For passasjerfartøy som ligger ved kai under av- og påstigning av kjøretøyer, vil full-elektriske eller hybridsystemer være svært effektive og miljøbesparende, på grunn av gode muligheter for lading av batteriene.

Her vil distansen på ferjesambandet også spille inn på valgt løsning av fremdriftssystem. På skip som ferdes over store avstander, vil den beste løsningen være hybridsystemer. Fartøy hvor hybridsystemer er installert, har vist seg å redusere drivstofforbruket med 20-30 %, i tillegg til å sørge for mindre utslipp av skadelige gasser når de ligger til kai ved byer og havneområder. [18]

Hybridsystemene gir gode alternativer til hvordan man velger å kjøre motorene, ved å for eksempel kunne kjøre en dieselmotor og i tillegg gå på batteri, med eventuell tilknytning til en

mindre generator for opplading. Spesielt i offshorenæringen, der supply-fartøyene og slepebåtene ofte går på tomgang store deler av driftstiden ved tilknytning til oljeplattformene, er det aktuelt med *dynamisk posisjonering (DP)*, ved at skipet holder seg i samme posisjon, uten bruk av anker. Da vil miljøgevinstene og energibesparelsene være store, ved å kunne benytte seg av det elektriske systemet ombord for finmanøvrering av fartøyet.

Fordeler med energilagring:

- Redusert drivstofforbruk
- Forbedre dieselmotoren sin effektivitet
- Forbedring av fartøyets ytelse
- Redusere tiden dieselmotoren kjører, og i den sammenheng det totale støynivå
- Redusere vedlikeholdskostnader forbundet med dieselmotoren
- Mindre utslipp, i form av CO₂ og skadelige NOX gasser

Lithium-ion batteri er de mest brukte batteriene for båt. Luftkjølte batteri fra valgt leverandør blir dimensjonert etter ønsket energibehov, og med kapasitet til å forsyne systemet når pådraget fra motor krever elektrisk energi. Batteriene er plassert i celler som skal sikre at driftstemperaturen holdes mellom 15-20 °C, med nødvendige støtdempere og sikring, som skal forhindre at skadelige slag fra overfarten på havet kan føre til driftsstans.

Batteripakkene ombord på skipet kontrolleres via kontrollsystemet på broen (EMS), der energiflyten mellom generator, batteri og pådrag til propellene bestemmes. Ved hjelp av precharge enheten i DC-kretsen, sørger den for å tilpasse riktig spenningsnivå til batteriene for oppladning, når batteriet kobles til last med høy spenning på DC-nettverket. Knyttet til “*Quadro Drive*”-systemet, sørger dette for regenerering av energi fra propell og aksling, tilbake til systemet som forsyner kraftsystemet til båten med fornybar energi. [19]



Figur 13: Batterisystem [20]

4.12 Vern

DC-systemet til NES gjør det mulig å kutte et konverterledd i omformerprosessen i forhold til et tradisjonelt AC-DC nettverk. Dette byr på utfordringer ved at det er DC-spenning på samleskinnen, og bruk av DC er forholdsvis nytt på disse fremdriftssystemene. Det brukes mye i elektronikk, men sjelden ved høyere spenningsnivåer.

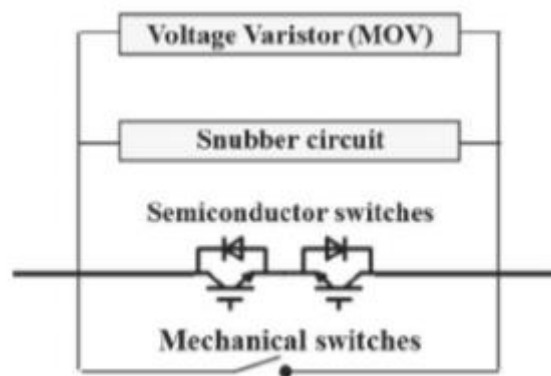
Ved eventuelle feil på systemet, må DC-strømmen “tvinges” til nullgjennomgang for å ikke skade systemet. Dette i motsetning til AC-strøm, der strømmen naturlig krysser null-potensialet periodisk i forhold til nettfrekvensen, og kan dermed slås av lettere enn DC.

For å hindre at det oppstår farlige lysbuer som er vanlig ved bryting av DC-krets, og sikre at ikke store feilstrømmer skal kunne ødelegge systemet, har man tatt i bruk avanserte DC-brytere i nettverket.

Kombinasjonen av komponenter DC-bryteren består av: Sikringer, skillebrytere, isolerende brytere og halvleder-elementer i kretsen, med deres fordeler. Disse gjør det mulig å minimere skadelige DC-strømmer i systemet. Integreringen av komponentene har ført til utviklingen av hybrid DC-bryter krets, som har tilfredsstillende eliminering av skadelige strømmer med høy svitsjefrekvens.

Denne er implementert i DC-nettverket som vern i ulike deler av systemet, for å sikre at resten av det “friske nettet”, ikke skal ta skade av én feilkilde. God selektivitet på vern vil også sørge for at vernet nærmest feilstedet slår ut, slik at ikke de “friske” delene av nettet blir berørt.

Behovet for solid jording av nettverket med tilhørende komponenter, er svært viktige tiltak for å eliminere høye berøringsspenninger. [21]



Figur 14: Hybrid DC-bryter krets [22]

4.13 PID-regulering

PID-regulatoren består av de tre delene: P (Proporsjonal), I (Integral) og D (Derivat), der hver av disse delene gjennom matematiske operasjoner, summeres sammen til et signal, som har til sin hensikt å sikre stabil regulering av for eksempel en motor. Regulatoren tar et inngangssignal og beregner en utgangsverdi for denne, i forhold til pådraget som komponenten den er knyttet til har behov for.

Transferfunksjonen til en PID-regulator er gitt av formelen:

$$G_R(s) = K_R \cdot \frac{1+T_i s}{T_i s} \cdot \frac{1+T_d s}{1+\frac{T_d s}{n}} \Rightarrow h(j\omega) = \frac{1+j\omega T_i}{j\omega T_i} \cdot \frac{1+j\omega T_d}{1+j\frac{\omega T_d}{n}}$$

Figur 15: PID-regulator formler for transferfunksjon [23]

K_R beskriver forsterkningen, T_d - derivasjonstid, T_i - integrasjonstid og n fungerer som en faktor, som skal gjøre at derivasjonsvirkningen til PID-regulatoren blir fjernet ved frekvenser som er høye.

For at et system med flere frekvensomformere skal kunne kjøres samtidig, såkalt multipumpesystem, kan bare innstillingen av parametrene til frekvensomformerne startes når PID-feedback signalet er lastet opp og tilkoblet systemet. Dette gjøres via betjeningspanel eller PC-programmet knyttet til omformerne.

Frekvensomformeren fungerer som masterenhet om den er tilkoblet PID-feedback signal. Om omformeren ikke er tilkoblet med feedback-signalet, vil den fungere som en slave-enhet og kan ikke styre multipumpeapplikasjonen. PID-settpunkt signalet kommer som en standard fra parameterinnstillinger i frekvensomformeren, men kan endres ved at vi går inn og styrer den analoge inngangen eller fieldbus prosessdata. [24]

4.14 Instrumentering

Frekvensomformerne overvåker både spenning og strøm som går gjennom den og videre inn til systemet. Den måler dette ved flere strøm- og spennings-sensorer som er implementert i omformerne.

Signalene leses av på betjeningspanelet hos selve omformeren. Vi har gjort det mulig å overvåke signalene i PLS programmet, eller i *HMI* ved hjelp av "*Node-RED*"-programmet. Her er *HMI-panelet* det mest oversiktlige alternativet til overvåkning.

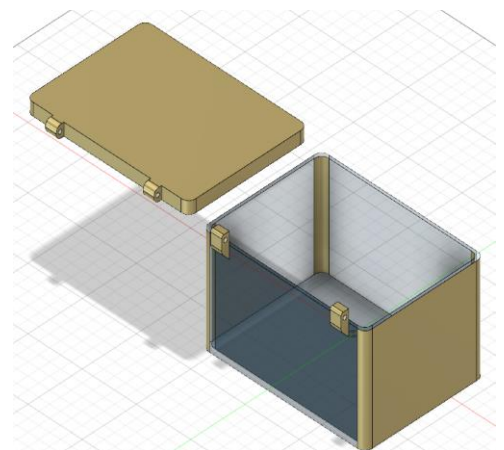
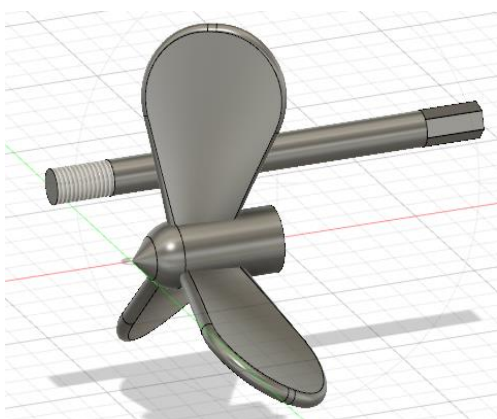
4.15 3D-modellering

I forbindelse med bacheloroppgaven var det ønskelig å konstruere komponenter knyttet til vårt system med hjelp av *3D-modellering*. Etter nærmere diskusjon i gruppen, kom vi frem til at målet ikke ble å konstruere *3D-komponenter* til bruk i testmodellen. Vi ønsket heller å lage noe til utstilling på *EXPO* og presentasjonene, siden testmodellen allerede er ferdig oppkoblet til kontinuerlig testing for oss og de ansatte til *NES* på sine prosjekter. Modelleringen ble i all hovedsak brukt til å skaffe erfaringer for gruppemedlemmene på området, og for at gruppen kunne tilegne seg kunnskaper som kan brukes i industrien.

Programmene vi brukte for 3D-modelleringen var “*Autodesk Fusion 360*” og “*Makerbot Print*”, til klargjøring av de konstruerte modellene til printing. Disse ble lastet ned som gratis versjoner med prøvetid, fra internett. Printereren vi benyttet oss av, fikk vi tilgang til av veileder på *HVL*.

Forkunnskapene på området var begrenset, og gruppen brukte en del tid på å sette seg inn i programmene, bestemme parametre og hva som skulle konstrueres/produseres til fremvisning. Det var mye prøving og feiling, siden alle medlemmene ville konstruere ferdig produkt, uten hjelp av ferdige 3D-programmer fra internett.

Propellen ble designet med gjenger til å skru fast akslingen med. Dermed hadde vi mulighet til å implementere denne til motor. I tillegg til propell og aksling, konstruerte vi en oppbevaringsboks til komponentene.



Figur 16: 3D-modellering, propell med aksling Figur 17: 3D-modellering, oppbevaringsboks

4.16 Profinet

Profinet sikrer oss høykvalitets kommunikasjon over nettverket med industrielle automasjons applikasjoner. Gjennom Profinet IO, bruker den tradisjonell ethernet hardware og software, for å sette opp nettverkskommunikasjon til PLS, for overføring av data og viktige funksjoner til automasjonskontrollere.

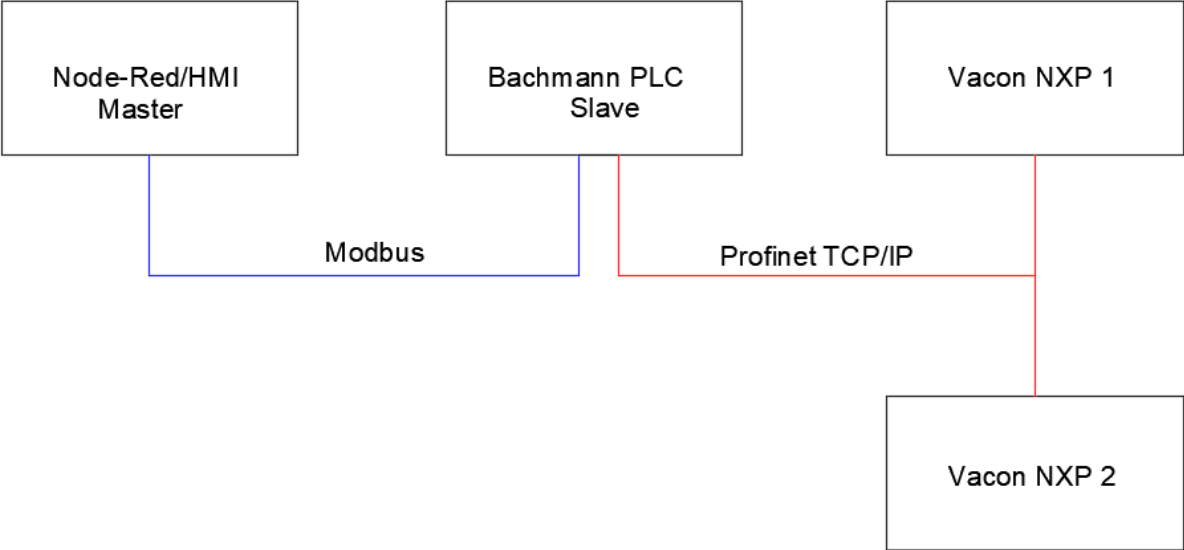
Profinet bruker i all hovedsak 3 sentrale kommunikasjonskanaler, herunder vanlig standard "TCP/IP" kanal, hovedsakelig for asykliske lese-/ skriveoperasjoner, "RT" kanal for standard sykliske dataoverføringer og alarmer, og "ITP" som er en høyhastighets kanal for bevegelseskontroll applikasjoner, som for eksempel motor- og frekvensomformer. Ved hjelp av disse kanalene med deres fordeler, gir det en samlet forbindelse for god nettverkløsning.

Gjennom bruk av ethernet, kan gruppen fysisk koble sammen datamaskin og PLS for kommunisering. Ved bruk av Profinet sikrer gruppen at denne kommunikasjonen skjer hurtig og sømløst via nettverket. Vår PLS er via datamaskinen, knyttet til "Vacon" frekvensomformerne som støtter Profinet, og kan ved hjelp av Modbus sikre oss at vi kan måle frekvens og justere dette etter behov gjennom "Solution Center". [25]

4.17 Modbus

Modbus kommunikasjon foregår via et prinsipp som baserer seg på at en master sender ut en forespørsel, som slaven sender et svar på gjennom en gitt adresse. Det er den mest brukte nettverksprotokollen i industrien, og blir sett på som en seriell kommunikasjonsprotokoll, som kommuniserer ved hjelp av funksjonskoder gjennom PDU (Protocol Data Unit).

Gjennom Modbus applikasjons-enhet, har vi opprettet en Modbus transaksjon som informerer serveren på nettverket hvilke operasjoner vi ønsker å kjøre via PLS til frekvensomformer. Funksjonskodene må ligge mellom 1-255 desimaler. Masteren sender funksjonskode som gjøres om til én byte, slaven mottar og informerer serveren hvilke operasjoner som skal utføres. [26]



Figur 18: Oppbygging master til slave nettverk

5 Spesifikasjon av teknisk utstyr

5.1 Bachmann PLS

Bachmann PLS er produsert av det tyske selskapet Bachmann. Den er designet for industriell bruk, og kan operere i temperaturer fra $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ til $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Enkelt design gjør at den lett kan kobles opp til elektriske nettverk. [27]

5.2 IO-kort

De 10 siste tegnene i control unit-nummeret, beskriver hvilket IO-kort som er i kontrollsystemet til frekvensomformereren. Kontrollmodulen kan holde totalt 5 IO-kort.

5.3 uGrid-applikasjon

Denne applikasjonen blir brukt til å sette opp AC-grid, som skal styre nettverket på båten som forsyner stikkontakter og de laveste spenningsnivåene på skip. Denne kan operere i parallell med andre kilder og deler av nettverket, og kommer med tre standard operasjonsmoduser.

