



Sjøkrigsskolen

Bacheloroppgave

Energistyrings- og kraftforsyningssystem

av

Vebjørn G. Randal og Sindre Laukvik

Levert som en del av kravet til graden:

**BACHELOR I MILITÆRE STUDIER MED FORDYPNING I ELEKTRO OG AUTO-
MASJON**

Innlevert: Mai 2019

Godkjent for offentlig publisering

I Publiseringsavtale

En avtale om elektronisk publisering av bachelor/prosjektoppgave

Kadetten(e) har opphavsrett til oppgaven, inkludert rettighetene til å publisere den.

Alle oppgaver som oppfyller kravene til publisering vil bli registrert og publisert i Bibsys Brage når kadetten(ene) har godkjent publisering.

Oppgaver som er graderte eller begrenset av en inngått avtale vil ikke bli publisert.

Jeg(Vi) gir herved Sjøkrigsskolen rett til å gjøre denne oppgaven tilgjengelig elektronisk, gratis og uten kostnader	<input checked="" type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nei
Finnes det en avtale om forsinket eller kun intern publisering? (Utfyllende opplysninger må fylles ut)	<input type="checkbox"/> Ja	<input checked="" type="checkbox"/> Nei
Hvis ja: kan oppgaven publiseres elektronisk når embargoperioden utløper?	<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nei

Plagiaterklæring

Jeg (Vi) erklærer herved at oppgaven er mitt eget arbeid og med bruk av riktig kildehenvisning. Jeg (Vi) har ikke nyttet annen hjelp enn det som er beskrevet i oppgaven.

Jeg (Vi) er klar over at brudd på dette vil føre til avvisning av oppgaven.

Dato: 28 – 05- 2019

Vebjørn G. Randal
Kadett navn

Kadett, signatur

Sindre Laukvik
Kadett navn

Kadett, signatur

II Forord

Bacheloroppgaven vår har på mange måter oppsummert pensum innen elektro og automasjon, og gitt oss muligheten til å se automasjon, elektro og programmering i samspill både teoretisk og praktisk. Den har gitt oss en økt forståelse for hva et hybrid fremdriftssystem består av og hvordan komponentene i systemet påvirker hverandre, noe som er direkte overførbart til tjenesten vi skal inn i etter endt skolegang. I tillegg har vi lært mer enn forventet om prosjektplanlegging, ingeniørfaglig systemtenkning og ikke minst - batterier. Vi har bygget en modell av et elektrisk forsyningsanlegg med tilhørende overvåking. Arbeidet ble påbegynt i januar 2019 etter en lang periode i tankesmia og ble ferdigstilt i mai 2019. Oppgaven skal kunne leses og forstås av alle, men på enkelte områder er det en fordel å ha et teknisk fagspråklig grunnlag.

Takk til Alexander Sauter for anskaffelse av deler, fasilitering og å alltid ha døren åpen for veiledning.

Takk til Arild Sæbøe for hjelp med formulering av oppgave og problemstilling, samt lån av utstyr.

Takk til Elektro Skip på Haakonssvern for batterier, koblingsmateriell og lån av utstyr.

Bergen, Sjøkrigsskolen, 28-05-2019

III Oppgaveformulering

Ifølge langtidsplanen til Forsvaret skal det fokuseres mer på autonome og ubemannede systemer. En slik plattform vil ha behov for et system som har kontroll på energireserver og forbruk. Denne informasjonen vil danne beslutningsgrunnlag for hvordan fartøyet kan operere. Hvordan kan et slikt energistyringssystem (EMS) implementeres og hvordan kan det påvirke ytelsen til et fartøy? I denne oppgaven skal aktuelle løsninger og regelverk for kraftforsyningssystemer og EMS for et fartøy/plattform undersøkes. Videre skal det utarbeides en kravspesifikasjon til et EMS, og implementere dette på en modell. Den valgte løsningen skal dimensjoneres, beregnes, simuleres og bygges. Løsningen må gi mulighet for demonstrasjoner, øvinger og kunne brukes i FOU på FHS/SKSK.

IV Sammendrag

Denne oppgaven har tatt for seg utviklingen, byggingen og idriftsettelsen av et energistyringssystem (EMS) på en modell av en elektrisk forsyningslinje. I oppgaven ble det lagt vekt på å lage en modell av en moderne forsyningslinje for fartøy, slik at det kunne utvikles og implementeres et EMS for denne. Flere typer forsyninger ble vurdert, men til slutt falt valget på en hybrid DC-fordeling. Av økonomiske grunner var det ikke mulig å lage modellen nøyaktig slik en virkelig fordeling ville blitt bygget, men det ble lagt vekt på å komme prinsippmessig så nært som mulig.

Det ble valgt å bruke en spenning på 12 V for DC-fordelingen. Denne spenningen ble valgt fordi det da var mulig å anskaffe delene som trengtes for modellen innenfor prosjektets budsjetttramme på 20000Kr. Modellen består av et blybatteri, en kombinert batterilader/sinusinverter, en DC/DC-omformer, nødvendige kabler, samt komponenter som er nødvendige for målinger, beregninger og modellens el-sikkerhet. Det er i tillegg anskaffet et aggregat som kan brukes som spenningsforsyning. Modellen kan forsyne brukere som trenger 12 VDC, 24 VDC og 230 VAC.

Et EMS-program ble programmert på en WAGO PLS. Dette programmet tar inn måleverdier fra sensorer på modellen, omformer og skalerer disse og presenterer resultatene i et skjermbilde som vises på en tilkoblet datamaskin. I dette skjermbildet kan man lett se hvordan energiflyten i modellen er. Man får oppgitt hvilke effekter som går i de forskjellige kablene, hvor mange wattimer som er på batteriet og estimerer over hvor lenge modellen kan være operativ ved nåværende og fastsatte belastninger før den trenger å lades.

Å måle energimengden i batteriet har vært en utfordring. Det har blitt gjennomført flere utladningstester og ved å bruke resultatene fra disse har det vært mulig å programmere en batteriestimator som, ved å måle strøm og spenning, gir ganske nøyaktige verdier for gjenværende driftstider. Modellen og programvaren viser at det er prinsipielt mulig å lage et energistyringssystem som kan måle energiflyter i en elektrisk fordeling og beregne gjenværende batteridriftstid. Dette anses som høy måloppnåelse med tanke på første del av oppgaveteksten. Etter å ha sett modellen og energistyringssystemet i drift er det vår mening at dersom Forsvaret en gang skal gå til anskaffelse av autonome fartøy vil man være godt tjent med å ha et EMS ombord. Et slikt system vil kunne gi informasjon som har direkte innvirkning på hvordan fartøyet kan operere. For bemannede fartøy vil det også kunne gi større handlingsrom fordi man kan frigjøre ressurser til å løse andre oppgaver enn å overvåke og estimere driftstider manuelt.

V Innholdsfortegnelse

I	Publiseringsavtale	i
II	Forord	ii
III	Oppgaveformulering	iii
IV	Sammendrag	iv
V	Innholdsfortegnelse	v
VI	Figurer	1
VII	Tabeller/Diagrammer	2
VIII	Nomenklatur / Forkortelser / Symboler	3
1	Innledning	4
1.1	Bakgrunn	4
1.2	Mål.....	5
1.3	Avgrensninger	5
1.4	Metode	6
1.5	Struktur	6
2	Teori	7
2.1	Omformere og kraftelektronikk.....	7
2.2	Frekvensomformer	8
2.3	Fordelingssystem	8
2.4	Peak-shaving.....	9
2.5	AC-fordelinger	9
2.6	DC-fordelinger	10
3	Konsept- og anskaffelsesfase	13
3.1	Konsept.....	13
3.2	Anskaffelse	16
4	Hardware	18
4.1	Elektrisk fordeling	19
4.1.1	Kombi Sinusinverter 1000 W	19
4.1.2	Aggregat Firman SPG3000E1	20
4.1.3	Batteribank	21
4.1.4	DC/DC-omformer 10-16/24 VDC 81 W Mascot	22

4.1.5	Kabling.....	23
4.1.6	Hovedforbruker.....	24
4.2	Kontrollsystem.....	24
4.2.1	PLS.....	24
4.3	Sensorer.....	27
4.3.1	Strømmåler Seneca T201DCG300-LP	27
4.3.2	Wago 0-30 VDC differensialmåler	28
5	Software	29
5.1	Hovedprogram	29
5.2	Konvertering og skalering.....	32
5.3	Overvåking og telling	33
5.4	Styring.....	36
5.5	Brukergrensesnitt (HMI).....	37
6	Måling og kalibrering	40
7	Drøfting.....	43
8	Konklusjon med anbefaling	46
	Bibliografi	48
9	Vedlegg.....	50
A	Test av linearitet mellom spenning og energinivå	50
B	Test av linearitet mellom maksimal kapasitet og belastning	53
C	Hovedstrømsskjema.....	57
D	Styrestrømsskjema	58
E	Dokumentasjon vedlagt i egen fil	59
F	Batteridokumentasjon	60
G	Brukerinstruks for EMS-modell	61

VI Figurer

Figur 1: Prinsippskisse for frekvensomformer (Gylseth U.Å.)	8
Figur 2: Eksempel på AC-fordeling (Geertsma, Negenborn, Visser og Hopman 2017, kapittel 5, figur 18).....	10
Figur 3: Eksempel på hybrid DC-fordeling (Geertsma et al. 2017, kapittel 7.1, figur 23)	11
Figur 4: Eksempel på hybrid AC-fordeling	14
Figur 5: Modellens arrangement	18
Figur 6: Kombi batterilader/sinusinverter 1000 W	19
Figur 7: Aggregat Firman SPG3000E1	20
Figur 8: Batteri Marathon L12V24 - 23,5 Ah.....	21
Figur 9: Mascot 10-16/24 V 81 W DC/DC-omformer	22
Figur 10: Strømføringsvevner ref. IEC 60890.....	23
Figur 11: PLS	25
Figur 12: Seneca T201DCH300-LP Hall-elementbasert strømmåler.....	27
Figur 13: Hovedprogram EMS (Se egen dokumentasjon i vedlegg E for kommentarer til programmeringen)	30
Figur 14: Eksempel på funksjonsblokk uten definerte inngangsvariabler.....	31
Figur 15: Funksjonsblokk for lineær transformasjon	32
Figur 16: Samspill mellom metoder for estimering av batteriets energinivå	33
Figur 17: Utladningstest, 1 A belastning, $Y = [V]$, $X = [t]$	34
Figur 18: Funksjonsblokker for estimering av energinivå ved batteridrift.....	35
Figur 19: Funksjonsblokk for telling av wattimer	35
Figur 20: Funksjonsblokk for utregning av gjennomsnittlig spenning siste 5 min .	36
Figur 21: Funksjonsblokk som velger mellom gjennomsnitts- eller øyeblikksverdi for spenning.....	36
Figur 22: EMS i batterimodus, med ustabil batterispenning	37
Figur 23: EMS i batterimodus, med batterinivå under ønsket minimum	38
Figur 24: EMS i generatormodus.....	38
Figur 25: EMS i landmodus.....	39
Figur 26: Prinsippskisse av målefeil ved kalibrering av strømmålere.....	41
Figur 27: Støybefengt ladespenning fra inverteren, $Y = [V]$, $X = [t]$	41

VII Tabeller/Diagrammer

<i>Tabell 1: Budsjett</i>	<i>17</i>
<i>Tabell 2: PLS-moduler (fra venstre)</i>	<i>26</i>
<i>Tabell 3: Avleste strømverdier med tilhørende digitale verdier</i>	<i>32</i>

VIII Nomenklatur / Forkortelser / Symboler

A	Ampere
AC/DC	Alternating Current/Direct Current
AGM	Absorbent Glass Mat
AI	Analog Input
DI	Digital Input
DO	Digital Output
EMS	Energy Management System/energistyringssystem
EOT	Estimated Operating Time
HMI	Human Machine Interface
I/O	Input/Output
PLS/PLC	Programmerbar Logisk Styring/Programmable Logic Controller
PMS	Power Management System
V	Volt
VAC	Volt Alternating Current
VDC	Volt Direct Current
W	Watt
Wh	Watt Hours/wattimer
Ω	Ohm

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Det er flere grunner til å satse på autonomi fremover, både sivilt og militært. FFI skriver i sitt innspill til ny langtidsplan 2021-2024 at ”De senere års militære trendstudier viser en samstemthet om hvilke teknologiområder som vil ha stor og økende betydning for militære operasjoner framover.”, og sier at disse studiene blant annet peker på autonomi i form av svermer av ubemannede systemer, våpenbærere og våpen (Espen Skjelland et al 2019, 22). På den sivile siden er den maritime klynge i et grønt skifte, med fokus på energieffektivitet og miljø, hvor det for øyeblikket utvikles blant annet autonome cargo-skip: «Rundt 80-90% av alle verdens varer transporteres på skip i dag. Energieffektiviteten for skipsfart er langt høyere enn for andre transportformer. Automatisering og autonomi kan gi ytterligere miljøbesparelser.» (Nærings- og fiskeridepartementet 2018). Disse ytterligere miljøbesparelsene blir i stor grad muliggjort ved bruk av hybride drivlinjer som kan omsette energien mer effektivt ved hjelp av elmotorer, batterier og kraftelektronikk. All denne kraftoverføringen krever et system som overvåker og kanaliserer energiflyten i drivlinjen, og det er her Energy Management System kommer inn i bildet. Skolegangen har synliggjort et behov for å ha en mer komplett undervisningsmodell av en hybrid drivlinje tilgjengelig. Et Energy Management System vil vise sammenhengene mellom komponentene, og kan legge til rette for praktisk undervisning i den elektrolaterte delen av et autonomt system. I tillegg gir det å utvikle et EMS en kompetanse som tilsynelatende mange elektrooffiserer vil få behov for i fremtiden.

1.2 Mål

Målet med oppgaven er å bygge en modell av en hybrid drivlinje med tilhørende EMS. Med “hybride fartøy” menes det i denne sammenhengen fartøy som har flere typer energilager. Det betyr at man kan hente elektrisk kraft fra fossile kilder (diesel, bensin, bunkersolje) og fra batteribanker. Modellen skal kunne illustrere den energimessige dynamikken mellom komponentene i undervisningssammenheng, være plattform for utvikling av EMS, og vise hva EMS kan bety for ytelsen til både autonome og bemannede fartøy. Modellen skal være modulær for å gjøre det enkelt å utvide/videreutvikle både hardware og EMS.

1.3 Avgrensninger

Som en del av planleggingsfasen skrev vi en kravspesifikasjon til modellen, hvilket angir både mål og avgrensninger for oppgaven. Krav vi stilte til undervisningsmodellen i prosjekteringen:

1. Den skal operere på de mest brukte spenningsnivåene som gjør det enkelt å anskaffe deler. Forbrukere skal enkelt kunne kobles på 230 VAC, 12 og 24 VDC via rekkeklemmer. 230 VAC-forbrukere skal også kunne kobles via stikkontakt.
2. Alle sensorer skal benytte standard signal for å ha tilgang på det største utvalget av utvidelsesmoduler til PLS.
3. Modellen skal være modulær nok til å kunne gjøre endringer både i hardware og software uten å måtte gjøre store inngrep, eksempelvis å skrive software på nytt fra bunnen av eller rive bort basisdeler av benken (rekkeklemmer, kanaler, batteri og PLS).
4. Modellen skal ha overskudd i kapasitet til videre utbygging, i form av fysisk plass til kabling, rekkeklemmetilkoblinger, plass på DIN-skiner, strømføringsevner og maksimal effektleveranse.
5. Batteriet skal kunne lades ut og lades opp innenfor et rimelig tidsrom med tanke på å gjøre tester ila. en normal arbeidsdag.
6. Modellen skal kunne bygges ut med flere energikilder, eksempelvis solcellepanel, generator, ”landsstrøm” og brenselceller.
7. Softwaren skal på en HMI, lettfattelig og grafisk, illustrere energiflyten mellom kilder, forbrukere og batteribank og gi tidsestimater for hvor lenge batteriet kan forsyne uten å lades under ulike belastninger.

8. Softwaren skal beskytte batteriet mot dype utladninger.
9. Softwaren skal, med bakgrunn i utladningstester, regne ut hvor mye energi som kan hentes ut av batteriet ved gjeldene batterispenning.
10. Softwaren bør være kortfattet, og benytte seg av kun et nødvendig antall variabler, for å gjøre den entydig og intuitiv.

1.4 Metode

Oppgaven skal løses ved å sette seg inn i hvilke fordelingssystemer som er moderne og relevante. Deretter skal det undersøkes hvilke deler og komponenter det er mulig å få tak i innenfor budsjetttrammene før et endelig valg av fordelingssystem blir tatt. Når fordelingen er valgt, vil deler bestilles og modellen bygges. Det skal utvikles en EMS-software som oppfyller kravene i kravspesifikasjonen. Modellen vil så bli testet for å verifisere at målene i kravspesifikasjonen er oppfylt.

1.5 Struktur

Oppgaven tar først for seg arbeidet med å utarbeide et konsept og prosjektere en modell, samt bakenforliggende teori for et EMS. Deretter beskrives hardwaren som er brukt i modellen etterfulgt av softwaren. De neste kapitlene tar for seg kalibreringer, tester og målinger som har blitt gjort for å beregne energiflyt og ladenivå på batteriet. Oppgaven avsluttes med en drøfting av arbeidet og konklusjoner. Dokumentasjon og kildekoder er lagt til som vedlegg.

2 Teori

For å kunne transportere elektrisk kraft fra en produsent (kraftverk, dieselgenerator, aggregat, etc.) og ut til forbruker er det nødvendig med en elektrisk fordeling. En elektrisk fordeling består av alle delene i et elektrisk anlegg som er nødvendig for å transportere kraft fra ett sted til et annet, slik som kabler, vern, omformere, osv.

En av de mest praktiske egenskapene til vekselspanning er at det er mulig å endre spenningen opp og ned ved å bruke transformatorer. Denne egenskapen er essensiell for at strømmettet skal klare å levere strøm til forbrukere som befinner seg langt unna kraftverk. Grunnen til dette er at det er spenningsfall i overføringene. Forutsetningen for å overføre strøm over lange avstander er bruk av transformatorer.

På batterisiden har det foregått en enorm utvikling, drevet frem av bilindustrien og forbrukerelektronikk. Dette gjør at man i dag har mulighet til å lagre store energimengder i batteribanker ombord på fartøy, med nok energi til å periodevis kunne drive hele fartøyet uten energi fra generatorer.

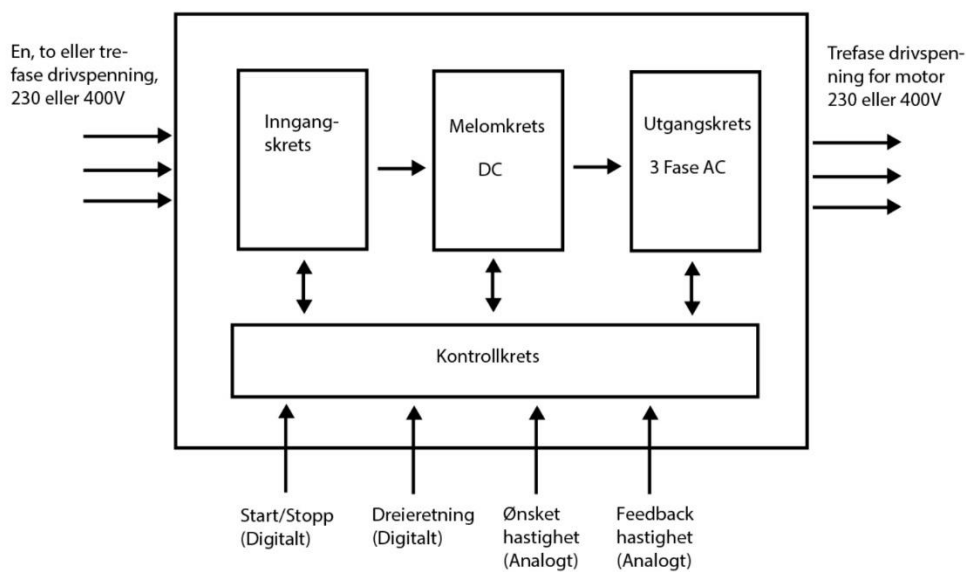
Kraftelektronikken har også utviklet seg i form av blant annet effektive frekvensomformere og mykstartere for elektromotorer og «motordrives». Spesielt bilindustrien stiller store krav til effektiviteten til omformerne, noe som har ført til utviklingen av kraftelektronikk med veldig høy virkningsgrad.

