



Høgskulen
på Vestlandet

BACHELOROPPGAVE

Overspenninger og lynavledning på offshoreinstallasjoner

BO24EB-65

Morten Vanglo Nodland

Magnus Djuve Vågen

Elkraftteknikk

Veileder: Geir Omar Berland

21.05.2024

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.*

Innhold

1	Innledning	9
1.1	Oppdragsgiver	10
1.2	Problemstilling	10
1.2.1	Oppdragsgivers ønsker	11
2	Kravspesifikasjon	12
2.1	Forstudie og generell fordypning	12
2.2	Hovedoppgave	12
2.3	Simuleringer og analyse	12
3	Oppgavestruktur	13
3.1	Verktøy	14
4	Generell innføring	15
4.1	Atmosfæriske overspenninger	15
4.2	Beskyttelse mot overspenninger	15
4.3	Offshore overspenninger	16
4.3.1	Offshoreinstallasjoner	16
5	Teknisk fordypning	17
5.1	Atmosfæriske overspenninger	17
5.1.1	Den atmosfæriske utladningen	17
5.1.2	Vandrebølgen	18
5.1.3	Induserte overspenninger	19
5.2	Beskyttelse mot overspenninger	20
5.2.1	Elektrisk holdfasthet	20
5.2.2	Den ”rullende kule modellen”	23
5.2.3	Isolasjonsnivåer og beskyttelse	25
5.2.4	Jordingsforhold og jordingsmotstander	25
5.2.5	Beskyttelsesteknikker	26
5.2.6	Overspenningsavledere	29
6	Offshoreinstallasjonen	33
6.1	Offshore overspenninger	33
6.1.1	Fordelingssystem	33
6.1.2	Kraftforsyning	34
6.1.3	Jordingsystemet	34
7	Simuleringsmiljøet	38
7.1	Offshoreinstallasjonen	38
7.2	Det elektriske systemet	39
7.2.1	Kraftforsyning	40

7.2.2	Transformatorer	41
7.2.3	Distribusjon	41
7.2.4	Jordingssystemet	41
7.2.5	Lynnedslaget	42
8	Case 1: Nedslag i offshoreinstallasjonen	43
8.1	Generell beskyttelse	43
8.2	Nedslaget	43
8.3	Lynstrømmen	46
8.4	Overspenninger	47
8.5	Påkjenninger på systemet	48
8.6	Beskyttelse av det elektriske systemet	49
8.7	Resultat	50
8.8	Diskusjon	52
9	Case 2: Power From Shore	53
9.1	Kraftforsyning	53
9.2	Kabeldata	53
9.3	Kompensering	54
9.4	Kombinering av simuleringsmodeller	55
9.5	Metode	56
9.6	Lynnedslaget	56
9.6.1	Lynnedslag i landanlegget	56
9.6.2	Lynnedslag i installasjonen	57
9.7	Resultat	58
9.7.1	Nedslag på land	58
9.7.2	Lynnedslag i installasjonen	59
9.8	Diskusjon	60
9.8.1	Lynnedslag på land	60
9.8.2	Lynnedslag på installasjonen	61
10	Konklusjon	62
10.1	Case 1	62
10.2	Case 2	62
10.3	Måloppnåelse	63
10.4	Videre arbeid	63
11	Vedlegg	67

Figurer

3.1	Fremgangsplan	13
5.1	Positiv lynutladning, 100kA	17
5.2	Vandrebølgen	18
5.3	Induserende felt rundt lynkanal	20
5.4	Nedbrytning av isolasjon	21
5.5	Nedslagsfelt	23
5.6	”Rullende kule” modellen	24
5.7	Lynavledning med og uten utjevningforbindelse	27
5.8	De ulike beskyttelsessonene	28
5.9	Metalloksidvaristorens struktur	30
5.10	Metalloksidvaristorens strømføringsevne	30
5.11	Diodeklipping av overspenning	31
6.1	TN og IT system	34
6.2	Illustrasjon av fundament	36
6.3	Jordingskarakteristikk ved gitt Vanndybde	37
7.1	Modell for installasjonen	38
7.2	Forenklet enlinjeskjema av installasjon	39
7.3	Forenklet enlinjeskjema for installasjon med landstrømstilførsel	40
7.4	Simuleringsmodell for lynnedslaget	42
8.1	Nedslagsfelt på Installasjonen	44
8.2	Nedslagsfelt med lynavledere	46
8.3	Overspenningen i 400 V fordelingssystemet (Fase - Jord)	47
8.4	Forenklet enlinjeskjema av installasjon, med overspenningsavledere installert	50
8.5	Overspenningen i det beskyttede 400 V fordelingssystemet (Fase - Jord)	51
8.6	Klipping av overspenning på 400 V fordelingssystemet (Fase - Jord)	51
9.1	Forenklet enlinjeskjema for kabel	53
9.2	Trefase PI-Modell	54
9.3	Kompenseringsanlegg	54
9.4	Sammenligning av 1x100km og 10x10km PI-linje modell ved Nedslagspunktet	55
9.5	Illustrasjon av lynnedslag i systemet	56
9.6	Illustrasjon av lynnedslag i systemet	57
9.7	Spenning ved lynnedslag på land (Fase - Jord)	58
9.8	Spenning ved lynnedslag på installasjon (Fase - Jord)	59
11.1	PI-Modell for overføringslinje	68
11.2	Verifikasjon av grunnleggende simuleringsmiljø	70
11.3	Plussystemet	74
11.4	Minussystemet	74

11.5 Nullsystemet	74
11.6 Vertikal Jordingselektrode	75

Dokumentkontroll

<i>Rapportens tittel:</i> BO24EB-65 Overspenninger og lynavledning på offshoreinstallasjoner	<i>Dato / Versjon:</i> 20.05.2024 / 1.0
	<i>Rapportnummer:</i> BO24EB-65
<i>Forfatter(e):</i> Morten Vanglo Nodland Magnus Djuve Vågen	<i>Studieretning:</i> Elkraftteknikk
	<i>Antall sider m/vedlegg:</i> 84
<i>Høgskolens veileder:</i> Geir Omar Berland	<i>Gradering:</i> Åpen
<i>Eventuelle merknader:</i>	

<i>Oppdragsgiver:</i> Siemens Energy	<i>Oppdragsgivers referanse:</i>
<i>Oppdragsgivers kontaktperson(er) (inkludert kontaktinformasjon):</i> Andreas Sagedal (andreas.sagedal@siemens-energy.com)	

Revisjon	Dato	Status	Utført av
0.5	10.05.2024	Under arbeid	Morten og Magnus
1.0	20.05	Innlevering	Morten og Magnus

Tabell 1: Revisjonstabell

Forord

Vi vil gjerne takke:

- **Geir Omar Berland** ved Høyskolen på Vestlandet for å ha hjulpet oss med planlegging, oppsett av oppgaven, fremdriftsvurderinger og administrativ oppfølging.
- **Andreas Sagedal** i Siemens Energy for å ha lagt frem problemstillingen. Andreas bidro med god oppfølging og veiledning når oppgavens videre fremgang var usikker og håndtering av mindre problemstillinger.
- **Lasse Sivertsen** ved Høyskolen på Vestlandet for god hjelp til håndtering av de tekniske problemstillingene innenfor høyspenningsteknikk og elektriske maskiner.
- **Eirik Haustveit** ved Høyskolen på Vestlandet for veiledning til oppretting, bruk og tolkning av simuleringsmodellene og resultatene disse returnerte.
- **Egil Nodland** ved Universitetet i Bergen for veiledning innenfor akademisk skrivning og drøfting i tillegg til å bidra med ekstern tilbakemelding rundt strukturen i rapporten sentrale kapitler.

Sammendrag

I denne rapporten på oppdrag fra Siemens Energy skal vi undersøke, utrede og simulere hvordan lynnedslag påvirker det elektriske systemet ombord på en offshoreinstallasjon. Forslag til beskyttelsestiltak som kan brukes for å forhindre overspenninger i det elektriske systemet som resultat av nedslagene skal også legges frem. Fokuset i rapporten ligger på en grundig utredning av de mest sentrale og effektive tiltakene og hvordan en skal bruke disse på en slik installasjon.

Gjennom oppgaven undersøkes sentrale metoder og teknologi som beskytter mot lynnedslag. Sentralt blant disse brukes den "rullende kule" modellen (eng. "rolling sphere") til å anslå nedslagspunkter. Videre utredes design av sikkerhetsjording med fokus på nedledere og utjevningsforbindelser for å spre strømmen mellom flest mulig ledere. Avslutningsvis i utredningsdelen undersøkes de ulike typene overspenningsavledere som beskytter mot de resterende kreftene fra lynnedslaget.

For å kunne teste de ulike teknikkene som utredes ble det sammen med Siemens Energy opprettet to scenarioer som oppgaven skulle undersøke. Scenarioene er lynnedslag på offshoreinstallasjon med generatordrift og lynnedslag i strømmettet på land som forsyner en offshoreinstallasjon gjennom en strømkabel. I denne delen vektlegges bruk av relevante standarder som NORSOK [1] og IEC[2] sine veiledninger for å kunne modellere realistiske systemer og beskyttende tiltak. Ett av kjernepunktene i modellen ble en tilnærming av jordingsimpedansen mellom jordingsystemet og den metalliske strukturens jordingspotensial. Bruken av resistansjordede nøytralpunkter i transformatorer og generatorer basert på beregnede kortslutningsstrømmer står også sentralt for beskyttelse av installasjonen. Jordingen av nøytralpunktene blir da også der det elektriske systemet tar opp overspenninger fra jordingsystemet.

NORSOK standarden E-001 stiller kun ett krav til lynbeskyttelse for offshoreinstallasjoner. Strukturen skal ha en kontinuerlig kanal til jord fra nedslagspunktet bestående av ledende materiale. Her ble det mye usikkerhet da dette virket for enkelt, i tillegg blir standarden også utfordret av en relevant fagartikkel[3]. Simuleringene viser at det oppstår betydelige overspenninger ved lynnedslag der lynstrømmen er i den 95. persentil av strømamplitude. Systemet ble deretter beskyttet ved å sette inn overspenningsvern basert på diodebaserte overspenningsavledere. Overspenningsvernet fungerer som forventet og holder overspenningene innenfor det tillatte intervallet. Basert på disse resultatene og det at de fleste beskyttende tiltakene en kan bruke mot lynnedslag naturlig befinner seg i den metalliske strukturen kan vi si oss enige med at NORSOK standarden ikke stiller strenge krav til beskyttelse mot lynnedslag på slike installasjoner.

Når installasjonen mottar strøm fra land gjennom kabel tyder mye på at reflekterte spenningsbølger fanges i kabelens kapasitans og fører til overspenninger. Det presentres derimot ingen konkret konklusjon på grunn av på mye usikkerhet knyttet til simuleringsmodellen, som oppstår da man utsetter AC-modeller for DC-transienter.

Kapittel 1

Innledning

Det er funnet spor av at menneskeheten har konstruert flytende fremkomstmidler flere tusen år før kristus. Disse primitive fartøyene var gjerne uthulede trestammer eller enkle flåtekontstruksjoner, men de fungerte. Siden den gangen har ferdsel på og bruk av havene rundt oss blitt en større og større del av menneskehetens utvikling, men denne utviklingen kom ikke uten farer. En av de største farene på sjøen er kraftige uvær som kan sende deg ut av kurs eller ødelegge fartøyet, som mang en sjømann har fått oppleve. Disse uværene er også kjent for å føre til store mengder lynnedslag som også skaper problemer for mann og mus ombord på disse fartøyene. Vi tok en titt i historiebøkene for å se om vi kunne finne spor på hvor lenge dette hadde plaget maritim sektor.

Uten å gå for dypt inn i historiebøkene kom vi over et par utdrag fra noen kroatisk havnebøker. Der står det blant annet skrevet om lynnedslaget som ødela tånet i Saint Dominus katedralen i Dubrovnik i 1395. Leser man videre kommer man til ett innlegg fra 1497 da ett skip som seilte fra Zadar til Hvar blir truffet av lynet i toppmasten, da var ”alt håp ute” ifølge mannskapet. Heldigvis ser det ut som at noen klarte å komme seg i land for å loggføre hendelsen. [4]

I moderne tid har vi blitt flinkere å konstruere fartøyer og installasjoner som tåler en trøkk. Selv om ikke liv og helse står på spill i like stor grad som før dukker det opp nye problemstillinger. Etter innføringen av elektronikk og automatisering ble systemene våre igjen sårbare. Ettersom dette er grunnsteiner i dagens samfunn kan skader på disse kan føre til at vi mister sentrale systemer som vi omtrent har blitt avhengige av for å kunne drifte systemene ombord. Dette er enormt kostbart for både operatør og samfunnet da næringene i havet omsetter for hundrevis av milliarder kroner i året. Vår oppgave blir da å gjøre at det blir å undersøke denne problemstillingen og se hva vi kan lære av dette. Kanskje kommer vi på noe lurt slik at tilfeller av lynnedslag som setter systemene ombord på disse installasjonene ut av spill blir litt enklere å motvirke.

1.1 Oppdragsgiver

Siemens Energy er et engineeringsselskap som med sine 96.000 ansatte har en enorm tilstedeværelse på internasjonalt nivå, spesielt innen energisektoren. De leverer løsninger innenfor de fleste områder der elektrisk energi produseres eller forbrukes. Deres teknologi og kunnskap bidrar til å produsere over 15% av verdens elektriske energi. Med unik erfaring, opparbeidet gjennom å løse verdens elektrifiseringsproblemer over 150 år sitter de i en unik posisjon til å takle morgendagens utfordringer.

Oppdragsgiver for denne oppgaven er Siemens Energy avd Bergen, som holder til i Kanalveien 7. De leverer løsninger primært innenfor maritim- og offshore industri med fokus på bruk av elektrisk energi for å redusere utslipp og optimalisere forbruket innenfor sektoren. I det siste har det blitt større fokus på økende bruk av elektrisk energi og de jobber hardt for å kunne forsikre sameksistens mellom den maritime industrien og den eksisterende elektriske infrastrukturen på land. Dette står sentralt innenfor utviklingsarbeidet til Siemens Energy da de ser tydelige trender på at mer og mer av industrien skal kobles opp mot det som har fått kallenavnet "landstrøm".

1.2 Problemstilling

Som nevnt i 1.1 arbeider Siemens Energy mot nye løsninger som skal forsikre at elektrifiseringen av offshoresektoren kan sameksistere med den eksisterende infrastrukturen på land. Siemens Energy har identifisert at ett av de svakere områdene innen denne utviklingen er kunnskapen de har om overspenninger som følge av lynnedslag også kalt atmosfæriske utladninger. De ønsker derfor å øke kompetansen sin innenfor dette området slik at de får ett grunnlag de kan bygge videre på.

Siemens Energy har behov for å vite mer om disse overspenningene og hvordan de kan ramme maritime fartøy og offshoreinstallasjoner. De ønsker derfor å at vi skal undersøke hvordan en kan beskytte mot slike overspenninger og gjerne også hvordan dette gjøres når disse skal kobles til landstrøm.

1.2.1 Oppdragsgivers ønsker

Da Siemens Energy stadig får henvendelser om de kan prosjektere beskyttelse mot slike utladninger ser de da ett behov for å øke kunnskapen sin om dette temaet. Dette er en oppgave som krever mye tid, men som ikke passer inn i Siemens Energy sin plan om bruk av ressurser. For å redusere investeringsbehovet ønsker Siemens Energy at gruppen skal gjøre en grunnleggende utredning på temaet atmosfæriske overspenninger slik at de kan bygge videre på dette med eventuelle løsninger som passer sammen med deres leveranser i fremtiden.

Fra Siemens Energy sin side blir det lagt vekt på at studien ikke skal løse ett konkret problem, da dette fort kan bli veldig krevende og gjerne en litt for dyptgående problemstilling til å skrive en bacheloroppgave om. De ønsker derimot at vi skal samarbeide for å øke kunnskapen på dette teamet, samtidig som vi får litt frie tøyler til å styre oppgavens retning selv. Fremover vil de invitere til jevnlig oppfølging og diskusjon rundt funnene våre og hvordan dette kan fungere i praksis. Vi skal se nærmere på kravene til studien i Kapittel 2 der vi skal forteller mer om hva de ønsker at vi skal levere i den endelige studien.

Kapittel 2

Kravspesifikasjon

2.1 Forstudie og generell fordypning

Det første kravet Siemens Energy fremlegger er at oppgaven skal sette leseren inn i grunnleggende lynavlednings- og overspenningsteori på en enkel måte. Dette vil gjøres ved at den innledende delen av hovedoppgaven går gjennom de mest sentrale begrepene og teknikkene som brukes for å motvirke konsekvensene ved atmosfæriske overspenninger. Deretter vil det bli økende grad av teknisk innføring utover i rapporten. Dette vil i teorien gjøre det enklere å sette seg inn i ett spesifikt tema da man kan undersøke dette uten å sette seg for mye inn i resten av studien.

2.2 Hovedoppgave

Hovedoppgaven skal følge litt av den røde tråden fra 2.1, men her er planen er å gå dypere inn i sentrale tema. For å gjøre dette oversiktlig velges det et par tema innenfor området som gruppen synes virker mest relevant. Deretter gjøres det en mer utfyllende utredning av disse punktene som en kan lese om i Kapittel 5. For å etablere en struktur i oppgaven opprettes det noen problemstillinger i samarbeid med Siemens Energy. Der vil det settes opp reelle driftsituasjoner som er relevante i industrien for deretter å utsette dem for atmosfæriske utladninger. Dette vil kunne fortelle mer om hvordan disse utladningene påvirker systemene ombord, men også hvordan man motvirker dem ved å bruke ulike beskyttelsesteknikker.

2.3 Simuleringer og analyse

For å få en god forståelse for den elektrotekniske delen av de ulike casene som settes opp, ønsker Siemens Energy at disse tilfellene skal simuleres. Simuleringene vil stå sentralt i analyseringen av problemstillingen, og vil gi oss ett innblikk i hva som skjer på ett dypere nivå. For å utføre simuleringen på en fornuftig måte er planen å utvikle forenklete elektriske modeller av systemene på land og ombord på installasjonen under vanlige driftstilfeller. Det vil også fremstilles atmosfæriske utladninger ved bruk av grunnleggende elektriske komponenter. Dette kan oppnås ved å få dem til å generere strømmer og spenninger som tilsvarer en utladning som kan observeres i virkeligheten. En kombinasjon av disse elektriske modellene vil gi oss muligheten til å observere hvordan systemene påvirkes ved atmosfæriske utladninger i forskjellige størrelser. Simuleringene skal deretter brukes til å vurdere påkjenningene som disse installasjonene utsettes for. Dette vil da brukes til å vurdere behov for beskyttelse og vil stå sentralt i valgene som tas når vi velger hvordan vi ønsker å beskytte systemet.

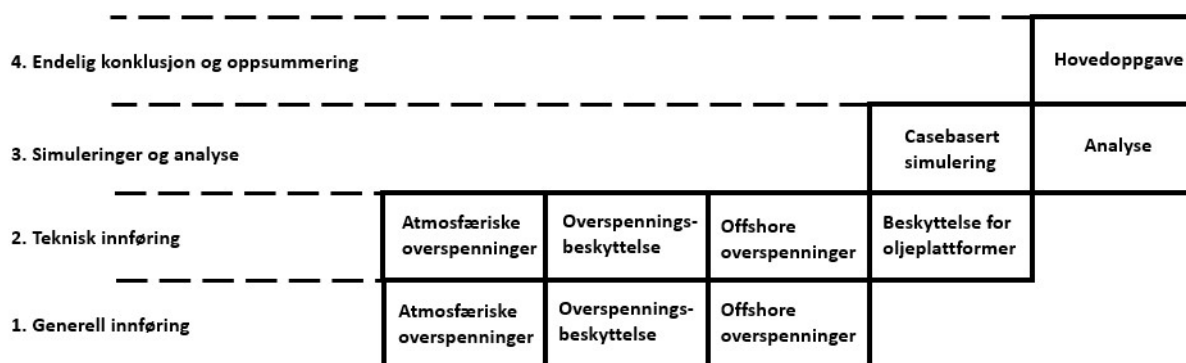
Kapittel 3

Oppgavestruktur

I første del av oppgaven beskrives atmosfæriske overspenninger eller lynnedslag på ett grunnleggende nivå. I "Generell innføring" fra Figur 3.1 presenteres en generell innføring av fenomenet og hva som forårsaker slike atmosfæriske utladninger. Vi ser på hvordan, hvor og hvorfor slike utladninger oppstår og hvordan disse påvirker de elektriske systemer som utsettes for utladningens krefter. Innføringen avsluttes med å se på hvilke konsekvenser dette har for de elektriske systemene som påvirkes og hvordan det å forhindre dem kan redusere påkjenningene systemene utsettes for.

I neste del av oppgaven Kapittel "Teknisk innføring" fra samme figur blir det lagt frem en fordypning i beskyttelse mot overspenninger og hvordan dette fungerer i praksis. Flere typer overspenningsvern og virkemåten deres vil bli beskrevet sammen praktisk bruk. Dette vil bygge ett godt grunnlag for bruk av slik beskyttelse innenfor problemstillingene. Dette vil i tillegg gi en begrunnelse på hvorfor vi fokuserer på de spesifikke komponentene som brukes senere i studien.

I "Simuleringer og analyse" går oppgaven inn på hvordan atmosfæriske utladninger påvirker det elektriske systemet ombord på en bestemt offshoreinstallasjon. Denne blir realisert ved å henta data fra industrien som brukes til å modellere en reell installasjon. Fokuset blir på deign av et robust elektrisk system og å utsette dette for atmosfæriske utladninger. Basert på dette skal vi kunne legge frem ett grunnlag for å analysere problemene som oppstår som følge av utladningen. Detterer vil oppgaven presentere løsninger for hvordan dette kan beskyttes i praksis. Funnene fra denne delen av oppgaven vil danne grunnlaget for konklusjonen.



Figur 3.1: Fremgangsplan
Kilde: Egenprodusert

3.1 Verktøy

I oppgaven vil det bli lagt vekt på bruken av relevante kilder til å skape en oversikt over problemstillingen. Da oppgavens natur er av en slik type at utredningen vektlegges, vil slik kildebruk være omfattende og en sentral del av oppgaven. Gruppen tok også kontakt med industrien og fikk gode innspill til hva en burde fokusere på. Her fikk vi to gode muligheter som var til stor hjelp når det kom til å designe det elektriske systemet ombord på en slik installasjon.

Til å fremstille grafer og figurer brukes ulike programmer etter behov. Dette kan være MATLAB, powerpoint, LaTeX eller andre behovsprøvde programmer. Microsoft EXCEL er også ett strekt vertøy som står til rådighet for å fremstille grafer og tabeller. EXCEL brukes også som grunnlag til prosjektstyring, timeføring og prosjektlogger.

Når oppgaven kommer til det punktet der simuleringer skal utføres vil MATLAB sitt tilleggsprogram SIMULINK benyttes. Dette er ett sterkt vertøy som brukes mye i industrien til å fremstille, teste og måle på simulerte elektriske kretser.

Med disse verktøyene til rådighet er målet å legge opp oppgaven slik at det ligger en naturlig progresjon i bruken av verktøy, kilder og figurer. Det skal etter planen bli mer omfattende jo lengre inn i studien en kommer. Dette setter da forventninger til at man må følge oppgavens naturlige progresjon for å få god forståelse over hvorfor de ulike løsningene ble valgt. Når en kommer så langt som del 3 i fremgangsplanen forventes det at leser har satt seg inn i større deler av studien for å kunne følge studien. Unntaket fra dette blir sammendraget som skal være lettlest slik måte at det er enkelt å få en god oversikt over oppgaven.

Kapittel 4

Generell innføring

4.1 Atmosfæriske overspenninger

Atmosfæriske overspenninger og atmosfæriske utladninger oppstår som et resultat av en ladningsdeling i atmosfæren. Her skaper kraftige luftstrømmer en ubalanse mellom ladningsbærende partikler i en sky, spesielt H_2O molekyler som vil rette seg etter jordens magnetiske felt. Denne ubalansen fører til en oppbygning av positive og negative ladninger i hver sin ende av skyen, også kalt polarisering. Når oppbygningen av ladningene blir stor nok vil disse kreftene bryte ned atmosfæren og danne en kanal med plasma til nærmeste punkt som kan utjevne denne ladningen [5].

Plasma er i motsetning til luft en veldig god elektrisk leder som fører til at det går en kraftig strøm gjennom kanalen. [6] Denne kanalen kan oppstå i en sky, mellom ulike skyer eller mellom en sky og jorden. En atmosfærisk utlading mellom en sky og jorden er kjent som ett lynnedslag. Disse lynnedslagene kan klassifiseres som positive eller negative avhengig av omgivelsene. Oppgaven baserer seg på at det forekommer flere positive lyn jo større avstanden er fra ekvator, her vil lynstrømmen være positivt ladet i forhold til våre elektriske systemer. Disse positive lynnedslagene vil være fokuset videre i oppgaven. [7] [8]

4.2 Beskyttelse mot overspenninger

Et lynnedslag vil kunne føre til en overspenning som er en økning i spenningen på ett elektrisk system. Denne overspenningen kan komme av at systemet blir direkte truffet av utladningen eller at overspenningen blir elektromagnetisk induisert fra omgivelsene. Elektromagnetisk induksjon skjer når en utlading treffer i nærheten av ett elektrisk system. Strømmen som går gjennom denne lynkanalen vil dra indukere ett kraftig elektromagnetisk felt som påvirker systemet og induserer en spenning. [9]

Som et resultat av elektromagnetisk induksjon og Faraday's Lov [10] vil det induseres en spenning i rundtliggende elektriske ledere. Denne spenningen er proporsjonal med størrelsen på det elektromagnetiske feltet induisert av den atmosfæriske utladningen. Basert på statistikk fra SINTEF og Statnett vil størrelsen på lynutladningen variere innenfor ett betydelig intervall. [7] Selv om variasjonen er veldig stor er til og med de minste verdiene for utladningene av betydelige størrelser relativt til våre systemer.

For å beskytte systemer mot slike overspenninger finnes det flere metoder som bygger på ulik teknologi og teknikker som skal forhindre slike overspenninger. Dette kommer oppgaven til å gå dypere inn på i den tekniske fordypningsdelen.

4.3 Offshore overspenninger

Atmosfæriske utladninger vil som nevnt i 4.1 treffe nærmeste punkt det kan utjevne denne ladningsfordelingen. Dette er ofte det øyeste punktet innenfor ett mindre område. Dette gjør det til et like stort problem, om ikke større enn når slike utladninger skjer på land, da det ikke er fjell eller trær som fungerer beskyttelse.

Alle fartøy og installasjoner av en betydelig størrelse har strenge krav som skal oppfylles for å forsikre samkjøring mellom havets brukere. Blant disse finner man kommunikasjons- og navigasjonsutstyr som er grunnleggende for sikker ferdsel og bruk av havet. Selv om havet er stort ser man at man har interesseområder der det samler seg en betydelig andel av trafikken på sjøen. Dette kan være i populære shippingruter, innseilinger mot større havner, i fiskeområder eller i nærheten av oljeplattformer.

I slike områder med høy konsentrasjon av maritime fartøy vil tap av kommunikasjon- og navigasjonssystemer være katastrofal. Som forklart i [11] har ikke dette vært et problem før i nyere tid. Dette problemet har da oppstått som et resultat av at en større andel av kommunikasjons- og navigasjonsutstyret som brukes inneholder mikroelektronikk basert på halvlederteknologi. [12] Denne teknologien er da ekstra utsatt for negativ påvirkning fra overspenninger og har derfor høyere behov for beskyttelse sammenlignet med de elektromekaniske løsningene som ble brukt tidligere.

4.3.1 Offshoreinstallasjoner

Siden 1800-tallet har skip blitt konstruert av stål i større og større grad. Denne overgangen fra konstruksjon av tre til stål har også fjernet mye av problemene skipsfarten opplevde som var relatert til lynnedslag. Grunnet bak dette er at stål har betydelig bedre elektriske ledende egenskaper enn treverk. Fartøyets konstruksjon har derfor en kontinuerlig kanal av ledende materiale fra punktet lynneslaget treffer til havet. Derfor ledes strømmen fra lynnedslaget denne vei. Dette bidrar til en grunnleggende beskyttelse på fartøyet da havet fungerer som utjevningsspunkt. Denne teorien kan også implementeres når det kommer til offshoreinstallasjoner, da disse også er stålkonstruksjoner med stor kontaktoverflate til havet.

