

Undersøkelse av beregningsverktøy for elektriske lavspenningsinstallasjoner

Johan Skogsrud

Master of Science in Electric Power Engineering

Oppgaven levert: Juni 2009

Hovedveileder: Eilif Hugo Hansen, ELKRAFT

Biveileder(e): Arne Nysveen, ELKRAFT
Øystein Trulsen, Norconsult

Oppgavetekst

Dagens forskrifter stiller strenge krav til dokumentasjon på at elektriske anlegg tilfredsstillers krav om sikkerhet. Dokumentasjonskravet retter seg til utførende entreprenør, men naturlig nok også i større grad til den instans som prosjekterer det elektriske anlegget. Etter at anleggene er ferdig bygd, skal det foreligge tilstrekkelig dokumentasjon til at feilsøking og drift av anlegget kan gjøres på en effektiv måte. Dekker dagens dataverktøy behovene og kravene i forskriftene?

Kandidaten skal

- gjøre en sammenlikning av to dataverktøy som benyttes for elektroteknisk beregning og dokumentasjon.
- kontrollere riktigheten til beregningene utført i dataverktøyene, satt opp mot manuelle beregninger.
- vurdere mulighetene for å foreta beregninger av komplekse anlegg med eksempelvis redundante kraftforsyninger, nødstrømsaggregater og UPS-anlegg.

Oppgaven gitt: 12. januar 2009

Hovedveileder: Eilif Hugo Hansen, ELKRAFT

Sammendrag

Av dagens beregningsverktøy for elektrotekniske installasjoner har Febdok den største markedsandelen. Febdok benyttes av elektroentreprenører, industri, rådgivende ingeniører, tavlebyggere og flere andre aktører i elektrobransjen. I denne oppgaven vurderes Nettdok, som er et nyere og mer avansert dataverktøy for elektroteknisk dokumentasjon, opp imot manuelle beregninger og Febdok.

Hovedfokuset i denne oppgaven har vært å kontrollere noen av de matematiske beregningene som utføres av programmene. De manuelle beregningene er utført etter standarder der formelverk for elektrotekniske beregninger er presentert. Riktigheten til beregningene av kortslutningsstrøm, støtstrøm, spenningsfall, generatorkortslutning, motorkortslutning, UPS, selektivitet, kaskade, valg av overbelastnings- og kortslutningsvern er sett nærmere på. Resultatene viser at Febdok og Nettdok har en rekke feil, disse er av varierende omfang og alvorlighet.

Kortslutningsberegninger viser at ingen av programmene tar for seg feiltypen topolet kortslutning med samtidig jordslutning. Dette fører til at den høyeste kortslutningsstrømmen og støtstrømmen ikke blir beregnet i flere tilfeller. Nettdok oppgir alle feilstrømmene som I_{kmax} og I_{kmin} . Ved TN-nett er disse beregnet ved henholdsvis trepolet og enpolet kortslutning. De andre feiltypene som er dimensjonerende i flere tilfeller, blir ikke beregnet.

Ved valg av vern kontrollerer ikke Nettdok krav i NEK 400 til kortslutningsvern ved utkobling under 0,1 sekund. Dette fører til at kablen ikke er beskyttet mot høyeste kortslutningsstrøm. Selektivitet mellom vern kontrolleres etter selektivitetstabeller i begge programmene. Brukes vern fra ulike leverandører kontrollerer Febdok selektiviteten automatisk, forutsatt at vernene er innlagt med tilstrekkelig data. I Nettdok må denne kontrollen utføres manuelt. Kaskade mellom vern kan bare dokumenteres i Febdok, denne kontrollen må gjennomføres uavhengig av programmet om Nettdok benyttes.

Beregninger på UPS viser at Febdok har noen fortrinn som kontroll av maksimal termisk overlast, tåleevnen til statisk switch i bypass krets og mulighet for separat innmating til bypass kretsen. Febdok beregner imidlertid ikke enfase UPS, noe som er tilgjengelig i Nettdok.

Det er også utført beregning på kortslutningsbidrag fra generator og motor i Nettdok. Dette er noen av de mulighetene som gjør Nettdok til et mer avansert verktøy. Disse beregningene gjøres etter standarden IEC61363-1 som bare tar for seg trepolet kortslutning. Dette sammen med at verdiene beregnet ved generatoren har forholdsvis store avvik sammenlignet med leverandørdata, gjør at manuelle betraktninger må gjøres uavhengig av programmet.

Skal Febdok og Nettdok vurderes opp mot hverandre som rene beregningsverktøy er Febdok foreløpig å foretrekke grunnet mindre feil sammenlignet med Nettdok. Samtidig så har Nettdok et bra konsept og en del funksjonalitet som tegning, mulighet for flere innmatninger, generatorberegninger osv. Dette fører til at programmet er fordelaktig ved større og mer komplekse anlegg.

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet ved Norges Teknisk- Naturvitenskapelige Universitet, institutt for elkraftteknikk. Prosjektets hovedmål er å vurdere dataverktøy for elektroteknisk beregning og dokumentasjon. Her skal riktigheten i beregningene utført kontrolleres med manuelle beregninger og en vurdering på hvor godt dataverktøyene holder seg innenfor kravene satt i lover og forskrifter.

Masteroppgaven er utført i et samarbeid med Norconsult som er Norges største flerfaglige rådgiver innen samfunnsplanlegging og prosjektering.

Jeg ønsker å takke alle som bidratt til masteroppgaven og vil spesielt rette en takk til:

Thor L. Kværnstrøm Norconsult
Øystein Trulsen veileder Norconsult
Eilif Hugo Hansen veileder NTNU

Trondheim, 08.06.2009

Johan Skogsrud

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	I
Forord.....	II
1 Innledning	1
2 Krav til beregning og dokumentasjon	2
2.1 El-tilsynsloven – Lov om tilsyn med elektriske anlegg og elektrisk utstyr.....	2
2.2 FEL – Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg	2
2.3 FEF – Forskrift om elektriske forsyningsanlegg	3
2.4 NEK 400.....	3
3 Teori benyttet i de manuelle beregningene	4
3.1 Symmetriske komponenter	4
3.2 Kortslutningsstrømmer	5
3.3 Utleddning av formler for beregning av usymmetriske kortslutningsstrømmer.....	8
3.4 Maksimum og minimum kortslutningsstrøm	11
3.5 Støtstrøm	13
3.6 Valg av overstrøms- og kortslutningsvern.....	13
3.7 Selektivitet.....	14
3.8 Spenningsfall	16
3.9 Avbruddsfri strømforsyning, UPS.....	16
3.10 Selektivitet i UPS-anlegg	18
3.11 Generatorens kortslutningsbidrag.....	19
3.12 Kortslutningsbidrag fra direktekoblede asynkronmotorer.....	23
4 Beregninger på konkrete eksempler	27
4.1 Holmenkollbakken	27
4.2 Valg av vern	35
4.3 Selektivitet og kaskade	37
4.4 UPS.....	40
4.5 Generatorens kortslutningsbidrag i Nettdok.....	44
4.6 Kortslutningsbidrag fra asynkronmotorer i Nettdok.....	47
5 Diskusjon	49
6 Konklusjon	52
Referanser	54

1 Innledning

Høsten 2008 ble det satt sammen en arbeidsgruppe i Norconsult som skulle vurdere beregningsverktøyet Nettdok. Denne masteroppgaven vil være en del av arbeidet utført av gruppen og hovedfokuset er kontroll av beregninger utført av programmet. Nettdok er et program som kan ta for seg elektriske beregninger på store komplekse anlegg med mulighet for parallelle høyspent forsyninger, nødstrømsaggregater og UPS-anlegg.

Dette vil føre til en inngående studie av det matematiske formelverket for beregning av elektrotekniske installasjoner presentert i en rekke standarder. Videre vil beregningsresultat fra manuelle beregninger bli sammenlignet med resultater fra beregningsverktøyet Nettdok. For videre kontroll og vurdering vil også de samme beregningene bli utført med beregningsverktøyet Febdok. En vurdering og kontroll av et utvalg av de elektrotekniske beregningene i Febdok og Nettdok vil utgjøre hovedinnholdet i denne rapporten.

Beregningene som blir gjennomført i oppgaven tar utgangspunkt i virkelige anlegg som prosjekteres av Norconsult. Dette binder de teoretiske beregningene sammen med virkeligheten og gjør at de teoretiske beregningene i rapporten fremstår mer håndgripelige. Da detaljert informasjon om hvordan beregningsverktøyene beregner de forskjellige verdiene ikke er tilgjengelig tas det forbehold om påstandene gjort på dette punktet i rapporten.

Febdok

Febdok er et dataprogram som tar for seg dimensjonering og dokumentasjon av elektriske installasjoner i henhold til Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg og normsamlingen NEK 400 [20]. Febdok leveres av Norges elektroentreprenørforbund (NELFO) som er El- og IT bedriftenes bransje og arbeidsgiverorganisasjon. I denne oppgaven vil Febdok versjon 5.0.02 benyttes.

Nettdok

ElCad Nettdok er et dataverktøy som brukes til å dokumentere, dimensjonere og kontrollere industri-, skips- og bygningsinstallasjoner, samt forsyningsnett. Systemet kan benyttes både for veksel- og likestrømsanlegg, høy- og lavspentnett [4]. Nettdok bygger på tegneverktøyet Actrix Technical 2000 utviklet av Autodesk. Dette er et tegneprogram med innebygget funksjonalitet som er spesielt rettet mot skjemattegning. ElCad Nettdok lever av haBit Software som er et firma som utvikler og leverer DAK-løsninger for elektrobransjen.

Inntak, generatorer, transformatorer, vern, motorer, laster osv tegnes inn og mates med nødvendige elektriske data. Selve beregningene av anlegget gjøres i sanntid. Som grunnlag for beregningene ligger standarder fra IEC (International Electrotechnical Commission) og NEK (Norsk Elektroteknisk Komité). I denne oppgaven vil Nettdok versjon 1.1.1369 benyttes.

Rapportens oppbygning

Resten av denne prosjektrapporten er organisert som følgende. Kapittel 2 presenterer noen av kravene til elektrotekniske anlegg stilt i lov, forskrift og norm. Teorien som benyttes i de manuelle beregningene og til kontrollen av beregningsverktøyene introduseres i kapittel 3. I kapittel 4 presenteres alle beregningsresultatene, i tillegg vil det bli gitt en kort vurdering av resultatene sammen med en forklaring på fremgangsmåte og tekniske data. Diskusjonen i kapittel 5 vil videreføre og supplere vurderingen av beregningsresultatene og oppgavens konklusjon vil følge i kapittel 6.

2 Krav til beregning og dokumentasjon

Kravene som stilles til et elektroteknisk anlegg er gitt i el-tilsynsloven og i sentrale forskrifter. I dette kapittelet er det gitt et kort sammendrag av innholdet i el-tilsynsloven, FEL, FEF og NEK 400 for å danne et innblikk i hvordan loven med tilhørende forskrifter stiller krav til elektrotekniske anlegg.

2.1 El-tilsynsloven – Lov om tilsyn med elektriske anlegg og elektrisk utstyr

El-tilsynsloven omfatter alle elektriske anlegg og alt elektrisk utstyr [11]. Denne loven sier at elektriske anlegg skal utføres, drives og vedlikeholdes slik at de ikke frambyr fare for liv, helse og materielle skader. Tekniske forskrifter som viser hvordan dette skal gjøres blir utferdiget av Kongen. Sentrale forskrifter som Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg og Forskrift om elektriske forsyningsanlegg er beskrevet nærmere i kapitlene 2.2 og 2.3.

Loven sier videre at offentlig tilsyn med elektriske anlegg og utstyr vil bli anordnet i den utstrekning det finnes nødvendig. Tilsynsmyndighetene skal til enhver tid ha uhindret adgang til anlegg og virksomhet og få framlagt opplysninger som anses nødvendige. Kongen kan pålegge eiere av visse anlegg å føre tilsyn med de installasjoner som er tilknyttet anlegget.

2.2 FEL – Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg

De aller fleste lavspenningsanlegg som er tilknyttet et forsyningsanlegg eller egen generator blir dekket av denne forskriften. Lavspenningsanlegg er elektriske installasjoner med høyeste nominelle spenning til og med 1 000 V vekselspenning eller 1 500 V likespenning. Grensen mellom lavspenningsanlegg (FEL) og elektriske forsyningsanlegg (FEF) er inntaket for lavspenningsanlegget. Formålet med forskriften er å oppnå forsvarlig elsikkerhet ved prosjektering, utførelse, endringer og vedlikehold av elektriske lavspenningsanlegg og ved bruk av elektrisk utstyr tilkoblet slike anlegg [13].

Det er eiers og brukers ansvar å foreta ettersyn og vedlikehold slik at anlegget til enhver tid tilfredsstillende gir sikkerhetskrav. Ved prosjektering og oppføring anses byggherre som eier, men prosjekterende plikter og er ansvarlig for å følge krav i forskriften. Ansvar for vedlikehold innebærer å forvise seg om at anlegget til enhver tid tilfredsstillende gir sikkerhetskrav. De lokale eierne av fordelingsnettene er pålagt av Direktoratet for Samfunnssikkerhet og Beredskap (DSB) å føre tilsyn med tilknyttede lavspenningsanlegg (lokalt elektrisitetstilsyn).

Forskriften med tilhørende veiledning og normer viser sikkerhetsnivået som skal benyttes. Andre løsninger enn de som står i veiledningen og normene kan velges hvis det dokumenteres at tilsvarende sikkerhetsnivå oppnås. Ved prosjektering, utførelse eller endring av anlegg skal erklæring om samsvar med sikkerhetskravene overleveres til eier. Denne skal inneholde opplysninger som gjør det mulig å vurdere om anlegget er i samsvar med forskriftens krav. Dette kan være teknisk dokumentasjon, beskrivelse av anlegget, valg av løsninger, normer eller spesifikasjoner anvendt, risikovurdering mm. Risiko forbundet med anlegget og kompleksiteten av anlegget bestemmer hvor omfattende denne dokumentasjonen må være. Norsk Elektroteknisk Komité (NEK) utgir normer som er relevante ved utforming av dokumentasjonen.

Ved planlegging av et elektrisk anlegg skal det sørges for at mennesker, husdyr og eiendom er beskyttet mot fare og skader ved normal bruk, og at anlegget er egnet til den forutsatte bruken. Sikkerhetskravene gitt i forskriften omhandler beskyttelse mot elektrisk støt, skadelige termiske virkninger, over- / feilstrøm, over- / underspenning, spenningsfall og ytre påvirkninger. Videre er det krav til nødutkobling, frakoblingsutstyr, strømtilførsel ved avbrudd, merking, elektromagnetiske forstyrrelser, påvirkning mellom anleggsdeler, bygningskonstruksjon, brannsikkerhet og elektrisk utstyr.

2.3 FEF – Forskrift om elektriske forsyningsanlegg

Begrepet elektriske forsyningsanlegg omfatter elektriske anlegg med tilhørende bygninger for produksjon, omforming, overføring og fordeling av elektrisk energi, samt høyspenningsinstallasjoner i industribedrifter og lignende. Formålet med forskriften er at elektriske anlegg skal prosjekteres, utføres, driftes og vedlikeholdes slik at de sikkert ivaretar den funksjon de er tiltenkt uten å fremby fare for liv, helse og materielle verdier [12].

Eier eller driver skal sørge for at anlegget til enhver tid tilfredsstiller kravene i forskriften. Utfører av prosjektering, bygging, endring eller vedlikehold er også ansvarlige for at anlegget er i samsvar med forskriften. Samsvarserklæring med tilhørende oversikt over anvendte normer, publikasjoner, spesifikasjoner og annen dokumentasjon som muliggjør vurdering av samsvar med forskriften skal overleveres eier. En risikovurdering skal gjennomføres, her skal blant annet valg av løsninger dokumenteres. Forskriften med veiledning og normer viser samlet det sikkerhetsnivået som skal benyttes. Inspeksjoner, tester og funksjonsprøver skal også dokumenteres. Anlegg og utstyr skal være robust og egnet for alle påregnelige påkjenninger.

Krav til sikkerhet i forskriften omhandler beskyttelse mot elektrisk sjokk, termisk og mekanisk skade, farlige over- / underspenninger og jordfeil. Det er også krav om opprettholdelse av sikkerhet ved første feil, overførte spenninger til telenettet, elektriske og magnetiske felt, brannsikkerhet, overvåkning / kontrollsystemer, advarselsskilt / merking, arbeid med drift og vedlikehold, fellesføring av linjer, endring / oppgradering av anlegg og skåning av omgivelsene. Forskriften inneholder også spesifikke krav for elektriske installasjoner, luftlinjer og baneanlegg uten at de er studert nærmere her.

2.4 NEK 400

FEL viser til NEK 400 som en måte å oppfylle forskriften på [21]. Normsamlingen NEK 400:2006 er utarbeidet av normkomité 64 som behandler forhold knyttet til bygningsinstallasjoner og sikkerhet mot elektrisk sjokk [19]. I normsamlingen, i motsetning til forskriften, er det gitt spesifikke løsninger på hvordan elektrotekniske installasjoner skal, bør eller kan utføres. NEK 400:2006 er en samling av 40 enkeltnormer som med unntak av noen rent nasjonale er forankret i tilsvarende internasjonale normer fra CENELEC (The European Committee for Electrotechnical Standardization) og IEC.

Normen gjelder for alle installasjoner med merkespenning opp til 1 000 V vekselspanning og 1 500 V likespenning. Her er det spesifisert krav til planlegging, montasje og verifikasjon av elektriske installasjoner i boliger, industribygg, eiendommer med kommersiell virksomhet osv.

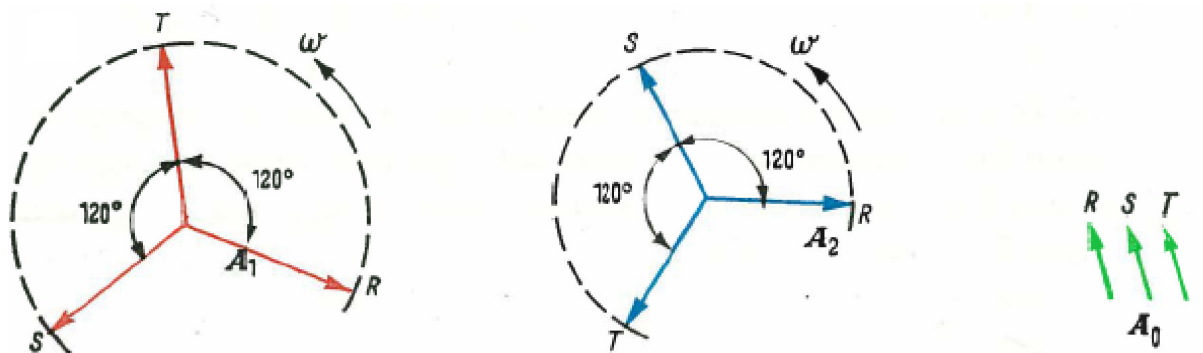
3 Teori benyttet i de manuelle beregningene

Dette kapitlet tar for seg teorien og formlene som senere er benyttet i de manuelle beregningene og til kontroll av Febdok og Nettdok.

3.1 Symmetriske komponenter

Dette er en teknikk brukt til å beregne usymmetriske feilstrømmer. Metoden går ut på å dekomponere nettverket i tre systemer, såkalte symmetriske komponenter [6]. Hver enkelt system har symmetriske egenskaper og feilstrømmene er funnet ved å superponere de tre symmetriske komponentene. De tre symmetriske komponentene er:

- Positivkomponent, bygd opp av tre vektorer med lik lengde faseforskjøvet 120° i positiv faserekkefølge
- Negativkomponent, bygd opp av tre vektorer med lik lengde faseforskjøvet 120° i negativ faserekkefølge
- Nullkomponent, bygd opp av tre vektorer med lik lengde og som ligger i fase



Figur 3-1 Positiv-, negativ- og nullkomponent systemet [23]

Med fase L1 som referanse er de tre fasestrømmene gitt ved [7]:

$$\begin{aligned} \underline{I}_{L1} &= \underline{I}_+ + \underline{I}_- + \underline{I}_0 \\ \underline{I}_{L2} &= \underline{a}^2 \cdot \underline{I}_+ + \underline{a} \cdot \underline{I}_- + \underline{I}_0 \\ \underline{I}_{L3} &= \underline{a} \cdot \underline{I}_+ + \underline{a}^2 \cdot \underline{I}_- + \underline{I}_0 \end{aligned} \quad (3.1)$$

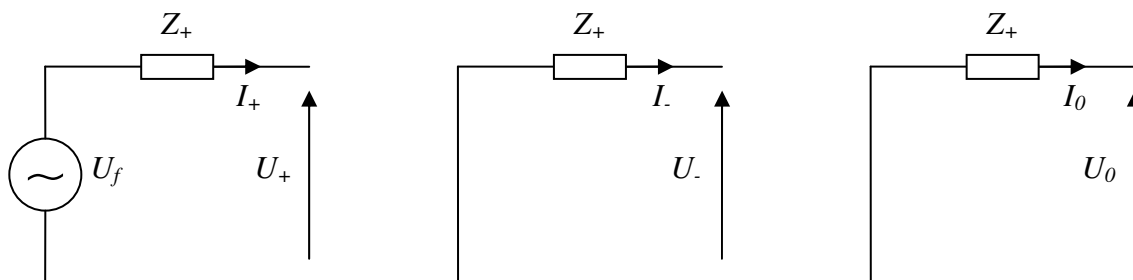
Rotasjonsoperatoren a er brukt for å forenkle uttrykkene. Definisjonen av operatoren er:

$$\begin{aligned} \underline{a} &= e^{j120^\circ} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \underline{a}^2 &= e^{j240^\circ} = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \\ 1 + \underline{a} + \underline{a}^2 &= 0 \end{aligned} \quad (3.2)$$

De tre systemene kan analyseres hver for seg og det brukes per fase ekvivalentskjema som er gitt i figur 3-2. Disse ekvivalentskjemaene kommer fra følgende ligningssett [6].

$$\begin{aligned} \underline{U}_+ &= \underline{U}_f + \underline{Z}_+ \cdot \underline{I}_+ \\ \underline{U}_- &= \underline{Z}_- \cdot \underline{I}_- \\ \underline{U}_0 &= \underline{Z}_0 \cdot \underline{I}_0 \end{aligned} \quad (3.3)$$

Her er U_f fasespenningen på feilstedet før feilen inntreffer. En forutsetning for ligningene er at systemet er symmetrisk før feilen inntreffer.



Figur 3-2 Positiv-, negativ- og nullkomponent per fase ekvivalentskjema

3.2 Kortslutningsstrømmer

Beregning av kortslutningsstrømmer i trefase vekselstrømsnettverk er beskrevet i normen IEC60909-0. Denne normen tar for seg beregninger av symmetriske og usymmetriske kortslutninger med følgende forutsetninger [7]:

- Ingen endring i type kortslutning
- Ingen endring i nettverket involvert
- Transformatortrinning er antatt å være i hovedposisjon
- Lysbueimpedans / feilimpedans er neglisjert
- Linjekapasitans og parallellimpedanser er neglisjert

Metoden som brukes er å introdusere en ekvivalent spenningskilde på feilstedet, $c \cdot U_n$ og alle inntak, synkron- og asynkronmaskiner er kortslettet bak deres interne subtransiente reaktans. Det må beregnes to typer kortslutningsstrømmer, minimum og maksimum kortslutningsstrøm. Maksimum kortslutningsstrøm bestemmer kapasitet og merkeverdier for det elektriske utstyret og minimum kortslutningsstrøm bestemmer blant annet valg og innstilling av vern. For å ivareta spenningsvariasjonene i nettverket introduseres spenningsfaktorene c_{min} og c_{maks} , se tabell 3-1.

