



Høgskulen  
på Vestlandet

# BACHELOROPPGAVE

BO22EB-51 Siemens Generator Sync

Abdullah Mahmoud Abdullah

Indu Lamichhane

Shujun Zhang

Institutt for datateknologi, elektrofag og realfag

30. mai 2022

Jeg bekrefter at arbeidet er selvstendig utarbeidet, og at referanser/kildehenvisninger til alle kilder som er brukt i arbeidet er oppgitt, jf. Forskrift om studium og eksamen ved Høgskulen på Vestlandet, § 12-1.

## Dokumentkontroll

<i>Rapportens tittel:</i> BO22EB-51 Siemens Generator Sync		<i>Dato/Versjon</i> 30. mai. 2022
		<i>Rapportnummer:</i> BO22EB-51
<i>Forfatter(e):</i> Abdullah Mahmoud Abdullah Indu Lamichhane		<i>Studieretning:</i> HELK2022
		<i>Antall sider m/vedlegg</i> 74
<i>Høgskolens veileder:</i> Shujun Zhang		<i>Gradering:</i> Åpen
<i>Eventuelle Merknader:</i> Vi tillater at oppgaven kan publiseres.		
<i>Oppdragsgiver:</i> Siemens Energi AS	<i>Oppdragsgivers referanse:</i>	
<i>Oppdragsgivers kontaktperson(er) (inkludert kontaktinformasjon):</i> Anders Svensson Telefon: 988 45 485 Email-adresse: anders.svensson@siemens-energy.com		

Revisjon	Dato	Status	Utført av
06	25.05.22	Lagt til Appendiks forkortelser og ordforklaringer	Gruppen
05	20.05.22	Korreksjon av innholdsfortegnelse og nummerering	Gruppen
04	15.05.22	Revidert utkast	Gruppen
03	12.04.22	Andre utkast	Gruppen
02	10.03.22	Første utkast	Gruppen
01	12.01.22	Mal utlevert av HVL	Svein Haustveit

## Forord

I denne bacheloroppgaven har vi fått en spennende mulighet av arbeidsgiveren vår, Siemens Energi AS til å jobbe med et interessant tema innen elektrofag. Under hele prosjektperioden har vi fått mye hjelp fra veilederen Shujun Zhang, labbingeniør Lars Manger Ekroll. Vi takker også faglærerne Eirik Haustveit, og Lasse Sivertsen ved HVL som har gjort jobben vår enkelt i alle ledd. Vi er veldig takknemlige for motivasjonen, all den hjelpen og veiledningen under prosjektarbeidet. De har gitt oss motivasjon og bidratt til skriveglede underveis. En annen som fortjener en stor takk fra oss er Anders Svensson fra oppdragsgiverens vår som har bidratt oss med veiledningsmøter og tekniske råd i dette arbeidet.

Vi vil også huske her våre medstudenter som stor bidragsyter som har sagt seg villige til å stille opp med informasjon og material ved behov underveis i prosjektarbeidet.

Svein Haustveit får æren av å ha gitt oss den faglige kunnskapen i ulike fag gjennom studietiden vår og har vært faglærer spesielt i denne bacheloroppgaven.

Takker også til alle som har gitt oss mot og bidratt til med kritiske vurderinger av arbeidet vårt. Dette har gjort det mulig for oss å ha en bedre forståelse av vår rolle som fremtidig elkraftingeniør.

---

*Indu Lamichhane*

---

*Abdullah Mahmoud Abdullah*

## Sammendrag

Hoveddelen av oppgaven vår går ut på 'Synkronisering av to Generatorer' som skal kobles mot et nett(system) eller en felles last som motor. Dermed har behovet for forskning av både generators styringsteori og ulike metoder for synkronisering en viktig del i arbeidet.

Oppdragsgiveren til bacheloroppgaven vår er Siemens Energy AS. Teknologien som vi skal se på i dette arbeidet er stort sett brukt til skipsfremdrift. Siemens Energi AS lanserer ulike elektriske løsninger på framdrift i forskjellige sektorer. En av dem er skipsbransje hvor fleste moderne skip drives frem av mekaniske systemer som består av en elektrisk motor som roterer en propell. Den elektriske motoren får energi fra generator som igjen drives av diesel motor. Kraften fra antall generator vil ikke være stor nok når belastningen på et system/motor overstiger. Så det er veldig viktig at det kobles en reserve generator parallelt med de andre eksisterende generatorer for å sikre at nødvendig strøm til motor/systemet blir levert ved overbelastning av systemet. Alle generatorer samt reserve generator som kobles parallelt må være synkronisert med hverandre eller mot et elektrisk nett. Grunnen til dette er at alle generatorer leverer strøm med forskjellig spenning, fasevinkel, frekvens og fasesekvens. Mangel på en slik synkronisering kan føre til overbelastninger av både motor og andre elektriske systemer og forårsaker havari.

På grunn av manglende diesel DC motor har vi brukt asynkronmotor som drivkraft til generator.

Synkronisering av generatorer består av to modeller, manuell synkronisering ved bruk av kun et synkronoskop (CSQ-3) og automatisk synkronisering ved bruk av DEIF FAS113-DG (DEIF) i serie med synkroskopet. I Manuell modellen er det kun synkroskopet som sammenligner spenning, frekvens, og fasevinkelen mellom innkommende generator (Generator<sub>2</sub>) og nettet. Når alle disse kravene faller innenfor gitte grenseområdet, lyser 'SYNC' LED på synkroskopet som indikerer at synkronisering er oppnådd og dermed kan bryteren lukkes for å koble generatorer mot nettet. I Automatisk modellen er det både DEIF og synkroskop som jobber sammen i serie for synkronisering av generator med samleskinne og lukking av bryteren når alle kravene er oppfylt for eksempel: spenningsforskjellen, frekvensforskjellen, fasevinkel og fasesekvens.

I tillegg har vi annen alternativ som heter død buss funksjon for synkronisering av generatorer. død buss funksjon kan brukes både på synkroskopet og DEIF. For å unngå feilalarm under synkroniseringsprosess, har vi testet status kontakten på både synkroskopet og DEIF.

I bacheloroppgaven vår har det blitt brukt begge ovennevnte modeller for å gjennomføre synkronisering av to generatorer. Synkroskop og DEIF er to utstyr som har blitt mye brukt i dette arbeidet.

# Innhold

<b>Dokumentkontroll</b> .....	2
<b>Forord</b> .....	3
<b>Sammendrag</b> .....	4
<b>Innhold</b> .....	5
<b>Figurer:</b> .....	7
<b>Tabeller</b> .....	7
<b>1. Innledning</b> .....	8
1.1. Oppdragsgiveren .....	8
1.2. Problemstilling .....	9
<b>2. Spesifikasjonskrav</b> .....	10
<b>3. Analyse av problemet</b> .....	11
3.1. Utforming av mulige løsninger .....	12
<b>4. Verktøy og ressurs</b> .....	13
<b>5. Lab utstyr</b> .....	13
5.1. Generator .....	14
5.2. Prime mover .....	15
5.3. Fluke.....	15
5.4. Oscilloskopet.....	16
5.5. DC Magnetiseringssystem.....	17
5.6. Synkronoskop .....	17
5.6.1. Lysdioder på primærfronten (normal modus).....	18
5.6.2. LED på sekundær front (innstillingsmodus) .....	18
5.6.3. Oversikt over terminalene.....	19
5.6.4. Bare på marin versjon .....	19
5.6.5. Kretsdiagram .....	20
5.7. Frekvensomformer .....	20
5.8. Voltmeter.....	21
5.9. DEIF FAS-113DG .....	21
5.9.1. Kretsdiagram .....	22
5.9.2. Indikasjon .....	22
5.9.3. Applikasjon .....	22
5.9.4. Funksjon .....	22
5.9.5.Regulatorutgang .....	23
<b>6. Løsningsalternativer for synkronisering av generator til nett</b> .....	24
6.1. Alternativ A - Frekvensregulator.....	24
6.2. Alternativ B - Død buss funksjonalitet .....	24
6.2.1. Død buss for DEIF .....	24

6.2.2. Død buss funksjon for synkronoskop .....	24
<b>7. Status kontakt .....</b>	<b>25</b>
7.1. Status kontakt for DEIF FAS-113DG .....	25
<b>8. Lab sjekkliste for både Manuell og Automatisk metode .....</b>	<b>25</b>
<b>9. Manuell modell .....</b>	<b>27</b>
9.1. Test for Manuell metode .....	27
9.2. Manuell metode – Lab test av spenning, frekvens og fasevinkel .....	29
9.2.1. Spenning .....	29
9.2.2. Fasevinkel .....	30
9.2.3. Frekvens .....	32
<b>10. Droop Rate.....</b>	<b>33</b>
10.1. Fasevinkel med 2% 'Droop rate' i Manuell metode:.....	34
10.2. Observasjon av lab resultater med 2% 'Droop Rate': .....	35
10.2.1. For 60° .....	35
10.2.2. For 90° .....	35
<b>11. Automatisk modell .....</b>	<b>36</b>
11.2. Automatisk metode - Lab test for spenning, frekvens og fasevinkel.....	38
11.2.1. Spenning .....	39
11.2.2. Frekvens .....	39
11.2.3. Fasevinkel .....	40
<b>12. Manuell metode vs. Automatisk metode .....</b>	<b>40</b>
<b>13. Diskusjon .....</b>	<b>41</b>
<b>14. Konklusjon .....</b>	<b>42</b>
<b>Referanseliste .....</b>	<b>43</b>
<b>Litteraturliste .....</b>	<b>44</b>
<b>Appendiks .....</b>	<b>44</b>
<b>Vedlegg .....</b>	<b>45</b>
1.Tidsplan.....	45
2.Data sheet Deif FAS-113DG .....	45
3.Data sheet CSQ-3 .....	45

## Figurer:

Figur 1. Siemens Energi AS logo (Shosanya M. , 2020) .....	8
Figur 2. Diesel Electric propulsjon (Sebastian, 2018) .....	10
Figur 3. Flowchart PLS (E. Bekiroglu, 2009) .....	12
Figur 4. Generator (Bilde tatt fra Elkraft Lab HVL) .....	14
Figur 5. Prime mover (Bilde tatt fra Elkraft Lab HVL) .....	15
Figur 6. Fluke (Bilde tatt fra Elkraft Lab HVL) .....	15
Figur 7. Oscilloskopet (Bilde tatt fra Elkraft Lab HVL) .....	16
Figur 8. DC Magnetiseringssystem (Bilde tatt fra Elkraft Lab HVL) .....	17
Figur 9. Synkronoskop (DEIF) .....	17
Figur 10. Marin versjon (Datablad) (DEIF AS) .....	19
Figur 11. Kretsdiagram Synkroskopet (DEIF AS) .....	20
Figur 12. Frekvensomformer (Bilde tatt fra Elkraft Lab HVL) .....	20
Figur 13. Voltmeter (Bilde tatt fra Elkraft Lab HVL) .....	21
Figur 14. DEIF FAS-113DG (Bilde fra utstyr lånt fra Siemens Energi AS) .....	21
Figur 15. Kretsdiagram Deif FAS-113DG (Datablad) (DEIF AS, 2022) .....	22
Figur 16. Status kontakt for DEIF FAS-113DG (Bilde tatt fra Elkraft Lab HVL) .....	25
Figur 17. Kretsdiagram Manuell modell (Bilde laget selv på matlab) .....	27
Figur 18. Måling av spenning, frekvens og fasevinkel gjennom Manuell metode (Bilde tatt fra Elkraft Lab HVL) .....	29
Figur 19. For 0° fasevinkel (Bilde tatt fra Elkraft Lab HVL) .....	31
Figur 20. For -10° fasevinkel (Bilde tatt fra Elkraft Lab HVL) .....	32
Figur 21. For +10° fasevinkel (Bilde tatt fra Elkraft Lab HVL) .....	32
Figur 22. Droop Rate (Wikipedia, 2022) .....	33
Figur 23. For 60° 'Droop Rate' (Bilde tatt fra Elkraft Lab HVL) .....	35
Figur 24. For 90° fasevinkel (Bilde tatt fra Elkraft Lab HVL) .....	35
Figur 25. Automatisk modell (Bilde tatt fra Elkraft Lab HVL) .....	36
Figur 26. Kretsdiagram Automatisk modell (Bilde laget selv på matlab) .....	36
Figur 27. Automatisk metode Lab test for spenning, frekvens og fasevinkel (Bilde tatt fra Elkraft Lab HVL) .....	39

## Tabeller

Tabell 1. Lysdioder på primærfronten normal modus) (Datablad) (DEIF AS) .....	18
Tabell 2. LED på sekundær front (innstillingsmodus)(Datablad) (DEIF AS) .....	18
Tabell 3. Oversikt over terminalene (tatt fra datablad) (DEIF AS) .....	19
Tabell 4. Marin versjon(Datablad) (DEIF AS) .....	19
Tabell 5. Indikasjon av LED lys (Datablad) (DEIF AS, 2022) .....	22
Tabell 6. Test for Manuell metode (Laget selv på word) .....	29
Tabell 7. Måling av spenning (Laget selv på Excel) .....	30
Tabell 8. Måling av FASEVINKEL (Laget selv på excel) .....	31
Tabell 9. Måling av frekvens (Tabell laget selv på Excel) .....	33
Tabell 10. Fasevinkel med 2% 'Droop Rate' i Manuell metode (Tabell laget selv på Excel) .....	34
Tabell 11. Test for Automatisk metode (DEIF FAS- 113DG i serie med CSQ-3 (Tabell laget selv på Word) .....	38
Tabell 12. Måling av spenning (Laget selv på Excel) .....	39
Tabell 13. Måling av frekvens (Laget selv på Excel) .....	39
Tabell 14. Måling av fasevinkel (Laget selv på Excel) .....	40
Tabell 15. Tidsplan (Fikk fra faglærer og har endret undervis) .....	45

## 1. Innledning

Prosjektgruppen består av to studenter som har stor interesse for kraft - og energisektor. Teamet i oppgaven har blitt nøye studert og deretter valgt som oppgave av begge av oss med interesse.

Sammen med god veiledning fra arbeidsgiveren og lærerne våre ved HVL gjør prosjektet ble gjennomført som planlagt.

Vi har begynt å jobbe med bachelor-prosjektet vårt fra 7. jan 2022. Problemstillingen i oppgaven vår krever at meste parten av arbeidet skal foregå på labben. Med kunnskap som vi har tilegnet oss gjennom studien vår og labarbeidet har vi god forutsetning for å kunne verifisere den teorien som vi har lært om dette temaet i oppgaven. Med hjelp fra labingeniører har vi lært om bruk av komponenter, metoder, risikofaktor og tidsplan for testing.

De to utstyrene som skulle bli mye brukt i labarbeidet vårt har vi fått låne fra oppdragsgiveren vår, Siemens Energi AS. Opprinnelig var programmering med PLS logikk som en del av oppgaven, men dette ble tatt ut fra arbeidsomfanget. Oppgaven omfatter nå kun manuell del og automatisk del av synkronisering ved hjelp av DEIF og synkronoskop samt teste død buss funksjonalitet og status kontakt for begge utstyrene.

### 1.1. Oppdragsgiveren

Siemens Energi AS er en global aktør som utvikler høyteknologiske, innovative løsninger for industri, energi, helse, byer og transport (Siemens Energi As, 2021).

Siemens-konsernet er en av de verdens største leverandørene av bærekraftige og miljøvennlige løsninger med hovedmål for elektrifisering, automatisering og digitalisering.

Siemens Energi AS har gitt oss en bacheloroppgave for å finne mulige løsninger til en problemstilling.