På grunn av miljøet de fleste maritime fartøyer og installasjoner befinner seg i er det mye som kan gå galt. Bearbeiding av brennbare væsker og gasser, få evakueringsmuligheter, høy kostnad ved driftstans og integrasjon med kritisk infrastruktur er alle gjengangere i industrien. Risiko knyttet til disse oppgavene gjør det kritisk at systemene fungerer som de skal. Det er derfor viktig at systemene ombord på slike installasjoner er godt beskyttet mot operasjonssvikt. Det er mange måter dette blir gjort på. Flere av disse undersøkes senere i oppgaven.

Kapittel 5

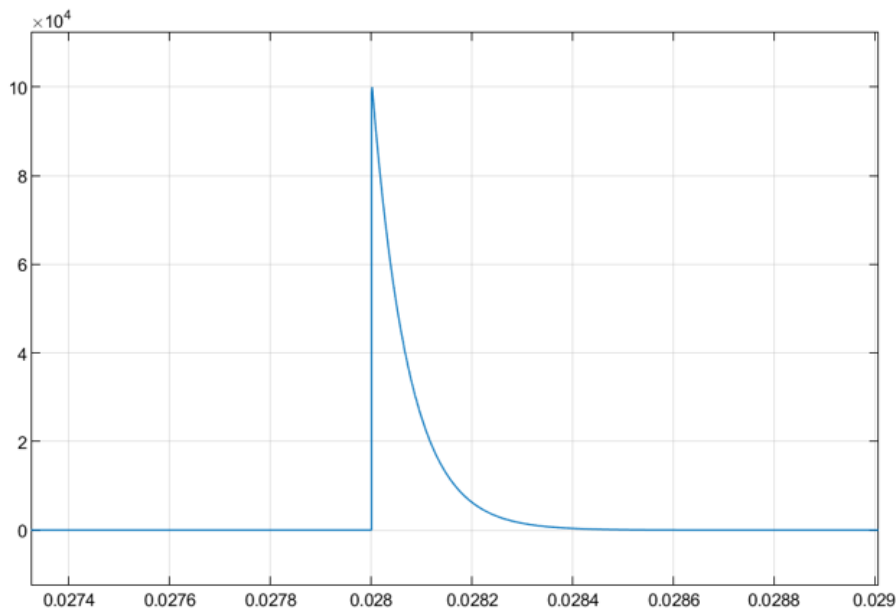
Teknisk fordypning

5.1 Atmosfæriske overspenninger

5.1.1 Den atmosfæriske utladningen

Den atmosfæriske utladningen kan betraktes som en ideell strømkilde. Dette betyr at strømmen som går gjennom lynkanalen utvikler seg på en måte som er lett å forutse, uavhengig av ytre påvirkninger. I denne oppgaven brukes vi et utviklingsmønster som omtales som 1.2/50-modellen, da dette mønsteret er veldig egnet for denne typen analyse. Modellen baserer seg på at stigetiden til lynets strømapplittude er 1.2 mikrosekunder. Etter stigetiden vil gradvis avta der amplitudeverdien reduseres med 50 % etter 50 mikrosekunder. [13]

I 4.1 gikk vi såvidt inn på positive lynnedslag. I Figur 5.1 kan en se en tilnærming på utformingen av en lynutladning for et positivt lynnedslag. Denne lynstrømmen tilnærmes best som en ideell strømkilde som leverer en styrt strøm. Her vil kilden levere en økning over 1.2 mikrosekunder til den når lynstrømmens amplitudeverdi, deretter halveres denne verdien etter 50 mikrosekunder.



Figur 5.1: Positiv lynutladning, 100kA

Kilde: Simulink

Det finnes mye statistikk om lynnedslag og deres styrke. Et samarbeid mellom SINTEF og Statnett har kartlagt atmosfæriske lynutladninger og kommet frem til en tabell som viser fordelingen mellom lynets strømamplitude og hvor ofte slike lyn inntreffer. Dette gir en god oversikt over forventet størrelse på lynstrømmer en kan bli utsatt for. Disse verdiene kan man se i Tabell 5.1.

Tabell 5.1: Prosentuell nedslagsfordeling for lyn [9]

Strøm (I), [kA]	5	20	50	100	300
% av nedslag	96	65	25	4	0.2

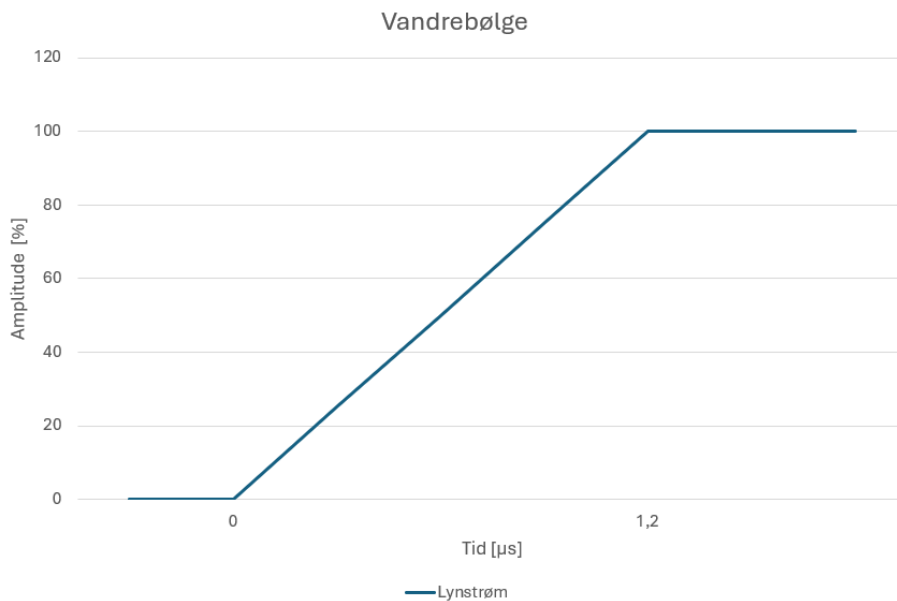
5.1.2 Vandrebølgen

Elektriske krefter beveger seg i elektriske systemer med en hastighet tilnærmet lysets hastighet. I denne oppgaven vil dette bety at de elektriske kreftene sprer seg med lysets hastighet gjennom hele installasjonene, både i jordingsanlegget og den metalliske strukturen. For å forenkle verdien litt antas lysets hastighet som $c = 300 \text{ m}/\mu\text{s}$. Dette gjør at vi antar en ideell elektrisk krets uten tidsforsinkelser når vi skal utføre simuleringer.

[7]

I strømmettet på land har en gode modeller og beregninger på hvordan denne vandrebølgen sprer seg. Dette er fordi strømmettet ofte danner det høyeste punktet i området rundt seg samtidig som det har gode strømførende egenskaper. Kombinert danner dette en situasjon med høy sannsynlighet for at lynnedslag inntreffer basert på "rullende kule modellen". Denne modellen kan en lese mer om i 5.2 der den vil bli grundig gjennomgått.

[7]



Figur 5.2: Vandrebølgen
Kilde: Egenprodusert

I Figur 5.2 kan man se hvordan strømmen vil øke i ett bestemt punkt når vandreboen ankommer punktet. Dette er en antatt lineær representasjon av stigetiden for strømpamp- lituden som ikke kommer godt frem i Figur 5.1.

Når det kommer til installasjoner offshore blir det litt vanskeligere. I motsetning til strømnettet på land der en har metalliske kabler hevet over bakken består offshoreinstal- lasjoner av en kompakt metallisk struktur. Det er derfor vanskeligere å danne ett realistisk bilde på hvordan vandreboen sprer seg gjennom strukturen. Dette er noe av det oppga- ven skal undersøke når det skal simuleres lynnedslag i slike metalliske strukturer.

5.1.3 Induserte overspenninger

I 4.2 blir det nevnt at når en stor strøm går gjennom en leder vil strømmen generere ett elektromagnetisk felt. Dette feltet vil spre energien fra strømmen utover og kunne fanges opp av rundtliggende elektriske ledere. En vil da kunne måle en stigning i spenningen i disse lederene avhengig av avstanden til lynkanalen. For en enkel luftlinje i nærheten av et lynnedslag kan vi bruke formel 5.1. [9]

Maksimal indusert overspenning i enkel luftlinje:

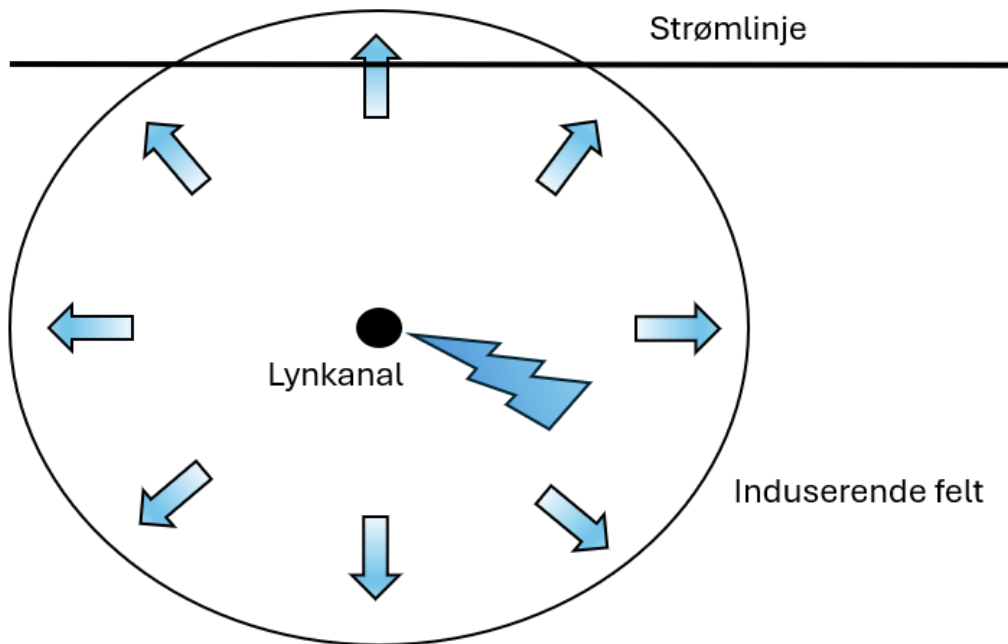
$$U_{\text{Max}} = \frac{30 * h}{x} \cdot 1.2 \cdot I_{\text{Max}} \quad (5.1)$$

- h er høyden mellom lederen og bakken
- x er avstanden mellom lederen og nedslagsfeltet
- U er den induserte spenningen i linjen
- I er strømmen i lynkanalen

I Figur 5.3 ser man en illustrasjon på hvordan det induserende elektromagnetiske feltet vil spre seg rundt en lynkanal. Dette er mest relevant i isolerte omgivelser med få elekt- riske ledere i området, men det gir et godt inntrykk på hvordan feltet sprer seg rundt lynkanalen. Det er dette feltet som vil indusere en spenning som er proporsjonal med lynstrømmen i luftlinjen.

[9]

Når det kommer til offshoreinstallasjoner blir det litt enklere. Da strukturen er metal- lisk vil hele strukturen fungere som elektriske ledere. Her vil majoriteten av strømmene går til jord gjennom strukturen og jordingsystemet. Basert på teorien bak Faraday's bur som baserer seg på at krefter fra eksterne elektromagnetiske felt vil samle seg i burets konduktive ramme. Dette vil da tilnærmet eliminere induserte spenninger på innsiden av metallstrukturen, da en vil få tilnærmet samme strøm i alle veggene. Dette vil føre til at de elektromagnetiske feltene kansellere hverandre på innsiden. Her vil de eneste svakhete- ne være åpninger som luftsjakter, dører og vinduer. Disse vil ikke være ledende og derfor slippe gjennom deler av det elektromagnetiske feltet. Dette vil kunne være nok til å skape små induserte overspenninger. Selv om de er små i størrelsen kan dette være nok til å ødelegge moderne elektrisk utstyr som nevnt i 4.3. [14] [3].



Figur 5.3: Induserende felt rundt lynkanal
Kilde: Egenprodusert

5.2 Beskyttelse mot overspenninger

Når det kommer til beskyttelse mot overspenninger har det blitt utviklet mange metoder som kan brukes til å både mitigere risiko og redusere konsekvenser når tilfellene inntreffer. Dette kan være alt skreddersydde løsninger som skal håndtere ett spesifikt scenario eller til mer generelle beskyttelsestiltak. I dette kapitlet vil oppgaven gå gjennom de mest sentrale teknikkene som brukes når det kommer til beskyttelse mot atmosfæriske overspenninger.

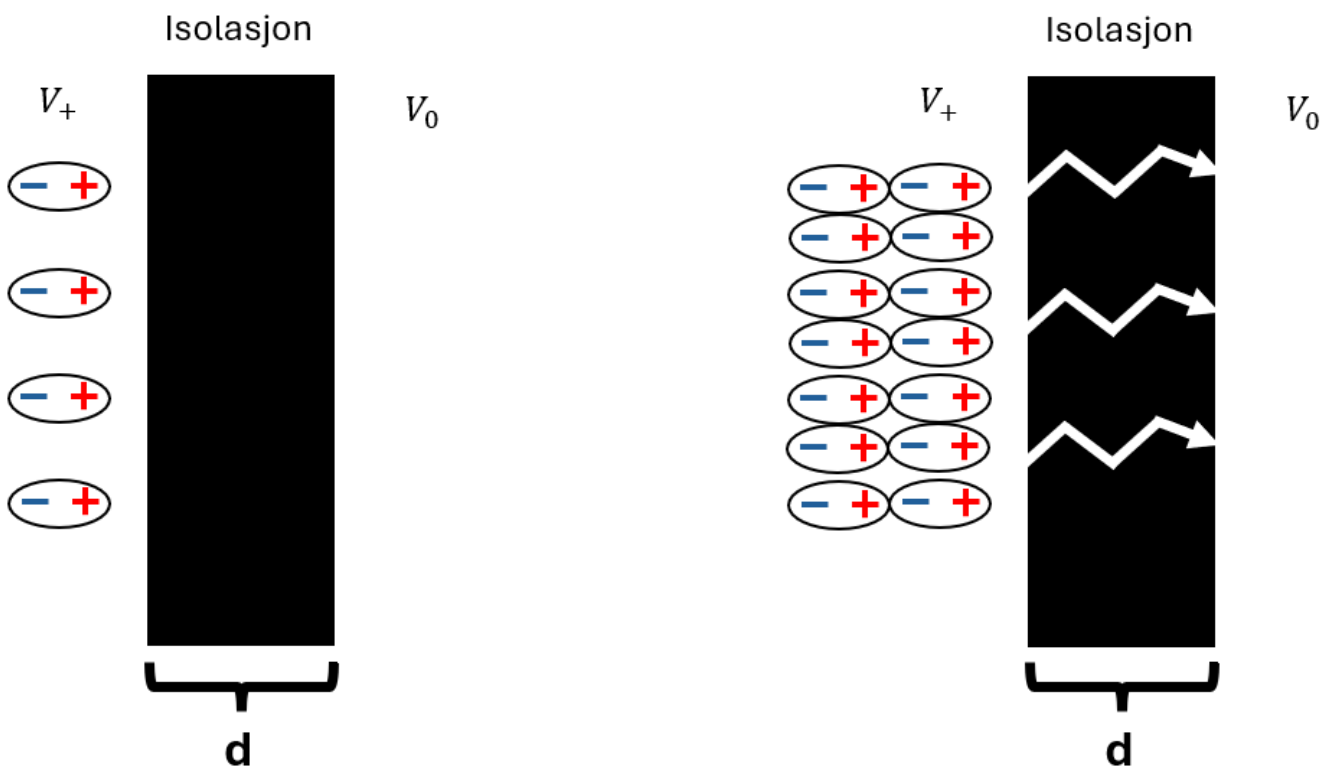
5.2.1 Elektrisk holdfasthet

En av de viktigste praktiske teknikkene vi har for å kontrollere elektrisitet på grunnleggende nivå er isolasjon. Denne isolasjonen gjør at vi kan skille de elektriske systemene vi bruker fra ytre påvirkninger som kan forstyrre systemet, samtidig som at vi kan være sikre på at vi leder strømmen dit vi ønsker. Isolasjonen er i seg selv kun et materiale som hindrer at strøm føres gjennom det, dette baserer seg da på å bruke materialer med høy elektrisk motstand, også kalt holdfasthet.

Elektrisk holdfasthet er et begrep som brukes for å beskrive motstandsdyktigheten til et stoff når det forholder seg til elektriske krefter. For mindre krefter vil materialet kunne holde på strukturen sin og ikke være ledende. Dersom kreftene blir for store vil disse kunne føre til nedbrytning, noe som vil endre stoffets egenskaper. Disse endringene fører til at de motstandsdyktige egenskapene kan forsvinne over tid. Dette fører til at det over tid vil kreve mindre elektrisk kraft før stoffet vil begynne å lede strøm så lenge kreftene opprettholdes. [15]

Disse verdiene brukes mye når en får oppgitt isolasjonsstyrke i elektrisk utstyr. Denne verdien forteller da hvor store krefter utstyret er designet for å kunne arbeide med uten å ta permanent skade og står sentralt når en blant annet dimensjonerer elektriske systemer eller undersøker overspenninger. Det er viktig å vite at slike verdier er omtrentlige da de ikke tar høyde for produksjonsfeil i materialer. For å sette perspektiv på kreftene som oppstår under atmosfæriske utladninger har luft en elektrisk holdfasthet på 3 kV per mm. Dette vil øke for ikke ledende materialer som plastikk, gummi og keramiske komposisjoner for å nevne noen.[10]

I *Figur 5.4* ser man en veldig enkel fremstilling av hvordan isolasjon brytes ned ved store spenningsdifferanser. Dersom spenningendifferansen er lavere enn holdfastheten vil isolasjonen fungere som en barriere, men dersom spenningen overstiger holdfastheten vil kreftene begynne å bryte ned og slå gjennom isolasjonen. Dette vil da føre til at det kan gå strømmer gjennom kanalene så lenge kreftene er store nok.



Figur 5.4: Nedbrytning av isolasjon
Kilde: Egenprodusert

Spenningsdifferansen over isolasjonen kan beskrives med:

$$\Delta V = V_+ - V_0 \quad (5.2)$$

Holdfastheten kan på en forenklet måte bli beskrevet med uttrykket:

$$U_H = d \cdot E_m \quad (5.3)$$

Isolasjonen vil ikke kunne holde på spenningen i tilfeller der:

$$\Delta V > U_H \quad (5.4)$$

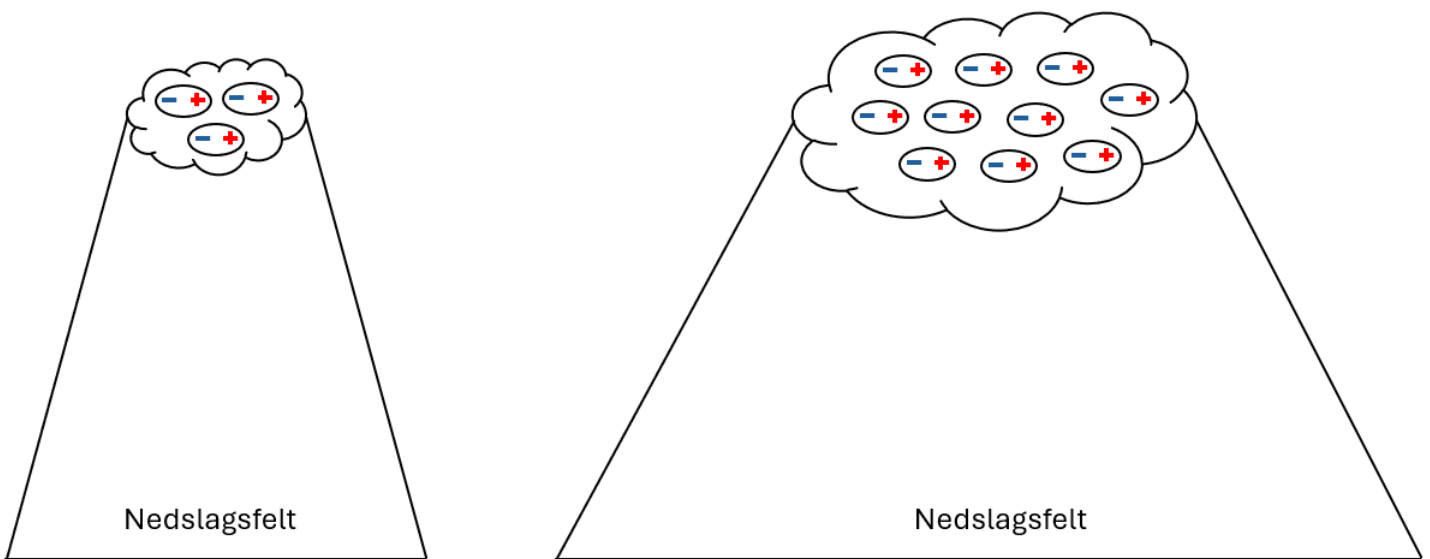
Her er d tykkelsen på isolasjonsmaterialet og E_m er isolasjonsmaterialet sin dielektriske styrke. Den dielektriske styrken forteller om de fysiske egenskapene stoffet har til å motsette seg spenninger. Det er denne nedbrytningen som er årsaken til at vi opplever lynnedslag, da luften fungerer som en isolasjon helt til spenningsdifferansen blir så stor at luften brytes ned. Som fortalt om i 4.1 dannes det da en strømførende kanal som lar der gå en strøm ned mot jorden. [10]

En annen problemstilling som kan oppstå forekommer når kreftene ikke blir store nok til å slå gjennom hele isolasjonen, men store nok til å angripe svake punkter i isolasjonens konstruksjon. Dette kalles partielle utladninger og vil svekke isolasjonens motstandsevne over tid. Disse utladningene er små i forhold til utladninger som slår gjennom hele isolasjonen, men kan over tid føre til at holdfastheten blir kraftig redusert. Dette kan føre til at selv ved vanlige driftstilstander kan kreftene være store nok til at isolasjonen svikter og setter systemet ut av drift. [9]

5.2.2 Den ”rullende kule modellen”

Den ”rullende kule” modellen, også kalt ”rolling sphere method” er en metode som brukes til å forutse hvor lynnedslag kommer til å treffe. Modellen baserer seg på at lynnedslag utvikler seg nedover innenfor ett nedslagsfelt og bruker dette til å danne grunnlag for treffpunkter. Dette feltet avhenger av de atmosfæriske ladningene som nevnes i 4.1, der en større ladning resulterer i ett større nedslagsfelt. Lynnedslaget vil kunne komme innenfor dette feltet, men for å finne det nøyaktige treffpunktet er vi avhengig av å bruke modellen. [7]

I Figur 5.5 er det presentert en grafisk forenkling av teorien bak nedslagsfeltet som modellen baserer seg på. Her kan man se at størrelsen på nedslagsfeltet avhenger av ladningsoppbygningen i atmosfæren. Dette er en veldig enkel måte å legge det frem på, men det danner ett grunnlag for når oppgaven skal utrede selve modellen.

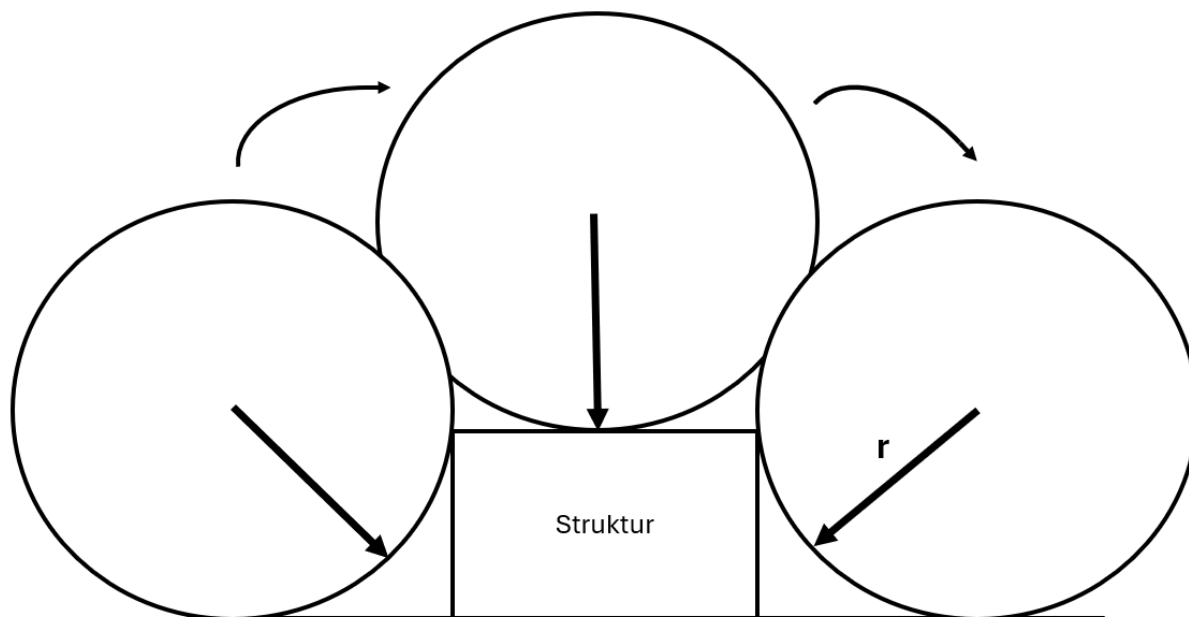


Figur 5.5: Nedslagsfelt
Kilde: Egenprodusert

Den ”rullende kule” modellen går ut på å presentere potensielle lynnedslag som kuler innenfor nedslagsfeltet. Dersom man antar at hele strukturen er innenfor nedslagsfeltet vil man måtte sette kuler på alle strukturens sider. Disse kulene representerer lynnedslagets potensielle treffpunkter som strukturen kan utsettes for. Teorien for design av beskyttelse går ut på at alle punkter der kulene kan treffe på strukturen er utsatt for nedslag. Denne informasjonen må en deretter bruke til å analysere hvilke treffpunkter man ønsker å eliminere.

I Figur 5.6 ser man en figur som baserer seg på denne modellen. Her bruker man en kule som ”ruller” over strukturen, der alle kontaktpunkter med strukturen er potensielle nedslagspunkter. En av de store usikkerhetene med denne modellen er størrelsen på kulen som skal brukes, dette kan bestemmes på to ulike måter. En kan enten beregne radiusen til kulen ved å ta i bruk en formel for kulens radius basert på en bestemt lynstrøm eller

gå inn i tabelloppslag basert på beskyttelsessone.[16]



Figur 5.6: "Rullende kule" modellen
Kilde:Egenprodusert

Dersom en ønsker å beregne på noen spesifikke tilfeller kan man bruke Formel 5.5. Her trenger man kun å vite størrelsen på lynstrømmen for å beregne radiusen til kulen for det spesielle tilfellet. [7]

Formel for beregning av kulens radius:

$$r = 7.1 \cdot \left(\frac{I}{1000 \text{ A}} \right)^{0.75} \text{ m} \quad (5.5)$$

En kan også bruke standarder for lynbeskyttelse for å få en mer generell tilnærming til hvilken radius en skal bruke på kulen. Dette baserer seg på de ulike beskyttelsesonene som er definert i IEC 62305. Her må man undersøke hvilke krav som stilles til den strukturen som skal beskyttes. .

Tabell 5.2: Anbefalt kulestørrelse for "rullende kule" modellen

Beskyttelseklasse	I	II	III	IV
Kulens radius (m)	20	30	45	60

Når en har tatt i bruk modellen er tanken at man beskytter alle punkter der kulen treffer strukturen. Dette gjøres ved å installere lynavledningssystemer og andre vern. Hva en skal bruke er derfor avhengig av hvilket nivå for beskyttelse en ønsker. Dette kan en lese mer om i 5.2.5 og 5.2.6.