Tabell 3-1 Spenningsfaktorer [7]

Nominell spenning U_n	Spenningsfaktor c for beregning av	
	maksimum kortslutningsstrøm $c_{maks}^{1)}$	minimum kortslutningsstrøm c_{min}
Lavspent 100 V til 1000 V	1,05 ³⁾ 1,10 ⁴⁾	0,95
Høyspent ²⁾ > 1 kV	1,10	1,00

¹⁾ $c_{maks} \cdot U_n$ bør ikke overskride høyeste merkeverdi for elektrisk utstyr U_m i nettverket

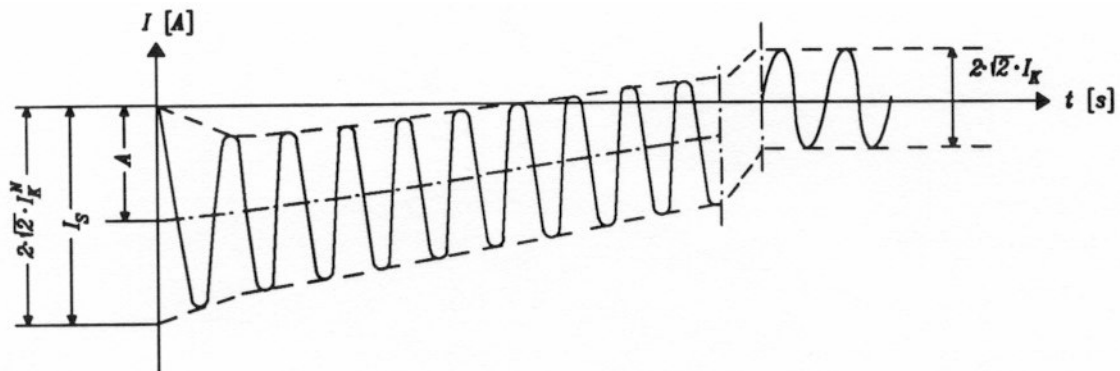
²⁾ Hvis ingen nominell spenning er definert bør $c_{maks} \cdot U_n = U_m$ eller $c_{min} \cdot U_n = 0,90 \cdot U_m$ brukes

³⁾ For lavspenningsnettverk med en toleranse på +6 %

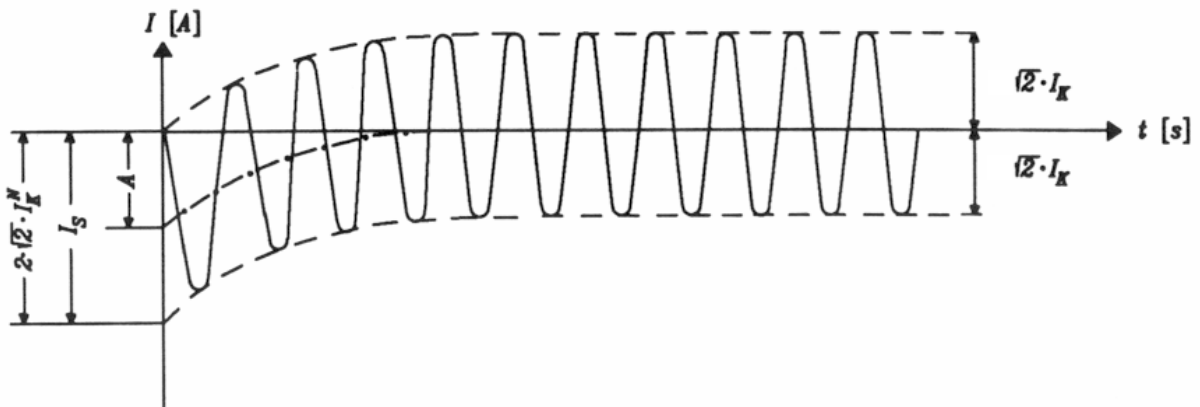
⁴⁾ For lavspenningsnettverk med en toleranse på +10 %

Spenningsfaktoren for maksimum kortslutningsstrøm ved lavspent installasjoner er avhengig av toleransen til spennings effektivverdi. I § 3-3 i Forskrift om leveringskvalitet i kraftsystemet som omhandler langsomme variasjoner i spennings effektivverdi står det følgende. *Nettselskap skal sørge for at langsomme variasjoner i spennings effektivverdi, er innenfor et intervall på $\pm 10\%$ av nominell spenning, målt som gjennomsnitt over ett minutt, i tilknytningpunkt i lavspenningsnettet [22].* Dette tilsier at en spenningsfaktor på 1,10 skal brukes.

En fullstendig kortslutningsberegning gir strøm som funksjon av tiden, se figur 3-3 og 3-4. For kortslutninger nær generatorer vil vekselstrømskomponenten avta etter kortslutningen, disse variasjonene deles inn i en subtransient, transient og en stasjonær periode (I_k'' , I_k' og I_k). Når avstanden til generatoren øker og nettverkets impedans blir stor i forhold til kortslutningsimpedansen i generatoren minker forskjellen på strømverdiene i de tre periodene og det antas at vekselstrømmens effektivverdi er konstant.

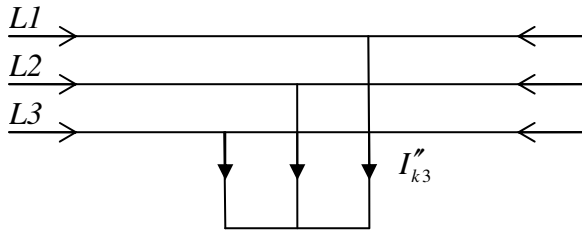


Figur 3-3 Kortslutningsstrøm nær generator [5]

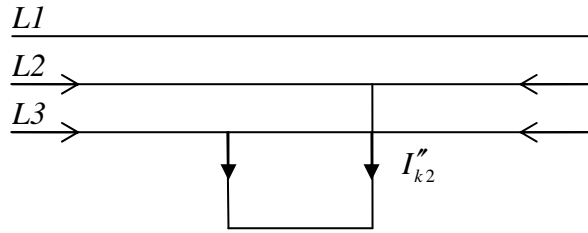


Figur 3-4 Kortslutningsstrøm langt ute i nettverket [5]

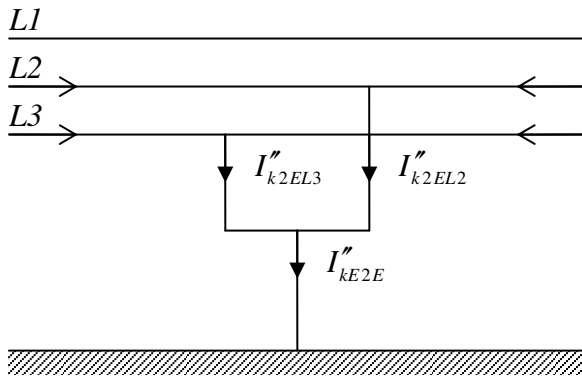
Bestemmelse av hele tidsforløpet er ofte ikke nødvendig og bare verdier av spesielle interesse beregnes. Dette kan være effektivverdien av den subtransiente vekselstrømskomponenten og toppverdien av kortslutningsstrømmen (støtstrømmen). I et trefase vekselstrømsnettverk kan forskjellige kortslutninger oppstå, disse er vist i figur 3-5 til 3-8.



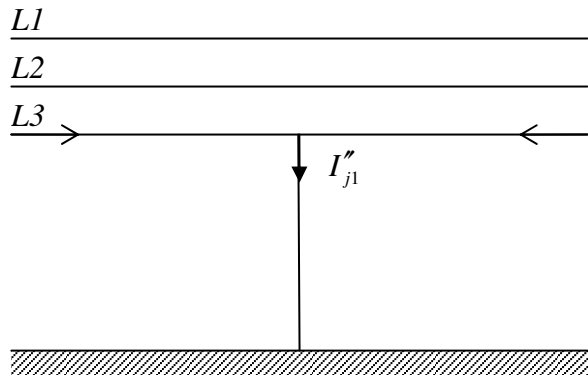
Figur 3-5 Trepolet kortslutning



Figur 3-6 Topolet kortslutning



Figur 3-7 Topolet kortslutning med samtidig jordslutning



Figur 3-8 Enpolet jordslutning

Beregning av hver enkelt kortslutning er vist i formlene (3.4) til (3.13) [7]. Setter man $\underline{Z}_+ = \underline{Z}_-$ forenkles beregningen av absoluttverdiene for en del av formlene, dette er også vist for utvalgte formler.

Trepolet kortslutning
$$\underline{I}''_{k3} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot \underline{Z}_+} \quad (3.4)$$

Topolet kortslutning
$$\underline{I}''_{k2} = \frac{c \cdot U_n}{\underline{Z}_+ + \underline{Z}_-} \quad (3.5)$$

$\underline{Z}_+ = \underline{Z}_-$
$$|I''_{k2}| = \frac{c \cdot U_n}{2 \cdot |\underline{Z}_+|} = \frac{\sqrt{3}}{2} I''_{k3} \quad (3.6)$$

Topolet kortslutning med samtidig jordslutning (PE).
$$\underline{I}''_{k2EL2} = -j \cdot c \cdot U_n \frac{\underline{Z}_0 - a \cdot \underline{Z}_-}{\underline{Z}_+ \cdot \underline{Z}_- + \underline{Z}_+ \cdot \underline{Z}_0 + \underline{Z}_- \cdot \underline{Z}_0} \quad (3.7)$$

$$\underline{I}''_{k2EL3} = j \cdot c \cdot U_n \frac{\underline{Z}_0 - a^2 \cdot \underline{Z}_-}{\underline{Z}_+ \cdot \underline{Z}_- + \underline{Z}_+ \cdot \underline{Z}_0 + \underline{Z}_- \cdot \underline{Z}_0} \quad (3.8)$$

$$\underline{I}''_{kE2E} = -\frac{\sqrt{3} \cdot c \cdot U_n \cdot \underline{Z}_-}{\underline{Z}_+ \cdot \underline{Z}_- + \underline{Z}_+ \cdot \underline{Z}_0 + \underline{Z}_- \cdot \underline{Z}_0} \quad (3.9)$$

$$\underline{Z}_+ = \underline{Z}_- \quad |I''_{kE2E}| = \frac{\sqrt{3} \cdot c \cdot U_n}{|\underline{Z}_+ + 2 \cdot \underline{Z}_0|} \quad (3.10)$$

Formlene i (3.7) til (3.10) gjelder også for topolet kortslutning med samtidig kortslutning mot N-leder. Indeks E byttes ut med N for å synliggjøre at feilen er mot N-leder.

$$\begin{array}{l} \text{Enpolet} \\ \text{jordslutning} \\ \text{(PE)} \end{array} \quad I''_{j1} = \frac{\sqrt{3} \cdot c \cdot U_n}{\underline{Z}_+ + \underline{Z}_- + \underline{Z}_0} \quad (3.11)$$

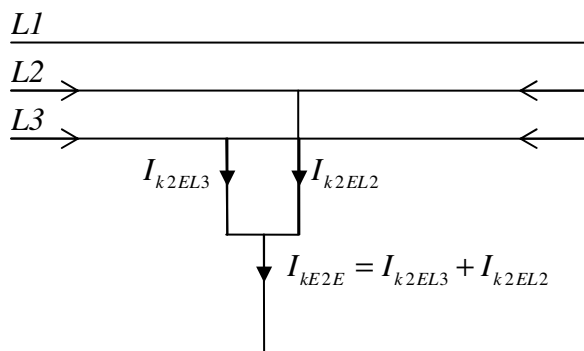
$$\begin{array}{l} \text{Enpolet} \\ \text{kortslutning} \\ \text{(N)} \end{array} \quad I''_{k1} = \frac{\sqrt{3} \cdot c \cdot U_n}{\underline{Z}_+ + \underline{Z}_- + \underline{Z}_0} \quad (3.12)$$

$$\underline{Z}_+ = \underline{Z}_- \quad |I''_{j1}| = \frac{\sqrt{3} \cdot c \cdot U_n}{|2 \cdot \underline{Z}_+ + \underline{Z}_0|} \quad (3.13)$$

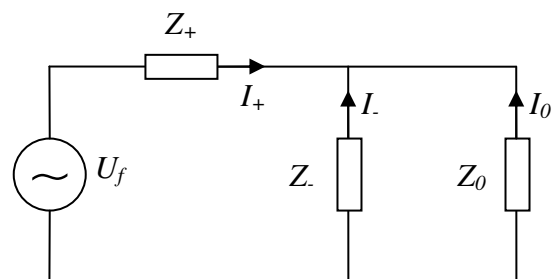
Kortslutningsimpedansen til nettverket sett ifra kortslutningsstedet kan variere og det må velges den konfigurasjonen av nettverket som gir maksimal eller minimal kortslutningsstrøm. I matende nett, transformatorer, linjer, kabler og lignende utstyr er den positive system impedansen lik den negative, men for roterende maskiner kan disse være ulike. Nullimpedansen er avhengig av hvordan det elektriske utstyret er koblet mot jord. Impedansverdiene for generator, nettransformatorer og kraftstasjoner skal multipliseres med en korreksjonsfaktor (K_G , K_T og K_S). Disse korreksjonsfaktorene brukes for å modellere transformatortrinning og den subtransiente spenningen E'' i generatorer.

3.3 Utledning av formler for beregning av usymmetriske kortslutningsstrømmer

Fremgangsmåten for utledning av formlene til beregning av usymmetriske kortslutningsstrømmer er her vist med bruk av symmetriske komponenter og per fase ekvivalentskjema. Bare feiltypen topolet kortslutning med samtidig jordslutning er vist. Denne er valgt for å sette fokus på denne feiltypen, da ingen av beregningsprogrammene som det er sett på i denne oppgaven beregner denne feiltypen. Denne feiltypen er dimensjonerende i noen tilfeller og bør derfor beregnes. De andre feiltypene har lignende utledninger som kan gjøres med samme fremgangsmåten som den brukt her.



Figur 3-9 Topolet kortslutning med jord



Figur 3-10 Per fase ekvivalentskjema med symmetriske komponenter [3]

Feilen er kortslutning mellom fase L2 og L3 med samtidig jordslutning, se figur 3-9. For denne feiltypen kan det settes opp følgende betingelser:

$$\begin{aligned} I_{L1} &= 0 \\ U_{L2} &= 0 \\ U_{L3} &= 0 \end{aligned} \quad (3.14)$$

Introduserer symmetriske komponenter på ligningene i (3.14) og får ligningene:

$$\underline{I}_+ + \underline{I}_- + \underline{I}_0 = 0 \quad (3.15)$$

$$\underline{a}^2 \cdot \underline{U}_+ + \underline{a} \cdot \underline{U}_- + \underline{U}_0 = 0 \quad (3.16)$$

$$\underline{a} \cdot \underline{U}_+ + \underline{a}^2 \cdot \underline{U}_- + \underline{U}_0 = 0 \quad (3.17)$$

De to spenningsligningene (3.16) og (3.17) settes lik hverandre for å løse ut de forskjellige systemspenningene, løser først for \underline{U}_+ .

$$\begin{aligned} \underline{a}^2 \cdot \underline{U}_+ + \underline{a} \cdot \underline{U}_- + \underline{U}_0 &= \underline{a} \cdot \underline{U}_+ + \underline{a}^2 \cdot \underline{U}_- + \underline{U}_0 \\ (\underline{a}^2 - \underline{a})\underline{U}_+ &= (\underline{a}^2 - \underline{a})\underline{U}_- \end{aligned} \quad (3.18)$$

$$\underline{U}_+ = \underline{U}_-$$

Nullspenningen kan deretter finnes ut ifra (3.16) og (3.18).

$$\begin{aligned} (\underline{a}^2 + \underline{a})\underline{U}_+ + \underline{U}_0 &= 0 \\ (-1)\underline{U}_+ + \underline{U}_0 &= 0 \end{aligned} \quad (3.19)$$

$$\underline{U}_0 = \underline{U}_+$$

Resultatet fra utregning av systemspenningene i (3.18) og (3.19) gir at:

$$\underline{U}_+ = \underline{U}_- = \underline{U}_0 \quad (3.20)$$

For å oppfylle ligningene (3.15) og (3.20) må de tre symmetriske komponentene kobles i parallell som vist i figur 3-10. Fra ekvivalentskjemaet kan nå den positive komponentstrømmen finnes ved hjelp av fasespenningen U_f .

$$\underline{I}_+ = \frac{U_f}{\underline{Z}_+ + \left(\frac{\underline{Z}_- \cdot \underline{Z}_0}{\underline{Z}_- + \underline{Z}_0} \right)} = \frac{U_f (\underline{Z}_- + \underline{Z}_0)}{\underline{Z}_+ \cdot \underline{Z}_- + \underline{Z}_+ \cdot \underline{Z}_0 + \underline{Z}_- \cdot \underline{Z}_0} \quad (3.21)$$

Negativ- og nullkomponenten av strømmen finnes med strømdeling, vist nedenfor.

$$\underline{I}_- = -\underline{I}_+ \left(\frac{\underline{Z}_0}{\underline{Z}_- + \underline{Z}_0} \right) \quad (3.22)$$

$$\underline{I}_0 = -\underline{I}_+ \left(\frac{\underline{Z}_-}{\underline{Z}_- + \underline{Z}_0} \right) \quad (3.23)$$

Feilstrømmene i fase L2 finnes ved å kombinere formlene (3.1), (3.21), (3.22) og (3.23):

$$\begin{aligned}
 \underline{I}_{k2EL2} &= \underline{a}^2 \cdot \underline{I}_+ + \underline{a} \cdot \underline{I}_- + \underline{I}_0 = \underline{a}^2 \cdot \underline{I}_+ - \underline{a} \cdot \underline{I}_+ \left(\frac{\underline{Z}_0}{\underline{Z}_- + \underline{Z}_0} \right) - \underline{I}_+ \left(\frac{\underline{Z}_-}{\underline{Z}_- + \underline{Z}_0} \right) \\
 &= \frac{\underline{a}^2 \cdot U_f (\underline{Z}_- + \underline{Z}_0)}{\underline{Z}_+ \cdot \underline{Z}_- + \underline{Z}_+ \cdot \underline{Z}_0 + \underline{Z}_- \cdot \underline{Z}_0} - \frac{\underline{a} \cdot U_f \cdot \underline{Z}_0 (\underline{Z}_- + \underline{Z}_0)}{\underline{Z}_+ \cdot \underline{Z}_- + \underline{Z}_+ \cdot \underline{Z}_0 + \underline{Z}_- \cdot \underline{Z}_0} - \frac{U_f \cdot \underline{Z}_- (\underline{Z}_- + \underline{Z}_0)}{\underline{Z}_+ \cdot \underline{Z}_- + \underline{Z}_+ \cdot \underline{Z}_0 + \underline{Z}_- \cdot \underline{Z}_0} \\
 &= \frac{(\underline{a}^2 - 1) \underline{Z}_- \cdot U_f + (\underline{a}^2 - \underline{a}) \underline{Z}_0 \cdot U_f}{\underline{Z}_+ \cdot \underline{Z}_- + \underline{Z}_+ \cdot \underline{Z}_0 + \underline{Z}_- \cdot \underline{Z}_0}
 \end{aligned} \tag{3.24}$$

Uttrykk for rotasjonsoperatoren a vist i (3.2) fylles inn og $-j\sqrt{3} \cdot U_f$ settes utenfor brøken.

$$\begin{aligned}
 \underline{I}_{k2EL2} &= \frac{\left(-\frac{3}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \underline{Z}_- \cdot U_f + (-j\sqrt{3}) \underline{Z}_0 \cdot U_f}{\underline{Z}_+ \cdot \underline{Z}_- + \underline{Z}_+ \cdot \underline{Z}_0 + \underline{Z}_- \cdot \underline{Z}_0} \\
 &= -j\sqrt{3} \cdot U_f \frac{\underline{Z}_0 + \left(\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \cdot \underline{Z}_-}{\underline{Z}_+ \cdot \underline{Z}_- + \underline{Z}_+ \cdot \underline{Z}_0 + \underline{Z}_- \cdot \underline{Z}_0}
 \end{aligned} \tag{3.25}$$

Ved å bytte ut fasespenningen med den ekvivalente linjespenningen $c \cdot U_n$ og innføre rotasjonsoperatoren a igjen, blir uttrykket som vist i (3.7).

$$\underline{I}_{k2EL2} = -j \cdot c \cdot U_n \frac{\underline{Z}_0 - \underline{a} \cdot \underline{Z}_-}{\underline{Z}_+ \cdot \underline{Z}_- + \underline{Z}_+ \cdot \underline{Z}_0 + \underline{Z}_- \cdot \underline{Z}_0} \tag{3.26}$$

Feilstrømmen i fase L3 utledes på samme måte, her er en del av utregningen utelatt da denne er nesten identisk med de gjort for utregning av fase L2. Eneste forskjell er at a og a^2 bytter plass.

$$\begin{aligned}
 \underline{I}_{k2EL3} &= \underline{a} \cdot \underline{I}_+ + \underline{a}^2 \cdot \underline{I}_- + \underline{I}_0 = \underline{a} \cdot \underline{I}_+ - \underline{a}^2 \cdot \underline{I}_+ \left(\frac{\underline{Z}_0}{\underline{Z}_- + \underline{Z}_0} \right) - \underline{I}_+ \left(\frac{\underline{Z}_-}{\underline{Z}_- + \underline{Z}_0} \right) \\
 &= \frac{(\underline{a} - 1) \underline{Z}_- \cdot U_f + (\underline{a} - \underline{a}^2) \underline{Z}_0 \cdot U_f}{\underline{Z}_+ \cdot \underline{Z}_- + \underline{Z}_+ \cdot \underline{Z}_0 + \underline{Z}_- \cdot \underline{Z}_0}
 \end{aligned} \tag{3.27}$$

Her settes $j\sqrt{3} \cdot U_f$ utenfor brøken og fasespenningen byttes ut med $c \cdot U_n$.

$$\underline{I}_{k2EL3} = j \cdot c \cdot U_n \frac{\underline{Z}_0 - \underline{a}^2 \cdot \underline{Z}_-}{\underline{Z}_+ \cdot \underline{Z}_- + \underline{Z}_+ \cdot \underline{Z}_0 + \underline{Z}_- \cdot \underline{Z}_0} \tag{3.28}$$

Feilstrømmen som går i jord eller N lederen, I_{kE2E}/I_{kN2N} er summen av strømmen i fase L2 og L3. Nedenfor er denne summeringen vist med uttrykkene (3.24) og (3.27).

$$\begin{aligned} \underline{I}_{kE2E} &= \underline{I}_{k2EL2} + \underline{I}_{k2EL3} \\ &= \frac{(\underline{a}^2 - 1)\underline{Z}_- \cdot U_f + (\underline{a}^2 - \underline{a})\underline{Z}_0 \cdot U_f}{\underline{Z}_+ \cdot \underline{Z}_- + \underline{Z}_+ \cdot \underline{Z}_0 + \underline{Z}_- \cdot \underline{Z}_0} + \frac{(\underline{a} - 1)\underline{Z}_- \cdot U_f + (\underline{a} - \underline{a}^2)\underline{Z}_0 \cdot U_f}{\underline{Z}_+ \cdot \underline{Z}_- + \underline{Z}_+ \cdot \underline{Z}_0 + \underline{Z}_- \cdot \underline{Z}_0} \\ &= \frac{(\underline{a}^2 + \underline{a} - 2)\underline{Z}_- \cdot U_f}{\underline{Z}_+ \cdot \underline{Z}_- + \underline{Z}_+ \cdot \underline{Z}_0 + \underline{Z}_- \cdot \underline{Z}_0} \end{aligned} \quad (3.29)$$

Benyttes forholdet vist i (3.2), at $\underline{a}^2 + \underline{a} = -1$ og videre bytter ut fasespenningen med den ekvivalente linjespenningen $c \cdot U_n$ blir uttrykket som vist i (3.9).

$$\underline{I}_{kE2E} = -\frac{\sqrt{3} \cdot c \cdot U_n \cdot \underline{Z}_-}{\underline{Z}_+ \cdot \underline{Z}_- + \underline{Z}_+ \cdot \underline{Z}_0 + \underline{Z}_- \cdot \underline{Z}_0} \quad (3.30)$$

3.4 Maksimum og minimum kortslutningsstrøm

Største kortslutningsstrøm opptrer oftest ved trepolet kortslutning, men i enkelte tilfeller kan andre feiltyper gi den største kortslutningsstrømmen. Antar man at $Z_+ = Z_-$ kan enpolet kortslutning og topolet kortslutning med jord gi høyest kortslutningsstrøm. Etersom IT-nett er isolert fra jord vil alltid den trepolet kortslutningen være den største, men for TN-nett kan disse feiltypene gi en større kortslutningsstrøm. Utrengningene i (3.31) og (3.32) viser i hvilke situasjoner I''_{k1} eller I''_{kE2E} er større enn I''_{k3} .

$$\begin{aligned} \underline{I}''_{k3} &\leq \underline{I}''_{k1} \\ \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |\underline{Z}_+|} &\leq \frac{\sqrt{3} \cdot c \cdot U_n}{|2 \cdot \underline{Z}_+ + \underline{Z}_0|} \\ |2 \cdot \underline{Z}_+ + \underline{Z}_0| &\leq |3 \cdot \underline{Z}_+| \end{aligned} \quad (3.31)$$

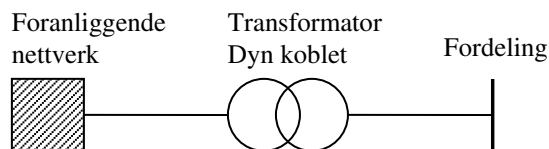
$$\begin{aligned} \underline{I}''_{k3} &\leq \underline{I}''_{kE2E} \\ \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |\underline{Z}_+|} &\leq \frac{\sqrt{3} \cdot c \cdot U_n}{|\underline{Z}_+ + 2 \cdot \underline{Z}_0|} \\ |\underline{Z}_+ + 2 \cdot \underline{Z}_0| &\leq |3 \cdot \underline{Z}_+| \end{aligned} \quad (3.32)$$

Den minste kortslutningsstrømmen er mest vanlig ved enpolet eller topolet kortslutning ved henholdsvis TN- og IT-nett, men her finnes det også unntak. Antar man at $Z_+ = Z_-$ i et TN-nett kan topolet kortslutningen med eller uten jord være den minste. Utrengningene i (3.33) og (3.34) viser i hvilke situasjoner I''_{k2} eller I''_{kE2E} er mindre enn I''_{k1} .

$$\begin{aligned} \underline{I}''_{k1} &\geq \underline{I}''_{k2} \\ \frac{\sqrt{3} \cdot c \cdot U_n}{|2 \cdot \underline{Z}_+ + \underline{Z}_0|} &\geq \frac{c \cdot U_n}{|2 \cdot \underline{Z}_+|} \\ |2\sqrt{3} \cdot \underline{Z}_+| &\geq |2 \cdot \underline{Z}_+ + \underline{Z}_0| \end{aligned} \quad (3.33)$$

$$\begin{aligned} \underline{I}''_{k1} &\geq \underline{I}''_{kE2E} \\ \frac{\sqrt{3} \cdot c \cdot U_n}{|2 \cdot \underline{Z}_+ + \underline{Z}_0|} &\geq \frac{\sqrt{3} \cdot c \cdot U_n}{|\underline{Z}_+ + 2 \cdot \underline{Z}_0|} \\ |\underline{Z}_+ + 2 \cdot \underline{Z}_0| &\geq |2 \cdot \underline{Z}_+ + \underline{Z}_0| \end{aligned} \quad (3.34)$$

Et nettverk med innmating fra en transformator er brukt for å argumentere for noen av disse forholdene, se figur 3-11.