2.1 Omformere og kraftelektronikk

Kraftelektronikken gjør det i dag mulig å produsere en hvilken som helst spenning fra en DC- eller AC-kilde. En vekselspanning kan produseres fra en likespenning ved å bruke «solid-state» brytere som simulerer en sinus. En solid-state bryter er en elektrisk operert bryter uten bevegelige deler. Ved å endre det tidsmessige mønsteret for hvordan disse bryterne åpnes og lukkes, kan man endre frekvensen og RMS-verdien til vekselspanningen som produseres. RMS (Root Mean Square), ofte kalt effektivverdi, er den tilsvarende DC-spenningen man måtte satt på en forbruker for å få ut samme effekt som for AC-spenningen. En likespenning kan produseres fra en AC-kilde ved å bruke dioder, som kun slipper gjennom den positive halvperioden av sinusen. For likespenning kan man endre spenningsnivået ved å bruke spesielle omformere som bruker spoler, kondensatorer og solid-state brytere for å øke eller senke spenningen.

2.2 Frekvensomformer

En frekvensomformer er en anretning som ved hjelp av kraftelektronikk kan omforme en vekselspanning med én frekvens til en vekselspanning med varierende frekvens, se figur 1. Dette gjøres ved at man først likeretter spenningen til en likespenning, for så å lage en ny vekselspanning ved hjelp av solid-state brytere og styreelektronikk.



Figur 1: Prinsippkisse for frekvensomformer (Gylseth U.Å.)

2.3 Fordelingssystem

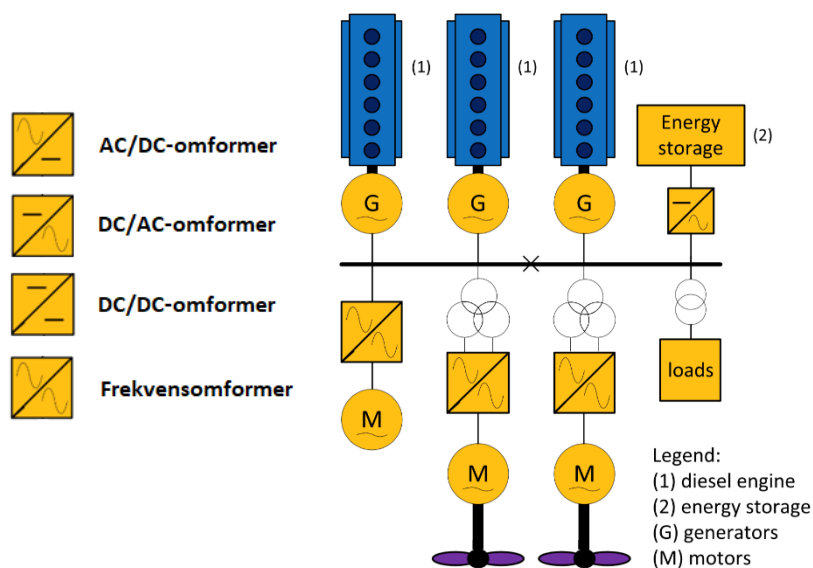
Ombord på alle fartøy finnes det en elektrisk fordeling. Denne er nødvendig for å forsyne elektrisitet ut til elektriske maskiner, navigasjonsutstyr, lys, lanterner og annet ombord. Den elektriske energien kommer normalt direkte fra en eller flere dieselgeneratorer ombord, eller fra en generator koblet til fartøyets fremdriftsmaskineri. For kritisk utstyr er det normalt å bruke batterier som back-up strømforsyning dersom strømmen fra generatoren skulle bryte sammen. I dagens samtale er det imidlertid et grønt skifte og fokuset på energieffektivitet og redusert utslipp av miljøgasser er høyere enn noen gang. Dette har ført til et behov for å gjøre sjøtransporten mer miljøvennlig. Såkalte hybride fartøy med dieselgeneratorer, batterier og elektriske fremdriftsmaskiner ser ut til å være en vei å gå for å redusere utslippene. Ytterligere alternativer inkluderer for eksempel bruk av brenselceller.

2.4 Peak-shaving

Et ofte brukt begrep innen elektriske fordelingssystemer er «peak-shaving». Peak-shaving er en metode som, ved hjelp av en batteribank, fjerner effektopper en kraftkilde må levere. Uten peak-shaving vil pådraget og forbruket til en generator reguleres på grunnlag av hvor mye effekt som forbrukes i fordelingen. Med peak-shaving vil en batteribank levere eller trekke effekt fra systemet mens generatoren leverer en fast effekt. I ett eksempel vil forbruket ombord være 1700 kW. Generatorsettet leverer 1500 kW med lavt forbruk mens de resterende 200 kW leveres fra batteribanken. Litt senere er forbruket bare 1000 kW. Generatorsettet leverer fremdeles 1500 kW, men 500 kW går til ladning av batteribanken. Variasjon i forbruk vil altså forsynes fra batteribanken, mens generatorsettet kan levere en fast mengde kilowatt.

2.5 AC-fordelinger

AC-fordelinger brukes i dag på stort sett alle forsyningslinjer. Grunnen til dette er at det er lett å endre spenningsnivået ved å bruke en transformator. Å kunne transformere spenningen opp til en høy verdi gjør det mulig å overføre store kraftmengder over lange avstander uten store tap og tykke kabler. På skip i dag er det vanlig at kraften overføres med høy spenning til sentrale fordelingsstasjoner hvor den transformeres ned. KV Svalbard er et eksempel på hvordan man bruker høyspenning (over 1000 V) for å overføre energi mellom dieselgeneratorer og elektriske fremdriftsmaskiner (Aare 2009). Dersom man har frekvensstyrte applikasjoner, for eksempel elektriske fremdriftsmotorer, kan man bruke frekvensomformere for å styre rotasjonshastigheten. Vekselspenningen blir da likerettet til en DC-spenning før den omgjøres til en AC-spenning med variabel styrbar frekvens. Figur 2 er et eksempel på en AC-fordeling.



Figur 2: Eksempel på AC-fordeling (Geertsma, Negenborn, Visser og Hopman 2017, kapittel 5, figur 18).

For AC-fordelinger kan man oppsummere følgende fordeler og ulemper:

Fordeler:

- Velutprøvd teknologi.
- Lett å endre spenningsnivå med trafo.

Ulemper:

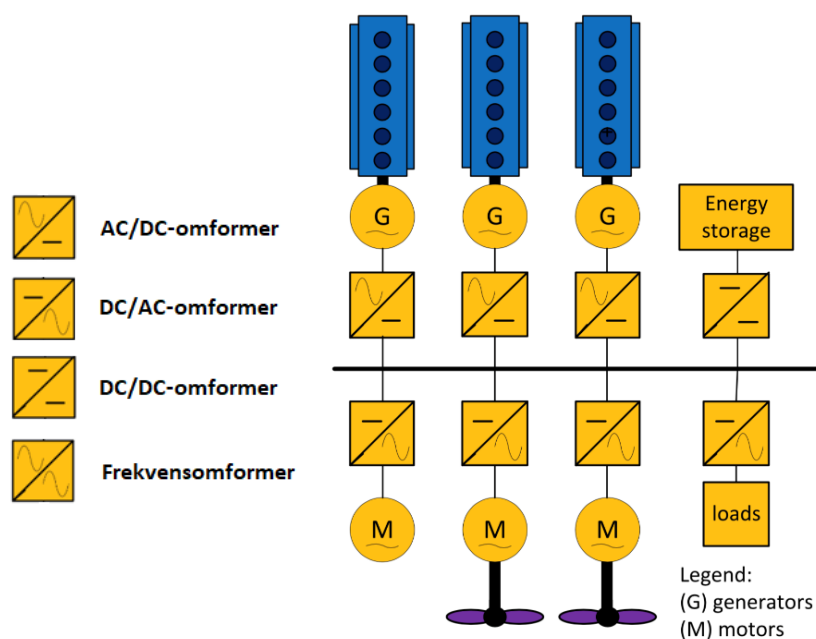
- Trafoer er tunge.
- Alle generatorsett må fases inn.

2.6 DC-fordelinger

Å bruke DC til kraftoverføring har historisk sett vært vanskelig, nettopp siden det ikke er mulig å bruke en transformator for å endre spenningen. Denne typen fordeling har i hovedsak vært forbeholdt spesielle applikasjoner som på ubåter (Geertsma et al. 2017, kapittel 7). Ubåter kan ikke ha en forbrenningsmotor gående for å drive en generator til enhver tid. Dette er imidlertid i ferd med å endre seg. Ved hjelp av utvikling og nyvinninger innenfor kraftelektronikk og batteriteknologi, blir det mer og mer relevant å bruke DC til store kraftforsyninger. Det brukes for eksempel DC i store undersjøiske kraftkabler.

Om bord på fartøy kan DC/DC- og DC/AC-omformere gjøre om en likespenning til en hvilken som helst annen spenning. Disse omformerne er relativt små og lette og kan plasseres i direkte tilknytning til utstyret som skal forsynes. For utstyr som krever en spenning med fast frekvens kan man montere én lokal omformer som leverer fast frekvens AC til flere forbrukere i samme rom/område. Dette åpner for at man i praksis bare trenger å strekke én høyvolts DC-link gjennom hele skroget og kan forsyne alt utstyr fra denne, istedenfor å strekke flere kabler for forskjellige spenningsnivåer fra sentrale trafoer. Ved å bruke omformere blir det også mulig å redusere antallet vern i fordelingen, da mye av vernets jobb kan overtas av omformerne (Geertsma et al. 2017, kapittel 7.1).

Et viktig krav for effektiv kraftforsyning på DC-link er at spenningen er høy nok. Ved for lave spenninger vil det kunne bli store spenningsfall i overføringen. DC-fordeling er i dag et nytt alternativ til AC-overføringer. En mulig grunn til dette er utviklingen av hybride drivlinjer ombord på fartøy, hvor generatorer leverer elektrisk kraft til elektromotorer for fremdrift. Disse elektromotorene drives som regel av frekvensomformere. Tanken med å bruke DC til overføringer er at man i prinsippet binder sammen alle frekvensomformerne via den interne DC-bussen. Da trenger man bare «halve» frekvensomformeren til å drive en motor. Den andre «halvparten» er koblet til generatoren. Denne løsningen vil kunne være spesielt gunstig i applikasjoner hvor man ønsker å frekvensstyre en stor andel av forbrukerne. Figur 3 er et eksempel på en hybrid DC-fordeling.



Figur 3: Eksempel på hybrid DC-fordeling (Geertsma et al. 2017, kapittel 7.1, figur 23)

Fordelene ved DC-overføring kan oppsummeres med følgende:

Fordeler:

- Man behøver bare å fordele én DC-spenning ombord.
- Alle komponenter ombord kan forsynes fra samme DC-buss via egne omformere.
- Behov for store tunge transformatorer forsvinner.
- Generatorer kan gå med varierende turtall, trenger ikke å fases inn og kan drives i hastigheter som gir best effektivitet, lavest fuel-forbruk og lavest utslipp, uavhengig av hvilken frekvens spenningen får.
- DC-arkitektur kan være motstandsdyktig mot feil siden kraftelektronikken, dersom den er styrt riktig, raskt kan ha kontroll på feilkilder. Det vil ikke være mulig for f.eks. en kortslutning å forplante seg gjennom kraftelektronikken. Man vil også unngå at faseforskyvning og «støy» forplanter seg i nettet da dette er fenomener som ikke kan eksistere i et DC-nett.

Ulemper:

- Store effekttap ved lav spenning på overføring.
- Alle forbrukere må forsynes via omformere.

3 Konsept- og anskaffelsesfase

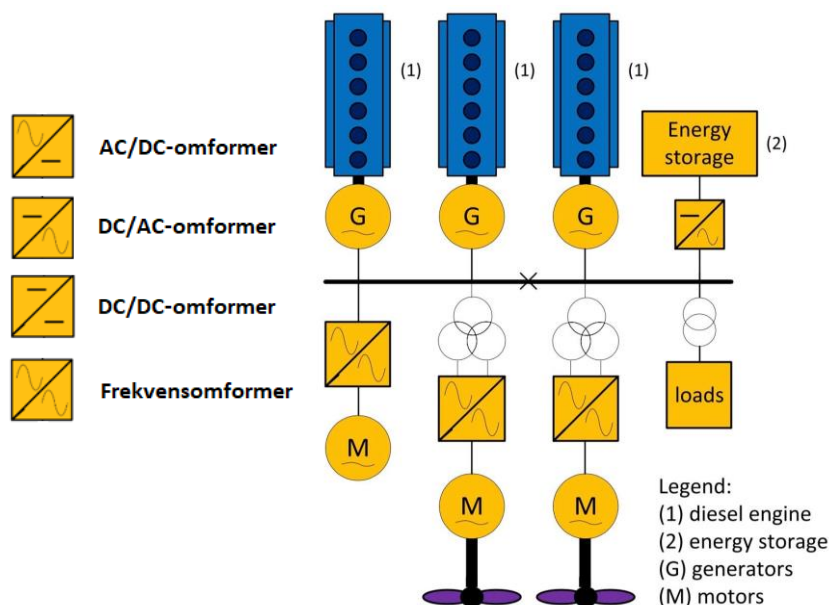
Dette kapitlet vil gjennomgå utviklingsprosessen av EMS-konseptet, og hvordan modellen tidvis ble sendt fra anskaffelsesfasen tilbake til konseptfasen for å kunne komme innenfor budsjettet.

3.1 Konsept

For å kunne utvikle et EMS vil det være nødvendig å utvikle en modell av en forsyningslinje slik at man kan gjøre tester og målinger. I utviklingen av modellen ble det forsøkt å komme så nært som mulig hvordan en virkelig fordeling ville sett ut. Eksisterende konsepter og regelverk for elektriske anlegg ble undersøkt før planleggingen av modellen startet. Flere typer fordelinger ble vurdert. Felles for dem er at de er basert på elektrisk fremdrift, enten diesel-elektrisk (generatorer leverer strøm til fremdrift og forbruk) eller hybrid (generator og batteribank leverer strøm til forbruk).

Fordeling 1: En ren AC-fordeling med diesel-elektrisk «fremdrift», lignende figur 2. Dette er en ganske mye brukt fordeling, hvor elektrisitet genereres fra diesel og brukes direkte for å forsyne fremdriftsmaskineri (gjennom frekvensomformer) og andre forbrukere. For modellen ble denne fordelingen regnet for å være for simpel for å trenge et EMS, da den ikke benytter seg av et batteri som lager for energi. For et teoretisk autonomt fartøy med denne typen fordeling ville det heller ikke vært mulig å operere stille, pga. støy fra motorer. Denne typen fordeling vil ikke inneholde komponenter som kan hjelpe på å redusere drivstofforbruk eller utslippsmengder.

Fordeling 2: En hybrid AC-fordeling ble vurdert. Denne fordelingen bygger videre på den forrige, men har en batteribank koblet til fordelingen gjennom en AC/DC-omformer, se figur 4.



Figur 4: Eksempel på hybrid AC-fordeling

Fordelen med dette er at det vil være mulig å ha drift på «fartøyet» uten å kjøre generatorer. Med en hybrid løsning vil man også kunne redusere drivstofforbruket og redusere utslipp fra generatorsettene ved hjelp av peak-shaving (se [2.4](#), Peak-shaving). Dersom laster skal frekvensstyres må disse forsynes gjennom en frekvensomformer. Det betyr at man må ta den fordelte spenningen, likerette den, for så å vekselrette den igjen. Man må også ha store transformatorer ombord som kan levere forskjellige spenningsnivåer til forskjellige forbrukere.

Fordeling 3: Til slutt ble en hybrid DC-fordeling vurdert, tilsvarende figur 3. Denne fordelingen vil gi samme positive effekter som fordeling 2 ovenfor, men skiller seg fra de andre i hvordan den er bygget opp. Generatorsett leverer fremdeles energi til systemet, men gjennom en likeretter. Det betyr at man fordeler en DC-spenning gjennom skipet for å forsyne forbrukere. Forbrukerne må så forsynes gjennom vekselrettere. I praksis kan man sammenligne det med en frekvensomformer hvor man har plassert inngangen og utgangen på to forskjellige steder og knyttet dem sammen med en DC-kabel. Ved å legge til flere «utganger» på kabelen kan man forsyne forskjellige laster med forskjellige spenninger og frekvenser. Batteribanken kan kobles til gjennom en DC/DC-omformer og kan sørge for peak-shaving eller alene stå for kraftforsyningen i perioder hvor det ønskes å

ikke kjøre generatorer. Å bruke DC-fordeling på fartøy har blitt gjort lenge på ubåter. DC-fordelinger har imidlertid i de siste årene gjort sin inntreden på overflatefartøy. Et eksempel på dette er passasjerfergen «Vision of the Fjords», en hybrid passasjerferge som opererer utslippsfritt og «lydløst» i vernede områder (ABB, Vision of the Fjords U.Å.).

I prosessen med å velge fordeling ble det lagt vekt på at fordelingen skulle være spennende å jobbe med, fremtidsrettet og mulig å modellere innenfor tids- og kostnadsrammene som er satt i oppgaven, samt at den skulle innfri kravene i [kravspesifikasjonen](#).

Fordeling 1 ble fort utelukket. Den ville vært mulig å modellere, men mye av grunnlaget for å behøve et EMS forsvinner når det ikke er noen batteribank å måle på. Den er vel etablert og det finnes allerede gode systemer for overvåkning av energiflyt.

Fordeling 2 og 3 ble avveid lenge mot hverandre. Begge fordelingene kan gi et godt grunnlag for utvikling av EMS siden man har mulighet for å tilføre energi, forbruke energi og lagre energi. Begge fordelingene bruker kraftelektronikk for å konvertere mellom AC og DC, noe som gjorde begge typene ønskelige mtp. å få brukt kunnskaper fra kraftelektronikkpensumet. Begge fordelingene antas å kunne modelleres innenfor tidsrammen som er et absolutt krav. For begge fordelingene ble det undersøkt om det var mulig å finne komponentene som var nødvendige for å bygge en modell, og det ble gjort et kostnadsoverslag.

Av de to fordelingene var det DC-fordelingen som virket mest interessant å jobbe med. Fordelingen er moderne siden den er muliggjort av de siste årenes utvikling av kraftelektronikk og den har blitt brukt i nyskapende prosjekter som «Vision of the Fjords». Da det var mulig å få tak i komponenter for å bygge en modell innenfor tids- og kostnadsrammene, ble det besluttet å lage en modell med fordeling 3 som målbilde (se figur 3).