Siemens Energi AS har vært i Norge siden 1898 under forskjellige navn som Siemens & Halske Norsk Aktieselskabet som har satt tydelige spor med banebrytende teknologiløsninger for hele verden. Selskapets hovedområder er løsninger for industrien, kraftoverføring, infrastruktur til byer og byggteknologi (AS).

Anders Svensson fra Siemens Energi er veilederen vår i bacheloroppgaven. Han var en tidligere student hos HVL og nåværende ansatt hos Siemens Energi AS som prosjekt ingeniører. Første møte med ham gikk veldig fint, der fikk vi mulighet til å høre om bruk av ulike utstyr til prosjektet vårt og beskrivelsen av selve oppgaven vår. I tillegg fikk vi låne utstyr for å gjøre testing i praktiske deler av oppgaven på lab ved HVL. Han presenterte oss også om Siemens Energi AS: hva de driver med, forskjellige jobbmråder, jobbmulighet samt teknologiske løsninger innen fremdrift av skip. Samtidig har han gått gjennom klargjøring av hoved kravet til oppgaven og hva som kreves fra oss.



FIGUR 1. SIEMENS ENERGI AS LOGO (SHOSANYA M. , 2020)



## 1.2. Problemstilling

Siemens Energi AS er en av verdens største leverandører innenfor elektro og kontrollsystemer om bord på forskjellige type skip. De har lansert mange bærekraftige og miljøvennlige elektriske produkter og en av disse er El-skip. Moderne batteriteknologi har gjort mulig for elektrifisering av skip slik at elektriske bilferger kunne kjøre over norgesfjorder uten utslipp av drivhusgasser.

Alle type nød utstyr eller systemer som er om bord på et skip er viktig både for selve skipet og passasjerer og mannskap spesielt når det oppstår nødsituasjon under seilingen. Nød generator eller reserve generator er uten tvil et av de viktigste utstyrene som forebygger ulykker mens skipet er i stor trafikk og i dårlig vær. Generatoren på skipet kommer inn som reserve kraftkilde når hoved generatorene ikke klarer å gi den nødvendige kraften til lasten. Den reserve generatoren kobles i parallell med den eksisterende generator og synkronisering av de to generatorene er nødvendig i den tilkoblingsprosessen. Dersom synkroniseringen mislykkes, kan det oppstå farlig situasjoner og i verste fall ulykke. Frekvensen (hastigheten), spenningen og fasevinkel til generatoren må tilpasses veldig nøye når det kobles generator til kraftsystemet før kraft bryteren lukkes. Dårlig synkronisering kan skape følgende problemer:

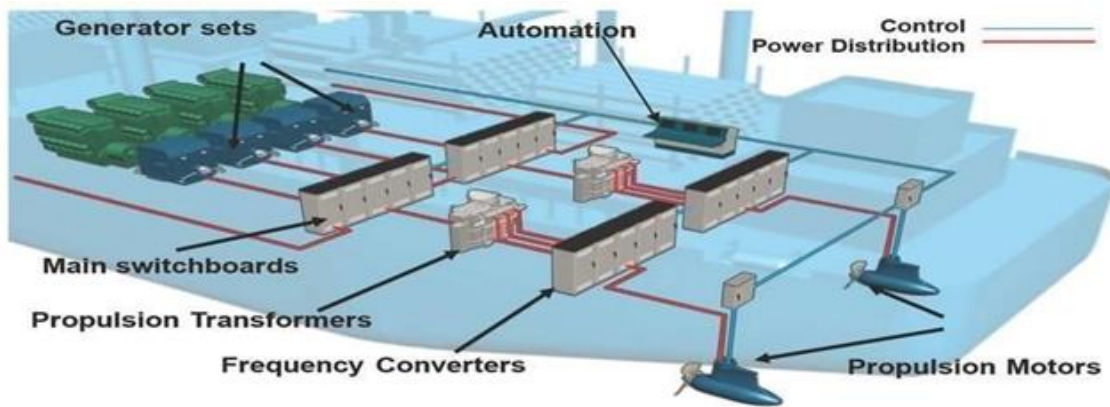
- Ødelegge generatoren og drivmotoren på grunn av mekaniske belastninger. Dette kan føre til store økonomisk konsekvenser som tap av skipet på grunn av effektmangel.
- Skade generatoren og transformator viklingene på grunn av høy strøm (Shosanya M. J., 2020).
- Kan føre til forstyrrelser i kraftsystemet.

Derfor må fire betingelser være oppfylt før effektbryteren kan lukkes. De fire viktigste betingelser for synkronisering av generator til en bussbar er:

- ❖ Spenning
- ❖ Frekvens
- ❖ Fasevinkel
- ❖ Fasesekvens

Synkronisering er ikke bare viktig for skip, men det kan også være viktig for mange andre områder innenfor kraft stasjoner som har flere kraftproduksjonsenheter i drift. Når forbruket stiger, er det viktig å holde konstant spenning og frekvens nivå. Økning av effekt behov kan oppsto flere ganger i løpet av døgnet, da må alle stasjonene være forberedt på å dekke behovet ved å samkjøre reserve generatorene inn i systemet. Her må det følges synkroniseringsprosess nøye.

Noen av FNs bærekrafts mål er verdens felles arbeidsplan for å Utrydde Fattigdom, Bekjempe Ulikhet og Stoppe klimaendringene innen 2030. FNs bærekrafts mål består av 17 mål og 169 delmål. Siden prosjektet vårt er stor sett basert på elektrifisering av system og fokuserer mer på bruk av elektrisk energi enn fossil energi. Oppgaven vår er med på å bidra for å nå tre av de bærekrafts målene: Ren energi til alle, Stoppe klimaendringene og Livet i havet. På denne måten bidrar prosjektet vårt til å løse dagens miljøproblem (FN-SAMBANDET, 2022).



FIGUR 2. DIESEL ELECTRIC PROPULSJON (SEBASTIAN, 2018)

## 2. Spesifikasjonskrav

Det ønskes at vi finner en god løsning på hvordan vi kan synkronisere generator med nettet ved hjelp av to moderne utstyr som heter synkronoskopet og DEIF og teste alle funksjonene som disse to utstyrene har.

I de første møtene med oppdragsgiver fikk vi definert følgende krav:

- a) To modeller skal utvikles: manuell synkronisering og automatisk synkronisering. I manuell synkroniseringen skal det reguleres generator sin spenning og frekvens ved å øke mekaniske pådraget fra turbinen eller diesel motor. I tilfelle om bord på et skip kan diesel motor benyttes for å gi dreiemoment til rotoren til generatoren. Da kan vi justere spenning og frekvens for å oppnå ønsket verdi. Her kan vi se hvilke verdier av spenning, frekvens og fasevinkel har innkommende generator gjennom synkronoskopet. Når det gjelder fasevinkel, er det best å få så lav fasevinkelen differanse mellom generatoren og systemet. En marginal forskjell bør ikke være større enn  $\pm 10^\circ$ . For å gjøre visualiseringen av den faktiske vinkelen mellom innkommende og løpende spenninger bedre er det brukt synkronoskop i moderne synkroniseringspaneler. I automatisk synkroniseringen bruker vi synkronoskop og DEIF i serie som gir kontrollsignaler til generatoren for å få samme frekvens og spenning til systemet.
- b) Systemene skal gjennomgå en praktisk test ved laboratorium.
- c) Synkronoskop skal for manuell synkronisering og synkronoskop og DEIF i serie for automatisk synkronisering. Synkronoskop er en mikroprosessor basert synkroniseringsenhet som gir måling av alle relevante verdier for å synkronisere en generator til et nett (samleskinne). Den brukes i alle typer installasjoner hvor manuell eller halv automatisk synkronisering er nødvendig. Den har mange applikasjoner og funksjonalitet som for eksempel: død buss funksjon. DEIF og synkronoskop brukes også for synkronisering av en generator til samleskinnen og lukking av effektbryter når spenningsforskjellen, slipfrekvensen og fasevinklene er innenfor de forhåndsinnstilte grensene.

- d) Oppgaven utvides til styring av synkronisering gjennom automasjonssystem. Det er et krav om at vi setter oss inn i synkroniseringsteori og utforsker mulighetene i utstyret for alarmering mot automasjonssystem, død buss funksjon, generatorstyring og lignende.
- e) Testing for status kontakt for både DEIF og synkroskop.

Ifølge IEEE standard, skal generatorer være utformet og er egnet for bruk uten inspeksjon eller reparasjon etter synkronisering som er innenfor grensene. Grensene for begge typer generatorer er (Thompson, 2019).

- Vinkel  $\pm 10^\circ$ .
- Spenning 0 to +5 % av  $U_{BB}$ .
- Slip  $\pm 0.067$  Hz

### 3. Analyse av problemet

Oppgaven dreier seg om styring og synkronisering av to eller flere generatorer. Det finnes mange metoder for synkroniseringsprosess ved bruk av ulike utstyr. I dette prosjektet skal det benyttes to mikroprosesser basert hoved utstyr, synkroskopet (CSQ-3) og DEIF FAS-113DG som vi har fått fra arbeidsgiveren. Synkroskop brukes for å teste Manuell metode for synkronisering mens DEIF kobles i serie med synkroskopet for å teste Automatisk modell.

I den første delen av oppgaven forventes at vi blir kjent med generelle teori om synkronisering og finne ut hvilken metode som er best for å synkronisere med negativ eller positiv slip mellom innkommende generator og nett. Det skal også sammenliknes måten de to hoved utstyrene fungerer. Det bør tas hensyn til tidsforsinkelse når bryteren lukkes til den blir helt lukket. Det skal også gjøres rede for hvilke konsekvenser feil synkronisering medfører i et system.

I den andre delen av oppgaven skal vi både lære og lese teorien angående innstillingen av synkroniseringsvindu for generator (ref. side 16 i databladet for CSQ-3). For at utstyrene kunne brukes riktig og ikke minst vite om virkemåten deres må vi ha kjennskap til funksjoner for de to utstyrene som er beskrevet over (ref.: kapittel-2, databladet for CSQ-3 og side-4, databladet for DEIF FAS113-DG). Side 4 i databladet for DEIF FAS113-DG finnes det en del 'options' som skal forklares grundig til kunden/oppdragsgiveren. Død buss er en funksjon som begge utstyr har og det må forklares bruken og virkemåten til utstyrene. Status kontakt er den viktigste funksjonen som krever en god løsning for å teste enten med LED eller med Diode. Begge instrumentene har den funksjonen og den tåler veldig lite strøm. Status kontakt er en funksjon som skal overvåke i tilfelle systemet har noe feil ved å sende en alarm. Her brukes LED for å unngå feil alarm.

I den siste delen av oppgaven skal det jobbes med testing på labben. Det utarbeides tegninger av koblingsskjema for alle modeller og testes med to generatorer på elkraft lab under synkroniseringstest. En generator skal holdes på fast spenningsnivå og frekvens mens spenning og frekvensen til den andre generatoren endres underveis. Under testing skal det observeres om hvordan strøm, spenning og frekvensen endrer seg når det lukkes bryteren mellom fast generator og innkommende generator.

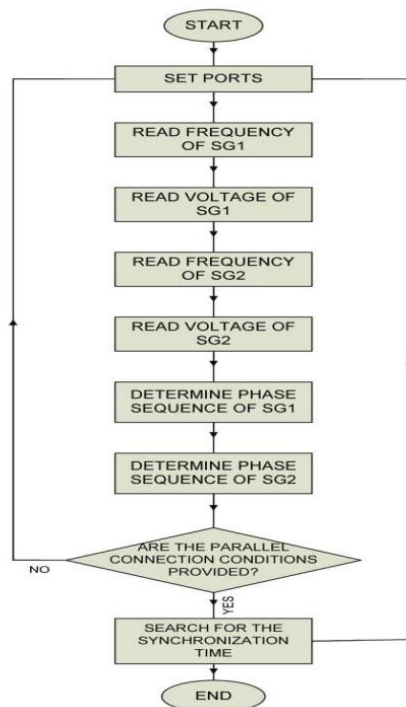
Til slutt noteres resultater fra testen og drøftes hvordan både innstillingene og funksjonene fungerer til begge utstyrene med hensyn til død buss og status kontakt.

### 3.1. Utforming av mulige løsninger

Vi har to løsningsalternativer for å gjennomføre prosjektet vårt, den ene er ved å bruke automasjon metode (Relé og LED) og den andre er ved å bruke PLS. Vi valgte automasjon metode siden vi har mer kunnskap om automasjon enn PLS.

PLS er en forkortelse for Programmerbar Logisk Styring og er en styreenhet som kan utføre forhåndsprogrammerte hendelser. PLS ble introdusert for å erstatte mekaniske reléstyringer og består i hovedsak av en CPU, interne minneområder og I/O. Transformatorer er brukt for å konvertere høye fasespenninger til lavere spenninger som blir behandlet med PLS. PLS konverterer disse signalene og beregner deretter frekvens, spenning, fasesekvens til synkrongenerator. Hvis disse tre forholdene oppfyller, fanger PLS synkroniseringstid mellom fasespenningene til synkrongenerator. Når synkronisering oppnår, sender PLS-en signalet til bryteren og parallellkoblingsbryteren slås på for parallelldrift (Selveit, 2010).

Men vi har brukt reléstyring i stedet for PLC i dette prosjektet.



FIGUR 3. FLOWCHART PLS (E. BEKIROGLU, 2009)

## 4. Verktøy og ressurs

Et av de målene med dette prosjektet har vært om å forankre arbeidet vårt i sikker informasjon og pålitelig kildebruk. Det er blitt brukt flere kilder og litteraturer samt veilederen vår i forbindelse med informasjonsheiting og kvalitetssjekk for verifisering.

Det er følgende kilder og dataprogrammer som har blitt brukt i ulike faser av prosjektarbeidet:

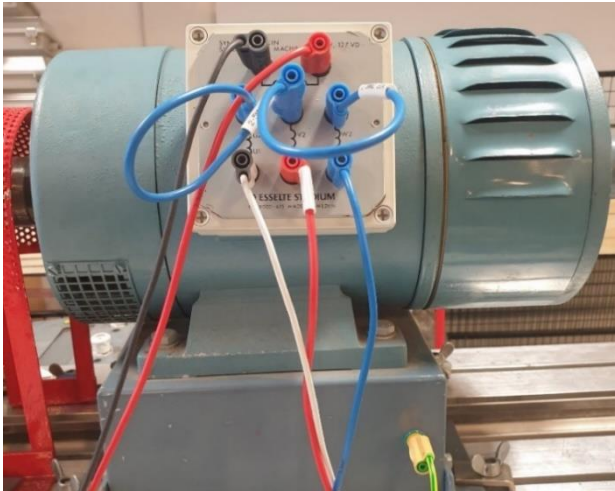
- A) Veileder, kontaktpersoner, medstudenter for å få informasjon.
  - B) Tidligere bacheloroppgaver for å se oppbygning av prosjektet.
  - C) Google søk, Google translate og andre nettsider for å finne informasjon, artikler, figurer og for å oversette vanskelige ord.
  - D) Matlab for simulering og tegning av kretsdiagram.
  - E) Microsoft Office
  - F) Camskanner
- 
- Microsoft Office 365 Word: Dette programmet ble brukt til tekstbehandling. Både rapporten, møtereferat, notater om regelverk og forprosjekt ble skrevet i Word. Excel ble brukt til å føre timeliste, lage fremdriftsplan og beregninger. SharePoint ble brukt mest for deling av skriftlig materiell for prosjektet. Rapporten ble lagret her, sammen med annen data som begge gruppemedlemmene kunne ha nytte av. PowerPoint ble brukt for å lage prinsippskisse av tavleoppbyggingen. Microsoft Teams ble brukt til kommunikasjon mellom oss gruppemedlemmene.
  - Matlab: Den er et simuleringsprogram som gir brukeren mulighet til å simulere elektriske kretser i ulike driftsituasjoner. En kan for eksempel simulere en kortslutning og lese av kortslutningsstrømmen i et elektrisk system. Til og med kan programmet brukes til å lage elektroniske kretser med blant annet forsterkere, motstander, kondensatorer, motorer og brytere. Matlab brukte vi for å simulere prosjektet vårt. Når vi fikk godt resultatet fra Simulink, ble vi veldig trygt til å teste dette på lab igjen.
  - Camskanner: Vi har brukt den Camskanner appen veldig mye på mobilen vår for å ta bilde av komponenter, skriftlige notater, osv. Og for å sende de bildene videre til pc-en vår.