5.2.3 Isolasjonsnivåer og beskyttelse

Isolasjonsnivået til et system er bestemt av systemet sitt bruksområde og risiko for uforutsette hendelser. Dette er utarbeidet som et resultat av nivået på den vanlige driftspenningen samtidig som det tas høyde for ulike overspenningstilfeller. Hvor man kan finne ulike krav til spenningsholdfasthet for elektrisk utstyr avhenger av systemet. Her skiller man mellom lavspenning og høyspenning, der lavspenning er spenninger under 1000 volt.

Informasjon om krav til holdfasthet finner man blant annet i [17]. Denne tabellen går gjennom kravene som settes til isolasjonsstyrke i lavspenningsanlegg basert på nivå for driftspenning og hvilke del av utstyret en skal beskytte. Når det kommer til høyspenningssystemer kan en blant annet finne informasjon om veiledning til isolasjon på nettsidene til direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap. Her kan man blant annet også finne data til krav om støtspenninger av ulike typer. [18]

5.2.4 Jordingsforhold og jordingsmotstander

Det elektriske begrepet jording betyr å koble en del av et elektrisk system til et jordingsanlegg. Jordingsanlegget skal da lede strøm bort fra systemet og fungere som et termineringspunkt der strømmen fordeles ut i ”jorden” og forsvinner. Jordingsystemet deles opp i referansejord og beskyttelsesjord, der de danner ulike former for beskyttelse for systemet. Referansejord baserer seg på hvordan man kobler det elektriske nullpunktet i transformatoren. Denne koblingen fungerer som en referanse for hele det elektriske systemet som forsynes fra denne transformatoren. Beskyttelsesjord fungerer som et sikkerhetstiltak som reduserer farlige berøringspenninger. Dette gjøres ved å ha gode ledere som leder feilstrømmer bort fra området og forhindrer oppbygning av lokale spenningsoppbygninger på uønskede steder.

Selv med store jordledere med høy ledningskapasitet vil det oppstå jordingsmotstander. Dette er motsander som vil påvirke hvor stor strøm det vil kunne gå ned til ”jord” fra systemet. Det er derfor viktig å ha kontroll på disse motstandene når man skal dimensjonere et elektrisk system. Dette er fordi jordingsforholdene har stor påvirkning på hvilke strømmer systemet vil kunne utsettes for ved ulike typer feil. [9] Dette vil vi komme tilbake til i Kapittel 6 når vi skal etablere simuleringsmiljøet vi kommer til å bruke i resten av oppgaven.

5.2.5 Beskyttelsesteknikker

Det er mange metoder og teknikker som brukes når en skal velge beskyttelse mot lynnedslag og overspenninger. Hvilke teknikker en velger er avhengig av systemet en skal beskytte og hvilke krav som stilles til anlegget. Her må man også ta stilling til alle de ulike delene som danner selve beskyttelsessystemet, blant annet lynavledere, nedledere, utjevningsforbindelser, beskyttelsessoner og overspenningsvern.

Lynavledere

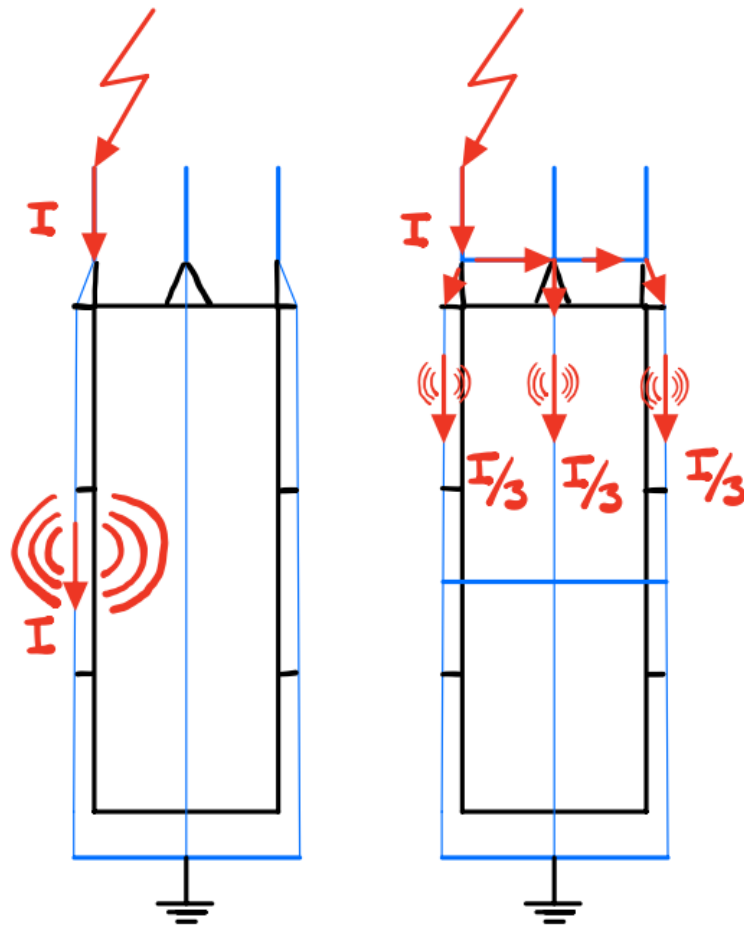
Lynavlederen er den delen av beskyttelsessystemet som skal treffes av lynet. En bør ha flere enn en lynavleder avhengig av størrelsen på anlegget en skal beskytte. Plasseringen av disse bestemmes av å bruke en modell for å anslå treffpunkter, blant annet den ”rullende kule” modellen som ble gjennomgått i 5.2.2. Lynavlederne er konstruert av kraftige ledende materialer som stolper, wire eller nett og har god ledningsevner. Lynavlederne er koblet sammen med lynavlednings- og jordingsystemet gjennom nedlederne. [7].

Nedleder og utjevningsforbindelser

Nedlederne er den delen av lynavledningssystemet som fører lynstrømmen ned langs strukturen og videre til jordingsystemet. Her er det også krav til både antall og utforming i NEK 320. Her er det spesielt fokus på å unngå skjøter og bend i lederne da dette har en tendens til å øke den elektriske motstanden i ledere og skaper derfor ett svakt punkt over tid. Nedlederne termineres i anleggets jordingsystem eller et eget separat jordingsystem. [7].

I tillegg til nedledere er det krav til utjevningsforbindelser nedover i nedledersystemet. En utjevningsforbindelse er et felles elektrisk knytningspunkt mellom alle nedlederne på strukturen der lynstrømmen har mulighet til å fordeles utover flere ledere for å redusere påvirkningen på systemet. På engelsk refereres det til som en ”equalizing ring” og som navnet tilsier vil dette da være konstruert som en sløyfe rundt strukturen. Dette gjør at nedlederne kan holde seg vertikale uten bend, noe som øker sikkerheten i systemet. Utjevningsforbindelsene vil som nevnt fordele strømmen i hele lynavledningssystemet. Da skal strømmen i teorien reduseres med en faktor som er lik antall ledere basert på Kirchoff’s første strømlov, gitt at reistansen i hver leder er tilnærmet lik. Denne reduksjonen i strømmen gjennom hver nedleder vil som forklart i 5.1.3 også redusere den induerte spenningen i omkringliggende elektriske systemer fra hver leder. [7]

I Figur 5.7 ser man en enkel illustrasjon for hvordan det blå lynavledningssystemet kan bygges opp. Her ser man hvordan utjevningsforbindelsen distribuerer strømmen over flere nedledere basert på Kirchoff’s 1. strømlov. Dette vil også spre det induerte elektromagnetiske feltet over større deler av strukturen, noe som reduserer styrken i områder som ellers vil oppleve alle kreftene fra lynnedslaget.



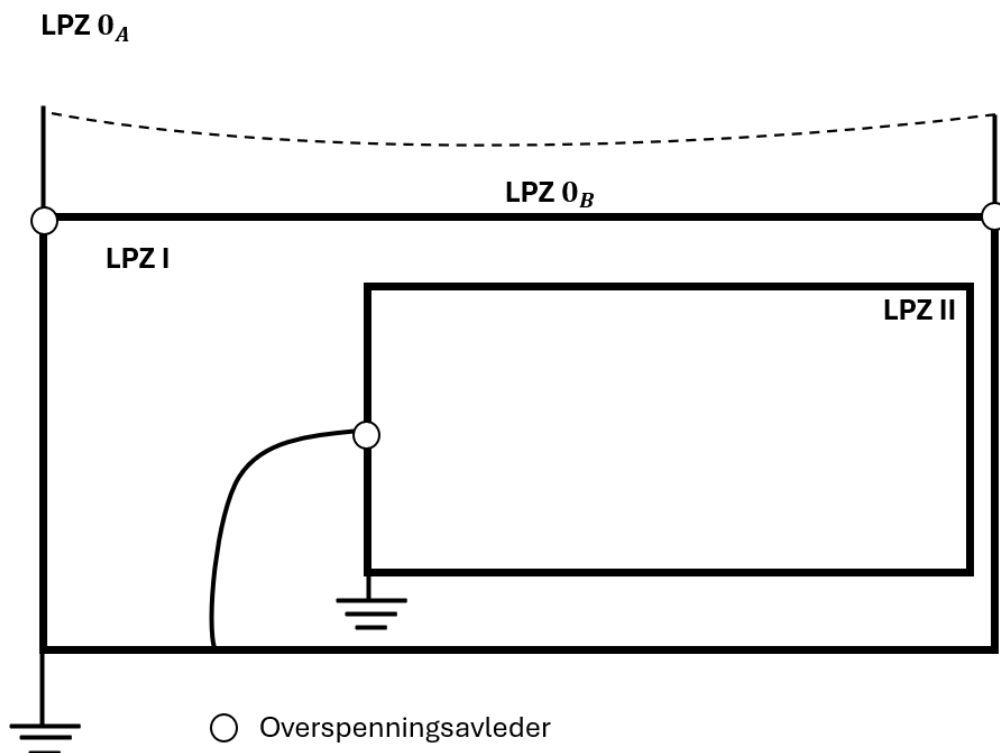
Figur 5.7: Lynavledning med og uten utjevningsforbindelse
 Kilde: Egenprodusert

Beskyttelsessoner

Lynavledere, nedledere og utjevningsforbindelser er deler av det eksterne lynavlednings-systemet. Den eksterne delen står for den grove beskyttelsen og forhindrer store skader på installasjonen og dirkete fare for liv og helse. Noe annet det er behov for å beskytte er det elektriske systemet på installasjonen i seg selv. Ettersom det finnes flere typer elektrisk utstyr på installasjonen er man avhengig av å kunne velge ulik grad av beskyttelse. Dette gjør det mulig å bestemme beskyttelsesnivået etter behov, slik at man kan beskytte alt fra robust utstyr som store elektromotorer til finelektronikk som styringssystemer og kommunikasjonutstyr.

For å kunne definere klare skiller mellom ulike behov for beskyttelse opprettes det beskyttelsessoner forkortet LPZ (Lightning protection zone). Sonene defineres etter IEC 62305 og baseres på nivå 0, I og II, der nivå II er det mest beskyttede nivået.[2]

- **LPZ 0** - Områder uten beskyttelse for det elektriske systemet, selv om lynavledere er tilstede. Her er det antatt at elektrisk utstyr kan bli utsatt for hele lynstrømmen eller hele dens elektromagnetiske felt. Vi kan dele denne sonen i to der vi skiller mellom kategori A og B. Kategori A definerer områder som kan bli direkte truffet av lynet, mens kategori B er området beskyttet av lynavledere men som fortsatt blir utsatt for det fullstendige elektromagnetiske feltet.
- **LPZ I** - Første indre beskyttelsessone der inngangen er beskyttet av både overspenningsavledere og utjevningsforbindelser. Her blir det også tatt i bruk generell elektromagnetisk beskyttelse på kabler og utstyr.
- **LPZ II** - Andre indre beskyttelsessone der all tilførsel av strøm kommer fra innsiden av LPZ I. I tillegg til dette er det installert eget system for utjevningsforbindelser og overspenningsvern på overgangen mellom LPZ I og II. Her blir det også tatt i bruk sterkere elektromagnetisk beskyttelse på kabler og utstyr.



Figur 5.8: De ulike beskyttelsessonene
Kilde: Egenprodusert

5.2.6 Overspenningsavledere

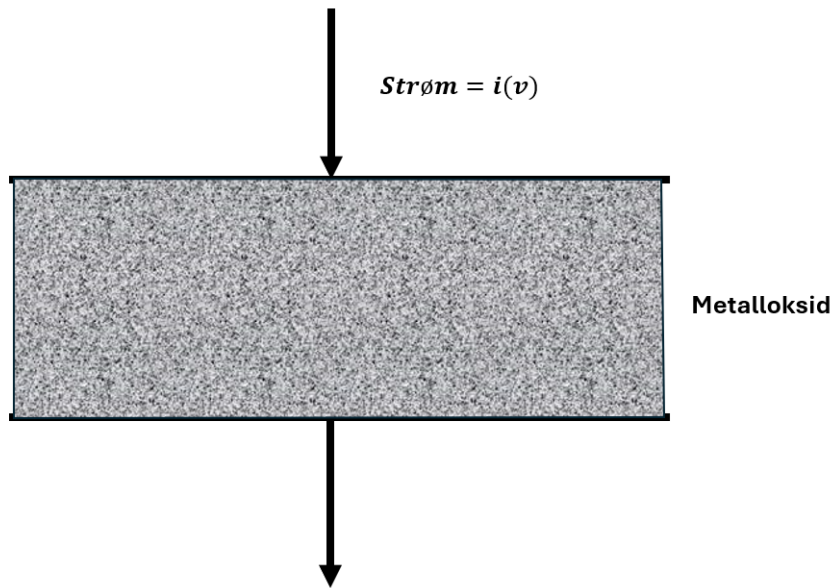
En overspenningsavleder er et generelt uttrykk som brukes om sikkerhetsutstyr som skal forhindre overspenninger på det elektriske systemet. Slike avledere fungerer på mange ulike metoder og baserer seg på ulike teknikker. En overspenningsavleder skal som forklart forhindre overspenninger ved å skape kortslutninger til jord basert på spenningsnivået i det elektriske systemet. Dette gjør at vi kan ha stabil drift på det elektriske systemet samtidig som man har muligheten for å lede overspenninger til jord med en gang spenningen blir for høy.

Disse teknikkene baserer seg på tre ulike metoder som utnytter fysikkens lover med gode resultat. Dette er enten basert på nedbrytning av holdfastheten i en gass, bruk av kaskadebasert halvlederteknologi eller metalloksidbaserte varistorer. Den gassbaserte løsningen baserer seg på nedbrytning av en gass i et kontrollert miljø basert på teori fra 5.2.1. De to andre metodene baserer seg på hvordan elektriske krefter bryter ned faste stoff, og hvordan dette kan brukes i praksis. Dette gjør at man kan fremstille elektriske motstander som er avhengig av den elektriske spenningen som påføres komponenten. Slike motstander kalles varistorer og i vårt tilfelle har de en "høy til lav" karakteristikk. Dette gjør at ved vanlige driftstilfeller er motstanden høy og overspenningsavlederen vil lede minimalt med strøm. Ved temporære overspenninger vil derimot stoffet midlertidig brytes ned og det vil være eksponentiell ledningsevne til jord avhengig av størrelsen av spenningen som påføres. Det samme kan oppnås ved å bruke diodebaserte løsninger der en åpner eller bryter ned diodebaserte kretser når spenningen når en ønsket verdi. Det som gjør begge disse løsningene ettertraktet er at spenningen opprettholdes på driftsnivå selv om en har enorme strømmer som går til jord. Dette gjør at selv om det systemet utsettes for overspenningen vil ikke driften påvirkes i betydelig grad. [12] [19]

Metal Oxide Varistor

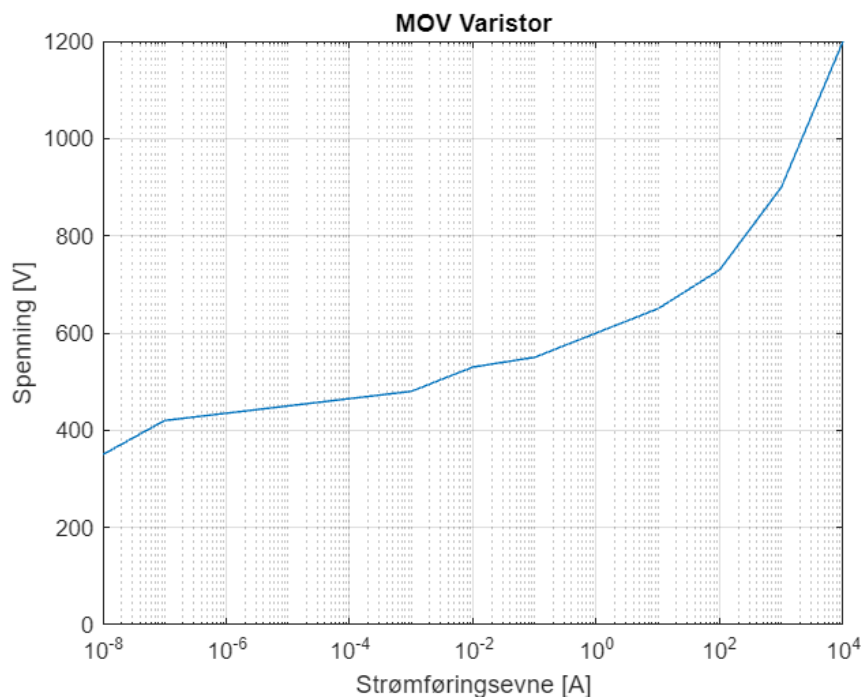
En varistor er et begrep som brukes om en variabel motstand der den elektriske resistansen reduseres etterhvert som spenningen over den øker. Dette er en veldig god egenskap som er veldig mye brukt innenfor beskyttelse av elektriske systemer. Når en arbeider med krefter av den størrelsesordenen en observerer under lynnedslag er det metalloksidvaristoren som er desidert mest egnet. Metalloksid er en form for krystallisk struktur av en eller flere typer metalloksid i en uordnet oppbygning, dette kan man se et eksempel på i Figur 5.9. De fysiske egenskapene til metalloksidet fører til at en økende spenning også fører til en eksponensiell økning i strømføringsevne gjennom strukturen. Dette er også designbasert da en har flere ulike metalloksidstrukturer som egner seg til ulike spenning og energinivåer. Den fysiske størrelsen påvirker også disse egenskapene. [20]

Strømføringsevnen til en bestemt varistor av denne typen avhenger av mange faktorer. De to viktigste faktorene er tversnittet til strukturen og metalloksiden i strukturen. Selv om dette er vanskelig å sette konkrete tall på med mindre man har en spesifikk overspenningsavleder er prinsippet enkelt å følge. Da dette er en komponent som er direkte koblet til jord ønsker man ikke at denne skal trekke strøm fra systemet med vanlig drift. På grunn av dette er strømtrekket under vanlig driftspenning ubetydelig, ofte så lav som en mikroampere. [20]



Figur 5.9: Metalloksidvaristorens struktur
Kilde: Simulink

I Figur 5.10 ser man karakteristikken til en teoretisk varistor der driftsspenning er satt til 400 volt. X-aksen er presentert med logaritmisk skala, noe som er viktig å merke seg. [20]

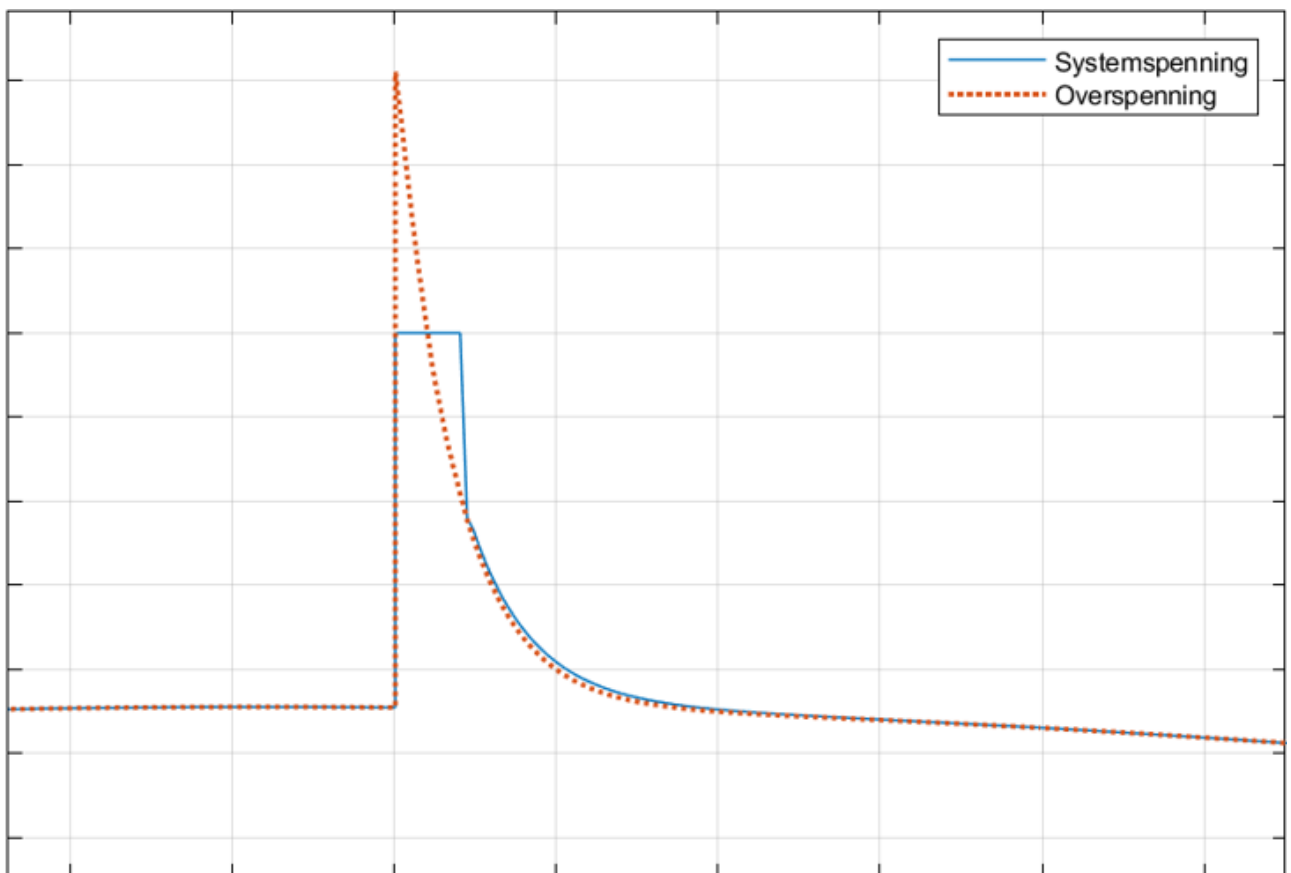


Figur 5.10: Metalloksidvaristorens strømføringsvevne
Kilde: Simulink

Silicone Avalanche Diode

Bruken av den silikonbaserte diodeteknologien i beskyttelse mot overspenninger kommer med sine fordeler og ulemper. Den desidert største fordelen er den momentane nedbrytningskarakteristikken som en opplever når diodene "klipper". I motsetning til den metalloksidbaserte varistorteknologien vil vi se en momentan klipping av spenningen på systemet. Denne klippingen forekommer når diodene brytes ned av de elektriske kreftene og strømmen vil ledes til jord. På grunn av bruken av diodeteknologi fører dette til at denne typen overspenningsavledere har flere ulemper. Den største ulempen er prisen, da denne er betydelig høyere en MOV-baserte overspenningsavledere. I tillegg til dette har diodene lavere energikapasitet som fører til begrensninger i hva som kan beskyttes. Dette gjør at teknologien brukes mest på lavspenningsinstallasjoner der det er behov for ekstra god beskyttelse eller der det er økonomisk gunstig med bedre beskyttelse. [21]

I Figur 5.11 er det illustrert en skisse over hvordan spenningen vil se ut på et system som er beskyttet av en diodebasert løsning. Her kommer det godt frem hvordan spenningen som systemetspenningen "klipper" når diodene brytes ned og begynner å lede strøm til jord. Denne klippespenningen bestemmes når en designer systemet og er avhengig av beskyttelsesbehovet for systemet.



Figur 5.11: Diodeklipping av overspenning

Kilde:Egenprodusert

Gassbaserte overspenningsavledere

Gassbasert overspenningsavledning baserer seg på at spenningen i blir stor nok til å bryte ned den elektriske holdfastheten til en gass som skiller to elektroder. Denne teknikken brukes blant annet på utendørs systemer der en bryter ned gassene som finnes i atmosfæren og i kontrollerte tette gassbeholdere. For grovt bruk har en jordingssystemet koblet til en elektrode med en kjent avstand fra strømførende kraftlinjer som vil skape en strømførende lysbue på samme måte som et lynnedslag. I kontrollerte miljøer har vi somregel en gass der vi vet de eksakte egenskapene som gjør at vi kan bestemme nedbrytning basert på systemets behov. Dette er en robust og billig måte å beskytte seg mot overspenninger, men den største ulempen er at det er vanskelig å slukke denne lysbuen når spenningen synker. [9] [22]

Kapittel 6

Offshoreinstallasjonen

6.1 Offshore overspenninger

Offshoreinstallasjoner

I 4.3.1 har det blitt nevnt at miljøet på offshore installasjoner er svært utfordrende. Bearbeiding av volatile substanser skjer i kontrollerte omgivelser, gitt at systemer og forhold er som de skal. Utfordringer fremstår når situasjoner som kan føre til driftsstans forekommer. Konsekvensene av driftsstans er store, og ikke begrenset til små seksjoner av produksjonen. Systemene ombord en offshoreinstallasjon er uselvstendige, og omtrent alle er avhengig av elektrisk energi.

Konsekvensene av ett frafall av energi er at produksjon eller prosess stanser. Dette fører til enorm verditap og kan ta flere dager å få start på produksjon igjen. Ett frafall av energi kan oppstå av mange grunner. Hovedårsakene kommer fra korrosjon på elektriske koblinger og komponenter som fører til servicebehov og ved verst tenkelig tilfelle kan føre til kortslutninger, dårlig kontakt eller frafall av kontakt. Hardt vær, regn og saltvann er hovedårsakene til korrosjon.

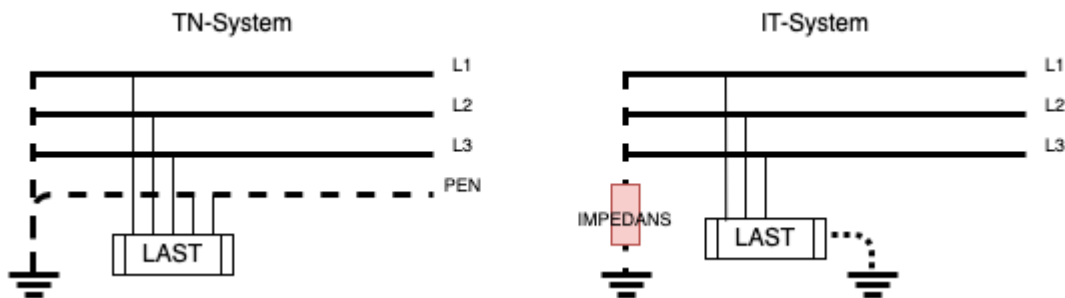
6.1.1 Fordelingssystem

Ett offshore prosessanlegg har mange likheter til ett landbasert anlegg. Det fremstår noen forskjeller, avhengig av størrelsen og produksjonskapasitet på anlegget. Ved en normal offshore installasjon finner man ett elektrisk system som supplerer med mellom 40-200MW. Anlegget er fordelt i tre kategorier, produksjon, utility og motordrift. Man har henholdsvis ett spenningsnivå per kategori, 400/230V for utility, 690V for motordriftkurser og 11KV operasjonsspenning på produksjonen. [1]

Primær AC-distribusjon systemet er etter standard enten ett IT - System eller ett TN - system. Det er forskjellige utforminger Ved IT - Systemer. Normalt er alle ledere isolert fra jord. I noen tilfeller kan ett punkt være impedansjordnet. I denne studien blir det tatt utgangspunkt i ett TN-system. TN-system er bygget opp ved at nøytralpunktet er jordet i transformatoren men også ført videre til lasten sammen med faselederene som en N-leder. Dette åpner muligheter for 400V linjespenning og 230V fasespenning. [23]

Grunnen til at Det blir benyttet TN-system i denne studien er at ved høgspennings-systemer er dette mest brukt. Ved en jordtilkobling med lav impedans forekommer det en jordfeilstrom per fase som kan sammenlignes med en jordfeilstrom man bare kunne fått ved en trefase jordfeil. Dette fører til at jordfeilvernet på kursen slår ut momentant. Siden nøytralpunktet har ett potensiale tilsvarende jord får man en stabil spenning i lederene

som er uberørt av jordfeilen. Dette er gunstig på en offshore installasjon da det er stort fokus på å redusere nedetid. [23]



Figur 6.1: TN og IT system
Kilde: Egenprodusert

Som nevnt har man en fordeling på 3 forskjellige kategorier. Produksjon, utility og motordrift. Dette omfatter den mest grunnleggende fordelingen. Fordelinger som separeres fra dette er hovedsakelig nødsystemer. Etter norsk standard skal man ha ett UPS (uninterruptible power supply) på 230V. Dette er koblet opp som ett IT-system som trer inn ved tap av hovedkursen. Dette er for å opprettholde spenning på instrument, kontrollsystemer og kommunikasjonssystemer lenge nokk til at reservegeneratorene skal kunne koble seg på [1].