5.3.1 AFE control-mode

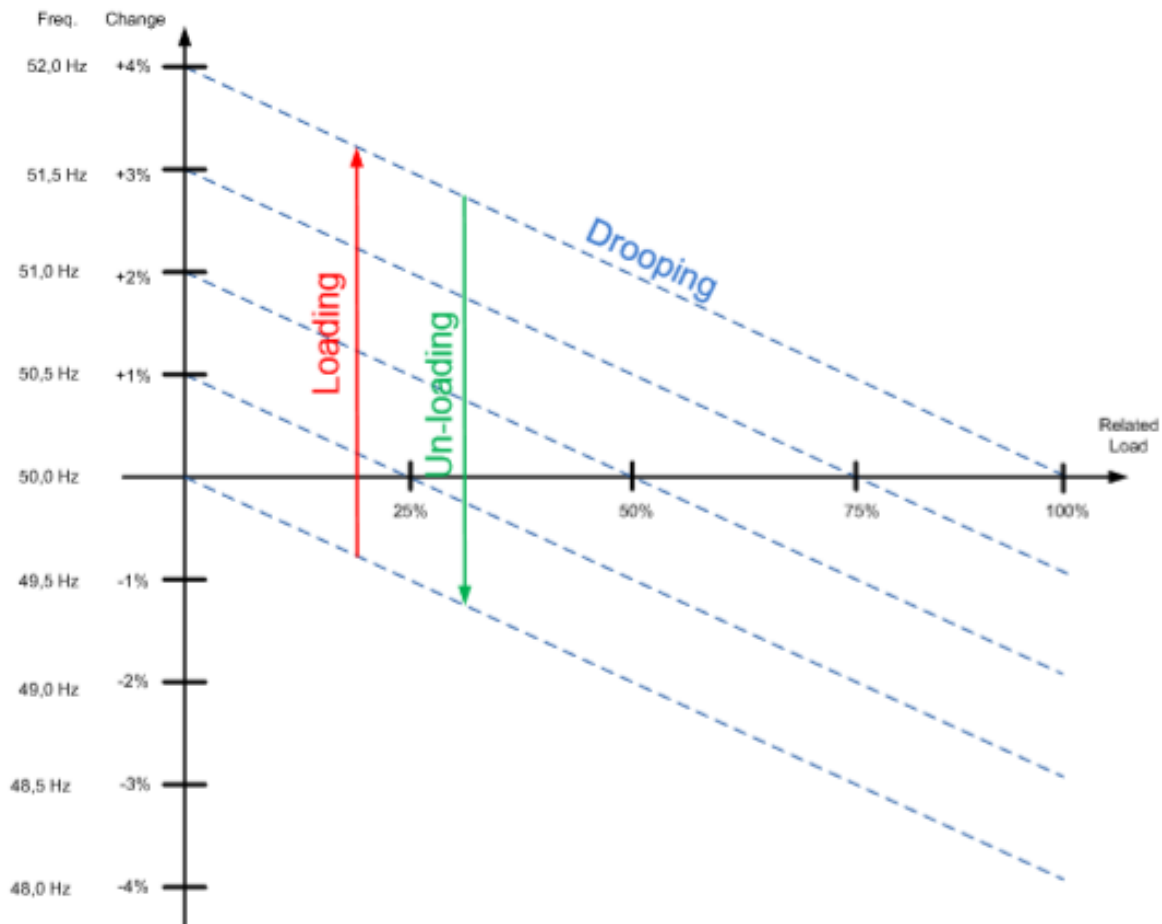
AFE control-mode er designet for å holde konstant DC-spenning, og overfører kraft mellom AC og DC, slik at energien kan flyte begge veier. AFE kan ikke sette opp grid alene, og må tilkobles et eksisterende nettverk.

5.3.2 Island (Static Power Supply) mode

Island mode genererer konstant AC-spenning og frekvens. I denne modusen kontrollerer ikke driven DC-spenningen, og den kan ikke levere energi i parallell med andre kilder på AC-siden, da den ikke balanserer reaktiv og aktiv effekt med dem.

5.3.3 MicroGrid mode

Micro Grid mode kontrollerer grid spenning og frekvens, men fungerer mer i retning som en vanlig generator. Den kontrollerer ikke DC. Denne modusen kan kontrollere “drooping” på spenning og frekvens, som gjør det mulig å operere lettere sammen med andre kilder.



Figur 19: Drooping modus på spenning og frekvens [28]

5.4 AFE-applikasjon

Dette er en applikasjon med funksjon som en regenerativ effekt-omformer, for “Front-End” til et felles DC-nettverk. Denne applikasjonen brukes sammen med inverter-hardware. Den har DC som referanse og setter opp DC-nettverk. Det kreves et LCL-filter i ladekretsen, for å kunne bruke applikasjonen.

5.5 Marine-applikasjon

Marine-applikasjon er en applikasjon med avanserte kraftstyringsegenskaper. Denne blir ikke sett på som en hurtigreagerende applikasjon. Input og output funksjoner blir håndtert med 30 ms tidsintervall. Applikasjonen produserer variabel AC-spenning og frekvens. [29]

5.6 PID-applikasjon

PID-applikasjonen er typisk brukt til å kontrollere nivåmålinger i pumper, vifter og motorer for å sikre jevn kontrollering og integrert måling. Den består av en kontroll-applikasjon for reguleringen, der det ikke er behov for ekstra komponenter.

For Vacon NX frekvensomformerer kan PID kontroll-applikasjon, bestemmes ut fra meny M6 i kontrollpanelet for betjening av omformerer. Denne består av to I/O terminaler A og B, der A er PID-kontrolleren og B er den direkte frekvens referansen.

PID kontrollerens faktiske verdier kan bestemmes fra analoge inputs, fieldbus og verdiene motoren trenger fra matematiske operasjoner vi har beregnet på forhånd. Under punkt: “6, Realisering av valgt løsning”, analyserte gruppen den matematiske operasjonen som var nødvendig for å kunne dimensjonere et vanlig reguleringssystem for en PID-regulator. [30]

Under realiseringen av Marine- og AFE-applikasjonen, kunne vi lese av PID-verdiene for regulatoren som blir benyttet for å kontrollere omformerer under kjøringen av disse applikasjonene.

5.7 Asynkronmotor



Figur 20: Spesifikasjoner asynkronmotor

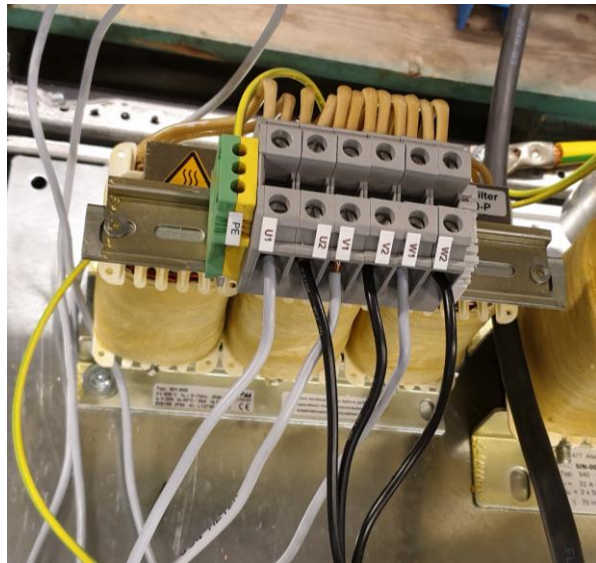
Tekniske spesifikasjoner til asynkronmotor:

Type	2 asynkronmotorer, KA2 112M-BB039-Z
Spenning	415 V
Strøm	8,5 A
Effekt	4 kW
Effektfaktor	0,79
Frekvens	50 Hz
Turtall	1435 rpm
Beskyttelsesklasse	IP54

5.8 L-Filter

Tekniske spesifikasjoner til L-filtre:

Nr	L1273801001
Type	921 - 938
Spenning	3 x 500 V
Frekvens	3 - 70 Hz
Strøm	32 A ved 40 °C 28 A ved 50 °C
Isolasjonsklasse	EIS155
Beskyttelsesklasse	IP00



Figur 21: LCL-filter

5.9 LC-Filter

Tekniske spesifikasjoner til LC-Filter:

Nr	LI138001001
Type	940 - 972
Spenning	3 x 500 V
Frekvens	3,6 kHz
Strøm	32A ved 40 °C 28A ved 50 °C
Isolasjonsklasse	EIS180
Beskyttelsesklasse	IP00



Figur 22: LC-filter

5.10 Diodelikeretter

Tekniske spesifikasjoner til diodelikeretter:

Type	Powersem - PSD 35/18
Strøm	38 A
Spenning	800 - 1800 V (Maks sperrespenning)
Skruterminaler	

5.11 Vacon NXP omformer

3 stk. Vacon NXP luftkjølt frekvensomformer. [31]

Tekniske spesifikasjoner fra merkeskilt:

1.

Marine-applikasjon	
Serienummer	11039539
Isolasjonsklasse	IP21
Beskyttelsesklasse	NEMA1
Nr, control-unit	CPAVA10000B8C5
Nr, power-unit	PA000752T1SSV
Strøm	7,5 A

2.

Marine-applikasjon	
Serienummer	12773864
Isolasjonsklasse	IP21
Beskyttelsesklasse	NEMA1
Nr, control-unit	CPASA1A2A500CI
Nr, power-unit	PA000752T1SSS
Strøm	7,5 A

3.

AFE-applikasjon

Serienummer 12499762

Isolasjonsklasse IP21

Beskyttelsesklasse NEMA1

Nr, control-unit CPASA1A2A500CI

Nr, power-unit PA003152T1SSS

Strøm 31,5 A



Figur 23: Luftkjølt Vacon-NXP frekvensomformere

5.12 PC-verktøy

Programmene som brukes for å kontrollere programvaren er "NC-Load", "NC-Drive" og "NCIP-Config". Vi har i tillegg brukt "Bechhoff-TwinCat" og "Node-RED".

5.12.1 "NC-Load"

"NC-Load" er et programverktøy som brukes til å laste opp system- og applikasjonssoftware til Vacon frekvensomformeren.

5.12.2 "NC-Drive"

Dette er et PC-program som brukes til å kommunisere med omformeren. Programmet lar deg styre omformeren direkte fra PC. I programmet kan man også se parametrene, lese av eventuelle feilmeldinger og overvåke driften.

5.12.3 "NCIP-Config"

"NCIP-Config" er et verktøy som brukes til å endre IP på omformeren, og sette opp kommunikasjon over ethernet.

5.12.4 "Bechhoff TwinCat"

TwinCAT software systemet gjør et PC-basert system om til en controller med blant annet: PLC, NC, CNC og robotikk systemer. I denne oppgaven har vi brukt den som PLC simulator.

5.12.5 "Node-RED"

"Node-RED" er et flytbasert programmeringsverktøy som knytter sammen hardware, API'er og online servere på nye og interessante måter. Det er et nettleserbasert redigeringsverktøy som gjør det enkelt å koble sammen "flows", ved å bruke noder i programmet. "Node-RED" har en rekke tilleggsbibliotek, der man kan laste de ned og bruke disse ved eventuell utvidelse av programmet. [32]

5.13 Industri-kondensator

Industri-kondensatorer, koblet opp mot systemet for å kunne kjøre AFE-applikasjon som generator.

Tekniske spesifikasjoner fra merkeskilt:

Nr	E62.M24-473C60
Kapasitans	47 μ F
Spenning	1200 V AC /1900 V DC
Arbeidstemperatur	-40 til 85 °C



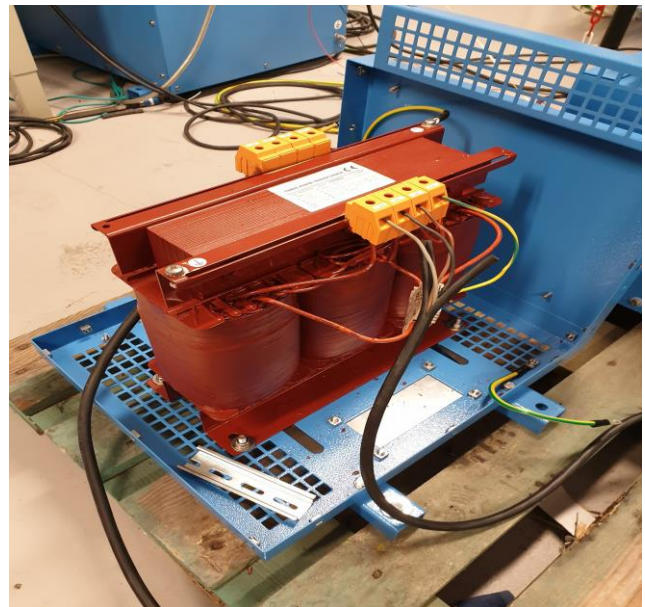
Figur 24: Tekniske spesifikasjoner til kondensator Figur 25: Kondensatorer tilkoblet system

5.14 Transformator

Transformatorer koblet opp med industri-kondensatorene for å realisere AFE-applikasjonen. Trafoen er koblet om, slik at transformasjonen er av type 1:1.

Tekniske spesifikasjoner til transformator:

Serienummer	170794002
Kode	NWGTTP70000
Spenning	V1 = 230 V
	V2 = 400 V
Frekvens	50/ 60 Hz
Strøm	I1 = 17,6 A
	I2 = 10,1 A
Beskyttelsesklasse	IP00



Figur 26: Transformator koblet opp mot systemet

5.15 Test-kofferter

Tekniske spesifikasjoner til test-koffertene:

Type: 2 stk. Demo case NXS/ Euro

Serial Nr: VAC020919

Beskyttelsesklasse: IP21

Input	Output
230 V AC 1-ph	0-230 V AC 3-ph
3,1 A	2,2/ 2,8 A
50/ 60 Hz	0-320 Hz



Figur 27: Testkoffert

6 Realisering av valgt løsning

I denne delen av rapporten, er det nærmere beskrivelse av punktene som er gjennomført før testingen av de forskjellige delene av oppgaven.

6.1 Realisering av Marine-applikasjon

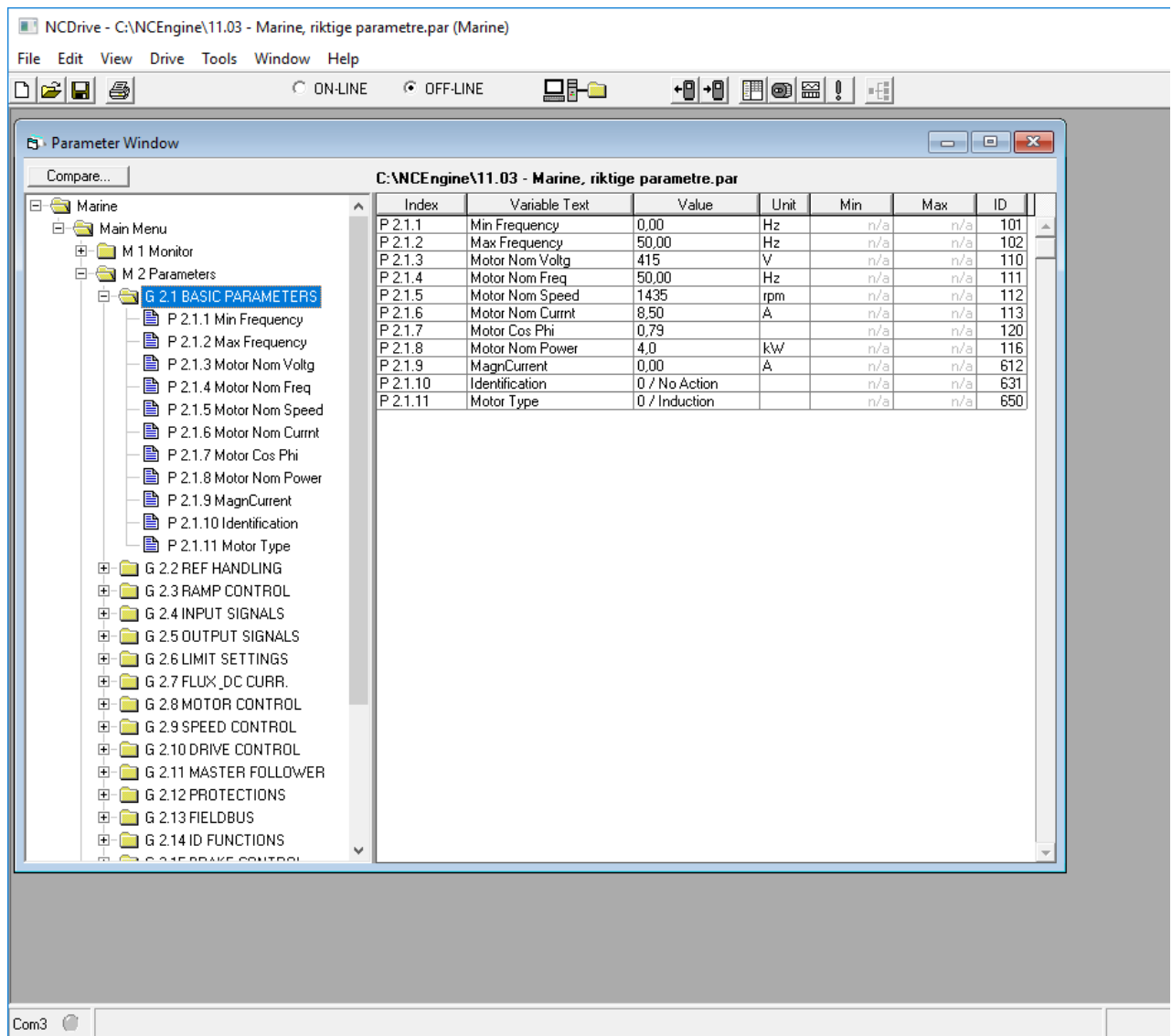
Siden motoren vår bruker "Marine-applikasjon", var det naturlig for oss å starte med denne på generatoren også. Gruppen hadde litt startproblemer under oppstart av motoren første gang. Motoren har nominell frekvens på 50 Hz, men vi klarte bare å kjøre den på 15 Hz. Etter å ha blitt bedre kjent med applikasjonen, og fått en nøye gjennomgang av parametrene knyttet til motordrift, fant vi ut at det var feil grense på motorstrømmen. Omformerer begrenset da denne strømmen, og vi fikk ikke kjøre motoren med ønsket frekvens. Dette ble raskt endret, og vi fikk kjørt motoren uten videre problemer, med nominelle verdier. Hovedparameteren vi endret på var: "*Current Limit*". Denne strømmen var satt til 4,4 A, og skulle vært på 8,5 A for å oppnå ønsket kjøring av motor.