## 5. Lab utstyr

For å gjennomføre prosjektet vårt har vi brukt mange komponenter. Hoved komponenter ligger nedenfor:

- Generator
- Prime mover
- Fluke
- Oscilloskopet
- DC Magnetiseringssystem
- Synkronoskop (CSQ-3)
- Frekvensomformer
- Voltmeter
- Relé (DEIF Fas 113dg)

## 5.1. Generator



FIGUR 4. GENERATOR (BILDE TATT FRA ELKRAFT LAB HVL)

En generator er en elektrisk maskin som konverterer mekanisk energi til elektrisk energi. Det finnes ulike typer generatore som vekselstrøms generatore, likestrøm generatore, kjøretøygeneratore osv. Vekselstrøm generatore er videre delt inn i to kategorier, synkron og asynkron. Forskjell mellom disse to ligger i konstruksjonen som bestemmer funksjonen og rotasjonshastigheten (Sivertsen, Generator, Elektriske Maskiner, 2019).

Synkronmaskiner er mest brukt som generatore ved et kraftverk. Navnet, synkron kommer av at rotoren roterer med synkron hastighet. En fordel med denne generator typen er at den produserer strøm helt fra noen få RPM opp til over nominell hastighet. Synkronmaskin har et turtall som er fast bundet til frekvensen, har regulerbar effektfaktor, er ikke påvirket av spenningsvariasjonen (Sivertsen, Generator, Elektriske Maskiner, 2019).

En synkronmaskin brukes ofte som «energiprodusenten» for kraftproduksjon. Den jobber ofte som generatore i mange tilfeller. Oppgaven til en generator i energiproduksjon er å omforme mekanisk energi til elektrisk Energi. En synkronmaskin består av to deler, rotor og stator. Stator er den delen som står i ro og den er lik for både asynkronmaskin og synkronmaskin. Synkrongenerator har en stator med trefase uttak som kan forsyne en motor eller levere både aktivt og reaktiv effekt til nettet. Rotor er den delen som roterer rundt inne i statoren med dreiemoment ofte fra en turbin. Rotor består av permanent magnet eller er fremmed magnetisert ved DC kilde.

Det er blitt brukt trefase synkronmaskiner som generatore i prosjektet vårt. Vi har en generator som forsyner nettet med konstant spenning 110V [L-L] og andre som en reserve generator. Vi har valgt fremmede magnetisert synkrongenerator for begge generatorene hadde merkespenning på 480V når de kjøres på 1800 RPM og med en frekvens på 60 Hz. Ved hjelp av en DC-magnetiseringssystemet ble det oppnådd vår test referanseverdi som er 110V linjespenning.

For en synkrongenerator kan synkron hastighet beregnes hvis vi kjenner elektrisk nettfrekvens og pol nummer for generatoren.

Formelen:

$$N_s = \frac{120 \times f}{p} \text{ (Sivertsen, Elektriske Maskiner, 2019)}$$

Hvor,

$N_s$  = synkronhastighet [RPM]

F = frekvens [Hz]

P = Antall poler

## 5.2. Prime mover



FIGUR 5. PRIME MOVER (BILDE TATT FRA ELKRAFT LAB HVL)

Drivkraften er alt som gir bevegelse eller dreiemoment til elektriske generatorer og den kan være så enkel som en menneskelig hånd som roterer aksling av en generator. I virkeligheten trenger vi et konstant dreiemoment til generatoren uavhengig av lasten. For å oppnå en slik konsistent i bevegelsen er det derfor vanlig å benytte damp turbin, gas turbin, vann turbin og vind turbin som drivkraft. Forbrenningsmotor kan også være en alternativ drivkraft for generator (WAZIPOINT, Engineering Science and Technology, 2019).

Under lab testen asynkronmotor som er serie koblet med frekvensomformer for å rotere generator aksel på den måten styrte vi både hastighet på 1800rpm og frekvens på 60Hz.

Asynkronmotor består også av to deler. En som heter stator som står stille mens andre heter rotor som er den roterende delen. Asynkronmaskin er en elektrisk vekselstrømmaskin som jobber enten som generator eller som en motor. Asynkronmotor kan kobles opp enten i stjerne for å kjøre i et 400V trefase system eller i trekant for å kjøre i 230V trefase system.

## 5.3. Fluke



FIGUR 6. FLUKE (BILDE TATT FRA ELKRAFT LAB HVL)

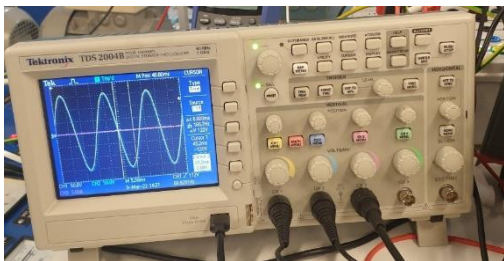
En av de første labbtestene som er utført var å sjekke fasefølge ved hjelp av en fase 'Scope' som heter Fluke. Den gir oss et klart bilde av om vår fasefølge er lik for innkommende generator og nettet.

Den har en funksjon som måler hvilken fasefølge en trefase kilde har. 'Scope' knappen brukes for å se hvilken fasefølge både nett og den innkommende generatoren har.

Pekeren går med klokken når både nett spenning og innkommende generatoren spenning har like fasefølge. Det betyr at begge må ha positiv fasefølge [ABC] eller negativ fasefølge [ACB] ellers blir synkroniseringen prosessen ikke godkjent. Fasefølge [ABC] er observert i våre labbtester (MyFlukeStore.com):

$V1 < 0^\circ = V2 < 120^\circ = V3 < 240^\circ$ .

#### 5.4. Oscilloskopet



FIGUR 7. OSCILLOSKOPET (BILDE TATT FRA ELKRAFT LAB HVL)

Et annet utstyr som er brukt i eksperimentet er oscilloskopet som brukes for å finne faseforskyvning mellom nettet og Generator<sub>1</sub>. Den finner ut fasevinkelen mellom to signaler på en indirekte måte. 'cursor<sub>1</sub>' er brukt og plassert null gjennomgang av nett signal mens 'cursor<sub>2</sub>' er plassert på null gjennomgang av signal til innkommende generator. Det leses av  $\Delta t$ [ms] mellom signalene og brukes følgende formel:

$$\varphi = \frac{(\Delta t \cdot 360^\circ)}{20ms}$$

Hvor,

$\varphi$  = faseforskyvning

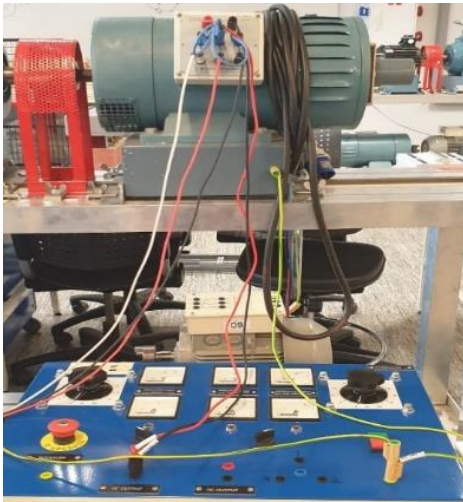
$\Delta t$  = tidsforskjell mellom signaler

20ms = en periode

Dette gir oss nøyaktig faseforskyvning mellom signaler. Synkronoskop kan ikke gi oss en fasevinkel som er mindre enn  $10^\circ$  siden den har 36 lys dioder som er delt rundt  $360^\circ$ .



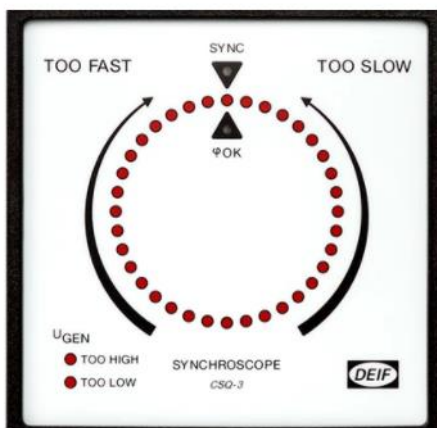
## 5.5. DC Magnetiseringssystem



FIGUR 8. DC MAGNETISERINGSSYSTEM (BILDE TATT FRA ELKRAFT LAB HVL)

Systemet som brukes for å gi den nødvendige feltstrømmen til rotorviklingen til synkronmaskinen kalles dc magnetiseringssystem. Rotor del av generatoren består av leder som har dc strøm. Rotor roteres ved hjelp av drivkraft som gjør at elektromotorisk spenning blir produsert og blir utlevert gjennom stator del av generatoren. Faradays første lov sier følgende: «når en leder plasseres i et varierende magnetfelt, induseres det en elektromotorisk kraft». På samme måte hvis kretsen er lukket induseres en strøm noe som kalles industert strøm (Skaar (Universitet)). I prosjektet vårt bruker vi DC magnetiseringssystem for å levere inn 24 V DC spenning til rotor del av generatoren.

## 5.6. Synkronoskop



FIGUR 9. SYNKRONOSKOP (DEIF)

Synkronoskop er en enhet som hjelper oss for å sjekke at alle parameterne er innenfor grenseområdet for synkroniseringen. Synkronoskop har en peker som roterer enten i retning med klokken eller mot klokken med kl. 12:00 posisjon som utgangspunkt. Pekeren roteres mot klokkeretning hvis generatoren går sakte mens pekeren roterer med klokkeretning hvis generatoren roterer fort. Den riktige tilstanden for bryteren til å lukke er når to generatorer kjører parallelt med

samme hastighet, spenning, fasevinkel, og fasesekvens. I dette tilfellet ligger pekeren i kl. 12: 00 posisjon.

Synkronoskop er en mikroprosessor basert synkroniseringsenhet som gir måling av alle relevante verdier for å synkronisere en generator til et nett (sambleskinne). Den brukes i alle typer installasjoner hvor manuell eller automatisk synkronisering er nødvendig. I et synkronoskop er det mulighet for å justere følgende synkroniseringskrav: Spenningsforskjellen mellom generator og nettet, størrelsen på fasevindu og lengden på synkroniseringspulsen. I tillegg er det en indikasjon på  $U_{GEN}$  'TOO HIGH' (rød LED) eller  $U_{GEN}$  'TOO LOW' (rød LED) faseforskjell innenfor det forhåndsinnstilte vinduet ' $\varphi_{OK}$ ' (gul LED), og til slutt synkroniseringsutgang aktiv, 'SYNC' (grønn LED).

### 5.6.1. Lysdioder på primærfronten (normal modus)

Synkronoskop har følgende lysdioder på fronten som viser forskjellig driftsinformasjon.

LED	Farge	Funksjon
Sirkel	Rød	Den lyste LED i sirkelen viser faseforskjellen mellom GEN og BUSBAR
SYNC	Grønn	All 'preset sync'. Parameteren er OK, og utgangs reléet er aktivert.
$\varphi_{OK}$	Gul	Faseforskjellen mellom GEN og BUSBAR er innenfor det forhåndsinnstilte vinduet.
$U_{GEN}$ Veldig høy	Rød	Spenningsforskjellen mellom GEN og BUSBAR er utenfor det forhåndsinnstilte området. $U_{GEN}$ er for høy.
$U_{GEN}$ Veldig lav	Rød	Spenningsforskjellen mellom GEN og BUSBAR er utenfor det forhåndsinnstilte området. $U_{GEN}$ er for lav.

TABELL 1. LYSDIODER PÅ PRIMÆRFRONTEN (NORMAL MODUS) (DATABLAD) (DEIF AS)

### 5.6.2. LED på sekundær front (innstillingsmodus)

LED	Farge	Funksjon
Sirkel	Rød	Deler av sirkelen brukes som skalaer for de forskjellige innstillinger.
$\Delta\varphi$	Gul	Viser at $\Delta\varphi$ -skalaen er aktiv.
$t_d$	Gul	Viser at $t_d$ -skalaen er aktiv, Vær oppmerksom på at $t_d$ bare blir aktiv med $t_R$ satt til $\infty$
$t_R$	Gul	Viser at $t_R$ -skalaen er aktiv
$\Delta U$	Gul	Viser at $\Delta U$ -skalaen er aktiv
$U_{bus}$	Gul	Viser at $U_{bus}$ -vekten (død buss) er aktiv.

TABELL 2. LED PÅ SEKUNDÆR FRONT (INNSTILLINGSMODUS)(DATABLAD) (DEIF AS)

### 5.6.3. Oversikt over terminalene

Terminal nr.	Signal symbol	Signal navn
1	R (L <sub>1</sub> )	Busbar spenning
	X	Ikke brukt
2	S (L <sub>2</sub> )	Busbar spenning
	X	Ikke brukt
3	SYNC	Relé utgang
4	SYNC	Relé utgang
5	R (L <sub>1</sub> )	Generator spenning
	X	Ikke brukt
6	S (L <sub>2</sub> )	Generator spenning

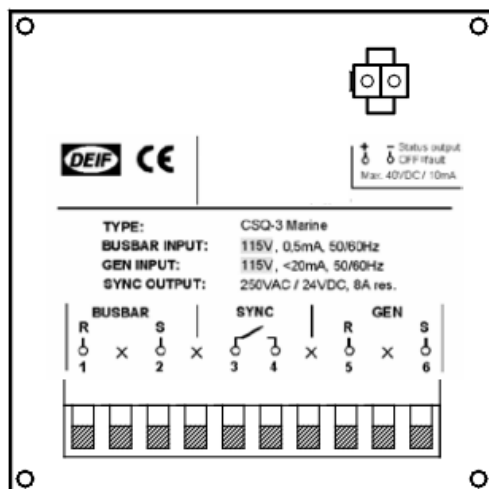
TABELL 3. OVERSIKT OVER TERMINALENE (TATT FRA DATABLAD) (DEIF AS)

### 5.6.4. Bare på marin versjon

System status circuit off = failure	+ open collector
	-open collector

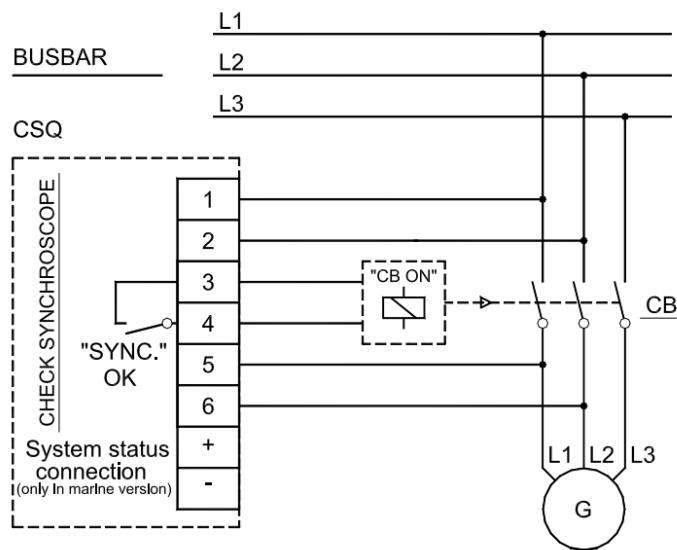
TABELL 4. MARIN VERSJON(DATABLAD) (DEIF AS)

### Marine version



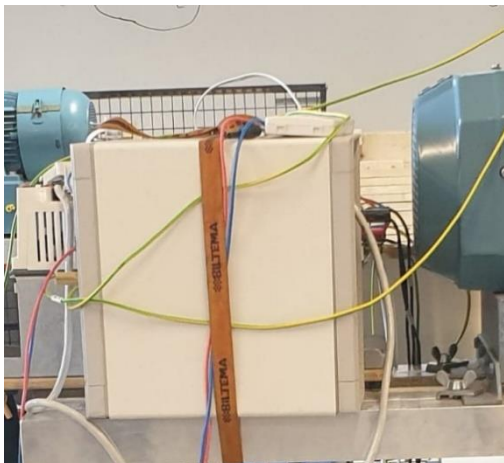
FIGUR 10. MARIN VERSJON (DATABLAD) (DEIF AS)

### 5.6.5. Krettsdiagram



FIGUR 11. KRETSDIAGRAM SYNKROSKOPET (DEIF AS)

### 5.7. Frekvensomformer

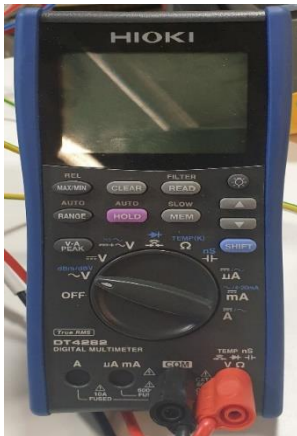


FIGUR 12. FREKVENSSOMFORMER (BILDE TATT FRA ELKRAFT LAB HVL)

Produsert elektrisitet har en frekvens knyttet til rotasjonshastigheten til generatoren og dette frekvensen er ikke alltid lik frekvensen til det elektriske nettet. Det kan også være at en elektrisk motor må kjøres med varierende hastighet eller en spesifikk hastighet som ikke er lik rutenettets frekvens. Da er det behov for en frekvensomformer som konverterer effektfrekvensen til en ønsket frekvens. Siden vi bruker 60 Hz i hele prosjektet vårt trenger vi to frekvensomformere for å konvertere 50 Hz noe som kommer fra 3 fase vegg til eksisterende og innkommende generator. Frekvensomformer gjør at 50 Hz frekvens fra to generatorer blir konvertert til 60 Hz. Det gjør at hele systemet har 60 Hz (GOZUK).