Figur 3-11 Nettverk med innmating fra transformator

Ekvivalentskjema for en Dyn koblet transformator er vist i tabell 3-2. Ved ekvivalentskjemaet for nullkomponenten er transformatorens nullimpedans koblet mot jord. Ved beregning av impedanser til fordelingen vil Z_+ være en sum av inntaket, transformatoren og eventuelle kabler, mens for Z_0 er ikke inntaket med. Dette sammen med at transformatorens X_0 ofte er mindre enn X_+ gjør at trepolet kortslutning som regel ikke er den største nær transformatoren.

Tabell 3-2 Ekvivalent skjema for en Dyn koblet transformator [8]

Koblingsgruppe	Positiv komponent	Null komponent

Ser man nærmere på forholdet X/R for transformatoren og inntaket er dette forholdsvis høyt. For kabler på sekundærsiden av transformatoren er dette forholdet lavere da kabler har høyere resistans. Når Z_+ og Z_0 summeres vektorielt i nevner ved usymmetriske feil kan enpolet eller topolet med jord bli den største feilstrømmen selv om Z_0 er større enn Z_+ , dette pga vinkelforskjellen. Lignende resonnement kan også gjøres for minimum kortslutningsstrøm.

3.5 Støtstrøm

Den maksimale strømmen som kan oppstå i en kortslutning er støtstrømmen. I figur 3-3 er den teoretiske maksimalverdien $2\sqrt{2} \cdot I_k''$ avmerket, denne verdien kan bare nås i en krets uten demping, altså uten resistans [6]. For et radielt oppbygd nettverk gjelder formelen (3.35) [7]. Støtstrømmen beregnes for alle feiltypene, som forenkling kan etter IEC60909-0 κ - verdien funnet ved trefase kortslutning brukes i alle tilfellene. Topolet kortslutning vil være $\sqrt{3}/2$ mindre enn trepolet kortslutning når man antar at $Z_+ = Z_-$. Som for kortslutningsstrømmer kan topolet kortslutning med samtidig jordslutning og enpolet kortslutning gi den høyeste støtstrømmen.

$$\begin{aligned} i_s &= \kappa\sqrt{2} \cdot I_k'' \\ \kappa &= 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3R/X} \end{aligned} \quad (3.35)$$

I ligningene (3.35) antas det at kortslutningen opptrer ved spenningens nullgjennomgang og at i_s er nådd etter omtrentlig en halv periode. Støtstrømsbidrag fra flere radiale avgreininger kan summeres etter ligning (3.36):

$$i_s = \sum_x i_{s,x} \quad (3.36)$$

I de manuelle beregningene utført i denne rapporten er det beregnet κ - verdier for hver enkelt kortslutningstype. I stedet for å beregne forholdet R/X er $\tan \varphi$ benyttet, $\tan \varphi = X/R$ er funnet fra feilstrømmen.

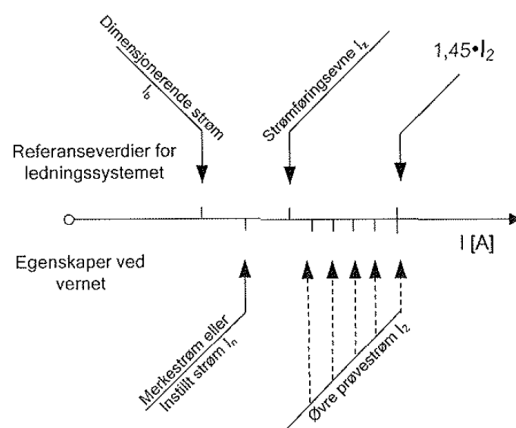
3.6 Valg av overstrøms- og kortslutningsvern

I kapittel V i Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg som omhandler sikkerhetskrav er det gitt noen paragrafer som er spesielt rettet mot vern og andre beskyttelsestiltak. Her er blant annet beskyttelse mot overstrøm og feilstrømmer med. Fokuset i forskriften er at mennesker, husdyr og eiendom skal være beskyttet mot skade. I veiledningen til forskriften står det at dette kan oppnås ved automatisk utkobling eller å begrense overstrømmen til ufarlig størrelse. I vanlige installasjoner kombineres vanligvis vern mot overbelastning og kortslutning [10]. Det betyr at vernet må dimensjoneres slik at det både tåler og kobler ut de kortslutningsstrømmer som kan forekomme, samt å koble ut overbelastningsstrømmer før det skjer noen skade på ledere eller utstyr som vernet skal beskytte.

Normen som dekker elektriske lavspenningsinstallasjoner, NEK 400:2006 er mer spesifikk på hvordan koordineringen mellom vern og ledere skal utføres. For beskyttelse mot overbelastning skal to krav tilfredsstilles, se NEK 400:2006 avsnitt 433:

- Vernets merkestrøm I_n skal være minst like stor som dimensjonerende belastningsstrøm I_b og ikke større enn ledernes strømføringssevne I_z ($I_b \leq I_n \leq I_z$).
- Strøm som sikrer utkobling av vernet innen en fastsatt tid I_2 skal være høyest 1,45 ganger lederens strømføringssevne I_z ($I_2 \leq 1,45 \cdot I_z$).

Disse to kravene er også illustrert i figur 3-12 nedenfor.



Figur 3-12 Koordinering mellom leder og vern [21]

For koordinering mellom vern og PVC isolerte ledningssystem med ledertverrsnitt til og med 4 mm² gjelder egne krav. Disse står i NEK 400:2006 avsnitt 533.2.

For beskyttelse mot kortslutningsstrøm gjelder også to krav, se NEK 400:2006 avsnitt 434:

- Vernets bryteevne skal ikke være mindre enn den høyeste forventede kortslutningsstrømmen, med unntak av at et vern på tilførselssiden har tilstrekkelig bryteevne. I disse tilfellene skal vernene koordineres slik at energien vernene slipper igjennom ikke overstiger den verdien som tåles av lederen som er beskyttet og vern på belastningsside. Denne koordineringen av vern kalles kaskade.
- Enhver kortslutningsstrøm som kan oppstå skal brytes før tillat grensetemperatur for vedkommende leder oppnås. For kortslutninger opp mot 5 sekunder kan maksimal utkoblingstid grovt beregnes etter følgende formel.

$$t = \left(k \frac{S}{I} \right)^2 \quad (3.37)$$

k – fysisk tillatt strømtetthet i 1 sekund, konstant vist i tabell 43A NEK 400 : 2006

S – ledertverrsnitt [mm²]

I – kortslutningsstrømmens effektivverdi [A]

For varighet under 0,1 sekund skal kabelens $k^2 S^2$ være større enn den maksimale gjennomslupne energien til vernet ($I^2 t$).

3.7 Selektivitet

I NEK 400:2006 står det at selektivitet mellom overstrømsvern er under overveielse (kapittel 535). Som veiledning står det at to etterfølgende vern bør velges slik at selektivitet oppnås. Definisjoner for selektivitet finnes i IEC 60947-1 og 2. Overstrømsselektivitet er definert som koordinering av brytekarakteristikken til to eller flere vern slik at for en overstrøm, innen gitte grenser, legger det vernet som er tiltenkt ut feilen samtidig som de andre vernene ikke legger ut. Altså vil man i et selektivt anlegg hindre at andre deler av installasjonen enn den kurs / forgreining med feil blir koblet ut. Betegnelsene total og delvis selektivitet er også benyttet. Forskjellen på disse er at ved delvis selektivitet gjelder selektiviteten opp til en gitt overstrøm, mens ved total selektivitet er vernene selektive ved alle overstrømmer som vernene ser.

Selektivitet kan videre deles inn i overbelastnings- og kortslutningsselektivitet [10]. Overbelastningsselektivitet er i prinsippet oppnådd mellom to vern dersom utløsekarakteristikken for vernene ikke berører eller krysser hverandre, betegnes også som strøm-tid-selektivitet. Mens ved kortslutning er ikke en vurdering av utløsekarakteristikkene alene nok. Forskjellige vern krever her ulike ting som må kontrolleres, videre er det presentert en kort oversikt over dette [5].

To vern med smeltekarakteristikk i serie:

- Smelteenergien (I^2t) til vern oppstrøms må være større enn bryteenergien (I^2t) til vern nedstrøms

Vern med smeltekarakteristikk oppstrøms for vern med momentanutkobling:

- Smelteenergien for oppstrøms vern må være større enn gjennomsluppet energi for vern nedstrøms

Vern med momentanutkobling oppstrøms for vern med smeltekarakteristikk:

- Den nedre momentanutløsestrømmen, I_4 for oppstrøms vern må være større enn den maksimale gjennomslupne strømmen til nedstrøms vern (bestemt av smeltesikringens strømbegrensning)

Vern med momentanutkobling oppstrøm for vern med momentanutkobling:

- Strøm-tid-selektivitet i momentanområde kan oppnås ved å bruke tidsforsinket utløsning på oppstrøms vern eller ved at vern nedstrøms må ha høyere strømbegrensning enn vern oppstrøms

Vernleverandører dokumenterer selektiviteten mellom to vern i selektivitetstabeller, her garanteres selektiviteten opp til den gitte strømmen. Ved å velge vern ut fra disse tabellene låses valget til en leverandør. Kaskade, der oppstrøms vern beskytter vernet nedstrøms, gir en mulighet til å velge et vern nedstrøms med lavere bryteevne enn det maksimal kortslutning tilsier. I prinsippet er kaskade at kontaktsettene i ned- og oppstrømsvern åpnes samtidig, dette resulterer i en begrenset kortslutningsstrøm som nedstrøms vern tåler. Noen vernleverandører operer også med økt selektivitet ved bruk av kaskade. Et eksempel på en kaskadetabell med økt selektivitet, som er hentet fra Schneider Electric, er vist i tabell 3-3.

Tabell 3-3 Kaskade og økt selektivitet. Oppstrøms MG effektbryter. Nedstrøms MG automat [24]

Upstream: Compact NSC100 TM-D

Downstream: Multi 9

Upstream			NSC100N			
Breaking capacity			18 kA			
Trip unit			TM-D			
Downstream	Rating		63	70	80	100
C60H	10 kA	≤ 16	18/18	18/18	18/18	18/18
		20	18/18	18/18	18/18	18/18
		25	18/18	18/18	18/18	18/18
		32	6/18	6/18	6/18	8/18
		40		6/18	6/18	8/18
		50			6/18	6/18
		63				6/18

15/25

downstream device breaking capacity enhanced by cascading (in kA)

selectivity limit enhanced by cascading (in kA)

3.8 Spenningsfall

Spenningsfallet i en kabel er proporsjonal med belastningsstrømmen og impedansen til kabelen. Ved beregninger av spenningsfallet er det største spenningsfallet i en installasjon som er interessant. Det er ikke stilt noen spesifikke krav til største spenningsfall, men i NEK 400:2006 er det anbefalt at spenningsfallet, fra leveringspunktet frem til forbrukerutstyret, ikke overstiger 4 % av installasjonens nominelle spenning. Definisjonen til spenningsfall er forskjellen mellom spenningens absoluttverdi [6].

$$\Delta u = |U_1| - |U_2| \quad (3.38)$$

Ved beregninger på største spenningsfall i kabler legges maksimale tillatte driftstemperatur til grunn pga høyest resistans i dette tilfellet. Formler for utregning av spenningsfall er vist i (3.39) til (3.41) [5].

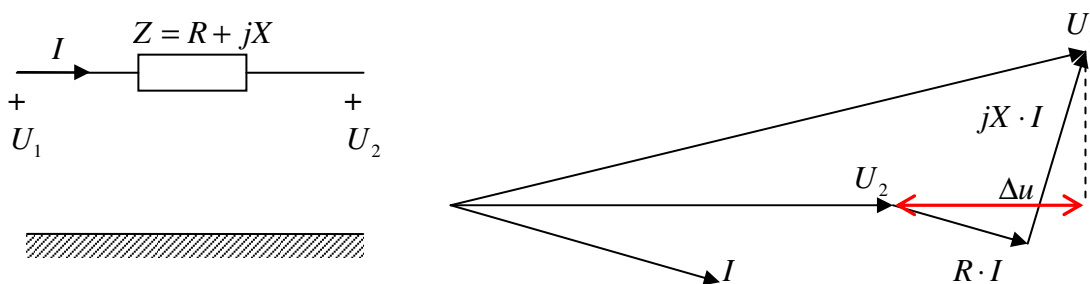
Trefase belastning
$$\Delta u = \frac{P_l \cdot l}{U} (r + x \cdot \tan \varphi_l) \quad (3.39)$$

En- og tofase belastning
$$\Delta u = \frac{2 \cdot P_l \cdot l}{U} (r + x \cdot \tan \varphi_l) \quad (3.40)$$

Prosentvis
$$\Delta u_{\%} = \frac{\Delta u}{U_n} 100 \% \quad (3.41)$$

Disse formlene er basert på projeksjonsmetoden, dette er en forenklet regnemetode som er tilstrekkelig når vinkelforskjellen til spenningen før og etter kabelen er liten [6].

Spenningsfallet blir med denne metoden beregnet ut ifra projeksjonen av U_1 ned på den reelle akse, se figur 3-13. Normalt er vinkelforskjellen mindre enn det som er vist i figuren.



Figur 3-13 Spenningsfall etter projeksjonsmetoden

3.9 Avbruddsfri strømforsyning, UPS

Hovedoppgaven til en UPS er å gi batteribackup ved strømbrudd til kritiske laster. I en statisk UPS gjøres dette med tre hovedkomponenter: likeretter, vekselretter og batteri. Forskjellen på de ulike UPS teknologiene er omkoblingstiden mellom nettverk og batteri, evne til å fjerne nettstøy og kvaliteten på utgangsspenningen [17].

For lettere å identifisere hvilken kategori en UPS tilhører er det laget en klassifisering som er presentert i IEC 62040-3. Klassifiseringskoden er oppbygd med 8 tegn (XXX YY ZZZ). X'ene beskriver hvilken teknologi som er brukt, Y'ene beskriver spenningskvaliteten (total harmonisk forvrengning) i normaldrift eller bypass og i batteridrift og Z'ene beskriver spenningsavvik av klasse 1, 2 eller 3 ved omkobling og lastforandring. Beste kvalitet beskrives som VFI-SS-111. Nedenfor er de tre ulike UPS teknologiene med fordeler og ulemper vist [17].

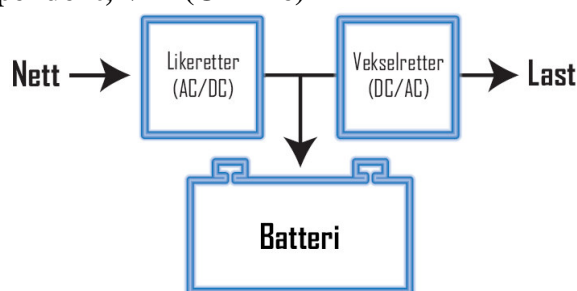
Voltage Frequency Independent, VFI (On line)

Fordeler

- Helt stabil utspenning, uavhengig av innspenningens amplitude og frekvens
- Meget god demping av nettstøy
- Ingen omkoblingstid til batteri ved strømbrudd
- Frekvensstabilisering/-omformer

Ulemper

- Prisnivå



Figur 3-14 On line UPS

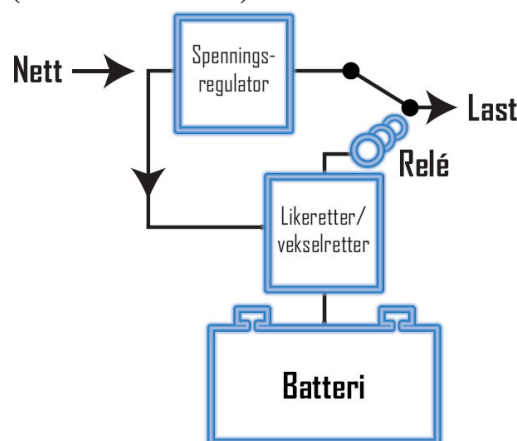
Voltage Independent, VI (Line Interactive)

Fordeler

- Noe rimeligere enn VFI
- Kan gå lengre tid på batteri
- Ren sinus utgangsspenning

Ulemper

- Begrenset støydemping
- Begrenset spenningsstabilisering, til en viss grad uavhengig av innspenningens amplitude
- Ingen frekvensstabilisering, avhengig av innspenningens frekvens
- Omkoblingstid



Figur 3-15 Line Interactive UPS

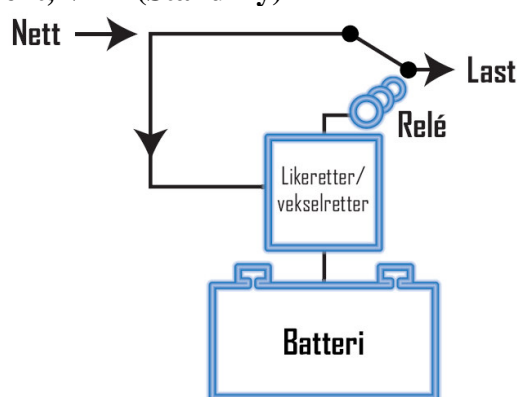
Voltage Frequency Dependent, VFD (Stand By)

Fordeler

- Prisnivå

Ulemper

- Ingen støydemping
- Ingen spenningsstabilisering
- Ingen frekvensstabilisering
- Større risiko for omkoblingstid til batteridrift

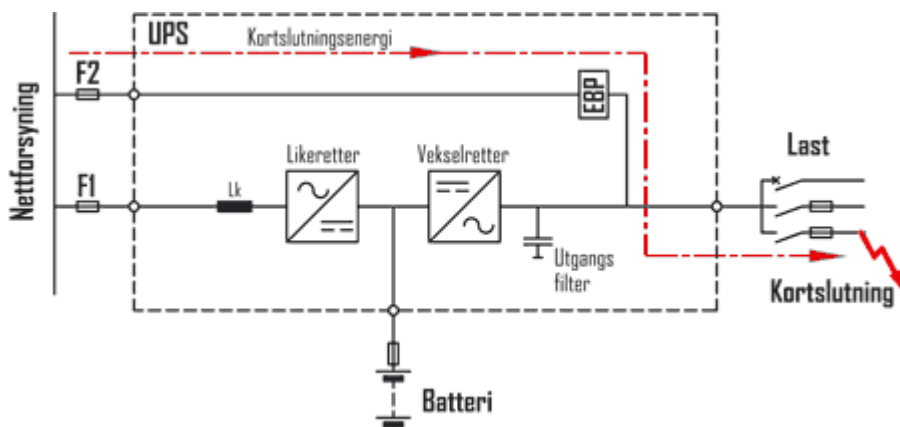


Figur 3-16 Stand By UPS

3.10 Selektivitet i UPS-anlegg

Kortslutningsytelsen til en UPS er forskjellig under normal drift og når nettforsyningen er borte. For å oppnå full selektivitet må det være samsvar mellom vernstørrelsene og vernkarakteristikk på utgangskursene og kortslutningsytelsen til UPS'en.

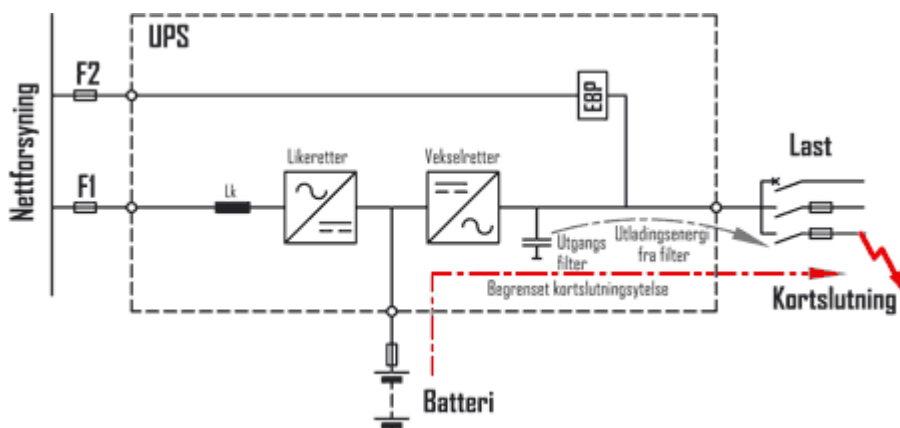
Ved feil nedstrøms UPS i normal drift vil bypasskretsen kobles inn for å nytte seg av kortslutningsytelsen som nettet kan levere. Selektivitet må da sikres mellom vernene på utgangskursene og vernet i bypasskretsen (vern F2, figur 3-17).



Figur 3-17 Selektivitet med nettforsyning tilstede [16]

Ved feil nedstrøms UPS i batteridrift, når nettforsyningen er borte, er kortslutningsytelsen gitt av vekselretteren og utgangsfilteret. Spenningen på utgangen vil fall ned mot null volt og UPS'en kan ses på som en konstant strømkilde. Typisk kortslutningsstrøm er 2-5 ganger merkestrøm til UPS'en. For å oppnå selektivitet er man avhengig av at vernene på utgangskursene kobler ut momentant ved disse kortslutningsstrømmene.

Dette kan føre til at hvis vernstørrelsen på utgangskursene er satt høy, grunnet startstrøm for last, må UPS muligens overdimensjoneres i forhold til total last. Dette må gjøres for å sikre utkobling av vernene på utgangskursene før UPS'en slår seg av.



Figur 3-18 Selektivitet i batteridrift, nettforsyningen er fraværende [16]

3.11 Generatorens kortslutningsbidrag

Kortslutningsbidrag fra synkrongeneratorer kan beregnes i Nettdok. I IEC60909-0 er det gitt følgende formler for utregning av positiv-, negativ- og nullkomponent impedans for direktekoblede synkrongeneratorer:

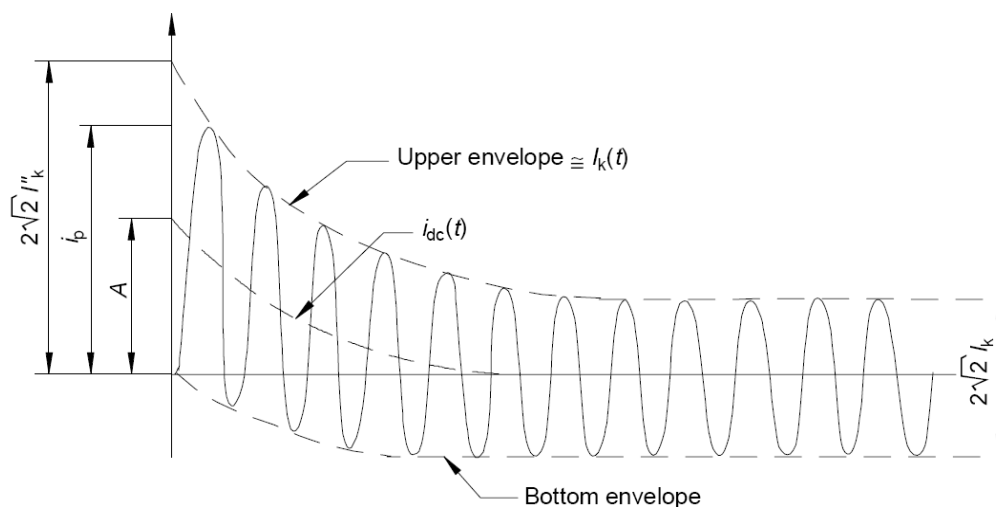
$$\begin{aligned} \underline{Z}_{G+} &= \underline{Z}_{G-} = K_G \cdot (R_G + jX_d'') \\ \underline{Z}_{G0} &= K_G \cdot (R_{G0} + jX_{G0}) \\ K_G &= \frac{U_n}{U_{nG}} \cdot \frac{c_{maks}}{1 + x_d'' \cdot \sin \varphi_G} \end{aligned} \quad (3.42)$$

I denne utregningen beregnes det subtransiente kortslutningsbidraget ut ifra generatorens merkeverdier. Korreksjonsfaktoren K_G er introdusert pga bruk av den ekvivalente spenningskilden istedenfor den subtransiente indre spenningen. Ved forskjellige subtransiente d- og q-akse reaktanser ($X_d'' \neq X_q''$) skal formel (3.43) benyttes for beregning av negativkomponent impedans.

$$\underline{Z}_{G-} = K_G \cdot \left(R_{G-} + j \frac{X_d'' + X_q''}{2} \right) \quad (3.43)$$

Trefase kortslutningsstrøm fra generatorer er i Nettdok beregnet etter IEC61363-1. Her er det beskrevet en forenklet metode der q-akse komponenter er sett bort fra, dette gir et resultat som ligger innenfor +10 % [9]. Den høyeste kortslutningsstrømmen er beregnet når generatoren drives på nominell last, spenning, frekvens og effektfaktor. Forskjellen på denne metoden og den benyttet i IEC60909-0 er at i Nettdok antas det at generatoren går i merkedrift før feilen og ikke i tomgang. Beregningene i Nettdok gjøres også med generatorens indre spenning og toppverdiene beregnes etter en halv periode. Dette vil føre til at verdiene beregnet etter IEC61363-1 vil være noe lavere enn de beregnet etter IEC60909-0.