6.1.2 Kraftforsyning

Hovedtilførselen til installasjoner har tradisjonelt vært gassaggregat. Etter IEC sin standard for system design ska man minst ha to separate kilder for elektrisk energi. Dette kan for eksempel være to separate gassaggregat der reserveaggregatet skal ha kapasitet til å opprettholde normale forhold. Med stort fokus på utbygging av fornybare kjelder har det blitt mer aktuelt med strømtilførsel fra land. I dette tilfellet blir det som oftest benyttet ett gassaggregat som reservekilde. [23]

En lanstrømstilkobling har mange fordeler, foruten fordelene tilknyttet mindre utslipp forekommer det store fordeler innenfor sikkerhet og vellvære. Ved kraft fra gassaggregat følger det mye vedlikehold, dette fører til større kostnader over tid. I tillegg til det, er det stort fokus på å redusere potensielle tennkilder ombord på en installasjon. All form for forbrenningsmotor er en potensiell fare for sikkerheten til arbeiderene. I deler av studien der det undersøkes egenskapene til en landstrømstilkobling blir det tatt utgangspunkt i at installasjonen er tilkoblet land via en AC kabel. Grunnlaget bak dette er at etter hvert som teknologien utvikler seg har det blitt mer kostnad og energieffektivt å anvende vekselstrøm. [23]

6.1.3 Jordingsystemet

Jording er en essensiell del av ett elektrisk system. Det er ofte lagt lite vekt på å gå i detaljene når man utvikler ett Jordingsystem til ett elektriske anlegg. På grunn av dette

blir jord ofte modellert som en ren resistiv leder, noe den ikke er. Å ha fokus på dimensjonering av jord er viktig ettersom dette har en viktig rolle innenfor trygghet og beskyttelse av systemer og mennesker.

Jording i en offshore installasjon er en regulert og eksakt vitenskap i motsetning til det man ofte finner på land. Systemet blir prosjektert som en egen enhet der krav og dimensjonering blir svært nøye gjennomgått. I prosjektering av denne enheten blir det tatt hensynt til blant annet valg av fordelingsnett og motstandsovergang til havet, havbunnen og tidevannslinjen. Det er viktig å ta høyde for tidevannslinjen da dette gir installasjonen en variabel jordingskarakteristikk [24].

Vanligvis blir jordingsimpedanser dimensjonert som en funksjon av spenningens frekvens. Dette er logisk da jordingssystemet må dimensjoneres i henhold til AC-systemet. Når man skal ta for seg store transiente spenninger blir dette en helt ny dimensjon. Under belastning av transiente spenninger får man svært annerledes induktiv og kapasitiv påvirkning. Impedansen er betydelig redusert. Man må derfor dimensjonere jordlederen større enn om man bare tar hensyn til AC-systemet. [25]

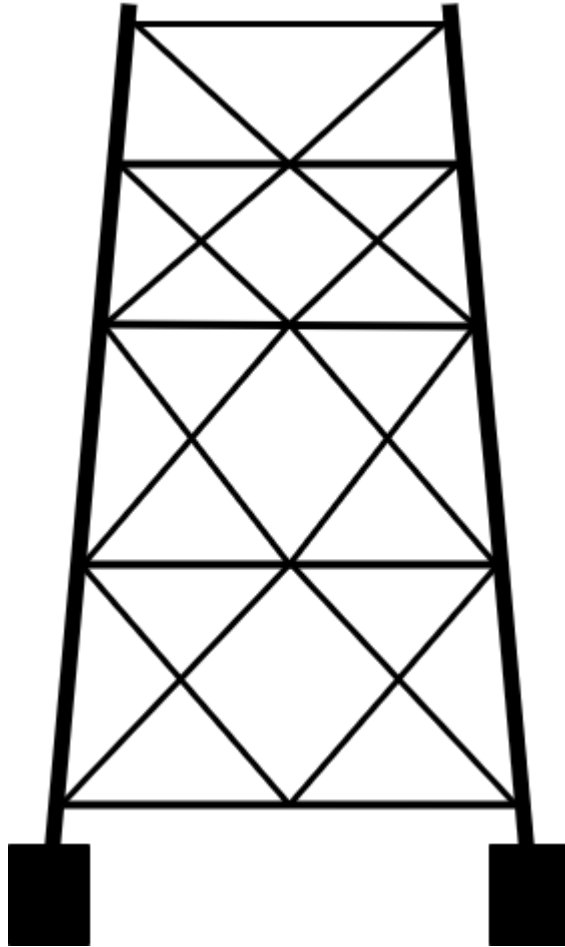
Ett jordingssystem sin evne til å håndtere impulsspenninger avhenger av fire faktorer. Magnituden på impulsen, stigetiden, jordas resistivitet og utformingen på jordelektroden. Tidligere i 5.1.1 er det en utledning av 1.2/50 - modellen og illustrert grunnlaget som brukes for en atmosfærisk overspenning. Blir det tatt i bruk denne gjenstår det bare å definere jordingsimpedans og utformingen på jordelektroden. [25]

I denne studien blir utgangspunktet ett fundament i svartstål. Vi tar utgangspunkt i en struktur lignende den installasjonen man finner i Edvard Grieg feltet, majoritetseid av Aker BP og operert av Ludin. Strukturen består av fire bærende bein med fagverk mellom beina. Som nevnt tidligere må man ta stilling til motstandsovergangen til havet, havbunnen og tidevannslinjen.

Dimensjonering av fundamentet er unikt for hver av prosjektene og blir vurdert etter vanndybden der installasjonen er plassert, vekten av overbygget og utstyret som er nødvendig for drift, miljøbelastninger som bølger, strøm vind og is og sist men ikke minst sikkerhetskrav og standarder.

Fundamentet har en høyde på 109m fra plattformdekket til havbunnen og er ankret til bunnen med fire pilarer i hver ende, i offshoreinstallasjoner er det ikke uvanlig at man fører en kobber jordingsleder ned pilarene til havbunnen. For simuleringens hensikt blir det tatt utgangspunkt i at pilarene er ankret i havbunnen med stålspyd. [26]

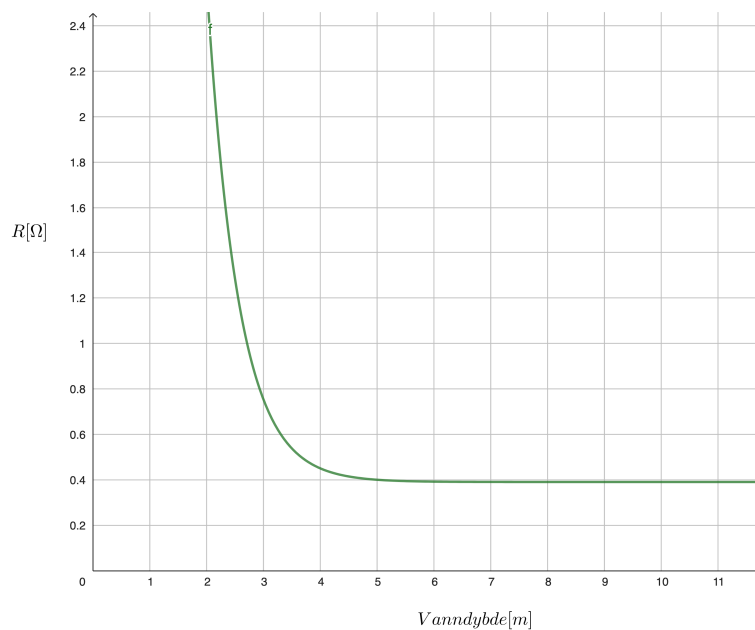
Jordingsimpedansen i havbunnen endrer seg drastisk etter hvor dypt vannet er. Etter 5m når man en verdi på 0.4Ω . Ved en større dybde enn dette avtar Jordingsimpedansen ved en betydelig mindre verdi per meter til den grenser til null. På grunnlag av dette kan det bli tatt en kvalifisert antagelse på at den resistive motstanden i havbunnen er på under 0.4Ω . [27]



Figur 6.2: Illustrasjon av fundament
Kilde: Egenprodusert

Ved induktive og kapasitive påvirkninger må man i likhet med den resistive motstanden ta en antagelse basert på utformingen til platformen. For å få en verdi som ikke avviker for mye fra en reel installasjon blir det tatt utgangspunkt i at installasjonen består av individuelle jordingsspyd som er parallelle til hverandre. Dette gir oss ca en induktans på $2mH$ og en kapasitans på $22\mu F$. Se vedlegg 3 [28] [29] [30] for utregninger.

Som man ser får man en dominerende induktiv påkjenning ved transiente overspenninger. Grunnen til dette er at en transient impuls består hovedsakelig av to komponenter. En høyfrekvent og en lavfrekvent komponent. Stigningen som forekommer i starten av impulsen assosieres med den høyfrekvente delen og utladningen som forekommer i ettertid assosieres med den lavfrekvente delen. Derfor får man en dominerende induktiv påkjenning i jordingslederen. [31]



Figur 6.3: Jordingskarakteristikk ved gitt Vanndybde
Kilde: Egenprodusert

Parameter	Verdi
Resistans	0.4Ω
Induktans	$2mH$
Kapasitans	$22\mu F$

Kilde: Vedlegg 4

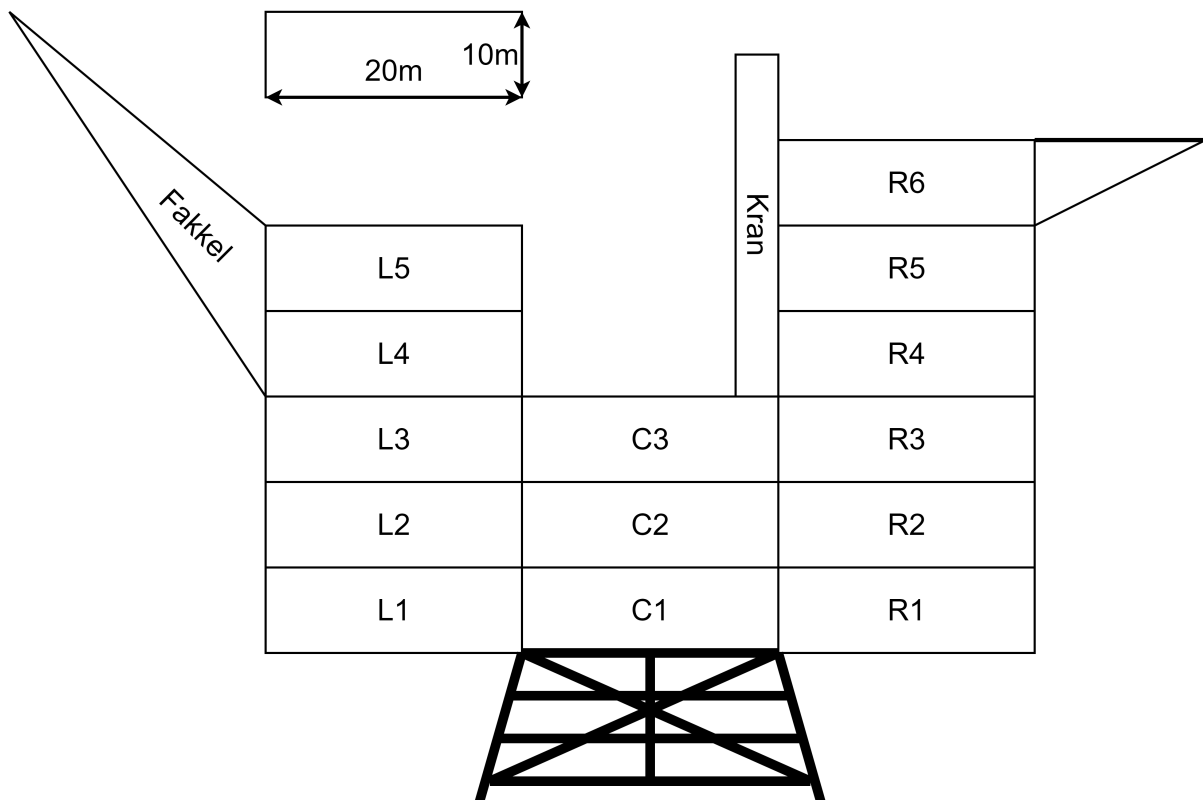
I simuleringsmiljøet blir det utforsket forskjellige overgangsmotstander og hvordan de påvirker systemet i forbindelse med overspenningen. Hovedfokuset blir på mostander under 0.4Ω på grunnlag av at dette er mest relevant for installasjoner i norsk industri.

Kapittel 7

Simuleringsmiljøet

7.1 Offshoreinstallasjonen

Den fysiske strukturen til offshoreinstallasjonen designes basert på gruppens egne ønsker, men det tas inspirasjon av utformingen fra Edvard Grieg og Ivar Aasen plattformene. Strukturen modelleres med fakkeltårn, kran og helikopterdekk, og siden konstruksjonen består av stål vil dette kunne fungere som lynavledere når man modellerer denne delen av systemet. Installasjonen vil også deles inn i ulike seksjoner der gruppen kommer med en antagelse for lastnivået i det elektriske systemet i seksjonen. Her vil lasten variere basert på antatt forbruk fra blant annet tung prosess, motordriftkurser og generelt forbruk.

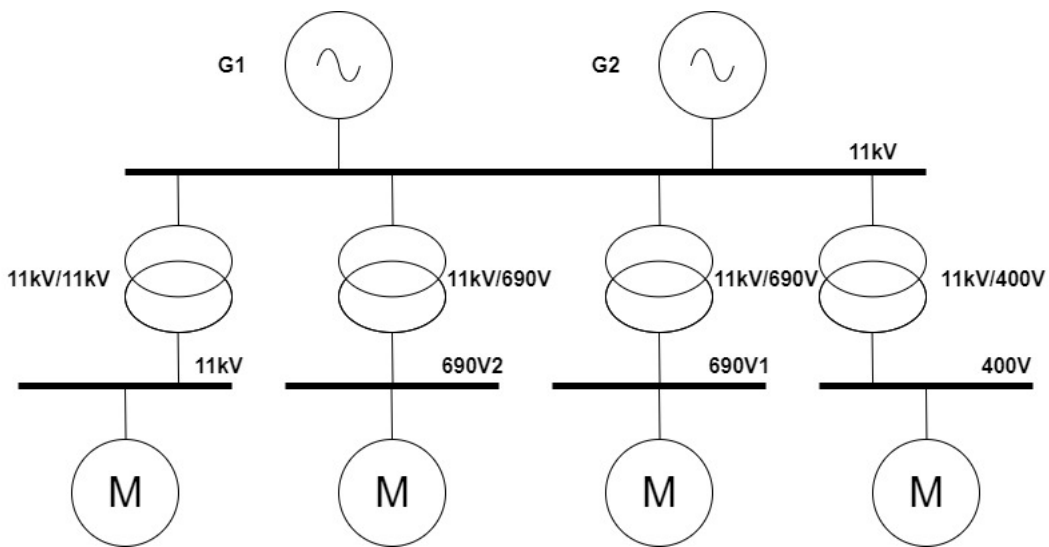


Figur 7.1: Modell for installasjonen
Kilde: Egenprodusert

7.2 Det elektriske systemet

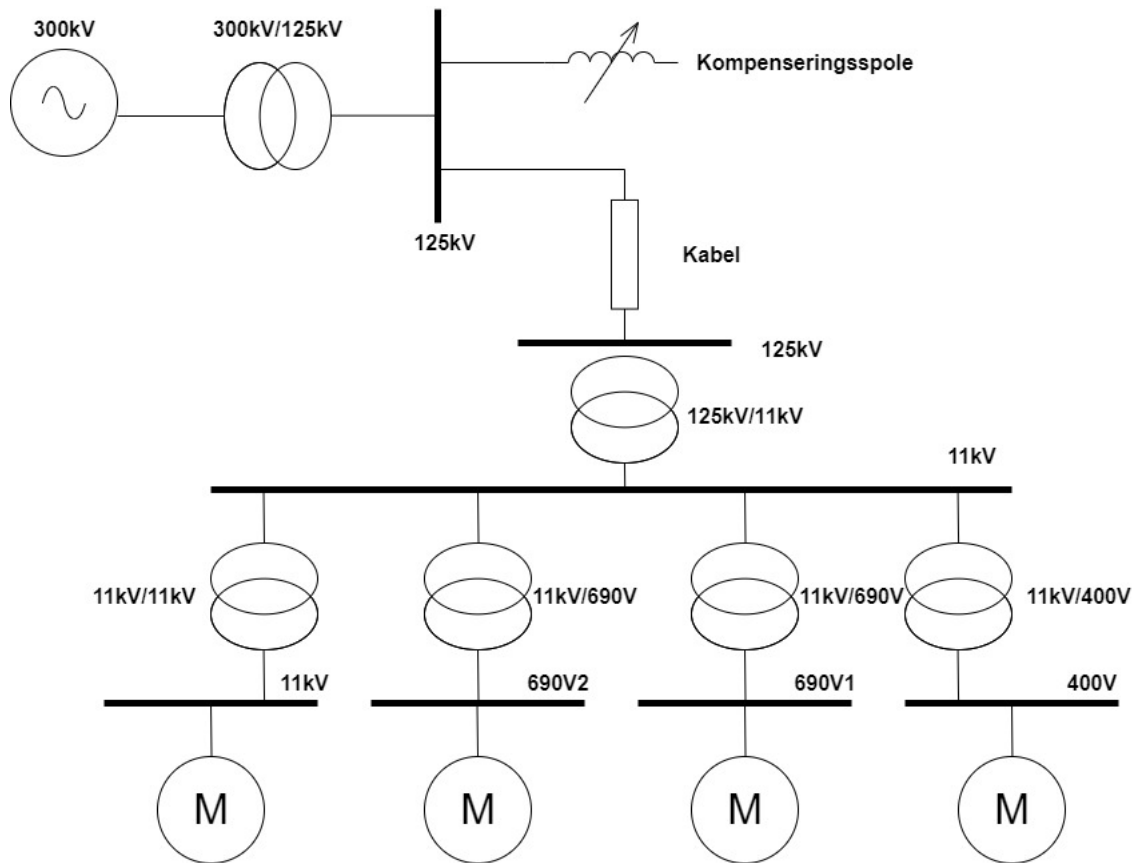
Det elektriske systemet ombord på en slik installasjon er veldig utbredt da installasjonene sammenlignes med mindre industriområder. Installasjonene kommer i alle mulige størrelser og har ulike elektriske forbruksmønstre. For simuleringene modelleres installasjonen som brukes i oppgaven til å ha ett forbruk på omtrent 40 MW, dette er basert på Vedlegg 6 og 7. Her vil mesteparten være fra forbruket til tung prosess som vi finner i "L-seksjonene"

I Figur 7.2 og 7.3 ser man en forenklet versjon av enlinjeskjemaene for det elektriske systemet som brukes i Case 1 og 2. Hovedforskjellen er at i Case 1 drives installasjonen fra generatorer ombord, mens i Case 2 brukes det landstrøm gjennom kabel med følgende landanlegg. Dette kan man lese mer om i henholdsvis Kapittel 8 og 9.



Figur 7.2: Forenklet enlinjeskjema av installasjon

Kilde: Egenprodusert



Figur 7.3: Forenklet enlinjeskjema for installasjon med landstrømstilførsel
Kilde: Egenprodusert

7.2.1 Kraftforsyning

Til kraftforsyning tar oppgaven kun hensyn til system i drift, og utelukker ekstra generatorer knyttet til beredskap. For modellen vår velger vi derfor to generatorer som kan levere 25 MVA hver. Disse motorene er koblet i parallell og har en driftsspenning på 11 kV. Dette ble sjekket under kontrollerte forhold i simuleringsmiljøet og strømtrekket fra hver generator summerer opp til det en enkel generator leverer i alle tilfeller, gitt likt spenningsnivå og impedanskarakteristikk. Motorene plasseres i seksjon R1 på installasjonen. Motorparameterne som brukes til kortslutningsberegninger i oppgaven er oppgitt i Vedlegg 1 [9]. Det legges også inn resistansjordede nullpunkter på motorene for å forhindre at en jordfeil i systemet blir en full kortslutning. Motstanden i dette punktet velges til 2000Ω for å begrense jordfeilstømmer til 10 A og baserer seg på beregninger som en finner i Vedlegg 3 [9].

7.2.2 Transformatorer

På en slik installasjon finnes det mange transformatorer av ulike typer som skal omsette strøm mellom forskjellige spenningsnivåer. På denne installasjonen er generatorenes spenningsnivå på 11 kV og det blir derfor bare behov for å transformere nedover. Transformatorene vil også fungere som en beskyttende komponent i forhold til kortslutningsberegninger. [9] Alle transformatorene kobles i Dy11 med resistansjordede nullpunkt. Transformatorene blir plassert i seksjonen R2, C1, L1 og L3 og transformatorparametere finner man i Vedlegg 1 [9].

På høyspenningssiden blir det brukt en 11kV/11kV transformator mellom tilførsel og 11kV systemet. Bruk av en slik transformator bidrar med noen små fordeler som å tilby bedre spenningsregulering, bedre kortslutningsimpedans og bidra til å motvirke skjevfordeling i lastene.[32] [9] Disse fordelene veier ikke opp for ulempene, som på en slik installasjon vil være kostnad, sikkerhet, størrelse/vekt og enda en komponent som må vedlikeholdes. Det er derfor ikke realistisk at en slik transformator hadde blitt satt inn på en slik installasjon. Dette ble avdekket etter simuleringene var utført og mesteparten av rapporten skrevet. Derfor forblir denne i modellen da den ikke påvirker beregninger eller simuleringer i betydelig grad.

7.2.3 Distribusjon

På installasjonen har en mange laster som har ulike spenningsnivåer. De ulike spenningsnivåene styres av transformatorene og for enkelthetsskyld antas det at en transformator leverer til en samelskinne som skal forsyne en større del av installasjonen. På grunn av størrelsesordenen i systemet antas det at resistansen i distribusjonskablene er irrelevant. Det brukes derfor idelle ledere uten resistans for å gjøre simuleringsmiljøet enklere.

7.2.4 Jordingsystemet

Da installasjonen har ett eget jordingsystem som det ikke var enkelt å få tak i informasjon om ble vi nødt til å finne noen gode tilnærminger. Da systemet i realiteten består av mange kabler, overganger og koblingspunkt må vi forenkle dette. Jordingsystemet vil da modelleres som en del av strukturen, der en legger inn resistans i strukturen som skal fungere som jordingimpedans. Resistansverdien blir forklart i Kapittel 8 men baserer seg på resistansen i kabler som kan håndtere strømmene som vil kunne gå i denne typen installasjon kombinert med de omtrentlige avstandene basert på strukturens størrelse.

På transformatorene og generatorene brukes det resistansjordede nullpunkt som et tiltak for å begrense kortslutningsstrømmer. Størrelsen på motstanden i impedansjordingene beregnes i Vedlegg 3 [9] og bestemmes utifra NORSOK standarden for det elektriske systemet på en slik installasjon. [1] Bruken av disse kommer også frem i Vedlegg 6 og 7.

- "High voltage systems above 1000 V AC shall be impedance earthed with maximum 20A per generator or transformer"
- "Main power low voltage systems above 400 V AC shall be impedance earthed with maximum 100A per generator or transformer"

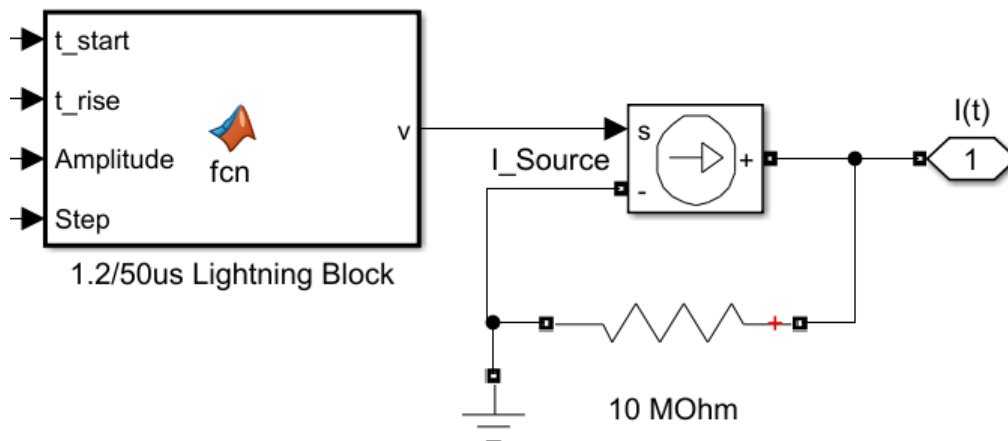
7.2.5 Lynnedslaget

For å simulere lynnedslaget blir det antatt at det fungerer som en ideell strømkilde. Dette gjør at spenningen er avhengig av impedansen i det som treffes, slik at vi kan bruke veletablert statistikk som nevnt i 5.1.1 uten å ta hensyn til spenningene i atmosfæren for hvert nedslag. Dette gjør at lynnedslaget representeres av ett DC-støt og modelleres basert på lignende modeller som vist i [33]. Dette danner hele grunnlaget for modellen og utreder også funksjonen for lynstrømmen i litt større grad.

For å fremstille dette lynnedslaget ble det tatt utgangspunkt i følgende formel:

$$\text{Lynstrom} = I(t) = \text{Amplitude} \cdot e^{-14000 \cdot |t_{\text{Start}} - t_{\text{Rise}}|} \cdot \text{Step} \quad (7.1)$$

- Amplituden er lynstrømmens bestemte amplitude
- t_{Start} er aktiveringstidspunktet i simuleringen
- t_{Rise} er ønsket stigetid til ønsket amplitude
- Stepfunksjonen settes til 1.2 mikrosekund etter ønsket starttid



Figur 7.4: Simuleringsmodell for lynnedslaget
Kilde: Egenprodusert

Kapittel 8

Case 1: Nedslag i offshoreinstallasjonen

I denne delen av oppgaven skal vi undersøke hva som skjer når offshoreinstallasjonen treffes av lynnedslag og hvordan lynstrømmene sprer seg rundt i jordingssystemet på installasjonen. Hypotesen er da at overspenningsmotstandene til jord i de enkelte komponentene kan føre til at det bygges opp spenninger i jordingssystemet. Det skal undersøkes om disse kan smitte over i det elektriske systemet. For å undersøke problemstillingen og komme med forslag til tiltak brukes simuleringsmiljøet som ble opprettet i Kapittel 7.