Den elektriske fordelingsmodellen skal etterligne en hybrid DC-fordeling med generator og batteribank som energikilde/lager. Energikilder kobles til fordelingen gjennom likerettere som omgjør den produserte vekselspenningen til likespenning. Forbrukere må kobles til gjennom egne omformere som omgjør likespenningen til den spenningen forbrukeren trenger, enten det er en AC-spenning med variabel eller fast frekvens eller en høyere/lavere DC-spenning.

Under utviklingen og prosjekteringen ble det klart at det ikke ville være mulig å lage modellen nøyaktig slik som en fordeling ville blitt bygget ombord på et fartøy. Prinsipielt kan man bygge modellen lik en ekte DC-fordeling, men det må brukes en litt annen type komponenter. For det første vil modellen ha 12 VDC som spenning på DC-bussen. Dette ble valgt fordi det fantes 12 VDC-komponenter som var tilgjengelige til en pris som passet med budsjettet. I en virkelig fordeling ville man brukt en langt høyere spenning for å kunne bruke mindre tverrsnitt på kabel og ha mindre spenningstap i fordelingen. For å omforme spenningen fra generatorer ville man brukt egne likerettere. For å gjøre om likespenningen til vekselspenning til forbruker ville man brukt egne invertere. I modellen gjøres begge disse oppgavene av samme enhet. Altså én enhet for både å likerette 230 VAC fra generator og for å vekselrette likespenningen til 230 VAC til forbruker. Andre forbrukere vil kunne kobles til DC-bussen direkte eller gjennom omformer, slik det gjøres med strømforsyningen til 24 VDC utstyret på modellen, se figur 5.

DNV-GL har laget en Class Guideline for autonome og fjernstyrte skip. I seksjon 5, kapittel 5, stilles det en rekke krav til det elektriske forsyningsanlegget ombord på fartøy. Det stilles blant annet krav til forsyningsikkerhet og redundans. Anlegget skal være robust nok til å kunne operere som normalt dersom en forutsett feil oppstår (DNV-GL 2018, seksjon 5). Mye av forsyningsikkerheten ombord på et fartøy kommer av at man har flere kraftprodusenter som leverer energi til dublerede forsyninger. Da kan man tåle å miste deler av forsyningen og/eller kraftprodusentene fordi man kan rerute forsyningen. En slik redundans og forsyningsikkerhet vil ikke bygges inn i modellen. Det er verken tid eller penger til å bygge en modell som tilfredsstiller kravene til DNV-GL, noe som heller ikke anses som nødvendig for modellens hovedformål. En viss redundans kan likevel bygges inn ved å montere flere batterier i parallell med DC-bussen gjennom egne vern (se [kapittel 4.1.3](#), Batteribank).

Når konseptet ble valgt og komponentene som trengtes var identifisert, måtte komponentene bestilles og byggingen iverksettes.

3.2 Anskaffelse

Når de forskjellige typene komponenter var identifisert, ble det satt opp et budsjett. En god del av prosjekttiden ble brukt for å finne delene som trengtes til en pris som var innenfor budsjetttrammene. Skolen har en rabatt-avtale med WAGO som gjorde at vi

hadde råd til å bruke deres PLS-komponenter i styringssystemet. For andre komponenter ble det gjort undersøkelser for å finne de billigste komponentene som kunne levere innenfor kravene. For noen av komponentene måtte Forsvarets rammeavtaler benyttes, noe som i denne sammenhengen var et fordyrende ledd i bestillingen. Et eksempel på dette er anskaffelsen av et aggregat til kraftforsyning. I prosessen med å finne deler ble et aggregat med elektrisk start funnet, som så ut til å tilfredsstille kravene våre. Det kostet 3990 kr med moms og var mulig å bestille innenfor kostnadsrammene. Forsvarets har imidlertid rammeavtale med en annen leverandør og deres tilbud på anskaffelse av aggregat var på minst 17000 kr, en pris som ville ekskludert anskaffelsen av aggregat fra prosjektet. Det ble gjort et unntak fra rammeavtalen slik at det kunne gjøres en bestilling innenfor kostnadsrammene. I budsjettet er det regnet med priser på materiell som er spesifikt for oppgaven. Generelt koblingsmateriell er ikke regnet med, da dette har vært tilgjengelig på skolen. Noe materiell, som batteri, diverse kabel og store rekkeklemmer er anskaffet gratis fra Elektro Skip på Haakonvern. Prisen på dette utstyret vises i budsjettet som estimerte priser hvis man skulle kjøpt de inn gjennom skolen.

Tabell 1: Budsjett

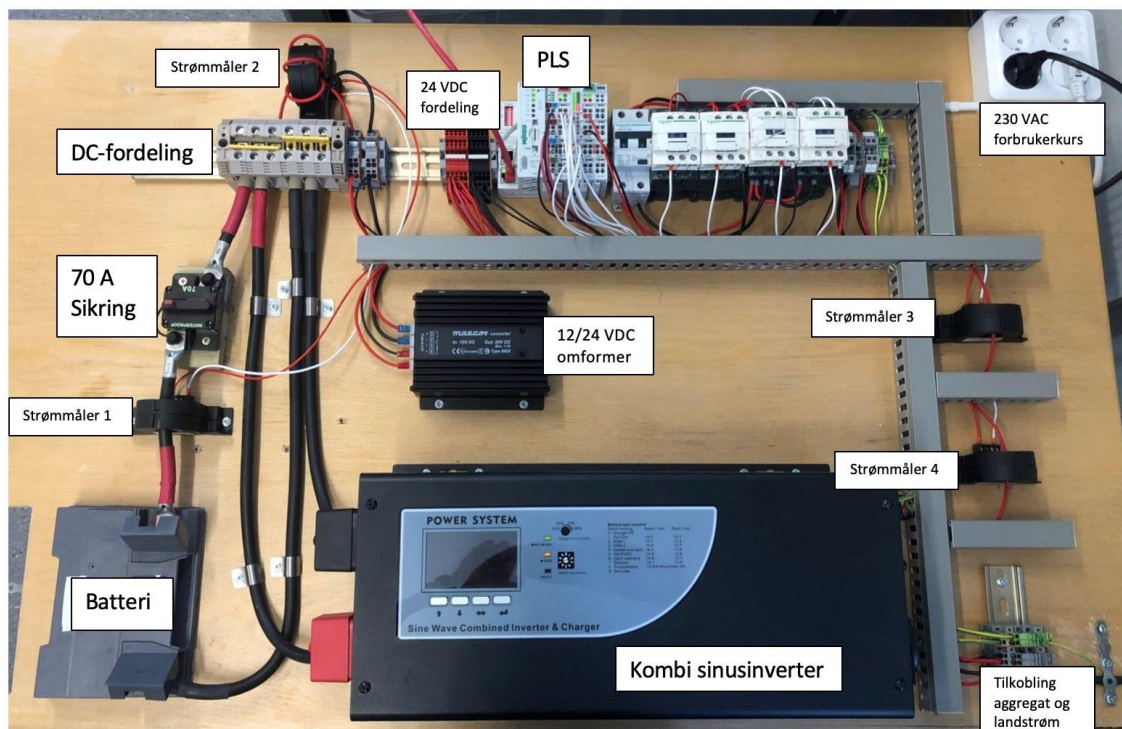
Art. Nr.	Artikkel	Leverandør	Antall	Pris eks.	Sum
N/A	12 V Batteri HOS	HOS	2	1000	2000
690-01-000	Kombi Sinusinverter 1000w (35A)	hyttetorget.no	1	4796	4796
169-88-232	DC/DC 12/24V Mascot	elektroscandia	1	1051,25	1051,25
750-483	2AI 0-30V DC, differential inputs	wago	1	988	988
750-8101	750-8101 PFC100 DIP	wago	1	2339	2339
750-496	8 AI 0/4-20mA, single-ended	wago	1	1058	1058
750-600	Endemodul	wago	1	58	58
750-504	4DO 24VDC 0,5A	wago	1	163	163
N/A	SPG3000E1 aggregat	moe & co.	1	3192	3192
300-97-919	strømtrafo	elektroscandia	4	855	3420
N/A	batterikabel 12V 35mm2	HOS	4	150	600
N/A	rekkeklemmer 35mm2	HOS	6	45	270
N/A	kabelsko 35mm2	HOS	10	17	170

TOTAL 17065,25

Alt fra HOS er oppgitt som hva det ville kostet å kjøpe selv, ikke med i total.

4 Hardware

Dette kapitlet omhandler modellens fysiske deler. Delene er sortert i delkapitler ut ifra hvilken funksjon de har. Deler som er nødvendige for energiflyten i modellen er sortert under 4.1, Elektrisk fordeling. Deler som skal styre/kontrollere energiflyten er sortert under 4.2, Kontrollsystemer. Sensorer er sortert under 4.3, Sensorer. Se figur 5 for arrangement av modellen.



Figur 5: Modellens arrangement

4.1 Elektrisk fordeling

4.1.1 Kombi Sinusinverter 1000 W

For den elektriske fordelingen på modellen ble det valgt å bruke en «Kombi Sinusinverter» se figur 6.



Figur 6: Kombi batterilader/sinusinverter 1000 W

Dette er en enhet som ved hjelp av kraftelektronikk kan levere 12 VDC til lading av batteri, samt omforme batterispenningen til en 230 VAC utgang.

Grunnen til at denne enheten ble valgt er at den gir tilgang til de vanligste spenningene som ønskes brukt i testbenken samlet i én enhet. Det ble også billigere å kjøpe denne enheten fremfor å kjøpe separate ladere og invertere med tilsvarende effekt.

Enheten er, ifølge instruksjonsboken, ment for hytte/fritidsbåt-markedet og er ment å være en «stand alone»-enhet, dvs. at den selv kan kontrollere spenningsnivåer, initiere lading av batterier, kan sende startsignal til aggregat, endre driftsmode, mm.

I testbenken vil vi bare benytte oss av enhetens primærfunksjon som er omforming av spenningsnivåer og la vårt eget EMS ta seg av målinger og beslutninger angående driftsmode.

4.1.2 Aggregat Firman SPG3000E1

For å gjøre modellen selvforsynt med energi, slik et fartøy er, ble det kjøpt inn et bensin-aggregat, se figur 7.



Figur 7: Aggregat Firman SPG3000E1

Dette aggregatet er levert med elektrisk start og kan forsyne modellen med nok kraft til å drive hele modellen inklusive forbrukere, samtidig som batteriet lades. Under nærmere undersøkelser av aggregatet ble det klart at det ikke kunne implementeres i modellen like lett som det var tenkt. Tanken var at aggregatet skulle kunne startes og stoppes av EMS når det ble behov for lading av batteriet, samt at fuelnivået skulle overvåkes. Aggregatet har imidlertid ingen innebygget mulighet for å motta startsignal, og har mekanisk og manuell choke og fuel-ventil, som ville gjort en ombygging til automatisk start svært tidkrevende. Det har én nøkkelbryter for start og stopp, og man må betjene choke og fuel-ventil for oppstart. Det ble teoretisert om hvordan man kunne bygget om deler av aggregatet for å støtte styresignaler fra EMS, men det praktiske arbeidet ble aldri påbegynt av økonomiske grunner og tidsbegrensningen i oppgaven. Aggregatet kan likevel brukes til å forsyne modellen. EMS vil gi varsel om lavt ladenivå og man kan da manuelt starte opp aggregatet. Når batteriet er ladet opp, vil EMS legge ut kontaktoeren som styrer tilførselen fra aggregatet. Man kan da manuelt stenge ned aggregatet.

4.1.3 Batteribank

Testbenken er utstyrt med et bly-syre batteri med nominell spenning 12VDC, se figur 8.



Figur 8: Batteri Marathon L12V24 - 23,5 Ah

Dette er et vedlikeholdsfritt AGM batteri med lav selvutladning. Kapasiteten er 23.5 Ah (nytt). Batteriet kan levere 282Wh (merkeverdi).

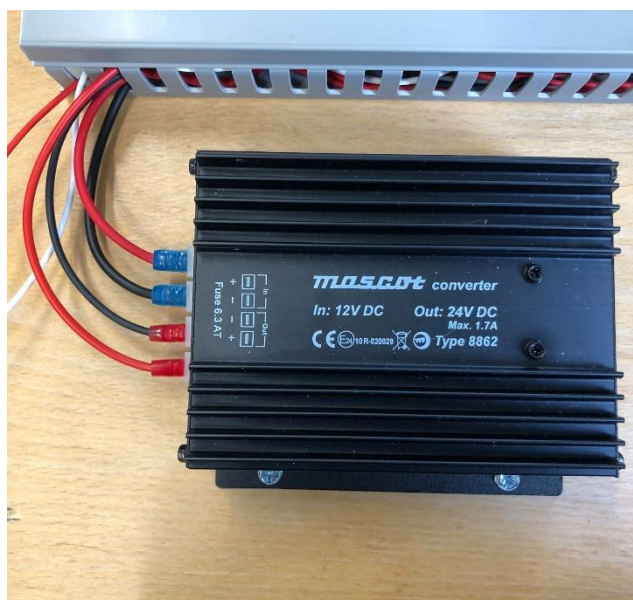
Batteriet er valgt med utgangspunkt i at det skal forsyne en testbenk hvor det er ønskelig at opplading og utlading ikke skal ta for lang tid. Modellen kan levere maksimalt 840 W fra batteriene, begrenset av en 70 A-sikring. Det betyr at man med maksimal last vil tømme batteriene på litt over en halv time ($282 \text{ Wh} / 840 \text{ W} = 0,33 \text{ t}$). Disse utregningene er gjort med merkeverdier. Ved testing av modellen har vi fått mer riktige verdier for utlading med mer aktuelle strømtrekk (se vedlegg [A](#) og [B](#)).

På tross av at vi har to batterier tilgjengelig, valgte vi å kun koble til det ene. Dette for å få en kortere utladningstid, noe som vil gjøre både utladningstester og demonstrasjonen av anlegget tidsmessig mer hensiktsmessig. Hvis man i fremtiden skal koble det andre batteriet i parallell for å doble kapasiteten, vil man kunne bruke undervisningsmodellen til å forsyne over lengre tid. For å gjøre dette trygt er det nødvendig å koble en automat-sikring mellom batteriene. Dette fordi et ev. sammenbrudd i det ene batteriet vil føre til

kortslutning av det andre. Med en nominell spenning på 12 V og en indre motstand på 18,1 m Ω (Batteriets datablad) vil dette teoretisk kunne føre til en kortslutningsstrøm på $I = U / R = 12 \text{ V} / 0,0181 \text{ } \Omega \approx 663 \text{ A}$ (Blue Box Batteries, 2016). Batterier bør kobles parallelt til skinnen, ikke til hverandre.

4.1.4 DC/DC-omformer 10-16/24 VDC 81 W Mascot

For testbenken var det ønskelig å forsyne så mye av utstyret vi kunne fra 12 VDC-fordelingen for å vise at det var mulig å benytte denne som forsyningsnettverk og konvertere spenningen direkte fra fordelingen og til forbruker. PLSen og måleutstyret er derfor koblet til 12 VDC via en DC/DC-omformer, se figur 9.



Figur 9: Mascot 10-16/24 V 81 W DC/DC-omformer

Omformeren er en DC/DC-omformer som gjør om en 10-16 VDC spenning til en 24 VDC spenning. Omformeren har stor range i inngangsspenning, noe som passer bra når spenningen på DC-linken typisk varierer mellom 11-14 VDC. Omformeren vil uansett levere en stabil 24 VDC til PLSen og måleutstyret, så lenge inngangsspenningen er innenfor merkeområde. Kommer man utenfor dette området, vil enheten bryte 24 VDC-tilførselen.

4.1.5 Kabling

Testbenken, selv om den ikke skal levere veldig store effekter, er nødt til å tåle ganske store strømmer. Strømmen på 12 VDC fordelingen er begrenset av en sikring på 70A. Denne relativt store strømmen, sammen med den lave spenningen, gjør at man fort kan oppleve å ha store spenningsfall i overføringen. For modellen er det valgt en leder med tverrsnitt på 35mm² for å føre de største strømmene. Denne lederen vil ha et tap på ca. 0,035 V per meter ved 70 A. Dette får vi ved å bruke formel 4.1:

$$\Delta U = \frac{2 \cdot l \cdot I \cdot \rho}{A} \quad (4.1)$$

ΔU er spenningsfall, I er strøm gjennom kabelen, ρ er spesifikk motstand, og A er tverrsnitt på kabelen, l er kabelens lengde, og det ganges med 2 hvis man beregner strømmen fra og til. I vårt tilfelle regner vi på en av lederne, det gir $\Delta U = 70 \text{ A} \cdot 1 \text{ m} \cdot 0,0175 \text{ Ohm}^2/\text{m} / 35 \text{ mm}^2 = 0,035 \text{ V/m}$.

På 230 VAC-siden er det valgt å bruke ledere med et tverrsnitt på 2,5 mm². Dette er tilstrekkelig for de teoretisk høyeste strømmene anlegget skal tåle på tilførselssiden og på 230 V-kursen. I følge IEC 60890 kan 2,5 mm²-ledere føre 17 A når den forlegges i kanal med ref. temp. 35 grader, se figur 10.

Dimensjonering av ledere I en tavle - Utdrag fra IEC 60890

Maksimal tilladelig ledertemperatur for PVC-isolerte ledninger, 70°C												
Lufttemperatur inde i kapslingen rundt om lederen												
Cu	35°C		55°C		35°C		55°C		35°C		55°C	
	Leder tverrsnit [mm ²]	Strøm-værdi [A]	Effekt-tab ³⁾ [W/m]	Strøm-værdi [A]	Effekt-tab ³⁾ [W/m]	Strøm-værdi [A]	Effekt-tab ³⁾ [W/m]	Strøm-værdi [A]	Effekt-tab ³⁾ [W/m]	Strøm-værdi [A]	Effekt-tab ³⁾ [W/m]	Strøm-værdi [A]
1,5	12	2,1	8	0,9	12	2,1	8	0,9	12	2,1	8	0,9
2,5	17	2,5	11	1,1	20	3,5	12	1,3	20	3,5	12	1,3
4	22	2,6	14	1,1	25	3,4	18	1,8	25	3,4	20	2,2
6	28	2,8	18	1,2	32	3,7	23	1,9	32	3,7	25	2,3
10	38	3,0	25	1,3	48	4,8	31	2,0	50	5,2	32	2,1
16	52	3,7	34	1,5	64	5,6	42	2,4	65	5,8	50	3,4
25					85	6,3	55	2,6	85	6,3	65	3,7
35					104	7,5	67	3,1	115	7,9	85	5,0
50					130	7,9	85	3,4	150	10,5	115	6,2
70					161	8,4	105	3,8	175	9,9	149	7,2
95					192	8,7	125	3,7	225	11,9	175	7,2
120					226	9,6	147	4,1	250	11,7	210	8,3
150					275	11,7	167	4,3	275	11,7	239	8,8
185					295	10,9	191	4,6	350	15,4	273	9,4
240					347	12,0	225	5,0	400	15,9	322	10,3
300					400	13,2	260	5,5	460	17,5	371	11,4
Hjælpkredse												
0,50	6,4	1,8	4,2	0,8								
0,75	8,2	1,9	5,4	0,8								
1,00	9,3	1,8	6,1	0,8								

Figur 10: Strømføringsvevner ref. IEC 60890

For 24 VDC-delen av anlegget er det valgt 1,5 mm² ledere siden PLS og måleutstyr ikke er veldig strømkrevende. 12/24 VDC-omformerer kan maks levere 1,7 A, så man kunne gått enda lenger ned i tverrsnitt.