Videre er fremgangsmåten for beregning av kortslutning ved generatorer beskrevet i IEC61363-1 presentert. Kortslutningsstrømmen består av et veksel- og likestrømsledd, se figur 3-19.



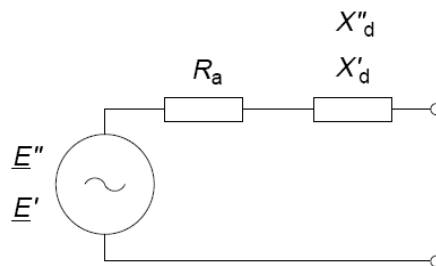
Figur 3-19 Trefase kortslutning på en synkron generator [9]

I kortslutningsberegningene er bare den høyeste verdien av strømmen sett nærmere på, denne varierer som funksjon av tiden langs den øvre omhyllingskurven, $i_k(t)$. Denne strømmen er beregnet ut ifra formel (3.44).

$$i_k(t) = \sqrt{2} \cdot I_{ac}(t) + i_{dc}(t) \quad (3.44)$$

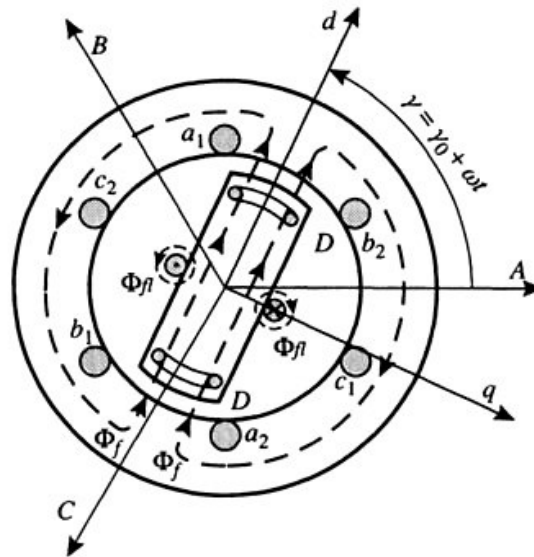
De tre verdiene som må beregnes er effektivverdien av vekselstrømskomponenten $I_{ac}(t)$, likestrømskomponenten $i_{dc}(t)$ og støtstrømmen $i_s(t)$. Toppverdien av disse strømmene inntreffer et sted mellom $t = 0$ og $t = T/2$. Disse verdiene er bestemt av belastningen før kortslutningen og generatorens impedanser og tidskonstanter. Det er som en akseptabel forenkling sagt at toppverdien inntreffer ved $t = T/2$.

I de første periodene etter en kortslutning har alle synkronmaskiner lignende respons. Etter dette er kortslutningsstrømmen avhengig av magnetiseringsstrømmen. Utregningene i denne standarden blir gjort etter en halv periode og derfor er magnetiseringsstrømmen ikke vurdert. I beregningen av trefasekortslutningsstrøm brukes et positivkomponent ekvivalentskjema av synkronmaskinen, se figur 3-20. Ekvivalentskjemaet inneholder den indre subtransiente eller transiente spenningen i q-aksen bak statorresistansen og den subtransiente eller transiente reaktansen i d-aksen.



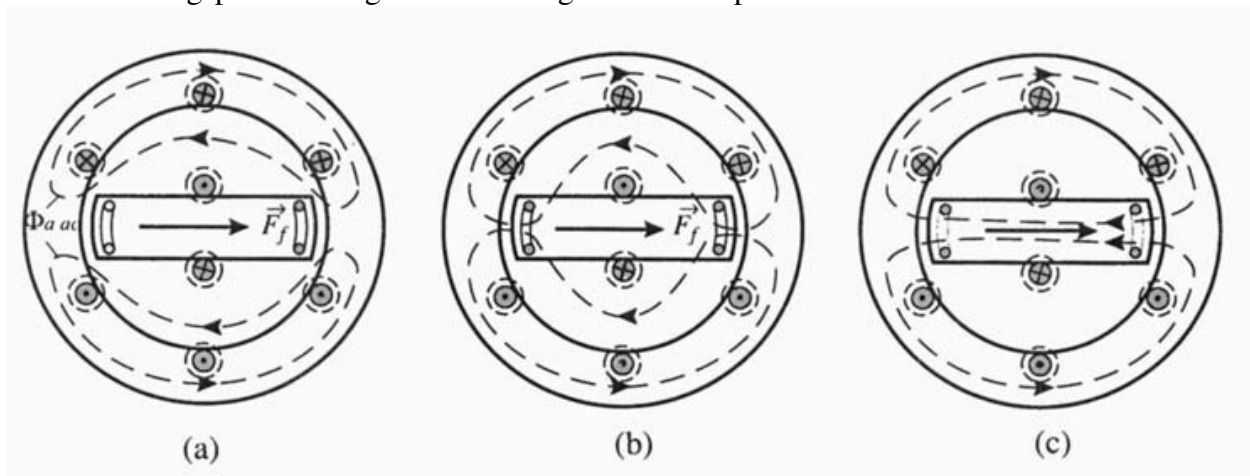
Figur 3-20 Synkronmaskin positiv komponent ekvivalentskjema [9]

For å illustrere hvor d- og q-aksen ligger er en skisse av tverrsnittet til en synkrongenerator vist i figur 3-21. Statoren har tre akser A, B og C i samsvar med de tre faseviklingene. Rotoren har to akser: Den direkte akse (d-akse) som er den magnetiske akse til feltviklingen og kvadratisk akse (q-akse) som ligger $\pi/2$ elektriske radianer bak [14]. På figur 3-21 er feltviklingen avmerket med fluksen Φ_{fl} og dempeviklingen med D.



Figur 3-21 Tverrsnittskisse av en synkrongenerator [14]

De ulike reaktansene i d-aksen er avhengig av hvor fluksen i rotoren går. Figur 3-22 viser de tre kortslutningsperiodene og hvor fluksen går i de ulike periodene.



Figur 3-22 Fluks gjennom rotoren i a) subtransient, b) transient og c) stasjonær periode [14]

Strømmene og fluksen inne i generatoren kan studeres ved å benytte loven om konstant fluksomhylling. Konservering av energi gir at den magnetiske fluksen som omhyller en lukket sløyfe ikke kan forandres momentant. Rett etter en feil, i den subtransiente perioden, fører induerte strømmer i dempeviklingen og feltviklingen til at fluksen blir presset ut av rotoren og går primært i luftgapet mellom stator og rotor, dette for å holde konstant fluks i rotoren (figur 3-22a).

Resistans i rotoren vil etter hvert lade ut energien i rotorviklingene og strømmene som forsøker å holde fluksen konstant vil minke, dette vil tillate at fluksen gradvis slipper inn i rotoren. Ettersom resistansen er størst i dempeviklingen vil strømmen i denne viklingen minke først og slippe fluksen inn i dempeviklingen, samtidig som den er presset ut av feltviklingen. Dette tilsvarer den transiente perioden (figur 3-22b). Den stasjonære perioden kommer når fluksen får slippe inn i hele rotoren etter at strømmen i feltviklingen også er ladet ut (figur 3-22c). Fluksen i den subtransiente perioden går for det meste i luft som fører til en lav reaktans og i den stasjonære perioden går fluksen mest i jern som tilsvarer en høy reaktans. Dette forholdet vil gi et økende reaktansforhold $X_d'' < X_d' < X_d$.

Utregning av den subtransiente og transiente q-akse spenningen før feilen (E''_{q0} og E'_{q0}) gjøres ut ifra strømmen før feilen og generatorimpedansen ved bruk av formlene (3.45) og (3.46) [9].

$$E''_{q0} = \sqrt{\left(\frac{U_0}{\sqrt{3}} \cos \varphi_0 + R_a \cdot I_0\right)^2 + \left(\frac{U_0}{\sqrt{3}} \sin \varphi_0 + X''_d \cdot I_0\right)^2} \quad (3.45)$$

$$E'_{q0} = \sqrt{\left(\frac{U_0}{\sqrt{3}} \cos \varphi_0 + R_a \cdot I_0\right)^2 + \left(\frac{U_0}{\sqrt{3}} \sin \varphi_0 + X'_d \cdot I_0\right)^2} \quad (3.46)$$

Den subtransiente og transiente strømmen kan nå finnes ved hjelp av ekvivalentskjemaet vist i figur 3-20.

$$I''_{kd} = \frac{E''_{q0}}{\sqrt{R_a^2 + X''_d{}^2}} \quad (3.47)$$

$$I'_{kd} = \frac{E'_{q0}}{\sqrt{R_a^2 + X'_d{}^2}} \quad (3.48)$$

Effektivverdien av vekselstrømskomponenten $I_{ac}(t)$ er bygd av den subtransiente, transiente og stasjonære kortslutningsstrømmen. Tidsperioden til de forskjellige komponentene er definert av den direkte akse subtransiente og transiente tidskonstanten. Disse tidskonstantene sammen med den stasjonære kortslutningsstrømmen I_{kd} oppgis av generatorleverandørene.

$$I_{ac}(t) = (I''_{kd} - I'_{kd}) e^{-t/T''_d} + (I'_{kd} - I_{kd}) e^{-t/T'_d} + I_{kd} \quad (3.49)$$

For å kunne beregne likestrømskomponenten $i_{dc}(t)$ av kortslutningsstrømmen må først likestrømtidskonstanten finnes, se formel (3.50) og (3.51).

$$T_{dc} = \frac{X''_d}{2\pi \cdot f \cdot R_a} \quad (3.50)$$

$$i_{dc}(t) = \sqrt{2} (I''_{kd} - I_0 \sin \varphi_0) e^{-t/T_{dc}} \quad (3.51)$$

Støtstrømmen kan nå finnes ut fra effektivverdien av vekselstrømskomponenten og likestrømskomponenten:

$$i_s = \sqrt{2} \cdot I_{ac}(t) + i_{dc}(t) \quad (3.52)$$

For å beregne kortslutningsstrømmen ute i installasjonen som er koblet til generatoren via en kabel eller transformator må impedansen økes. Høyere impedans reduserer kortslutningsstrømmen og øker tidskonstantene. Kabel- og transformatorimpedans skal legges til generatorens impedanser slik at de nye impedansene (\underline{Z}_e) blir:

$$\begin{aligned} R_e &= R_a + R \\ X''_e &= X''_d + X \\ X'_e &= X'_d + X \\ X_e &= X_d + X \end{aligned} \quad (3.53)$$

De økt tidskonstantene må også beregnes, utregning av den subtransiente og transiente tidskonstanten er vist nedenfor:

$$T_e'' = \frac{(R_e^2 + X_e''^2) X_d' \cdot T_d''}{(R_e^2 + X_e'' \cdot X_e') X_d''} \quad (3.54)$$

$$T_e' = \frac{(R_e^2 + X_e'^2) X_d \cdot T_d'}{(R_e^2 + X_e' \cdot X_e) X_d'} \quad (3.55)$$

De nye impedansene og tidskonstantene skal benyttes i utregningen vist i formlene (3.45) til (3.52).

Ved beregning av de stasjonære kortslutningsstrømmene ute i installasjonen, betraktes generatoren i Nettdok nesten som et vanlig inntak. Forskjellen er at metoden benyttet for å mate inn nødvendig data ikke er lik. Kortslutningsstrømmene blir beregnet etter formlene i IEC60909-0, se formel (3.4) til (3.13).

I Nettdok beregnes positiv- og nullkomponent impedans til generatoren ut på følgende måte. Positivkomponent resistans er lik den inntastede statorresistansen og positivkomponent reaktans beregnes ut ifra den oppgitte stasjonære trefase kortslutningsstrømmen, se formel (3.56). Den stasjonære trefase kortslutningsstrømmen er avhengig av type magnetisering og oppgis av leverandøren. Stasjonær topolet kortslutning er låst av Nettdok til å være $\sqrt{3}/2$ mindre enn trepolet (antatt $\underline{Z}_+ = \underline{Z}_-$).

$$X_+ = \sqrt{\left(\frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_{k3}}\right)^2 - R_+^2} \quad (3.56)$$

Nullkomponent reaktansen finnes med utgangspunkt i oppgitt per unit verdi og nullkomponent resistansen beregnes ut ifra reaktansen og $\cos \varphi$ tilhørende positivkomponent impedansen.

3.12 Kortslutningsbidrag fra direktekoblede asynkronmotorer

Motorbidrag til kortslutningsstrømmen må tas høyde for i maksimumsberegningene. Motorer bidrar blant annet til den subtransiente kortslutningsstrømmen, støtstrømmen og for usymmetriske feil også til den stasjonære kortslutningsstrømmen. Etter IEC60909-0 kan bidraget til den subtransiente kortslutningsstrømmen neglisjeres hvis:

- De samlede motorbidragene er under 5 % av den subtransiente kortslutningsstrømmen beregnet uten motorer
- Den samlede merkestrømmen til de direktekoblede motorene er under 1 % av den subtransiente kortslutningsstrømmen beregnet uten motorer

Kortslutningsbidraget blir bestemt av motorens positiv-, negativ- og nullkomponent impedans. Impedansdata er ikke alltid oppgitt i databladene, men som en tilnærming kan positiv- og negativkomponent impedans antas like og bestemmes ut ifra formel (3.57). I utregningen brukes motorens merkeverdier og forholdet mellom startstrømmen og merkestrømmen (I_s/I_n).

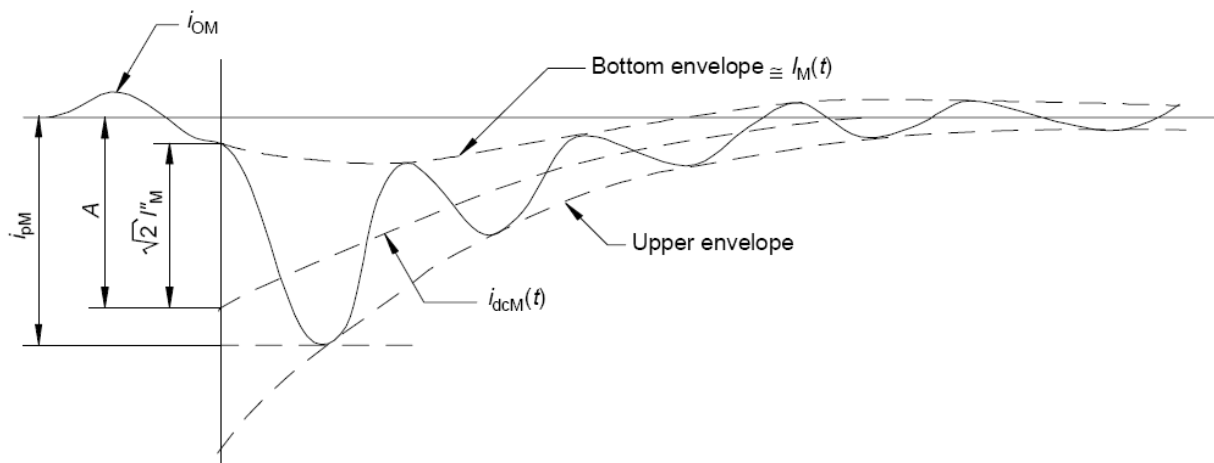
$$Z_M = \frac{1}{I_s/I_n} \cdot \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot I_n} = \frac{1}{I_s/I_n} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} \quad (3.57)$$

Videre må resistansen og reaktansen finnes ut ifra forholdet R/X gitt av leverandøren. Er ikke dette forholdet tilgjengelig presenterer IEC60909-0 noen verdier som kan brukes med tilstrekkelig nøyaktighet. Nullkomponent impedansen må oppgis av leverandøren, men vanligvis jordes ikke nullpunktet i motoren og dette fører til at nullkomponent impedansen blir uendelig stor. Dette fører videre til at motorer ikke bidrar til enpolet kortslutningsstrøm og bidraget til topolet kortslutning med samtidig jordslutning blir det samme som for topolet kortslutning. Formler for utregning av bidrag til trepolet og topolet kortslutning er vist i tabell 3-4, her er det antatt at $Z_+ = Z_-$.

Tabell 3-4 Formler for beregning av kortslutningsstrømmer fra asynkronmotorer [7]

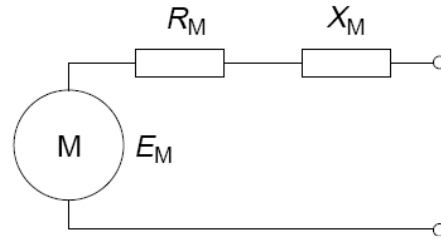
	Trepolet kortslutning	Topolet kortslutning
Subtransient symmetrisk kortsutningsstrøm	$I''_{k3M} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_M}$	$I''_{k2M} = \frac{\sqrt{3}}{2} I''_{k3M}$
Støtstrøm	$i_{s3M} = \kappa_M \cdot \sqrt{2} \cdot I''_{k3M}$	$i_{s2M} = \frac{\sqrt{3}}{2} i_{s3M}$
Stasjonær kortslutningsstrøm	$I_{k3M} = 0$	$I_{k2M} \approx \frac{\sqrt{3}}{2} I''_{k3M}$

Nettdok beregner trepolet kortslutningsbidrag fra asynkronmotorer etter standarden IEC61363-1. Her er det som for generatoren beskrevet en metode for utregning av trepolet kortslutningsstrøm. Febdok derimot beregner ikke kortslutningsbidrag fra motorer. Forskjellen på metoden benyttet av Nettdok og den beskrevet i IEC60909-0 er at i Nettdok beregnes toppverdiene etter en halv periode. Beregninger i IEC61363-1 gjøres også med motorens indre spenning, men i Nettdok er det antatt at motoren går i tomgang og da er motorens indre spenning lik nettspenning. Fremgangsmåten presentert i standarden IEC61363-1 er beskrevet videre. Figur 3-23 viser en skisse av trepolet kortslutningsstrøm ved kortslutning på klemmene til en asynkronmotor.



Figur 3-23 Trefase kortslutning på en asynkronmotor [9]

For trepolet kortslutning bidrar asynkronmotorer til kortslutningsstrømmen en kort periode. Størrelsen på strømmen er bestemt av den indre subtransiente spenningen, impedansen og tidskonstanten, se ekvivalentskjema figur 3-24.



Figur 3-24 Asynkronmotor positiv komponent ekvivalentskjema [9]

Motorimpedansen er bygd opp av resistansen og reaktansen til både stator og rotor, referert til statorspenningen, se formel (3.58). Med disse resistansene og reaktansene kan den subtransiente tidskonstanten T_M'' og likespenningstidskonstanten T_{dcM} finnes ved hjelp av formlene (3.59) og (3.60). I datablad for motorer oppgis sjelden motorimpedansen, men i IEC61363-1 er det presentert tilnærmede verdier som kan benyttes med tilstrekkelig nøyaktighet. Nettdok har ingen muligheter for å legge inn impedansverdier og benytter seg av de tilnærmede verdiene.

$$\begin{aligned} R_M &= R_R + R_S \\ X_M &= X_R + X_S \end{aligned} \quad (3.58)$$

$$T_M'' = \frac{X_R + X_S}{\omega_n \cdot R_R} \quad (3.59)$$

$$T_{dcM} = \frac{X_R + X_S}{\omega_n \cdot R_S} \quad (3.60)$$

Utregningen av den indre subtransiente spenningen er avhengig av motorens klemmespenning, laststrømmen og effektfaktoren ved kortslutningstidspunktet, se formel (3.61).

$$E_M'' = \sqrt{\left(\frac{U_M}{\sqrt{3}} \cdot \cos \varphi - R_M \cdot I_M \right)^2 + \left(\frac{U_M}{\sqrt{3}} \cdot \sin \varphi - X_M \cdot I_M \right)^2} \quad (3.61)$$

Den subtransiente strømmen finnes nå ved bruk av ekvivalentskjemaet:

$$I_M'' = \frac{E_M''}{\sqrt{R_M^2 + X_M^2}} \quad (3.62)$$

Effektivverdien av vekselstrømskomponenten $I_{acM}(t)$ beregnes deretter ved tiden $t = T/2$.

$$I_{acM}(t) = I_M'' \cdot e^{-t/T_M''} \quad (3.63)$$

For å kunne beregne likestrømskomponenten $i_{dc}(t)$ av kortslutningsstrømmen benyttes likestrømtidskonstanten funnet etter formel (3.60).

$$i_{dcM}(t) = \sqrt{2} (I_M'' - I_M \cdot \sin \varphi) e^{-t/T_{dcM}} \quad (3.64)$$

Støtstrømmen kan nå finnes ut ifra effektivverdien av vekselstrømskomponenten og likestrømskomponenten ved tiden $t = T/2$.

$$i_{sM} = \sqrt{2} \cdot I_{acM}(t) + i_{dcM}(t) \quad (3.65)$$

Antar man at motoren går i tomgang settes motorstrømmen I_M lik null i formel (3.61) og (3.64), dette gjøres i Nettdok.. Dette fører til at motorens klemmespenning benyttes istedenfor den indre subtransiente spenningen E_M'' . Antas tomgang vil beregningen gi en noe høyere kortslutningsstrøm.

Ved beregning av kortslutningsbidrag fra motorer ute i installasjonen koblet via kabler eller transformatorer må impedansen økes. Kabel- og transformatorimpedans legges til motorens impedanser slik at de nye impedansene og tidskonstantene beregnes som følgende:

$$\begin{aligned} R_{Me} &= R_R + R_S + R \\ X_{Me} &= X_R + X_S + X \end{aligned} \quad (3.66)$$

$$\begin{aligned} T_{Me}'' &= \frac{X_{Me}}{\omega_n \cdot R_R} \\ T_{dcMe} &= \frac{X_{Me}}{\omega_n \cdot (R_S + R)} \end{aligned} \quad (3.67)$$

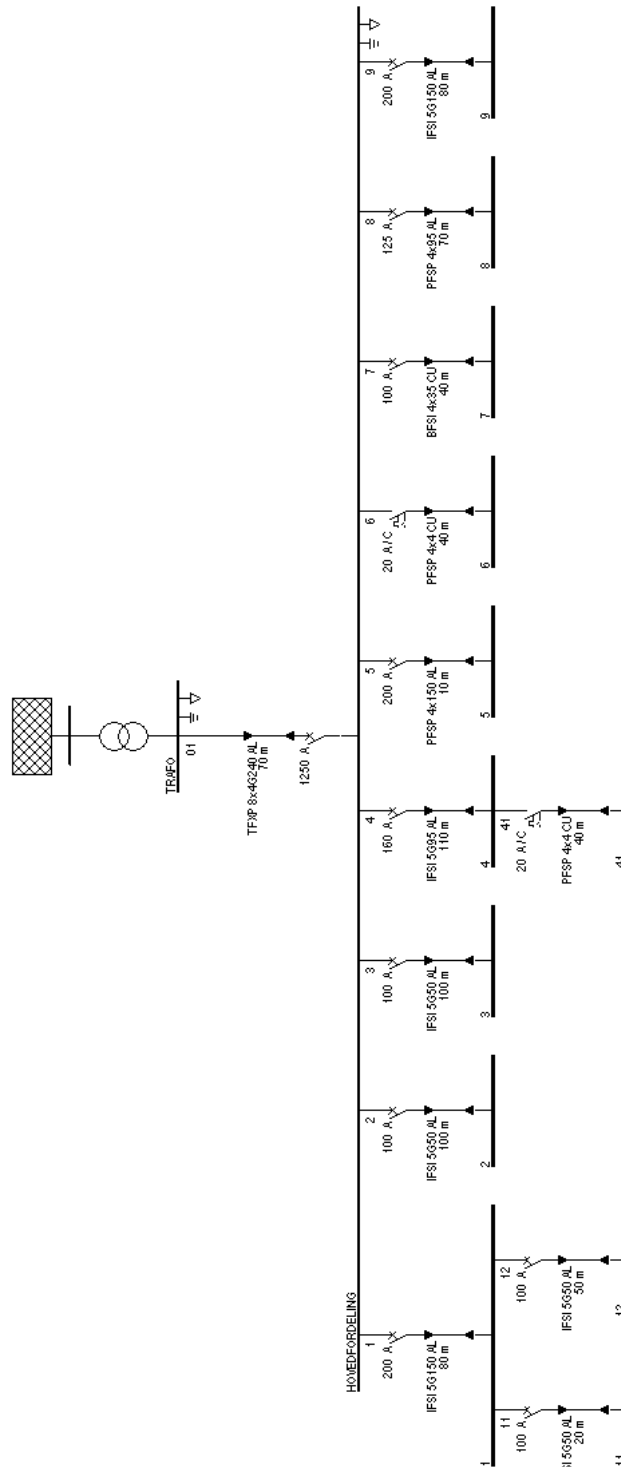
4 Beregninger på konkrete eksempler

Alle beregningene er utført i Febdok, Nettdok og manuelt med unntak av generator- og motorberegningen som ikke er tilgjengelig i Febdok. Beregninger utført i dette kapitlet er med utgangspunkt i virkelige anlegg til prosjektering i Norconsult, som Holmenkollbakken og et nytt kaianlegg i Vats kommune. De nettverkseksemplene som er benyttet i denne oppgaven er ikke nødvendigvis helt i samsvar med den endelige løsningen, men er gode eksempler for hvordan et virkelig anlegg kunne ha sett ut. Resultatene fra beregningene har derfor rot i virkeligheten og er ikke bare rene teoretiske utregninger. De forskjellige beregningene har ført til en stor mengde av rapporter og beregningsresultat. Her er bare det vesentlig for å få frem de ulike resultatene presentert.