6.1.1 Opplasting av Marine-software

Oppkobling til frekvensomformerer ble realisert ved hjelp av comkabel, og ved bruk av "NC-Load" til å laste opp applikasjonen. Gruppen sørget for å ha lastet opp nyeste system-software før testing, som også gjøres med dette programmet. System-software kan sammenlignes med operativsystemet til modulen, og dermed Marine-applikasjonen.

6.1.2 Start av Generator-omformerer

Neste steg i prosessen var å åpne DC-drive, og se over parameterlisten. Applikasjonen som vi lastet opp med "NC-Load" er bare en standard. Vi måtte derfor tilpasse en del parametre til motorens dimensjoner, for å kunne styre den som generator. Disse parametrene ligger under "*Basic Parameters*".



Figur 28: Basis-parametre i "NC-Drive"

Når "Basic-parameters" var justert til riktige verdier, var det ønsket å kjøre motoren og generatoren samtidig. Motoren ble startet først, og generatoren ble justert til "flying start". Dette vil si at generator-omformerer vet at den møter en generator som allerede roterer. Deretter kjørte vi begge omformerne med frekvenskontroll. Det var viktig at generatoren var stilt inn på 50 Hz referanse fra start, og kjøres i revers. Ved start av generator-omformerer, bruker den omtrent et halvt sekund på å akseptere hastigheten på motoren. Da kjørte vi to motorer som jobber samme vei, og samarbeider på å holde hastigheten konstant.

6.1.3 Generatordrift

Generator-omformereren ble kjørt i frekvenskontroll, som gjorde det mulig for oss å bestemme hastigheten på motoren underveis i driften. For å bruke den ene motoren som en generator, måtte vi justere ned frekvensen på generatoren. Generatoren vil da “bremse” i stedet for å “gi gass”. Deretter kjørte vi videre testing med å justere ned frekvensen trinnvis fra 50 til 46 Hz. Resultatene er plassert under punkt: “7 *Testing*”.

6.2 Realisering av uGrid-applikasjon

Under realiseringen av denne applikasjonen ønsker vi å oppnå det samme som med “Marine-applikasjon”, bare med “uGrid-applikasjon”. uGrid er i all hovedsak mer kompleks, og det finnes forskjellige moduser for drift. Fra parameterlisten endte vi opp med å bruke: “Island-uGrid mode”.

6.2.1 Opplasting av uGrid-software

På samme måte som med Marine, lastet vi opp applikasjonen med "NC-Load". Gruppen dobbeltsjekket at den hadde nyeste versjon system-software. Parameterlisten var annerledes på uGrid iforhold til Marine, da dette ikke er en motor-applikasjon. uGrid-applikasjonen er mer avansert, da den har flere bruksområder.

Index	Variable Text	Value	Unit	Min	Max	ID
P 2.1.1	Grid Nom Voltage	415	V	n/a	n/a	110
P 2.1.2	GridNomFrequency	49,00	Hz	n/a	n/a	1532
P 2.1.3	SystemRatedCurre	10,00	A	n/a	n/a	113
P 2.1.4	System Cos Phi	0,79		n/a	n/a	120
P 2.1.5	SystemRated kVA	0,0	kVA	n/a	n/a	213
P 2.1.6	SystemRated kW	4,0	kW	n/a	n/a	116
P 2.1.7	System Nom. DC	600		n/a	n/a	1805
P 2.1.8	Parallel AFE	0 / Single		n/a	n/a	1501
P 2.1.9	Transf. GC Side	1000,0	V	n/a	n/a	1850
P 2.1.10	Transf. Grid Side	1000,0	V	n/a	n/a	1851
P 2.1.11	Transf. PhaseShif	0,0	Deg	n/a	n/a	1852
P 2.1.12	Identification	0 / No Action		n/a	n/a	631

Figur 29: Parameterliste til uGrid i "NC-Drive"

Det var også nødvendig å tilpasse denne applikasjonen til motoren. Fremgangsmetoden vi benyttet var å bestemme motorspenning ved å endre “Supply Voltage”, til motorens nominelle spenning.

6.2.2 Start av Generator-omformeren

Før oppstart av generator-omformeren, brukte gruppen god tid på forarbeidet, for å gjøre seg godt kjent med parameterlisten til omformeren. Med riktige verdier, fikk vi utført vellykket opplasting for å kunne starte omformeren. uGrid har ikke noen “flying start”-funksjon, så denne satt vi til aktiv på motor-omformeren. Vi fikk deretter feilmelding som indikerte: “Over Voltage” på omformeren. Etter nærmere undersøkelser, konkluderte vi med at dette sannsynlig ble forårsaket av at omformeren forsøker å sette opp et microgrid over generatoren. Dette betyr at generatoren blir magnetisert, og vil dermed generere totalt høyere spenning enn merkespenning, som trigger systemet til å gi feilmelding.

Løsningen gruppen kom frem til var å justere parameter: P 2.11.5 “*VoltageRiseTime*” fra 100 ms til 2000 ms. Da ville spenningen gradvis øke over 2 sekunder, noe som førte til at omformeren ikke trippet på “*Over Voltage*”.

6.2.3 Generator drift

Overvåking av driften foregår i “NC-Drive”. Der kan man observere den nøyaktige frekvensen til rotoren. Ved å justere referansefrekvens trinnvis ned, var det ønskelig å nå et turtall hvor omformeren ikke lenger klarte å holde samme “*output*” frekvens som referansen. Ved hjelp av denne testingen, kunne vi observere via monitorvinduet at energiflyten endret fortegn og retning. Resultatene fra testingen er samlet i punkt 7.2

6.3 Realisering av AFE-applikasjon

I motsetning til de andre applikasjonene, leverer ikke AFE-applikasjonen reaktiv effekt til asynkronmaskinen. Marine-applikasjonen gjorde dette bevisst, da den vet at den skal rotere en induksjonsmotor. uGrid-applikasjonen gjør det ved å sette opp “Microgrid”. Dette var med på å skape problemer for oss, da vi ikke fikk start på omformeren uten at den oppdaget noen supply-spenning. Løsningen ble å legge til startkondensatorer til kretsen. På den måten vil generatoren kunne levere reaktiv effekt til seg selv, og bygge opp spenning fra et par volt.

6.3.1 Dimensjonering og montering av kondensatorer

Før start beregnet vi hvilke dimensjoner kondensatorene trengte for å kunne kobles til kretsen. Med motorens nominelle verdier, kom vi frem til at det var nødvendig med en størrelse på 23 μF . Disse beregningene ligger under vedlegg. NES hadde ikke denne størrelsen tilgjengelig, men av erfaring mente ingeniørene her at det gikk fint å gå opp i størrelse. Det var da essensielt å måle spenningen over kondensatorene kontinuerlig, slik at ikke spenningen overskrider motorens nominelle spenning.

NES hadde kondensatorer på 47 μF tilgjengelig. Disse monterte vi i parallell og trekantkobling mellom motor og omformer. Det ble lagt inn en trefasesikring til utkobling av kondensatorene. Problemet med denne løsningen var at omformeren ser en ren kortslutning med kondensatorene inne. Motsatt, i øyeblikket vi koblet ut kondensatorene, mistet vi hele supply-spenningen.

Dette løste vi ved å koble inn en 1:1 transformator foran omformeren. På denne måten ser omformeren en transformator med riktig spenning, og starter uten problemer. I tillegg ser vi at generatoren genererer strøm, uten at omformeren er på. Energien flyter da gjennom friløpsdiodene.

6.3.2 Opplasting av AFE-software

Opplasting av AFE-applikasjonen gikk uten problemer. Vi vet at omformeren har nyeste versjon “*system-software*”. Parameterlisten til AFE’en er mindre komplisert enn de andre applikasjonene. I uGrid-applikasjonen var AFE en egen modus den kunne kjøre i. Dette sier noe om at det er naturlig at den er mindre avansert.

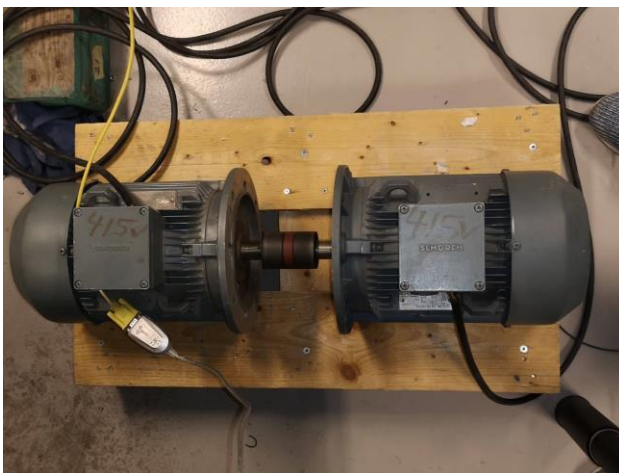
6.3.3 Start av Generator-omformer

Fra tidligere erfaringer, var det ikke nødvendig å starte AFE omformer for å generere strøm i generatoren. Årsaken til dette er kondensatorene. Når vi kjører opp belastning på motoren, vil det generere et par volt i statorviklingene. Denne spenningen lagres i kondensatorene, og generatoren blir en såkalt “*selv-eksiterende*” generator. Gruppen tenkte at det skulle holde med kondensatorene for å starte omformer, og koble disse ut i samme øyeblikk som vi starter. Dette fungerte ikke under denne driften.

6.3.4 Generatordrift

Selve testingen av denne applikasjonen måtte foregå noe annerledes enn med de to andre applikasjonene. På Marine- og uGrid-applikasjonene kunne vi endre frekvensen på spenningen fra DC-linken til motoren, ved hjelp av parameterlisten. Da AFE-applikasjonen er en AC/DC omformer, vil den ta den oppgitte supply-spenningen og likerette denne til en fast DC-referanse. I applikasjonen er det en parameter som heter: “*DC-drooping*”. Denne bestemmer hvor mye generatoren skal belastes med. Ved høyere drooping vil omformer presse generatoren mindre. Vi fant ut at ved 10 % DC-drooping, ville spenningen over generatoren ligge på rundt 409 V med en frekvens på 45 Hz. Ved å øke drooping til 5 %, ville spenningen droppe til 377 V, og frekvensen til 43,7 Hz. Det var derfor naturlig for oss å regulere effekten fra generatoren på denne måten.

Ved å la energien flyte gjennom friløpsdiodene fikk vi en strøm på 1,96 A. Dette er visualisert i kapittel 7.



Figur 30: Generator og motor med aksling

6.4 Realisering av PLS styring

Gruppen har jobbet med en PLS av type Bachmann, som NES hadde tilgjengelig til bruk for oppgaven. PLS'en ble koblet opp til to av test-koffertene. De består hovedsaklig av en frekvensomformer med rotor, som blir styrt fra parametrene vi bestemmer for omformereren. Oppkobling av PLS med test-koffert ble realisert ved hjelp av ethernet-kabler. Programmet "Solution Center" ble brukt til å styre PLS. Gruppen fikk en rask innføring i oppstart og bruk av programmet.

Vi hadde mulighet til å selv velge programmeringsspråk, og endte med "*strukturert tekst*". Dette er det språket som blir brukt av NES og var dermed det mest aktuelle. Ingen i gruppen hadde tidligere erfaringer med "*strukturert tekst*". For å bli bedre kjent med programmeringsspråket har vi brukt "TwinCAT" fra "Bechhoff". "TwinCAT" ga oss mulighet til å simulere en PLS på datamaskinen, uten å måtte være fysisk tilkoblet. Dette var nyttig for å gi oss et større oversiktsbilde av kommunikasjonen mellom PLS og omformer, med hovedfokus på å sikre oss et godt fundament for oppbygging av strukturerte tekst.

6.4.1 Funksjonsblokker

Styring av omformereren fra PLS blir hovedsakelig gjort ved hjelp av tre funksjonsblokker:

Mio_GetIdToCard, *Mio_GetValue* og *Mio_SetValue*.

Mio_GetIdToCard gir en ID fra IO-kortet. Den trenger kortnummer som input, og returnerer pointer-ID. Kortnummeret står oppgitt i "Solution Center", når en legger til enheter. Ved error vil den returnere spesialverdien: -2146483648.

Mio_GetValue henter en verdi fra en IO-kanal. Som input må den ha kort-ID som den får i fra *Mio_GetIdToCard*, og hvilken kanal den skal lese verdi fra. Den har to returverdier "Retcode", som returnerer enten success- eller error-kode, og "value" som gir den avleste verdien ved success.

Mio_SetValue setter en verdi til en valgt IO-kanal. Den må ha tre input: Kort-ID fra *Mio_GetIdToCard*, hvilken kanal det skal skrives til og hvilken verdi som skal skrives. Denne blokken har ingen returverdi.

6.4.2 Tilleggsprogram

Gruppen har også laget to tilleggsprogram, som simulerer ulike drifter av omformerne. Det første programmet starter motorene likt, som vi har gjort manuelt når den ene motoren skal kjøres som generator.

Programmet starter først motor 1, og venter på at den kommer opp i referansehastighet. Etter at hastigheten er blitt lik referansen, starter en timer og teller ned 5 sekunder. Etter endt tid starter motor 2 og kjører til samme referanse. Med intervall på 5 sek vil motor 2 redusere hastigheten med 2 % til den når 92 % av referansehastigheten. Motor 2 vil forbli ved denne hastigheten til den mottar stoppsignal. Se vedlegg 4: "*PLS program (Testsimulering)*".

Det andre programmet startet omformerne, og kjører motorene opp og ned uavhengig av hverandre, men avhengig av simulerte signal. Dette har vi sett på som en enkel versjon av uavhengig thruster-kjøring. Vi fikk til begge løsningene ved å bruke kombinasjoner av IF-setninger og Case-statement. Se vedlegg 5: "*PLS program (Styring av to omformere)*".

"*Strukturert tekst*" er et av fem programmeringsspråk som er støttet av "*IEC 61131-3*" standarden, som er den tredje av ti deler. Språket er et høynivåspråk, noe som betyr at det er mer abstrakt og gjør det lettere å programmere komplekse program enn lavnivåspråk.

"*Strukturert tekst*" kan sees på som en enkel versjon av tekstbasert programmering, som for eksempel C#.

6.4.3 Control Word/Status Word

For å sette bestemte signal, trenger PLS et kontrollord, som bestemmer hvilket signal som skal være av og på. Kontrollordet blir sendt ut på kanal 2, fra PLS til omformer.

Statusordet blir lest av programmet, og forteller hva som er av og på. For å lese både kontroll- og status bruker vi en binærkode, og gjør om fra desimal til binær. Hvilken kode som tilsvarer hvilket signal, står forklart i Vacon applikasjonsmanualen, og er forskjellig i hver applikasjon.

- Status Word '561' vil gi signal '1000110001'

```
b22_ReadyToSwitchOn_vc1 := SW_vc1.0;  
b23_ReadyToOperate_vc1 := SW_vc1.1;  
b24_Running_vc1 := SW_vc1.2;  
b25_FaultActive_vc1 := SW_vc1.3;  
b26_CoastStopNotActive_vc1 := SW_vc1.4;  
b27_EmStopNotActive_vc1 := SW_vc1.5;  
b28_SwitchOnInhibit_vc1 := SW_vc1.6;  
b29_Warning_vc1 := SW_vc1.7;  
b30_SpeedAtRef_vc1 := SW_vc1.8;  
b31_FbControlActive_vc1 := SW_vc1.9;  
b32_AboveLimit_vc1 := SW_vc1.10;
```

Figur 31: Status Word (SW_vc1)

- Control Word '1142' vil gi signal '10001110110'

```
cw_vc1.0 := b0_On_vc1;  
cw_vc1.1 := b1_CoastingStop_vc1;  
cw_vc1.2 := b2_QuickStop_vc1;  
cw_vc1.3 := b3_start_vc1;  
cw_vc1.4 := b4_rampZeroOut_vc1;  
cw_vc1.5 := b5_rampHold_vc1;  
cw_vc1.6 := b6_rampZeroIn_vc1;  
cw_vc1.7 := b7_Reset_vc1;  
cw_vc1.10 := b10_FbEnable_vc1;
```

Figur 32: Control Word (cw_vc1)

6.5 Realisering av HMI

Gruppen ønsket å utvide selve styringen av PLS med større grad av instrumentering og overvåkning av prosessen. Vi ønsket å lage en visuell HMI, og valgte å bruke programmet "*Node-RED*". Kommunikasjonen mellom PLS og HMI realiseres over Modbus. I vårt tilfelle ønsker vi å bruke "*Node-RED*" som master. Se vedlegg 6: "*Node-RED*" HMI program.