4.1.6 Hovedforbruker

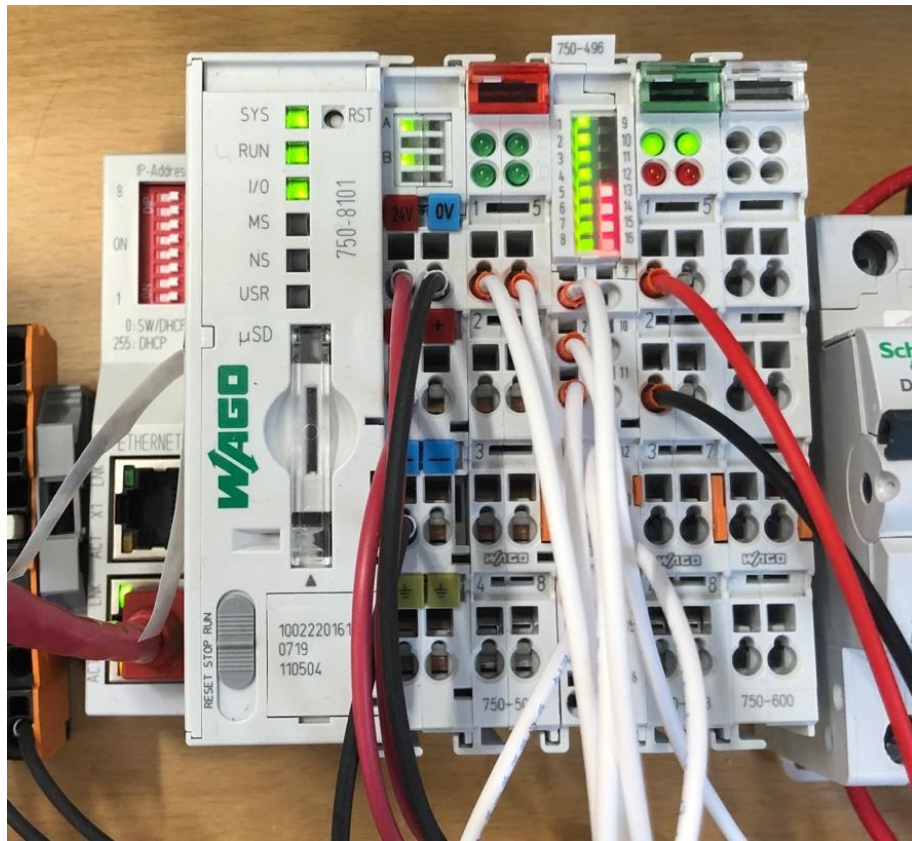
For å kunne teste fordelingssystemet er man nødt til å ha en forbruker. PLSen og ladeinverteren vil forbruke noe energi når de er påskrudd, men for å teste lading/utlading vil det være hensiktsmessig å forbruke batteribanken raskere. Budsjettet for oppgaven er ikke stort nok til at vi kan skaffe en egen forbruker, men vi har fått låne en av skolens motorbrett. Disse forsynes med 230 VAC og inkluderer en PLS, frekvensomformer, motor og motorbelastning. Motorbrettet trekker maksimalt rundt 400 W. Det betyr at vi kan bruke denne som en simulert «fremdriftsmotor» med variabelt turtall og belastning. Motorbrettet vil forsynes fra 12 VDC-fordelingen, via sinusinverteren.

4.2 Kontrollsystem

4.2.1 PLS

Programmerbar Logisk Styring (PLS) er en type datamaskin som brukes til blant annet industrielle formål. Den er robust, driftssikker og modulær (de fleste modeller). PLS brukes mye for å styre og automatisere systemer. Den kan utstyres med innganger og utganger slik at den kan måle, styre, regulere, og kommunisere med andre enheter som nivååmalere, ventiler, frekvensomformere, mm.

For modellen er det valgt å gå for en modulær PLS med Ethernet-tilkobling fra WAGO, se figur 11 og tabell 2. Kontrolleren kan bygges ut med moduler med forskjellige funksjoner. Modulene forsynes med strøm og kommuniserer via en intern BUS. Den interne bussen avsluttes i en endemodul. Denne er avansert nok til å holde programmeringen til EMS og den kan utvides med moduler for måling og styring av nye kurser/enheter. Vi har valgt å bruke standard målesignaler (4-20 mA) for alle målinger, men ved en utvidelse av anlegget vil det også være mulig å bruke sensor/transmittere som kommuniserer over andre standardsignaler eller BUS-standarder. PLSen vil også stå for brukergrensesnittet (HMI). Dette kan gjøres ved at PLSen kobles til internett og oppretter en egen «hjemmeside». Denne siden vil gi brukeren informasjon om systemet og gi tilgang til relevante kontroller.



Figur 11: PLS

Tabell 2: PLS-moduler (fra venstre)

Hovedmodul 750-8101	Hovedmodul Programmerbar kontroller med 2x Ethernet tilkobling. Forsynes med 24VDC.
AI (4-20mA) 750-496	Analog Input modul 8 AI 4-20mA, single-ended. Modul for måling av analoge strømsignaler.
AI (0-30VDC) 750-483	Analog Input modul 2 AI 0-30VDC. Differential input Modul for måling differansespenningen mellom to punkter med maks 30VDC spenningsdifferanse. Brukes for å måle spenningen på 12VDC fordelingen.
DO 750-504	Digital Output 4 DO 24VDC 0,5A Modul for digitale utganger. (styresignal) Brukes for å kunne styre releer og kontaktorer.
Endemodul 750-600	Endemodul Brukes for å endeavslutte den interne busen i PLSen.

4.3 Sensorer

Å ha kontroll på strøm og spenning er essensielt for å ha et velfungerende EMS, siden alle effekt- og energiberegninger, og dermed også tidsestimater, baserer seg på disse.

4.3.1 Strømmåler Seneca T201DCG300-LP

For å måle strøm kan man koble en shunt-motstand inn i kretsen og måle spenningsfallet over den. Dette vil imidlertid føre til et tap av energi. Et annet alternativ er å bruke en måletransformator. Denne virker ved at den strømførende kabelen legges gjennom en coil. Når det går strøm gjennom lederen, vil det induseres en spenning i coilen som kan måles og som vil gi et mål på hvor mye strøm som går gjennom kabelen. Denne målemetoden virker imidlertid bare for AC. Fordi det skal måles både AC- og DC-strømmer, har vi valgt å bruke måleomformere basert på Hall-element, se figur 12.



Figur 12: Seneca T201DCH300-LP Hall-elementbasert strømmåler

Dette er en strømmåler som ved å måle magnetfeltet rundt en kabel kan gi en verdi for hvor stor strøm som går gjennom den. Siden de ikke er en del av kretsen, vil de ikke føre til tap av energi. Målerne som er valgt kan måle AC- og DC-strømmer opp til 300 A i RMS-modus. Verdien leses ut som et 4-20mA målesignal. Når det måles DC, kan måleren

også fortelle hvilken vei strømmen flyter, f.eks. om strømmen går til eller fra batteriban-
ken. I denne modusen, som forøvrig brukes på DC-delen av fordelingen, ligger måleom-
rådet på +/- 150 A.

4.3.2 Wago 0-30 VDC differensialmåler

Dette er en PLS-modul som er laget for å måle differansespenningen mellom to punkter.
Den er koblet direkte til DC-forsyningen. Denne måleren leser måleverdien direkte inn i
PLSen uten å gå via. andre målesignal (se figur 11 og tabell 2).

5 Software

I dette kapitlet blir softwaren gjennomgått. Til å begynne med kommer en oversikt over hovedprogrammet, for så å gå mer i dybden på de viktigste bestanddelene den er bygd opp av og hva den har blitt til. Alle variabler er skrevet på engelsk for å gjøre det mer universelt for flere lesere. Med tanke på at det undervises teknisk engelsk på skolen, er det også naturlig å bruke engelsk når målet er at dette skal være en undervisningsmodell. Programmet er skrevet med WAGO sin programmeringsløsning, da den hører til valgt PLS. Ikke minst gir det de mulighetene som ble forespeilet nødvendig under konseptfasen av oppgaven. Programmet kan grovt deles inn i styring og overvåking, hvor styringen i hovedsak legger inn kontaktorer for ulike energikilder, mens overvåkingen tar seg av energiflyten til og fra batteribank, inverter etc.

5.1 Hovedprogram

Hovedprogrammet er skrevet i strukturert tekst, og inneholder minimalt med egne utregninger. Strukturen er at hovedprogrammet i hovedsak automatisk styrer tilstanden på kontaktorene, og bestemmer om det er batteriet, aggregatet eller «landsstrøm» som forsyner forbrukerne ut ifra tilstanden i en case-struktur (se figur 13). Man må for eksempel koble ut landsstrøm for å kunne gå over på batteridrift, og kontaktorer for både landsstrøm og generator vil bli lagt ut.

```

Wh_Count();
Convert();
PowerAndTime();
Bat_Cap_Estimator();
V_DC_AVR();
V_DC_Select();

CASE States OF
  Battery:
    Land := FALSE;
    G1 := FALSE;
    Bat_Cap_Estimator(Wh_Actual => Wh_Total_Bat);
    IF (ShorePower > 10000) THEN
      GenStart := FALSE;
      States := Shore;
    END_IF
    IF (Convert.V_DC <= V_DC_Min) OR (Wh_Total_Bat <= Wh_Bat_Min) THEN
      GenStart := TRUE;
    ELSE
      GenStart := FALSE;
    END_IF
    IF ((Convert.V_DC <= V_DC_Min) OR (Wh_Total_Bat <= Wh_Bat_Min)) AND (GenPower > 10000) AND NOT (ShorePower > 10000) THEN
      GenStart := FALSE;
      States := Generator;
    END_IF
  Shore:
    G1 := FALSE;
    Land := TRUE;
    Wh_Count(Start := TRUE);
    Wh_Count_Timer(IN := TRUE, PT := T#15H);
    IF (Wh_Count_Timer.ET >= Temp_Time + T#1S) THEN
      Wh_Total_Bat := Wh_Total_Bat + Wh_Count.Wh_Bat;
      Temp_Time := Wh_Count_Timer.ET;
    END_IF
    IF ShorePower < 10000 THEN
      Wh_Count(Start := FALSE, Time_var := T#0S);
      Wh_Count_Timer(IN := FALSE);
      Temp_Time := T#0S;
      States := Battery;
    END_IF
  Generator:
    Land := FALSE;
    G1 := TRUE;
    Wh_Count(Start := TRUE);
    Wh_Count_Timer(IN := TRUE, PT := T#15H);
    IF (Wh_Count_Timer.ET >= Temp_Time + T#1S) THEN
      Wh_Count();
      Wh_Total_Bat := Wh_Total_Bat + Wh_Count.Wh_Bat;
      Temp_Time := Wh_Count_Timer.ET;
    END_IF
    IF (Wh_Total_Bat >= Wh_Bat_Preferred) OR GenPower < 10000 THEN
      Wh_Count(Start := FALSE, Time_var := T#0S);
      Wh_Count_Timer(IN := FALSE);
      States := Battery;
    END_IF
    IF ShorePower > 10000 THEN
      Wh_Count(Start := FALSE, Time_var := T#0S);
      Wh_Count_Timer(IN := FALSE);
      States := Shore;
    END_IF
END_CASE

```

Figur 13: Hovedprogram EMS (Se egen dokumentasjon i [vedlegg E](#) for kommentarer til programmeringen)

Utrekningene gjøres i underordnede funksjonsblokker (FB), og de fleste av dem er satt til å oppdateres utenfor case-strukturen for å oppnå kontinuerlig oppdatering. Konvertering, skalering, telling og måling foregår også i underordnede FBer. Det oppsto et dilemma mellom å oppnå kortfattethet versus modularitet under utviklingen av funksjonsblokkene. Det ble vurdert dithen at å bruke færre variabler på færre linjer program ga mer i form av kortfattethet enn det programmet mistet i form av modularitet ved å ikke definere inngangsvariabler for funksjonsblokkene. De fleste av funksjonsblokkene har derfor ikke definerte inngangsvariabler, men kaller opp andre funksjonsblokker sine utgangsvariabler og bruker disse som inngang (se eksempel i figur 14).

```
FUNCTION_BLOCK Power_And_Time
VAR_INPUT
END_VAR
VAR_OUTPUT
    W_Battery : REAL;
    W_EMS_Supply : REAL;
    W_Inverter : REAL;
    W_AC_IN : REAL;
    W_AC_OUT : REAL;
    EOT_WAR : TIME;
    EOT_TRANSIT : TIME;
    EOT_DP : TIME;
    EOT_ACTUAL : TIME;
    Wait_Estimates : BOOL;
END_VAR
VAR
    Wh_Count : Wh_In_Out_Bat;
    Convert : Conversion;
    Capacity : Capacity_Estimator;
    V_DC_Select : V_DC_Selector;
END_VAR


---


Convert();
Wh_Count();
Capacity();
V_DC_Select();

Wait_Estimates := (V_DC_Select.V_DC_Sel <= 12.75);

W_Battery := ABS(Convert.A_DC_BAT * V_DC_Select.V_DC_Sel);
IF LAND OR G1 THEN
    W_Inverter := ABS(W_Battery + W_EMS_Supply);
ELSE
    W_Inverter := ABS(W_Battery - W_EMS_Supply);
END_IF
W_EMS_Supply := Convert.A_DC_EMS_SUPPLY * V_DC_Select.V_DC_Sel;

W_AC_IN := Convert.A_AC_IN * 230;
W_AC_OUT := Convert.A_AC_OUT * 230;

EOT_WAR := REAL_TO_TIME(3600000 * Capacity.Wh_WAR / 122.4);
EOT_TRANSIT := REAL_TO_TIME(3600000 * Capacity.Wh_TRANSIT / 68.4);
EOT_DP := REAL_TO_TIME(3600000 * Capacity.Wh_DP / 14.4);
EOT_ACTUAL := REAL_TO_TIME(3600000 * Capacity.Wh_Actual / W_Battery);
```

Figur 14: Eksempel på funksjonsblokk uten definerte inngangsvariabler

5.2 Konvertering og skalering

AI-modulen vi bruker leser en strømverdi fra 4-20 mA på inngangen og omgjør verdiene til tallverdier mellom 0-32670, i tillegg til feilkoder ved verdier utenfor dette området (se tabell 3).

Tabell 3: Avleste strømverdier med tilhørende digitale verdier

Table 20: Process Image, Sensor Type 4 ... 20 mA, Two's Complement Representation

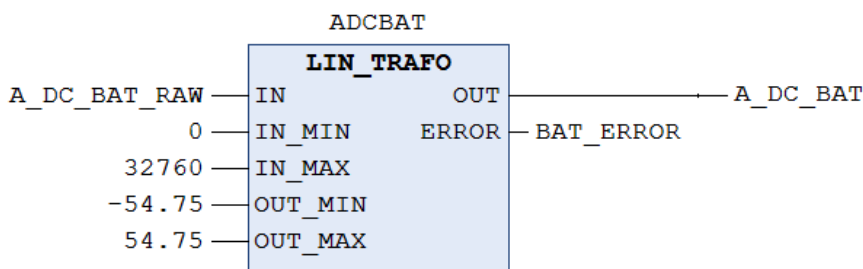
Input current mA	Numeric value				Status Byte Hex.	Error LED
	Binary	XFÜ ¹⁾	Hex.	Dec.		
< 1.0	'0000.0000.0000.0	011'	0x0003	3	0x60	ON
Wire break ³⁾	'0000.0000.0000.0	011'	0x0003	3	0x41	ON
< 4.0	'0000.0000.0000.0	011'	0x0003	3	0x00	OFF
Underrange ²⁾	'0000.0000.0000.0	000'	0x0000	0	0x00	OFF
4.0	'0000.0000.0000.0	000'	0x0000	0	0x00	OFF
5.6	'0000.1100.1100.0	000'	0x0CC8	3272	0x00	OFF
7.2	'0001.1001.1001.1	000'	0x1998	6552	0x00	OFF
8.8	'0010.0110.0110.0	000'	0x2660	9824	0x00	OFF
10.4	'0011.0011.0011.0	000'	0x3330	13104	0x00	OFF
12.0	'0011.1111.1111.1	000'	0x3FF8	16376	0x00	OFF
13.6	'0100.1100.1100.1	000'	0x4CC8	19656	0x00	OFF
15.2	'0101.1001.1001.1	000'	0x5998	22936	0x00	OFF
16.8	'0110.0110.0110.0	000'	0x6660	26208	0x00	OFF
18.4	'0111.0011.0011.0	000'	0x7330	29488	0x00	OFF
20.0	'0111.1111.1111.1	000'	0x7FF8	32760	0x00	OFF
Overrange ²⁾	'0111.1111.1111.1	011'	0x7FFB	32763	0x42	ON
> 20.0	'0111.1111.1111.1	011'	0x7FFB	32763	0x50	ON
Short circuit ³⁾	'0111.1111.1111.1	011'	0x7FFB	32763	0x50	ON
> 21.0	'0111.1111.1111.1	011'	0x7FFB	32763	0x50	ON

1) Status bits: X: not used, F= error, Ü= overflow

2) When underrange / overrange limit is ON

3) When wire break / short circuit diagnostics is ON

Et eksempel på hva som leses av er Hall-effektsensorene våre: Sensorene er beregnet for å måle mellom -150 til 150 A i DC-modus (se [4.3.1](#)). Dette måleområdet fordeles ut over 4-20 mA. Videre leser AI-modulen denne verdien fra sensoren, og fordeler det ut over en skala fra 0-32760. For at man skal kunne lese det som -150 til 150 A, må de digitale verdiene omskaleres. Dette kan gjøres ved å bruke en funksjonsblokk for lineær transformasjon, se figur 15.



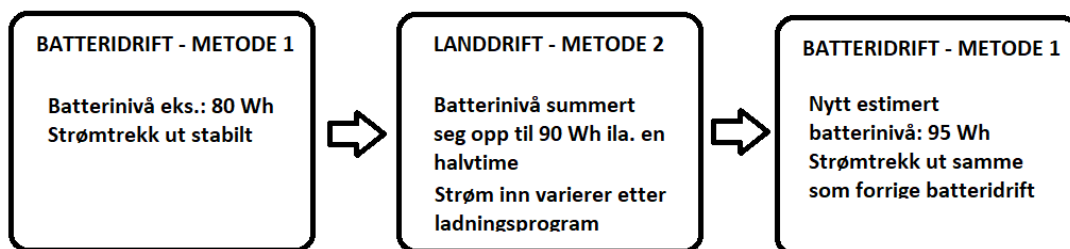
Figur 15: Funksjonsblokk for lineær transformasjon

Grunnen til at det ikke står -150 og 150 på minimum- og maksimumsverdi for området på utgangsverdiene er et avvik på sensorene som måtte kompenseres for, se [kapittel 6](#), Måling og kalibrering. Denne typen skalering gjøres med alle verdier på AI-modulen, med unntak av signalet fra to kontaktorer. Disse gir kun to forskjellige verdier, og ville mer hensiktsmessig vært koblet til en DI-modul. For å slippe å kjøpe en egen DI-modul for å føre kun to signaler, er de i stedet koblet inn på AI-modulen via en 2,4 k Ω motstand, noe som gir et signal på $24 \text{ V} / 2400 \Omega = 10 \text{ mA}$, et signal som er innenfor området til AI-modulen.

5.3 Overvåking og telling

Programmet overvåker strømmen på fire plasser i anlegget, til/fra batteri, til 24 VDC-forsyning, AC inn og AC ut, samt spenning på DC-linken (se figur 5). Strømmålere er koblet til AI-modulen, mens VDC-målingen foregår direkte på en dedikert VDC-målingsmodul på PLSen. Kombinasjonen av disse målingene brukes til å regne ut kraftforbruk, og sammen med medgått tid, energi. Fordi batteriet fungerer som et lager av energi, som blir tomt og fylles opp, og man er avhengig av et visst nivå for å kunne forsyne en forbruker over en tid, blir energi til og fra batteriet et naturlig midtpunkt i EMS. Batteriet blir påsatt en spenning når det lades, noe som gjør det umulig å måle polspenningen under lading. For å kunne estimere batteriets energinivå både under lading og forsyning, var det nødvendig å bruke to ulike metoder.