En del kommentarer på hvordan utregninger er gjennomført, tekniske data og hvordan beregningsverktøyene utfører beregningene er skrevet for å kunne forstå resultatene og fremgangsmåtene brukt. I vedleggene er det også tatt med noe mer utdypende informasjon som formler og tekniske datablad.

4.1 Holmenkollbakken

For å kunne sammenligne resultater fra kortslutnings-, støtstrøms- og spenningsfallsberegninger er et lavspent nettverk til forsyning av blant annet heislobby, tilløp og starthus i nye Holmenkollbakken sett nærmere på. Den nye Holmenkollbakken skal være klar til prøve VM i mars 2010. Beregningene utført er begrenset til inntak, hovedfordeling og stigeablene. At ingen forbrukerkurser er beregnet fører til at alle resultatene er fra trefasekabler. Enlinjeskjema for nettverket tatt fra Febdok er vist i figur 4-1.



Figur 4-1 Hovedkursskjema Holmenkollen

4.1.1 Beregning av kortslutningsstrømmer

Det er utført kortslutningsberegninger på begge sider av transformatoren og på alle fordelingene. All manuell utregning er gjort etter IEC60909-0. Formlene for utregning av impedanser for det foranliggende 11 kV nettverket, transformatoren og kablene er vist i (4.1) til (4.5).

Nedenfor er det listet opp det nødvendige teknisk underlaget for beregningene:

- Foranliggende nettverk: 11 kV med kortslutningsytelse på 250 MVA (maks. og min.)
- Fordelingstransformator: 800 kVA 11 kV / 415 V TN-C-S (TN-S fra hovedfordeling), teknisk underlag for denne er tatt fra Møre trafo [18]. $\%e_r = 0,76$, $\%e_x = 5,91$, $R_0/R_+ = 1$ og $X_0/X_+ = 0,8$.
- Kabelimpedans: Verdier for resistans og reaktans til kablene er hentet ut ifra Febdok.

Foranliggende nettverk

$$\begin{aligned} Z_{Qmaks} &= \frac{U_n^2}{S_{Qmaks}} \\ Z_{Qmin} &= \frac{U_n^2}{S_{Qmin}} \\ X_Q &= 0,955 \cdot Z_Q \\ R_Q &= 0,1 \cdot X_Q \end{aligned} \quad (4.1)$$

Transformator

$$\begin{aligned} R_{T+} &= \frac{\%e_r}{100\%} \cdot \frac{U_T^2}{S_T} \\ X_{T+} &= \frac{\%e_x}{100\%} \cdot \frac{U_T^2}{S_T} \end{aligned} \quad (4.2)$$

R_{T0} og R_{T+} funnet av forholdene

R_0/R_+ og X_0/X_+ gitt av leverandør

Korreksjonsfaktor til transformatorimpedans

$$K_T = 0,95 \frac{c_{maks}}{1 + 0,6 \cdot \frac{\%e_x}{100\%}} \quad (4.3)$$

Kabel

$$\begin{aligned} R &= r \cdot l \\ X &= x \cdot l \end{aligned} \quad (4.4)$$

Korreksjonsfaktor for resistans ved utregning av minimum kortslutningsstrøm (PVC 70 °C og PEX 90 °C)

$$\begin{aligned} R &= (1 + 0,004(\theta - 20^\circ C)) \cdot R_{20^\circ C} \\ \text{Ved } 70 \text{ og } 90^\circ C : R_{70^\circ C} &= 1,2 \cdot R_{20^\circ C} \\ R_{90^\circ C} &= 1,28 \cdot R_{20^\circ C} \end{aligned} \quad (4.5)$$

Innmating av det foranliggende nettverket gjøres med spenningsnivå og kortslutningsytelse. Etter IEC60909-0 skal kortslutningsytelsen oppgis som en maksimums- og minimumsverdi: *Den momentane symmetriske kortslutningsstrømmen I_{kQmaks} og I_{kQmin} på høyspentsiden av transformatoren skal bli gitt av energiselskapet eller med en passende beregning etter denne standarden.* Denne muligheten er ikke tilgjengelig i Nettdok, der bare en kortslutningsytelse kan legges inn. Derfor er det valgt å bruke samme kortslutningsytelse for både maksimum og minimum på 250 MVA.

Ved inntasting av kortslutningsytelsen som tilsynelatende effekt i Febdok regnes kortslutningsstrømmene på høyspent side av transformatoren ut ($I_{k_{maks}}$ og $I_{k_{min}}$). Febdok bruker de samme spenningsfaktorene som for lavspent ($c_{Q_{maks}} = 1,05$ og $c_{Q_{min}} = 0,95$). Dette gjør at Febdok avviker noe fra de manuelle beregningene som følger spenningsfaktorene for 11 kV i IEC60909-0 ($c_{Q_{maks}} = 1,1$ og $c_{Q_{min}} = 1,0$). Effektfaktoren er gitt av forholdene $X_Q = 0,955 \cdot Z_Q$ og $R_Q = 0,1 \cdot X_Q$, dette gir en $\cos \varphi$ på 0,0955.

Tabell 4-1 Kortslutningsstrømmer på høyspent side av transformatoren

Manuelle				Febdok	
	Ik [kA]		Ik [kA]		Ik [kA]
Ik3maks	14,434	Ik3min	13,122	Ikmaks	13,778
Ik2maks	12,500	Ik2min	11,364	Ikmin	12,465

Denne utregningen viser at Febdok regner med trepolet kortslutning i begge tilfellene. Ved å benytte spenningsfaktorene for lavspent i de manuelle beregningene blir $I_{k3maks} = 13,778kA$ og $I_{k3min} = 12,466kA$. Her kunne Febdok med fordel brukt betegnelsene I_{k3maks} og I_{k3min} istedenfor $I_{k_{maks}}$ og $I_{k_{min}}$ for å klargjøre hvilke feilsituasjon som er beregnet. Dette blir enda viktigere å spesifisere hvis man legger inn kortslutningsytelsen med strømverdier, Febdok regner da ut den tilsynelatende effekten.

På lavspent side av transformatoren er det i de manuelle beregningene tatt med feilsituasjonen topolet kortslutning med samtidig jordslutning, denne feilsituasjonen beregnes ikke i Febdok eller Nettdok. Dette gjør at maksimum kortslutningsstrøm blir høyere i noen av de manuelle beregningene. De resterende avvikene i utregningene kommer fra bruk av korreksjonsfaktor K_T i de manuelle beregningene og forskjellig bruk av spenningsfaktor. I de manuelle beregningene er det brukt $c_{maks} = 1,1$ og $c_{min} = 0,95$, Febdok bruker som forklart tidligere $c_{maks} = 1,05$ og $c_{min} = 0,95$, mens Nettdok ikke ser ut til å bruke spenningsfaktor ved utregning av feilstrømmer på sekundærsiden av transformatoren.

I tabell 4-2 er resultater fra alle beregningene vist, dette er gjort for å vise hvilke resultater det er mulig å hente ut av Febdok og Nettdok sammenlignet med de teoretiske beregningene. Nettdok gir ut minst informasjon, på transformatorens sekundærside oppgis tre verdier og lenger ut i nettverket vises bare to, maksimums- og minimumskortslutningsstrøm. Febdok viser alle kortslutningsstrømmene med tilhørende $\cos \varphi$ som blir regnet ut av programmet. At ingen av programmene beregner feilsituasjonen topolet med jord er en feilkilde ved akkurat denne beregningen, da de manuelle beregningene viser at denne feilsituasjonen gir maksimum kortslutningsstrøm.

Tabell 4-2 Kortslutningsstrømmer på lavspent side av transformatoren

Manuelle					
	I_k [kA]	cos φ		I_k [kA]	cos φ
I _{k3maks}	19,365	0,126	I _{k3min}	16,725	0,126
I _{k2maks}	16,771	0,126	I_{k2min}	14,484	0,126
I _{k2EL2maks}	20,515	-0,893	I _{k2EL2min}	17,717	-0,893
I _{k2EL3maks}	20,138	0,743	I _{k2EL3min}	17,392	0,743
I_{kE2Emaks}	22,973	-0,146	I _{kE2Emin}	19,840	-0,146
I _{k1maks}	21,017	0,135	I _{k1min}	18,151	0,135
I _{j1maks}	21,017	0,135	I _{j1min}	18,151	0,135
Febdok					
I _{k3maks}	18,608	0,13	I _{k3min}	16,116	0,13
I _{k2maks}	16,115	0,13	I_{k2min}	14,581	0,13
I_{j1maks}	20,209	0,14	I _{j1min}	18,285	0,14
Nettdok					
	I_k [kA]		I_k [kA]		I_k [kA]
I _{k3}	17,632	I_{k2}	15,340	I_{k1}	19,177

Resultatene fra de resterende fordelingene er vist i tabell 4-3, her er maksimums- og minimumsverdiene og tilsvarende feiltipe vist. For lettere å sammenligne svarene er det også beregnet hvor stort avvik Febdok og Nettdok har sammenlignet med de manuelle beregningene. I de tilfellene der feiltypene ikke er den samme for de manuelle beregningene og i beregningsverktøyene blir avviket størst. De manuelle beregningene viser at feilsituasjonen topolet med jord er dimensjonerende i noen tilfeller. Denne feiltypen gir den maksimale kortslutningsstrømmen nær transformatoren.

Nettdok har de største avvikene, dette slår mest ut nær transformatoren. Dette er på grunn av at i Nettdok sin rapportering vises bare I_{kmaks} og I_{kmin} . Disse to verdiene viser seg å være beregnet ut ifra henholdsvis trepolet kortslutning og enpolet kortslutning. Det er bare på en egen rapport for transformatoren at topolet kortslutningsstrøm kan tas ut på transformatorens sekundærside. I de tilfellene der ikke trepolet kortslutning er den største og enpolet kortslutning den minste oppgir Nettdok feil verdier i sine rapporter. Som et eksempel oppgir de minimum kortslutningsstrøm på hovedfordelingen nesten 25 % høyere enn i de manuelle beregningene. I de fordelingene der Nettdok regner med den samme feiltypen som i de manuelle beregningene skyldes avvikene antagelig ulik bruk av spenningsfaktor, korreksjonsfaktor for transformator K_T og ulike kabelimpedanser.

I Febdok er avvikene noe mindre, her er avvikene størst der de manuelle beregningene regner feiltypen topolet med samtidig jordfeil. På de fordelingene der trepolet kortslutning er størst ligger Febdok mellom 4 og 5 % lavere enn de manuelle beregningene. Dette er mest på grunn av ulik bruk av spenningsfaktoren, i de manuelle beregningene er $c_{maks} = 1,1$ brukt og i Febdok brukes $c_{maks} = 1,05$. Noe avvik kommer også fra korreksjonsfaktoren for transformator K_T som ikke benyttes i Febdok.

Tabell 4-3 Maksimums- og minimumskortslutningsstrømmer for hele nettverket

Fordeling	Kabel til fordeling	Lengde [m]	Manuelle			Nettdok			Febdok											
			Feiltype		Feiltype	Feiltype		Feiltype	Feiltype		Feiltype									
			Ik maks [kA]	Ik min [kA]	Ik maks [kA]	Avvik	Ik min [kA]	Avvik	Ik maks [kA]	Avvik	Ik min [kA]	Avvik								
Trafo			Ik2E	Ik2	Ik1	Ik1	Ik2	Ik1	Ik2	Ik1	Ik2	Ik1	Ik2	Ik1	Ik2	Ik1	Ik2	Ik1	Ik2	
			22,973	14,484	19,1765	-16,53 %	15,3396	5,91 %	20,209	-12,03 %	14,581	0,67 %								
Hoved	TFXP 8x4x240 AI	70	Ik2EL2	Ik2	Ik3	Ik3	Ik1	Ik1	Ik1	Ik1	Ik2	Ik1	Ik2	Ik1	Ik1	Ik3	Ik1	Ik1	Ik2	
			19,254	13,416	17,778	-7,67 %	16,743	24,80 %	17,458	-9,33 %	13,493	0,57 %								
1	IFSI 4x150 AI	80	Ik3	Ij1	Ik3	Ik3	Ik1	Ik1	Ik3	Ij1	Ij1	Ik1	Ij1	Ij1	Ij1	Ik3	Ij1	Ij1	Ij1	
			8,906	3,312	9,173	3,00 %	3,394	2,48 %	8,523	-4,30 %	3,266	-1,39 %								
11	IFSI 4x50 AI	20	Ik3	Ij1	Ik3	Ik3	Ik1	Ik1	Ik3	Ij1	Ij1	Ik1	Ij1	Ij1	Ij1	Ik3	Ij1	Ij1	Ij1	
			6,516	2,004	6,741	3,45 %	2,053	2,45 %	6,229	-4,40 %	1,973	-1,55 %								
12	IFSI 4x50 AI	50	Ik3	Ij1	Ik3	Ik3	Ik1	Ik1	Ik3	Ij1	Ij1	Ik1	Ij1	Ij1	Ij1	Ik3	Ij1	Ij1	Ij1	
			4,513	1,252	4,686	3,83 %	1,281	2,32 %	4,311	-4,48 %	1,232	-1,60 %								
2 og 3	IFSI 4x50 AI	100	Ik3	Ij1	Ik3	Ik3	Ik1	Ik1	Ik3	Ij1	Ij1	Ik1	Ij1	Ij1	Ij1	Ik3	Ij1	Ij1	Ij1	
			3,687	0,969	3,848	4,37 %	0,989	2,06 %	3,521	-4,50 %	0,953	-1,65 %								
4	IFSI 4x95 AI	110	Ik3	Ij1	Ik3	Ik3	Ik1	Ik1	Ik3	Ij1	Ij1	Ik1	Ij1	Ij1	Ij1	Ik3	Ij1	Ij1	Ij1	
			5,737	1,809	5,816	1,38 %	1,8	-0,50 %	5,483	-4,43 %	1,78	-1,60 %								
41	PFSP 4x4 Cu	40	Ik3	Ij1	Ik3	Ik3	Ik1	Ik1	Ik3	Ij1	Ij1	Ik1	Ij1	Ij1	Ik3	Ij1	Ij1	Ij1	Ij1	
			1,174	0,402	1,144	-2,56 %	0,397	-1,24 %	1,12	-4,60 %	0,396	-1,49 %								
5	PFSP 4x150 AI	10	Ik2EL2	Ij1	Ik3	Ik3	Ik1	Ik1	Ik3	Ij1	Ij1	Ik1	Ij1	Ij1	Ik3	Ij1	Ij1	Ij1	Ij1	
			18,108	12,064	16,312	-9,92 %	12,674	5,06 %	15,759	-12,97 %	12,056	-0,07 %								
6	PFSP 4x4 Cu	40	Ik3	Ik1	Ik3	Ik3	Ik1	Ik1	Ik3	Ik1	Ik1	Ik1	Ik1	Ik3	Ik3	Ik1	Ik1	Ik1	Ik1	
			1,4	0,508	1,359	-2,93 %	0,503	-0,98 %	1,336	-4,57 %	0,503	-0,98 %								
7	BFSI 4x35 Cu	40	Ik3	Ij1	Ik3	Ik3	Ik1	Ik1	Ik3	Ik1	Ik1	Ik1	Ik1	Ik3	Ik3	Ik1	Ik1	Ik1	Ik1	
			8,798	2,47	8,654	-1,64 %	2,478	0,32 %	8,416	-4,34 %	2,437	-1,34 %								
8	PFSP 4x95 AI	70	Ik3	Ij1	Ik3	Ik3	Ik1	Ik1	Ik3	Ik1	Ik1	Ik1	Ik1	Ik3	Ik3	Ik1	Ik1	Ik1	Ik1	
			8,012	2,912	8,047	0,44 %	2,898	-0,48 %	7,663	-4,36 %	2,879	-1,13 %								
9	IFSI 4x150 AI	80	Ik3	Ij1	Ik3	Ik3	Ik1	Ik1	Ik3	Ik1	Ik1	Ik1	Ik1	Ik3	Ik3	Ik1	Ik1	Ik1	Ik1	
			8,906	3,312	9,173	3,00 %	3,394	2,48 %	8,523	-4,30 %	3,266	-1,39 %								

4.1.2 Støtstrøm

Den beregnede støtstrømmen er den maksimale strømmen som kan oppstå, og det er antatt at den inntreffer etter en halv periode ($T/2$). Støtstrømmen brukes til mekanisk dimensjonering av utstyr og tavler. I de manuelle beregningene er støtstrømmen beregnet ut ifra formel (4.6). Kortslutningsstrømmen I_k'' og $\tan \phi$ er beregnet for alle de forskjellige feiltypene.

$$i_s = (1,02 + 0,98 \cdot e^{-3/|\tan \phi|}) \sqrt{2} \cdot I_k'' \quad (4.6)$$

Resultatene fra beregningene er vist i tabell 4-4. Her vises også avvikene fra de manuelle beregningene. Avvikene er størst der feiltypen i de manuelle beregningene ikke tilsvarende den Febdok eller Nettdok beregner med. Feiltypen topolet kortslutning med samtidig jordslutning er den største og dimensjonerende i flertallet av fordelingene. Støtstrømmer med denne feiltypen blir ikke beregnet i Febdok eller Nettdok.

I Febdok viser rapportene hvilken av feiltypene som gir høyest kortslutningsstrøm og nær transformatoren oppgis enpolet som den største. Hvilke feiltypen det beregnes ut ifra i Nettdok vises ikke, men det antas her at de som ved maksimum kortslutning bruker trepolet kortslutning. Forskjellene mellom Febdok og Nettdok er mindre, sett bort fra beregningen på lavspentside av transformatoren. Dette avviket skyldes trolig at Nettdok ikke beregner støtstrømmer for feiltypen enpolet kortslutning.

Tabell 4-4 Støtstrømmer ved alle fordelingene

Fordeling	Kabel til fordeling	Lengde [m]	Manuelle	Nettdok		Febdok	
			Feiltipe Istøt [kA]	Feiltipe Istøt [kA]	Avvik	Feiltipe Istøt [kA]	Avvik
Trafo			IkE2E 53,598	41,143	-23,24 %	Ij1 47,758	-10,90 %
Hoved	TFXP 8x4x240 Al	70	Ik3 39,861	38,216	-4,13 %	Ik3 38,27	-3,99 %
1	IFSI 4x150 Al	80	Ik3 13,784	13,426	-2,60 %	Ik3 13,183	-4,36 %
11	IFSI 4x50 Al	20	Ik2NL3 9,881	9,534	-3,51 %	Ik3 9,155	-7,35 %
12	IFSI 4x50 Al	50	Ik2NL3 7,779	6,627	-14,81 %	Ik3 6,242	-19,76 %
2 og 3	IFSI 4x50 Al	100	Ik2NL3 7,314	5,442	-25,59 %	Ik3 5,081	-30,53 %
4	IFSI 4x95 Al	110	Ik2NL3 9,083	8,225	-9,45 %	Ik3 7,999	-11,93 %
41	PFSP 4x4 Cu	40	Ik2EL3 2,692	1,618	-39,90 %	Ik3 1,616	-39,97 %
5	PFSP 4x150 Al	10	Ik3 32,436	30,913	-4,70 %	Ik3 31,108	-4,09 %
6	PFSP 4x4 Cu	40	Ik2NL3 3,051	1,922	-37,00 %	Ik3 1,927	-36,84 %
7	BFSI 4x35 Cu	40	Ik2NL3 13,18	12,238	-7,15 %	Ik3 12,369	-6,15 %
8	PFSP 4x95 Al	70	Ik3 11,867	11,381	-4,10 %	Ik3 11,346	-4,39 %
9	IFSI 4x150 Al	80	Ik3 13,784	13,426	-2,60 %	Ik3 13,183	-4,36 %

4.1.3 Spenningsfall

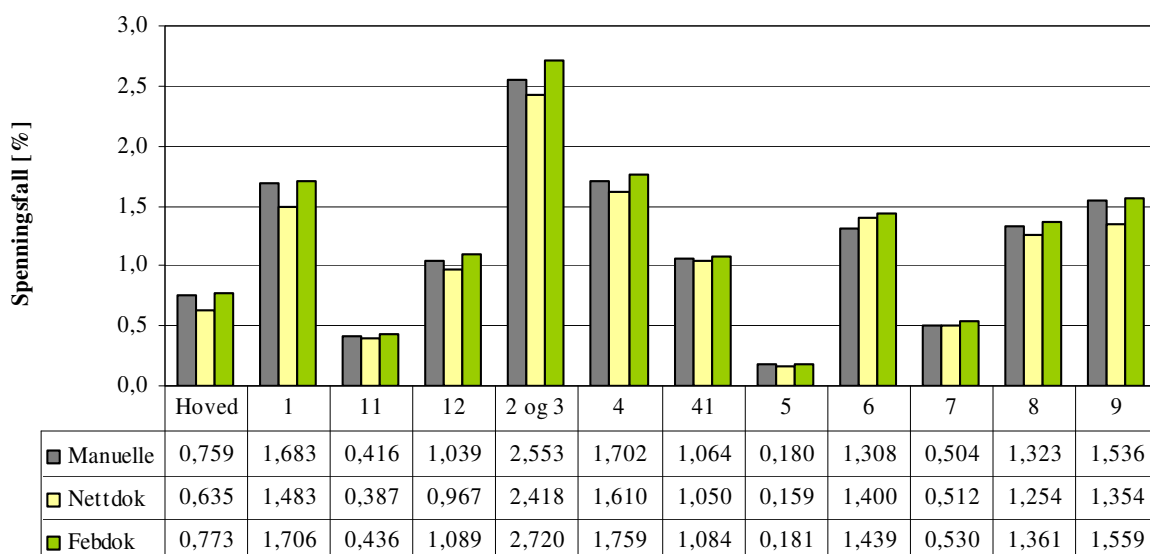
Spenningsfall er beregnet ut til alle fordelingene, her er formel (3.39) beskrevet i kapittel 3.8 benyttet. De manuelle beregningene er gjort ut ifra lederens maksimale tillatte driftstemperatur på 70 °C for PVC- og 90 °C for PEX-isolert kabel. Økt resistans regnes ut på samme måte som for økt resistans ved minimum kortslutning, se formel (4.5).

Tabell 4-5 Spenningsfall over kabel til de ulike fordelingene

Fordeling	Kabel til fordeling	Lengde [m]	Belastning [kW]	Manuelle Spenningsfall [V]	Nettdok Spenningsfall [V]	Febdok Spenningsfall [V]
Hoved	TFXP 8x4x240 Al	70	720	3,150	2,635	3,210
1	IFSI 4x150 Al	80	115	6,983	6,155	7,080
11	IFSI 4x50 Al	20	40	1,725	1,606	1,810
12	IFSI 4x50 Al	50	40	4,312	4,015	4,520
2 og 3	IFSI 4x50 Al	100	50	10,596	10,036	11,290
4	IFSI 4x95 Al	110	57,5	7,064	6,682	7,300
41	PFSP 4x4 Cu	40	7,5	4,417	4,359	4,500
5	PFSP 4x150 Al	10	105	0,746	0,659	0,750
6	PFSP 4x4 Cu	40	10	5,430	5,812	5,970
7	BFSI 4x35 Cu	40	30	2,091	2,123	2,200
8	PFSP 4x95 Al	70	75	5,492	5,205	5,650
9	IFSI 4x150 Al	80	105	6,376	5,620	6,470

Resultatene i tabell 4-5 viser at avvikene mellom de forskjellige beregningene er små. Dette er også illustrert i figur 4-2 som viser spenningsfallet i prosent referert 415 V.