Det som også er interresant å undersøke er NORSOK standarden som forteller at ”No additional installation will be required for the lightning protection, provided the unit consists of bolted and/or welded steelwork that will provide a continuous current path from the highest point of the unit to the main earth”. Dette har blitt utfordret i noen fagartikler, uten at de kom med noen konkret konklusjon. [1] [3]

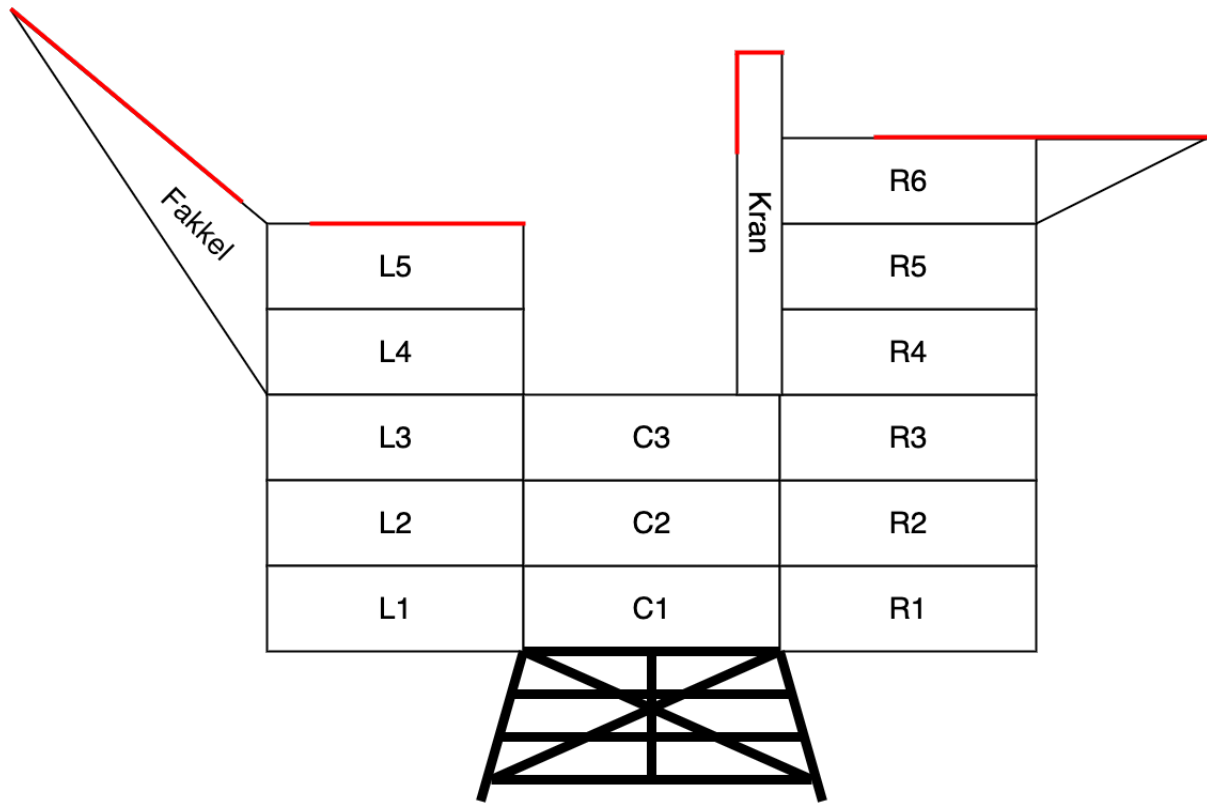
8.1 Generell beskyttelse

Den Internasjonale Elektrotekniske Kommissjon (IEC) har kommet med en standard IEC 62305 som går i dybden på hvordan en skal prosjektere beskyttelse mot lynnedslag. Her går standarden grundig gjennom hvordan en skal prosjektere beskyttelse. For å starte må man gjøre en risikovurdering. Basert på offshoreinstallasjonens risikofylte driftsituasjon som en kan lese om i 4.3.1 settes denne til den høyeste beskyttelsesklassen, Klasse I [3]. Beskyttelsesklassen definerer de fleste fysiske kravene til selve lynavledningssystemet, blant annet nedledere, utjevningforbindelser og lynavledere. Beskyttelsesklassen bestemmer også hvor stor den rullende kule skal være, i dette tilfellet blir radius 20 meter. De fleste andre variabler som avhenger av beskyttelsesklassen blir automatisk oppfylt på grunn av offshoreinstallasjonens grunnleggende stålkonstruksjon. Dette er blant annet krav til utjevningforbindelser, lengde på vertikale nedledere og lynstrømmens minimum- og maksimumsverdier. [2] [16]

8.2 Nedslaget

For å kunne identifisere områder som er utsatt for lynnedslag må det tas utgangspunkt i ”den rullende kule”-modellen fra 5.2.2. Ved bruk av denne modellen er første steg å definere diameteren på kule som skal brukes i modelleringen. Først må man ta stilling til hvilken beskyttelsesklasse som er gunstig for installasjonen og bruke tabell 5.2 for å finne radiusen til kule. Basert på den risikofylte driftssituasjonen, den ugunstige plasseringen som skaper en utfordring for redningspersonell og konsekvensene ved frafall av produksjon er det ingen tvil om at installasjonen befinner seg innenfor beskyttelsesklasse 1. Tabellen forutsetter da at kule som brukes har en radius på 20m. Det blir tatt utgangspunkt i at ladningstettheten er stor nok til at nedslagsfeltet dekker hele installasjonen. Da kan en implementere modellen vel å la kule rulle over strukturen og markere treffpunktene.

Som vist i Figur 8.1 kan man se potensielle treffpunkter merket med rødt. Installasjonen som den ser ut nå er mye eksponert på toppen og beskyttelse bør vurderes. Det som er mest kritisk å beskytte er L5 og R6 da dette er områder der personer kan ferdes og inneholder vanligvis kritisk elektrisk utstyr relatert til kommunikasjon eller drift.



Figur 8.1: Nedslagsfelt på Installasjonen

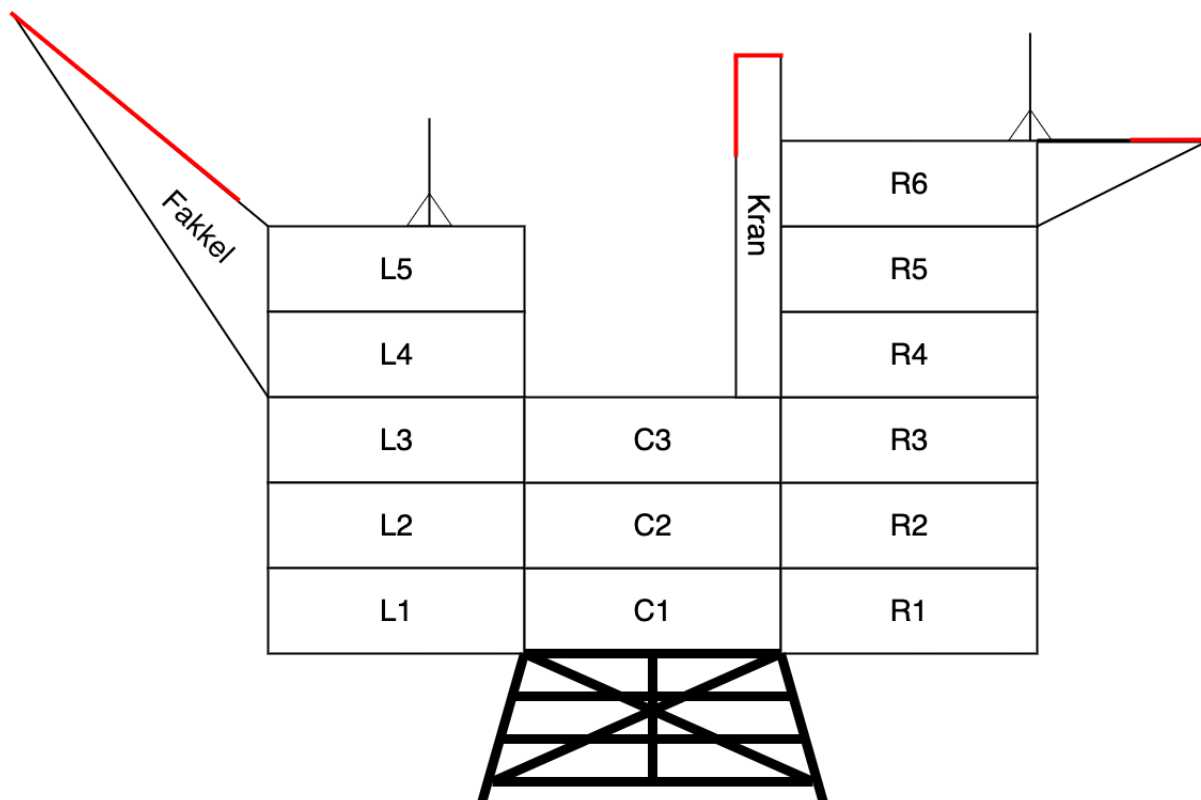
Kilde: Egenprodusert

Ifølge IEC 62305 vil det ikke være behov for lynavledning på strukturens vertikale sider. Da strukturen er over 60 meter høy vil det være risiko for nedslags her, men på grunn av overheng som fakkjel og helikopterdekk vil sidene av strukturen kun være utsatt for mindre utladninger. Det blir tatt hensyn til ved at strukturen består av ledende materiale og det antas at tykkelsen på strukturen er større enn kravet for høyeste klasse beskyttelse som for alle typer stål er 4 mm. [16]

På toppen av strukturen vil det fortsatt være fare for nedslag risiko for både liv, helse og driftsikkerhet. For å kontrollere disse forholdene velges det i installere to lynavledere, en på hver seksjon. Disse monteres på taket på ønsket måte og oppfyller krav til høyeste beskyttelsesklasse (Klasse I) i IEC 62305 [16] dersom:

- Lynavlederen er koblet direkte til den ledene strukturen på en måte som oppfyller krav til strømføringsevne. Dette oppfylles av konstruksjonens metalliske struktur med en tykkelse på over 4 mm med gode forbindelser mellom seksjonene.
- Lynavlederen består av et ledende materiale som også oppfyller kravene til minimum strukturtykkelse frem til den kobles på nedledersystemet som i dette tilfellet er den metalliske konstruksjonen.
- Fravær av brennbare materialer i nedledersystemet med en minimumsavstand på 0.15 m til lederene frem til nedledersystemet sikrer en betydelig reduisering av lynstrømmen.
- Alle rør som inneholder brennbare eller antennerlige væsker i området må også oppfylle minimumskrav til veggtykkelse.

I Figur 8.2 ser man hvordan installasjonen av lynavledere fører til eliminering av risiko for nedslag i utsatte områder. Fakkeltårn, helikopterdekk og kran dekker automatisk kravene på samme måte på grunn av deres oppbygning og trenger derfor ikke ekstra beskyttelse. Nedledersystemet i strukturen oppfyller også alle krav i Klasse I og er betydelig bedre en det som foreslås i standarden på grunn av den store sammenhengende metalliske strukturen. Dette kan en lese mer om i 5.2.5 der beskyttelsesteknikker gjennomgås. For simuleringene blir det da å anta fire potensielle treffpunkt fordi lynavleder og helikopterdekk går til den samme utjevningsforbindelsen.



Figur 8.2: Nedslagsfelt med lynavledere
 Kilde: Egenprodusert

8.3 Lynstrømmen

Etter at lynnedlaget har truffet strukturen vil det strømme mot ethvert jordingspotensial i strukturen. Disse finner man i strukturens metalliske ben som er i kontakt med havet. På vei dit er strømmen for stor til at alt kan gå korteste veien. Selv med minimale resistanser vil det faktisk at hele strukturen består av samme materiale føre til en logisk strømdeling der mesteparten av strømmen går vertikalt ned fra nedslagspunktet. Tabell 8.1 viser en prosentvis fordeling av hvor mye av lynstrømmen som går i strukturens fire nedledere (vegger). Her ser en tydelig at nedslagspunktet vil ha en stor betydning på hvor store strømmer det går gjennom de ulike områdene. Dette vil være med å påvirke hvordan de transiente spenningene forstyrrer det elektriske systemet.

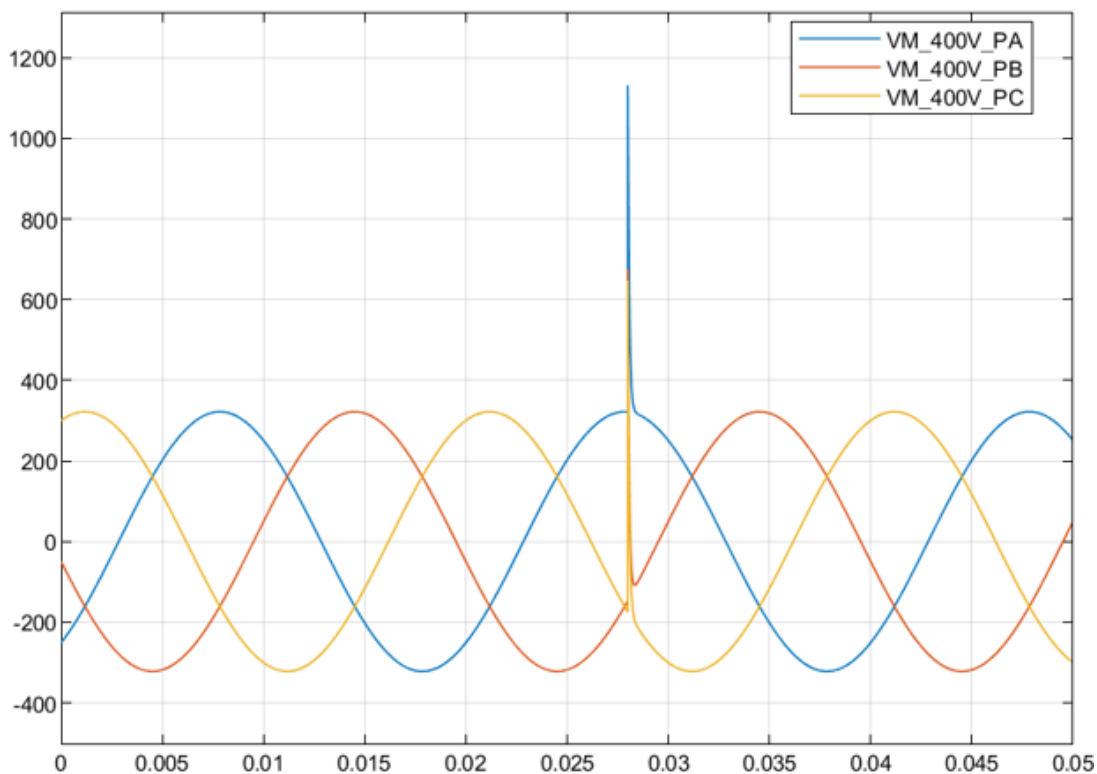
Nedslagspunkt:	Fakkeltårn	Lynavleder (L5)	Kran	Lynavleder (R6)
Nedlederer (Vegg L)	41.1%	33%	14%	12.5%
Nedlederer (Vegg L/C)	31.1%	36.5%	19%	16.1%
Nedlederer (Vegg C/R)	15.4%	17.2%	41.9%	33.1%
Nedlederer (Vegg R)	12.2%	13.2%	25%	38.1%

Tabell 8.1: Lynstrømmer i strukturen

8.4 Overspenninger

I teorien er det mange måter systemene våre kan utsettes for overspenninger. På grunn av plattformens metalliske struktur, som det antas beskytter mot induserte overspenninger, vil vi fokusere på hvordan strømdeling i impedansene i jordingsystemet vil føre til en spenningsoppbygning i nøytralepunktene. Dette er fordi en spenningsoppbygning i nøytralepunktet til en elektrisk maskin vil føre til en lik økning i fase-jord spenningen i maskinen.[32] Målet er å analysere overspenningene og vurdere beskyttelse og isolasjonskoordinering i det elektriske systemet.

Videre i kapitlet undersøkes overspenninger generert av ett lyn med en lynstrøm på 100 kA der overgangsmotstand til jord er satt til 25 m Ω . Verdien ble valgt som en tilnærming da det å beregne reell jordingsimpedans på hele installasjonen er en omfattende oppgave uten klar fremgangsmåte. Da jordingsystemet for det meste består av kobberkabler er ikke dette en dårlig tilnærming. Større kabler i slike systemer har en resistans å under 1 $\frac{\Omega}{\text{km}}$ [34]. Antagelsen gjør at jordingsystemet er ledende nok til å være reelt, samtidig som resistansen er så stor at det oppstår overspenninger i jordingsystemet. Der nødvendig for at overspenningen skal spre seg i det elektriske systemet. Det er viktig å merke seg at overspenningen som systemet opplever endres lineært med overgangsmotstandene i jordingsystemet.



Figur 8.3: Overspenningen i 400 V fordelingsystemet (Fase - Jord)

Kilde: Simulink

Figur 8.3 viser hvordan overspenningen i nullpunktene sprer seg videre til fasespenningen. Denne økningen vil ikke kunne observeres i linjespenningen da alle fasene stiger like mye, og målt linjespenning forblir den samme. Dette gjør at det ikke er mulig å observere en overspenning i nullpunktet bare ved å analysere linjespenningen i systemet.

I Tabell 8.2 ser man den største målte spenningen mellom fase og jord dersom overspenningen treffer når fasespenningen er på topp, avhengig av størrelsen på overgangsmotstanden til jord. Det er verdt å merke seg at en får en kraftig økning i overspenningen med relativt små økninger i overgangsmotstanden til jord.

Spenningsnivå:	Nominell	25 m Ω	50 m Ω	100 m Ω
11kV Generatorspenning	8600 V	9400 V	10 500V	12 500V
11kV Lastspenning	8800 V	9100 V	9500 V	10 500 V
690V Lastspenning 1	590 V	1200 V	2200 V	3800 V
690V Lastspenning 2	560 V	1300 V	2100 V	3600 V
400V Lastspenning	320 V	1100 V	2000 V	3600 V

Tabell 8.2: Maksimale overspenninger (Fase - Jord)

8.5 Påkjenninger på systemet

Som vist i Tabell 8.2 oppstår det betydelige overspenninger i systemet. Disse overspenningene vil kunne påvirke driften av utstyret ombord, i tillegg til de fysiske delene i det elektriske systemet som kabler, isolasjon og andre komponenter. Selv om spenningene er relativt store blir de betydelig mindre når vi ser på dem fra et "støtspenningsperspektiv". Støtspenningene defineres som store spenningsøkninger innen små tidsrom som også forsvinner fort, og i de fleste tilfeller brukes 1.2/50 μ s tilnærmingen. For å få ett forhold til disse kan vi se på data fra NEK 400 (Elektriske Lavspenninginstallasjoner) og Direktoratet for samfunnsikkerhet og beredskap sine veiledninger [17] [35]. Dersom vi ønsker å beskytte alle typer elektrisk utstyr stilles følgende krav:

- Lavspenningsanlegg i overspenningskategori I (400V): 1.5 kV
- Lavspenningsanlegg i overspenningskategori I (690V): 2.5 kV
- Forsyningsanlegg med driftspenning 10kV (Fase-Jord): 95 kV

* Det er verdt å merke seg at verken [17] eller [35] er direkte veiledene for elektriske anlegg innen petroleumsvirksomhet. Det antas derimot at verdiene er relevante nok til å brukes i denne oppgaven.

Sammenligner man disse verdiene med Tabell 8.2 er det tydelig at selv med en lav overgangsmotstand til jord er det definitivt en risiko for at man kan få skader på utstyr og anlegg på lavspennings siden. For å motvirke disse kan man ta i bruk noen av de ulike metodene som gjennomgås i Kapittel 5. Bruken av disse skal undersøkes nærmere i 8.6.

8.6 Beskyttelse av det elektriske systemet

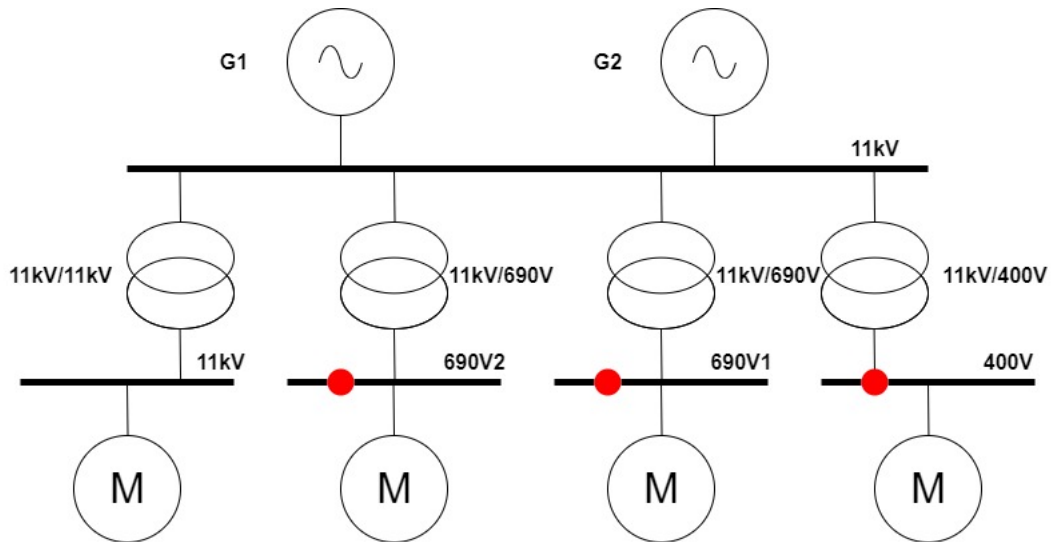
I Kapittel 5 nevnes det mange metoder en kan bruke for å beskytte systemet. Mange av disse handler om den fysiske utformingen og design av jording og nedledersystem med utjevningsforbindelser. Her oppnår man ønsket effekt av mange av de beskyttende tiltakene uten å måtte implementere dem. De enorme kreftene i slike lynnedslag er for store for å kun bruke denne typen teknikker må man iverksette ytterligere tiltak. Ett enkelt tiltak er å installere overspenningsavledere.

For å beskytte systemet mot overspenninger settes det inn overspenningsavledere på alle lavspenningssystemene. Dette fungerer som ett robust, men enkelt overspenningsvern. På 400 V systemet settes det inn en overspenningsavleder med en klippespenning på 750V. På 690 V systemet velges det en overspenningsavleder på 1000V, basert på kravene fra 8.5

Av de tre ulike typene overspenningsavlederene som utredes i 5.2.6, ekskluderes den gassbaserte løsningen. Denne vil kunne lage lysbuer som er svært uønsket i miljøene en finner på slike installasjoner. Da står det mellom den metalloksidbaserte varistortypen og den diodebaserte løsningen. Kan den diodebaserte løsningen kan skaleres opp på dette nivået så vil i praksis begge typene overspenningsavledere fungere.

Metoden som velges er den diodebaserte overspenningsavlederen som forklart i 5.2.6. Her brukes det dioder som brytes ned på ønsket spenningsnivå og lager en kortslutning til jord helt til spenningen kommer innenfor toleranseområdet. Årsaken var da at det ble enklere å opprette en simuleringsmodell for den diodebaserte overspenningsavlederen.

I Figur 8.4 ser man plasseringen av overspenningsavledere markert i rødt. Dette vil beskytte hver del av det elektriske lavspenningsanlegget mot overspenninger. Det er besluttet å ikke beskytte høyspenningssystemet da både generator og transformator skal ifølge de veiledende verdiene ikke være i faresonen for at isolasjonen brytes ned av støtspenninger. Risikoen for at driften på høyspenningssystemet forstyrres anses som lav. Dette er antatt på grunn av at den store induktive belastningen ikke vil forstyrres i betydelig grad av en enkel fasetopp med relativ lav økning i spenningens amplitude.



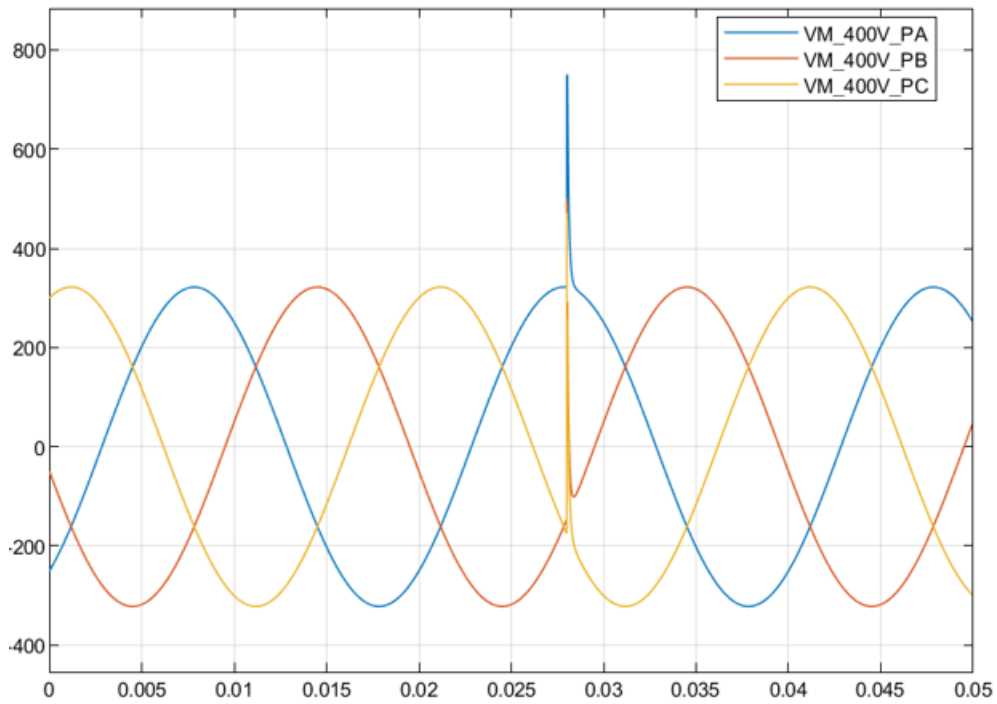
Figur 8.4: Forenklet enlinjeskjema av installasjon, med overspenningsavledere installert
Kilde: Egenprodusert

8.7 Resultat

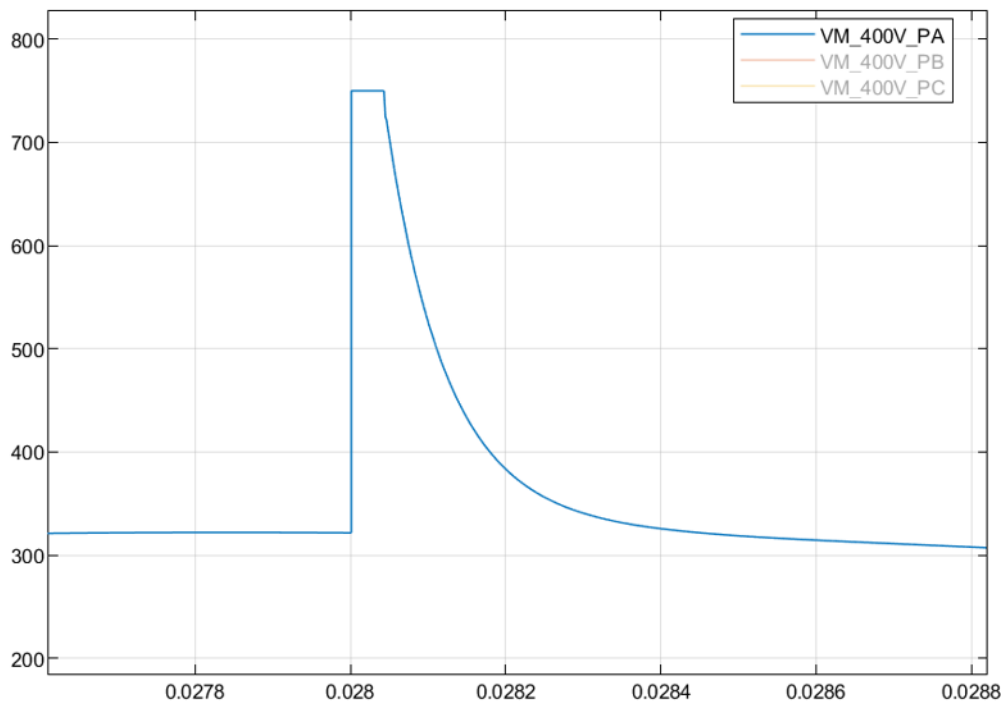
Resultatene fra målingene etter at overspenningsavlederen er installert ser man i Tabell 8.3, Figur 8.5 og Figur 8.6. Her ble det brukt en lynstrøm med amplituden 100 kA.