Frekvensomformere består av tre deler: likeretter, DC-buss og inverter. Likeretteren konverterer AC sinusbølgen til DC ved å bruke dioder som bare går gjennom den positive siden av sinusbølgen. DC-bussen filtrerer AC-ripple-spenningen fra den konverterte DC-en. Filtringen utføres med en induktor og en kondensatorer for å få jevnere DC bølger før inverter delen. Inverter delen lager AC sinusbølger fra DC og dette gjøres med høy hastighet.

## 5.8. Voltmeter



FIGUR 13. VOLTMETER (BILDE TATT FRA ELKRAFT LAB HVL)

Dette er et instrument som brukes til å måle elektrisk spenning mellom to punkter i en elektrisk krets. Voltmeter er alltid koblet parallelt med hverandre. Vi bruker voltmeter for å måle spenningen mellom to linje av eksisterende generator, to linjer av last og to linjer av innkommende generator. Siden spenningen mellom de to generatorene eller lasten må være lik med hverandre. Det er viktig at vi mottar like spenning mellom de tre punktene ved å bruke voltmeter (Andersen, 2017).

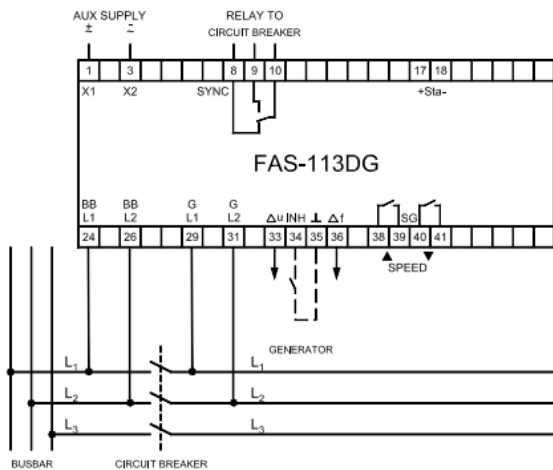
## 5.9. DEIF FAS-113DG



FIGUR 14. DEIF FAS-113DG (BILDE FRA UTSTYR LÅNT FRA SIEMENS ENERGI AS)

Relé måler samleskinne og generatorens spenninger og frekvenser og sammenligner disse, samtidig sammenligner fasevinklene deres. Den kontrollerer generatorens frekvens og spenning, til de samsvarer med samleskinne verdiene.

### 5.9.1. Kretsdigram



FIGUR 15. KRETSDIAGRAM DEIF FAS-113DG (DATABLAD) (DEIF AS, 2022)

### 5.9.2. Indikasjon

LED-er	Lys
(U <sub>G</sub> ) Generator spenning	Grønt, når alle de kriteriene er oppfylt og verdi er innen 'preset range'. Bryteren lukkes. Ellers er bryteren åpent.
(U <sub>BB</sub> ) Busbar spenning	
(Δf) Frekvens differanse (df/dt sjekk)	
(ΔU) Spenning differanse	
(SYNC) Synkronisering	
(SYNC) Synkronisering	Gult, når relé er aktivert.
(SG ▲) Øke hastighet(frekvens)	
(SG ▼) Minke hastighet(frekvens)	

TABELL 5. INDIKASJON AV LED LYS (DATABLAD) (DEIF AS, 2022)

### 5.9.3. Applikasjon

Deif FAS-113DG-synkroniseringen brukes for synkronisering av en generator til samleskinnen(bussbar) og lukking av bryter når spenningsforskjellen, frekvensforskjellen og fasevinklene er innenfor forhåndsinnstilt verdier. Synkroniseringen kan brukes sammen med et bredt spekter av drivkraft (prime mover), ettersom kontrollpulser kan settes til å passe flere typer fra å reagere sakte dieselmotorer til raskt reagerende gasturbiner.

### 5.9.4. Funksjon

Deif FAS-113DG utfører en dynamisk synkronisering som sikrer at slipfrekvensen alltid er positiv. Dette forhindrer at det oppstår omvendte strømforhold. For å beregne når det skal sendes lukkesignalet til generatorbryteren, synkroniseringen måler den faktiske slip frekvensen og sammenligner dette med bryterens lukketid. Når slipfrekvensen og spenningsavviket, er innenfor

innstillingene en slik beregning utføres, og synkroniseringsenheten sender lukkesignalet til bryteren 'x' grader før toppen, som gjør at dette får tid til å lukkes. [8Ved harmonisk forvrengning eller støy på spenningsinnganger, er FAS-113DG utstyrt med spesial filtre på AC-spenningsinngangene for å unngå unøyaktig synkroniseringspulsen sendes. I tillegg brukes en  $df/dt$  (ROCOF)-funksjonen. Hvis filtrene er ute av stand til å foreta nødvendig filtrering av inngangssignalene,  $df/dt$  funksjonen, vil forhindre upresis synkronisering puls fra å bli overført. Hvis  $df/dt$  funksjonen er aktiv, vil dette bli indikert med en blinkende  $\Delta f$  LED (DEIF AS, 2022).

FAS-113DG er utstyrt med en analog frekvens utgang og en analog spenningsutgang beregnet for felles kontroll av frekvensen og spenningen til DEIF last delingsenheter type LSU-112/113/114DG og LSU-122DG, en funksjon brukt for synkronisering av alle generatorer til et anlegg til samleskinnen (DEIF AS, 2022).

### 5.9.5.Regulatorutgang

Enheten er utstyrt med to kontaktutganger for hastighetskontroll:

#### Frekvenskontroll

Reguleringshastigheten til servomotorene for prim mover styres av den innebygde P-kontrolleren til FAS-113DG i henhold til innstillingen for:

- $T_N$  (pulslengde): min. varigheten av kontrollpulsen.
- $X_p$  (proporsjonalt bånd): sonen der puls/pause-forholdet endres proporsjonalt med frekvensavviket fra  $f_{set}$ .
- Dødt bånd 0,05 Hz: Sonen der ingen kontrollpulser sendes ut.

Fasevinkel fremføringen beregnes og en synkronisering signal sendt, gitt at:

- a) Spenningsforskjellen er innenfor  $\pm 2$  til  $\pm 12$  % av samleskinnenspenning.
- b) Frekvensforskjellen er innenfor  $\pm 90$  % av verdien satt på FREQ potensiometeret.
- c) Generatorfrekvensen er høyere enn samleskinnen frekvens.

Når de tre ovennevnte betingelsene er oppfylt, vil en synkronisering signalet sendes. Den gule 'SYNC' LED lyser, og utgangskontakten er aktivert i 400 ms (DEIF AS, 2022).

#### Egenkontroll

FAS-113DG er utstyrt med en egenkontrollfunksjon. Funksjonen overvåker den innebygde mikrokontrolleren og verifiserer om programmet kjører riktig. Den grønne LED-en merket 'POWER' er tilkoblet til denne funksjonen. Konstant grønt lys indikerer at forsyningsspenningen er akseptert og enheten går riktig. Blinkende grønt lys 2-3 Hz indikerer at forsyningsspenningen er akseptert, men enheten kjører feilaktig. I denne situasjonen vil statusutgangsklemmene 17 og 18 er aktivert (åpen) (DEIF AS, 2022).

## 6. Løsningsalternativer for synkronisering av generator til nett

### 6.1. Alternativ A - Frekvensregulator

Deif FAS-113DG er satt til å fungere som en frekvenskontroller som sikrer en stabil generatorfrekvens i henhold til innstilling (50 Hz eller 60 Hz). Funksjonen aktiveres når INH-inngangen er lukket. Hvis INH-inngangen er åpent, vil Deif FAS-113DG fungere som en vanlig synkronisering. Når inngangen INH er aktivert, vil Deif FAS-113DG fungere som en frekvenskontroller og reguler generatoren til frekvensinnstilling (50 Hz eller 60 Hz)  $\pm 0,05$  Hz og vil ikke synkronisere. Puls vil bli overført. Det er ikke mulig å ha alternativ A og alternativ B samtidig (DEIF AS, 2022).

### 6.2. Alternativ B - Død buss funksjonalitet

Død buss funksjonen er tilgjengelig på både DEIF og synkronoskopet. Den gir oss mulighet til å synkronisere innkommende generator med nettet uten å følge kravene på alternativ A som er normal drift siden vi ikke har like spenning, fasevinkel og frekvens på begge sider (DEIF AS, 2022).

#### 6.2.1. Død buss for DEIF

1. Når generatorspenningen er innenfor 60 % av nominelt nivå (nominell spenning=110V). Det tilsvarer  $U_G = 66V$ .
2. Bussbar spenning må være mindre enn 20 % av nominelt nivå det som er mindre enn 22V.
3. Når disse to kriteriene ovenfor er oppfylt, stenger bryteren. Vi skal merke at etter lukking av bryteren må spenningsinngangen på klemme 29 eller 31 eller forsyningsspenningen på klemme 1 eller 3 kobles fra, ellers vil DEIF FAS-113DG kjøre generatoren i overhastighet (DEIF AS, 2022).
4. Hvis INH-inngangen er aktivert (lukket), vil ikke DEIF FAS-113DG aktivere synkroniseringen. Men når INH er deaktivert, vil DEIF FAS-113DG overføre lukkesignalet til bryteren.
5. Det er ikke mulig å ha alternativ A, frekvenskontroller og alternativ B, død buss samtidig.

#### 6.2.2. Død buss funksjon for synkronoskop

Når generatorspenningen overstiger 80% av nominelt nivå (nominell spenning=110V). Det tilsvarer 88[V] i vårt tilfelle. Vi har innstilt bussbar spenning på 10%. Så er død buss funksjon aktivert innenfor (15-25) % av generator spenning som tilsvarer 13,2 V buss bar spenning. Etterpå stilles bussbar spenning til 20% og død buss funksjonen er aktivert innenfor (25-30) % av generator spenning (80% av nominelle spenning(110V) =88V). Samtidig er død buss funksjon aktivert når det innstilles på 30 % og 40%. Når død buss funksjon er satt til 'OFF Mode' innstillingen, er død buss funksjon deaktivert i dette tilfelle. Det som kunne observeres i hele prosessen at 'SYNC' LED på synkronoskopet lyser grønt mens død buss funksjon er aktivert (DEIF AS).

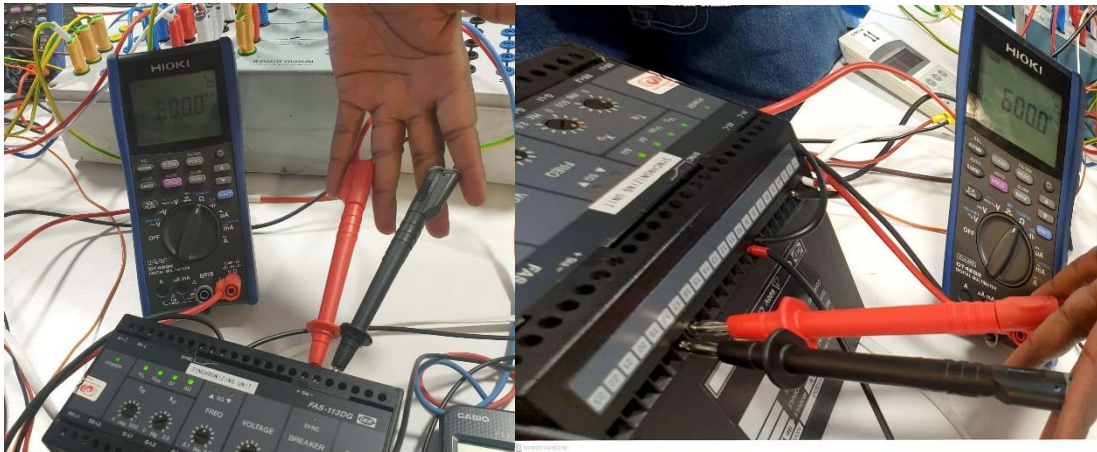
Når alle kriteriene er oppfylt, stenger vi bryteren. Her har vi to kriterier som må følges, nemlig buss bar sin spenning som er avhengig av hvilke innstillinger vi velger på synkronoskopet (OFF, 10%, 20%, 30%, og 40%) og andre er at generator sin spenningsnivå som er større enn 80% av nominelle spenning.



## 7. Status kontakt

### 7.1. Status kontakt for DEIF FAS-113DG

Utgang av terminal no. 17 og 18 brukes for å sjekke status kontakt av DEIF FAS-113DG. Her kan vi bruke LED mellom terminal 17 (-) og 18 (+). Dersom LED lyses betyr det at alt er i orden og det er ingen fare for systemet. På denne måten kan vi unngå feilalarm. Vi har undersøkt andre mulige løsninger for status kontakt for eksempel: Diode og Ohmmeter. Vi bestemmer oss å bruke ohmmeter for å sjekke motstand mellom terminale -(17) og +(18) og målingen viser 600 M $\Omega$  noe som regnes som veldig høy motstandsverdi. En slik høy motstandsverdi tyder på at det er ingen feil i systemet. Siden en liten strøm skal gås gjennom status terminalene. En liten motstand verdi tilsvarer høy strøm som vil ødelegge LED som tåler kjempe lite strøm. Dermed vil en alarm utløses.



FIGUR 16. STATUS KONTAKT FOR DEIF FAS-113DG (BILDE TATT FRA ELKRAFT LAB HVL)

Status kontakt for synkronoskopet ligger på toppen av utstyret markert med (+) og (-). Utgangssignalet som gjelder bare for marine versjon har maks 40VDC/10mA. Her kan vi bruke LED, diode eller ohmmeter for å teste om alt er i orden med systemet.