Spenningsfall til fordelingene



Figur 4-2 Spenningsfall i prosent over kabel til de ulike fordelingene

4.2 Valg av vern

Ved valg av vern må kravene stilt til overbelastningsvern og kortslutningsvern sjekkes. De ulike tilfellene som er kontrollert er beskrevet videre med eventuelt tilhørende feilmelding fra Febdok og Nettdok. Hvordan programmene overholder kravene til overbelastningsvern er vist først med fire forskjellige valg av vern som gir et tilfelle som strider mot kravene.

Vernets merkestrøm er valgt under belastningsstrømmen.

- Febdok: *Vernets merkestrøm - I_n - er for liten i forhold til belastningsstrømmen*
- Nettdok: *Sum dimensjonerende belastningsstrøm $> I_n$ for vern*

Vernets merkestrøm er valgt over lederens strømføringssevne.

- Febdok: *Vernets merkestrøm - I_n - er for stor i forhold til kabelens strømføringssevne - I_z -*
- Nettdok: *$I(I_r) > I_z$. Innstilt overlast $> IZ$ (se NEK400 433.1)*

Vernets strøm som sikrer utkobling innen en fastsatt tid I_2 er valgt over 1,45 ganger lederens strømføringssevne.

- Febdok: *Vernets øvre prøvestrøm - I_2 - blir for stor i forhold til 1.45 I_z for kabelen*
- Nettdok: *$I_2 > I_z * 1,45$. Feil hvis vernet er et overlastvern, se NEK400 433.1*

Vernets merkestrøm er valgt over krav stilt for PVC isolerte ledningssystem med ledertverrsnitt til og med 4 mm², se NEK 400:2006 avsnitt 533.2.

- Febdok: *Vernets merkestrøm (evt. minste innstilling) er for stor i forhold til kravene i NEK 400, avsnitt 533.2*
- Nettdok: *Inn for vern for stor i forhold til ledningssystemets ledertverrsnitt, se NEK400 533.2*

Videre er det utført tre tester for å sjekke om programmene overholder kravene til kortslutningsvern. Her er det funnet at Nettdok ikke kontrollerer om kabelens k^2S^2 er større enn gjennomsluppet energi ved brytetid under 0,1 sekund. Denne feilen er sett nærmere på med et eksempel.

Vernets bryteevne er for lav i forhold til den høyeste kortslutningsstrømmen.

- Febdok: *Vernets nominelle bryteevne - I_{cn} - er for liten i forhold til største feilstrøm*
- Nettdok: *$I_{kmax} > I_c$ vern. Bryteevnen til vernet for lavt, se NEK400(2006) 434.5.1*

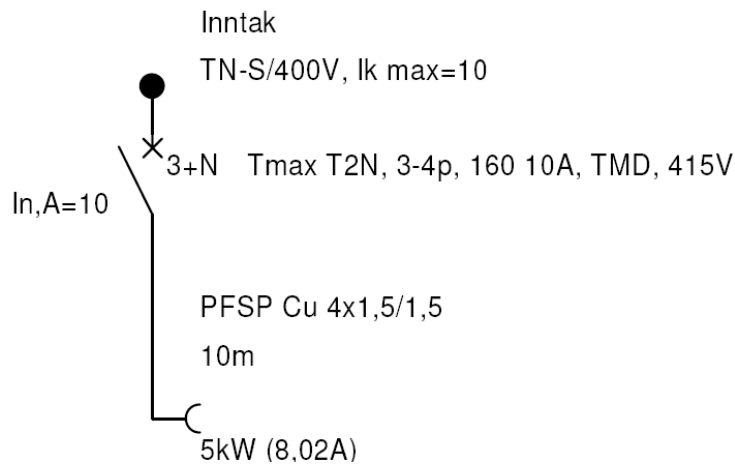
Vernets utkoblingstid er for høy i forhold til krav for utkobling før kabel når høyeste tillatte grensetemperatur, gjelder for brytetid mellom 0,1 og 5 sekund.

- Febdok: *Vernet kobler ikke ut feilstrømmen(e) innen tillatt tid mht oppvarming av kabel/strømskinne*
- Nettdok: *t_m vern $> t$ kabel, kabelen tåler ikke utløsertiden, se NEK400 434.5*

Vernets maksimale gjennomslupne energi er større enn kabelens k^2S^2 samtidig som brytetiden er under 0,1 sekund.

- Febdok: *Gjennomsluppet energi for vernet er større enn kabelens/strømskinnens tåleevne*
- Nettdok: *Ga ingen feilmelding på dette forsøket*

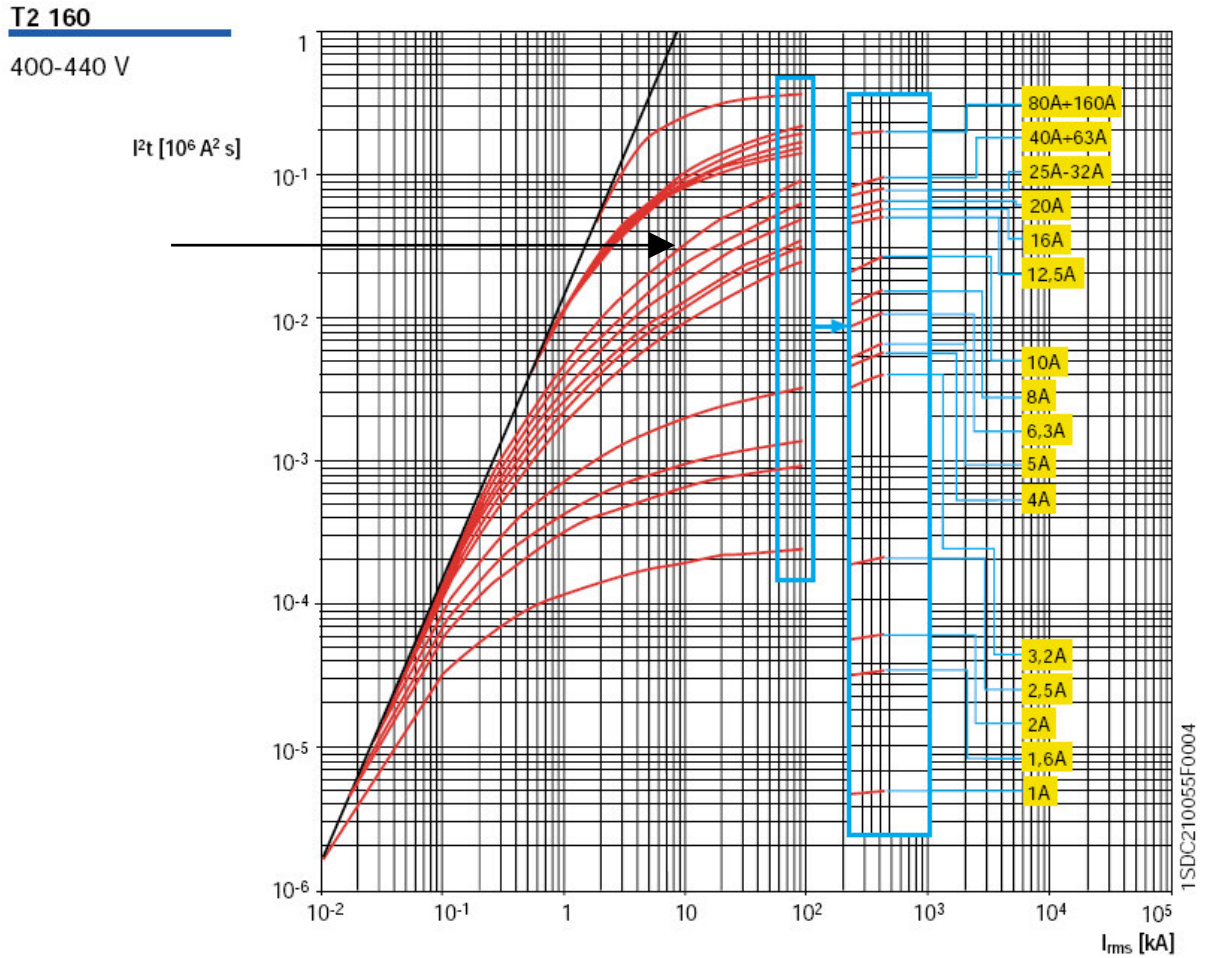
Resultatene fra det siste forsøket er vist med et eksempel for å dokumentere at Nettdok ikke følger dette kravet til kortslutningsvern. Her er en trefasekurs, med en PFSP 4x1,5 Cu kabel beskyttet av en ABB effektbryter med merkestrøm på 10 A, sett nærmere på, se figur 4-3. Denne effektbryter har en termomagnetisk utløsekarakteristikk og den har momentan utkobling på 0,015 sekund for strømmer over 120 A.



Figur 4-3 Test av kortslutningskravene til vern med ABB T2 effektbryter

Utrekning av kabelens k^2S^2 gir en verdi rett i underkant av 30 000, se utregning (4.7). For å sjekke om vernets gjennomslupne energi er lavere enn dette med en maksimal kortslutningsstrøm på 10 kA må man se i databladet for vernet. Dette er vist i figur 4-4, her er I^2t for vernet ved 10 kA avmerket. Avlesning av denne verdien viser at den er i overkant av 30 000 som altså vil si over kabelens k^2S^2 , denne verdien kan også leses av i Febdok til 32 000. Dette betyr at i kabelen ikke er beskyttet mot største kortslutningsstrøm etter krav i NEK 400:2006 avsnitt 434.5.2.

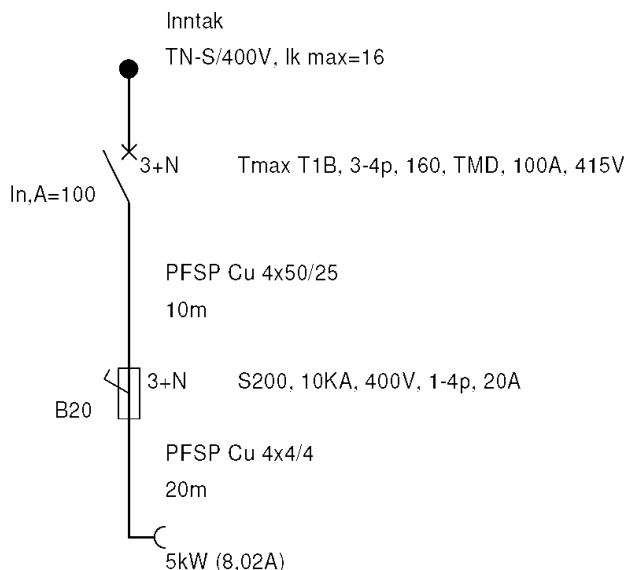
$$k^2S^2 = 115^2 \cdot 1,5^2 = 29756,25 \quad (4.7)$$



Figur 4-4 Gjennomsluppet energi ABB SACE T2 effektbryter [2]

4.3 Selektivitet og kaskade

Selektivetsanalysen i Febdok og Nettdok kan utføres både med selektivitetstabeller, ved valg av samme leverandør, og med strøm-tid-kurve betraktninger. Ved selektivetsbetraktninger med selektivitetstabeller er det ikke store forskjellene mellom Febdok og Nettdok, men skal man se på kaskade må Febdok benyttes da Nettdok ikke har lagt inn kaskadetabeller. For å illustrere denne forskjellen i Febdok og Nettdok er det brukt et eksempel. I dette eksempelet er det benyttet en oppstrøms effektbryter og nedstrøms automatsikring fra ABB, se figur 4-5.



Figur 4-5 Nettverk for å illustrere selektivitet og kaskade forskjeller

Inntaket har en maksimal trepolet kortslutning på 16 kA, dette gir videre en maksimal kortslutningsstrøm i underkant av 13 kA rett etter automatsikringen. Ut ifra selektivitets- og kaskadetabell fra ABB er nedstrøms vern selektiv opp til 10 kA og har en kaskade opp til 16 kA, se figur 4-6 og 4-7. Dette betyr at ved største kortslutning rett etter automatsikringen er selektiviteten ikke garantert, men bryteevnen er stor nok pga hjelp fra oppstrøms effektbryter. Rapporter på selektivitet og anmerkninger / feilliste er tatt ut fra Febdok og Nettdok for å sammenligne dokumentasjonen på selektivitet opp til 10 kA og økt bryteevne fra 10 kA til 16 kA på nedstrøms automatsikring ved kaskade.

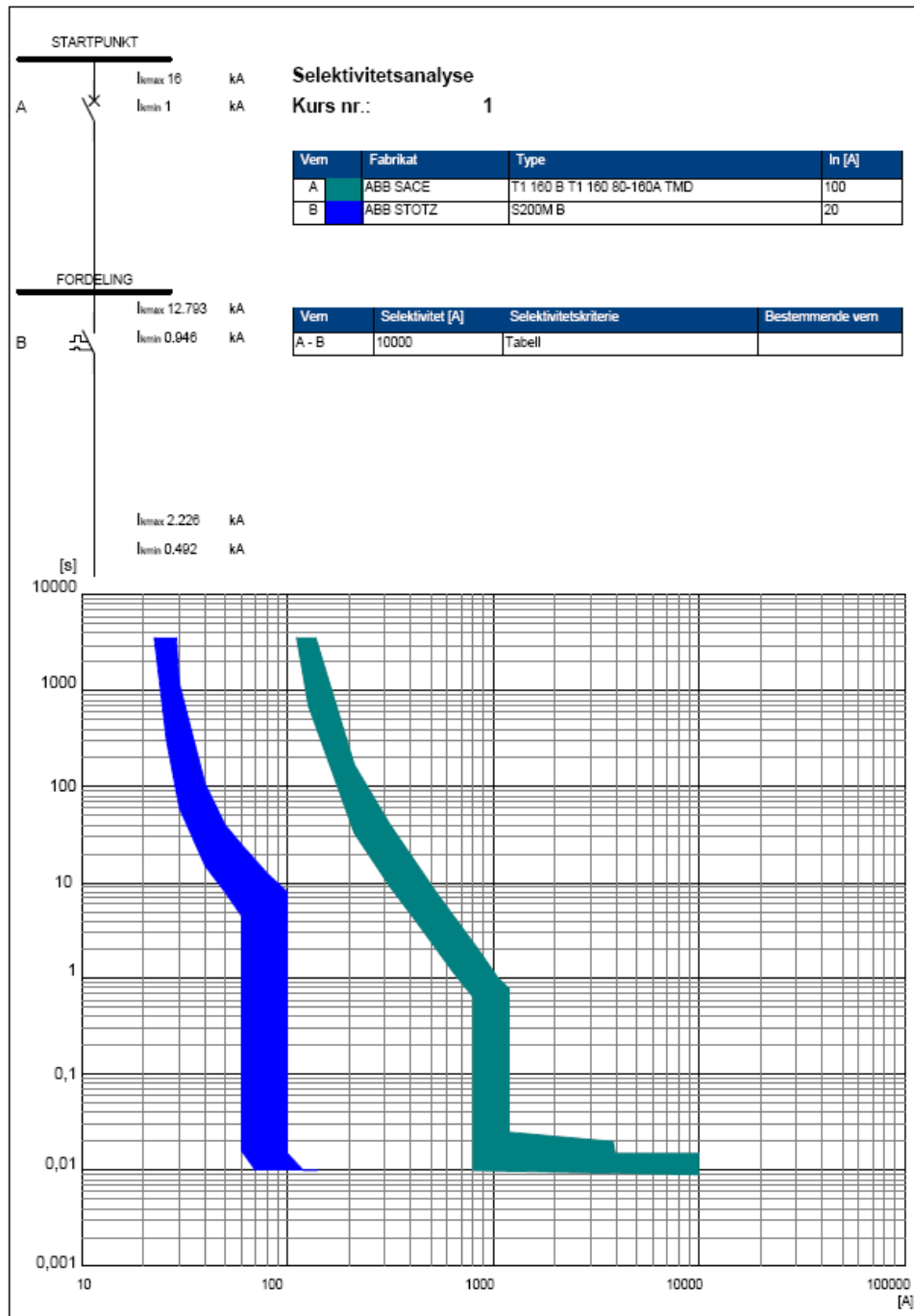
Char.	I _{cu} [kA] 10	Supply S.		T1 - T2 - T3				
		Version		Release				
		I _n [A]		63	80	100	125	160
-	≤2							
-	3							
-	4							
S200	6	10.5	T	T	T	T		
S200	8	10.5	T	T	T	T		
S200	10	7.5	8.5	17	T	T		
S200	13	7.5	7.5	12	20	T		
S200	16	5	7.5	12	20	T		
S200	20	5	6	10	15	T		
S200	25	5	6	10	15	T		
S200	32		6	7.5	12	T		
S200	40		5.5 ¹	7.5	12	T		
S200	50		3 ¹	5 ²	7.5	10.5		
S200	63				5 ²	6 ³	10.5	

Figur 4-6 Utdrag fra selektivitetstabell mellom ABB effektbryter og automat [1]

Load S.	Char.	I _n [A]	Supply S.	T1
			Version	B
S200	B,C,K,Z	0.5..10	10	16
		13..63		

Figur 4-7 Utdrag fra kaskadetabell mellom ABB effektbryter og automat [1]

Resultatene fra Febdok er vist i figur 4-8. I selektivitetsrapporten er kurvene tegnet inn samtidig som det er oppgitt at selektiviteten er garantert fra vernleverandør i selektivitetstabell opp til 10 kA. Rapporten feilliste for kurser viser kommentarene til kaskade som sier at bryteevnen er stor nok grunnet foranliggende vern.



Fordeling :FORDELING
Kurs nr :1

** Vernets nominelle bryteevne - Icn - er for liten i forhold til største feilstrom. FEBDOK fant en backuptabell mot foranliggende vern, og tabellen gir stor nok bryteevne.

* Meldinger merket * indikerer forhold som medfører et avvik i forhold til krav definert i forskrifter og normer.

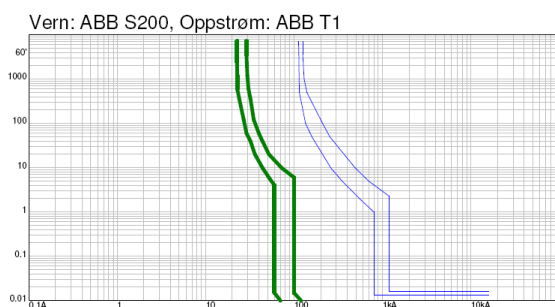
** Meldinger merket ** indikerer forhold som kan være uheldig for installasjonen og indikerer prosjekterte løsninger som ikke er fullgode.

Figur 4-8 Utdrag fra rapportene selektivetsanalyse og feilliste for kurser fra Febdok

Resultatene fra Nettdok er vist i figur 4-9. I rapporten med anmerkninger står det at bryteevnen for automatsikringen er for lav, her er det tydelig at kaskade ikke blir vurdert. Videre sier rapporten selektivitet i anlegg at selektiviteten er i henhold til selektivitetstabeller fra leverandør. Her oppgis ingen selektivitetsgrense som i dette tilfellet er på 10 kA, dette kan være noe villedende.

Selektivitet i anlegg

Oppstrøm	Aktuelt Vern	Side	Kommentar til aktuelt vern	Status	Kurve
ABB T1	ABB S200	1	147: Selektivitet ihht selektivitetstabeller fra leverandør.	Ja	Ja



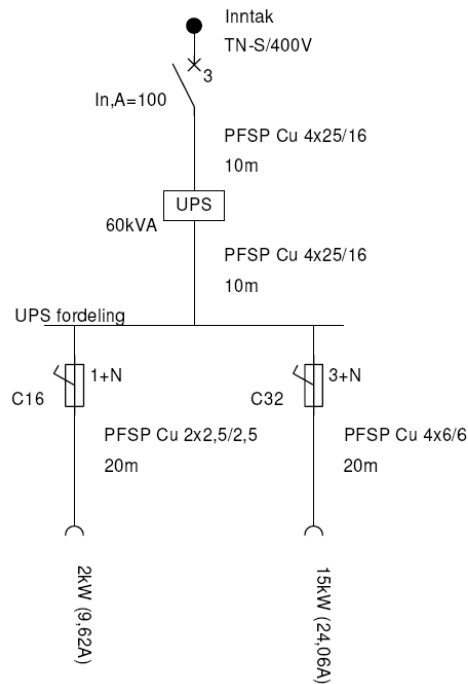
Anmerkninger

Symbol	Type	REF	S.Ref	Melding/Merknad
Vern	12	ABB S200	(1.2)	Fell 132: $I_{kmax} > I_c$ vern. Bryteevnen til vernet for lavt, se NEK400(2006) 434.5.1.

Figur 4-9 Utdrag fra rapportene selektivitet i anlegg og anmerkninger fra Nettdok

4.4 UPS

Avbruddsfri strømforsyning (UPS) er sett nærmere på i både Febdok og Nettdok. UPS-data er hentet fra leverandøren PowerNor som leverer avbruddsfri strømforsyning fra Emerson Network Power Ltd. Beregning på UPS er nytt i Febdok 5.0 og her er kun beregning på trefase UPS'er tilgjengelig. Derfor er ikke beregning av enfase UPS vurdert videre. Driftssituasjonene nettdrift eller bypass og batteridrift er sett på, med fokus på selektivitet i begge driftstypene.



Figur 4-10 Nettverk for sammenligning av avbruddsfri strømforsyning i Febdok og Nettdok

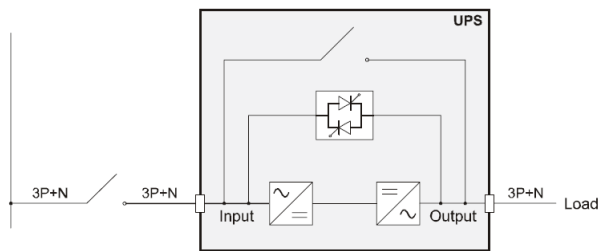
Inntaket i nettverket er et 400 V TN-S nett med en trepolet maksimum kortslutning på 5 kA. Minimum kortslutning på enden av de to kursene er gitt fra UPS i batteridrift. De tekniske UPS dataene nødvendige for inntasting i Febdok og Nettdok er listet opp nedenfor:

UPS data:

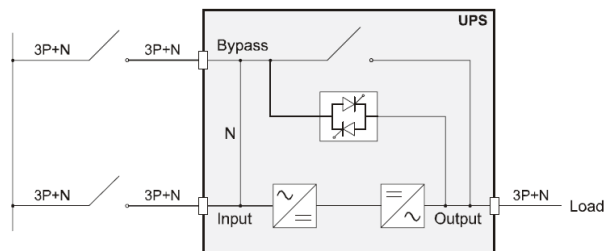
- Merkespenning: $U_n = 400V$
- Tilsynelatende effekt: $S_n = 60kVA$
- Merkestrøm: primær $I_n = 93A$ og sekundær $I_n = 86,6A$
- Bypass tåleevne: $I^2t = 20000A^2s$
- Kortslutningsytelse: $I_k = 277,1A$ i 0,2 sek.
- Maksimal termisk overlast: $I_o = 194,85A$

Symbolet og innleggingen er i Febdok og Nettdok noe ulike. Febdok har som nevnt ingen mulighet for å legge inn en fase UPS, dette er tilgjengelig i Nettdok. Ved valg av forskjellige UPS konfigurasjoner har Febdok et valg om en separat inngang til bypass kretsen, se figur 4-11 og 4-12. I Nettdok er det bare mulig å legge inn en inngang og en eventuell egen bypass inngang må kontrolleres som en vanlig kurs.

Innlegging av skilletransformatorer på inngangen og på utgangen er mulig i begge program, men ved separat bypass krets i Febdok er det ikke mulig å legge inn en transformator på inngangen. Ved innlegging av en transformator på utgangen i Nettdok vil, pga Nettdok sin måte å beregne transformatorer på, ikke UPS'en bli sett på som en konstant strømkilde etter transformatoren og kortslutningsberegninger fra UPS i batteridrift blir feil. Transformatorer i forbindelse med UPS er ikke sett nærmere på.



Figur 4-11 UPS konfigurasjon med en tilførsel [15]



Figur 4-12 UPS konfigurasjon med separat bypass tilførsel [15]

Den UPS konfigurasjonen som er sett nærmere på er den vist i figur 4-11. I batteridrift er dataene som mates inn i Febdok og Nettdok like, det legges inn en korttid og en langtid kortslutningsstrøm og de tilsvarende tidene. Denne kortslutningsstrømmen er da den strømmen som oppnås ved alle de forskjellige feiltypene. Nettdok opererer imidlertid med at topolet kortslutning er $\sqrt{3}/2$ mindre enn trepolet og det blir feil akkurat i dette tilfellet. Vern blir derimot bare sjekket opp mot trepolet og enpolet kortslutning noe som gjør at denne verdien ikke blir brukt til noe av Nettdok.