System:	Nominell	25 mΩ	50 mΩ	100 mΩ
11kV Generatorspenning	8600 V	9400 V	10 500V	12 500V
11kV Lastspenning	8800 V	9100 V	9500 V	10 500 V
690V Lastspenning 1	590 V	1000 V	1000 V	1000 V
690V Avledningsstrøm 1	0 A	22 A	84 A	192A
690V Lastspenning 2	560 V	1000 V	1000 V	1000 V
690V Avledningsstrøm 2	0 A	19 A	77 A	182A
400V Lastspenning	320 V	750 V	750 V	750 V
400V Avledningsstrøm	0 A	13 A	42 A	105A

Tabell 8.3: Maksimale overspenninger med beskyttelse på fordelingskinner (Fase - Jord)



Figur 8.5: Overspenningen i det beskyttede 400 V fordelingsystemet (Fase - Jord)
Kilde: Simulink



Figur 8.6: Klipping av overspenning på 400 V fordelingsystemet (Fase - Jord)
Kilde: Simulink

8.8 Diskusjon

I Tabell 8.3 og Figur 8.5 ser man tydelig hvordan overspenningsavlederene vil kunne håndtere overspenningene. Det som er verdt å merke seg er at størrelsen på overspenningen påvirker strømmen som overspenningsavlederene må tåle. Dette vil være sentralt for dimensjoneringen av systemet som brukes til å avlede overspenninger.

Etter å modellering av et tilnærmet ideelt diodebasert overspenningsvern på lavspenningsanlegget er det tydelig at dette oppnår ønsket effekt. Som forklart i 5.2.6 ser man at overspenningen ”klippes” på ønsket spenningsnivå og holdes der til den overstigende overspenningen er ledet bort fra systemet. Dette er vist i Figur 8.6 Når spenningen på systemet ikke lenger overstiger ”klippespenningen” lukker diodeavlederen og det elektriske systemet tar opp den resterende delen av overspenningen. Denne resterende delen antas at ikke utgjør noe fare for å skade systemets drift eller isolasjon.

Etter et raskt overblikk ser det ut som at alle tiltakene har fungert på forventet måte. Det endelige resultatene blir da en refleksjon av følgende tiltak og effekter:

- Den ”rullende kule” metoden anslår potesielle treffpunkter for lynnedslaget.
- Lynavledere installeres for å beskytte områder der direkte nedslag er uønsket.
- Strukturens metalliske konstruksjon med gode strømførende egenskaper fungerer som et godt jordingssystem.
- Strukturens metalliske egenskaper oppfyller strengeste krav til nedledere og utjevningsforbindelser som hindrer at kreftene fra lynnedslaget samles i ett enkelt område.
- Hvordan det å designe et robust elektrisk system gjør det vanskeligere for systemet å ta opp overspenninger gjennom jordingssystemet, spesielt bruk av resistansjordede nullpunkter.
- Bruken av overspenningsavledere som leder bort den delen av overspenningen som kommer inn i systemet.

Det er verdt å nevne noen momenter som har skapt litt hodebry under arbeidet med denne problemstillingen. Hovedpunktet er de ulike resistansene i jordingssystemet og strukturen. Når det ble testet med tilnærmet ideelle systemer klarte ikke overspenningen å påvirke det elektriske systemet. Dette tyder på at kjernen i problemstillingen omfavner de elektriske motstandene i strukturen og jordingssystemet. Her vil det for å forhindre denne typen overspenning, være kritisk å minimere jordingsmotstanden.

Basert på Ohms lov følger overspenningene omtrentlig forholdet mellom strøm og resistans. Dette gjør overspenningen lineær med lynstrømmens amplitude så lenge jordingsmotstandene i systemet er konstant. Dette gjør blant annet at treffpunktet har litt å si for overspenningen, men ikke i betydelig grad når man ser på problemstillingen i sin helhet. Induserte spenninger er heller ikke tatt hensyn til da oppgaven antar at strukturen vil fungere som et Faradaybur. Dette er nevnt i 5.1.3 og det antas at det har ubetydelig påvirkning og simuleres derfor ikke i denne oppgaven.

Kapittel 9

Case 2: Power From Shore

Tidligere i Case 1 er det blitt satt opp ett simuleringsmiljø med 2 generatorer som kraftforsyning. I denne casen blir kraftforsyningen erstattet med en kabel fra kraftnettet på land. Formålet med denne casen er at man skal utforske hvor langt ut en atmosfærisk overspenning på land forplanter seg i det elektriske systemet.

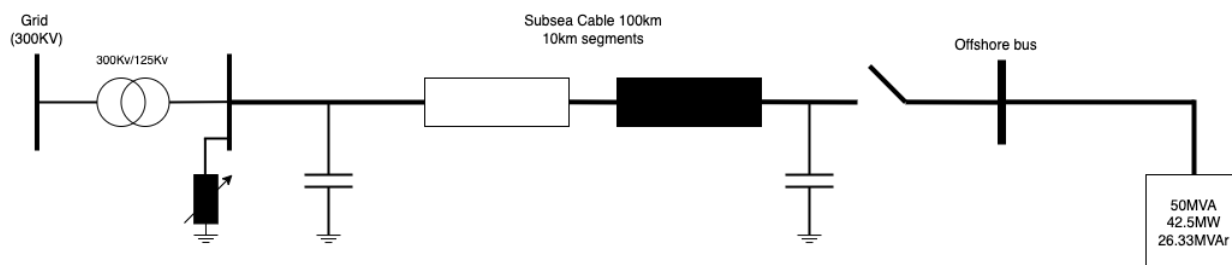
9.1 Kraftforsyning

Kraftforsyningen til offshoreinstallasjonen er kraftnettet på land. Tanken er å ta i bruk landbasert energi slik at man reduserer behovet for generatordrift med fossilt brensel. De fornybare energikildene på land vil derfor kunne redusere karbonutslippet til offshoreinstallasjonene.

9.2 Kabeldata

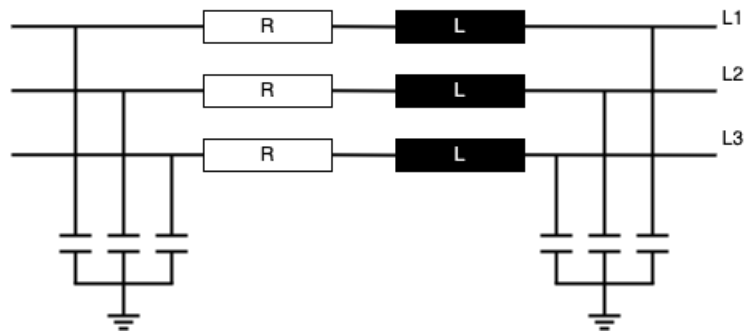
Kabelen som blir tatt i bruk er av typen XLPE. Denne er den mest utbredt kabeltypen på undervanns transmisjonskabler. Det blir tatt utgangspunkt i ABB sin brukarmanual for XLPE kabler for referanseverdier på kabel [36]. Problemstillingen for slike kabler er den store kapasitive belastningen de utsetter strømmettet på land for. Kabellengden settes til 100km.

Det er mye usikkerhet hvordan man skal simulere en slik kabel på en god måte og hvilke impedansverdier en skal bruke. Det tas derfor utgangspunkt i beregninger på ett enkelt system der kabelen er representert med en PI-seksjon. Installasjonen representeres som en enkel last og landanlegget med grunnleggende komponenter. Landanlegget representerer da strømmettet og transformatorstasjon med bryter- og kompenseringsanlegg. Beregningene på dette systemet danner utgangspunktet, endringer på modellen vurderes opp mot dette. Beregningene finnes i Vedlegg 5 [36].



Figur 9.1: Forenklet enlinjeskjema for kabel
Kilde: Egenprodusert

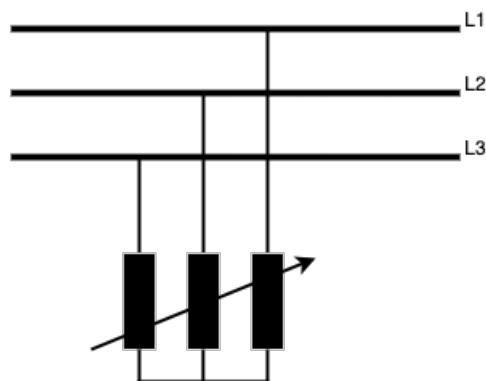
For å simulere kabelen på en reell måte blir det tatt i bruk flere PI-modell seksjoner på 10km. Utforming på PI-modellen er vist i Figur 9.2. Denne modellen er koblet sammen i serie i 10 seksjoner for å representere den totale kabel på 100km.



Figur 9.2: Trefase PI-Modell
Kilde: Egenprodusert

9.3 Kompensering

En kabel av denne lengden er en stor kapasitiv påkjenning for strømmettet på land. Dette gir en dårlig effektfaktor som påvirker strømmettet. For å kunne korrigere effektfaktoren kan man bruke ulike metoder. I denne oppgaven har det blitt vurdert å ta i bruk en shuntreaktor, en form for SVC-anlegg (Static Variable Compensator) eller bare en enkel kompenseringsspole. Det ble besluttet å benytte en enkel kompenseringsspole. Grunlaget bak hvorfor dette er mest aktuelt i ett slikt tilfelle er at man har lite eksterne påkjenninger og ett ganske gjevnt lastuttak, det er også enklere å modellere i simuleringsverktøyet. Kompenseringsanlegget blir plassert etter trafo før kabelstrekket og skal etter beregningene øke effektfaktoren til 0.9 kapasitiv. [37]



Figur 9.3: Kompenseringsanlegg
Kilde: Egenprodusert

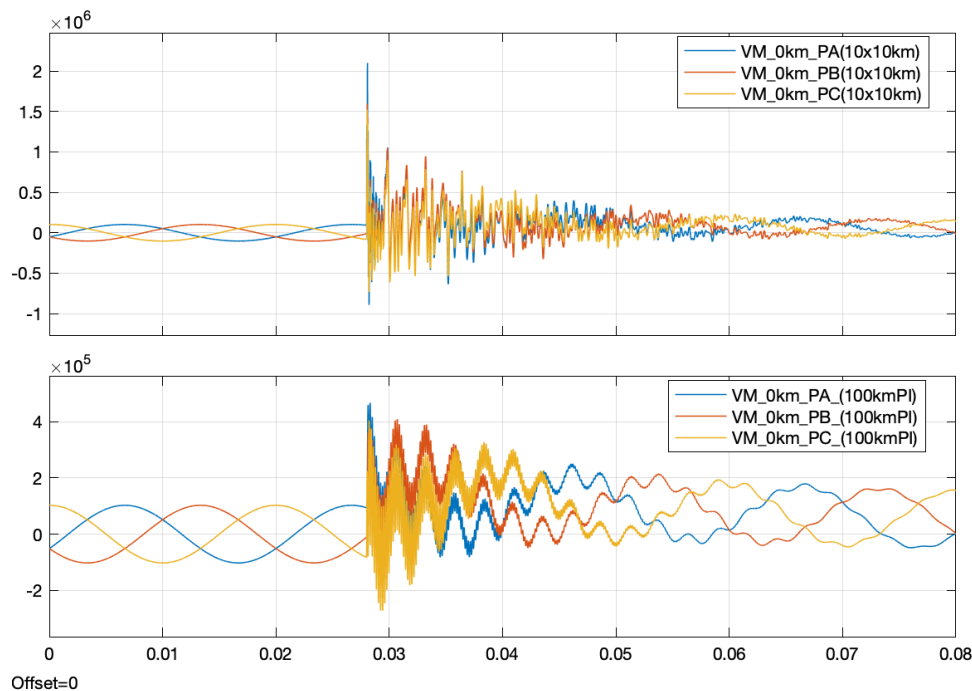
Figur 9.3 viser en forenklet modell av kompenseringanlegget. Dette er i praksis bare en induktiv påkjenning på systemet på land. I simuleringene undersøker hva som skjer med systemer som utsettes for lynnedslag, med og uten kompenseringanlegg.

9.4 Kombinering av simuleringsmodeller

Simuleringsmodellen for kabelen og landanlegg kobles opp mot den eksisterende simuleringsmodellen for installasjonen. Dette ble gjort gradvis for å holde kontroll på hvilke deler av modellen som fugerte godt sammen og hvilke som hadde behov for endringer. Beregningene av systemet ble sjekket for hver nye funksjon som ble lagt inn. Dette førte til at selv med to uavhengige modeller satt sammen fungerte systemene som forventet uten avvik fra kontrollberegningene.

Den største komplikasjonen oppstår når pi modellen utsettes for en transient DC-spenning. PI-modellen er bygd opp med en RL-komponent kombinert med shuntkondensatorer som representerer kapasitansen. Dette fører til at impulsen blir værende i linjen og oscillerer mellom kondensatorene i hver av de 10 individuelle PI-seksjonene. Dette resulterer i en spenningskurve med mye støy, noe som gjør det umulig å tolke resultatene.

PI-modellen er ett nyttig verktøy, men i dette tilfellet er det tydelig at modellen gjør det vanskelig å kombinere med simuleringer av transiente overspenninger. Da problemet er knyttet til antall kapasitive ledd er det mulig å få ett resultat som er enklere å tyde om man forenkler modellen til en enkel PI-seksjon på 100km.



Figur 9.4: Sammenligning av 1x100km og 10x10km PI-linje modell ved Nedslagspunktet
Kilde: Simulink

Figur 9.4 viser mye overharmonisk støy på begge modellene. Det er imidlertid enklere å kunne tolke vandrebølgens refleksjon fra kilde til last ved en enkel 100km PI-seksjon. På grunnlag av dette blir det tatt en beslutning om å bruke 100km PI-seksjonen i simuleringene framover.

9.5 Metode

Simuleringen sitt formål er å utforske om ett lynneslag forplanter seg fra ene siden av kablen til den andre. For å få overblikk rundt problemstillingen undersøkes lynnedslag på begge sider av kablen. Dette gjøres på grunn av de store ulikhetene mellom de elektriske systemene.

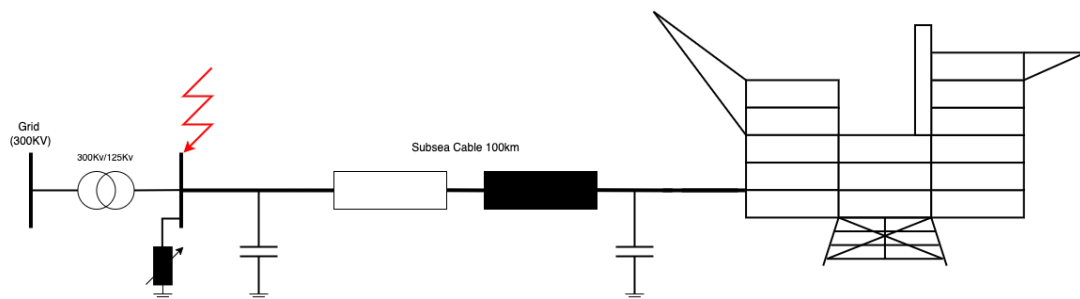
I den første simuleringen undersøkes ett lynnedslag direkte i landanlegget. Formålet med denne simuleringen er først og fremst å undersøke om overspenningen når ut til platformen gjennom kablen. Når resultatene er analysert vil det bli vurdert behov for isolasjonskoordinering og vern.

I den andre simuleringen blir det tatt utgangspunkt i at lynnedslaget treffer installasjonen. Det blir undersøkt om overspenningen når frem til kablen og hvilken konsekvens denne kan ha for systemet på land.

9.6 Lynnedslaget

9.6.1 Lynnedslag i landanlegget

På land er det logisk å simulere ett lynnedslag som har truffet strømmettet og deretter ledes inn til landanlegget. Komplikasjoner med simuleringstøyet gjorde det vanskelig å simulere nedslag i strømmettet på en god måte. Det blir derfor simulert ett lynnedslag direkte i transformatorstasjonen som vist i Figur 9.5. Dette vil ikke være reelt men vil gi resultater som er sammenlignbare med nedslag i strømmettet.

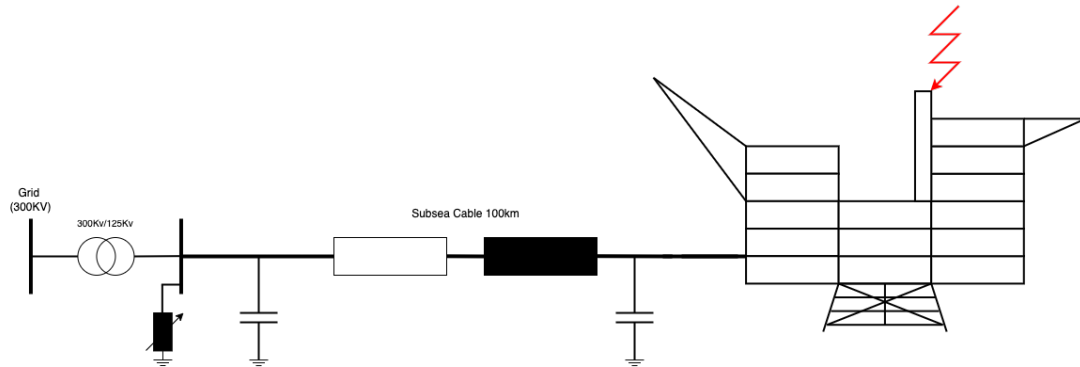


Figur 9.5: Illustrasjon av lynnedslag i systemet

Kilde: Egenprodusert

9.6.2 Lynnedslag i installasjonen

På installasjonen slår den atmosfæriske overspenningen ned i kranen. Simuleringsmodellen for installasjonen er som utledet tidligere i kapittel 7 ganske opparbeidet. Fokuset i denne simuleringen blir derfor om utjevningsforbindelsene og nedledeerne leder overspenningen til jord så effektivt at landstrømskabelen ikke påvirkes av eventuelle overspenninger.



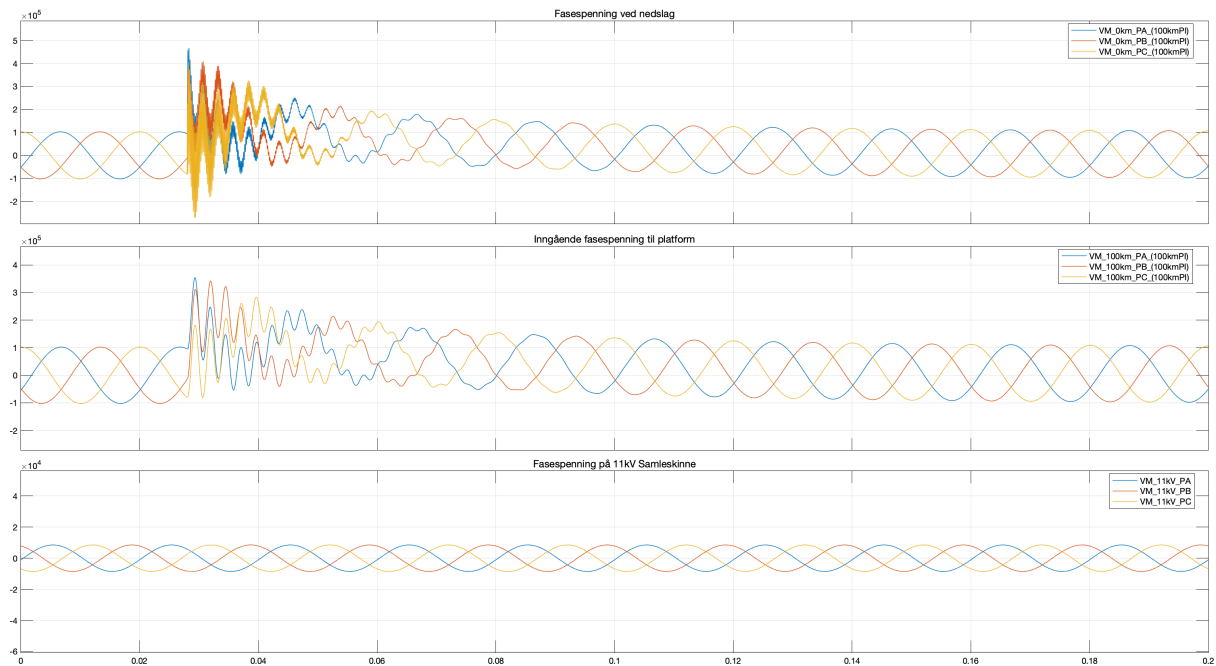
Figur 9.6: Illustrasjon av lynnedslag i systemet

Kilde: Egenprodusert

9.7 Resultat

9.7.1 Nedslag på land

Observeres spenningen fra nedslagspunktet oppstår det en forstyrrelse som vises i Figur 9.7. I figuren vises også spenningen på inntaksskinnen til installasjonen. Det er tydelig at når lynnedslaget treffer oppstår det en spenningsøkning i kabelen, samtidig som det opprettholdes en spenning i systemet som er større enn driftsspenningen. Denne avtar gradvis og spenningen returneres til normal driftsspenning.



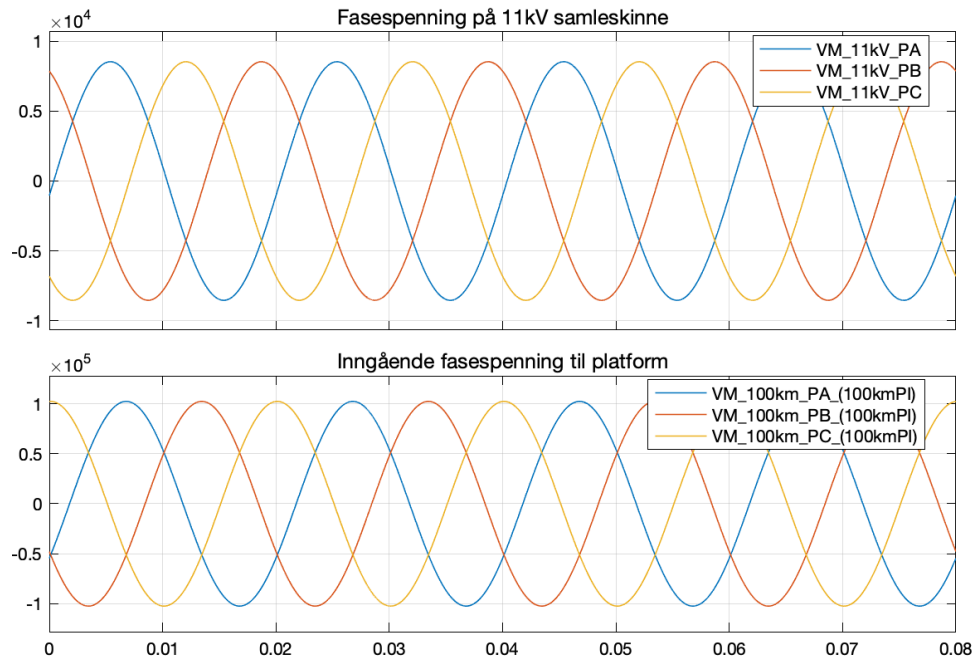
Figur 9.7: Spenning ved lynnedslag på land (Fase - Jord)

Kilde: Simulink

En ser også tydelig i Figur 9.7 at spenningen ikke smitter over til distribusjonssystemet på installasjonen. Det ble observert noen små harmoniske forstyrrelser som varte i en halv periode etter nedslaget på alle fasene. Da de harmoniske svingningene hadde en størrelse på mindre enn ett prosent i forhold til fasespenningen og antas dermed disse å ikke forstyrre systemet i nevneverdig grad.

9.7.2 Lynnedslag i installasjonen

Når lynnedslaget treffer installasjonene følger resultatene samme mønster som en observerer i case 1. Dette kommer tydelig frem i Tabell 9.1 som viser overspenninger over de ulike samleskinnene. På installasjonens koblingspunkt med strømkabelen ble det ikke observert noe form for overspenning. Dette vises i Figur 9.8.



Figur 9.8: Spenning ved lynnedslag på installasjon (Fase - Jord)

Kilde: Simulink

Spenningsnivå:	Nominell	Uten overspenningsvern	Med overspenningsvern
11kV Samleskinne	8600 V	9000 V	9000 V
11kV Lastspenning	8800 V	9200 V	9200 V
690V Lastspenning 1	590 V	1110 V	1000 V
690V Lastspenning 2	560 V	1160 V	1000 V
400V Lastspenning	320 V	1020 V	750 V

Tabell 9.1: Maksimale overspenninger ved nedslag i installasjonen (Fase - Jord)

9.8 Diskusjon

9.8.1 Lynnedslag på land

Når man undersøker problemstillingen med lynnedslag i landanlegg og hvordan dette påvirker installasjonen er det mye usikkerhet rundt modelleringen av strømkabelen og landanlegget. Dette gjør at resultatene som presenteres er de som nærmest samsvarer til teoriene som ble brukt til å modellere kabelen. Det ble også nevnt at nedslagspunktet ble i samleskinnen på landanlegget. Konsekvensene av dette er at det ikke blir tatt hensyn til landanleggets påvirkning på en ekstern vandrebølge. I landanlegget finner man blant annet ett galvanisk skille i inntakstransformatoren, noe som kan være avgjørende for å forhindre videreføringen av denne spenningsbølgen.

Den første en merker seg er at etter lynnedslaget blir det mye harmonisk støy på sytemet i de påfølgende periodene. Dette antas å være resultatet av at en utsetter reaktive komponenter for en DC-transient spenning i ett lukket system. Det er tydelig at den harmoniske støyen er spenningsresonans mellom kondensatorene som brukes til å representere kapasitansen en slik strømkabel. Dette baseres på forskjellen i antall seksjoner og derifra antallet kondensatorer, forskjellen presenteres i Figur 9.4.

Denne kapasitansen antas også å være grunnen til at en observerer en helt annen type overspenning enn i case 1. I Figur 9.7 ser man på begge sidene av kabelen en økning i potensialet i systemet. Dette fører til at systemets spennings har samme frekvens og amplitudeverdi, men nullpunktet flyttes oppover. Denne økningen avtar gradvis og systemet returnerer til sin stabile tilstand.

Det er tydelig at påkjeningen fra lynnedslaget har en betydelig effekt på kabelen. Ikke bare øyeblikket nedslaget inntreffer men også en lengre periode etter. Vandrebølgen når installasjonen og fortsetter til transformeringen ned til 11kV. Nederst på figur 9.7 ser man tilnærmet ingen påkjening på 11kv samleskinnen etter step-down transformeringen. Det er dermed at lynnedslag med påfølgende overspenning vil nå ut til installasjonen gjennom kabelen, men overspenningen vil ikke påvirke det elektriske systemet. Dette kan minne om refleksjonene av vandrebølgen en observerer mellom ulike stasjoner ved nedslag i strømnettet på land som beskrevet i [9].

9.8.2 Lynnedslag på installasjonen

Fra tabell 9.1 kan det observeres at verdiene tilsvarer resultatet fra tabell 8.2 fra case 1. Det elektriske systemet har ikke endret seg fra case 1 til case 2. Det ser derfor ut som at det å bytte kraftforsyning påvirker overspenningen ved nedslag i installasjonen.

I Figur 9.8 ser man at overspenningen i installasjonene ikke påvirker kabelen. Basert på målingene finner vi at det ikke er observert overspenning på 11kv samleskinnen eller på inngående fasespenning til platformen. Det kan være flere faktorer som spiller inn på dette, men basert på tidligere utledet teori i kapittel 6 og Vedlegg 5 [36] kan vi se at motstanden i kabelen på 100km er over 5Ω og jordingsresistansen i jacketen er 0.4Ω . Denne forskjellen i resistans antas å være grunnen til at en ikke observerer noe overspenning i kabelen.

Noe som kunne endret dette er dersom man koblet kabelens jording inn mot installasjonens jording. Det er tydelig fra case 1 at overspenningene kom fra jordingsystemet, men her vil det også være problematikk knyttet til jordingsimpedansen i kabelen i forhold til jacketten. Det ble ikke tatt stilling til ett system med jording av kabelen i installasjonen i case 2. Grunnen til dette er manglende data på hvordan ett slikt system er satt sammen. Dette skal i teorien gi et annet resultat, men det ble ikke undersøkt i denne oppgaven.