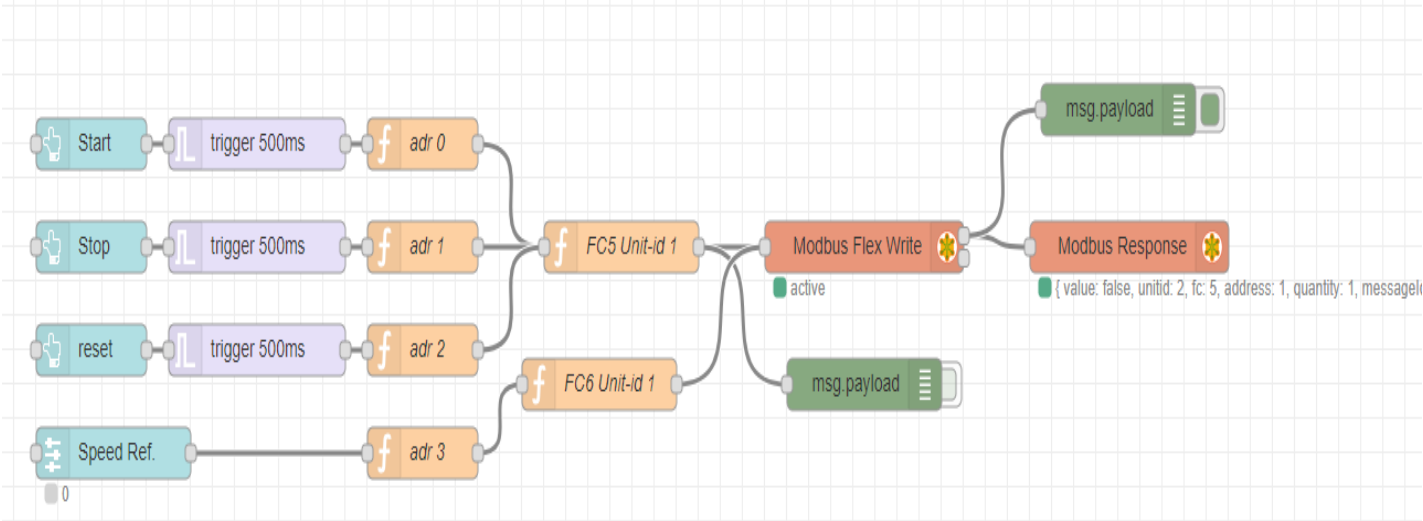
6.6.1 Solution Center

Det første vi måtte gjøre var å sette opp Modbus kommunikasjon i "*Solution Center*". Gruppen lagde en ny applikasjon for Modbus. Deretter kunne vi velge de variablene vi ønsket å sende til "*Node-RED*".

6.6.2 Node-RED

Installeringen av "*Node-RED*" gjøres fra deres hjemmeside. Der finner man en step-by-step guide, på hvordan man skal få serveren til å fungere. Vi trengte to tilleggspakker for å realisere HMI. Den første heter "*Node-RED-contrib-modbus*", og gir oss tilgang til en rekke noder som gjør det mulig å opprette Modbus kommunikasjon. Fra denne pakken har vi brukt tre noder, "*Modbus Read*" som leser verdi fra PLS og sender en matrise med verdier. "*Modbus Flex Write*" og "*Modbus Response*" sender verdi fra "*Node-RED*" til PLS.

Den andre node pakken heter "*Node-RED-dashboard*", ga oss muligheten til å visuelt håndtere digitale og analoge verdier. Her kan det brukes trykknapper, målere, glidere og brytere. Her har vi mulighet til å endre farge, størrelse og motiv på disse. Ved hjelp av denne pakken ble det laget et HMI panel, som vi styrer lokalt fra PC. Programmet er lagt med som vedlegg 6: "*Node-RED*" HMI program".

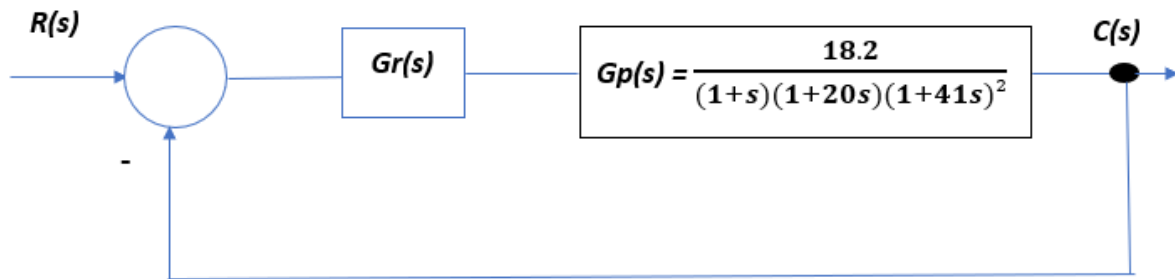


Figur 33: Program for utvikling av visuell HMI

6.6 Dimensjonering av PID-regulator

I frekvensomformereren er det mange muligheter for å kunne endre parametre for PID-regulatoren, for eksempel Controller Gain, Integration Time og samkjøring av disse med riktige parameterverdier for motoren i henhold til datablad. Punktene for innstillingen av regulatoren fant vi i applikasjons manualene for VACON-omformerne.

Gruppen ønsket i tillegg å vise hvordan vi ville dimensjonert en PID-regulator ut fra en prosessverdi. I vårt tilfelle laget vi en egen verdi for $G_p(s)$ transferfunksjonen til prosessen i et vanlig reguleringsystem, og dimensjonerte PID-regulatoren ut fra valgt verdi i frekvensplanet. $G_r(s)$ er transferfunksjonen til regulatoren.

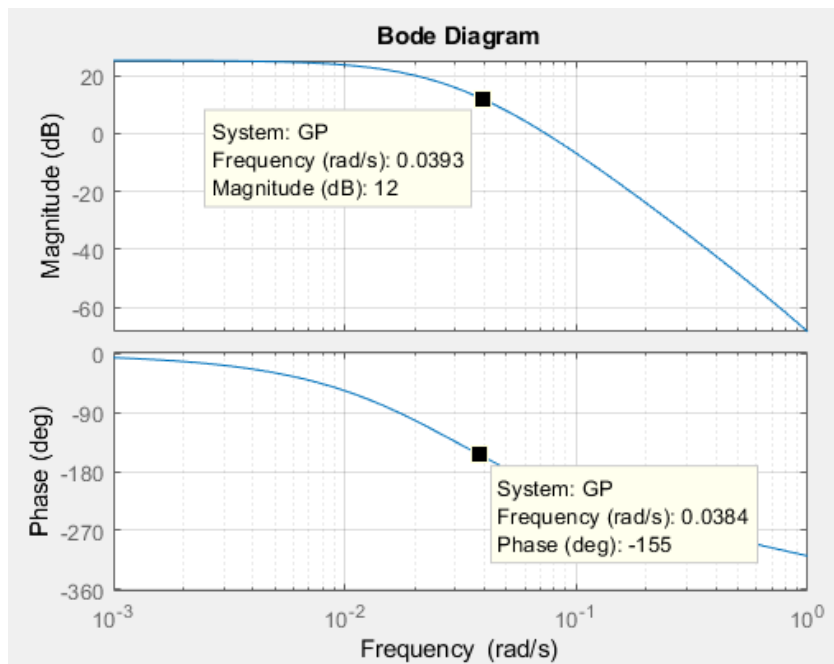


Figur 34: Typisk reguleringsystem

Gruppen dimensjonerte PID-regulatoren for å oppnå størst mulig amplitude kryssfrekvens, med ønsket fasemargin $PM \geq 45^\circ$, forsterkningsmargin $GM \geq 12\text{dB}$ som er transferfunksjonen til systemet i åpen sløyfe $G(j\omega)$, som krav til reguleringsprosessen.

Først så vi på Bode-diagrammet til transferfunksjonen uten regulator med $G_p(j\omega)$. Amplitude kryssfrekvensen bestemte vi ut fra formelen:

$$\angle G_p(j\omega\theta_c) = \varphi_M - 200^\circ = 45^\circ - 200^\circ = -155^\circ$$

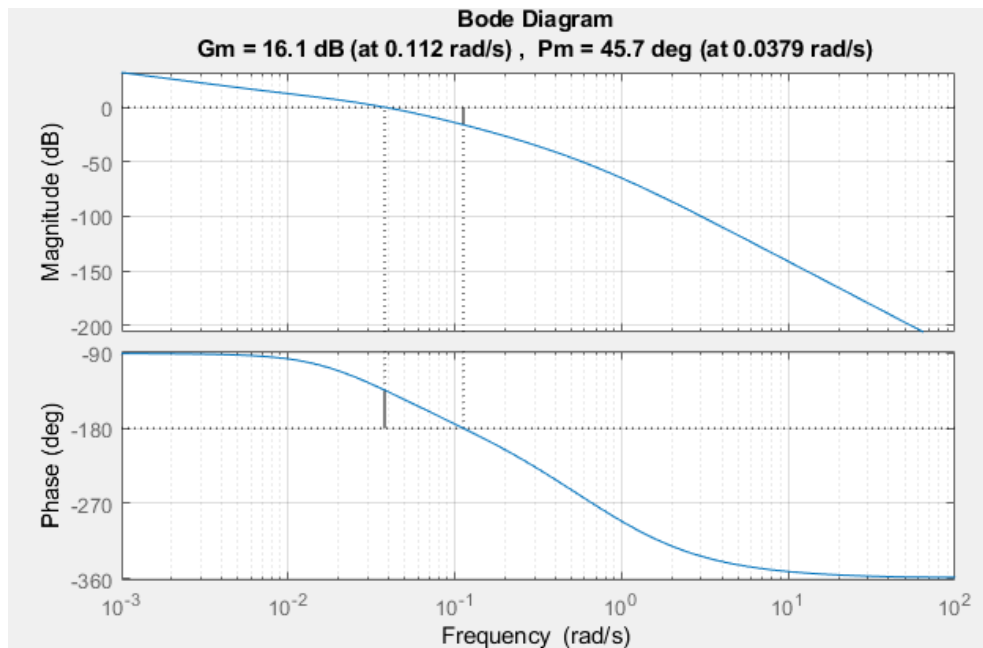


Figur 35: Bode diagram av transferfunksjon til systemet uten regulator

Neste steg i prosessen var å bestemme regulatorparametrene for PID-regulatoren. Tabellen under viser hvordan vi beregnet oss frem til verdiene ved hjelp av anbefalte formler til PID-regulator dimensjonering, løst ut fra tabell under vedlegg 2.

Enhet	Beregning (Formel)	Resultat
$\omega\theta c$	Avlest fra Bode-diagram	$\omega\theta c \equiv 0,038 \text{ rad/sek}$
Ti	$\frac{2,8}{\omega\theta c} = \frac{2,8}{0,038}$	$Ti \equiv 73,7 \text{ sek}$
Td	$\frac{1}{\omega\theta c} = \frac{1}{0,038}$	$Td \equiv 26,3 \text{ sek}$
[Kr]dB	$- Gp(j0,038) _{dB} = -12 - 4 \text{ dB}$	$[Kr]_{dB} \equiv -16 \text{ dB}$
Kr	$10^{-16/20}$	$Kr \equiv 0,16$

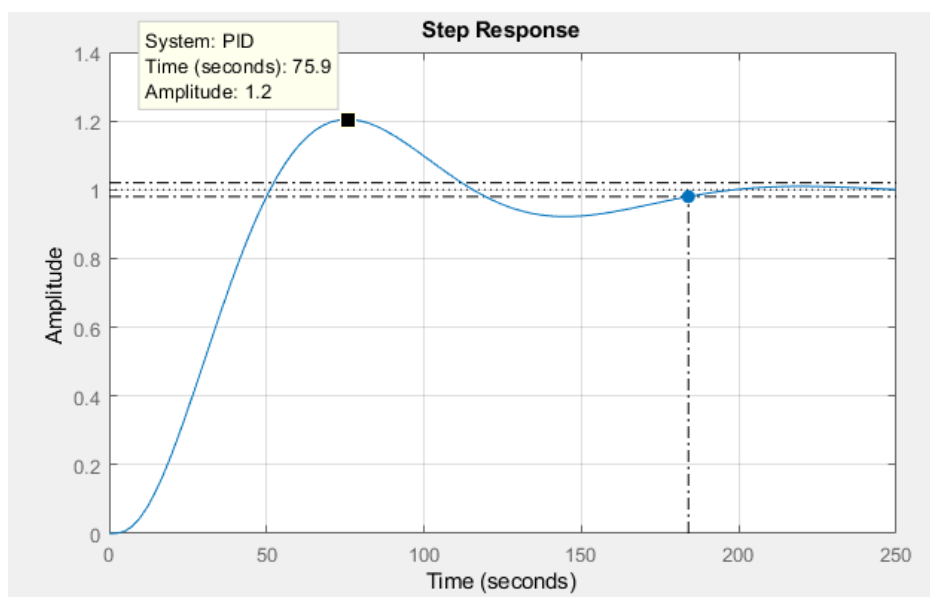
Tabell 1: Regulatorparameter-beregning



Figur 36: Bode-diagram etter å ha justert regulatorparametre fra beregning

Figuren over viser Bode-diagram for prosessen etter at vi har justert regulatorparametrene fra verdiene vi bestemte ved hjelp av beregning. Vi kan sjekke forsterkningsmarginen til systemet for eventuell etterjustering av K_r om det skulle være nødvendig for å oppnå stabil prosess.

Figuren under viser enhetssprangresponsen til systemet. Den er en konsekvens av hvordan regulatorparametrene vi har bestemt, justerer systemet til en stabil reguleringsprosess.



Figur 37: Enhetssprangresponsen til systemet etter dimensjonering av PID-regulator

Matlab-filene for dimensjoneringen av PID-regulatoren ligger som vedlegg 3: “*Matlab-fil for dimensjonering av PID-regulator*”. Der følger grundig beregning av parametrene ved hjelp av matlab.

6.7 Måling

Før testing forsikret gruppen seg om at alle koblinger mellom komponentene i testmodellen var skikkelig utført for spenningssetting. Vi sørget for å kontrollmåle flere ganger under testing av applikasjonene, før vi konkluderte med at dette var pålitelige resultater.

7 Testing

I dette punktet skal vi vise resultater fra testing. Målingene leses direkte fra frekvensomformerer via "NC-Drive". Akkumuleringene har varierende usikkerhet, men på fysiske målinger som strømmåling hvor det brukes CT, antas usikkerheten å ligge på rundt 1-2%. Det har ikke vært lett å finne informasjon om måleusikkerhet på omformerene, men informasjonen vi har fått er gitt til oss av erfarne ingeniører hos NES.

Selve testingen av hver applikasjon foregår i 5 steg. Gruppen testet Marine og uGrid ved å trappe ned frekvensen, og AFE ved å endre "DC-drooping". Målet vårt med testingen er å vise at energiflyten endrer retning ved å endre lasten.

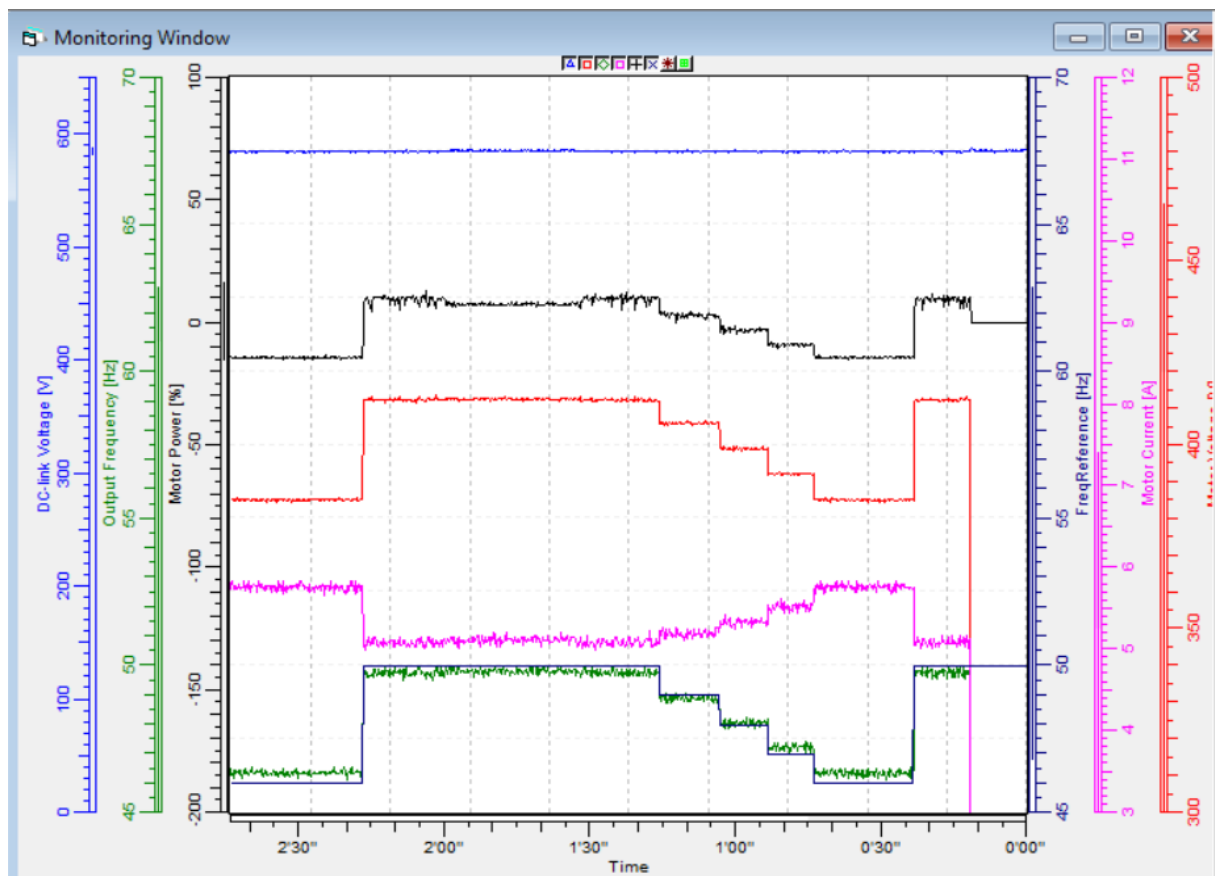
Ved hjelp av programmering skal vi testkjøre systemene lokalt fra PC og PLS. For å få fram nødvendig informasjon skal vi bruke "Node-RED" og vise dette på en oversiktlig måte.