Samspillet mellom metode 1 og metode 2 vises i figur 16.



Figur 16: Samspill mellom metoder for estimering av batteriets energinivå

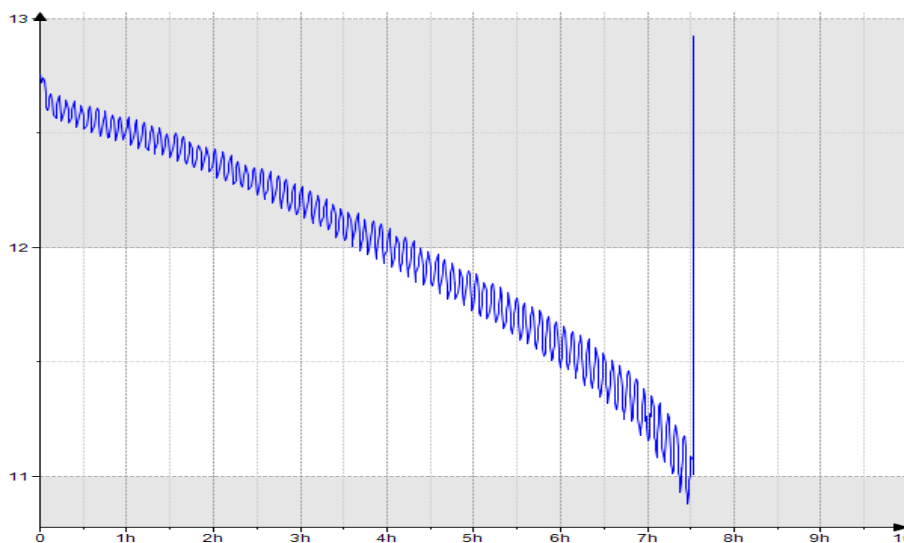
I en ideell verden skulle det siste estimerte batterinivået vært likt det som har blitt summert opp til i forrige driftsmodus, men her blir det ofte et lite avvik. Dette kommer av at

strømmen inn på batteriet varierer under lading, og fordi batteriet ikke mottar energi på nøyaktig samme måte som det leverer energi. Konsekvensen av dette er at man får et litt mindre presist estimat når man er i land- eller generatordrift.

Den første metoden, for utlading, baserer seg på å måle polspenningen og strøm ut fra batteriet, og gir et estimat på energinivået på grunnlag av tre premisser som ble utarbeidet etter utladningstester av batteriet (se vedlegg [A](#) og [B](#)). Disse tre premisene er:

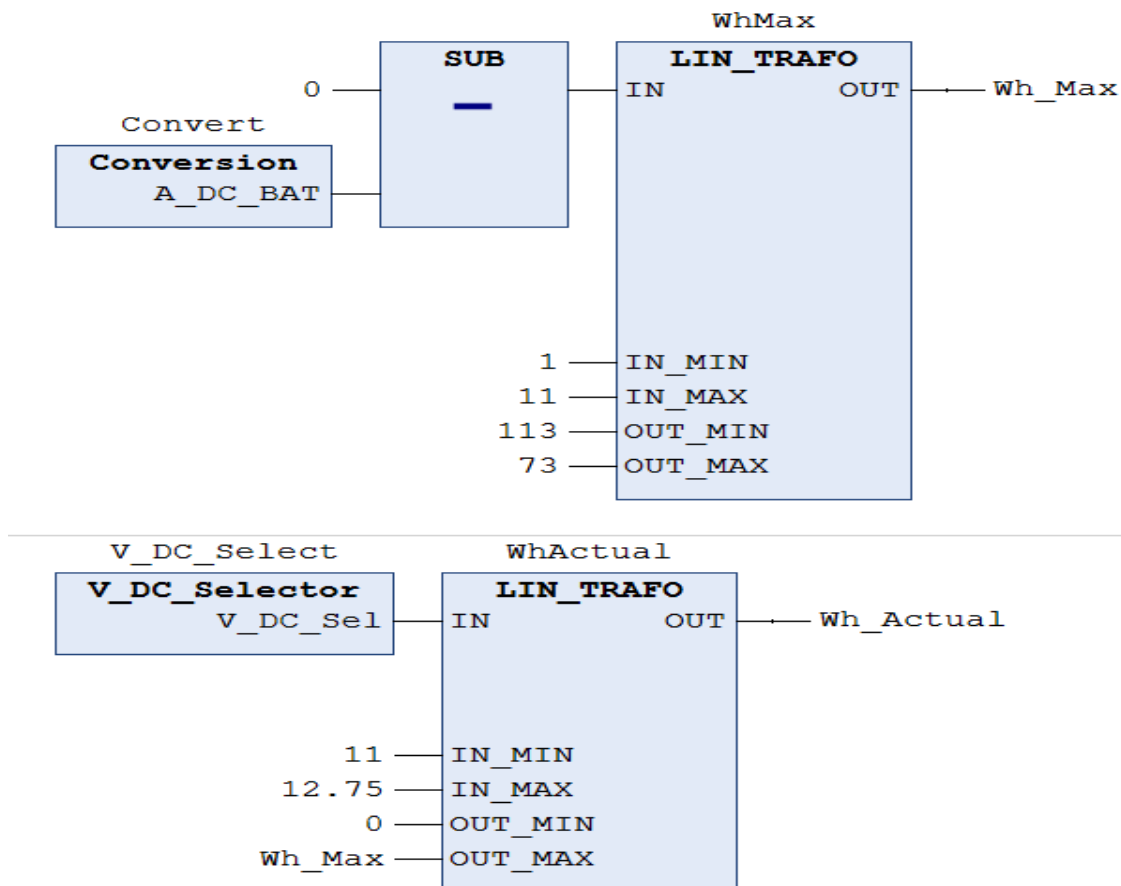
1. At batterispenningen ligger mellom 11 og 12,75 V.
2. At batteriets energinivå endrer seg lineært med batterispenning.
3. At batteriets potensielle maksimale nivå endrer seg lineært med belastningen det påføres.

For det første premisset ble 11 V satt som minimum fordi inngangsspenningen til 12/24 V-omformereren og ladeinverteren har 10 V som minsteverdi. Kommer man under dette, vil PLSen miste forsyning (se 4.1.4), og det ble derfor valgt en sikkerhetsmargin på 1 V for å ivareta driftssikkerhet. Maksimalverdien (12,75 V) ble satt på grunnlag av utladningstester, se [vedlegg A](#). Ved å toppe batteriet over natta, og deretter belaste det med den minste strømmen forbrukeren kan trekke, vil batteriet i kort periode ligge på over 12,75 V. Dette ble ansett som et tilfelle som forekom for sjelden til å basere estimatene på, hvilket leder over til det andre premisset. Det andre premisset henger sammen med det første fordi utladningstestene viste at batteriets energinivå endret seg delvis lineært med batterispenningen nettopp mellom 11 og 12,75 V, se figur 17.



Figur 17: Utladningstest, 1 A belastning, Y = [V], X = [t]

Det tredje premisset brukes for å kunne sette maksimalverdien for energinivå (les maksimal kapasitet) ved ulike belastninger, se [vedlegg B](#). I den første energiestimeringsmetoden skales maksimal kapasitet lineært med belastningen. Denne maksimale kapasiteten mates inn som maksimalverdi for den neste lineære skaleringen, som gir ut energinivå lineært skalert med spenning, se figur 18.



Figur 18: Funksjonsblokker for estimering av energinivå ved batteridrift

Den andre metoden brukes når batteriet blir ladet, og regner antall wattimer som har gått inn på batteriet hvert sekund under lading (se figur 19). Disse wattimene legges kontinuerlig til det siste energinivået som ble estimert med den første metoden.

```

Wh_Timer(IN := Start, PT := T#15H);
IF (Wh_Timer.ET >= Time_var + T#1S) THEN
  Convert();
  Wh_Bat := ((TIME_TO_REAL(Wh_Timer.ET - Time_var)/3600000)*(Convert.A_DC_BAT)*Convert.V_DC);
  Time_var := Wh_Timer.ET;
END_IF

```

Figur 19: Funksjonsblokk for telling av wattimer

Som funnet i batteritestene (se vedlegg [A](#)), måler vi en slags sinus med periode på rundt fem minutter og en amplitude på noen tidels volt, avhengig av strømmen. Fordi tidsestimatene baserer seg på blant annet spenningen, ble også tidsestimatene selv ved svært stabile strømtrekk fluktuerende. Dette ble kontret ved å lage en FB som måler gjennomsnittlig spenning for de siste fem minuttene (se figur 20):

```

Convert();
Average_Timer(IN := TRUE, PT := T#15H);
IF (Average_Timer.ET >= Temp_time + T#3S270MS) THEN
    FOR n := 1 TO 99 DO
        Values[n] := Values[n + 1];
    END_FOR
    IF NOT(LAND OR G1) THEN
        Values [100] := Convert.V_DC;
    ELSE
        Values [100] := 0;
    END_IF
    FOR i := 1 TO 100 DO
        IF Values[i] > 0 THEN
            Array_Sum := Array_Sum + Values[i];
            k := k + 1;
        END_IF
    END_FOR
    IF k > 0 THEN
        V_DC_AVERAGE := Array_Sum / k;
    ELSE
        k := 1;
        V_DC_AVERAGE := Array_Sum / k;
    END_IF
    k := 0;
    Array_Sum := 0;
    Temp_time := Average_Timer.ET;
END_IF

```

Figur 20: Funksjonsblokk for utregning av gjennomsnittlig spenning siste 5 min

For å ikke få et etterslep på fem minutter til enhver tid, brukes kun gjennomsnittsverdien når batteriet har stabilisert seg, dvs. ikke over 12,75 V, og ikke i land- eller generator drift. Denne selektive bruken av batterispenning velges av en annen FB (se figur 21).

```

DC_Realttime();
DC_Average();
IF (DC_Average.V_DC_AVERAGE > 12.75) OR (DC_Average.V_DC_AVERAGE = 0.0) OR Land OR G1 THEN
    V_DC_Sel := DC_Realttime.V_DC;
ELSE
    V_DC_Sel := DC_Average.V_DC_AVERAGE;
END_IF

```

Figur 21: Funksjonsblokk som velger mellom gjennomsnitts- eller øyeblikksverdi for spenning

5.4 Styring

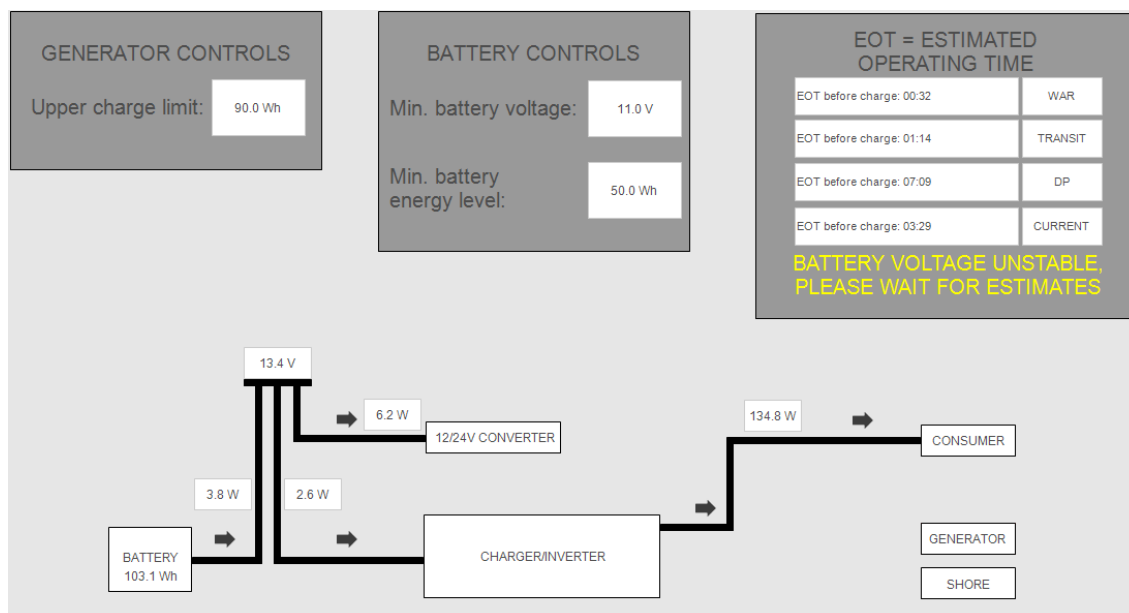
Det foregår en enkel styring i ladeinverteren uten bruk av PLS. Den styringen veksler mellom å forsyne en 230 VAC-utgang fra enten batteriet eller 230 VAC-inngangen, alt

ettersom 230 VAC er koblet til eller ikke. Når 230 VAC er koblet til inngangen vil inverteren også lade batteriet. For å ha mulighet til å veksle mellom å ha 230 VAC inn fra «landstrøm» og aggregatet, bruker vi kontaktorer som blir styrt av programmet. Det første som skjer i hver av tilfellene «Battery», «Shore» og «Generator» er at de riktige kontaktorene blir satt høy eller lav, for å gi de respektive energistimeringsmetodene som brukes i hver av dem riktige premisser.

5.5 Brukergrensesnitt (HMI)

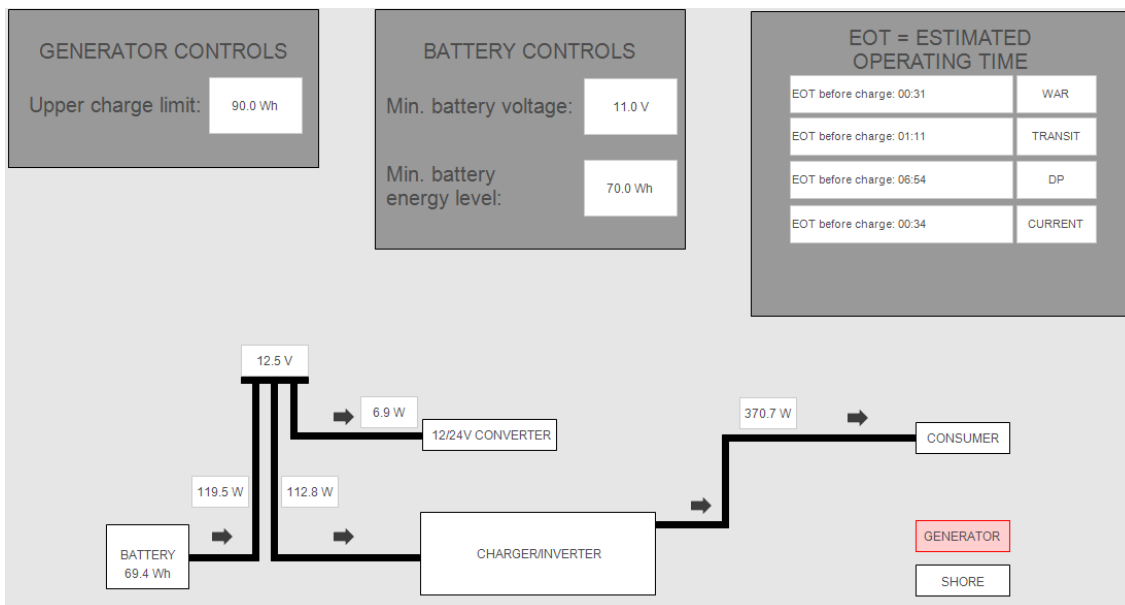
Både for modellens pedagogiske egenskaper og for å vise hvordan et EMS kan påvirke ytelsen til et fartøy, er brukergrensesnittet en sentral del for måloppnåelsen. HMIn viser en interaktiv arrangementstegning av anlegget med strømretninger, spenninger og kraftforbruk på de ulike komponentene, samt tidsestimater (EOT) og batteriets energinivå. Det er også mulig å velge på hvilket energinivå man vil at generatoren skal slutte å lade, samt minsteverdier for batteriets energinivå og spenning.

I batterimodus vil polspenning være ustabil over 12,75 V (se vedlegg [A](#)), noe som gjør at det tar litt tid før estimater kan gis. HMIn vil i disse tilfellene fryse tidsestimatene og be brukeren om å vente, pga. ustabil batterispenning, se figur 22.



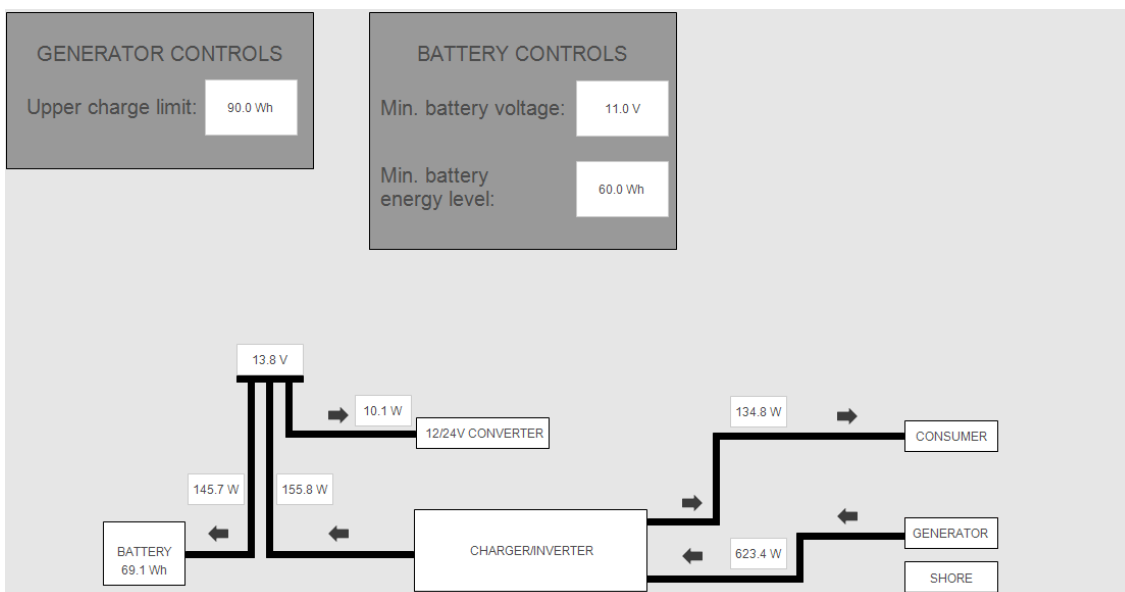
Figur 22: EMS i batterimodus, med ustabil batterispenning

Hvis man er i batteridrift, og man kommer under ønsket minsteverdi for batteriet, vil generatoren bli rød for å indikere at man må starte generatoren (se figur 23).