## 8. Lab sjekkliste for både Manuell og Automatisk metode

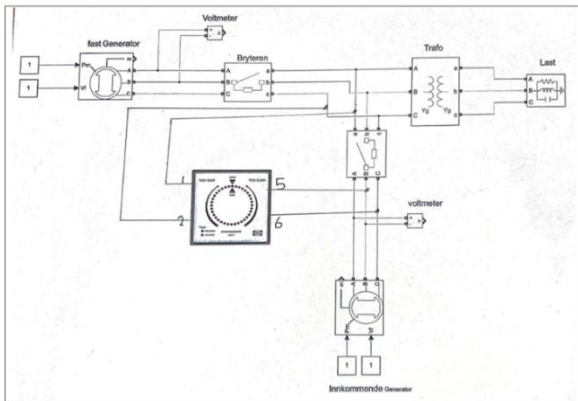
Manuell metode av synkronisering	Automatisk metode av synkronisering
<p><b>1. Spenning</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Her bruker vi synkronoskop for å sammenligne spenning på bussbar (samleskinne) og innkommende generator.</li><li>• Voltmeter kan brukes for å sammenligne spenningen på bussbar og innkommende generator.</li><li>• Hvis bussbarspenning er høyere enn spenningen til innkommende generatoren (<math>U_{BB} &gt; U_G</math>), lyser LED lys 'TOO LOW'.</li></ul>	<p><b>1. Spenning</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Her bruker vi både DEIF og synkronoskop for å finne forskjell på spenningen mellom bussbar (<math>U_{BB}</math>) og innkommende generator (<math>U_G</math>). DEIF er koblet i serie med synkronoskop.</li><li>• Hvis 'TOO LOW' LED lyser rød på synkronoskopet, betyr det at <math>U_{BB} &gt; U_G</math>.</li><li>• Hvis 'TOO HIGH' LED lyser rød, betyr det at <math>U_{BB} &lt; U_G</math>.</li><li>• På DEIF hvis <math>\Delta U</math> lyser grønt, betyr det at spenning er innen synkronisert grense området (<math>\pm 5</math> til <math>\pm 12</math>) V.</li></ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hvis innkommende generatoren sin spenning er mer enn Bussbar spenning (<math>U_{BB} &lt; U_G</math>), lyser 'TOO HIGH' LED rød.</li> <li>• Hvis begge to har lik spenning (<math>U_{BB} = U_G</math>), 'SYNC' LED lyser grønt.</li> <li>• Spenningsdifferanse (<math>\Delta U</math>) mellom bussbar og innkommendegenerator kan være 5 % av <math>\pm U_{BB}</math>.</li> </ul>	
<p><b>2.Frekvens</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pekeren går med klokken betyr frekvensen til innkommendegenerator er høyere enn bussbar frekvens (<math>F_G &gt; F_{BB}</math>)</li> <li>• Pekeren går mot klokken betyr frekvens til innkommendegenerator er lavere enn bussbar frekvens (<math>F_{BB} &gt; F_G</math>)</li> <li>• Vi bruker frekvensomformer for å kontrollere frekvensen på både bussbar og generator.</li> </ul>	<p><b>2. Frekvens</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Både DEIF og synkronoskop brukes for å finne frekvensforskjell mellom bussbar og innkommende generator. Forskjellen må ligge mellom (0,05-0,5Hz).</li> <li>• Pekeren går med klokken betyr frekvensen til innkommendegenerator er høyere enn bussbar frekvens (<math>F_G &gt; F_{BB}</math>)</li> <li>• Pekeren går mot klokken betyr frekvens til innkommendegenerator er lavere enn bussbar frekvens (<math>F_{BB} &gt; F_G</math>)</li> <li>• <math>\Delta F</math> LED lyser grønt på DEIF boks hvis frekvensforskjell (<math>F_{BB} - F_G</math>) ligger mellom (0,05-0,5Hz). Da er vi klar til å lukke bryteren hvis de andre parametre også er innenfor grensen.</li> </ul>
<p><b>3.Fasevinkel</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hvis '<math>\varphi_{OK}</math>' og 'SYNC' lyser grønt, betyr det at fasevinkelen mellom de to kilde signalene er innen 'preset range' <math>\pm 10^\circ</math>. Derfor kan vi lukke bryteren når pekeren er innen grense område fra <math>-10^\circ</math> til <math>+10^\circ</math>.</li> </ul>	<p><b>3.Fasevinkel</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hvis '<math>\varphi_{OK}</math>' og 'SYNC' lyser grønt, betyr det at fasevinkelen mellom de to kildene er innen 'preset range'.</li> </ul>

TABELL 6. LAB SJEKLISTE FOR BÅDE MANUELL OG AUTOMATISK METODE (LAGET SELV PÅ WORD)

## 9. Manuell modell

I Manuell modell bruker vi kun synkroskopet (CSQ-3) for synkronisering av innkommende generator med nettet. Synkroskopet består av 4 LED og 1 peker som roterer enten med klokkeretning eller mot klokkeretning noe som viser synkroniseringsprosess. Når pekeren går med klokkeretning, betyr det at innkommende generator sin frekvens er høyere enn nettet. Dersom pekeren roteres mot klokkeretning, har innkommende generator lavere frekvens i forhold til nettets frekvens. 'TOO HIGH' LED lyser rød betyr det at innkommende generator sin spenning er høyere enn nettet mens 'TOO LOW' LED lyser rød betyr det at innkommende generator sin spenning er lavere enn nettet. I tilfelle der begge 'TOO HIGH' og 'TOO LOW' LED lyser ikke, men 'SYNC' LED og ' $\varphi_{OK}$ ' LED lyser betyr det at alle kravene for synkronisering er oppfylt og vi er klar til å lukke bryteren.



FIGUR 17. KRETSDIAGRAM MANUELL MODELL (BILDE TEGNET SELV PÅ MATLAB)

Dette er krettsdiagrammet av prosjektet vårt. Synkroskopet kobles mellom to fase av innkommende generator ( $L_1$  og  $L_2$ ) og mellom to fase av nettet. Det er synkroskopet som skal sammenligne spenning, frekvens, fasevinkel mellom generator og lasten. Når alle kravene er oppfylt, gir synkroskopet signal for å lukke bryteren. Vi bruker voltmeter mellom to fase av innkommende generator og to fase av nett for å lese spenningen mellom generatorer og nett.

### 9.1. Test for Manuell metode

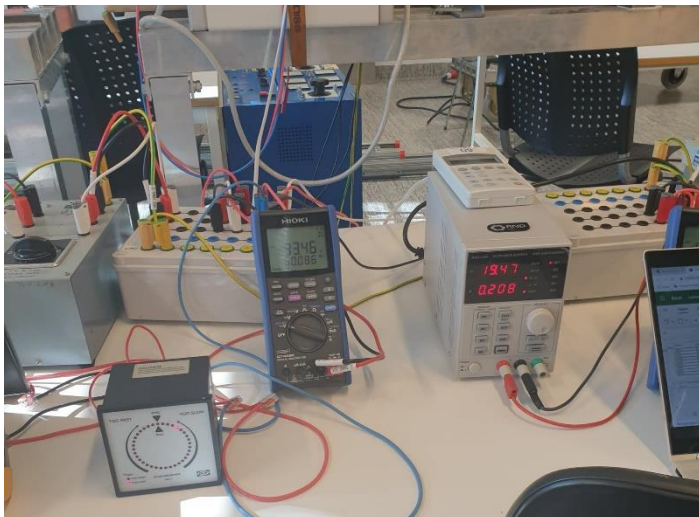
Parameter	Test for Manuell metode
Spenning	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Eksisterende generator [Generator<sub>1</sub>] forsyner en tre fase last [Motor], Spenning og effekten lasten drar fra kilden kan bestemmes ved hvilken kobling motoren har, enten trekant eller stjerne. I tilfelle der lasten kobles på delta blir linjespenning lik fasespenning. Stjerne linjestrøm er lik fasestrøm. Både generator som forsyner nettet og innkommende generatoren [Generator<sub>2</sub>] er stjerne koblet for å ha kontroll overfor linjespenning.</li></ol>

	<p>2. Krav på linjespenning er 110 V (L-L) 60 Hz.</p> <p>3. Hele systemet må ha 110 V (L-L) fordi strøm kan sirkulere mellom kildene bare hvis spenningen går over grense (5% av <math>\pm U_{BB}</math>).</p> <p>4. Spenning til Innkommende generator [Generator<sub>2</sub>] styres ved hjelp av DC Magnetiseringsstrøm (<math>I_m</math>).</p> <p>Formelen:</p> $\frac{I_m}{I_a} = \frac{E_m}{U_f}$ <p>Hvor,  <math>I_m</math> = Magnetisering strøm.  <math>U_f</math> = spenning ut av statoren.</p>
<p><b>Frekvens</b></p>	<p>Frekvens til nettet er fast [60Hz], men generator<sub>2</sub> frekvens kan økes eller minskes ved å endre hastigheten til drivkraften altså asynkronmotor. Her er det omdreining (RPM) som bestemmer hvilken frekvens innkommende generator får.</p> <p>Her, styrer vi RPM til den innkommende generator ved bruk av frekvensomformer på kontrollpanel slik at vi kan innstille den på ønsket frekvensnivå.</p> <p>Formelen:</p> $N_s = \frac{120 \times f}{p}$ <p>Hvor,  <math>N_s</math> = synkronhastighet [RPM]  <math>F</math> = frekvens [Hz]  <math>p</math> = antall poler</p>
<p><b>Fasevinkel</b></p>	<p>Vi kan ikke endre fasevinkel mellom tre fasene som en generator har og den fasevinkelen er et bestemt tall for eks 120° mellom <math>L_1</math> og <math>L_2</math> for å opprette balansert trefasekilde.</p> <p>Nett har fasevinkel på 120° mellom fasene.</p> <p>Innkommende generator har også fasevinkel på 120° mellom fasene.</p> <p>Metoden som vi bruker for å finne ut faseforskyvning mellom nettet og Generator<sub>1</sub> som skal kobles mot nett var å benytte et apparat som heter oscilloskopet. Den finner fasevinkel mellom to signaler på en indirekte måte. Vi bruker 'cursor<sub>1</sub>' og plasserer null gjennomgang av nett signal og plasserer</p>

	<p>'cursor<sub>2</sub>' på null gjennomgang av "innkommende generator signal". Da leser vi av <math>\Delta t</math> [ms] mellom signalene og bruker følgende formel:</p> $\phi = (\Delta t \cdot 360^\circ) / 20 \text{ ms.}$ <p>Dette gir oss nøyaktig faseforskyvning mellom signalene. CQS3 Synkronoskopet, kan ikke vise oss en fasevinkel som ligger mellom området <math>\pm 10^\circ</math> siden den har 36 lysdioder for <math>360^\circ</math>. Da har vi ikke mulighet til å lese når fasevinkelforskjellen er for eksempel <math>5^\circ</math>.</p>
<p><b>Fasesekvens</b></p>	<p>Vi bruker et utstyr som heter fluke som finner ut hvilken fasesekvens en trefase kilde har. Vi trykker 'scope' knappen for å se hvilken fasesekvens både nett og Generator<sub>2</sub> har. Pekeren går i retning med klokke når både nettspenning og spenning fra Generator<sub>2</sub> har like fasesekvens. For at synkroniseringsprosess blir godkjent må begge ha positiv fasesekvens [ABC] eller negativ fasesekvens [ACB]. I vårt tilfelle, hadde vi ABC: <math>V_1 &lt; 0^\circ = V_2 &lt; 120^\circ = V_3 &lt; 240</math></p>

TABELL 6. TEST FOR MANUELL METODE (LAGET SELV PÅ WORD)

## 9.2. Manuell metode – Lab test av spenning, frekvens og fasevinkel



FIGUR 18. MÅLING AV SPENNING, FREKVENNS OG FASEVINKEL GJENNOM MANUELL METODE (BILDE TATT FRA ELKRAFT LAB HVL)

### 9.2.1. Spenning

Testing av spenning utføres med verdier som er innen grense ( $5\%$  av  $\pm U_{BB}$ ) som er et krav. For å teste funksjonalitet til synkronoskopet med tanke på 'TOO LOW', må vi lukke bryteren mens innkommende generatoren har spenning på  $93,5 \text{ V}$  som tilsvarer ( $-15\%$  av  $U_{BB}$ ). Her observerer vi at 'SYNC' LED lyser

ikke grønt som forventet. Og 'TOO LOW' LED er på hele tiden som betyr at innkommende generator har lavere spenning enn på nettet. Det testes også hvordan 'TOO HIGH' LED fungerer ved å lukke bryteren mens innkommende generator har spenning på 126,5V noe som er 15% høyere enn på nettet. Som forventet, observerer vi 'TOO HIGH' LED er på og synkronisering er ikke vellykket.

Test nr.	Spenning [V]	Merkeavvik [ $\pm 5\%$ av $U_{BB}$ ]	Spenning etter avvik [V]	Forventet resultat	Lab resultat	Kommentarer
1	110	-15 %	93,50	Ikke synkronisert	Ikke synkronisert	Too low(på)
2	110	-10 %	99,00	Ikke synkronisert	Ikke synkronisert	Too low(på)
3	110	-5 %	104,50	Synkronisert	Synkronisert	Too low(på)
4	110	-2 %	107,80	Synkronisert	Synkronisert	Ikke lys på Too High og Too Low LED
5	110	0 %	110,00	Ikke synkronisert	Synkronisert	Ikke lys på Too High og Too Low LED
6	110	2 %	112,20	Synkronisert	Synkronisert	Ikke lys på Too High og Too Low LED
7	110	5 %	115,50	Synkronisert	Synkronisert	Ikke lys på Too High og Too Low LED
8	110	10 %	121,00	Ikke synkronisert	Ikke synkronisert	Too High(på)
9	110	15 %	126,50	Ikke synkronisert	Ikke synkronisert	Too High(på)

TABELL 7. MÅLING AV SPENNING (LAGET SELV PÅ EXCEL)

#### Kommentar

På testnummer 1 og 2 når vi har avvik -15% av  $U_{BB}$  og -10% av  $U_{BB}$  får vi spenning på innkommende generatoren 93,46V og 99,39V. Det betyr at spenningen er lavere enn ref. spenning på 110V. Synkronisering lykkes ikke i og med at 15% avvik er under merkeavvik. Derfor stemmer forventet resultatet med lab resultatet. Status LED er på 'TOO LOW' som indikerer at spenningen til innkommende generator er mye lavere enn nettspenning.

På test nummer 3,4,6 og 7 da vi har avvik innen grense  $\pm 5\%$  av  $U_{BB}$ , får vi spenningen på innkommende generatoren verdi nær på 110V. Det betyr differensen mellom nettet og innkommende generatoren er innen tillatte merkeavvik. Derfor lyser ikke status lys.

Da vi har avvik på 10% og 15% av  $U_{BB}$  på testnummer 8 og 9 får vi spenningsverdi på innkommende generatoren mye større enn 110V. Det tyder på at det er høyere spenning på generatoren sin side enn på bussbar sin side. Dette gjør at strømmen fløt mellom de 2 generatorene (fast og innkommende). Derfor er status lys på synkronoskopet 'TOO HIGH'.

På test nummer 5, er synkronisering vellykket, men i teorien skal innkommende generatoren ha høyere spenning enn nettet fordi den skal ta over lasten. Med høyere spenning kan vi forsikre at generatoren ikke går mot "Revers Mode" og strømmen sirkulærer ikke mellom nettet og generatoren.

#### 9.2.2. Fasevinkel

Test på fasevinkel mellom nett og reserve generator:

Ifølge brukerveiledning har synkronoskopet 36 LED lys som tilsvarer  $360^\circ$  totalt hvor hver diode har en verdi på  $10^\circ$ .