7.1 Testing av Marine-applikasjon

Under følger bilde fra "NC-Drive" fra testing av Marine-applikasjonen. Generatoren startes som motor på 50 Hz etter tidspunkt på 2 min og 15 sek. Motor og generator går med samme turtall og effekten er positiv. Referansen til generatoren trappes deretter ned, og ved 48 Hz ble effekten negativ. Da vil omformerer levere energi til DC-linken, i stedet for å trekke fra den.

Marine-applikasjon	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5
Freq. Ref. [Hz]	50 Hz	49 Hz	48 Hz	47 Hz	46 Hz
DC-Voltage [V]	586 V	586 V	586 V	586 V	586 V
Supply Voltage [V]	412,8 V	406,8 V	399 V	392,3 V	385 V
Supply Freq. [Hz]	49,9 Hz	49,02 Hz	48,06 Hz	47,2 Hz	46,39 Hz
Current [A]	5,10 A	5,20 A	5,35 A	5,54 A	5,79 A
Power [%]	10,5 %	3,6 %	-3,6 %	-9,5 %	-14,4 %

Tabell 2: Resultater av testing, Marine-applikasjon



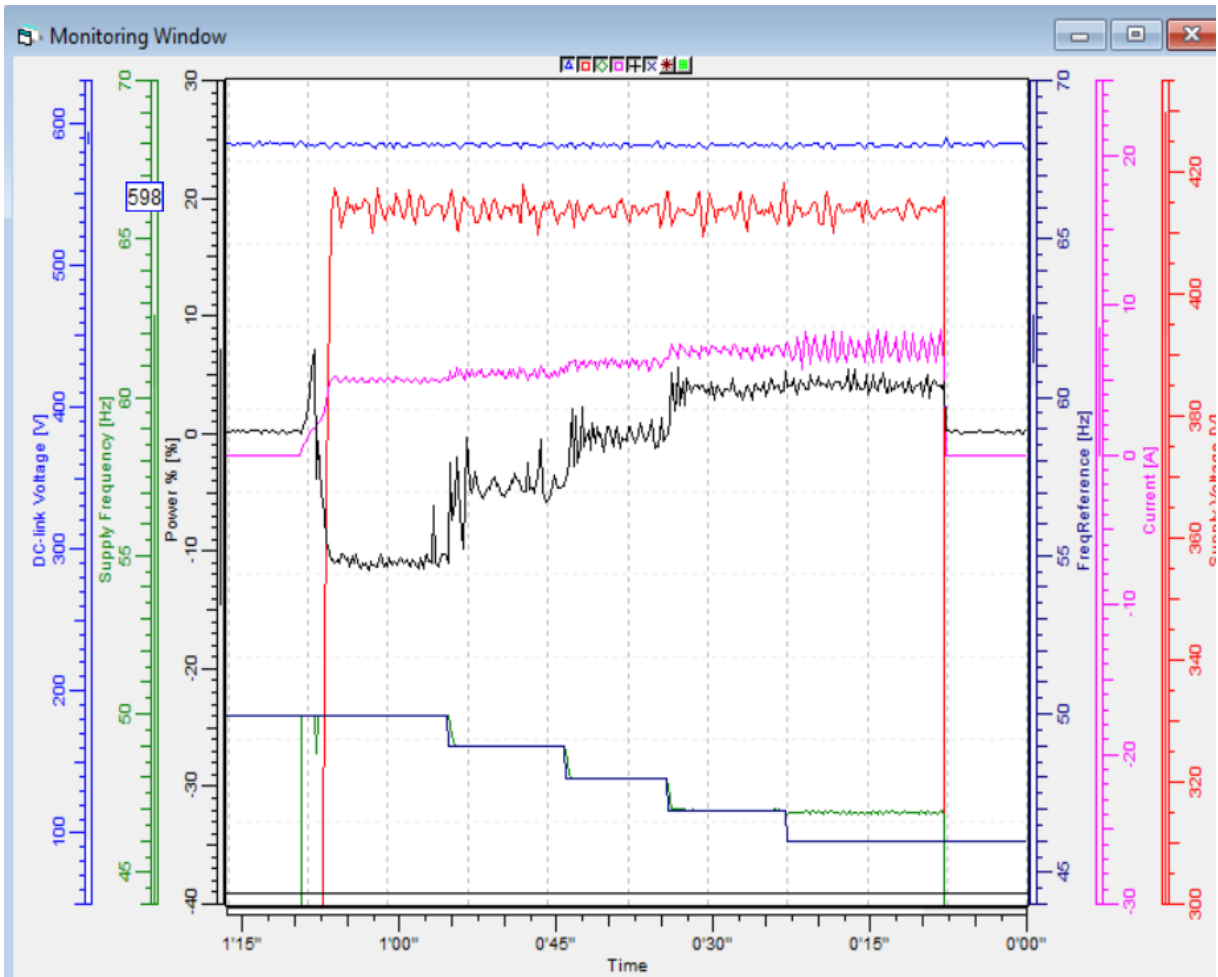
Figur 38: Skjerm bilde fra monitor vindu under Marine testing

7.2 Testing uGrid-applikasjon

Under følger bilde fra "NC-Drive" fra testing av uGrid-applikasjonen. Motoren kjøres med konstant frekvens på 50 Hz. Observasjoner fra diagrammet viser at ved 47 Hz, vil ikke omformeren ha lavere turtall. Dette er fordi det ligger en strømbegrensning på omformeren. Det blir observert at strømmen ligger ved 7,5 A ved siste test, som er omformerens strømgrense. Verdiene varierer veldig, og dette kommer av at det er to omformere som jobber og regulerer mot hverandre. Det har mye å si hvilken applikasjon vi bruker, da dette ikke var tilfellet ved testing av Marine-applikasjonen.

μGrid-applikasjon	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5
Freq. Ref [Hz]	50 Hz	49 Hz	48 Hz	47 Hz	46 Hz
Supply Freq [Hz]	50 Hz	49 Hz	48 Hz	47,02 Hz	46,96 Hz
DC-Voltage [V]	586 V	586 V	586 V	586 V	586 V
Supply Voltage [V]	414,7 V	414,8 V	414,7 V	414,5 V	414,7 V
Current [A]	4,8 A	5,7 A	6,2 A	6,8 A	7,3 A
Power [%]	-11,8 %	-4,9 %	+ - 0,5 %	4,2 %	4,5 %

Tabell 3: Resultater av testing, μ Grid-applikasjon



Figur 39: Skjerm bilde fra monitor vindu under μ Grid testing

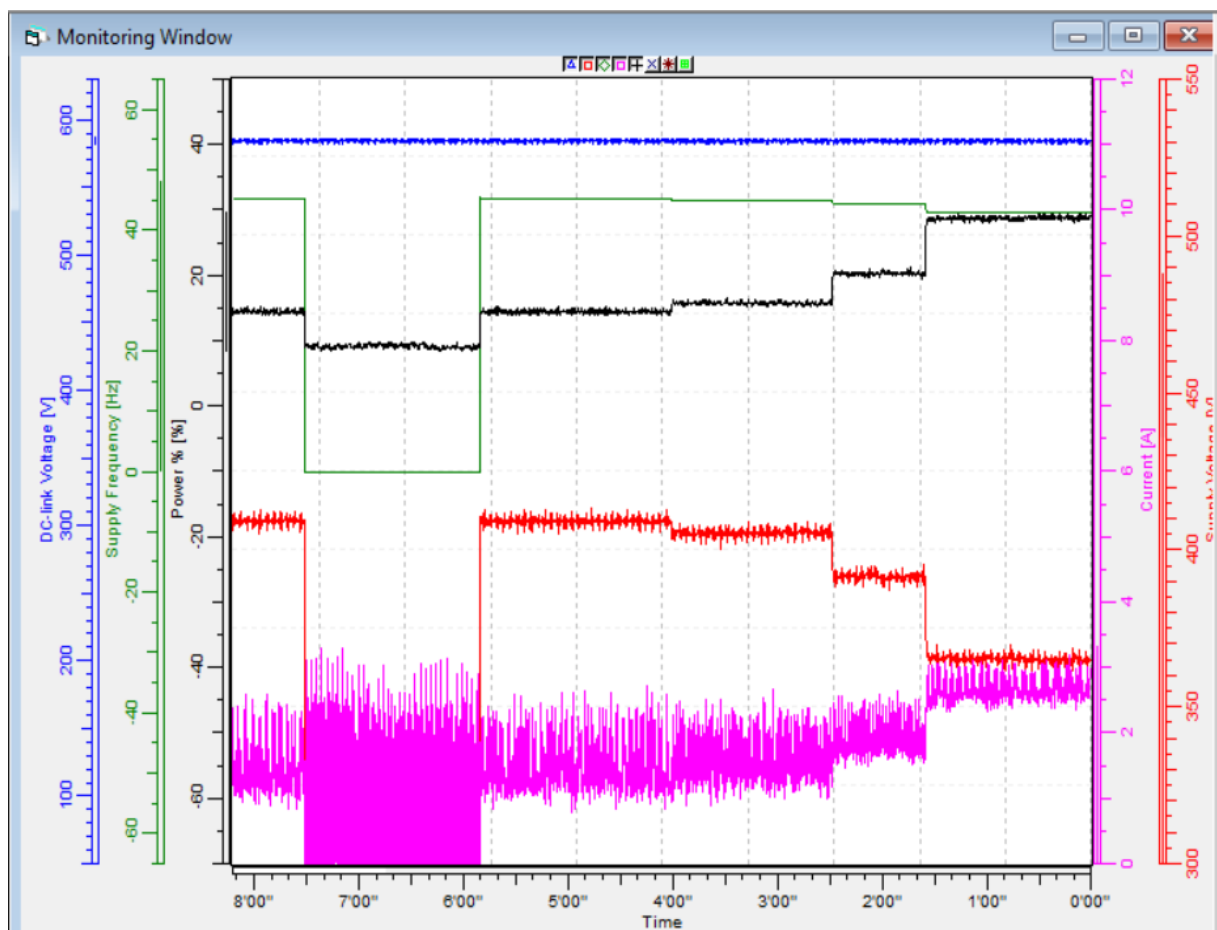
7.3 Testing AFE-applikasjon

Under følger bilde fra "NC-Drive" fra testing av AFE-applikasjonen. Denne applikasjonen har ingen frekvensreferanse vi kan justere, og dermed endrer vi "DC-drooping" for å simulere lastendring. Under del 6: "Realisering av valgt løsning", var ikke denne applikasjonen mulig å realisere uten ekstra komponenter. Hadde vi brukt en vanlig synkronmaskin i stedet, ville situasjonen vært ganske annerledes. NES bruker vanligvis en slik maskin i sine systemer, og gruppen forsto tidlig hvorfor de gjør dette. AFE-applikasjonen egner seg veldig godt som generatorapplikasjon når det brukes synkronmaskin.

Når gruppen fikk magnetisert motoren, så vi at energien flyter naturlig gjennom friløpsdiodene. Dette ville vært tilfellet med alle applikasjonene. Gruppen ble enige om at å endre drooping på omformeren, var en måte å kunne regulere lasten på motoren. Om det er den mest optimale måten å gjøre det på er en annen sak. Vi får ikke se endring i fortegn av effekten på denne applikasjonen. Årsaken er at den ikke leverer noe til motoren ved start, noe som viser til nødvendigheten av å montere kondensatorene i systemet.

AFE-applikasjon	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5
Drooping [%]	AFE Av.	10 %	8 %	6 %	4 %
DC-voltage [V]	586 V	586 V	585 V	586 V	585 V
Supply Voltage [V]	415 V	409 V	405 V	393 V	366 V
Supply Freq. [Hz]	46,4 Hz	45,3 Hz	45,1 Hz	44,5 Hz	43 Hz
Current [A]	1,9 A	2,2 A	2,1 A	2,3 A	2,9 A
Power [%]	9,5 %	14,8 %	15,9 %	20,6 %	28,8 %

Tabell 4: Resultater av testing, AFE applikasjon



Figur 40: Skjerm bilde fra monitor vindu under Marine testing

7.4 Testing PLS-styring

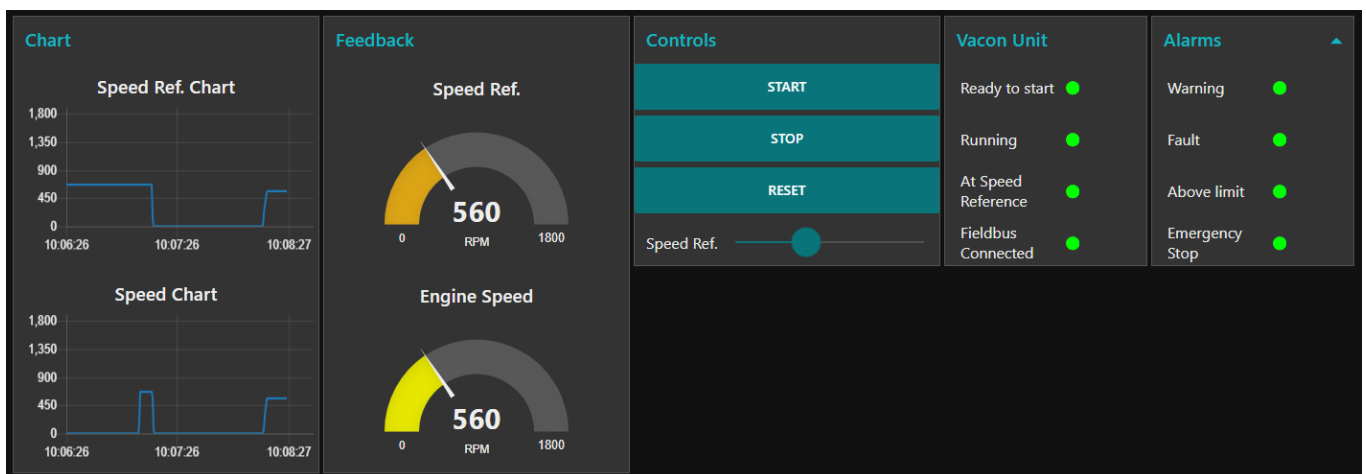
Motoren blir kjørt fra PLS via omformereren. Vi testet start, stopp og frekvenskjøring.

Hastigheten til motoren blir bestemt av frekvensen. Fra PLC blir det sendt et signal fra 0 til 10000, som tilsvarer 0 til 50 Hz.

For å få startsignal må signal ON og Start være aktiv. Samtidig skal “*coasting stop not active*”, “*quick stop not active*”, “*release speed ramp output/input*” og “*fieldbus control enable*” være aktiv. Programmene fungerte slik de skulle i henhold til programmene vi lagde under realiseringen av PLS-styring.

7.5 Testing HMI med "Node-RED"

Gruppen ønsket å designe en HMI visning for kjøring av en frekvensomformer. Resultatet ligger under avsnittet. Det er tre digitale innganger på visningen: Start, stop og reset, i tillegg til en analog som styrer hastigheten. Fra PLS leser vi av totalt 8 digitale signaler. Det vises også to analoge verdier for “*Speed Ref.*” og “*Engine Speed*”. Fra disse verdiene blir det også generert en grafisk visning over tid. Under vedlegg ligger større oversikt over realiseringen av HMI.



Figur 41: Skjerm bilde av HMI display

8 Diskusjon

I henhold til fremdriftsplanen har gruppen hatt god oversikt over hvilke arbeidsoppgaver som skulle gjøres og løses til enhver tid. Gruppen har brukt mesteparten av tiden til å arbeide med oppgaven ute på NES sitt lokale. Før gruppemedlemmene satt i gang med sine respektive arbeidsoppgaver, har det på forhånd vært nøye gjennomgang av hva som skulle analyseres, løses og eventuelle utfordringer for dagen. Slik sikret vi oss å kunne holde jevn arbeidsflyt gjennom hele semesteret.

Med en slik bacheloroppgave, der gruppemedlemmene hadde lite kunnskap om temaet på forhånd, ville det by på utfordringer. NES har dyktige ingeniører som har vært tilgjengelig og samarbeidsvillige om gruppen støtte på problemer. Intern veileder på høyskolen har også vært tilgjengelig og bidratt ved behov.

Gruppen ble oppmerksom på via veiledning, at det kunne vært nyttig å lage testprotokoller ved kjøringen av de ulike applikasjonene. Dette for å sikre et bedre oversikt av testing som skulle utføres, mål, gjennomføring og tiltak for hurtigere å kunne løse problemer som skulle oppstå. Vi mener at testrutinene og forhåndsanalysene som ble gjennomført, ga oss tilstrekkelig informasjon for å oppnå ønsket resultat av testene, og valgte derfor å fortsette testing på samme måte som før. Delen av rapporten som inneholder testing er markert og kommentert i timelisten. I og med at gruppen hadde gode beskrivelser på testing og utførelsen av disse på forhånd, konkluderte vi med at planen var god nok til å oppnå ønsket resultat.