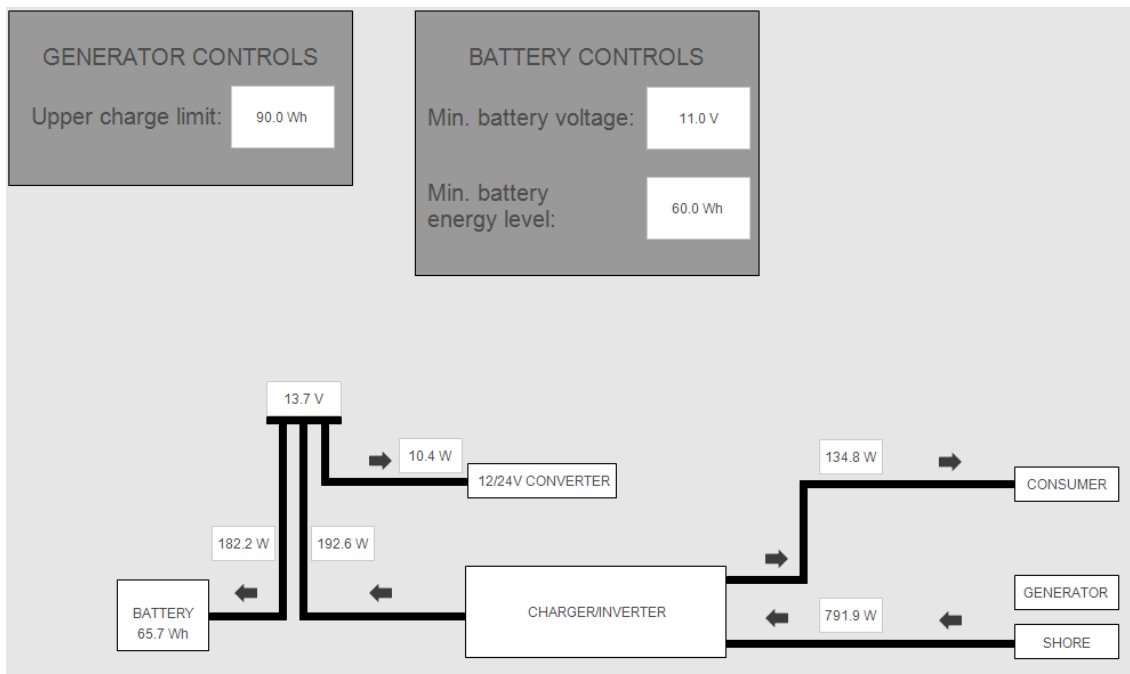
Figur 23: EMS i batterimodus, med batterinivå under ønsket minimum

Når generatoren ev. starter, vil systemet oppdage at man har spenning inn, og automatisk gå over i generatormodus. I generatormodus har man mulighet for å styre når batteriet slutter å bli ladet ved å sette en øvre ladegrense (Upper charge limit, se figur 24). Hadde man utvidet hardwaren med fjernstyrt start og stopp, ville man også automatisk kunne skrudd av generatoren når denne grensen nås. Foreløpig må generatoren stoppes manuelt.



Figur 24: EMS i generatormodus

Når landstrøm kobles til, vil EMS alltid gå i landmodus (se figur 25), uavhengig av om batteriet er fullt. Dette fordi man i landmodus ikke er i en kritisk energibesparende tilstand, og heller ville toppet batteriet litt ekstra for å være så klar for operasjoner som mulig.



Figur 25: EMS i landmodus

6 Måling og kalibrering

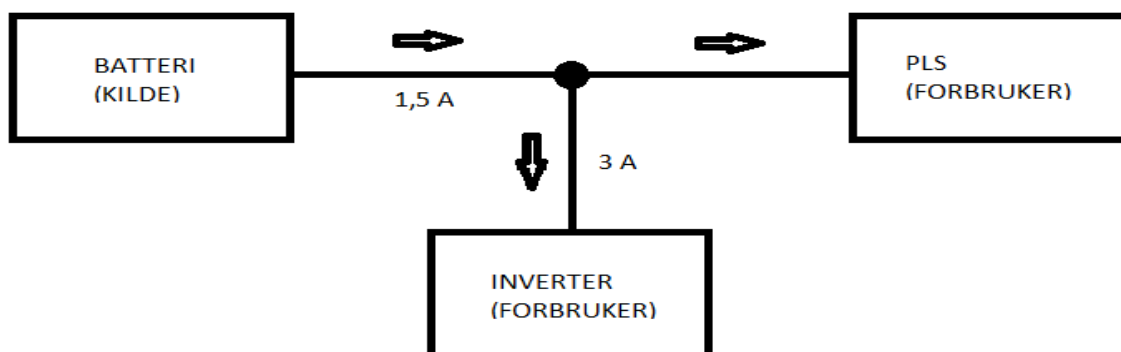
For modellen er det tenkt å måle strøm og spenning. Spenningen på 230 VAC tilførsel og forsyning antas å være fast 230 VAC. 12 VDC-spenningen vil måles via en PLS-modul med 0-30 VDC differensialmåler, da denne vil variere når batteriet lades ut. Denne spenningen er relevant å måle både for å kunne estimere batteriets ladenivå og for å beregne effekter. Strømmålingen vil foregå ved hjelp av Hall-effekt strømmålere. Disse målerne er montert rundt lederen og måler strømmen ved å måle magnetfeltet som oppstår rundt lederen. Det er valgt å måle strømmen inn og ut fra batteriet og sinusinverteren, samt 230 VAC tilførsel og forsyning.

Under kalibreringen av strømmålerne ble det avdekket flere problemer med målerne. Den første måleren som ble kalibrert, viste seg å ikke følge skalaen som var oppgitt i databladet. I følge databladet til målerne skulle den gi ut 4-20 mA for en strømmåling fra -150 til 150 A i valgte modus, men etter å ha skalert 4-20 mA-signalet tilbake til oppgitt målingsområde i programmet, viste den veldig feile strømmer, sammenlignet med et referanseamperemeter. For å sikre at det var måleren, og ikke AI-modulen som var feilkilden, ble det koblet et signalsimuleringsinstrument til AI-inngangen. Med det ble det kontrollert at 4-20 mA tilsvarte 0-32760 på modulen. Deretter ble det målt to ulike strømverdier med det pålitelige amperemeteret. De tilsvarende digitale verdiene mellom 0-32760 ble så notert. Med disse to punktene kunne matematikk for en lineær funksjon brukes til å regne ut hva strømmåleren faktisk begynte skalaen sin på.

$$y = ax + b \quad (6.1)$$

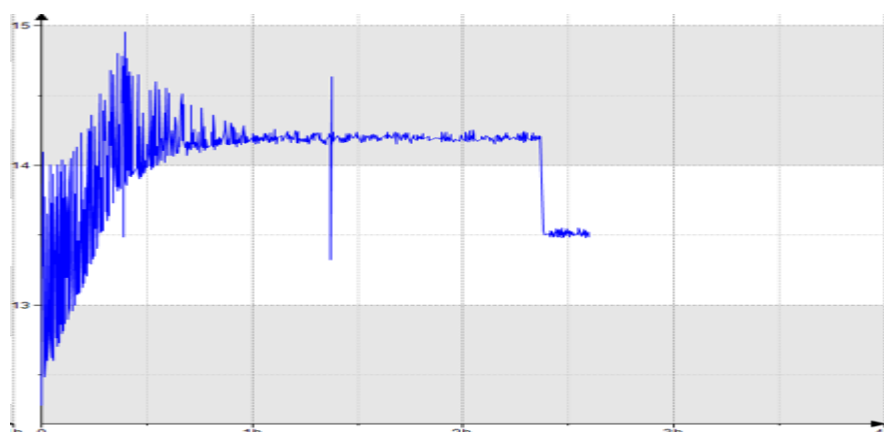
Å skalere måleren fra -54 til 54 A ga en nøyaktighet på ca. +/- 0,1 A med amperemeteret som referanse.

Problemene fortsatte for neste måler, men denne gangen var det støy som var hovedproblemet. Når modellen var i batteridrift ble det målt større strøm inn til inverteren enn det som kom ut fra batteriet (se figur 26). Det ble målt flere ganger med forskjellige målemetoder, Hall-effekt strømtang og amperemeter i serie, alle viste det samme avviket, ca. 1,5 A ut fra batteriet og ca. 3 A inn til inverteren. Dette ville antydnet at PLSen forsynte kretsen med 1,5 A, noe som er umulig.



Figur 26: Prinsippskisse av målefeil ved kalibrering av strømmålere

Det er ingen andre komponenter koblet til DC-fordelingen som kan levere denne strømmen. Vi fant ingen feil med kabler eller kobling, men oppdaget at «feilen» ble større når vi målte nærmere inverteren. Ved å bruke et oscilloskop oppdaget vi at det var mye støy i kablen koblet til inverteren og vi antar at det er denne støyen som har gjort det vanskelig for oss å kalibrere strømmåleren. Dette kom også fram ved å logge en opplading av batteriet i en graf (se figur 27).



Figur 27: Støybefengt ladespenning fra inverteren, Y = [V], X = [t]

Det ble besluttet å flytte strømmåleren slik at den måler strømmen som forsyner 24 VDC-omformeren, da denne er mindre støyutsatt.

Ved videre kalibrering ser dette ut til å ha vært det riktige valget. Det er nå mulig å måle strømmen til og fra batteriet, og strømmen til 24 VDC-omformeren. Med det måles 2 av 3 grener på DC-linken og man kan derfor beregne strømmen som går til og fra inverteren med Kirchoffs strømlov:

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0 \quad (6.2)$$

7 Drøfting

Vi har bygget en modell av en forsyningslinje på 12 VDC, med batteribank, omformere, måleinstrumenter og styringslogikk. Modellen er bygget for å kunne utvikle et Energy Management System. For å kunne utvide modellen på et senere tidspunkt, er det for hvert spenningsnivå laget plass i rekkeklemmer for å kunne koble til nytt utstyr. Det er også laget plass til et ekstra batteri. På PLSen er det brukt en modul for å måle standard målesignal 4-20 mA og en modul for å måle 0-30 VDC differansespenning. 4-20 mA er valgt fordi det påvirkes mindre av eksterne støykilder og gir feilmelding dersom signalet faller bort. Ved å bestille målere som leverer standard målesignal 4-20 mA, kan disse kobles til eksisterende PLS-modul, men man kan også velge andre målesignaler dersom man anskaffer egnet inngangsmodul til PLS.

Modellen er utstyrt med en kombinert lader/sinusinverter. Enheten ble valgt fordi den var kostnadsparende fremfor å bestille separat lader og 230 VAC-invertere. Enheten gjør den jobben den er ment for, men skaper litt problemer på 12 VDC-linken. Der har vi målt en del støy som kan påvirke måleinstrumenter. Vi løste problemet med å flytte den ene strømmålingen vår, men for å bli kvitt støyen bør man vurdere å montere en filterpakke eller å bytte ut inverteren.

Som alternativ energikilde ble det kjøpt inn et aggregat. Tanken var at dette skulle være koblet til modellen, og startes eller stoppes av PLS basert på ladebehovet. Aggregatet viste seg å være dårlig egnet for dette, selv om det var bestilt med elektrisk start. På grunn av manglende kunnskap om aggregater og ufullstendig research, ble det innhentet for lite informasjon om hvorvidt det var mulig å fjernstarte aggregatet på tenkt måte før det ble anskaffet. Det kan tenkes at hvis det, i planleggingsfasen, hadde blitt benyttet mer tydelige kritiske beslutningspunkter, med en alternativ løsning i beredskap, så ville vi raskere kunne omstilt oss til å løse dette på en annen måte. Det er ansett som mulig å bygge om aggregatet til å støtte fjernstart, men det ble ikke videre utarbeidet for denne oppgaven, da det ble ansett som for tidkrevende i forhold til prioriteringsnivå. En annen ting som ikke ble sikret godt nok før aggregatet ble bestilt, var hvilke fasiliteter vi trengte for å teste aggregatet med EMS på en hensiktsmessig måte. Aggregatet må stå ute under tak, med eget jordingsspyd, og undervisningsmodellen med forbruker må stå inne, noe som gjorde det vanskelig å finne en plass der aggregatet kunne stå under tak og bli testet uten å være til sjenanse for skolens daglige drift. I tillegg ville anskaffelsen og montasjen av et jordspyd i seg selv være både dyrt og tidkrevende.

På modellen lagres det energi i et 12 V blybatteri. Dette batteriet fikk vi gratis og har vist seg å fungere utmerket i modellen. Det har imidlertid vært en utfordring å måle ladenivået på batteriet da kapasiteten endrer seg ved ulike belastninger (se vedlegg [B](#)). Vi har løst dette med å anta linearitet i et gitt måleområde. Det betyr at dersom batteriets ladenivå og spenning ligger utenfor dette området vil vi ikke kunne estimere ladenivået. Vi har kommet frem til at dette er akseptabelt da vi har dekket mesteparten av batteriets ladenivå og fordi man ikke kunne antatt linearitet for ytterpunktene av batteriets spenningsområde.

EMS er programmert på en WAGO PLS. PLSen gir modellen modularitet fordi den kan utvides med nye inn- og utganger dersom modellen utvides. Den har tilstrekkelig kapasitet for å kjøre programvaren vår, og den gir mulighet for å lage en HMI som kan vises på en datamaskin. Denne typen PLS brukes også i undervisningen på skolen og gir med det en naturlig overgang fra eksisterende undervisningsmodeller.

Strømmålerne sørger for å mate EMS med verdier for hvor mye strøm som går i de forskjellige kablene. Disse ser ut til å måle ganske bra når vi har kalibrert målesignalet riktig. De fungerer imidlertid dårlig når de blir utsatt for støy. Målerne kan måle strømmer helt opp til 300 A. Slik modellen står nå, er den høyeste strømmen i fordelingen mindre enn 15 A. Det betyr at vi bare får utnyttet en liten del av måleområdet, og får begrenset oppløsning på målingen vår. Dette kan utbedres på 230 VAC-siden ved å la lederen passere flere ganger gjennom måleren. Vi har likevel ansett målenøyaktigheten som god nok for denne oppgaven.

EMS har blitt utviklet og fungerer tilfredsstillende for modellen. Systemet tar inn alle målte verdier og presenterer relevante resultater i en HMI på tilkoblet datamaskin. I HMI vil man få et oversiktsbilde over modellen som viser energiflyten i fordelingen og ladenivået i batteriet. I tillegg presenteres det estimerer for hvor lenge fordelingen kan levere energi fra batteriet ved nåværende forbruk og tre alternative forbruk før den er nødt til å lades. Det er også mulig å endre parametere for hvor lav spenning man vil utlade batteriet ned til, hvor mange wattimer man minst vil ha på batteriet og hvor mange wattimer man vil lade til. Det er per i dag ikke montert nødvendig hardware for å automatisk kunne fullstendig skille batteriet ved et visst spenningsnivå, men dette kunne vært gjort med en kontaktor som legges ut av softwaren ved f. eks. 10 V. Med dette kan man si at [punkt 8](#) i kravspesifikasjonen ikke er innfridd.

Et av målene med modellen var at den skulle ha en passelig stor kapasitet til å kjøre lade- og utladingstester innenfor et fornuftig tidsrom. Dette er ivaretatt. En utlading fra fullt

batteri ved 11 A skjer på 40 minutter, mens en opplading går på en time. Modellen kan stå i standby, uten å forsyne en forbruker, i minst 7 timer dersom batteriet er fulladet. Dette gjør det mulig å bruke modellen til opplæring i batterisystemer, og hvordan man kan beregne batteriets kapasitet ut fra lade- og utladningskurver.

I løpet av oppgaven er det blitt brukt mye tid på å gjøre tester av batteriets kapasitet ved forskjellige belastninger. Det ble funnet en relativt lineær sammenheng mellom kapasiteten ved høy belastning og kapasiteten med lav belastning, samt en relativt lineær sammenheng mellom ladenivå og spenning. Disse dataene har vi samlet manuelt og de har blitt lagt inn i EMS-softwaren for å kunne beregne operasjonstider. Etter hvert som batteriet går gjennom mange ladesykluser, eller hvis det blir ladet ut for mye, vil kapasiteten til batteriet synke. Dette vil gjøre at estimatene i EMS gradvis blir dårligere og dårligere. Et annet tilfelle hvor estimatene vil bli feil er om man bytter batteri. Enten man bytter et gammelt batteri mot et nytt av samme type, eller ved en oppgradering av batteripakken.

For at ikke estimatene skal bli for dårlige, vil det være nødvendig å oppdatere verdiene som brukes i estimeringen. Dette kan gjøres manuelt, men det kan også være mulig å programmere en «selvtest» inn i EMS-softwaren. En slik selvtest kunne f.eks. kjørt utladningstester mens fartøyet lå til kai og oppdatert estimeringsverdiene automatisk. En annen tenkt løsning kunne vært å la EMS monitorere og loggføre utladning og oppladning mens batteriet var i operativt bruk. Da kan det tenkes at man ved hjelp av maskinlæring kunne latt EMS bli bedre og bedre på å kalkulere driftstider. Den siste metoden er imidlertid spekulativ da maskinlæring er utenfor vårt pensum.

Vi har sammenlignet estimatene programvaren gir med utladningstestene vi har gjennomført og funnet at estimatene er ganske nøyaktige. Det betyr at man til enhver tid vil kunne lese ut et nokså nøyaktig estimat for gjenværende driftstid. For et fartøy vil driftstid ha en direkte sammenheng med hvor langt man kan seile og hvor lenge man kan være ute i havet. På et bemannet fartøy kan man ha personell som sjekker ladestatus og/eller fuelnivå og som deretter kan estimere driftstid. For et autonomt fartøy er man nødt til å estimere driftstiden automatisk. Et annet alternativ ville vært å bruke en timer som teller driftstid i stedet for å estimere den, men dette vil være en unøyaktig måte dersom fartøyets forbruk endrer seg underveis, noe det vil gjøre.

8 Konklusjon med anbefaling

Oppgaven har tatt for seg utviklingen, byggingen og implementeringen av et EMS på en modell.

Oppgaven har vist at det er mulig å implementere et EMS på en modell. Det er mulig å beregne energiflyter i modellen og det er mulig å måle spenninger og strømmer for å videre estimere driftstider. I modellen er det vist at det er mulig å bruke en 12V DC-link som forsyningslinje og at det er mulig å endre spenningen ut til forbrukere ved hjelp av egnede komponenter. Dette gjør at den kan brukes til undervisning for å vise prinsipielt hvordan et EMS kan fungere og for å vise hvordan man med hjelp av kraftelektronikk kan forsyne en hvilken som helst last fra en felles fordeling gjennom egnet omformer.

Modellen kan brukes til forskning og utvikling av overvåkningssystemer for elektriske anlegg med batteribank. Den er også forberedt for utvidelser som ekstra batteri og mulighet for å legge til nye forbrukerкурser på 12 og 24 VDC dersom dette er ønskelig. EMS må da utvides med flere målere. Slik modellen står nå, er den mest tilrettelagt for å brukes i noen av skolens laboratorier. Dette er fordi den monterte forbrukeren må være koblet til skolens PLS-nettverk for å kunne styres. Med en annen forbruker, eller endring av softwaren til nåværende forbruker, vil modellen kunne kjøres i alle klasserom. Dersom aggregatet skal tas i bruk, må man utbedre utfordringene med dette (se [kapittel 7](#), Drøfting).

Vi mener at ved en fremtidig anskaffelse av autonome plattformer, vil man være tjent med å ha et Energy Management System ombord, fordi det kan hjelpe i en beslutningsprosess ved å levere relevante data om operasjonstider. I modellen er det det estimerte batterinivået som brukes for å levere informasjon om operasjonstid (tid til lading), men med å måle fuelnivåer og bruke kalkulatorer som omgjør disse til energinivåer, kan man også estimere driftstid basert på fuelnivået eller en kombinasjon av fuel- og ladenivå. For et autonomt fartøy mener vi at disse dataene vil være essensielle. For at fartøyet skal kunne gjøre autonome beslutninger er det nødt til å vite hvor lenge det kan operere i forskjellige driftsmoduser, og videre hvor langt det kan seile før det er nødt til å lade eller fylle drivstoff.