I Febdok mates det i tillegg inn en maksimal termisk overlast som avgjør en grense for når UPS skal ses på som en konstant spenningskilde istedenfor en konstant strømkilde. Febdok sjekker her mot kortslutningsstrømmene utregnet etter formlene (3.4) til (3.13), er disse verdiene under inntastet verdi for termisk overbelastning er den kortslutningsstrømmen som er funnet ved hjelp av beregningene dimensjonerende. Dette tilfellet kan nås med store kabellengder med små tverrsnitt tilkoblet UPS'en. For å utdype dette nærmere er et eksempel med beregning av nødvendig kabellengde for trepolet kortslutning utført.

Nødvendig kabellengden for en PFSP 4x1,5 Cu for at UPS'en skal bli sett på som en spenningskilde istedenfor en strømkilde. Kontrollen som utføres er om maksimal termisk overlast er større enn trepolet kortslutning beregnet etter formel (3.4):

$$I_0 > \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot z_+ \cdot l_{kabel}} \quad (4.8)$$

Kabelens resistans og reaktans er hentet fra Febdok til henholdsvis $12,1 m\Omega/m$ og $0,12777 m\Omega/m$. For å få samsvar med Febdok sin utregning er det brukt 1,05 som maksimal spenningsfaktor. UPS'en blir sett på som en spenningskilde hvis kabellengden er over 102,8 meter, se utregning (4.9). Ved forsøk i Febdok med økende kabellengde er også her grensen funnet til 102,8 meter.

$$l_{kabel} > \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot z_+ \cdot I_0} = \frac{1,05 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{12,1^2 + 0,12777^2} \cdot 10^{-3} \cdot 194,85} = 102,8m \quad (4.9)$$

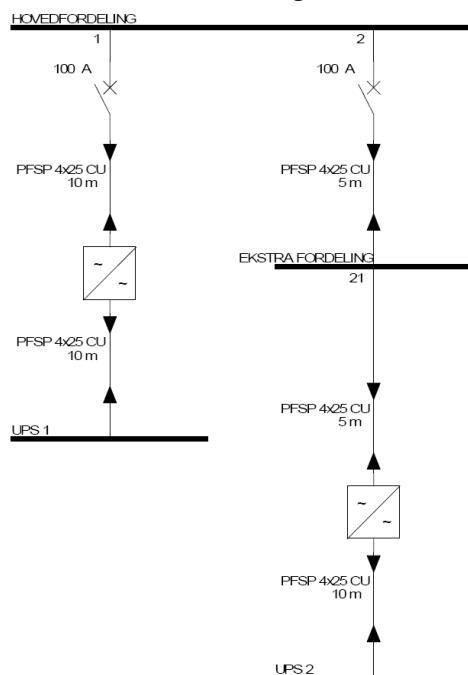
Ved kontroll av selektiviteten til vern nedstrøms UPS i batteridrift må det sjekkes at vernene kobler ut feilen før UPS'en må koble ut. Greier ikke vernene å koble ut feilen før den tiden som er oppgitt som maksimum kortslutningstid for langtid slår UPS'en seg av. I eksempelet i figur 4-10 er det to automater med C karakteristikk nedstrøms UPS'en på 16 A og 32 A. Disse automatene har en garantert elektromagnetisk utkobling på 10 ganger merkestrøm, altså ved henholdsvis 160 A og 320 A. Denne utkoblingen skal skje innenfor 0,1 sek. Ettersom kortslutningsytelsen til UPS'en er på 227,1 A i 0,2 sek vil derfor en 32 A med C-karakteristikk ikke gi momentan utkobling og UPS'en slår seg av. Automaten på 16 A gir derimot momentan utkobling og gir ingen feilmelding. Begge programmene håndterer dette

riktig og oppgir feilmelding på kursen med automaten på 32 A. Feilmeldingene er vist nedenfor:

- Febdok: *Vernet kobler ikke ut feilstrøm levert fra UPS'en før UPS'en kobler ut*
- Nettdok: *15 > I_{kmin}, ikke momentan utkobling, se NEK400 434*

Den andre driftsituasjonen der kortslutningsytelsen til det foranliggende nettverket blir brukt ved hjelp av en bypasskrets som forbikobler UPS'en ved feil eller overbelastning blir beregnet som om UPS'en ikke tilkoblet kursen. Et unntak er at i Febdok blir den gjennomslupne energien (I^2t) den statiske switch'en i bypasskretsen kan håndtere sjekket opp mot gjennomsluppen energi fra vern oppstrøms. Her er en Siemens effektbryter med termomagnetisk utløsekarakteristikk valgt pga dens evne til å begrense den gjennomslupne energien. Ved maksimum kortslutningsstrøm som er på 5 kA er den gjennomslupne energien til effektbryter oppgitt til litt i overkant av $10000A^2s$ i Febdok. Dette betyr at effektbryteren beskytter den statiske switch'en som har en I^2t oppgitt fra leverandør på $20000A^2s$. Om inntaksvernet ikke gir denne beskyttelsen får man følgende feilmelding i Febdok: *Gjennomsluppet energi (I^2t) er for stor i forhold til UPS'ens statiske switch.*

Selektiviteten til vernene nedstrøms UPS'en blir sjekket opp mot vernet på inngangen etter enten tabeller eller ved kurve betraktning, som forklart i kapittel 4.3. En feil i Febdok fører til at ved innlegging av UPS på en fordeling kan ikke selektiviteten mot inngangsvernet sjekkes. Dette kan omgås med å legge inn en ekstra fordeling som vist i figur 4-13.

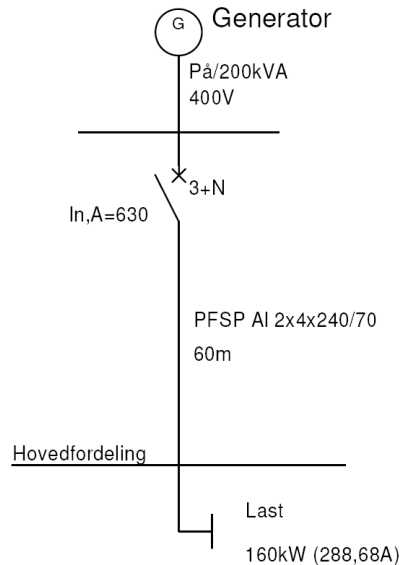


Figur 4-13 Innlegging av UPS i Febdok for dokumentasjon av selektivitet (ekstra fordeling vist til høyre)

Strøm-tid-kurver og resultater fra selektivitetsanalysen blir tilsvarende de vist i kapittelet om selektivitet og kaskade så disse er ikke vist her.

4.5 Generatorens kortslutningsbidrag i Nettdok

Ved beregning av trepolet kortslutningsstrøm fra generator i Nettdok benyttes standarden IEC61363-1. For å verifisere beregningene er det utført beregninger på et 200 kVA reservekraft aggregat koblet til hovedfordelingen med 2 parallelle PFSP 4x240 Al kabler på 60 meter. Dette nettverket er hentet fra et nytt kaianlegg til mottak og riving av gamle oljeplattformer i Vats kommune. På hovedfordeling er den samlede lasten på 160 kW med $\cos \varphi = 0,8$, se figur 4-14.



Figur 4-14 Nettverk for beregning av kortslutningsbidrag fra generator

De tekniske generatordataene brukt i denne beregningen er hentet fra Reservekraft AS som blant annet leverer FG Wilson dieselgeneratorer. Nedenfor er dataene brukt i beregningene listet opp.

Generator data:

- Merkespenning: $U_n = 400V$ TN-S, $f = 50Hz$
- Tilsynelatende merkeeffekt: $S_n = 200kVA$, $\cos \varphi = 0,8$
- Merkestrøm: $I_n = 288,7A$
- Impedanser: $R_a = 18,2m\Omega$, $X_d = 3,01pu$, $X'_d = 0,15pu$, $X''_d = 0,089pu$ og $X_0 = 0,005pu$
- Tidskonstanter: $T'_{d0} = 2042ms$, $T'_d = 100ms$ og $T''_d = 10ms$
- Stasjonær kortslutningsytelse $I_{k3} = 3 \cdot I_n$ i 10 sekunder

For omregning av impedanser fra per unit verdier til reelle verdier brukes merkeimpedansen til generatoren, se formel (4.10):

$$Z = \frac{Z_{pu} \cdot U_n^2}{S_n} \quad (4.10)$$

Kabelimpedanser:

- Verdier for resistans og reaktans til kablene er hentet ut ifra Febdok.

$$r_+ = 0,125 \text{ m}\Omega/\text{m} \text{ og } x_+ = 0,09377 \text{ m}\Omega/\text{m} .$$

$$R = r \cdot l$$

$$X = x \cdot l$$

(4.11)

I beregningene er effektivverdien av vekselstrømskomponenten $I_{ac}(t)$, likestrømskomponenten $i_{dc}(t)$ og støtstrømmen $i_s(t)$ funnet på generatorklemmene og på hovedfordelingen ved $t = T/2$. Resultatene fra beregning av trepolet kortslutning på generatorklemmene er vist i tabell 4-6. Disse resultatene viser at avvikene er små og at beregningene stemmer overens.

Tabell 4-6 Kortslutningsbidrag fra generator på generatorklemmene

	Manuelle	Nettdok
$I_{ac}(T/2)$	2460,48 A	2419 A
$i_{dc}(T/2)$	2026,71 A	2027 A
$i_s(T/2)$	5506,35 A	5448 A

Ved beregningen av trepolet kortslutning på hovedfordelingen er avvikene større, se tabell 4-7. I Nettdok er dempingen av vekselstrømskomponenten $I_{ac}(t)$ liten i forhold til de manuelle beregningene.

Tabell 4-7 Kortslutningsbidrag fra generator på hovedfordelingen

	Manuelle	Nettdok
$I_{ac}(T/2)$	1778,35 A	2343 A
$i_{dc}(T/2)$	1701,51 A	1686 A
$i_s(T/2)$	4216,48 A	4999 A

De stasjonære kortslutningsstrømmene beregnes i Nettdok som et vanlig inntak, men det er impedansen oppgitt i generatorsymbolet som gir inntaksimpedansen. Positivkomponent impedans beregnes ut ifra den stasjonære kortslutningsytelsen som er tre ganger merkestrømmen. Nullkomponent impedansen regnes ut ifra oppgitt per unit verdi for X_0 og ved å benytte samme $\cos \varphi$ som ved beregning av positivkomponent impedans finnes R_0 . For å få samsvar med beregningene utført i Nettdok må spenningsfaktorene $c_{maks} = 1,0$ og $c_{min} = 0,95$ benyttes. De forskjellige impedansverdiene beregnes til følgende verdier: $R_+ = 18,20 \text{ m}\Omega$, $X_+ = 266,05 \text{ m}\Omega$, $R_0 = 0,27 \text{ m}\Omega$ og $X_0 = 4,0 \text{ m}\Omega$. Resultatene tatt ut ifra Nettdok er vist i tabell 4-8.

Tabell 4-8 Stasjonære kortslutningsstrømmer fra generator beregnet i Nettdok

Kabel	ko de	Driftstilstand			Kontinuerlige kortslutningsstrømmer i kA						Kabelimpedans	
		°C	U,Volt	U,%	°C	cosø	Ikmin	Ikmax	Istøt	Uc, V	Zfm Ohm	Zpem Ohm
1-Generator		30	400	0	70	0,068	1,225	0,866	2,241	0	0	0
2-Kabel PFSP 2x4x240 Al		30	398,09	0,48	70	0,084	1,188	0,857	2,146	11,4	5,01	9,609

Her er I_{kmaks} og I_{kmin} oppgitt, disse er som forklart tidligere funnet ved henholdsvis trepolet og enpolet kortslutning. Dette vil si at kortslutningsstrømmene ikke er beregnet med riktig feiltype. Etter de manuelle beregningene er minimum kortslutning funnet ved feiltypen topolet kortslutning og maksimum kortslutning ved feiltypen topolet kortslutning med samtidig jordslutning. Verdiene oppgitt i rapporten i Nettdok blir derfor feil. I tabell 4-9 vises de stasjonære kortslutningsstrømmene beregnet manuelt, her er alle feiltypene beregnet. Spenningsfaktorene og impedansverdiene benyttet i beregningene er som beskrevet tidligere. Ettersom nullimpedansen til generatoren er lik i N- og PE-lederen blir feilstrømmene beregnet mot N-leder lik de mot PE-leder på generatorklemmene.

Tabell 4-9 Stasjonære kortslutningsstrømmer fra generator beregnet manuelt

Fordeling	Maksimum kortslutning		Minimum kortslutning	
	Feiltype	Ik [kA]	Feiltype	Ik [kA]
Generator	Ik3	0,866	Ik3	0,823
	Ik2	0,750	Ik2	0,712
	Ik2EL2	1,467	Ik2EL2	1,394
	Ik2EL3	1,467	Ik2EL3	1,394
	IkE2E	2,522	IkE2E	2,396
	Ij1	1,289	Ij1	1,225
Hoved	Ik3	0,856	Ik3	0,813
	Ik2	0,741	Ik2	0,704
	Ik2NL2	1,428	Ik2NL2	1,366
	Ik2NL3	1,311	Ik2NL3	1,223
	IkN2N	2,306	IkN2N	2,177
	Ik2EL2	1,511	Ik2EL2	1,446
	Ik2EL3	1,274	Ik2EL3	1,163
	IkE2E	2,370	IkE2E	2,214
	Ik1	1,250	Ik1	1,186
	Ij1	1,262	Ij1	1,196

Ved beregning av stasjonære kortslutningsstrømmer i Nettdok oppgis det feil verdier i rapportene. Dette gjelder for de situasjonene der feiltypen beregnet med ikke stemmer og kommer av bruken av I_{kmaks} og I_{kmin} .

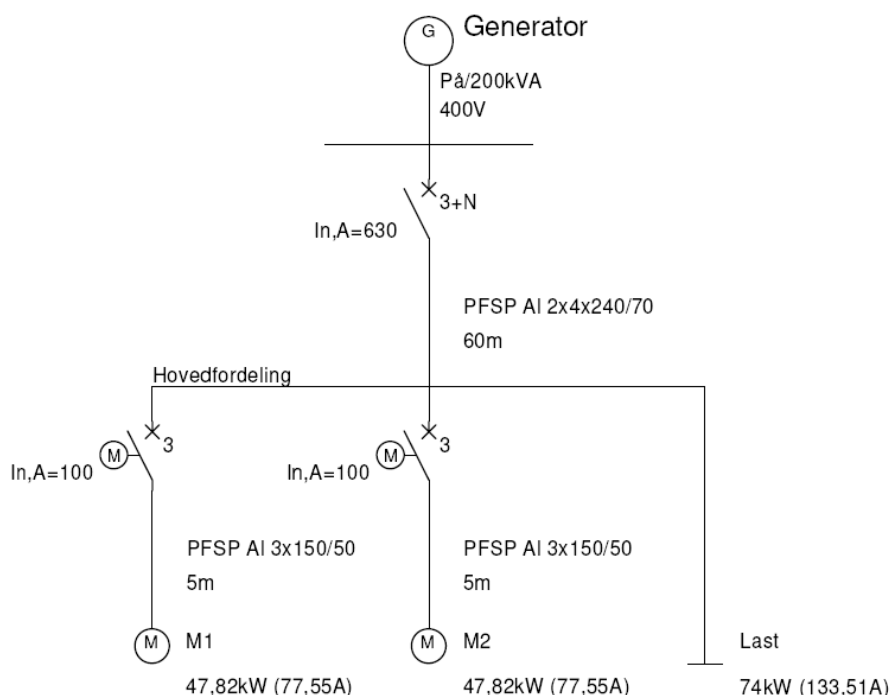
Sammenlignes verdiene fra Nettdok og de manuelt beregnet, med utgangspunkt i impedansverdier hentet fra Nettdok, med data oppgitt fra leverandør stemmer disse dårlig overens. Oppgitte feilstrømmer på generatorklemmene oppgitt av Reservekraft er vist i tabell 4-10. Leverandøren oppgir eksempelvis at for stasjonære kortslutningsstrømmer er den laveste kortslutningsstrømmen ved trepolet kortslutning. I den subtransiente perioden viser leverandørdataene at feiltypen enpolet kortslutning gir høyest kortslutningsstrøm. Nettdok som i det subtransiente forløpet beregner etter IEC61363-1 tar ikke med denne feiltypen.

Tabell 4-10 Kortslutningsstrømmer på generatorklemmene oppgitt av leverandør

Aggregatstørrelse	Merkestrøm	Ik3 varig (t < 10s)	Ik2 varig (t < 10s)	Ik1 = Ij1 varig (t < 10s)	Ik3 subtransient (t < 0,1S)	Ik2 subtransient (t < 0,1S)	Ik1 subtransient (t < 0,1S)
200 kVA	288,7 A	3 x In	4,5 x In	7,5 x In	10 x In	8,7 x In	13 x In

4.6 Kortslutningsbidrag fra asynkronmotorer i Nettdok

For utregning av kortslutningsbidrag fra direktekoblede asynkronmotorer er nettverket fra generatorberegningen benyttet. På hovedfordelingen er lasten nå delt inn i 2 stk. ABB asynkronmotorer på 45 kW og en samlet belastning på 74 kW med $\cos \varphi = 0,8$, se figur 4-15.



Figur 4-15 Nettverk for beregning av kortslutningsbidrag fra motorer

Tilfellet beregnet her er kortslutningsbidrag fra motorene på hovedfordelingen. De tekniske dataene benyttet i utregningene for de to ABB asynkronmotorene er vist nedenfor:

Motor data:

- Merkespenning: $U_n = 400V$
- Avgitt effekt og virkningsgrad: $P_n = 45kW$, $\cos \varphi = 0,89$ og $\eta = 0,941$

Tilnærmede impedansverdier og tidskonstanter gitt i IEC61363-1:

- Motor impedans: $R_M = 0,055 pu$ og $X_M = 0,15 pu$
- Motorens tidskonstanter: $T_M'' = 22,4ms$ og $T_{dcM} = 14,08ms$

Ved bruk av de tilnærmede impedansverdiene og tidskonstantene gir IEC61363-1 verdier for vekselstrømskomponenten og støtstrømmen som funksjon av merkestrømmen, se formel (4.12). Her er det antatt at motoren går i tomgang.

$$\begin{aligned} I_{acM}(t) &= 4 \cdot I_{nM} & t &= T/2 \\ I_{sM} &= 10 \cdot I_{nM} \end{aligned} \quad (4.12)$$

Disse verdiene benyttes av Nettdok og her er demping i eventuelle kabler tilkoblet motoren ikke regnet med. Utregningen av kortslutningsbidraget fra motorene på hovedfordelingen blir da veldig enkel, se utregning (4.13).

$$\begin{aligned} I_{acM} &= 4 \cdot I_{nM} = 4 \cdot \frac{P_{nM}}{\sqrt{3} \cdot U_{nM} \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = 4 \cdot 77,55 = 310,2A \\ I_{sM} &= 10 \cdot I_{nM} = 10 \cdot 77,55 = 775,6A \end{aligned} \quad (4.13)$$

Resultatene fra Nettdok er vist i tabell 4-11. Her ser vi at det er beregnet et motorbidrag på vekselstrømskomponenten på 0,31 kA for de to motorene. Støtstrømmen fra motoren er derimot ikke vist i rapporten, de støtstrømmene som oppgis i tredje kolonne kommer fra generatoren alene.

Tabell 4-11 Resultater fra korslutningsbidrag fra motorer i Nettdok

Kabel (Vern)	Motorbidrag (MB) ved T/2	Kortslutningsstrøm etter IEC 61363-1 ved T/2		IEC 60947-2, Icu=ultimate breaking capacity, Min. Icm=Beregnet minimum making capacity i tabell 4.3.5.3 i IEC 60947-2			Kontroll av I _c ved T/2	
	I _{acM} Subtransient, kA	ip, peak asymetrisk, kA	I'' _k symetrisk, kA	cosø i start av kabel	I _{cu} , kA	Min. I _{cm} , kA	Sum (I _{acM} Subtransient) + Sum(ip peak asymetric)	Feil
Kabel M1 (-Q2)	0,31	4,999	2,343	0,084	40	88	5,758	
Kabel M2 (-Q3)	0,31	4,999	2,343	0,084	40	88	5,758	
Generator	0	5,448	2,419	0,068	0	0	0,62	
Belastning (-Q4)	0	4,999	2,343	0,084	40	88	6,068	
Kabel PFSP 2x4x240 Al (-Q1)	0	5,448	2,419	0,068	45	99	6,068	

5 Diskusjon

Beregningsverktøyene Febdok og Nettdok har begge Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg og NEK 400 som basis for sin kontroll av den innlagte installasjonen. I tillegg til dette kan Nettdok benyttes for høyspentanlegg som blir dekket av Forskrift om elektriske forsyningsanlegg, her kan man gjøre et valg på fordelingen om programmet skal kontrollere opp mot krav i denne forskriften. I denne rapporten har fokuset vært på lavspenningsanlegg som blir dekket av begge programmene. For å kontrollere om programmene følger kravene satt i forskrift og norm er det utført manuelle beregninger som bygger på internasjonale standarder, kontroll opp mot tekniske datablad og kontakt med leverandører.

Det som er kontrollert er beregning av kortslutnings- og støtstrømmer, spenningsfall, valg av overbelastnings- og kortslutningsvern, selektivitet, kaskade, UPS, generator- og motorkortslutning. De viktigste resultatene fra beregningene er tatt opp til mer utfyllende diskusjon videre i dette kapitlet. Her er det også kommentert noen tilfeller som ikke er vist med eksempler i rapporten, men som bare er oppdaget under bruk av beregningsverktøyene.

Kortslutningsstrømmer er beregnet ut ifra standarden IEC60909-0. Her ga de manuelle beregningene en del avvik til de verdiene funnet i både Febdok og Nettdok. Den største svakheten ved programmene er at de ikke beregner alle feiltypene som kan oppstå. Dette gjør at det ikke er mulig å fullstendig dokumentere eksempelvis krav i NEK 400:2006 avsnitt 434.5 som omhandler bryting av enhver strøm forårsaket av en kortslutning. Ved eksempelet som er brukt med innmating fra en transformator skiller Nettdok seg negativt ut med at det ikke er mulig å legge inn minimums- og maksimumskortslutningsytelse til det foranliggende nettverket. Dette gjør at Nettdok ikke beregner kortslutningsstrømmer fra transformatorer i henhold til standarden IEC60909-0, dette forverrer seg også ved innlegging av flere transformatorer i serie. Uten at det er vist noe mer utfyllende informasjon om dette kan det også nevnes at det bare er mulig å legge inn trepolet maksimums-, topolet minimums- og enpolet minimumskortslutningsstrøm ved inntaket i Nettdok. Dette er tilstrekkelig for beregning på IT-nett, men for TN-C nett må også enpolet maksimumskortslutningsstrøm kunne legges inn, dette for å beregne Z_{0maks} . Ved innlegging av TN-S nett må det også kunne skilles mellom enpolet kortslutning mellom fase- og N-leder og fase- og PE-leder som fører til innlegging av seks ulike kortslutningsstrømmer. For å beregne resistans og reaktans fra de innlagte kortslutningsstrømmene må disse legges inn med en tilhørende effektfaktor. Dette gjøres for alle feilstrømmene i Febdok mens i Nettdok er det bare mulig for trepolet kortslutning.

Ved rapportering og fremvisning av kortslutningsstrømmer i Febdok og Nettdok er det også en del forskjeller. I Febdok er alle utregnede kortslutningsverdier tilgjengelige i ulike rapporter noe som gir en god oversikt over anlegget. Nettdok derimot opererer med minimums- og maksimumsverdier i alle sine rapporter ved henholdsvis enpolet og trepolet kortslutning. I de tilfellene der disse feiltypene ikke er dimensjonerende gir rapportene ut feilaktig informasjon og kan være direkte villedende ved eksempelvis valg og innstilling av vern. Her kan det også nevnes at i den brukte versjonen av Febdok er det noen feil ved rapporten feilstrømmer i anlegget, her er noen av verdiene ved de forskjellige feiltypene byttet om. Dette er bekreftet av Febdok som sier de skal rette dette i neste versjon. Inntil da kan de korrekte verdiene finnes i rapporten beregningsresultater.

Resultatene fra utregning av støtstrømmer i Febdok og Nettdok viser samsvar mellom de to beregningsverktøyene. Her er det et unntak som er på sekundærsiden til transformatoren der Febdok beregner med feiltypen enpolet jordslutning mens Nettdok sannsynligvis bare beregner støtstrømmer med feiltypen trepolet kortslutning. Sammenlignet med de manuelle beregningene ligger resultatene fra Febdok og Nettdok for lavt. På de fordelingene der det er samsvar mellom feiltypen brukt i beregningene er avviket lite, men ved flertallet av fordelingene, der topolet kortslutning med samtidig jordslutning er dimensjonerende, er avviket større og opp i mot 40 %.