Oppkoblingen av anlegget ble utført av en service-ingeniør, ansatt ved NES. Denne personen ble kontaktpersonen til gruppen for alt som omhandlet kobling på testanlegget.

Gruppemedlemmene utførte koblingen av kondensatorene og transformator på anlegget, og dette ble sett over av kontaktpersonen før testene ble gjennomført med spenning.

Under testing av de forskjellige applikasjonene har gruppen støtt på problemer underveis. Dette innebærer parameter, feilmeldinger i Vacon-enheten til frekvensomformereren og kommunikasjon med Bachmann PLS. Programvaren til Vacon har mange forskjellige feilmeldinger, og mange av disse vil hindre omformereren å starte. Da vår modell bare representerer deler av et skip, vil ikke alle feilmeldingene være relevant for vår oppgave. Vi har derfor måtte endre på en del av disse for å kunne utføre videre testing.

Når det kommer til resultatene under testing, ble det tidlig klart for gruppen at AFE-applikasjonen er et godt valg. Dette var ikke tydelig for oss i starten av semesteret, da vi ikke

klarte å kjøre applikasjonen med induksjonsmotoren uten bruk av ekstra komponenter til systemet. Oppgaven er preget av at vi måtte bruke induksjonsmotor da den var en del av modellen, og det var denne vi hadde å jobbe med. Dersom det var en synkronmaskin gruppen jobbet med, ville oppgaven sett annerledes ut. Dette ser vi på som en fordel for å kunne løse problemstillingen, da det ga oss flere utfordringer og tvang oss til å komme opp med en alternative løsninger som fungerte for vårt nettverk.

Målet med oppgaven er ikke å finne ut hvilken av applikasjonene som egner seg best, men heller å finne ut om de egner seg i det hele tatt. Fokuset er først og fremst å forstå hvordan applikasjonene fungerer, og hva som skal til for å bruke de som generator-applikasjon. Gruppen ønsket fra start å vise til fysiske resultater, og dette er analysert og presentert i kapittel: "7 Testing". Hovedpoenget med tabellene er å vise når generatoren skifter fra å bruke energi, til å levere tilbake energi til systemet.

Målet med å bruke PLS i oppgaven, er å kunne styre motoren via denne. Vi valgte Bachmann PLS, noe som var nytt for oss. Bachmann er en veldig kraftig PLS med mange bruksområder. To av studentene fikk i hovedoppgave å programmere og sette opp PLS-en. Programmeringen er gjort i "*Solution Center*". Etter å ha opprettet kommunikasjonen over Profinet, fikk vi startet motoren.

Oppgaven har potensiale til å utvides. Gruppen ønsket å teste mer på uGrid-applikasjonen, og videre utforske de forskjellige modusene på denne. Vi ønsket å undersøke PID-regulatoren til frekvensomformerer i enda større grad, men valgte heller å drøfte godt rundt PID og informasjonen vi fikk ut av databladene/ informasjon på nett.

Det er også ønskelig å teste PLS programmene på den store testmodellen på NES, og ikke bare opp mot testkoffertene. Det var litt for lite tid på slutten, og gruppen mener det er gjennomført tilstrekkelig med analyser og gode tester med koffertene. Gruppen har sett på hvordan vi kan opprette skylagring med "*Node-RED*", og dette er definitivt mulig. Årsaken til at vi ikke har sett videre på dette, er at det ville blitt vanskelig å utføre på det sikre nettverket til NES.

9 Konklusjon

Gjennom kontinuerlig arbeid på testmodellen har vi kunnet kjøre de testene vi hadde planlagt på forhånd. Det har gått mye tid til å lese seg opp på fagstoff, verifisere kilder, analysere oppgaver nøye før skriving, og sørge for at applikasjonene fungerer på systemet.

Ved analysering og testing av applikasjonene, mener gruppen at AFE-applikasjonen egner seg best som generatorapplikasjon. Det er mulig å bruke andre applikasjoner på generatoren, men disse har ikke samme fordelene med hensyn til bruksområde, som det AFE-applikasjonen har. Applikasjonen er designet for å ta den spenningen den får inn og likerette den til en spesifikk DC-spenning. Den har enkel og god oppbygging som egner seg best til å løse problemstillingen.

Under arbeidet med PLS hadde vi behov for veiledning av NES under oppstarten av dette. PLS'en av type "*Bachmann*" var nytt for alle grupped medlemmene, og det var mye å sette seg inn i for å kunne kjøre programmene vi hadde planlagt på forhånd.

Gruppen sitter igjen med verdifulle erfaringer knyttet til arbeidet med PLS og PC-verktøyene vi har brukt for å løse oppgaven på best mulig måte. Fordelen med å jobbe på NES er at vi har kommet tettere på arbeidslivet som ingeniør, og ser at programmene vi har brukt er svært mye i bruk på virkelige ingeniør-prosjekter.

Takket være ingeniører hos NES som til daglig jobber med automatiseringsoppgaver, fikk vi god veiledning til å løse utfordringene vi hadde med styring av frekvensomformerne via PLS, PC og HMI. Alle på gruppen fikk kjørt grundige automatiseringsprosesser til omformerne, som var svært nyttig for å skaffe et større oversiktsbilde av oppgaven, og for å få et godt innblikk i frekvensomformerens viktige arbeidsoppgaver opp mot det elektriske nettverket på skip. Dette var den største utfordringen for grupped medlemmene, med tanke på at vi har mest kunnskap og erfaringer knyttet til Elkraftteknikk og sterkstrøm.

Det har vært interessant å bruke "Node-RED" programmet sammen med "*Bachmann*" PLS, for å lære om de forskjellige måtene de kan kommunisere med hverandre. Dette var et godt hjelpemiddel med mange nyttige bruksområder, for å kunne få et "*virkelig*" instrumenteringspanel til overvåkning av driften. Utviklingen av programmet opp mot oppgaven vår, gjør at vi kan vise frem testkoffert, PLS og PC med HMI på presentasjonene og EXPO. Dette gjør at folk kan få lov til å fysisk benytte vårt betjeningspanel, til å starte/ stoppe frekvensomformeren, og kjøre opp/ned turtall, samtidig som de kan overvåke driften.

10 Vedlegg

10.1 Vedlegg 1: Kondensatorberegning

Minimum kapasitans per fase blir dermed:

$$C = \frac{1}{2\pi f X_c}$$
$$C = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 137,93}$$
$$C = 23,08\mu\text{F}$$

$$P = 4826,7\text{W}$$

Reaktiv effekt:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$
$$Q = \sqrt{6109,8^2 - 4826,7^2}$$
$$Q = 3746,0\text{VAR}$$

For å kjøre motoren som generator må kondensatorene levere minst:

$$Q_f = \frac{3746,0}{3}$$
$$Q_f = 1248,7\text{VAR per fase}$$

Kapazitiv strøm:

$$I_c = \frac{Q_f}{U}$$
$$I_c = \frac{1248,7}{415}$$
$$I_c = 3,01\text{A}$$

Kapazitiv reaktans per fase:

$$X_c = \frac{U}{I_c}$$
$$X_c = \frac{415}{3,01}$$
$$X_c = 137,93\Omega$$

Figur 42: Kondensatorberegninger

10.2 Vedlegg 2: Forslag til innstilling av regulatorparametre, PID-regulator

Enheter	PID
$\angle Gp(j\omega\theta c)$	$\varphi M - 200^\circ$
Ti	$\frac{2,8}{\omega\varphi c}$
Td	$\frac{1}{\omega\varphi c}$
[Kr]dB	$- Gp(j\omega\theta c) _{dB} = -4 \text{ dB}$

Figur 43: Forslag til regulatorparametre

10.3 Vedlegg 3: Matlab-fil for dimensjonering av PID-regulator

```
% Dimensjonering av PID-regulator
```

```
K=18.2;
G1=tf(K*[1],[1 1]);
G2=tf([1],[20 1]);
G3=tf([1],[1681 82 1]);
GP=G1*G2*G3
bode(GP);
grid on
bode(GP,{0.001,1}); grid on

KR=0.158;
Ti=73.7;
Td=26.3;
Gi=tf([Ti 1],[Ti 0]);
Gd=tf([Td 1],[Td/10 1]);
GR=KR*Gi*Gd;
G=GR*GP;
bode(G,{0.001,1}); grid on
margin(G)

PID=feedback(G,1);
step(PID);
axis([0 250 0 1.4])
```

Figur 44: Matlab-fil for dimensjonering av PID-regulator i frekvensplan

10.4 Vedlegg 4: PLS program (Testsimulering)

```
PROGRAM PLC_PRG
```

```
VAR
```

```
(* Variabler *)
```

```
Retvalue1: MIO_RETVALUE;
```

```
Retvalue2: MIO_RETVALUE;
```

```
b0_On_vc1: BOOL;
```

```
b1_CoastingStop_vc1: BOOL := TRUE;
```

```
b2_QuickStop_vc1: BOOL := TRUE;
```

```
b3_start_vc1: BOOL;
```

```
b4_rampZeroOut_vc1: BOOL := TRUE;
```

```
b5_rampHold_vc1: BOOL := TRUE;
```

```
b6_rampZeroIn_vc1: BOOL := TRUE;
```

```
b7_Reset_vc1: BOOL;
```

```
b10_FbEnable_vc1: BOOL := TRUE;
```

```
b11_Watchdog_vc1: BOOL;
```

```
b12_On_vc2: BOOL;
```

```
b13_CoastingStop_vc2: BOOL := TRUE;
```

```
b14_QuickStop_vc2: BOOL := TRUE;
```

```
b15_start_vc2: BOOL;
```

```
b16_rampZeroOut_vc2: BOOL := TRUE;
```

```
b17_rampHold_vc2: BOOL := TRUE;
```

```
b18_rampZeroIn_vc2: BOOL := TRUE;
```

```
b19_Reset_vc2: BOOL;
```

```
b20_FbEnable_vc2: BOOL := TRUE;
```

```
b21_Watchdog_vc2: BOOL;
```

```
b22_ReadyToSwitchOn_vc1: BOOL;
```

```
b23_ReadyToOperate_vc1: BOOL;
```

```
b24_Running_vc1: BOOL;
```

```
b25_FaultActive_vc1: BOOL;
```

```
b26_CoastStopNotActive_vc1: BOOL;
b27_EmStopNotActive_vc1: BOOL;
b28_SwitchOnInhibit_vc1: BOOL;
b29_Warning_vc1: BOOL;
b30_SpeedAtRef_vc1: BOOL;
b31_FbControlActive_vc1: BOOL;
b32_AboveLimit_vc1: BOOL;
b33_ReadyToSwitchOn_vc2: BOOL;
b34_ReadyToOperate_vc2: BOOL;
b35_Running_vc2: BOOL;
b36_FaultActive_vc2: BOOL;
b37_CoastStopNotActive_vc2: BOOL;
b38_EmStopNotActive_vc2: BOOL;
b39_SwitchOnInhibit_vc2: BOOL;
b40_Warning_vc2: BOOL;
b41_SpeedAtRef_vc2: BOOL;
b42_FbControlActive_vc2: BOOL;
b43_AboveLimit_vc2: BOOL;
MyTimer1: TON;
Speed: DINT := 0;
b_Start: BOOL := FALSE;
b_Stopp: BOOL := FALSE;
b_SP: BOOL;
StartTime: BOOL;
SW_vc1: DINT;
SW_vc2: DINT;
cw_vc1: DINT;
cw_vc2: DINT;
card_id_vc1: DINT;
card_id_vc2: DINT;
```

Value1: DINT;

Value2: DINT;

Value3: DINT;

Value4: DINT;

speedRef_vc1: DINT := 0;

speedRef_vc2: DINT := 0;

END_VAR

(* Hovedprogram *)

(* Setter kontrollordet *)

cw_vc1.0 := b0_On_vc1;

cw_vc1.1 := b1_CoastingStop_vc1;

cw_vc1.2 := b2_QuickStop_vc1;

cw_vc1.3 := b3_start_vc1;

cw_vc1.4 := b4_rampZeroOut_vc1;

cw_vc1.5 := b5_rampHold_vc1;

cw_vc1.6 := b6_rampZeroIn_vc1;

cw_vc1.7 := b7_Reset_vc1;

cw_vc1.10 := b10_FbEnable_vc1;

cw_vc2.0 := b12_On_vc2;

cw_vc2.1 := b13_CoastingStop_vc2;

cw_vc2.2 := b14_QuickStop_vc2;

cw_vc2.3 := b15_start_vc2;

cw_vc2.4 := b16_rampZeroOut_vc2;

cw_vc2.5 := b17_rampHold_vc2;

cw_vc2.6 := b18_rampZeroIn_vc2;

cw_vc2.7 := b19_Reset_vc2;

cw_vc2.10 := b20_FbEnable_vc2;

(* Finner kort ID *)


```
card_id_vc1 := Mio_GetIdToCard(CardNum := 15102);
```

```
card_id_vc2 := Mio_GetIdToCard(CardNum := 15202);
```

```
(* Leser av verdi fra status ordet *)
```

```
Retvalue1 := Mio_GetValue(CardId := card_id_vc1, Chan := 1);
```

```
SW_vc1 := Retvalue1.Value;
```

```
Retvalue2 := Mio_GetValue(CardId := card_id_vc2, Chan := 1);
```

```
SW_vc2 := Retvalue2.Value;
```

```
(* Setter variablene lik status ordet *)
```

```
b22_ReadyToSwitchOn_vc1 := SW_vc1.0;
```

```
b23_ReadyToOperate_vc1 := SW_vc1.1;
```

```
b24_Running_vc1 := SW_vc1.2;
```

```
b25_FaultActive_vc1 := SW_vc1.3;
```

```
b26_CoastStopNotActive_vc1:= SW_vc1.4;
```

```
b27_EmStopNotActive_vc1 := SW_vc1.5;
```

```
b28_SwitchOnInhibit_vc1 := SW_vc1.6;
```

```
b29_Warning_vc1 := SW_vc1.7;
```

```
b30_SpeedAtRef_vc1 := SW_vc1.8;
```

```
b31_FbControlActive_vc1 := SW_vc1.9;
```

```
b32_AboveLimit_vc1 := SW_vc1.10;
```

```
b33_ReadyToSwitchOn_vc2 := SW_vc2.0;
```

```
b34_ReadyToOperate_vc2 := SW_vc2.1;
```

```
b35_Running_vc2 := SW_vc2.2;
```

```
b36_FaultActive_vc2 := SW_vc2.3;
```

```
b37_CoastStopNotActive_vc2:= SW_vc2.4;
```

```
b38_EmStopNotActive_vc2 := SW_vc2.5;
```

```
b39_SwitchOnInhibit_vc2 := SW_vc2.6;
```

```
b40_Warning_vc2 := SW_vc2.7;
```

```
b41_SpeedAtRef_vc2 := SW_vc2.8;
```

```
b42_FbControlActive_vc2 := SW_vc2.9;
b43_AboveLimit_vc2      := SW_vc2.10;

(* Start stopp *)
IF b_Stopp THEN
    b_SP := FALSE;
ELSIF b_Start THEN
    b_SP := TRUE;
END_IF

(* Starter opp VC1 og VC2. Setter hastighet til motor 1 *)
IF b_SP THEN
    b0_On_vc1 := TRUE;
    b3_start_vc1 := TRUE;
    b12_On_vc2 := TRUE;
    b15_start_vc2 := TRUE;
    speedRef_vc1 := 1500;
ELSE
    b0_On_vc1 := FALSE;
    b3_start_vc1 := FALSE;
    b12_On_vc2 := FALSE;
    b15_start_vc2 := FALSE;
    speedRef_vc1 := 0;
    speedRef_vc2 := 0;
    Speed := 0;
END_IF

(* Setter opp timer *)
MyTimer1(IN:=StartTime,PT:=T#5S);
StartTime := b30_SpeedAtRef_vc1;
IF MyTimer1.Q THEN
    Speed := Speed + 1;
```

```
    IF Speed > 5 THEN
        Speed := 5;
    END_IF
    StartTime := FALSE;
END_IF

(* Setter hastighet til motor 2 *)
CASE Speed OF
    1: speedRef_vc2 := 10000;
    2: speedRef_vc2 := 9800;
    3: speedRef_vc2 := 9600;
    4: speedRef_vc2 := 9400;
    5: speedRef_vc2 := 9200;
ELSE
    speedRef_vc2 := 0;
END_CASE;

(* Skriver verdier til PLS'en *)
Value1 := Mio_SetValue(card_id_vc1, 2, cw_vc1);
Value2 := Mio_SetValue(card_id_vc1, 4, speedRef_vc1);
Value3 := Mio_SetValue(card_id_vc2, 2, cw_vc2);
Value4 := Mio_SetValue(card_id_vc2, 4, speedRef_vc2);
END_PROGRAM
```