Videre anbefales det at man finner ut hvorfor spenningsmålingen fra den ene PLS-modulen svinger med en amplitude på opp til 0.5V og med en svingetid på over 5 minutter. En

stabil spenningsmåling ville gjort at man umiddelbart fikk reelle verdier for effekter og ladenivå istedenfor verdier som er basert på en 5min lang gjennomsnittsmåling.

Strømmålerne vi har brukt fungerer, men dersom anlegget utvides anbefales det å anskaffe målere som har et måleområde som er bedre tilpasset strømmen den skal måle.

Det anbefales også å finne en måte å redusere støyen som sinusinverteren produserer på DC-linken. Dette kan være i form av en filterpakke, eller at man finner et annet alternativ for hvordan man skal omsette spenning fra 230 VAC til 12 VDC og vice versa.

I modellen er to av de analoge inngangene brukt for å måle digitale signaler (av/på). Disse signalene kunne med fordel blitt ført inn gjennom en digital inngang for å frigjøre de analoge inngangene til analoge signaler.

To kontaktorer brukes for å gi et digitalt signal til PLS om at tilførselspenning er påsatt. Disse kunne med fordel blitt byttet ut med 230 VAC-reléer som er bedre egnet til å gjøre denne jobben. Dette ville i tillegg frigjort plass på DIN-skinne til andre komponenter.

I det store og hele er vi fornøyd med å ha utviklet, bygget og idriftsatt en modell som kan vise hvordan et EMS kan implementeres og bidra til et fartøys ytelse, samt all kunnskapen vi har tilegnet oss gjennom arbeidet med oppgaven.

Bibliografi

ABB

U.Å. Vision of the Fjords.

<https://new.abb.com/marine/references/vision-of-the-fjords>.

27.05.2019

Arne Gylseth

Frekvensomformereren.

<http://www.elfag.info/komponenter/frekvensomformereren>

28.05.2019

Blue Box Batteries

2016. Battery Internal Resistance & Short Circuit Current.

<https://www.blueboxbatteries.co.uk/blog/battery-internal-resistance-short-circuit-current-47#.XORu5tMzbVo>

25.05.2019

DNV-GL

Class-guidelines: Autonomous and remotely operated ships, edition 2018-09.

<http://rules.dnvgl.com/docs/pdf/DNVGL/CG/2018-09/DNVGL-CG-0264.pdf>.

27.05.2019

Geertsma, Negenborn, Visser og Hopman

2017. Design and control of hybrid power and propulsion systems for smart ships: A review of developments. Applied Energy nr. 194.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261917301940> 27.05.2019

Nærings- og fiskeridepartementet

2018. Autonome skip.

<https://www.regjeringen.no/no/tema/naringsliv/maritime-naringer/ny-temaside/forste-kolonne/markedsadgang-og-regelverk/id2589230/>

25.05.2019

Ottar J. Aare

2009. KV Svalbard – Flaggskip og forvalter.

http://www.saltkyst.no/Artikler/08_01/04_svalbard.htm?fbclid=IwAR2uQNKI84xufpRdpYBaPlec2XfS92uKkZTNnfkrhVdv-06XDOoy5tppm-0

28.05.2019

Skjelland, Glærum, Beadle, Endregard, Guttelvik, Henum, Kvalvik, Køber, Mørkved, Olsen, Sendstad, Voldhaug, Åtland.

2019. Hvordan styrke forsvaret av Norge? Et innspill til ny langtidsplan (2021-2024).

<https://www.ffi.no/no/Rapporter/19-00328.pdf>

25.05.2019

9 Vedlegg

A Test av linearitet mellom spenning og energinivå

Formål:

Å sjekke om energinivået i batteriet endrer seg lineært med polspenningen.

Metode:

Batteriet skal først lades fullt (13 V). Deretter blir det utladet ned til 11 V over en fast last. Mens utladningen foregår blir tid, wattimer og spenning logget i en graf i et testprogram som kjøres med e!Cockpit. Strøm måles for å kontrollere belastningen. Når spenningen når 11 V, blir testen avbrutt, og verdiene kan behandles.

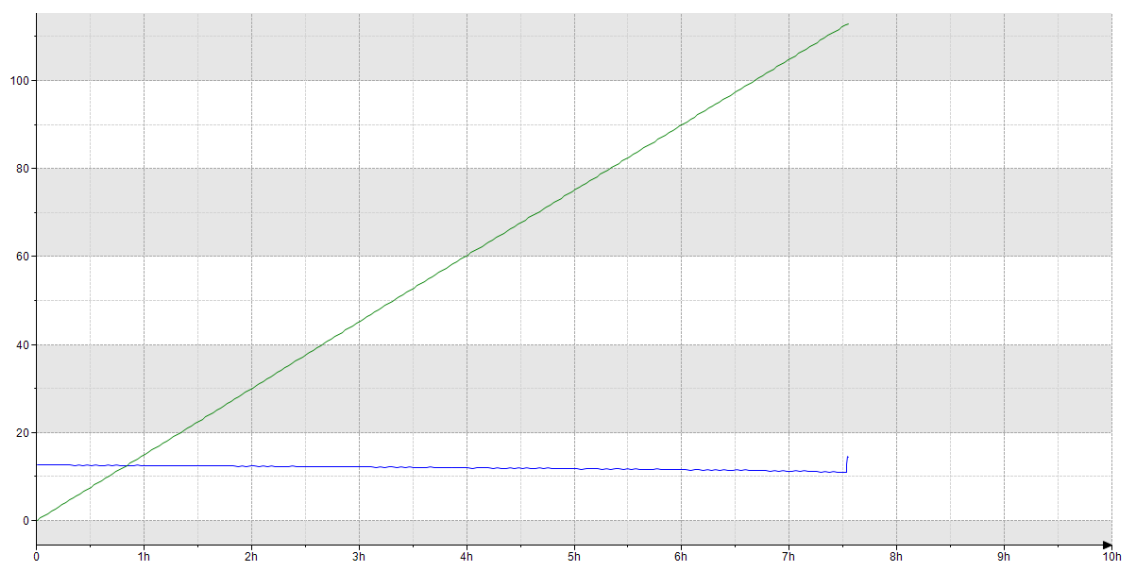
Resultat:

Måling 1:

Belastning: 1 A

Tid medgått fra 13 – 11 V: 7 t 30m

Energi levert: 113 Wh

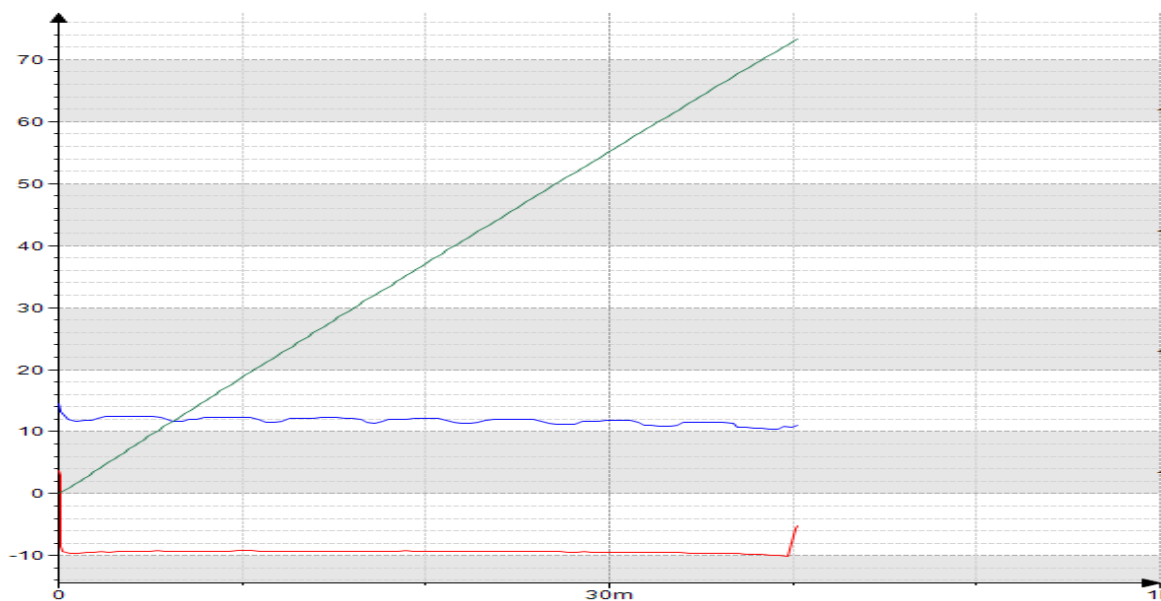


Måling 2:

Belastning: 11 A

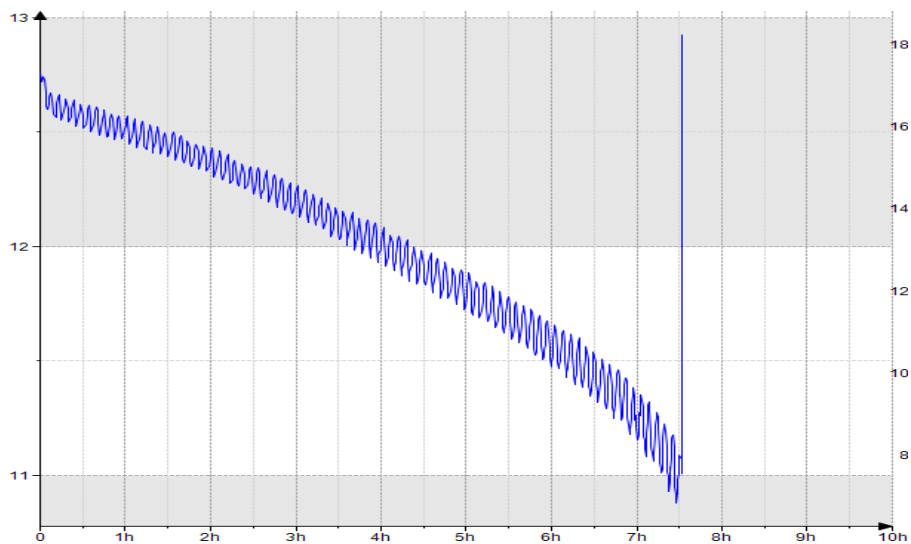
Tid medgått fra 13 – 11 V: 40 m

Energi levert: 73 Wh



Drøfting:

Ved logging av spenningen kunne man tydelig se en sinus-aktig forstyrrelse.



Man kan argumentere for at dette gir dårlig målenøyaktighet, men hvis man leser gjennomsnittsverdien av svingningene, og sammenligner det med et multimeter, ser man at nøyaktigheten er svært god. Vi valgte derfor å se bort fra peak-verdiene. Grafen kunne blitt representert jevnere ved bruk av en funksjonsblokk for kontinuerlig utregning av gjennomsnittsverdier, noe som ble implementert i EMS i ettertid (se figur 21). Siden spenningsfallet var så lineært som det var, ble det ikke nødvendig for å hente dataen vi var ute etter i testen.

Et helt fullt batteri viser 13 V uten belastning. For å få best mulig referanse, ble testene gjort så nært som mulig denne tilstanden, men så lenge det er koblet en last til batteriet, er batteriets polspenning svært ustabil i området 12,75 – 13 V. Det var derfor ikke mulig å få logget en graf som tydelig viser at batteriet har høyere enn 12,75 V. Man ser likevel at startspenningen er noe høyere på den lengste utladningen, fordi belastningen er lavere. Siden disse målingene er grunnlaget for tidsestimatene i programmet, vil man i et tilfelle hvor batteriet er fullstendig toppet opp, og deretter bli satt på en veldig lav belastning, ikke kunne estimere nåværende batterinivå før spenningen når ned til 12,75 V.

Testen viser at hvis man ser bort fra forstyrrelsen i spenningen, er både wattimegrafen og spenningsgrafen to tilnærmet rette linjer mellom 11 og 12,75 V, og det er hensiktsmessig å benytte en lineær tilnærming for estimater. Hvordan dataen blir behandlet i programvaren for å estimere energinivå i batteriet kommer frem i kapittel [5.3](#), Overvåking og telling.

B Test av linearitet mellom maksimal kapasitet og belastning

Formål:

Å sjekke om maksimal kapasitet på batteriet endrer seg lineært med belastningen det påføres.

Metode:

Batteriet skal først lades fullt (13 V). Deretter blir det utladet ned til 11 V over en fast last. Mens utladningen foregår blir tid, wattimer og spenning logget i en graf i et testprogram som kjøres med e!Cockpit. Strøm måles for å kontrollere belastningen. Når spenningen når 11 V, blir testen avbrutt, og verdiene kan behandles. Deretter vil vi føre energi levert og belastning for hver av målingene inn i en ny graf, og se om det er en lineær sammenheng.

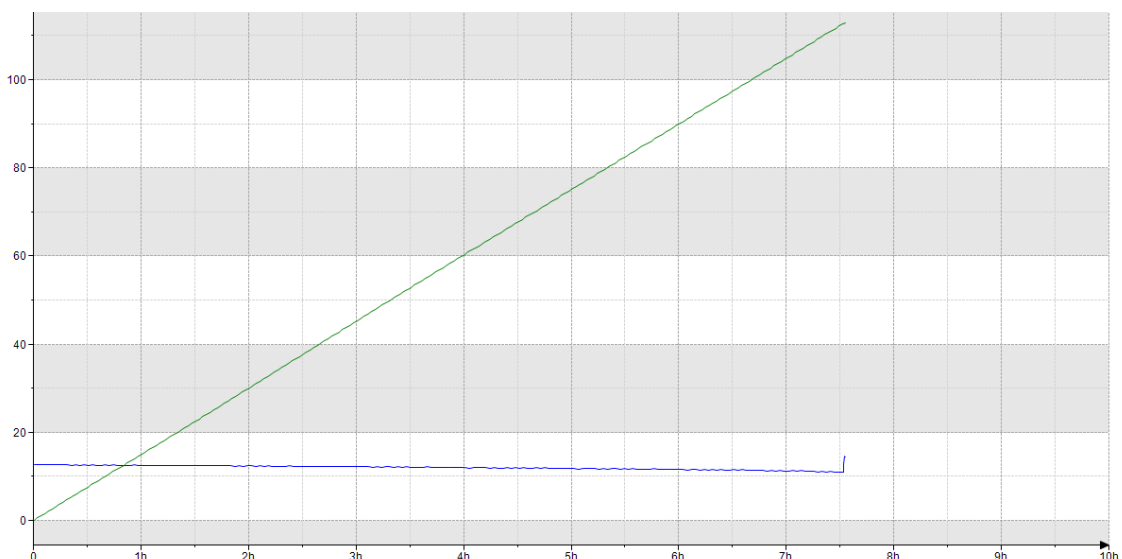
Resultat:

Måling A:

Belastning: 1 A

Tid fra 13 – 11 V: 7 t 30m

Energi levert: 113 Wh

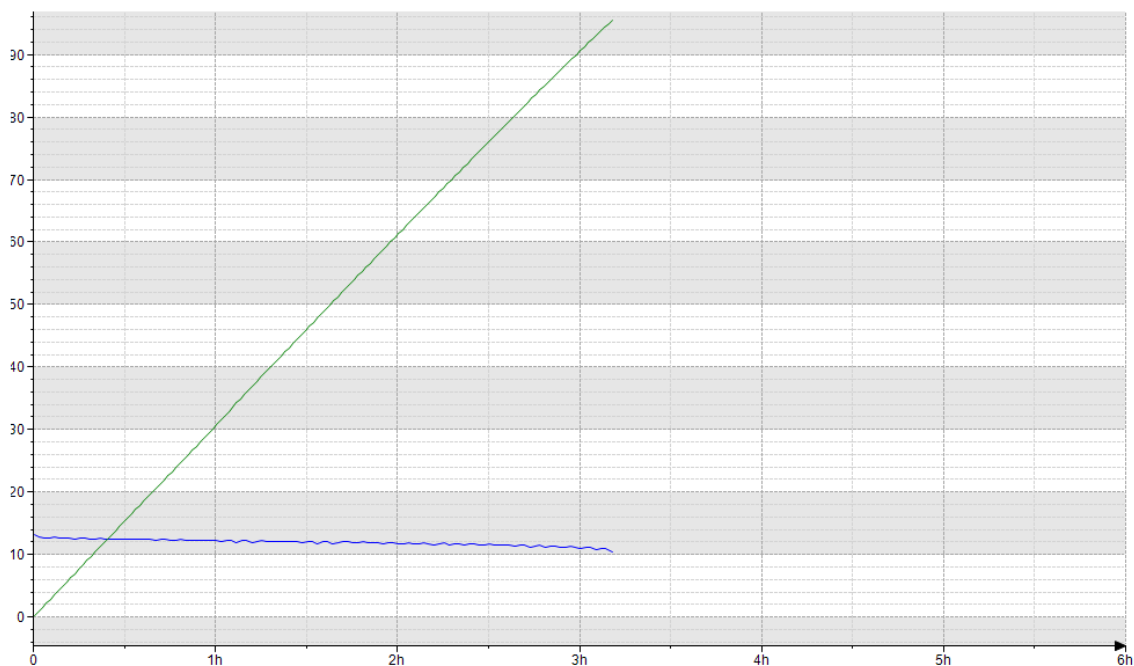


Måling B:

Belastning: 3 A

Tid fra 13 – 11 V: 3 t 5 m

Energi levert: 92 Wh

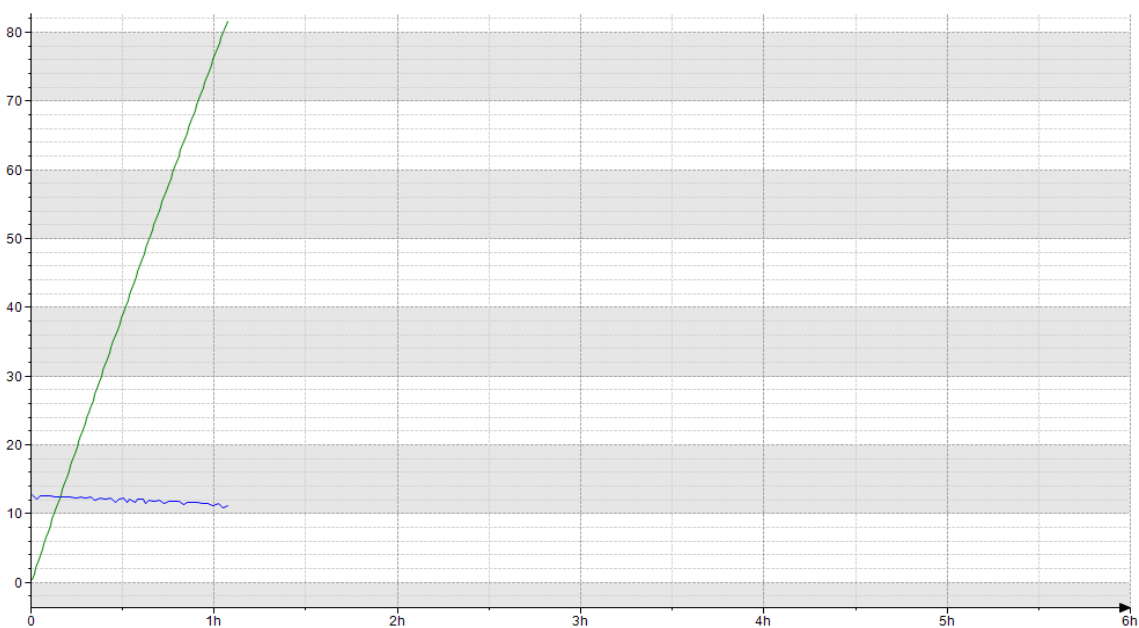


Måling C:

Belastning: 7 A

Tid fra 13 – 11 V: 1 t 5 m

Energi levert: 82 Wh

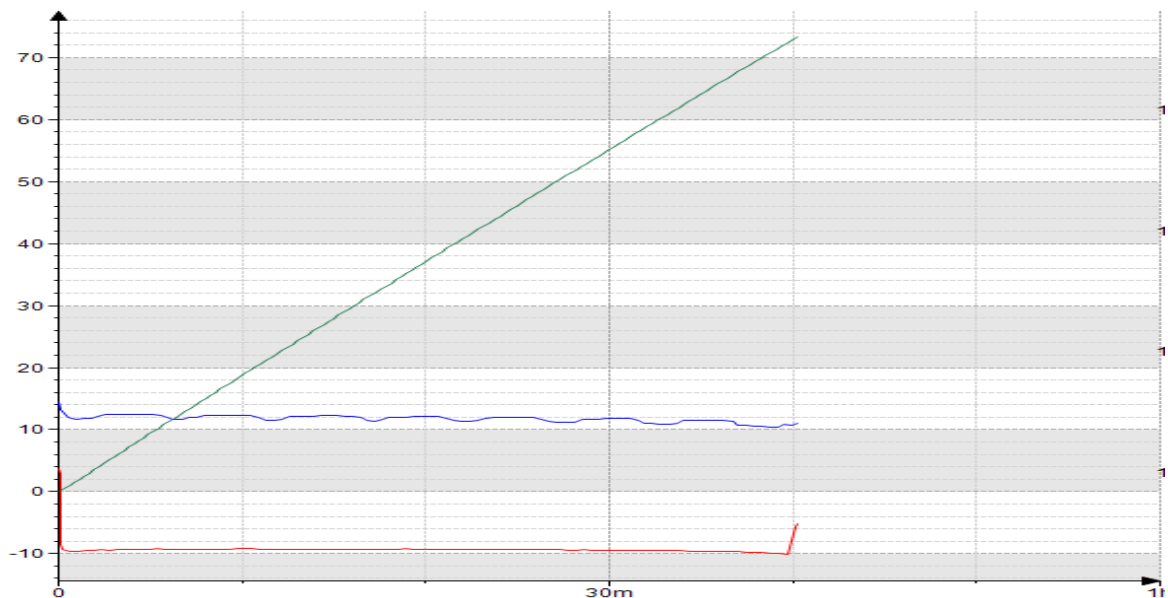


Måling D:

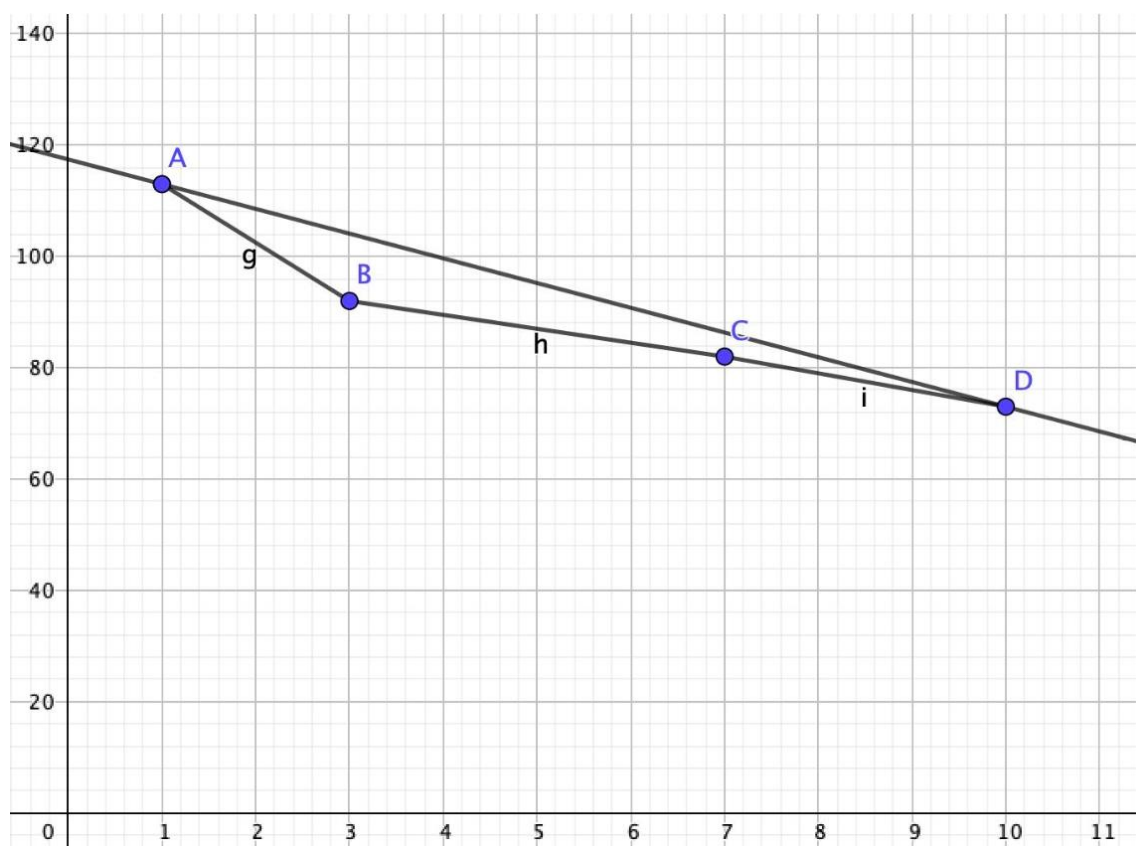
Belastning: 10 A

Tid fra 13 – 11 V: 40 m

Energi levert: 73 Wh

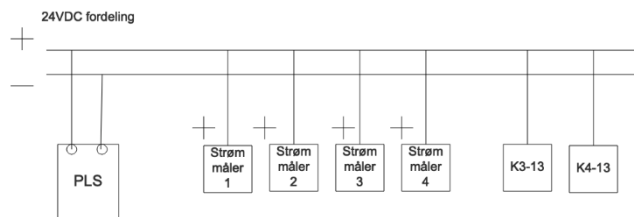
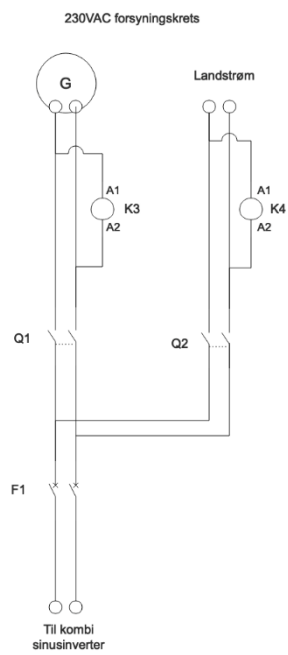
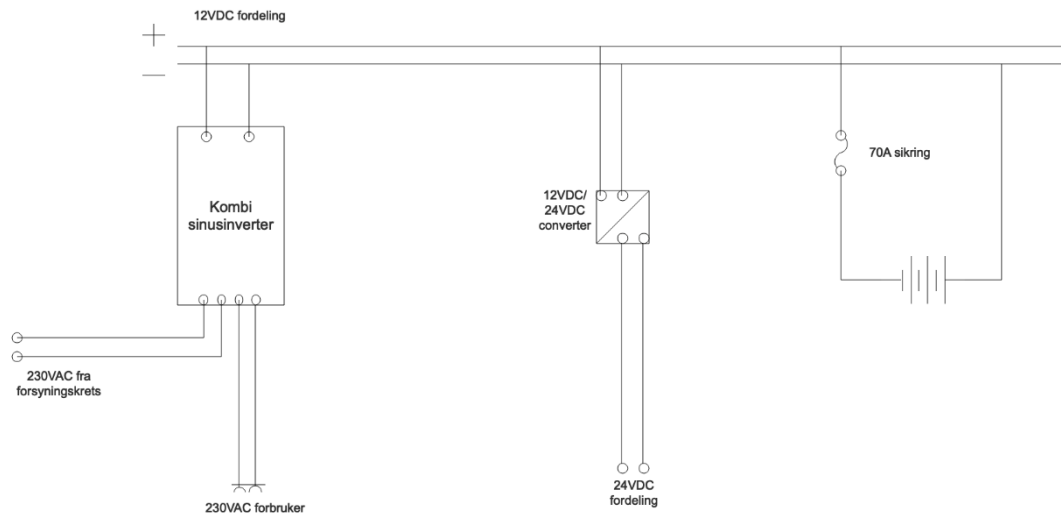
**Drøfting:**

Vi ser samme forstyrrelsen på spenningen som i test A, men velger her også å se bort fra det på samme grunnlag. Ved å føre resultatene for hver av målingene inn i en ny graf, ser vi at det er en delvis lineær sammenheng. Man må også ta i betraktning eventuelle feilkilder. Vi vil aldri klare å ha nøyaktig samme energinivå på batteriene når testene starter: selv helt på slutten av ladekurvene er det en minimal strøm. Om denne er stor nok til at batteriet blir ladet, er vanskelig å si noe om. I tillegg blir batteriet litt svekket for hver utladning, og det vil også påvirke maksimal kapasitet for batteriet.

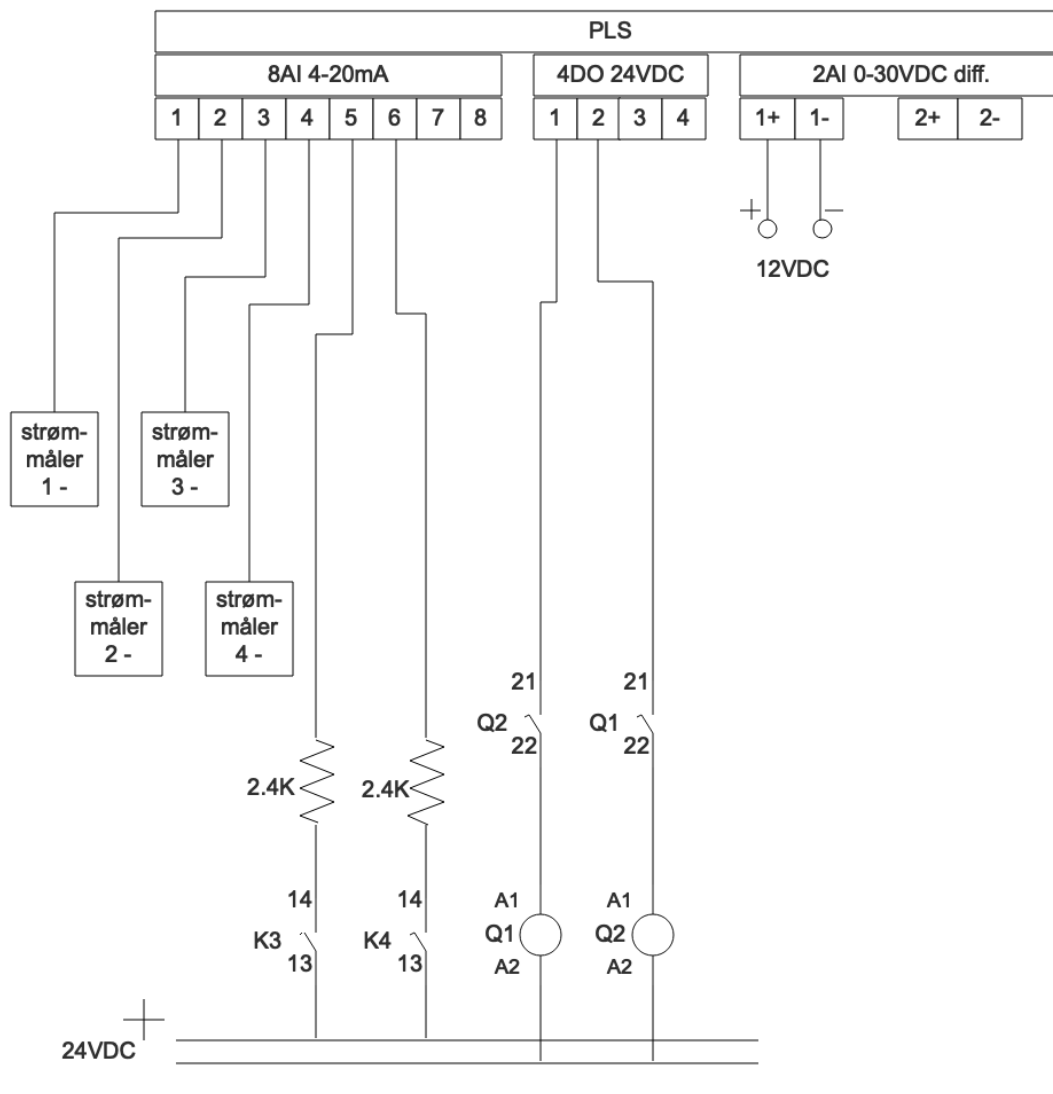


Med feilkilder tatt i betraktning kan linearitet antas som god nok for å bruke som estimat. Videre bruk av data i softwaren kommer frem i kapittel [5.3](#), Overvåking og telling.

C Hovedstrømsskjema



D Styrestrømsskjema



E Dokumentasjon vedlagt i egen fil

e!Cockpit-kildekode softwaredokumentasjon

WAGO 750-600 End Module

WAGO 750-483 2-Channel Analog Input Module 0-30 V

WAGO 750-496 8-Channel Analog Input Module 0/4-20 mA, Single-Ended

WAGO 750-8101 Controller PFC100; 2 x ETHERNET

WAGO 750-504 4-Channel Digital Output Module 24 VDC, Short-circuit Protected;
High-side Switching

MASCOT 8862 10-16/24 V DC/DC Converter

KOMBI SINUIVERTER/LADER

SENECA T201DCH300-LP Contact-less direct and alternating TRMS current transducer

Dokumentasjon for Firmann SPG3000E1 finnes her:

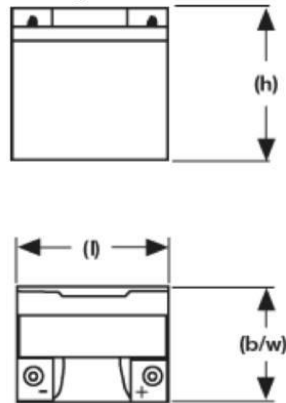
<http://en.sumecfirman.com/product/spg3000e1>

F Batteridokumentasjon

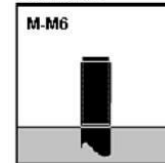
Marathon L12V24 data sheet



Drawing:



Terminal:



Meets: UL94 HB

Specifications:

Type	Part number	Nom. Voltage	C20 1,80 VpC 20°C Ah	C10 1,80 VpC 20°C Ah	C1 1,60 VpC 20°C Ah	Length mm	Width mm	Height mm	Weight Kg.	Internal resistance acc. IEC896/2 mOhm	Terminal
L12V24	NALL120024HM0MA	12	24.5	23	15.5	168	127	174	10	18.1	M-M6

Part numbers not valid for North America, use type for ordering!

Constant-current discharge in A (@20°C):

Part number	Type	Volt	3min	5min	10min	15min	20min	30min	45min	1h	2h	3h	5h	8h	10h	20h
NALL120024HM0MA	L12V24	1.95	35.0	34.0	29.0	25.0	22.0	17.3	13.1	10.7	6.3	4.6	3.1	2.1	1.8	1.0
NALL120024HM0MA	L12V24	1.95	35.0	34.0	29.0	25.0	22.0	17.3	13.1	10.7	6.3	4.6	3.1	2.1	1.8	1.0
NALL120024HM0MA	L12V24	1.90	56.0	50.0	39.0	31.0	26.0	20.1	15.4	12.6	7.7	5.8	3.7	2.4	2.1	1.1
NALL120024HM0MA	L12V24	1.85	76.0	64.0	47.0	36.5	30.0	22.7	17.1	14.0	8.3	6.3	4.0	2.6	2.2	1.2
NALL120024HM0MA	L12V24	1.80	92.0	76.0	52.0	40.0	32.5	24.7	18.2	14.9	9.0	6.8	4.2	2.7	2.3	1.2
NALL120024HM0MA	L12V24	1.75	104.0	83.0	56.0	43.0	34.5	25.7	18.8	15.1	9.2	6.9	4.3	2.8	2.4	1.3
NALL120024HM0MA	L12V24	1.70	112.0	89.0	60.0	45.0	36.5	26.5	19.2	15.3	9.3	7.0	4.4	2.9	2.4	1.3
NALL120024HM0MA	L12V24	1.65	119.0	94.0	62.0	46.0	37.5	27.2	19.6	15.5	9.4	7.0	4.4	2.9	2.4	1.3
NALL120024HM0MA	L12V24	1.60	123.0	97.0	64.0	47.0	38.5	27.9	19.9	15.8	9.5	7.0	4.4	2.9	2.4	1.3

Constant-power discharge in W/block (@20°C):

Part number	Type	Volt	3min	5min	10min	15min	20min	30min	45min	1h	2h	3h	5h	8h	10h
NALL120024HM0MA	L12V24	1.90	660.0	588.0	448.0	362.0	305.0	240.0	185.0	153.0	92.0	68.0	44.0	29.0	25.0
NALL120024HM0MA	L12V24	1.85	859.0	732.0	529.0	419.0	348.0	267.0	205.0	167.0	100.0	73.0	48.0	31.0	26.0
NALL120024HM0MA	L12V24	1.80	1,013.0	845.0	597.0	459.0	378.0	286.0	216.0	176.0	104.0	78.0	50.0	32.0	27.0
NALL120024HM0MA	L12V24	1.75	1,112.0	915.0	635.0	486.0	400.0	297.0	221.0	178.0	106.0	80.0	51.0	33.0	28.0
NALL120024HM0MA	L12V24	1.70	1,188.0	972.0	664.0	505.0	411.0	305.0	224.0	180.0	107.0	81.0	52.0	34.0	28.0
NALL120024HM0MA	L12V24	1.65	1,239.0	1,007.0	680.0	513.0	419.0	311.0	226.0	181.0	108.0	81.0	52.0	34.0	28.0
NALL120024HM0MA	L12V24	1.60	1,266.0	1,026.0	691.0	520.0	424.0	313.0	227.0	181.0	108.0	81.0	52.0	34.0	28.0



G Brukerinstruks for EMS-modell

For å starte opp modellen må man betjene 70 A-sikringen på 12 VDC-kursen for å spenningssette komponentene. Modellen vil starte opp og gå inn i den aktuelle forsyningsmodusen basert på om den er frakoblet aggregat/landstrøm eller om den er tilkoblet en avdisse. For å få tilgang til HMI må man koble seg til PLS med en datamaskin via ethernet-kabel. Deretter søker man opp IP-adressen «192.168.1.100» i en nettleser.

I HMI vil man få info om ladenivå, effektlyt og estimerte driftstider i batteritilstand. Man kan også sette nye verdier for laveste tillatte spenningsnivå og ladenivå, samt hvor mange wattimer man ønsker å lade batteriet til.

Modellen forsynes med 230 VAC via egne støpsel. Støpsel merket med rødt skal brukes som aggregattilkobling, mens støpsel merket blått skal brukes til «landsstrøm» fra veggen.

Dersom modellen ikke starter opp ved å koble til batteriet, betyr det at batterispenningen er for lav. Man vil ikke få start på modellen med mindre man har riktig spenning på DC-Bussen. Dette er fordi sinusinverteren er avhengig av DC-spenningen for å drifte interne systemer.

For å få start på anlegget ved tilfellet over, må man forsyne DC-Linken med en ekstern 12 VDC-kilde frem til anlegget selv kan lade batteriet, lade opp batteriet med en annen batterilader, eller bytte til et friskt batteri.