Kapittel 10

Konklusjon

Gjennom rapporten får en innføring i mange av metodene som brukes til å redusere påvirkningen ett lynnedslag har på en struktur eller ett elektrisk system. Videre ser vi hvordan den metalliske strukturen til en slik installasjon bidrar til mange at mange av disse beskyttende tiltakene er tilstede i strukturen. Lynstrømmene håndteres derfor på en god måte gjennom installasjonen metalliske konstruksjon på vei mot jord. Noe som fører til at det er behov for mindre overspenningsbeskyttelse på de elektriske systemene. Videre undersøkes hvordan lynnedslag på land påvirker offshoreinstallasjoner som driftes med strøm gjennom kabel fra land.

10.1 Case 1

Samlet sett viser fremgangsmetodene som brukes i case 1 gode resultater når man angriper problemstillingen på denne måten. Det er tydelig at påkjennningene fra lynnedslaget reduseres i stor grad på grunn av konstruksjonens naturlige beskyttende egenskaper. Disse egenskapene gjør det enkelt å beskytte systemet mot de resterende kreftene. I starten av dette kapitlet blir det nevnt at NORSOK standarden for offshoreinstallasjoner kun setter ett spesifikt krav til beskyttelse av slike installasjoner, en sammenhengende metallisk struktur. Det er tydelig at det meste av overspenningsproblematikken løser seg selv på grunn av strukturens metalliske oppbygning og de naturlige gode jordingsegenskapene som følger med. Den resterende overspenningen kan derfor enkelt håndteres av overspenningsvernet på installasjonen.

Det blir nevnt i Vedlegg 6 at de har god beskyttelse i det elektriske systemet ombord på slike installasjoner som håndterer overspenninger av alle typer. Dette tyder på at så lenge en oppfylder kravene for å beskytte det elektriske systemet mot generelle overspenninger og krav til design av jordingssystemet på slike installasjoner er det ikke behov for noe spesifikk beskyttelse mot overspenninger som resultat av lynnedslag. Det er derimot viktig å ha i bakhodet under designfasen at overspenningsvernet skal håndtere strømmer i betydelige størrelser, spesielt hvis installasjonene utsettes for de største lynnedslagene som registreres.

10.2 Case 2

Case 2 preges av mye usikkerhet rundt simuleringsmodellen som brukes til å representere strømkabelen fra land. Det viser seg at modellene som brukes til å representere kabeloverføringer ikke er så lett å kombinere med transiente DC-spenninger. Dette førte til mye usikkerhet rundt resultatene fra simuleringen og etter disuksjon valgte vi den modellen som returnerte det resultatet som virket mest teoretisk korrekt.

En ser tydelige forskjeller basert på om lynnedslaget treffer i installasjonen eller på

land. Resultatene tyder at kabelen ikke blir preget av lynnedslag som treffer i installasjonen, men den blir kraftig påvirket dersom lynnedslaget treffer systemet på land. Lynneslaget resulterer i en overspenning som spres gjennom kabelen. Denne vandrebølger tyder på å reflekteres tilbake når den når installasjonen og fører til en overspenning på begge sider av kabelen. Det er tydelig at det er grunnlag for å installere overspenningsbeskyttelse. Dette ble ikke tatt stilling til i rapporten da det var mye usikkerhet rundt resultatene fra simuleringsmodellen og bruken av disse.

10.3 Måloppnåelse

Det første rapporten skulle gjøre var å sette leseren inn i atmosfæriske utladninger. Fokuset var da på å gi leseren forståelse og innføring i den sentrale problemstillingen til oppgaven. Videre flytter rapporten fokuset over til metoder og teknologi som brukes til å beskytte seg mot kreftene som kommer fra et slikt lynnedslag. Her ble det brukt mye relevant fagstoff til å hente ut de mest effektive og oversiktlige metodene som brukes i dag og presentere dem til leseren. Dette ga en god innføring i hvordan gruppen fikk forståelse for stoffet og problemstillingen som gjorde arbeidet videre enklere.

Herfra skifter oppgaven fokus, og oppdragsgivers ønsker var å undersøke et par problemstillinger innefor området. Her ble det da lagt vekt på å bruke relevante standarder, veiledninger og regelverk for å kunne opprette realistiske modeller basert på relevant regelverk. Dette ga god læring i det å lese regelverk, standarder og veiledninger for så å bruke denne informasjonen til å opprette simuleringsmodeller som følger disse veiledningene. Resultatene viser tydelig effektiviteten til de diskuterte metodene og teknikkene. Det er tydelig at de sentrale temaene som legges frem gjennom rapporten gir en sterk grunnleggende innføring i tiltak som motvirker atmosfæriske utladninger.

10.4 Videre arbeid

Det er et par ting som gruppen ikke fikk utført som er veldig relevant for denne problemstillingen. Videre arbeid med denne oppgaven vil være å undersøke hvordan en skal fremstille jordingsystemet på en slik installasjon på en god måte. Gruppen ønsket å modellere ett jordingsystem med riktige overgangsmotstander. Størrelse på kabler, avstander og kabeltype er betydelig for at overgangsmotstanden kan beregnes. Gruppen fant heller ikke noe godt svar på hvilke type overspenningsvern som brukes på slike installasjoner. Det ble derfor antatt at bruken av "Silicone Avalanche Diode" teknologien kan skaleres opp til å håndtere de strømmene oppstår i slike tilfeller. Her kan en også utvide til å se på generelt overspenningsvern på installasjonen.

Strømkabelen fra land til installasjonen var også ett betydelig stykke arbeid å simulere på en god måte. Når det kom til trefase driftsituasjoner viste denne seg å være tilnærmet korrekt i forhold til teori og beregninger. Det ble derimot mye problemer nå denne ble utsett for transiente DC-støt. DC-harmoniske svingninger og spenningsreflektering mellom kondensatorene var blant de største usikkerhetsmomentene. Det å designe en mer reell simuleringsmodell når det kommer til hvordan DC-transienter påvirker en slik strømkabel kan være en spennende oppgave innenfor en slik problemstilling.

Referanser

- [1] «NORSOK Standard E-001:2016,» International Organization for Standardization, Geneva, CH, Electrical systems, 2016.
- [2] «IEC 62305-1, Protection against lightning - Part 1: General Principles,» International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland, International Standard, 2010.
- [3] A. Galván, «A technical basis for guidance of lightning protection for offshore oil installations,» *J. Lightning Res.*, årg. 3, nr. 9, 2007.
- [4] K. Kužić, «GRMLJAVINSKE OLUJE, UDARI GROMA I VATRA SV. NIKOLE U HRVATSKIM PRIMORSKIM KRAJEVIMA (14.-18. st.),» *Hrvatski meteorološki časopis*, årg. 47, nr. 47, s. 69–97, 2012.
- [5] *Plasma*, <https://scied.ucar.edu/learning-zone/sun-space-weather/plasma>, Hentet: 22.01.2024.
- [6] *Plasmas Explained*, <https://www.sciencelearn.org.nz/resources/238-plasmas-explained>, Hentet: 22.01.2024.
- [7] H. K. Høidalen, «Overspenninger,» *NTNU lecture notes for TET4130*, 2023.
- [8] *Lyn*, *Store Norske Leksikon*, <https://snl.no/lyn>, Hentet: 22.01.2024.
- [9] L. Sivertsen, *Høyspenningssystemer*, ISBN: 978-82-450-3353-3. Fagbokforlaget, 2020.
- [10] H. D. Young og R. A. Freedman, *University Physics with Modern Physics, 15th Edition*, ISBN 978-1-292-31473-0. Pearson Education Limited, 2020.
- [11] E. Nicolopoulou, I. Gonos og I. Stathopoulos, «Lightning Induced Overvoltages In The Electric Network Of A Ship,» i *2018 IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Application (ICHVE)*, IEEE, 2018, s. 1–4.
- [12] K. Samaras, C. Sandberg, C. J. Salmas og A. Koulaxouzidis, «Electrical surge-protection devices for industrial facilities—A tutorial review,» *IEEE Transactions on Industry Applications*, årg. 43, nr. 1, s. 150–161, 2007.
- [13] S. Okabe, J. Takami, T. Tsuboi, G. Ueta, A. Ametani og K. Hidaka, «Discussion on standard waveform in the lightning impulse voltage test,» *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, årg. 20, nr. 1, s. 147–156, 2013.
- [14] *What is a Faraday cage?* <https://www.livescience.com/what-is-a-faraday-cage>, Hentet: 19.02.2024.
- [15] *Dielectric breakdown*, <https://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/dielectrics/breakdown.php>, Hentet: 08.02.2024.
- [16] «IEC 62305-3, Protection against lightning - Part 3: Physical damage to structures and life hazard,» International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland, International Standard, 2010.
- [17] «Elektriske lavspenningsinstallasjoner,» Norsk Elektroteknisk Komite, Oslo, Norge, Norsk Standard, 2022.

- [18] *Veiledning til forskrift om elektriske forsyningsanlegg*, <https://www.dsb.no/lover/elektriske-anlegg-og-elektrisk-utstyr/veiledning-til-forskrift/veiledning-til-forskrift-om-elektriske-forsyningsanlegg>, Hentet: 26.02.2024.
- [19] *Lightning and surge protection - Basic Principles*, <https://www.eaton.com/content/dam/eaton/products/process-safety-automation-test-and-measurement/crouse-hinds/white-papers-and-application-notes/crouse-hinds-mtl-lighting-surge-protection-basic-application-note.pdf>, Hentet: 29.02.2024.
- [20] «IEEE C62.42.2-2022, Guide for the Application of Surge-Protective Components in Surge-Protective Devices and Equipment Ports—Part 2: Metal- Oxide Varistors (MOVs),» Institute of Electrical og Electronics Engineers, New Jersey, USA, International Standard, 2022.
- [21] A. Beutel og J. Van Coller, «The application of silicon avalanche diodes on low-voltage power systems,» *IEEE transactions on industry applications*, årg. 41, nr. 4, s. 1107–1112, 2005.
- [22] *First Principles of a Gas Discharge Tube (GDT) Primary Protector*, https://www.mouser.com/pdfdocs/bourns_gdt_white_paper.pdf, Hentet: 04.03.2024.
- [23] «IEC 61892-2, Mobile and fixed offshore units - Electrical installations - Part 2: System design,» International Organization for Standardization, Geneva, CH, International Standard, 2019.
- [24] L. Heng, X. Nenghong, T. Jianlin og Q. Chao, «Modeling of Offshore Wind Turbine Under Lightning Stroke and Analysis of Impact Factors on Transient Overvoltage,» i *2019 11th Asia-Pacific International Conference on Lightning (APL)*, IEEE, 2019, s. 1–6.
- [25] A. Haddad og D. F. Warne, *Advances in high voltage engineering*. IET, 2004, bd. 40.
- [26] O. Group. «Edvard Grieg: An oil platform i born.» (2016), adresse: <https://www.omv.com/en/blog/edvard-grieg-an-oil-platform-is-born> (sjekket 09.03.2024).
- [27] S. Tao, X. Zhang og Y. Wang, «A modeling analysis of grounding resistance and sea surface potential on the jacket foundation offshore wind turbines,» i *E3S Web of Conferences*, EDP Sciences, bd. 72, 2018, s. 01 004.
- [28] M. A. El-Reedy, *Offshore Structures - Design, Construction and Maintenance (2nd Edition)*. Elsevier, 2020, ISBN: 978-0-1281-6191-3. adresse: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpOSDCME01/offshore-structures-design/offshore-structures-design>.
- [29] D.-D. Nguyen og C. Sinsabvarodom, «Nonlinear behavior of a typical oil and gas fixed-jacket offshore platform with different bracing systems subjected to seismic loading,» i *20th National Convention on Civil Engineering Conference, Thailand*, 2015.
- [30] V. C. Le, M. Slodička og K. Van Bockstal, «A time discrete scheme for an electromagnetic contact problem with moving conductor,» *Applied Mathematics and Computation*, årg. 404, s. 125 997, 09.2021. DOI: 10.1016/j.amc.2021.125997.
- [31] E. Resistivity, «An American National Standard IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System,»

- [32] L. Sivertsen, *Elektriske Maskiner*, ISBN: 978-82-450-3296-3. Fagbokforlaget, 2020.
- [33] *A Comprehensive Modeling and Simulation of Power Quality Disturbances Using MATLAB/SIMULINK*, <https://www.intechopen.com/chapters/48982>, Hentet: 08.04.2024.
- [34] *Aluminum and Copper Wires - Electrical Resistance vs. Cross-Sectional Area*, https://www.engineeringtoolbox.com/copper-aluminum-conductor-resistance-d_1877.html, Hentet: 17.04.2024.
- [35] *Veiledning til forskrift om elektriske forsyningsanlegg*, <https://www.dsb.no/1over/elektriske-anlegg-og-elektrisk-utstyr/veiledning-til-forskrift/veiledning-til-forskrift-om-elektriske-forsyningsanlegg/>, Hentet: 18.04.2024.
- [36] A. high voltage cable unit in Sweden, «XLPE Submarine Cable Systems Attachment to XLPE Land Cable Systems - User´s Guide,» årg. Rev 5, 04.2010.
- [37] J. T. Arnesen, «Optimal bruk av reaktive ressurser,» masteroppg., UiT Norges arktiske universitet, 2021.

Kapittel 11

Vedlegg

Vedlegg 1: Komponentparametere

Generatorer:

- $S_N = 25 \text{ MVA}$
- $U_N = 11 \text{ kV}$
- $x_d'' = 0.16 \text{ pu}$
- $x_d' = 0.20 \text{ pu}$
- $x_d = 1.49 \text{ pu}$
- $x_0 = 0.5 x_d''$

Transformatorer:

Tabell 11.1: Transformatorparametere

U_N	S_N	$e_r \%$	$e_x \%$	e_{0x}
11 kV til 11 kV	25 MVA	1.2 %*	4.2 %*	~ 0.62 *
11 kV til 690 V	10 MVA	1.5 %*	4.5 %*	~ 0.65 *
11 kV til 690 V	7.5 MVA	1.7 %*	4.7 %*	~ 0.67 *
11 kV til 400 V	7.5 MVA	1.9 %*	4.9 %*	~ 0.69 *
<50 kV	< 50 MVA	1 - 2 %*	4 - 6 %*	~ 0.6 *

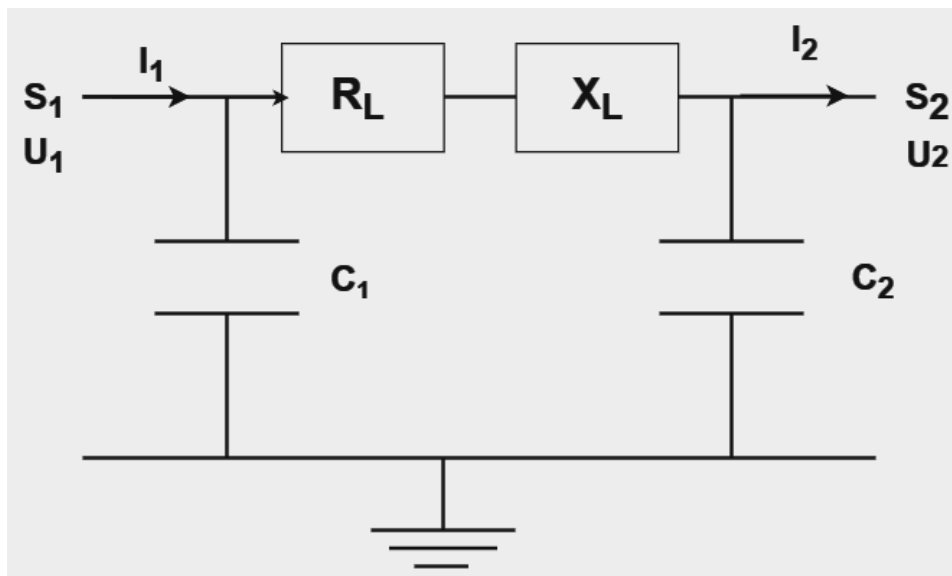
- * betyr at verdien er hentet fra transformatorer i samme område, men noe ulikt spenningsnivå og omsetningsforhold. Basert på verdier fra flere transformatorer antas dette som en god nok tilnærming.

Vedlegg 2: Verifikasjonsberegning av Simulink

For å undersøke om simuleringsverktøyet fungerer på antatt måte settes det opp en modell av en enkel trefase overføringslinje. Her simuleres linjen med hjelp av grunnleggende 3-fase komponenter. Det er utført manuelle beregninger for å ha noe en kunne sammenligne med, og deretter verifisering av at komponentene i modellen fungerte som antatt. Dette var også til god hjelp for å bli bedre kjent med de ulike komponentene i simuleringsverktøyet.

I Figur 11.2 presenteres en oversikt over simuleringsmodellen som ble brukt. Verdiene som brukes i beregningene er:

- Last(S_2): $P=120$ MW, $U_2=132$ kV, $\cos \varphi= 0.84$
- Linje (L): $l=75$ km, $r_L=0.12 \frac{\Omega}{\text{km}}$, $x_L=0.41 \frac{\Omega}{\text{km}}$, $c_L=0.91 \frac{\text{nF}}{\text{km}}$



Figur 11.1: PI-Modell for overføringslinje
Kilde: Egenprodusert

Vi starter med å finne impedansverdiene for linjen, merk at PI-modellen deler linjekapasitansen i C_1 og C_2 . Vi må derfor finne total kapasitans først og deretter dele denne på 2.

$$\text{Linjeresistans} = R_L = r_L \cdot l = 0.12 \frac{\Omega}{\text{km}} \cdot 75 \text{ km} = 9 \Omega$$

$$\text{Linjeimpedans(Induktiv)} = X_L = x_L \cdot l = 0.41 \frac{\Omega}{\text{km}} \cdot 75 \text{ km} = 30.75 \Omega$$

$$\text{Linjekapasitans} = C_1 = C_2 = \frac{c_L \cdot l}{2} = \frac{0.91 \frac{\text{nF}}{\text{km}} \cdot 75 \text{ km}}{2} = 0.341 \mu\text{F}$$

$$\text{Linjeimpedans(Kapasitiv)} = X_{c_1} = X_{c_2} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0.341 \mu\text{F}} = 9327.8 \Omega$$

En finner strømmene I_2 og I_{C_2} basert på effekten i lastuttaket.

$$\text{Laststrøm} = I_2 \angle \varphi_2 = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_L \cdot \cos \varphi} = \frac{120 \text{ MW}}{\sqrt{3} \cdot 132 \text{ kV} \cdot 0.84} = 624.8 \angle -32.9^\circ \text{ A}$$

$$\text{Kondensatorstrøm} = I_{C_2} \angle \beta_2 = \frac{U_L}{\sqrt{3} \cdot X_{C_2} \angle -90^\circ} = \frac{132 \text{ kV}}{\sqrt{3} \cdot 9327.8 \Omega \angle -90^\circ} = 8.17 \angle 90^\circ \text{ A}$$

Ved å legge disse strømmene sammen finner man linjestrømmen i modellen. Dette er strømmen gjennom spolen og resistansen.

$$\text{Linjestrøm} = I_L \angle L = I_2 \angle \varphi_2 + I_{C_2} \angle \beta_2 = 624.8 \angle -32.9^\circ \text{ A} + 8.17 \angle 90^\circ \text{ A} = 620.4 \angle -32.3^\circ \text{ A}$$

Når man kjenner linjestrømmen kan man analysere spenningsflyten og finne spenningen i punkt 1.

$$\begin{aligned} \text{Kildespenning}(fase) &= U_1 \angle \psi = \frac{U_L \angle 0^\circ}{\sqrt{3}} + I_{L \angle L} \cdot (R + X_L \hat{I}) \\ &= \frac{132 \text{ kV}}{\sqrt{3}} + 620.4 \angle -32.3^\circ \text{ A} \cdot (9 + 30.75 \hat{I}) \Omega = 92 \angle -8.2^\circ \text{ kV} \end{aligned}$$

Ved å bruke denne spenningen kan vi finne strømmene i punkt 1.

$$\text{Kondensatorstrøm} = I_{C_1} \angle \beta_1 = \frac{U_1 \angle \psi}{X_{C_2} \angle -90^\circ} = \frac{92 \angle -8.2^\circ \text{ kV}}{9327 \angle -90^\circ \Omega} = 9.87 \angle 98.2^\circ \text{ A}$$

$$\text{Kilderstrøm} = I_1 \angle \varphi_1 = I_{L \angle L} + I_{C_1} \angle \beta_1 = 620.4 \angle -32.3^\circ \text{ A} + 9.87 \angle 98.2^\circ \text{ A} = 614 \angle -31.16^\circ \text{ A}$$

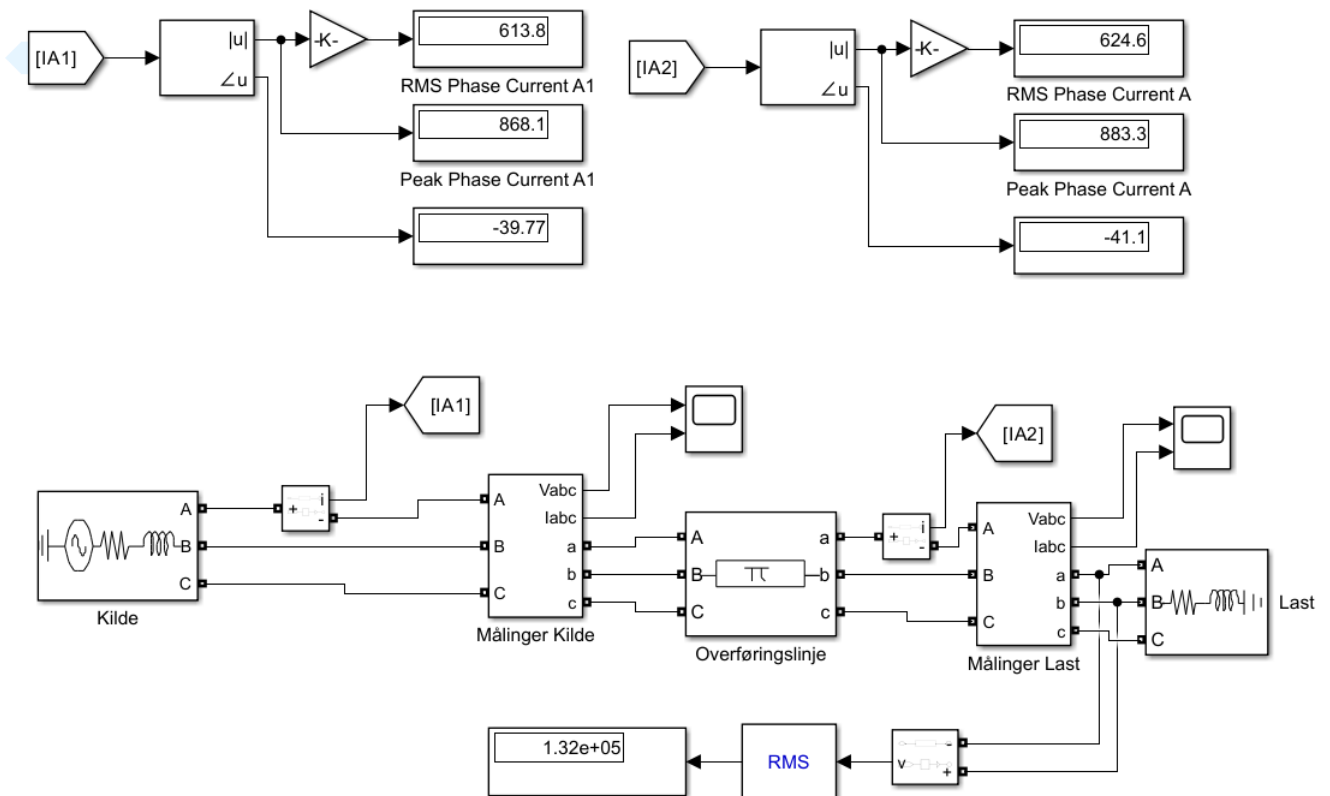
Vi kan finne linjespenningen i punkt 1

$$\text{Kildespenning} = U_{L_1} = U_1 \cdot \sqrt{3} = 92 \text{ kV} \cdot \sqrt{3} = 159.3 \text{ kV}$$

Basert på utregningene vil det da være sentralt at følgende verdier måles når man modellerer dette i simulink.

- Linjespenning $U_{L_2} = 132 \text{ kV}$
- Laststrøm $I_2 = 624.8 \text{ A}$
- Kildespenning $U_{L_1} = 159.3 \text{ kV}$
- Kildestrøm $I_1 = 614 \text{ A}$

I Figur 11.2 vises verdier for strømmer og spenninger og vi ser at simuleringen leverer samme strømmer som beregningene anslår. Det eneste vi variabelen blant de fire som var kritiske som ble kontrollert i undersøkelsen var kildespenningen U_{L_1} . Denne ble satt til 159.45 kV , og kilden måtte settes som ideell for at beregningene skulle stemme. Denne antagelsen blir ikke tatt med videre i oppgaven, da simuleringsprogrammet har muligheter for bruk av kilder med intern impedans. Utifra videre simuleringer så bidro en ikke-ideell kilde til et større spenningsfall, og dette samsvarer godt med teorien bak slike systemer. Utenom modellen som vises i figuren ble det også testet bruk av trefase spenningstransformatorer. Bruken av en ideell transformator førte også til minimale avvik fra beregnede resultater. Basert på dette virker simulink som er godt verktøy til å beregne litt mer avanserte systemer en ikke har mulighet til å kontrollregne for hånd.



Figur 11.2: Verifikasjon av grunnleggende simuleringsmiljø

Kilde: Egenprodusert

Vedlegg 3: Kortslutningsberegninger

For å kunne bestemme størrelsen på motstandene som skulle brukes til å resistansjorde systemet ble det utført noen enkle kortslutningsberegninger på installasjonen. Da planen var å implementere resistansjord ble det brukt teori om symmetriske komponenter til å utføre beregningene. Her brukes verdiene fra Vedlegg 1. Metoden som brukes kan en lese mer om i og bygger på beregninger av kortslutninger gjennom transformator med direktejordet nullpunkt.