10.5 Vedlegg 5: PLS Program (Styring av 2 omformere)

```
PROGRAM PLC_PRG_2
```

```
VAR
```

```
(* Variabler *)
```

```
Retvalue1: MIO_RETVALUE;
```

```
Retvalue2: MIO_RETVALUE;
```

```
b0_On_vc1: BOOL;
```

```
b1_CoastingStop_vc1: BOOL := TRUE;
```

```
b2_QuickStop_vc1: BOOL := TRUE;
```

```
b3_start_vc1: BOOL;
```

```
b4_rampZeroOut_vc1: BOOL := TRUE;
```

```
b5_rampHold_vc1: BOOL := TRUE;
```

```
b6_rampZeroIn_vc1: BOOL := TRUE;
```

```
b7_Reset_vc1: BOOL;
```

```
b10_FbEnable_vc1: BOOL := TRUE;
```

```
b11_Watchdog_vc1: BOOL;
```

```
b12_On_vc2: BOOL;
```

```
b13_CoastingStop_vc2: BOOL := TRUE;
```

```
b14_QuickStop_vc2: BOOL := TRUE;
```

```
b15_start_vc2: BOOL;
```

```
b16_rampZeroOut_vc2: BOOL := TRUE;
```

```
b17_rampHold_vc2: BOOL := TRUE;
```

```
b18_rampZeroIn_vc2: BOOL := TRUE;
```

```
b19_Reset_vc2: BOOL;
```

```
b20_FbEnable_vc2: BOOL := TRUE;
```

```
b21_Watchdog_vc2: BOOL;
```

```
b22_ReadyToSwitchOn_vc1: BOOL;
```

```
b23_ReadyToOperate_vc1: BOOL;
```

```
b24_Running_vc1: BOOL;
```

```
b25_FaultActive_vc1: BOOL;
```

b26_CoastStopNotActive_vc1: **BOOL**;
b27_EmStopNotActive_vc1: **BOOL**;
b28_SwitchOnInhibit_vc1: **BOOL**;
b29_Warning_vc1: **BOOL**;
b30_SpeedAtRef_vc1: **BOOL**;
b31_FbControlActive_vc1: **BOOL**;
b32_AboveLimit_vc1: **BOOL**;
b33_ReadyToSwitchOn_vc2: **BOOL**;
b34_ReadyToOperate_vc2: **BOOL**;
b35_Running_vc2: **BOOL**;
b36_FaultActive_vc2: **BOOL**;
b37_CoastStopNotActive_vc2: **BOOL**;
b38_EmStopNotActive_vc2: **BOOL**;
b39_SwitchOnInhibit_vc2: **BOOL**;
b40_Warning_vc2: **BOOL**;
b41_SpeedAtRef_vc2: **BOOL**;
b42_FbControlActive_vc2: **BOOL**;
b43_AboveLimit_vc2: **BOOL**;
bStart_vc1: **BOOL**;
bStopp_vc1: **BOOL**;
bStart_vc2: **BOOL**;
bStopp_vc2: **BOOL**;
bSP_vc1: **BOOL**;
bSP_vc2: **BOOL**;
M1: **BOOL**;
SW_vc1: **DINT**;
SW_vc2: **DINT**;
cw_vc1: **DINT**;
cw_vc2: **DINT**;
card_id_vc1: **DINT**;

card_id_vc2: DINT;

Value1: DINT;

Value2: DINT;

Value3: DINT;

Value4: DINT;

speedRef_vc1: DINT;

speedRef_vc2: DINT;

END_VAR

(* Hovedprogram *)

(* Setter kontroll ordet for vc1 *)

cw_vc1.0 := b0_On_vc1;

cw_vc1.1 := b1_CoastingStop_vc1;

cw_vc1.2 := b2_QuickStop_vc1;

cw_vc1.3 := b3_start_vc1;

cw_vc1.4 := b4_rampZeroOut_vc1;

cw_vc1.5 := b5_rampHold_vc1;

cw_vc1.6 := b6_rampZeroIn_vc1;

cw_vc1.7 := b7_Reset_vc1;

cw_vc1.10 := b10_FbEnable_vc1;

(* Setter kontroll ordet for vc2 *)

cw_vc2.0 := b12_On_vc2;

cw_vc2.1 := b13_CoastingStop_vc2;

cw_vc2.2 := b14_QuickStop_vc2;

cw_vc2.3 := b15_start_vc2;

cw_vc2.4 := b16_rampZeroOut_vc2;

cw_vc2.5 := b17_rampHold_vc2;

cw_vc2.6 := b18_rampZeroIn_vc2;

cw_vc2.7 := b19_Reset_vc2;

```
cw_vc2.10 := b20_FbEnable_vc2;
```

```
(* Finner kort ID *)
```

```
card_id_vc1 := Mio_GetIdToCard(CardNum := 15102);
```

```
card_id_vc2 := Mio_GetIdToCard(CardNum := 15202);
```

```
(* Leser av verdi fra status ordet *)
```

```
Retvalue1 := Mio_GetValue(CardId := card_id_vc1, Chan := 1);
```

```
SW_vc1 := Retvalue1.Value;
```

```
Retvalue2 := Mio_GetValue(CardId := card_id_vc2, Chan := 1);
```

```
SW_vc2 := Retvalue2.Value;
```

```
(* Setter variablene lik status ordet *)
```

```
b22_ReadyToSwitchOn_vc1 := SW_vc1.0;
```

```
b23_ReadyToOperate_vc1 := SW_vc1.1;
```

```
b24_Running_vc1 := SW_vc1.2;
```

```
b25_FaultActive_vc1 := SW_vc1.3;
```

```
b26_CoastStopNotActive_vc1:= SW_vc1.4;
```

```
b27_EmStopNotActive_vc1 := SW_vc1.5;
```

```
b28_SwitchOnInhibit_vc1 := SW_vc1.6;
```

```
b29_Warning_vc1 := SW_vc1.7;
```

```
b30_SpeedAtRef_vc1 := SW_vc1.8;
```

```
b31_FbControlActive_vc1 := SW_vc1.9;
```

```
b32_AboveLimit_vc1 := SW_vc1.10;
```

```
b33_ReadyToSwitchOn_vc2 := SW_vc2.0;
```

```
b34_ReadyToOperate_vc2 := SW_vc2.1;
```

```
b35_Running_vc2 := SW_vc2.2;
```

```
b36_FaultActive_vc2 := SW_vc2.3;
```

```
b37_CoastStopNotActive_vc2:= SW_vc2.4;
```

```
b38_EmStopNotActive_vc2 := SW_vc2.5;
```

```
b39_SwitchOnInhibit_vc2 := SW_vc2.6;  
b40_Warning_vc2         := SW_vc2.7;  
b41_SpeedAtRef_vc2     := SW_vc2.8;  
b42_FbControlActive_vc2 := SW_vc2.9;  
b43_AboveLimit_vc2     := SW_vc2.10;
```

```
(* Gjør at stopp bestemmer vc1 *)
```

```
IF bStopp_vc1 THEN  
    bSP_vc1 := FALSE;  
ELSIF bStart_vc1 THEN  
    bSP_vc1 := TRUE;  
END_IF
```

```
(* Starter vc1 *)
```

```
IF bSP_vc1 THEN  
    b0_On_vc1 := TRUE;  
    b3_start_vc1 := TRUE;  
    speedRef_vc1 := 1000;  
ELSE  
    b0_On_vc1 := FALSE;  
    b3_start_vc1 := FALSE;  
    speedRef_vc1 := 0;  
END_IF
```

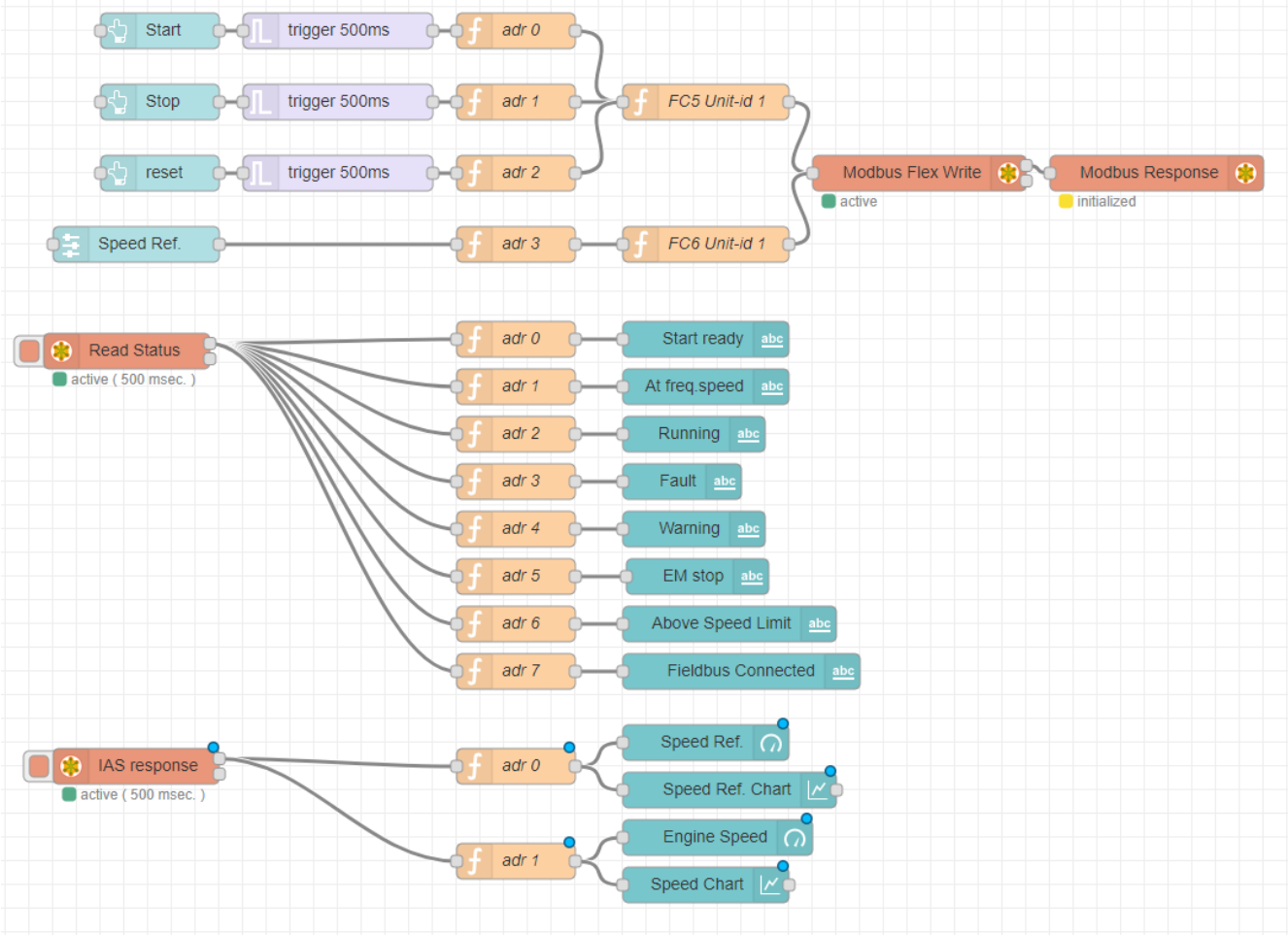
```
(* Gjør at stopp bestemmer vc2 *)
```

```
IF bStopp_vc2 THEN  
    bSP_vc2 := FALSE;  
ELSIF bStart_vc2 THEN  
    bSP_vc2 := TRUE;  
END_IF
```



```
(* Starter vc2 *)  
IF bSP_vc2 THEN  
    b12_0n_vc2 := TRUE;  
    b15_start_vc2 := TRUE;  
    speedRef_vc2 := 1000;  
ELSE  
    b12_0n_vc2 := FALSE;  
    b15_start_vc2 := FALSE;  
    speedRef_vc2 := 0;  
END_IF  
  
END_PROGRAM
```

10.6 Vedlegg 6: "Node-RED" HMI program



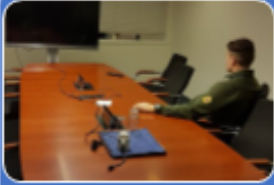
Figur 45: "Node-RED" HMI program

10.7 Vedlegg 7: Prosjektledelse

Navn	Arbeidsområde
Marius Reigstad	Kontaktperson, prosjektleder
Fredrik Storebø	PLS, automatisering, teknisk kompetanse
Roger Dale	Rapportansvarlig, teknisk kompetanse
Sindre Skotaam	Møteorganisasator, referent og teknisk kompetanse

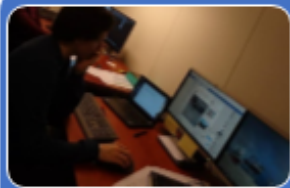
Arbeidsoppgaver ble delt inn etter ønske og erfaring på arbeidsområdet, med mål om at alle skal ha fått jobbet og sett på alle deloppgaver mot realiseringen av valgt løsning. Praktiske oppgaver ble gjennomført mest mulig i fellesskap, og de teoretiske oppgavene har blitt delt inn i ulike ansvarsområder.

10.8 Vedlegg 8: Prosjektfaser



Fase 1

- Valg av oppgave (Vurdere ulike løsningsforslag)
- Møter med gruppe, ekstern og intern veileder
- Definerings og videre analyse av oppgave hos Norwegian Electric Systems AS
- Forstudie jobbing



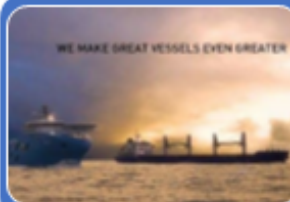
Fase 2

- Vurdere og analysere innsamlet data
- Utarbeide arbeidstegninger, skjemaer og teorier bak modulbeskrivelsene
- Gjøre seg kjent med applikasjonssoftware til de industrielle konverter modulene



Fase 3

- Testing av labmodellen på serviceavdeling hos NES
- Koble opp og styre PLS
- Utarbeide videre analyser og data fra forsøk på modellen

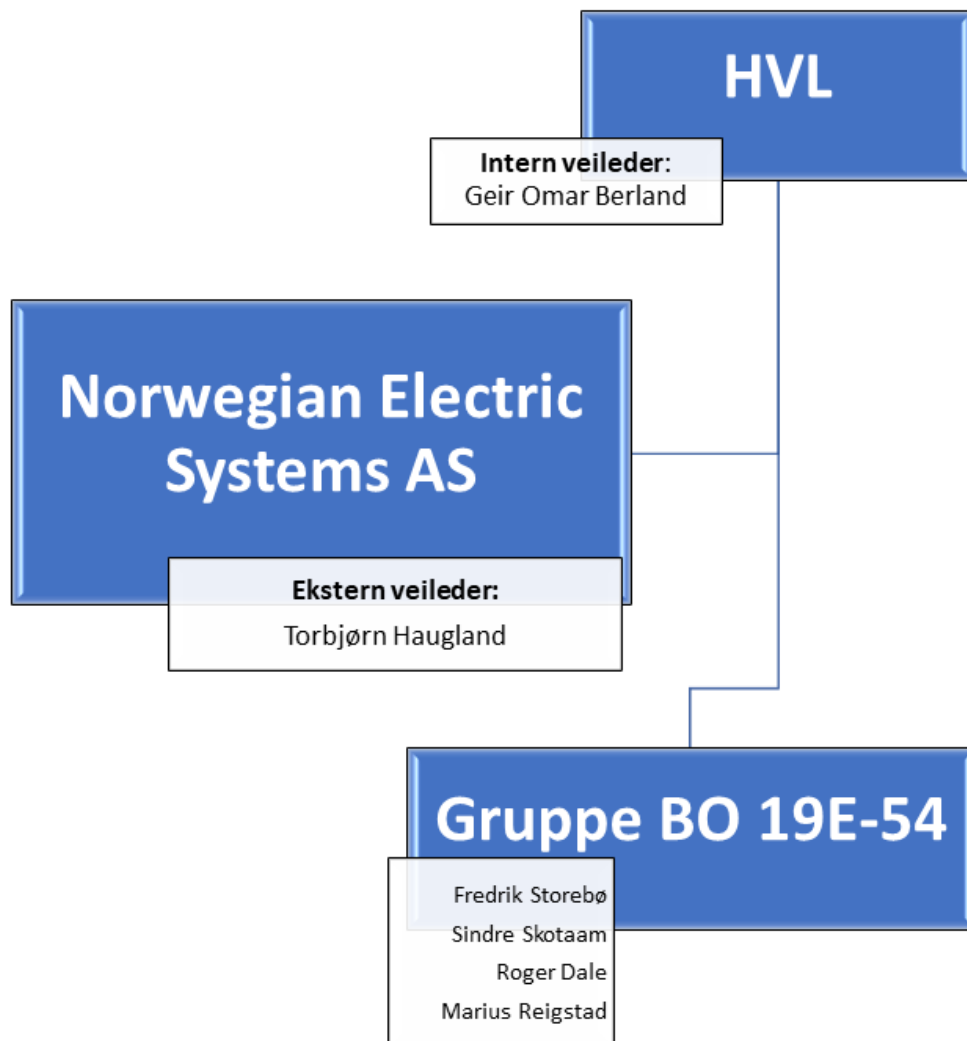


Fase 4

- Ferdigstilling av rapport
- Forberedelse til EXPO og presentasjon
- Evaluering av bacheloroppgaven og gjennomføringen av arbeidet