Test nr.	Fasevinkelforskyving [grader]	Merkeavvik [ $\pm 10^\circ$ ]	Forventet resultat	Lab resultat	Kommentarer
1	0	180	Ikke synkronisert	Ikke synkronisert	Veldig høy strøm sirkulerer mellom generatorene
2	0	90	Ikke synkronisert	Ikke synkronisert	Strøm sirkulerer mellom generatorene
3	0	-90	Ikke synkronisert	Ikke synkronisert	Strøm sirkulerer mellom generatorene
4	0	-60	Ikke synkronisert	Ikke synkronisert	Strøm sirkulerer mellom generatorene
5	0	-130	Ikke synkronisert	Ikke synkronisert	Høy strøm sirkulerer mellom generatorene
6	0	50	Ikke synkronisert	Synkronisert	Strøm sirkulerer mellom generatorene
7	0	130	Ikke synkronisert	Ikke synkronisert	Høy strøm sirkulerer mellom generatorene
8	0	-10	Synkronisert	Synkronisert	Liten strøm sirkulerer mellom generatorene
9	0	10	Synkronisert	Synkronisert	Liten strøm sirkulerer mellom generatorene
10	0	0	Synkronisert	Synkronisert	Liten strøm sirkulerer mellom generatorene

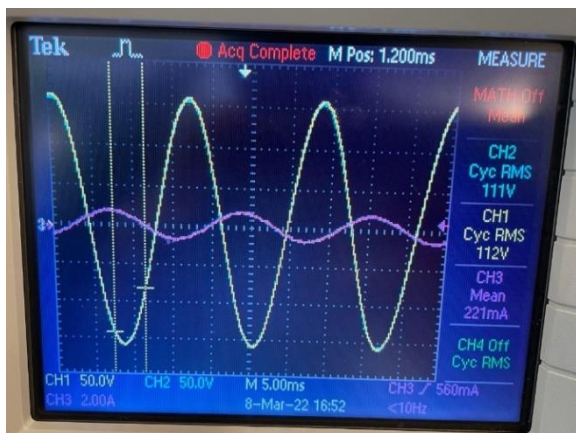
TABELL 8. MÅLING AV FASEVINKEL (LAGET SELV PÅ EXCEL)

#### Kommentar

Testnummer 8, 9 og 10 stemmer med teorien og synkroniseringen er godkjent selv om det er liten strøm som går mellom generatorene. 'SYNC' LED lyser grønt. På testnummer 1, 2, 3, 4, 5 og 7 stemmer med teorien, men synkroniseringen er ikke godkjent allikevel. I dette tilfellet blir det sirkulert stor strøm mellom generatorene. På testnummer 6, blir forventet resultatet motbevist med lab resultatet. Etter en stund blir systemet ustabil og strømmen må kobles av med lastbryteren. Årsaken kan være at faseforskyvingsmålingen av synkronoskopet ikke er nøyaktig. Oscilloskopet måler fasevinkelforskjell mellom disse to signalene mer nøyaktig, men ulempen er at bruk av oscilloskop krever mer tid enn synkronoskop.

#### Fasevinkel figur fra Lab

For  $0^\circ$



FIGUR 19. FOR  $0^\circ$  FASEVINKEL (BILDE TATT FRA ELKRAFT LAB HVL)

#### Kommentar

På figuren over ligger blå graf og gul graf opp på hverandre. Strømmen er liten i forhold til det vi observerer i andre tilfeller der synkronisering er ikke godkjent. Strømmen sirkulerer mellom generatorene i begynnelsen av prosessen nemlig i det øyeblikket vi lukker bryteren selv om 'SYNC' LED blinker grønt noe som bekrefter at alle kravene er oppfylt. Etter hvert, blir alt stabilt og begge generatorene begynner å forsyne lasten sammen, ved å fordele effekten som lasten krever. Dermed fungerer 'SYNC' sin funksjon som den skulle.

For  $-10^\circ$

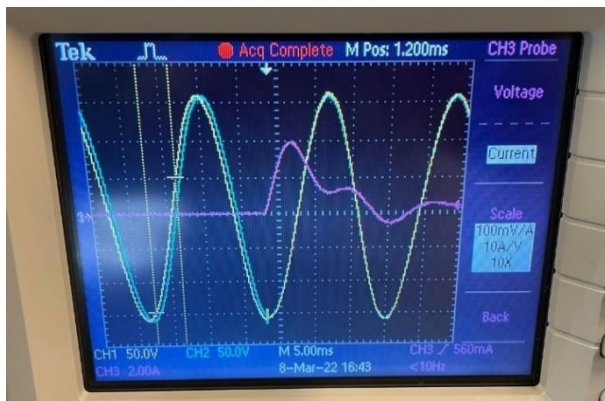


FIGUR 20. FOR  $-10^\circ$  FASEVINKEL (BILDE TATT FRA ELKRAFT LAB HVL)

#### Kommentar

På dette bildet, er fasevinkel mellom generatorene  $-10^\circ$  som er innen grense av forhåndsstilte kravet. Med dette lukkes bryteren så lenge fasevinkel ligger innen  $\pm 10^\circ$ . Her observerer vi at strømmen mellom generatorene er minst når faseforskyvning mellom generatorene er minst. Og dette kan ses tydelig hvis man sammenligner strømmen som er på figur (bilde med 0 grader side 28) med (figur) der vi har enten  $-10^\circ$  eller  $+10^\circ$ .

For  $+10^\circ$



FIGUR 21. FOR  $+10^\circ$  FASEVINKEL (BILDE TATT FRA ELKRAFT LAB HVL)

#### Kommentar

På bildet over ser vi både før og etter lukking av bryteren mellom generatoren og nettet. Siden fasevinkelen er innen forhåndsstilte grense blir synkronisering godkjent. Det er fortsatt lite strøm (lilla graf) som går mellom generatorene i en stund i det vi lukker bryteren.

### 9.2.3. Frekvens

Ifølge teorien skal den innkommende generatoren ha høyere frekvens enn nettet når de to skal synkroniseres med hverandre. FAS-113DG har grense for slip [F1, F2]] for at den tillater synkronisering prosessen.



Test nr.	Frekvens [Hz]	Merkeavvik ± [Hz]	Forventet resultat	Lab resultat	Frekvensverdi under test [Hz]
1	60	0,067	Synkronisert	Synkronisert	60,067
2	60	0,078	Synkronisert	Synkronisert	60,078
3	60	0,080	Synkronisert	Synkronisert	60,080
4	60	0,089	Synkronisert	Synkronisert	60,089
5	60	0,990	Ikke synkronisert	Ikke synkronisert	60,990
6	60	0,130	Synkronisert	Synkronisert	60,130
7	60	0,190	Synkronisert	Synkronisert	60,190
8	60	2,890	Ikke synkronisert	Ikke synkronisert	62,890
9	60	0,312	Synkronisert	Synkronisert	60,312

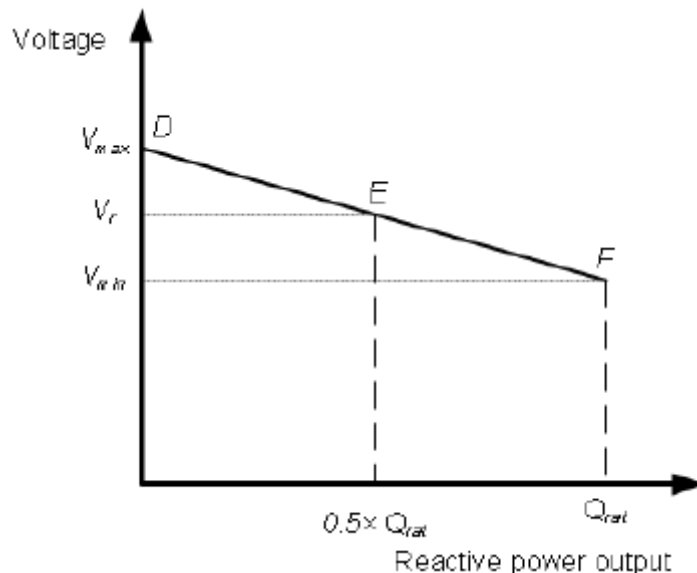
TABELL 9. MÅLING AV FREKVENNS (TABELL LAGET SELV PÅ EXCEL)

#### Kommentar

På testnummer 1, 2, 3, 4, 6, 7 og 9 er avviket innen grense fra  $\pm 0,05$  Hz til  $\pm 0,5$  Hz. Retningen pekeren viser på synkroskopet forteller om frekvensen til innkommende generator er høyere eller lavere enn nettfrekvens. Pekeren beveger med klokkeretning som bekrefter at forventet resultat stemmer med lab resultat med lite avvik. Men på test nummer 5 og 8, er avviket større enn merkeavvik 'Preset Range'. Derfor går pekeren med klokkeretning når avviket er positivt (+0,99 til +2,89) selv om synkronisering status LED ikke lyser. Det betyr at synkroniseringen ikke er godkjent. I andre tilfellet går pekeren mot klokkeretning når avviket er negativt (-2,89 til -0,99) og status LED lyse ikke. Her blir heller ikke synkronisering oppnådd.

Vi konkluderer med at denne funksjonen fungerer bra fordi vi overvåker frekvensverdien på voltmeteret som er koblet til innkommende generatoren.

## 10. Droop Rate



FIGUR 22. DROOP RATE (RESEARCHGATE, 2011)

'Droop mode' tar imot endringer i frekvens og lar 2 generatorer jobbe sammen ved å dele belastninger i forhold til lasten. I 'Droop mode' er en generators utgang og frekvens omvendt

proporsjonale. Når frekvensen synker, øker levert effekt. Hvis en generator for eksempel har en 2% fallinnstilling, vil en 2 % reduksjon i frekvens øke utgang effekten med 100 % (ResearchGate, 2011).

'Droop setting' for generator regulator er viktig for å kontrollere hvilken hastighet og frekvens generator skal ha. Parallell kobling av to generatorer gjør at hver generator prøver å forsyne nettet uavhengig av hverandre. Dette er en stor utfordring tidligere som bidro til ustabilitet på systemet selv om alle andre kravene for synkroniseringen er oppfylt. Vi prøver oss fram til å oppnå stabilitet i system ved å innstille 'Droop rate' på 2% gjennom frekvensomformerer som i dette tilfelle var vårs regulator av drivkraften.

### 10.1. Fasevinkel med 2% 'Droop rate' i Manuell metode:

Test nr.	Droop Rate	Fasevinkel	Forventet resultat	Lab resultat
1	2 %	90	Ikke synkronisert	Ikke synkronisert
2	2 %	-90	Ikke synkronisert	Ikke synkronisert
3	2 %	-60	Ikke synkronisert	Ikke synkronisert
4	2 %	-230	Ikke synkronisert	Ikke synkronisert
5	2 %	130	Ikke synkronisert	Ikke synkronisert
6	2 %	±10	Synkronisert	Synkronisert
7	2 %	0	Synkronisert	Synkronisert

TABELL 10. FASEVINKEL MED 2% 'DROOP RATE' I MANUELL METODE (TABELL LAGET SELV PÅ EXCEL)

#### Kommentar

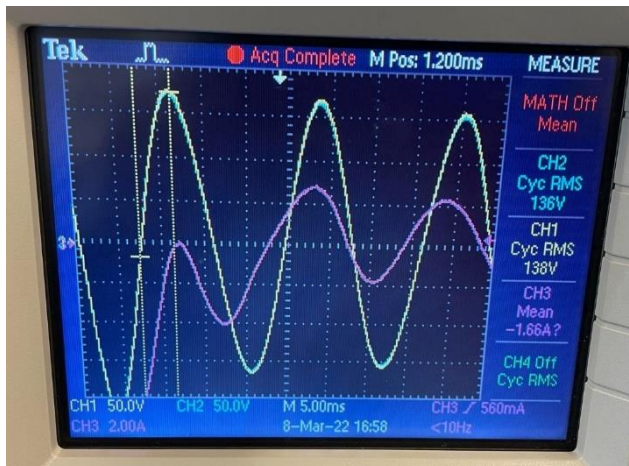
Når belastningen til generatoren øker, reduseres hastigheten eller frekvensen. Dette problemet kan fikses ved å gi passende 'Droop rate' verdi ved hjelp av frekvensomformer. Da produserer generatorer samme effekt ved en gitt frekvens.

Vi har opplevd at synkronisering mellom generatorene er riktig, men det varer i noen minutter. Etterpå går systemet i ustabil modus med stor økning i strømmen gjennom to generatorene.

Årsaken kan være at begge generatorene prøver å forsyne lasten med mest mulig effekt så begynner de å jobbe mot hverandre. For å løse dette problemet, finner vi 'Droop rate' mode som kan hjelpe med å stabilisere systemet ved å gi passende frekvens. Her starter vi med 2% 'Droop rate' og observerer vi at strømmen mellom generatorene er veldig stor når vi lukker bryteren. Etter hvert begynner strømmen å redusere gradvis og systemet fungerer veldig bra. Dette fører til at disse to generatorene jobber sammen i lengre perioder.

## 10.2. Observasjon av lab resultater med 2% 'Droop Rate':

### 10.2.1. For 60°

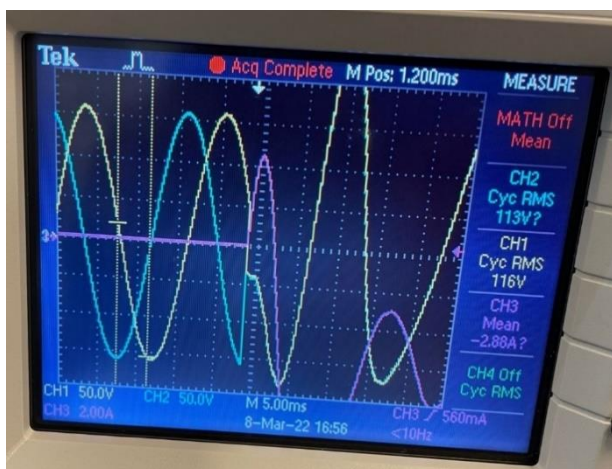


FIGUR 23. FOR 60° 'DROOP RATE' (BILDE TATT FRA ELKRAFT LAB HVL)

#### Kommentar

Bildet over blir tatt noen sekunder etter at vi lukker bryteren. Her ser vi både grafen fra nettet og innkommende generator som overlapper med hverandre. Strømmen (lilla grafen) er høy og øker fortere jo lenger vi venter etter lukking av bryteren mellom nettet og innkommende generatoren.

### 10.2.2. For 90°



FIGUR 24. FOR 90° FASEVINKEL (BILDE TATT FRA ELKRAFT LAB HVL)

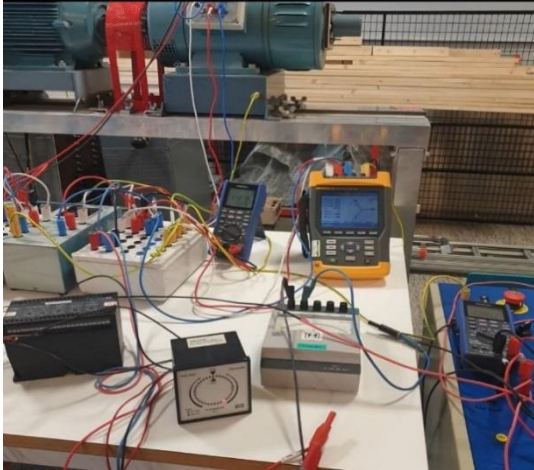
#### Kommentar

Blå graf på bildet over viser signal fra reserve generatoren. Gul graf representerer signal fra den faste generatoren som representerer nett i vårt tilfelle. Lilla grafen symboliserer strømmen mellom nettet og generatoren. Fasevinkel mellom to kilder på bildet over er 90°. Derfor øker strømmen i styrke etter at vi lukker bryteren. Grunnen til dette er at fasevinkel krav ( $\pm 10^\circ$ ) er ikke oppfylt. Synchronisering er ikke mulig å oppnå selv om 'Droop Rate' er innstilt på 2%. Dette beviser at synchroniseringskravet om fasevinkel mellom generatoren og nett må være  $\pm 10^\circ$ .