Generatorimpedanser

$$\text{Plussimpedans}(Ref : 11kV) = X_d^+ = X_d \cdot \frac{U_K^2}{S_N} = 1.49 \cdot \frac{11kV^2}{25MVA} = 7.21 \Omega$$

$$\text{Minusimpedans}(Ref : 11kV) = X_d^- = X_d'' \cdot \frac{U_K^2}{S_N} = 0.16 \cdot \frac{11kV^2}{25MVA} = 0.77 \Omega$$

$$\text{Nullimpedans}(Ref : 11kV) = X_d^0 = 0.5 \cdot X_d'' \cdot \frac{U_K^2}{S_N} = 0.5 \cdot 0.16 \cdot \frac{11kV^2}{25MVA} = 0.39 \Omega$$

$$\text{Plussimpedans}(Ref : 690V) = X_d^+ = X_d \cdot \frac{U_K^2}{S_N} = 1.49 \cdot \frac{690V^2}{25MVA} = 0.06 \Omega$$

$$\text{Minusimpedans}(Ref : 690V) = X_d^- = X_d'' \cdot \frac{U_K^2}{S_N} = 0.16 \cdot \frac{690V^2}{25MVA} = 0.01 \Omega$$

$$\text{Nullimpedans}(Ref : 690V) = X_d^0 = 0.5 \cdot X_d'' \cdot \frac{U_K^2}{S_N} = 0.5 \cdot 0.16 \cdot \frac{690V^2}{25MVA} = 0.005 \Omega$$

Transformatorimpedanser

$$\text{Kortslutningsresistans}(11kV) = R_K = R_T^+ = R_T^- = R_T^0 = e_r \% \cdot \frac{U_K^2}{S_N} = 1.2 \% \cdot \frac{11kV^2}{25MVA} = 0.058 \Omega$$

$$\text{Kortslutningsimpedans}(11kV) = X_K = X_T^+ = X_T^- = e_x \% \cdot R_K = 4.2 \cdot 0.058 = 0.244 \Omega$$

$$\text{Nullimpedans}(11kV) = X_{T0} = e_x \cdot e_{0x} \% \cdot \frac{U_K^2}{S_N} = 0.042 \cdot 0.62 \cdot \frac{11kV^2}{25MVA} = 0.126 \Omega$$

10 MVA

$$\text{Kortslutningsresistans}(690V) = R_K = R_T^+ = R_T^- = R_T^0 = e_r\% \cdot \frac{U_K^2}{S_N} = 1.5\% \cdot \frac{690V^2}{10MVA} = 0.0007 \Omega$$

$$\text{Kortslutningsimpedans}(690V) = X_K = X_T^+ = X_T^- = e_x\% \cdot R_K = 4.5\% \cdot 0.0007 = 0.0032 \Omega$$

$$\text{Nullimpedans}(690V) = X_{T0} = e_x \cdot e_{0x}\% \cdot \frac{U_K^2}{S_N} = 0.045 \cdot 0.65 \cdot \frac{690V^2}{10MVA} = 0.0014 \Omega$$

7.5 MVA

$$\text{Kortslutningsresistans}(690V) = R_K = R_T^+ = R_T^- = R_T^0 = e_r\% \cdot \frac{U_K^2}{S_N} = 1.7\% \cdot \frac{690V^2}{7.5MVA} = 0.001 \Omega$$

$$\text{Kortslutningsimpedans}(690V) = X_K = X_T^+ = X_T^- = e_x\% \cdot R_K = 4.7\% \cdot 0.001 = 0.005 \Omega$$

$$\text{Nullimpedans}(690V) = X_{T0} = e_x \cdot e_{0x}\% \cdot \frac{U_K^2}{S_N} = 0.047 \cdot 0.67 \cdot \frac{690V^2}{7.5MVA} = 0.002 \Omega$$

Kortslutningsberegninger

Her antas det at lastimpedansen er tilnærmet null, dette vil gjøre at anlegget beskyttes mot de største kortslutningsstrømmene det kan oppleve.

$$\text{Plussimpedans}(11kV) = Z_{11kV}^+ = R_T^+ + (X_d^+ + X_T^+)I = 0.058 + (7.21 + 0.244)I = 0.058 + 7.454I \Omega$$

$$\text{Minusimpedans}(11kV) = Z_{11kV}^- = R_T^- + (X_d^- + X_T^-)I = 0.058 + (0.77 + 0.244)I = 0.058 + 1.014I \Omega$$

$$\text{Nullimpedans}(11kV) = Z_{11kV}^0 = R_{T0} + X_{T0}I = 0.058 + 0.126I \Omega$$

$$\text{Plussimpedans}(690V/10MVA) = Z_{690V/10MVA}^+ = 0.0007 + (0.06 + 0.0032)I = 0.0007 + 0.0632I \Omega$$

$$\text{Minusimpedans}(690V/10MVA) = Z_{690V/10MVA}^- = 0.0007 + (0.01 + 0.0032)I = 0.0007 + 0.0132I \Omega$$

$$\text{Nullimpedans}(690V/10MVA) = Z_{690V/10MVA}^0 = 0.0007 + 0.0014I \Omega$$

$$\text{Plussimpedans}(690V/7.5MVA) = Z_{690V}^+ = 0.001 + (0.06 + 0.005)I = 0.001 + 0.065I \Omega$$

$$\text{Minusimpedans}(690V/7.5MVA) = Z_{690V}^- = 0.001 + (0.01 + 0.005)I = 0.001 + 0.015I \Omega$$

$$\text{Nullimpedans}(690V/7.5MVA) = Z_{690V}^0 = 0.001 + 0.002I \Omega$$

$$\begin{aligned} \text{Kortslutningsstrom} = I_K(11kV) &= \frac{\sqrt{3} \cdot U_L}{Z_{11kV}^+ + Z_{11kV}^- + Z_{11kV}^0} \\ &= \frac{\sqrt{3} \cdot 11kV}{0.058 + 7.454I + 0.058 + 1.014I + 0.058 + 0.126I} = 2217 \angle -89^\circ A \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kortslutningsstrom} = I_K(690V/10MVA) &= \frac{\sqrt{3} \cdot U_L}{Z_{690V/10MVA}^+ + Z_{690V/10MVA}^- + Z_{690V/10MVA}^0} \\ &= \frac{\sqrt{3} \cdot 690V}{0.0007 + 0.0632I + 0.0007 + 0.0132 + 0.0007 + 0.0014I} = 15355 \angle -88^\circ A \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kortslutningsstrom} = I_K(690V/7.5MVA) &= \frac{\sqrt{3} \cdot U_L}{Z_{690V/7.5MVA}^+ + Z_{690V/7.5MVA}^- + Z_{690V/7.5MVA}^0} \\ &= \frac{\sqrt{3} \cdot 690V}{0.001 + 0.065I + 0.001 + 0.015I + 0.001 + 0.002I} = 14564 \angle -88^\circ A \end{aligned}$$

Her ser at tydelig at en får enorme kortslutningstrømmer som er forventet på slike installasjoner. Dette er ett resultat av lave impedanser som resultat av lave spenningsnivåer og korte avstander i systemet. Dette må man redusere for å følge NORSOK standard for elektriske systemer på slike installasjoner. Derfor legges det inn resistansjordede nullpunkter som reduserer kortslutningsstrømmene. Strørrelsen på disse motstandene beregnes på følgende måte.

$$\begin{aligned} \text{Kortslutningsstrom} = I_K(11kV) &= \frac{\sqrt{3} \cdot U_L}{Z_{11kV}^+ + Z_{11kV}^- + Z_{11kV}^0 + R_N} \\ &= \frac{\sqrt{3} \cdot 11kV}{0.058 + 7.454I + 0.058 + 1.014I + 0.058 + 0.126I + 1000} = 19 \angle -0.5^\circ A \end{aligned}$$

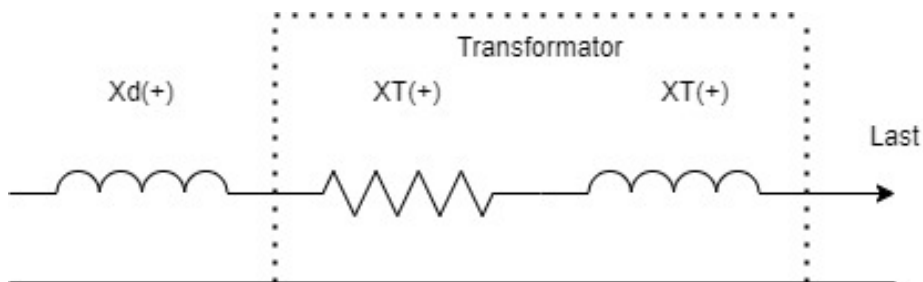
$$\begin{aligned} \text{Kortslutningsstrom} = I_K(690V/10MVA) &= \frac{\sqrt{3} \cdot U_L}{Z_{690V/10MVA}^+ + Z_{690V/10MVA}^- + Z_{690V/10MVA}^0 + R_N} \\ &= \frac{\sqrt{3} \cdot 690V}{0.0007 + 0.0632I + 0.0007 + 0.0132 + 0.0007 + 0.0014I + 12} = 99.6 \angle -0.4^\circ A \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kortslutningsstrom} = I_K(690V/7.5MVA) &= \frac{\sqrt{3} \cdot U_L}{Z_{690V/7.5MVA}^+ + Z_{690V/7.5MVA}^- + Z_{690V/7.5MVA}^0 + R_N} \\ &= \frac{\sqrt{3} \cdot 690V}{0.001 + 0.065I + 0.001 + 0.015I + 0.001 + 0.002I + 12} = 99.6 \angle -0.4^\circ A \end{aligned}$$

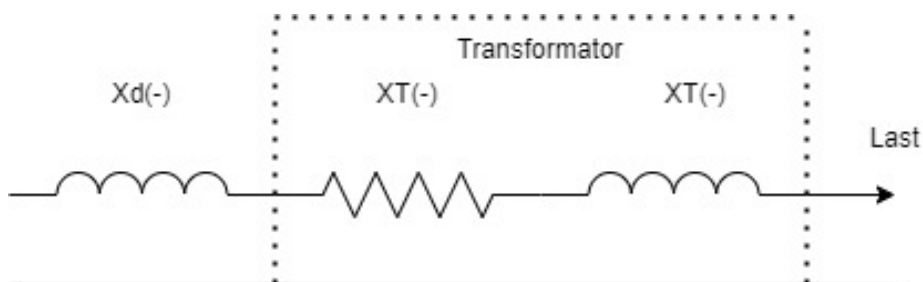
Basert på beregningene over er det tydelig at dette er en veldig god metode som kan brukes for å enkelt redusere kortslutningsstrømmene i slike tilfeller. Denne metoden vil derfor implementeres i simuleringsmiljøet med verdiene:

- R_N (11kV Transformator) = 1000Ω
- R_N (690V Transformatorer) = 12Ω

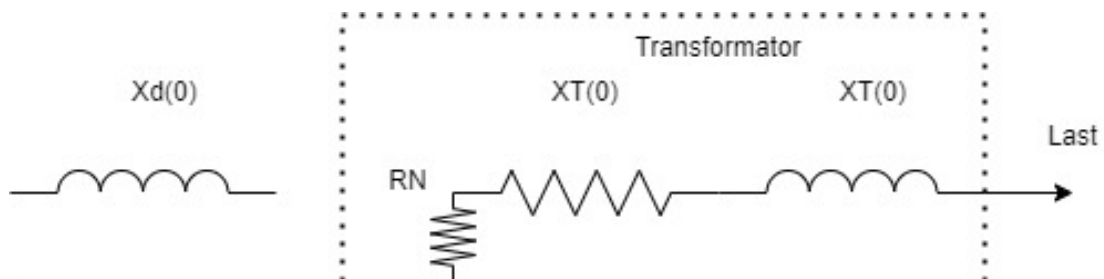
I Figur 11.3,11.4 og 11.5 kan en se fremstillingen av de ulike systemene som brukes til å finne total kortslutningsimpedans i ett elektrisk system. Her tas ikke lastimpedansene med i beregningen da en beregner med minimal impedans av sikkerhetsmessige årsaker.



Figur 11.3: Plussystemet
Kilde: Egenprodusert



Figur 11.4: Minussystemet
Kilde: Egenprodusert

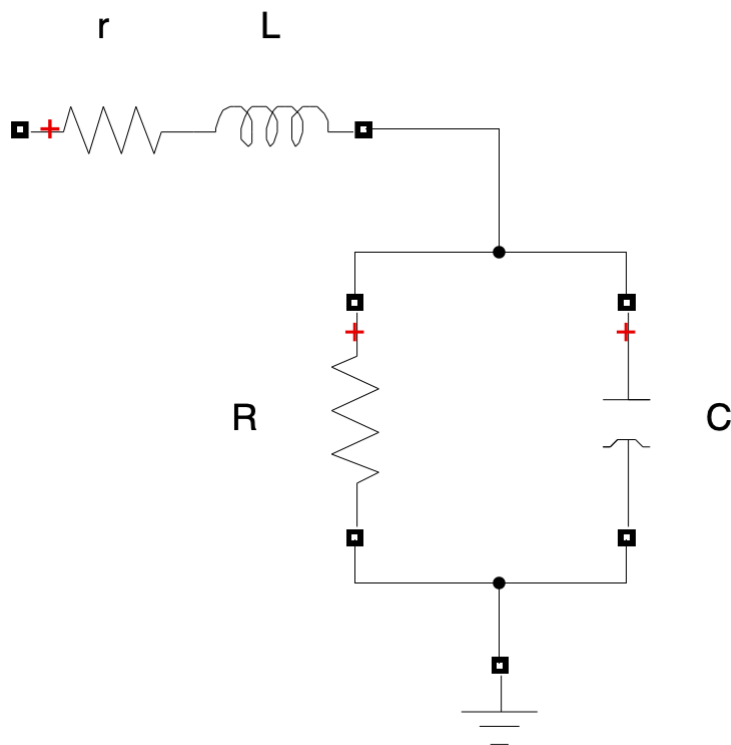


Figur 11.5: Nullsystemet
Kilde: Egenprodusert

Vedlegg 4: Beregning av Jordingsimpedans i fundamentet på installasjonen

For å kunne få en omfattende og realistisk simulering trenger vi en veiledende verdi av alle former for impedans i overgangen til jord. Verdiene vi regner ut i dette dokumentet er kapasitansen og induktansen da vi allerede har oversikt over hvordan den rent resistive overgangsmotstanden ser ut.

For å kunne utføre beregninger og illustrere jordlederen bruker man en ekvivalent modell for en vertikal jordet elektrode. Ekvivalentmodellen tar høyde for dimensjonene til jordingselektroden og all form for impedans som oppstår ved en impulsspenning.



Figur 11.6: Vertikal Jordingselektrode
Kilde: Egenprodusert

$$L = \frac{\mu l}{2\pi} \cdot \left(\ln \frac{2l}{\alpha} - 1 \right) \quad (11.1)$$

$$C = \frac{2\pi l \epsilon}{\ln \frac{2l}{\alpha} - 1} \quad (11.2)$$

- ρ = Motsanden i jordingselementet [Ω/m]

- α = Radius på lederen [m]
- l = Lengden på lederen [m]
- ϵ = Permittiviteten til jordingselementet [F/m]
- μ = Permeabiliteten til jordingslederen [H/m]

Denne modellen kan benyttes for å regne ut en enkel elektrode. For å kunne anvende denne modellen i simuleringene må vi benytte denne for alle fire bærende bein. Vi vet allerede at fundamentet har en lengde på 109m. og at beina har en radius på 2m.

Struktur	Diameter (mm)
Horisontal og diagonal fagverk	1.500
Skråmontert fagverk	1.600
Hovedbein	2.000

Vi finner ut at den magnetiske permeabiliteten til stål $\mu = 1.26 \cdot 10^{-4} H/m$. Med denne informasjonen kan vi regne ut induktansen.

$$L = \frac{\mu l}{2\pi} \cdot \left(\ln \frac{2l}{\alpha} - 1 \right) = \frac{1.26 \cdot 10^{-4} H/m \cdot 109m}{2\pi} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 109m}{2m} - 1 \right) = \underline{\underline{8.069mH}}$$

Vi finner deretter total induktans ved å regne ut induktansen til alle fire bærende bein i parallell.

$$L_{Total} = \left(\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_4} \right)^{-1}$$

$$L_{Total} = \left(\frac{1}{8.069mH} + \frac{1}{8.069mH} + \frac{1}{8.069mH} + \frac{1}{8.069mH} \right)^{-1} = \underline{\underline{2.02mH}}$$

For å regne ut Kapasitansen finner vi at permitivteteten til sjøvann er $\epsilon = k \cdot \epsilon_0$, der den dielektriske konstanten til saltvann er $k = 69$, og permittivteteten til eit vakum er $\epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12} F/m$.

$$\epsilon = k \cdot \epsilon_0 = 69 \cdot 8.854 \cdot 10^{-12} F/m = \underline{\underline{610.92 \cdot 10^{-12} F/m}}$$

Kapasitansen blir:

$$C = \frac{2\pi l\epsilon}{\ln \frac{2l}{\alpha} - 1} = \frac{2\pi \cdot 109m \cdot 610.92 \cdot 10^{-12} F/m}{\ln \frac{2 \cdot 109m}{2m} - 1} = \underline{\underline{89.36\mu F}}$$

Total Kapasitans i alle fire parallelle bærende bein:

$$C_{Total} = \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4} \right)^{-1}$$

$$C_{Total} = \left(\frac{1}{89.36\mu F} + \frac{1}{89.36\mu F} + \frac{1}{89.36\mu F} + \frac{1}{89.36\mu F} \right)^{-1} = \underline{\underline{22.34\mu F}}$$

Vedlegg 5: PFS-Kabel Beregninger

Kabelparametere

Kabelens resistive motstand er ikke oppgitt i databladet, Derfor blir dette beregnet ut i fra standard verdier på kobberledere.

Kobber:

$$\rho = 1.71 \cdot 10^{-8}$$

$$R = \frac{\rho \cdot L}{A} \tag{11.3}$$

$$R = \frac{1.71 \cdot 10^{-8} \cdot 1000m}{\pi \cdot 20.4^2} = \underline{0.05232\Omega/km}$$

Resten av parameterene er fra databladet.

$$C = 0.16\mu F/km$$

$$L = 0.42mH/km$$

$$X_L = j\omega L = j \cdot 2\pi \cdot 50 \cdot 0.42mH = 0.132\Omega$$

Lengde	10km	100km
R	0.5232 Ω	5.232 Ω
C	1.6 μF	16 μF
L	4.2mH	42mH
X_L	1.32 Ω	13.2 Ω

Tabell 11.2: Parametere for 10km og 100km Pi-section line

Utregning av kildepenning:

Last:

125kv | 50MVA | 42.5MW | 26.33 Mvar |

$$I_2 = \frac{50 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 125 \cdot 10^3} = \underline{230.9A}$$

$$\cos\varphi_2 = \frac{42.5}{50} = 0.85 \rightarrow \varphi_2 = -31.78$$

$$I_2 \angle \varphi_2 = 230.9 \angle -31.78$$

$$I_{c2} \angle \beta_2 = \frac{U_{2f}}{-jX_{C2}} = \frac{125 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 397.887 \angle -90} = \underline{181.38 \angle 90A}$$

$$I \angle \varphi' = I_2 \angle \varphi_2 + I_{c2} \angle \beta_2 = 230.9 \angle -31.78 + 181.38 \angle 90 = \underline{205.18 \angle 16.9A}$$

$$U_{1f} \angle \psi = \frac{125000}{\sqrt{3}} + 205.18 \angle 16.9 \cdot (5.232 + j13.2) = \underline{72466.7 \angle 2.29V}$$

$$U_{1L} = 72466.7 \angle 2.29 \cdot \sqrt{3} = \underline{125515.96 \angle 2.29 V}$$

$$I_{c1} \angle \beta_1 = \frac{U_{1f} \angle \psi}{-jX_{C1}} = \frac{72466.7 \angle 2.29}{397.887 \angle -90} = \underline{182.128 \angle 92.29 A}$$

$$I_1 \angle \phi'_1 = I \angle \phi' + I_{C1} \angle \beta_1 = 205.18 \angle 16.9 + 182.128 \angle 92.29 = \underline{306.8 \angle 51.96}$$

$$\phi_1 = \phi'_1 - \kappa = 51.96 - 2.29 = 49.67(\text{kap}) \rightarrow \cos \phi_1 = \underline{0.647}$$

$$\Delta p = 3 \cdot I^2 \cdot R = 3 \cdot 205.18^2 \cdot 5.232 = 660783.3 W$$

$$P_1 = P_2 + \Delta p = 42.5 MW + 660.7 KW = \underline{43.16 MW}$$

$$Q_1 = P_1 \cdot \tan \varphi_1 = 43.16 \cdot 10^6 \cdot \tan(49.67) = \underline{50.838 Mvar}$$

Kompensering:

Ønsket $\cos \varphi = 0.9$ ($\cos \varphi'_1$)

Nåværende $\cos \varphi = 0.647$ ($\cos \varphi_1$)

$$\cos \varphi_1 = 0.647 \rightarrow \varphi_1 = 49.68 \rightarrow \tan \varphi_1 = 1.178$$

$$\cos \varphi'_1 = 0.9 \rightarrow \varphi'_1 = 25.84 \rightarrow \tan \varphi'_1 = 0.484$$

$$Q_{Ny} = P_1 \cdot \tan \varphi'_1 = 43.16 \cdot 10^6 \cdot 0.484 = 20.889 MVAr$$

$$Q_{Komp} = Q_1 - Q'_1 = 50.838 MVAr - 20.889 MVAr = 29.95 MVAr$$

$$Q_{Komp} = P_1 \cdot (\tan \varphi - \tan \varphi'_1) = 43.16 \cdot 10^6 \cdot (1.178 - 0.484) = \underline{29.953 MVAr}$$

$$Q_{Komp/f} = \frac{Q_{Komp}}{3} = \frac{29.953}{3} = \underline{9.98433 MVAr}$$

$$X_K = \frac{U_{1f}^2}{Q_{Komp/fase}} = \frac{72466.7^2}{9.98433 \cdot 10^6} = \underline{525.966 \Omega}$$

$$L_K = \frac{X_K}{2\pi 50} = \frac{525.966}{2\pi 50} = \underline{\underline{1.674 H/fase}}$$

Vedlegg 6: B024EB-65, Referat: Videointervju:

Intervjunummer: 02

Dato: 07.02.2024

Sted: Bergen/Stavanger

Til stede: Morten Vanglo Nodland, Compliance Manager Elektro i Operatørselskap

Fraværende: Ingen

Referat

Systemet:

Det elektriske systemet en finner på en oljeplattform er i området 40-200 MW avhengig av hovedsakelig produksjonskapasitet. Fordelingen deles somregel opp i produksjon, utility (bygg, lys og stikk) og motordrift. Denne effekten leveres av 2-3 generatorer som sammen leverer de nevnte 40-200 MW som driften behøver.

Dette systemet er bygget opp på hovedsakelig tre nivåer.

- 440 V TNC-S for generell forbruk og distribusjon
- 690 V resistansjordet på motordriftskurser
- 11 kV operasjonsspenning på det overordnede systemet, også resistantjordet

På grunn av enorme ytelser blir det veldig kraftige kortslutninger på systemet, dette reflekteres også i store DC komponenter når det kommer til transiente kortslutningsstrømmer.

Systemet beskyttes av både jordfeil og overbelastningsvern i tillegg som at de har overvåkingssystemet som kan holde overordnet kontroll på beskyttelsen av systemet.

Jording:

Jordingssystemet på en slik installasjon er som ofte likestilt med det elektriske systemet med at det blir prosjektert som en egen enhet der krav og dimensjonering blir nøye gjennomgått. Jordingsystemet er designet ut ifra valg av fordelingsnett og er nøye overvåket. Det er også designet på en slik måte at overspenninger fordeles utover gjennom hele jordingsystemet. Dette skjer gjennom enten PE-kabler eller ved bruk av «shielded» kabler

Overspenninger:

Når det kommer til overspenninger er ikke lynnedslag det største problemet da dette blir godt håndtert av systemene om bord. Det er også installert en del overspenningsvern, men den typen vi tenker på som metal-oxide surge protectors er tilstede i litt mindre grad. Lynnedslag var fortsatt ett problem, men uten å gå for mye i dybden fortalte han at de hadde gode systemer som kunne håndtere dette.

Landstrøm:

Når det kommer til landstrøm prosjekteres dette som enten/eller. Dette er fordi en anser strøm fra land som en stabil og driftssikker DC-kilde og har derfor kun nødssystemer (generator og UPS batteripakke) i tillegg til dette. Ingen produksjon forekommer dersom landstrømmen bortfaller.

Vedlegg 7:

B024EB-65, Mailrespons engineeringsselskap

Intervjunummer: 03

Dato: 29.02.2024

Sted: Bergen

Spørsmål og svar fra engineeringsselskap

Schematic

Is it possible to get a rough schematic of the overall electrical system to guide us when designing a simulation environment?

We are thinking of a very simplified electrical one-line diagram for the entire installation, does not need to be from a specific rig. Just a general layout with approximate load values and the most central components like generators, transformers, approximate combined load values and the most important bus-connections (samleskinner)

Unfortunately, we are not allowed to share project documents with outsiders. Sorry. (even though internal colleagues asks, we have to report to the management and client and get an approval before we could share)

Power Generation and Load Layout

What is the typical "size" of an electrical system onboard an offshore installation?

Usual capacity of 20-40 MW?

Depends on the size of the installation. Offshore installation project I am working on is 35 MW in full production.

Dimensions on courses

Don't understand this question.

Loads

Offshore installation project I am working on is 35 MW in full production

Selectivity based systems

Protection relay coordination study is performed for the installation and settings on protection relays are set to achieve selectivity.

Does this layout change when power from shore is concerned?

Do you just add a transformer from shore power as an additional "source"?

When you have power from shore, Main gas turbine generators are not needed. Only Essential and Emergency diesel generators.

It depends if the power from shore is AC or DC. If it is AC, then a transformer is added to transform the voltage down to platform voltage levels.

If DC is used, then an inverter and transformer is needed on the platform.

Platform A have DC cables from shore, but Platform B are planning for AC cables from shore.

Protection and grounding

Can you describe the basic layout of the grounding system used on offshore installations?

Common grounding in steel structure?

Steel structure is used for PE (protective earth) and bonding.

Signal/instrument grounding?

There is separate IE (instrument earth)

What are the core measures of protections used on these installations?

-Absence of earth fault safeties (Jordfeilsikring) due to hostile offshore environment?

Normally there is earth fault protection on all systems. In 11kV and 690V system we use CBCT (core balance current transformers) and CT's in NER (Neutral earthing resistance) of transformers and generators. These are connected to protection relays.

In 400V we have earth fault protection included circuit breakers.

Overload/overheating (overbelastningsvern) protection

All circuits are short circuit, earth fault and overload protected. Protection also depends on the equipment. i.e different protections for motors, transformers, generators etc.

Selectivity?

Protection relay coordination study is performed for the installation and settings on protection relays are set to achieve selectivity.

High/Low impedance grounding techniques?

11kV is resistance earthed with maximum earth fault current limited to 20A.

690V is resistance earthed with maximum earth fault current limited to 100A.

400V is TN-S system.

400V UPS is TN-S system (sometimes IT system)

Are you taking special concerns regarding EMC issues?

How do you protect instrumentation and its communication cables from interference?

High voltage power cables, Low voltage power cables and instrumentation is routed on different cable ladders. Enough space is given between different cable ladder system (HV, LV, I&T)

Instrument cables have screens and are connected to IE (Instrument earth).

VSD's (Variable speed drives) have EMC earthing in VSD and Motor.

EMC glands, MCTs are used where required.

A lot of motor based systems would be assumed to create harmonic currents, is that a concern?

VSD's can cause harmonic's. This depends on the type of technology used in the VSD's.

- There are different technologies available in the market. 6-pulse, 12-pulse. 18-pulse with diode, transistors, or thyristors AFE (Active front end) can also be used. There are information online regarding this and what type of harmonic these cause. Check ABB or Siemens for more information.

Other equipment with power electronics (e.g UPS) can also cause harmonics.

Harmonic filters can be installed to compensate for harmonics.

How do you handle the "mother ground" where the ground is everywhere?

Is there any difference between the permanent stainless steel "pucks" as a grounding point and grounding straight on a steel beam?

Customers often specify that earthing boss shall be used and welded to structure.

For bonding: Bonding to earth boss can be omitted if the equipment has good connection to structure.

Do you use any kind of surge protection (overspenningsvern), both from a lightning perspective but also from load shedding implications?

What kinds, where, are there protections on priority zones while others are left unprotected?

For overvoltage protection: This is implemented in protection relays for generators. Often with more stages and time delays. IEC 61892-1 4.5.2.2 are followed.

Load shedding is based on frequency deviations and active power balance.

A separate system for lightning protection is normally not required, provided the units steel structure is regarded as equivalent with the main earth reference (via massive contact with surrounding sea or seafloor).

A flare boom, drilling derrick or crane shall be bonded to the main structure. If satisfactory conductance through the structure is not achieved, then additional earthing conductors shall be installed where necessary.

Equipment like antenna mounted in area exposed for lightning, should be considered protected by local air terminal.

Lightning Protection

How do you implement lightning protection on an offshore installation and how big of a concern is it?

What system do you base lightning protection on? (LPZ0, LPZ1 and LPZ2?)

See response above.

For information. But we use surge suppressors on some high voltage transformers and motors for protection. This is due to that high frequency voltage waves following re-ignitions in vacuum circuit breakers are known to cause insulation stress on equipment.

Do you have any issues where a lightning surges either spreads as a voltage surge through the system or are inducing voltage surges on lesser systems?

Does a transformer completely stop a lightning caused DC surge from going through it?

Does a twisted shielded cable mitigate the effects of the substantial magnetic fields?

There are theories and mentions that the steel based structures provide a sort of faraday cage based protection for their internal systems, do you know anything about this?

I am sorry, but I don't have enough detail knowledge about the questions above to provide a good answer.