Figur 46: Prosjektfaser

10.9 Vedlegg 9: Organisasjonskart



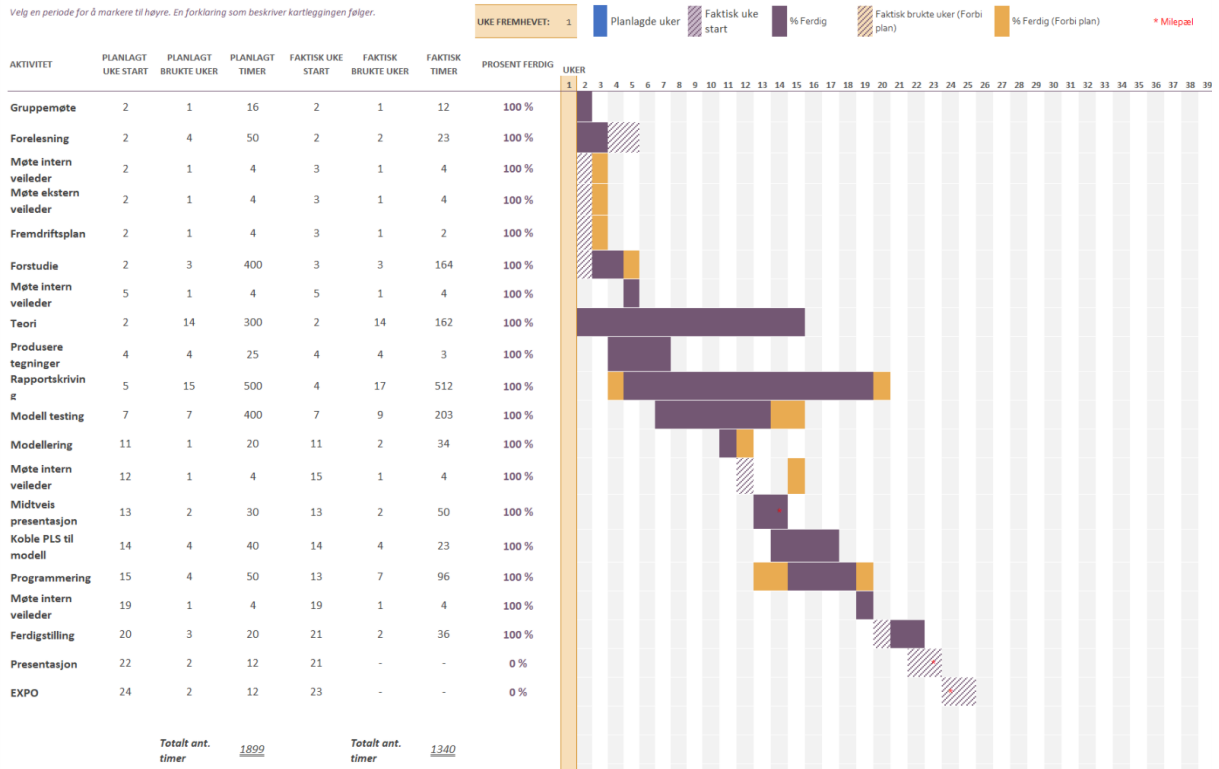
Figur 47: Organisasjonskart

10.10 Vedlegg 10: Fremdriftsplan

Vedlagt ligger et utklipp fra fremdriftsplanen. Hele planen i sin helhet er levert inn som ekstra fil utenom rapporten.

Fremdriftsplan BO19E-54

Velg en periode for å markere til høyre. En forklaring som beskriver kartleggingen følger.



Figur 48: Utklipp fra fremdriftsplanen

10.11 Vedlegg 11: Risikoliste

Refererer til punkt: “3.3 Risikoanalyse”.

11 Referanser

[1] Figur 1: *NES Framedside - courtesy HAVYARD SHIP TECHNOLOGY.*

Von earl of cruise, "The future is hybrid electric", 2017. Hentet fra:

<https://earlofcruise.blogspot.com/2017/04/propulsion-future-is-hybrid-electric.html>.

Lastet ned: 24.01.2019.

[2] Norwegian electric, "About us", 2019. Hentet fra:

<https://www.norwegianelectric.com/about/about-us/>. Lastet ned 17.01.2019.

[3] Skjølvik.Tale, Voldsund.Kari, "Forretningsforståelse"- 1.utgave. Cappelen damm.

Hentet fra: Kapittel 19: "Endring og prosjekt", underkapittel 19.3.1: "Suksessfaktorer".

Utgitt: 2016.

[4] Danfoss.dk, "Hva er en frekvensomformer?", 2019. Hentet fra:

<http://drives.danfoss.dk/danfoss-drives/what-is-an-ac-drive/#/>. Lastet ned: 04.02.2019

[5] Figur 3: Danfoss, "NXP Grid Converter", 2019. Hentet fra:

<http://drives.danfoss.no/products/vacon/low-voltage-drives/vacon-nxp-grid-converter/#/>.

Lastet ned: 17.01.2019.

[6] Figur 4: Danfoss, "Vacon DC-DC converter design guide", 2019. Hentet fra:

<http://files.danfoss.com/download/Drives/Vacon-DC-DC-converter-Design-Guide-DPD01887A-UK.pdf>. Lastet ned: 11.02.2019

[7] Figur 5: www.mesta.com, "Active harmonic filters vs active front end", 2019. Hentet

fra: <http://www.mesta.com/AHFs%20vs%20AFEs%20White%20Paper.pdf>. Lastet ned:

13.02.2019

[8] Figur 6: Ned Mohan, Tore M. Undeland and William P. Robbins, "Power Electronics

second edition", 2003. Kapittel 7, side 179: "Continuous conduction mode". Lastet ned:

20.02.2019

[9] Figur 7: Ned Mohan, Tore M. Undeland and William P. Robbins, “Power Electronics second edition”, 2003. Kapittel 7, side 179: “Continuous conduction mode”. Lastet ned:

20.02.2019

[10] Figur 8: Ned Mohan, Tore M. Undeland and William P. Robbins, “Power Electronics second edition”, 2003. Kapittel 6.4, side 140: “Input line currents”. Lastet ned:

20.02.2019

[11] IEEE XPLORE Digital Library, Chenlei Bao, Xinbo Ruan, Xuehua Wang, Weiwei Li, Donghua Pan, Kailei Weng. “Control Techniques for LCL-Type Grid-Connected Inverters”. Hentet fra:

https://ieeexplore-ieee-org.galanga.hvl.no/document/6545383?fbclid=IwAR3SskNQUNRqgRrvOK_1gNfu4KoH56nVpRwFWjhNKmN72e9tzUYHL6CKF84.

Lastet ned: 29.04.2019

[12] Figur 9: Arash Toudeski, “Grid connected LCL filter”. Hentet fra:

https://www.researchgate.net/figure/Grid-connected-LCL-filter_fig3_297918624?fbclid=IwAR2u4qpEt5zLgirX_iRW7bLXI1gCFggxe1QuAP6At6Kkj6ht2SEdJ-eDHo.

Lastet ned: 29.04.2019

[13] Figur 10: Arash Toudeski, “Grid connected LCL filter”. Hentet fra:

https://www.researchgate.net/figure/Grid-connected-LCL-filter_fig3_297918624?fbclid=IwAR2u4qpEt5zLgirX_iRW7bLXI1gCFggxe1QuAP6At6Kkj6ht2SEdJ-eDHo.

Lastet ned: 29.04.2019

[14] Mojgan Hojabri, Mehrdad Hojabri. “Design, application and comparison of passive filters for three-phase grid-connected renewable energy systems”. Hentet fra:

http://www.arnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2015/jeas_1215_3117.pdf.

Lastet ned: 29.04.2019

[15] Ned Mohan, Tore M. Undeland and William P. Robbins, “Power Electronics second edition”, 2003.

Kapittel 25, side 626: “Introduction to insulated gate bipolar transistors”. Lastet ned: 20.02.2019

[16] Figur 11: Danielle Collins, PF- Effektfaktor: “What are the benefits of an active front end AFE-drive”, 08.08.2018. Hentet fra: <https://www.motioncontroltips.com/what-are-the-benefits-of-an-active-front-end-afe-drive/>. Lastet ned: 13.02.2019.

[17] Figur 12: Norwegian Electric Systems, “Service”, Hentet fra: <https://www.norwegianelectric.com/service--aftermarket/preservation/>.

Lastet ned: 21.02.2019

[18] Teknisk Ukeblad, “Så mye drivstoff kan skip spare på å sette inn batterier”, Hentet fra: <https://www.tu.no/artikler/sa-mye-drivstoff-kan-skip-spare-pa-a-sette-inn-batterier/223379>. Lastet ned: 26.04.2019.

[19] Norwegian Electric Systems AS, “Quadro Drive”. Hentet fra: <https://www.norwegianelectric.com/products/drives/>. Lastet ned: 11.03.2019.

[20] Figur 13: Norwegian Electric Systems AS, “Quest- Energy Storage”. Hentet fra: <https://www.norwegianelectric.com/products/quest---energy-storage/>. Lastet ned: 11.03.2019

[21] Wang, Y.Kong. “Review of DC circuit breakers for submarine applications.” 2012. Marine Platforms Divisions, DSTO (Defence science and Technology Organization): side.2,3,11,40 i PDF: <https://www.dst.defence.gov.au/sites/default/files/publications/documents/DSTO-TN-1074%20PR.pdf>. Lastet ned: 04.03.2019

[22] Figur 14: Gu, C., P. C. Gu, P.Wheeler, A.Castellazzi, A.J. Watson og F.Effah. “Semiconductor Devices in Solid-state/ Hybrid Circuit Breakers: Current Status and Future Trends.” 2017. Fra: Energies 10 (495): 8-9.

<https://pdfs.semanticscholar.org/cad3/fe30b0a7b9e94787049523a789457c6da8d7.pdf>.

Lastet ned: 04.03.2019

[23] Figur 15: Emil Cimpan, “Dimensjonering av PID-regulatorer med eksempler”. 17.01.2017

Hentet fra: hvl.instructure.com/courses/6198/files/320067?module_item_id=91587 →

Canvas HVL → Emner → Reguleringsteknikk 2 → Bilde nr: 13 i PDF. Lastet ned:

08.05.2019

[24] files.danfoss.com, “VACON NX all in one application manual”. Fra side 324, “Beskrivelse av parametre: multipumpesystem med PID” Hentet fra:

<http://files.danfoss.com/download/Drives/Vacon-NX-All-in-One-Application-Manual-DPD00903F-UK.pdf>. Lastet ned: 15.05.2019

[25] Real Time Automation, “Profinet Unplugged - An introduction to Profinet IO”,

Hentet fra: <https://www.rtautomation.com/technologies/profinet-io/>. Lastet ned:

09.05.2019

[26] Real Time Automation, “An introduction to Modbus RTU Addressing, Function Codes and Modbus RTU Networking Overview”, Hentet fra:

<https://www.rtautomation.com/technologies/modbus-rtu/>. Lastet ned: 09.05.2019

[27] www.bachmann.info, “Home → products → Controller System”. Hentet fra:

<https://www.bachmann.info/en/products/controller-system/>. Lastet ned: 20.04.2019

[28] Danfoss.com, “Vacon NXP Grid Converter Application Manual”. Hentet fra:

<http://files.danfoss.com/download/Drives/Vacon-NXP-Grid-Converter-Application-Manual-DPD01599B-UK.pdf>. Lastet ned: 29.04.2019

[29] Danfoss.com, “VACON NXP - Marine Application Manual”. Hentet fra:
http://files.danfoss.com/download/Drives/Vacon-NXP-System-Drive-Hardware-Manual-DPD01365B-UK.pdf?fbclid=IwAR2mmxsileioOt4agLB8MV1cbjUF4AUwn2oqP2BevhdilbrR_QdPJ6EUYE
. Lastet ned: 04.03.2019

[30] files.danfoss.com, “VACON NX all in one application manual”. Hentet fra:
<http://files.danfoss.com/download/Drives/Vacon-NX-All-in-One-Application-Manual-DPD00903F-UK.pdf>. Lastet ned: 08.05.2019

[31] drives.danfoss.no, “Vacon NXP luftkjølt”. Hentet fra:
<http://drives.danfoss.no/products/vacon/low-voltage-drives/vacon--npx-air-cooled/#/>.
Lastet ned: 07.03.2019.

[32] nodered.org, “*Node-RED*”, Hentet fra: <https://nodered.org/> . Lastet ned:
08.05.2019

[33] plcacademy.no, “Structured Text tutorial to expand your skills”. Hentet fra:
<https://www.plcacademy.com/structured-text-tutorial/>. Lastet ned: 01.05.2019

[34] Eirik Rossen, “API”. Hentet fra: <https://snl.no/API> . Lastet ned: 08.05.2019.

12 Forkortelser og ordforklaringer

AC	Alternating current (Vekselstrøm)
AFE	Active front end, glatter ut vekselspenning (AC), slik at vi får likespenning (DC), ved eksempel en likeretter-oppgave for regenerativ drift til frekvensomformer.
AMPLITUDE-KRYSSFREKVENS	Dimensjonering av PID-regulator med størst mulig hurtighet
API	“ <i>Application Programming Interface</i> ” API er et hjelpeverktøy ved programmering, eksempelvis en databasetjener eller et grensesnitt mot en eller flere tjenester. [34]
APPLIKASJONER	AFE, Marine, PID i vårt tilfelle. Programvare som vi kontrollerer ved hjelp av datamaskin til å kjøre oppgaver vi ønsker å utføre
BJT	Bipolar Junction Transistor
BOOST	Fellesbetegnelse for opptransformering av spenningsnivået i forhold til motorens pådrag til enhver tid.
BRO	I styrhuset der båten manøvreres og driftes fra
BUCK	Fellesbetegnelse for nedtransformering av spenningsnivået i forhold til motorens pådrag til enhver tid.
COMKABEL	Kommunikasjonskabel
CONTROL-UNIT	Kontrollpanel/ betjeningspanel/ trykk panel
DC	Direct current (Likestrøm)
DC LINK	Felles DC (Likestrøm) nettverk/ forbindelse. I vårt tilfelle nettverket som tilknytter AFE, Marine 1 og 2, DC/ DC omformerne.
DISTRIBUSJONSNETT	Overføringslinjer av elektrisk energi fra kraftstasjon og frem til forbruker av energien.
DP	Dynamisk posisjonering. Vanlig ved skip som skal holde samme posisjon over lengre tid.

DTC	Direct torque control. Ofte i bruk ifm frekvensomformere for motorstyring
EMS	Energy Management System
ETHERNET	Kabel for å knytte i sammen lokalnett og PLS til kommunikasjon
EXPO	Siste presentasjon for gruppen i plenum på høyskolen foran publikum, ingeniører, andre studenter og forelesere
FEILKILDE	Ved feil i en spesiell del av nettverket. Vern forhindrer at ikke resten av det "friske" systemet skal ta skade av en feilkilde i nettet.
GRID	Fellesbetegnelse for nettverk
HARMONISKE STRØMMER	Kraftelektronikk komponenter som likerettere, motorstartere, frekvensomformere som benyttes i lastkilder og som ikke trekker ren sinusformet strøm fra nettet. (Usymmetrisk sin)
HMI	Human Machine Interface, et fysisk trykkpanel som datamaskin/ touchpad etc der vi kan styre og lese av verdier for en prosess. Veldig nyttig i vårt tilfelle for instrumentering og overvåkingen av systemet.
HVL	Høgskolen På Vestlandet
IGBT	Insulated gate bipolar transistor (Kombinasjon av BJT og MOSFET)
IO	Input/ output, API for programmerbar applikasjons samarbeid
IOT	"Internet of things", samlebetegnelse for hvordan for eksempel elektriske komponenter kan kommunisere sammen og utveksle data over internett.
IRT	Isochronous real time, høyhastighets kanal for bevegelseskontroll applikasjoner.
KABELGATER	Beskyttende overføring av strøm på skip
KASKADEKOBLING	Elektriske komponenter som er koblet i serie og har samme funksjon
KONVERTERLEDD	De ulike konverter-modulene blir betegnet som mange ledd i et system som består av mange fysiske komponenter
KONVERTER MODULER	Fysiske komponentene på båt som eks frekvensomformer, som er et bindeledd fra en spenning til en annen transformert spenning

LYSBUE	Ved bryting av DC spenning kan det oppstå en synlig bue av lys som ser ut som en gnist mellom to fysiske ledere
MOSFET	Metall-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistors
NC-LOAD	Programvareverktøy for å oppdatere firmware og software applikasjoner
NC-DRIVE	Programvareverktøy brukt til idriftsettelse, parametrisering og diagnostisering av Vacon moduler.
NCip-Config	Programvareverktøy brukt til å administrere ethernet basert nettverk
NES	Norwegian Electric Systems
PDU	Protocol Data Unit, enkel informasjonsenhet som overføres på datanettverket
PLS	Programmerbar Logisk Styring
POLARITET	Elektrisk strøm som endrer retning i sykluser med tiden
QUADRO DRIVE	System for å regenerere energi fra propell/ aksling tilbake til kraftsystemet på båten
REGENERATIV-BREMSING	Ved AFE, der driften kjøres
RT	Real time kanal for standard sykliske dataoverføringer og alarmer
SVITSJING	Brytere som slås av og på for å styre strømflyten, evt lade opp spoler og kondensatorer som skal fungere ved å transformere om til riktig spenning som motorer etc må ha for å kjøre. Vanlig i <i>IGBT'er</i> .
SVITSJEFREKVENS	Frekvens som oppstår når bryterne slås av og på i periodisk syklus
SOFTWARE	I dette tilfellet til frekvensomformerne, står for programvare.
TCP/ IP	Kommunikasjonskanal over nettverket for asykliske data kommunikasjon, parametrisering og konfigurering.