I tillegg, hører vi lyd som varer i kort perioder fra begge generatorene. Dette skyldes at hver generator prøver å jobbe mot hverandre for å kunne levere lasten til nettet. Derfor skifter en av de

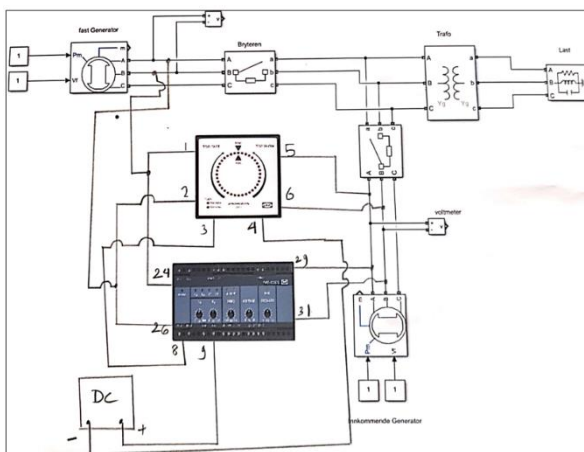
generatorene opprinnelig rotasjonsretning av rotoren sin og virker isteden som motor. Dette medfører ødeleggelsen av drivkraften og derfor ikke må tillates.

## 11. Automatisk modell



FIGUR 25. AUTOMATISK MODELL (BILDE TATT FRA ELKRAFT LAB HVL)

I Automatisk modellen bruker vi DEIF FAS- 113DG i serie med CSQ-3. DEIF har 8 LED som indikerer synkroniseringsprosessen. Når 'Power' LED lyser, betyr det at FAS-113DG har fått nok forsyningsspenning og er klar til å måle.  $U_G$  og  $U_{BB}$  LED lyser grønt når den måler både generator og nett spenning. LED til  $\Delta f$  og  $\Delta U$  forteller oss frekvens og spenningsforskjellen mellom nettet og innkommende generatoren. De 2 lyser 'grønt' når både frekvens og spenning er innenfor grensen, (0,05 - 0,5) Hz og ( $\pm 2\%$  -  $\pm 12\%$ ) av  $U_{BB}$ . Deretter lyser også 'SYNC' LED som gir oss beskjed for å lukke bryteren slik at synkronisering er oppnådd. Med dette kan vi anta at det tredje kravet, fasevinkelforskjell som er allerede oppfylt og dette kan vi se på CSQ-3. Dersom de to LED ikke lyser, indikerer dette at vi er utenfor synkroniseringsområde. Da kan vi justere frekvens og spenning for å treffe 'Preset Range'.



FIGUR 26. KRETSDIAGRAM AUTOMATISK MODELL (BILDE TEGNET SELV PÅ MATLAB)

Dette er et automatisk krettsdiagram av prosjektet vårt. Her har vi serie koblet DEIF FAS-113DG med CSQ-3 ved å koble utgangene av Synkronoskopet til DEIF113-DG. Først tar vi ledning fra terminal no.3

på synkronoskopet til terminal no.8 på DEIF. Terminal no.4 på synkronoskopet er koblet videre til voltmeter( $\pm$ terminal). Samtidig har vi koblet terminal no. 9 fra DEIF til (+ terminal av en DC-kilde (31V). Negativt terminal av DC kilde blir koblet til andre terminaler av voltmeteret.

Synkronoskopet terminale 1 og 2 er koblet til 24 og 26 terminaler på DEIF113 og videre kobles til nettet ( $L_{1BB}$  og  $L_{2BB}$ ). Terminaler 5 og 6 er koblet til innkommende generator ( $L_{1G}$  og  $L_{2G}$ ). Terminaler 29 og 31 er koblet mot fase ( $L_{1G}$  og  $L_{2G}$ ) av innkommende generator.

Når alle kriteriene er oppfylt for eksempel: spenningsforskjellen, frekvensforskjellen, fasevinkel og fasesekvens mellom innkommende generator og nettet, gir disse to utstyrene et klart signal ved å lyse 'SYNC'LED. Da betyr det at synkronisering er godkjent og vi er klare til å lukke bryteren.

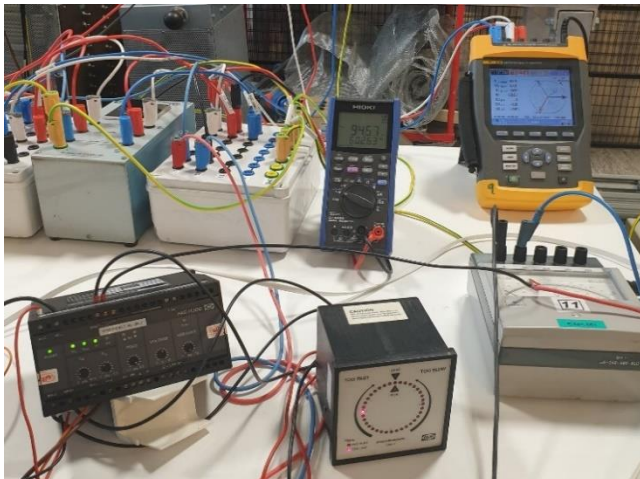
### 11.1. Test for Automatisk modell (DEIF FAS- 113DG i serie med CSQ-3)

Parameter	Test for Automatisk metode (DEIF FAS- 113DG i serie med CSQ-3)
Spenning	<ol style="list-style-type: none"> <li>Generator<sub>1</sub> [eksisterende generator] forsyner en tre fase last (motor), spenning og effekten lasten drar fra kilden kan bestemmes ved hvilken kobling motoren har, enten Trekant eller stjerne. I tilfelle vi kobler lasten på delta blir linje Spenning likt fasespenning. Stjernelinje strøm er likt fase strøm. Både Generator som forsyner nett og innkommende generatoren er stjerne koblet for å ha kontroll overfor linjespenning.</li> <li>Krav på linjespenning er 110V (L-L) 60 Hz</li> <li>Hele systemet må ha 110V (L-L) fordi strøm kan sirkulere mellom kildene bare hvis spenningen går over grense (<math>\pm 2\%</math> til <math>\pm 12\%</math>).</li> <li>Generator<sub>2</sub> [innkommende generator] sin spenning skal styres ved hjelp av DC magnetisering strøm [<math>I_m</math>]. Formelen: <math display="block">\frac{I_m}{I_a} = \frac{E_m}{U_f}</math> <math>U_f =</math> spenning ut av statoren</li> </ol>
Frekvens	<ol style="list-style-type: none"> <li>Frekvens til nettet er fast [60HZ], mens Generator<sub>2</sub> frekvens kan økes eller minkes ved å endre hastigheten til drivkraften som er asynkronmotor. Her er det RPM som bestemmer hvilken frekvens den innkommende generatoren får.</li> <li>Her styrer vi RPM til den innkommende generator ved å bruke frekvensomformer 'Control panel' slik vi kan innstille den på ønsket frekvens nivå.</li> <li>LED til <math>\Delta f</math> og <math>\Delta U</math> forteller oss frekvens og spenning forskjell mellom nettet og innkommende generatoren. De lyser grønt når både frekvens og spenning er innenfor grense som er (0,05 til 0,5) Hz og (<math>\pm 2\%</math> til <math>\pm 12\%</math>) av <math>U_{BB}</math>. Så lyser også 'SYNC'LED som gir oss signal for å lukke bryteren slik at synkronisering lykkes.</li> </ol> <p>Formelen: <math display="block">N_s = \frac{120 \times f}{p}</math> Hvor, <math>N_s =</math> synkronhastighet [rpm]</p>

	<p>F = frekvens [Hz]  <math>p</math> = antall poler</p>
<b>Fasevinkel</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Vi kan ikke endre fasevinkel mellom tre fasene som en generator har og den fasevinkelen er et bestemt tall for eks <math>120^\circ</math> mellom <math>L_1</math> og <math>L_2</math> for å opprette balansert trefasekilde.</li> <li>2. Nett har fasevinkel på <math>120^\circ</math> mellom fasene. Innkommende generator har også fasevinkel på <math>120^\circ</math> mellom fasene.</li> <li>3. Metoden som vi bruker for å finne ut faseforskyvning mellom nettet og generator<sub>1</sub> som skal kobles mot nett var å benytte et apparat som heter oscilloskopet. Den finner fasevinkel mellom to signaler på en indirekte måte. Vi bruker 'cursor<sub>1</sub>' og plasserer null gjennomgang av nett signal og plasserer 'cursor<sub>2</sub>' på null gjennomgang av innkommende generator signal. Da leser vi av <math>\Delta t</math> [ms] mellom signalene og bruker følgende formel:   <math display="block">\varphi = (\Delta t \cdot 360^\circ) / 20 \text{ ms.}</math> </li> <li>4. Dette gir oss nøyaktig faseforskyvning mellom signalene. Synkronoskopet kan ikke vise oss en fasevinkel som ligger mellom området <math>\pm 10^\circ</math> siden den har 36 lysdioder for <math>360^\circ</math>. Da har vi ikke mulighet til å lese av når fasevinkelforskjellen er for eksempel <math>5^\circ</math>.</li> </ol>
<b>Fasesekvens</b>	<p>Vi har brukt et utstyr som heter fluke som finner ut hvilken fasesekvens en trefase kilde har. Vi trykker 'scope' knappen for å se hvilken fasesekvens både nett og Generatoren<sub>2</sub> har. Pekeren går i retning med klokke når både nettspenning og spenning fra Generatoren<sub>2</sub> har like fasesekvens. For at synkroniseringsprosess blir godkjent må begge ha positivt fasesekvens [ABC] eller negativt fasesekvens [ACB]. I vårt tilfelle, har vi ABC:  <math>V_1 &lt; 0^\circ = V_2 &lt; 120^\circ = V_3 &lt; 240^\circ</math></p>

TABELL 11. TEST FOR AUTOMATISK METODE (DEIF FAS- 113DG I SERIE MED CSQ-3 (TABELL LAGET SELV PÅ WORD)

## 11.2. Automatisk metode - Lab test for spenning, frekvens og fasevinkel



### 11.2.1. Spenning

Test nr.	Spenning[V]	Merkeavvik	Spenning etter avvik[V]	Forventet resultat	Lab resultat
1	110	-15 %	93,5	Ikke synkronisert	Ikke synkronisert
2	110	-12 %	96,8	Synkronisert	Synkronisert
3	110	-10 %	99,0	Synkronisert	Synkronisert
4	110	-8 %	101,2	Synkronisert	Synkronisert
5	110	-6 %	103,4	Synkronisert	Synkronisert
6	110	-4 %	105,6	Synkronisert	Synkronisert
7	110	-2 %	107,8	Synkronisert	Synkronisert
8	110	2 %	112,2	Synkronisert	Synkronisert
9	110	4 %	114,4	Synkronisert	Synkronisert
10	110	6 %	116,6	Synkronisert	Synkronisert
11	110	8 %	118,8	Synkronisert	Synkronisert
12	110	10 %	121,0	Synkronisert	Synkronisert
13	110	12 %	123,2	Synkronisert	Synkronisert
14	110	15 %	126,5	Ikke synkronisert	Ikke synkronisert

TABELL 12. MÅLING AV SPENNING (LAGET SELV PÅ EXCEL)

#### Kommentar

Vi tar utgangspunkt i å holde alle andre parameterne konstant mens vi endrer kun spenning. Basert på veiledning fra databladet innstilles DEIF FAS113-DG på ( $\pm 2$  til  $\pm 12\%$ ) av  $U_{BB}$  ved bruk av potentiometer knapp for spenning. 'ΔU' og 'SYNC' LED på DEIF FAS113-DG er på hele tiden mens 'TOO LOW' og 'TOO HIGH' LED på synkronoskopet er av. Resultat på tabellen over viser at hvis spenningsverdi ligger utenfor dette område ( $\pm 2$  til  $\pm 12\%$ ) av  $U_{BB}$ , er ikke systemet synkronisert. Grunnen skyldes Innkommende generator har mye lavere spenning enn nettet på test nr. 1 og den har høyere spenning enn nettet på test nr. 14. I begge tester, observerer vi høy strøm som går mellom innkommende generatoren og nettet. Imidlertid i alle tilfeller der verdiene er innenfor denne grensen er synkronisering vellykket. Med dette bekreftes det at utstyret virker etter hensikt.

### 11.2.2. Frekvens

Test nr.	Frekvens [Hz]	Merkeavvik $\pm$ [Hz]	Forventet resultat	Lab resultat
1	60	0,067	Synkronisert	Synkronisert
2	60	0,078	Synkronisert	Synkronisert
3	60	0,089	Synkronisert	Synkronisert
4	60	0,130	Synkronisert	Synkronisert
5	60	2,890	Ikke synkronisert	Ikke synkronisert
6	60	0,390	Synkronisert	Synkronisert
7	60	0,500	Synkronisert	Synkronisert

TABELL 13. MÅLING AV FREKVENNS (LAGET SELV PÅ EXCEL)

### Kommentar

Her stemmer forventet resultat med lab resultatet. I test nr. 1, 2, 3, 4, 6 og 7 er frekvensen innenfor grenseområde, 0.05 Hz til 0.5 Hz og 'Δf' LED lyser grønt samt 'SYNC' LED på DEIF og pekeren på synkronoskopet beveger seg med klokkeretning. Med dette kan vi si at synkroniseringen er oppnådd både i teorien og i praksis. I test nr. 5 er frekvens høyere enn <<Preset Range>>. Derfor er synkroniseringen ikke godkjent. I tillegg får vi høre høy lyd fra aksel mellom generatorene og asynkronmotor som skyldes høyere frekvens 62,89 Hz.

### 11.2.3. Fasevinkel

Test nr.	Fasevinkelforskyvings [Grader]	Merkeavvik [± 10°]	Forventet resultat	Lab resultat
1	0	-30	Ikke synkronisert	Ikke synkronisert
2	0	-20	Ikke synkronisert	Ikke synkronisert
3	0	-10	Synkronisert	Synkronisert
4	0	-5	Synkronisert	Synkronisert
5	0	0	Synkronisert	Synkronisert
6	0	5	Synkronisert	Synkronisert
7	0	10	Synkronisert	Synkronisert
8	0	20	Ikke synkronisert	Ikke synkronisert
9	0	30	Ikke synkronisert	Ikke synkronisert

TABELL 14. MÅLING AV FASEVINKEL (LAGET SELV PÅ EXCEL)

### Kommentar

Vi starter med å teste på verdien som ligger innenfor grensen for forhåndsstilte verdier fra test nr.3 til test nr.7 og synkronisering ble godkjent. Vi observerer både på DEIF FAS113-DG og synkronoskopet sine utganger. På DEIF FAS113-DG lyser 'SYNC' LED grønt samtidig lyser 'φ<sub>OK</sub>' grønt på synkroskopet. Det som betyr at vi er klar til å lukke bryteren slik synkronisering går videre og begge generatorene skal jobbe sammen for å dekke effekt behov til lasten.

## 12. Manuell metode vs. Automatisk metode

I Manuell synkroniseringsmetode brukes det synkronoskop som hoved utstyr for å justere og overvåke ulike verdier som for eksempel spenning, fasevinkel og frekvens ved hjelp av andre hjelpeutstyr som for eksempel fluke, voltmeter og frekvensomformerer. Det overvåkes retning på bevegelsen til pekeren og lysdioder for å finne positiv eller negativ frekvensforskjell. Med hastighet på bevegelsen kan det antas hvor stor verdiforskjellen er. Hvis pekeren roteres sakte mot klokkeretning, betyr det at synkroniseringen er oppnådd og dermed kan kretsbyteren lukkes. Spenning reguleres ved bruk av to LED lys markert med 'TOO HIGH' og 'TOO LOW' mens fasevinkel justeres med 'φ<sub>OK</sub>' LED lys.

I Automatisk synkroniseringsprosess brukes det DEIF FAS113-DG i serie sammen med synkronoskop for å sjekke om kravet er innenfor de gitte grensene. Når alle betingelsene for synkroniseringen er oppfylt, gir DEIF signal om at synkroniseringen er oppnådd deretter kan bryteren lukkes.



### 13. Diskusjon

Alle oppgaver i dette prosjektet ble utført etter den opprinnelige fremdriftsplanen som var satt opp ved prosjektstart. Kun to ukers labarbeid ble utsatt for tre uker som følge av havari på en av de utstyrene, DEIF. Både skolen og oppdragsgiveren ble informert om dette og nytt utstyr ble bestilt. Imellom leste vi gjennom ulike litteratur om prosjektstemaet for å forstå oppgavens dybde. Vi brukte en del av den tiden også til å redigere oppgaven.

Den opprinnelig møtetid som var satt opp i begynnelsen måtte endres på grunn av helsemessige årsaker og kollisjon med andre forelesninger. For å stå fast på arbeidstiden i prosjektet vårt til 25 timer per uke vurderte vi å jobbe ekstra i helgene eller om kveldene hjemmefra. Med det ekstra arbeidet kunne vi gjøre opp for de tapte timene.

Praksisdelen av oppgaven vår ble utført på elkraft lab. Her testet vi synkronisering for Manuell modell og Automatisk modell med forventet resultater. Da vi skulle teste død buss funksjonen for både synkroskopet og DEIF FAS-113DG kunne dette ikke fullføres fordi kravet som gjelder for 'død buss' funksjonen var ikke oppfylt. Død buss funksjon var aktiv i fem sekunder. En del av dette kravet er å koble inn en ny generator til nettet etter to sekunder. Men problemet var at generatorene ble usynkronisert med nettet etter to sekunder. I utgangspunktet skulle vi finne løsning på dette problemet, men på grunn av tidspress som følge av renovasjon av elkraft-lab ble dette ikke gjort. Vi bestemte for å ha dette problemet som videre arbeid som kan forskes på etter at vi har levert inn prosjektet.

Seriekobling av DEIFAS113-DG med CSQ-3 i Automatisk modell var også en utfordring som vi har gått gjennom, men til slutt klarte vi å koble sammen med hjelp fra labbingeniøren vår. Begge utstyrene var koblet til generator sin side for å få inngangssignal. Utgangene ble koblet i serie og videre koblet til nettet ( $L_1$ - $L_2$ ). Målet med dette var å bekrefte at begge utstyrene jobbet sammen og ga oss et signal for at synkronisering lykkes. Fokuset ligger på 'SYNC' LED og vi fikk til å bekrefte forventet resultat med lab resultat. Det betydde at begge utstyrene fungerte bra.

En annen utfordring var ustabilitet av systemet etter en kort periode etter synkroniseringen. Årsaken til dette var sirkulasjon av strømmen mellom to generatorer. Her hørte vi høy lyd på akslinger av begge generatorene rett etter vi lukket bryteren mellom nettet og innkommende generatoren. Vi løste dette problemet ved å ta i bruk 'Droop rate' som er allerede introduserte på rapporten over.

Det var ikke mulig å få lett adgang til labb på grunn av sikkerhetsmessige årsaker. Det gjorde at vi alltid måtte ha en labbingeniør med oss under testingen. Bortsett fra renovasjon av høyspent lab på skolen på dette semesteret gikk labarbeidet stor sett som planlagt.

## 14. Konklusjon

Hoved del av oppgaven er å finne en løsning på hvordan en generator kunne synkroniseres med et elektrisk nett ved hjelp av utstyr som synkronoskop og DEIF. Det skal utvikles både Manuell og Automatisk metode for synkronisering samt teste alle funksjoner som fins i disse utstyrene.

I Manuell modellen ble synkronoskop koblet mellom en generator og nettet der LED lys er brukt til å overvåke og ha kontroll på alle betingelser som skal til for synkronisering. Vi justerte innstillinger på alle parameterne som var oppgitt i databladet. Etter en tid med prøving og feiling fant vi et punkt der vi fant et synkroniseringspunkt. I Automatisk modell var både synkronoskop og DEIF koblet i serie mellom generatoren og nettet. Vi fikk en vellykket kobling med noen utfordringer i begynnelsen. Vi klarte å oppnå synkronisering til slutt ved hjelp av pekerens retning og LED lys på både synkronoskop og DEIF.

Vi sjekket statuskontakt kun på synkronoskop ved å måle motstandsverdi mellom terminaler. Når det gjelder død buss funksjon hadde vi testet for begge utstyrene. For DEIF, økte vi innkommende generatorspenning gradvis til vi oppnådde 60% referanse spenning som var 110V (L-L). Samleskinnenspenning holdte vi under 20% av den nominelle spenning som var også 110 (L-L). Da hadde vi observert at 'SYNC' LED på DEIF FAS-113DG blinket som betydde at vi var klar til å lukke bryteren. Dette støtter teorien for død buss funksjonen. Vi hadde alle kravene oppfylt for synkronisering når generatorspenningen var innenfor 60 % og samlekinnenspenning var under 20 % av den nominelle spenningen. For synkroskopet testet vi død buss funksjonen ved å øke innkommende generatorspenning til den blir mer enn 80% av nominelle spenning som i dette tilfelle var 110V(L-L). Vi måtte bestemme bussbarspenning på forhånd og deretter testet vi for død buss funksjonen mens bussbar spenning var under 10% av referanse spenningsnivå. Vi observert at 'SYNC' LED blinket når innkommende generator spenning var mer enn 80% og bussbar spenning var under 10% av nominelle spenning.

Dette prosjektet er et viktig og relevant prosjekt for mange områder i samfunnet vårt. Som beskrevet på problemstilling, er synkronisering en viktig prosess for framdrift av skip, kraftverk og andre sektorer innen energiproduksjon. Resultatene som vi har fått i dette prosjektet stemmer godt overens med forventet resultat.

Som videre arbeid anbefales det å finne en løsning som er del/hel Automatisk modell ved å utarbeide videre på vår modell slik at det er mulig å styre innkommende generator sin spenning og frekvens via DEIF mens fasevinkel styres gjennom synkroskopet. Vi tror det kan være mulig å bygge en 'Close loop' system mellom generator og DEIF slik at innkommende generator kan styres via tilbakemelding fra DEIF. Død buss funksjon fins både i DEIF og synkronoskop. Den er aktiv kun i 5 sekunder. Det ble oppdaget at ny generatoren som ble koblet inn til nettet etter 2 sekunder blir usynkronisert. Det er en utfordring og hvordan det kan unngås er noe som kan forskes videre på. Det anbefales å bruke en kontakter med tidsforsinkelse funksjon mellom nettet og generatoren. Slik synkroniseringskravet kan sjekkes 5 sekunder etter bryteren lukkes for å unngå unødvendige usynkronisert situasjoner.

## Referanseliste

- Andersen, P. B. (2017, Dec 19). voltmeter. *Store norske leksikon*, s. 1. Hentet 04 15, 2022 fra <https://snl.no/voltmeter>
- AS, S. E. (u.d.). About Siemens Historie i Norge. Hentet fra <https://new.siemens.com/no/no/siemens-i-norge/om/historie.html>
- DEIF AS. (2022). Synchronisers, FAS-113DG. Hentet 03 25, 2022 fra <https://shop.hainzl.at/media/pdf/68/f1/95/FAS-113DG-data-sheet-4921240114-UK.pdf>
- DEIF AS. (u.d.). Check synchroscope type CSQ-3. Hentet 03 20, 2022 fra <https://deif-cdn-umbraco.azureedge.net/media/phapvnns/csq-3-users-manual-4189340263-uk.pdf?rnd=132670211531870000&v=4>
- DEIF. (u.d.). CSQ-3. s. 1. Hentet 03 25, 2022 fra <https://www.deif.de/produkte/csq-3/>
- E. Bekiroglu, A. B. (2009, Mai 18). Automatic synchronization unit for the parallel operation of synchronous generators. Hentet 03 15, 2022 fra <https://www.semanticscholar.org/paper/Automatic-synchronization-unit-for-the-parallel-of-Bekiroglu-Bayrak/acd5918a6e2c805ec23bea23c0d2cc12be98b9f9>
- FN-SAMBANDET. (2022, Mai 11). FNS bærekraftsmål. s. 1. Hentet fra <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal>
- GOZUK. (u.d.). What is Frequency Converter? How it works? Hentet 04 08, 2022 fra What is Frequency Converter? How it works?
- MyFlukeStore.com. (u.d.). Fluke 125B/S Industrial ScopeMeter Hand-Held Oscilloscope with AC clamp and Fluke View software, 40 MHz. Hentet 04 12, 2022 fra <https://www.myflukestore.com/product/fluke-125b-s-industrial-scopemeter-hand-held-oscilloscope-kit>
- ResearchGate. (2011, Aug). Voltage droop characteristic of a generator. Hentet 05 25, 2022 fra [https://www.researchgate.net/figure/Voltage-droop-characteristic-of-a-generator\\_fig2\\_224261538](https://www.researchgate.net/figure/Voltage-droop-characteristic-of-a-generator_fig2_224261538)
- Sebastian, J. S. (2018, March 21). Diesel Electric Propulsion. *Marine Link*, s. 1. Hentet fra <https://www.marinelink.com/news/propulsion-workboats435372>
- Selveit, S. (2010). *Utvikling av PLS basert kontrollanlegg for småkraftverk hos Skagerak Energi AS*. Hentet 08 03, 2022 fra <https://docplayer.me/2537183-Utvikling-av-pls-basert-kontrollanlegg-for-smakraftverk-hos-skagerak-energi-as.html>
- Shosanya, M. (2020, Oct 15). Panelists To Discuss Energy Access At Siemens Confab.
- Shosanya, M. J. (2020, Oct 15). Panelists To Discuss Energy Access At Siemens Confab. s. 1. Hentet fra [https://cms-cdn.selinc.com/assets/Literature/Publications/Technical%20Papers/6459\\_FundamentalsAdvancements\\_MT\\_20120402\\_Web2.pdf?v=20191007-203006](https://cms-cdn.selinc.com/assets/Literature/Publications/Technical%20Papers/6459_FundamentalsAdvancements_MT_20120402_Web2.pdf?v=20191007-203006)
- Siemens Energi AS. (2021, Nov 3).
- Sivertsen, L. H. (2019). *Elektriske Maskiner*. Bergen. Hentet 04 2022

- Sivertsen, L. H. (2019). *Generator, Elektriske Maskiner*. Bergen. Hentet 04 15, 2022
- Skaar (Universitet, Ø. G. (u.d.). Elektromagnetisk Induksjon. *Store norske leksikon(snl.no)*. Hentet 04 23, 2022
- Thompson, M. J. (2019). *Fundamentals and Advancements in Generator Synchronizing Systems*. Hentet 03 05, 2022 fra [https://cms-cdn.selinc.com/assets/Literature/Publications/Technical%20Papers/6459\\_FundamentalsAdvancements\\_MT\\_20120402\\_Web2.pdf?v=20191007-203006](https://cms-cdn.selinc.com/assets/Literature/Publications/Technical%20Papers/6459_FundamentalsAdvancements_MT_20120402_Web2.pdf?v=20191007-203006)
- WAZIPOINT, Engineering Science and Technology. (2019, 01). What is a Prime Mover for an Electrical Generator? s. 12. Hentet 03 21, 2022 fra <https://www.wazipoint.com/2019/01/what-is-prime-mover-for-electrical-generator.html>

## Litteraturliste

1. Elektriske Maskiner (Lasse Hugo Sivertsen) side 54.

## Appendiks

- CPU: Computer Processing Unit
- CSQ3: Deif Synchroscope Meter
- DC: Direct Current
- EMF: Electromotive Force
- GEN: Generator
- Generator1: Eksisterende generator
- Generator2: Innkommende generator
- HVL: Høyskolen på Vestlandet
- I/O: Input/Output
- LED: Light Emitting Diode
- PLS: Programmerbar logisk styring
- RMS: Root Mean Square
- SYNC: Synkronisert
- UBB: Bussbar Spenning
- UG: Generator Spenning.
- $\Delta f$ : Frekvens differanse
- $\varphi_{OK}$ : Fasevinkel er innenfor  $\pm 10^\circ$ .
- $\Delta U$ : Spenning differanse

# Vedlegg

## 1. Tidsplan

				2022																								
				År	w1	w2	w3	w4	w5	w6	w7	w8	w9	w10	w11	w12	w13	w14	w15	w16	w17	w18	w19	w20	w21	w22	w23	w24
				Uke	#	10/1	17/1	24/1	31/1	7/2	14/2	21/2	28/2	7/3	14/3	21/3	28/3	4/4	11/4	18/4	25/4	2/5	9/5	16/5	23/5	30/5	6/6	13/6
				Man	#	14/1	21/1	28/1	4/2	11/2	18/2	25/2	4/3	11/3	18/3	25/3	1/4	8/4	15/4	22/4	29/4	6/5	13/5	20/5	27/5	3/6	10/6	17/6
				Fre	#	14/1	21/1	28/1	4/2	11/2	18/2	25/2	4/3	11/3	18/3	25/3	1/4	8/4	15/4	22/4	29/4	6/5	13/5	20/5	27/5	3/6	10/6	17/6
#	Aktivitet	Start Dato	Slutt Dato	Fram drift	Ansvarlig																							
1	InformasjonsInhenting	7/1	31/1	100 %	Gruppe																							
2	Forstudie arbeid	5/1	7/2	100 %	Gruppe			25t	25t	25t																		
3	Metode undervisning	8/1		100 %	Gruppe		2t	2t	2t	2t			2t															
4	Forstudie innlevering	7/2		100 %	Indu																							
5	Henting av utstyr	8/2	11/2	100 %	Abdullah					10t																		
6	Velg av generator	8/2	20/2	100 %	Gruppe					15t	10t																	
7	Testing på matlab	16/2	2/3	100 %	Gruppe					15t	25t																	
8	Testing på lab	5/3	15/3	100 %	Gruppe								25t	8t														
9	Forbereden til midtveis Presentasjon	14/3	18/3	100 %	Gruppe									17t	25t													
10	Midtveis presentasjon	21/3		100 %	Gruppe																							
11	Finn mer resuurs for oppgave	22/3	5/4	100 %	Gruppe																							
12	Finn noe nyt, utvide om nødvendig	18/4	28/4	100 %	Gruppe											25t		25t										
13	Ordinær eksamen	19/5	3/6	50 %	Gruppe																							
14	Se over og rette feil og mangler	15/5	30/5	100 %	Gruppe																		25t					
15	Bachelor oppgave innlevering	30/5		100 %	Gruppe																							
16	Lage plakater	10/5	12/5	100 %	Indu																							
17	Forberede til Presentasjon	4/6	9/6	0 %	Gruppe																			25t				
18	Bachelor oppgave presentasjon	13/6	13/6	0 %	Gruppe																				25t			
19	EXPO	15/6		0 %	Gruppe																					25t		
20	Avslutningsfest	16/6		0 %	Gruppe																							

TABELL 15. TIDSPLAN (FIKK FRA FAGLÆRER OG HAR ENDRET UNDERVIS)

## 2. Data sheet Deif FAS-113DG

## 3. Data sheet CSQ-3