Ved spenningsfallsberegningene er det bare mindre avvik mellom de manuelle beregningene, Febdok og Nettdok. Resultatene viser at Nettdok ligger gjennomgående litt lavere enn beregningene i Febdok. Dette skyldes trolig ulike kabelimpedanser i de to programmene. Ved beregning av spenningsfall i Nettdok legges omgivelsestemperaturen til grunn for utregning av resistansen. Skal maksimal tillatte driftstemperatur til kabelen legges til grunn må omgivelsestemperaturen settes til 70 °C for PVC og 90 °C for PEX. Dette vil føre til at korreksjonsfaktoren for omgivelsestemperaturer forskjellig fra 20 °C eller 30 °C blir veldig lav (se NEK 400:2006 tabell 52A-14 og 15). Denne korreksjonsfaktoren må overstyres etterpå manuelt. At man må igjennom denne prosedyren for å få riktig beregnet spenningsfall er noe tungvint og virker lite gjennomtenkt. Nettdok beregner heller ikke spenningsfall over transformatorer, dette gjøres i Febdok på samme måte som for kabler. Febdok ekvivalerer transformatoren med en resistans og en induktans i serie gitt av $\%e_r$ og $\%e_x$.

En kontroll på om kravene satt i NEK 400:2006 avsnitt 434.1 og 434.5 til overbelastnings- og kortslutningsvern er utført med enkle tester beskrevet i kapittel 4.2. Her er det avdekket en feil ved Nettdok som ikke sjekker krav til gjennomsluppen energi ved kortslutning og brytetider under 0,1 sekund. Dette betyr at det ikke kontrolleres om kabelen vil være beskyttet mot største kortslutningsstrøm. Her kan det også nevnes at i Nettdok, som benytter seg av I_{kmax} og I_{kmin} for alle feilstrømmer, vil ikke alle feiltypene bli sjekket opp mot valgte vern. Dette blir feil i de tilfeller der enpolet kortslutning ikke er den minste og trepolet kortslutning ikke den største.

Selektivitetsanalysene i Febdok og Nettdok kan utføres ved hjelp av strøm-tid-kurver og selektivitetstabeller. Strøm-tid-selektivitet er oppnådd når utløsekarakteristikkene for de ulike vernene ikke berører eller krysser hverandre. Ved kortslutningsstrømmer er ikke en kontroll av utløsekarakteristikkene tilstrekkelig. På grunn av de høye strømmene må det kontrolleres at bryteenergien til det foranliggende vernet er større enn for etterfølgende vern. Samtidig må etterfølgende vern bryte strømmen før foranliggende vern begynner sin bryteprosess. Febdok gjør denne kontrollen automatisk og oppgir en verdi som vernene er selektive opp til. Her er brukeren avhengig av at de valgte vernene ligger inne i databasen med verdier for gjennomsluppen energi og strømbegrensning, noe som ikke er tilgjengelig for alle vern. I Nettdok får man presentert strøm-tid-kurvene med tilhørende spørsmål om kurvene gir selektivitet. Her er det viktig å tenke på at denne kontrollen ikke er tilstrekkelig og feil kan bli gjort hvis ikke selektiviteten ved kortslutning sjekkes manuelt.

Bruk av selektivitetstabeller er tilgjengelig i både Febdok og Nettdok, her er selektivitetsnivået garantert av leverandøren. Dette er den beste metoden for å dokumentere selektivitet, men har noen ulemper. Ikke alle vernene tilgjengelig i verndatabasene ligger inne med selektivitetstabeller og man blir låst til en leverandør. En svakhet i Nettdok er at selektivitetsnivået ikke blir oppgitt i selektivitetsrapporten, men kan bare ses ved å gå inn på hvert enkelt vern.

Ønskes bruk av kaskade, for å øke bryteevnen ved valg av vern, kan ikke Nettdok benyttes for å dokumentere dette. Tabeller som viser kaskade er ikke tilgjengelig og disse må eventuelt sjekkes manuelt. For å unngå feilmeldinger om for lav bryteevne i Nettdok må det velges vern med større bryteevne noe som kan fordyre installasjonen. I Febdok er kaskadetabeller tilgjengelig for en rekke av vernene og bruk av kaskade kan dokumenteres ved blant annet utskrift av rapporten feilliste for kurser.

Ved innlegging av avbruddsfri strømforsyning har Febdok en svakhet i at det ikke er mulig å legge inn enfase UPS'er. Dette er mulig i Nettdok som benytter seg av samme beregning for enfase og trefase. Her må det samtidig kommenteres at i rapporten for UPS i Nettdok oppgis det trepolet kortslutning for en enfaset UPS noe som er feil og kan være forvirrende. Ved innlegging av trefase UPS'er har Febdok noen flere muligheter som gjør at den er å foretrekke. Dette er kontroll mot UPS'en sin maksimale termiske overlast, tåleevnen til statisk switch i bypass krets og mulighet for separat innmating til bypass kretsen.

Beregninger på kortslutningsbidrag fra generator i Nettdok begrenser seg til beregning av trepolet kortslutningsstrøm etter en halv periode etter standarden IEC61363-1 og stasjonære kortslutningsstrømmer etter IEC60909-0. Sammenlignet med manuelle beregninger utført med utgangspunkt i Nettdok avdekkes noen avvik, men feilene blir enda større når det sammenlignes med data oppgitt fra leverandør. Kortslutningsbidraget fra generatoren beregnet i Nettdok bør ha større samsvar med data oppgitt fra leverandør. Leverandøren oppgir kortslutningsstrømmer for den subtransiente og den stasjonære perioden. Disse verdiene kan enkelt beregnes rent matematisk ved å tilpasse positiv-, negativ- og nullsystem impedansen som representerer generatoren.

Kortslutningsbidrag fra direktekoblede motorer beregnes i Nettdok. Her benyttes en metode som går på tilnærmede verdier presentert i standarden IEC61363-1. Svakheten til denne metoden er at den bare tar for seg trepolet kortslutning og dette gjør at Nettdok ikke beregner kortslutningsbidraget ved topolet kortslutning som er beskrevet etter IEC60909-0. Det faktum at Nettdok heller ikke beregner støtstrømmen fra motorer fører til at denne beregningen ser veldig forenklet ut.

Ved bruk av både Febdok og Nettdok over en periode ser man en del forskjeller og fordeler det ene programmet har, som savnes i det andre. Noen av disse fordelene er presentert her. Ved innlegging av nettverk i Nettdok tegnes alt inn i en tegning som kan brukes som en god oversiktstegning, denne kan også eksporteres til AutoCAD. Det faktum at tegning og beregning kan utføres i samme program forenkler arbeidet med å gjøre endringer på installasjonen. Ofte er tegning og beregning utført i to ulike programmer og endringer må derfor utføres to ganger. Nettdok tar også for seg flere typer installasjoner med muligheter for høyspentnett og beregning av flere samtidige innmatinger hvor ulike driftsituasjoner kan testes ut. Dette gjør det mulig å dimensjonere større og mer komplekse anlegg enn det som er mulig med Febdok.

Ved rapportering av beregningene utført på installasjonen er detaljeringsgraden av rapportene i Febdok bedre enn i Nettdok. Mulighet for å få informasjon ut av programmet under bruk er også bedre i Febdok. I den sammenheng kan det nevnes at på denne måten blir Febdok mer brukervennlig og enklere å forstå. Når dette er sagt kan ingen av programmene brukes uten å ha god forståelse om kravene i forskrift og norm samt kunnskap om teorien bak beregningene utført av programmene.

6 Konklusjon

Beregningsverktøyene Febdok og Nettdok viser seg begge å ha en rekke svakheter og feil, disse er av varierende omfang og alvorlighet. Riktigheten til beregningene av kortslutningsstrøm, støtstrøm, spenningsfall, generatorkortslutning, motorkortslutning, UPS, selektivitet, kaskade, valg av overbelastnings- og kortslutningsvern er sett nærmere på.

- Ingen av programmene beregner feiltypen topolet kortslutning med samtidig jordfeil. Dette gjør at den høyeste kortslutnings- og støtstrømmen i flere tilfeller ikke blir beregnet. Dette presiseres i IEC60909-0: *Ved lik impedansvinkel og $Z_0 < Z_+$ er feilstrømmen I''_{kE2E} vanligvis den største av feilstrømmene, antatt at $Z_+ = Z_-$.*
- Nettdok skiller seg negativt ut ved beregning av kortslutningsstrømmer pga at feilstrømmene blir oppgitt som I_{kmax} og I_{kmin} , disse beregnes ut ifra henholdsvis trepolet og enpolet kortslutning ved TN-nett. De andre feiltypene som er dimensjonerende i flere tilfeller blir ikke beregnet.
- Krav til kortslutningsvern gitt i NEK 400:2006 blir ikke sjekket korrekt i Nettdok. Her kontrolleres ikke kabelens $k^2 S^2$ mot vernets gjennomslupne energi ved kortslutninger frakoblet på under 0,1 sekund.
- Selektivitet etter selektivitetstabeller kan dokumenteres i begge programmene. Ved bruk av vern fra ulike leverandører kontrollerer også Febdok selektiviteten automatisk. I Nettdok kan overstrømsselektiviteten kontrolleres med strøm-tid-kurver manuelt, mens kortslutningsselektivitet må kontrolleres uten hjelp fra programmet. Ønskes dokumentasjon av kaskade mellom vern er dette bare tilgjengelig i Febdok.
- Sammenligning av spenningsfallsberegningene i Febdok og Nettdok gir bare mindre avvik. Den tungvinne fremgangsmåten for beregning, ved maksimal tillatte driftstemperatur, i Nettdok kan derimot enkelt føre til for lavt beregnet spenningsfall.
- I Febdok beregnes bare trefase UPS i motsetning til Nettdok som også beregner enfase. Febdok har derimot noen fortrinn, som kontroll av maksimal termisk overlast, tåleevnen til statisk switch og mulighet for separat innmating til bypass kretsen.
- Ved beregningen av trefase kortslutning ved generator etter IEC61363-1 avdekkes forholdsvis store avvik mellom Nettdok og data oppgitt av leverandør. Nettdok kunne med fordel byttet ut kortslutningsberegningene fra generatorer med mer teoretiske beregninger som tar utgangspunkt i kortslutningsdata fra leverandør.
- I Nettdok beregnes bare vekselstrømskomponenten etter en halv periode ved trepolet kortslutning fra direktekoblede asynkronmotorer. Støtstrømmen eller topolet kortslutning blir ikke beregnet.

Sammenlignes Febdok og Nettdok som rene beregningsverktøy er Febdok foreløpig å foretrekke. Dette grunnet at feilene i programmet er mindre enn de i Nettdok. Når det er sagt har Nettdok et bra konsept og en del funksjonalitet som tegning, mulighet for flere innmatninger, generatorberegning, høyspentberegning osv. Dette gjør programmet fordelaktig ved større og mer komplekse anlegg.

Forslag til videre arbeid:

- Total gjennomgang av beregningsverktøyene med fokus på kontroll av beregnede verdier og krav stilt i forskrift og norm
- Undersøke nærmere konsekvensen av at de mest brukte beregningsverktøyene benyttet for beregning og dokumentasjon av elektrotekniske installasjoner ikke beregner feiltypen topolet kortslutning med samtidig jordfeil

Referanser

- [1] ABB SACE, *Coordination tables*, 03/2008.
- [2] ABB SACE, *Electrical installation handbook. Protection and control devices*, Volume 1, 4th edition 2006-03.
- [3] Grainger, John J. and Stevenson, William D., *Power system analysis*, New York: McGraw-Hill, 1994.
- [4] haBit Software AS, *haBit ElCad Nettdoks hjemmeside*, 2009.05.19, <http://www.habit.no/index.htm>.
- [5] Hansen, Eilif Hugo, *Elektroinstallasjoner*, Trondheim: Classica, 2003.
- [6] Holen, Arne T., Olsen, Karstein J., and Fosso, Olav B., *TET4115 Power system analysis ; TET 5100 Power engineering updates*, Trondheim: Tapir, Kompendieforlaget, 2007.
- [7] International Electrotechnical Commission, *IEC60909-0 Short-circuit currents in three-phase a.c. systems. Part 0 Calculation of currents*, 2001-07.
- [8] International Electrotechnical Commission, *IEC60909-4 Short-circuit currents in three-phase a.c. systems. Part 4: Examples for calculation of short-circuit currents*, 2000-07.
- [9] International Electrotechnical Commission, *IEC61363-1 Electrical installations of ships and mobile and fixed offshore units. Part 1: Procedures for calculating short-circuit currents in three-phase a.c.*, 1998-02.
- [10] Jorde, Arne. IGP A/S, *Selektivitet i elanlegg i bygninger. Beskrivelse med retningslinjer for valg av vern*, 1997-06-27.
- [11] Justis- og politidepartementet, *El-tilsynsloven - Lov om tilsyn med elektriske anlegg og elektrisk utstyr*, 1929.05.24, <http://www.lovdatabasen.no/all/hl-19290524-004.html>.
- [12] Justis- og politidepartementet, *FEF - Forskrift om elektriske forsyningsanlegg*, 2005.12.20, <http://www.lovdatabasen.no/cgi-wif/wifldrens?/usr/www/lovdatabasen/for/sf/jd/xd-20051220-1626.html>.
- [13] Justis- og politidepartementet, *FEL - Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg*, 1998.11.06, <http://www.lovdatabasen.no/cgi-wif/wifldrens?/usr/www/lovdatabasen/for/sf/jd/xd-19981106-1060.html>.
- [14] Machowski, Jan, Bialek, Janusz W., and Bumby, J. R., *Power system dynamics and stability*, Chichester: Wiley, 1997.
- [15] Makker AS, *Astrum 755 10 - 20 kVA 3x400V input and output. Installation manual. User guide*, 2009.03.25.

-
- [16] Metric AS, *Selektivitet i UPS - anlegg*, 2009-03-10, <http://www.metric.no/index.php?page=selektivitet-i-ups-anlegg>.
- [17] Metric AS, *UPS - Guiden*, 2009-03-10, <http://www.metric.no/uploads/pdf/UPS-guiden.pdf>.
- [18] Møre Trafo, *Tekniske Data 11 kV - 415 V transformatorer*, 2009-06-02, http://www.moretrafo.no/files/documents/1-2-3_-_070607-td-11000-415volt.pdf.
- [19] NEK NK64, *Lavspenningsinstallasjoner*, 2009, <http://www.nek400.no/>.
- [20] Nelfo, *Febdok 5.0 brukerveiledning*, 2008-11.
- [21] Norsk elektroteknisk komité, *NEK 400:2006 Elektriske lavspenningsinstallasjoner*, 3. utg. Oslo, 2006.
- [22] Olje- og energidepartementet, *Forskrift om leveringskvalitet i kraftsystemet*, 2004-11-30, <http://www.lovdata.no/for/sf/oe/xe-20041130-1557.html>.
- [23] Roeper, Richard, *Kurzschlußströme in Drehstromnetzen*, Berlin: Siemens, 1964.
- [24] Schneider Electric, *Merlin Gerin - Circuit breaker application guide*, 2009-05-18, [http://www.schneider-electric.co.uk/Internet/pws/literature.nsf/luA1lByID/NKIY-5JUHRM/\\$file/MGD5032_section1.PDF/](http://www.schneider-electric.co.uk/Internet/pws/literature.nsf/luA1lByID/NKIY-5JUHRM/$file/MGD5032_section1.PDF/).

Vedlegg

Vedlegg 1 Beregningsresultat i Febdok, Holmenkollbakken

Vedlegg 2 Beregningsresultat i Nettdok, Holmenkollbakken

Vedlegg 3 Formler til manuelle kortslutningsberegninger

Vedlegg 4 Datablad transformator

Vedlegg 5 UPS spesifikasjoner oppgitt av leverandør

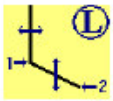
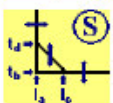
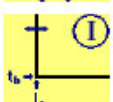
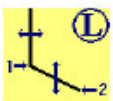
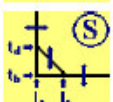
Vedlegg 6 Datablad generator og kortslutningsytelser oppgitt av leverandør

Vedlegg 7 Beregningsresultat i Nettdok, Generator


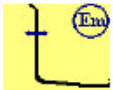
Vedlegg 8 Datablad ABB asynkronmotor

Vedlegg 1 Beregningsresultat i Febdok, Holmenkollbakken

Kurs nr.	: 01			
	:	Kursen behøver ikke være beskyttet av et strømstyrt jordfeilvern		
Fordeling	:			
Lastbeskrivelse	: HOVEDFORDELING			
Jording/utjevning	:	Fordelingstype	:	TN-C-S
Merkespenning	: 415 V	Antall faser	:	3
Laststrøm	: 1112.96 A	Fasekobling	:	L1-L2-L3-N
Cos phi	: 0.9			
Merkeeffekt, Pn	: 720 kW	Temperatur i fordeling	:	30 °C
Merkeytelse, Sn	: 800 kVA			
Sammenlagret strøm	: L1: 0 A L2: 0 A L3: 0 A N: 0 A			
Kabel, merking	:			
Kabeltype/-lederløsning	: TFXP 8x4G240 AL			
Ref. inst. met.	: D			
Omgivelsestemperatur	: 20 °C	Ingen parallelle kurser		
Kabellengde	: 70 m	Annen korreksjonsfaktor	:	
Tap i kabel	: 5310.61 W 75.87 W/m			
Strømføringsevne	: 1523.2 A			
Spenningsfall totalt	: 3.2 V	0.77 %	Klemmespenning	: 411.7 V
...til siste fordeling	: 0 V	0 %		
...over siste Kabel	: 3.21 V	0.77 %	Maksimal lengde	: 181.5 m
Anleggets adresse:			Anlegg:	Dato: 19.05.2009
..			heislobby_masteropp	
..				
Norconsult AS	Fordeling		NEK400:2006	
.	TRAFO		415 V TN-C	
1338 SANDVIKA	vs.5.0.02		Side 1	
tel: 67 57 11 00	Febdok 06.02.2009		av 24	

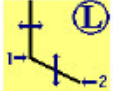
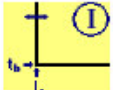
Kurs nr. : 01																																																																																																																																		
Kortslutningsvern, Merking : Artikel nummer : 3WL11122EB311AA2																																																																																																																																		
Fabrikat : SIEMENS	EAN-nummer :																																																																																																																																	
Bryterenhet : 3WL11	Merkestrøm : 1250 A																																																																																																																																	
Utløserenhet : ETU45B	Bryteevne : 50 kA Ics																																																																																																																																	
	I2-verdi : 1500 A																																																																																																																																	
	I5-(I _m -) verdi : 16500 A																																																																																																																																	
Kabel, største lengde som vil gi elektromagnetisk utkobling av alle feilstømmer : 309.1 m																																																																																																																																		
	Ir : min: 0,9 / 1125 A max: 1 / 1250 A set: 1 / 1250 A																																																																																																																																	
	tr : min: 2 s max: 30 s set: 2 s																																																																																																																																	
	I _{sd} : min: 1,25 / 1719 A max: 8 / 11000 A set: 4 / 5500 A																																																																																																																																	
	I _{tsd} : min: 0,02 s max: 0,4 s set: 0,4 s																																																																																																																																	
	I _i : min: 4 / 5500 A max: 10 / 13750 A set: 6 / 8250 A																																																																																																																																	
Overbelastningsvern, Merking : Artikel nummer : 3WL11122EB311AA2																																																																																																																																		
Fabrikat : SIEMENS	EAN-nummer :																																																																																																																																	
Bryterenhet : 3WL11	Merkestrøm : 1250 A																																																																																																																																	
Utløserenhet : ETU45B	Bryteevne : 50 kA Ics																																																																																																																																	
	I2-verdi : 1500 A																																																																																																																																	
	I5-(I _m -) verdi : 16500 A																																																																																																																																	
Kabel, største lengde som vil gi elektromagnetisk utkobling av alle feilstømmer : 966.4 m																																																																																																																																		
	Ir : min: 0,9 / 1125 A max: 1 / 1250 A set: 0,9 / 1125 A																																																																																																																																	
	tr : min: 2 s max: 30 s set: 2 s																																																																																																																																	
	I _{sd} : min: 1,25 / 1719 A max: 8 / 11000 A set: 1,25 / 1718,75 A																																																																																																																																	
	I _{tsd} : min: 0,02 s max: 0,4 s set: 0,02 s																																																																																																																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="5">Kortslutningsvern</th> <th colspan="5">Overbelastningsvern</th> </tr> <tr> <th>I_k [kA]</th> <th>Cos phi</th> <th>i [kA]</th> <th>Kabel t=k²S²/I² [s]</th> <th>t utkobling [s]</th> <th>I_k [kA]</th> <th>Cos phi</th> <th>i [kA]</th> <th>Kabel t=k²S²/I² [s]</th> <th>t utkobling [s]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ik3p max</td> <td>18.608</td> <td>0.13</td> <td>44.455</td> <td>80.583</td> <td>0.011</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Ik3p max ende</td> <td>17.301</td> <td>0.19</td> <td>38.27</td> <td>93.218</td> <td>0.011</td> <td>17.301</td> <td>0.19</td> <td>38.27</td> <td>0</td> <td>0.024</td> </tr> <tr> <td>Ik3p min</td> <td>14.088</td> <td>0.31</td> <td>27.722</td> <td>140.586</td> <td>0.011</td> <td>15.58</td> <td>0.21</td> <td>33.647</td> <td>0</td> <td>0.024</td> </tr> <tr> <td>Ik2p max</td> <td>16.115</td> <td>0.13</td> <td>38.499</td> <td>107.444</td> <td>0.011</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Ik2p max ende</td> <td>14.983</td> <td>0.19</td> <td>33.143</td> <td>124.292</td> <td>0.011</td> <td>14.983</td> <td>0.19</td> <td>33.143</td> <td>0</td> <td>0.024</td> </tr> <tr> <td>Ik2p min</td> <td>12.201</td> <td>0.31</td> <td>24.009</td> <td>187.435</td> <td>0.011</td> <td>13.493</td> <td>0.21</td> <td>29.14</td> <td>0</td> <td>0.024</td> </tr> <tr> <td>I_j max</td> <td>20.209</td> <td>0.14</td> <td>47.757</td> <td>68.321</td> <td>0.011</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>I_j max ende</td> <td>17.458</td> <td>0.27</td> <td>35.688</td> <td>91.549</td> <td>0.011</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>I_j min</td> <td>12.738</td> <td>0.46</td> <td>22.11</td> <td>171.964</td> <td>0.011</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>												Kortslutningsvern					Overbelastningsvern					I _k [kA]	Cos phi	i [kA]	Kabel t=k ² S ² /I ² [s]	t utkobling [s]	I _k [kA]	Cos phi	i [kA]	Kabel t=k ² S ² /I ² [s]	t utkobling [s]	Ik3p max	18.608	0.13	44.455	80.583	0.011						Ik3p max ende	17.301	0.19	38.27	93.218	0.011	17.301	0.19	38.27	0	0.024	Ik3p min	14.088	0.31	27.722	140.586	0.011	15.58	0.21	33.647	0	0.024	Ik2p max	16.115	0.13	38.499	107.444	0.011						Ik2p max ende	14.983	0.19	33.143	124.292	0.011	14.983	0.19	33.143	0	0.024	Ik2p min	12.201	0.31	24.009	187.435	0.011	13.493	0.21	29.14	0	0.024	I _j max	20.209	0.14	47.757	68.321	0.011						I _j max ende	17.458	0.27	35.688	91.549	0.011						I _j min	12.738	0.46	22.11	171.964	0.011					
	Kortslutningsvern					Overbelastningsvern																																																																																																																												
	I _k [kA]	Cos phi	i [kA]	Kabel t=k ² S ² /I ² [s]	t utkobling [s]	I _k [kA]	Cos phi	i [kA]	Kabel t=k ² S ² /I ² [s]	t utkobling [s]																																																																																																																								
Ik3p max	18.608	0.13	44.455	80.583	0.011																																																																																																																													
Ik3p max ende	17.301	0.19	38.27	93.218	0.011	17.301	0.19	38.27	0	0.024																																																																																																																								
Ik3p min	14.088	0.31	27.722	140.586	0.011	15.58	0.21	33.647	0	0.024																																																																																																																								
Ik2p max	16.115	0.13	38.499	107.444	0.011																																																																																																																													
Ik2p max ende	14.983	0.19	33.143	124.292	0.011	14.983	0.19	33.143	0	0.024																																																																																																																								
Ik2p min	12.201	0.31	24.009	187.435	0.011	13.493	0.21	29.14	0	0.024																																																																																																																								
I _j max	20.209	0.14	47.757	68.321	0.011																																																																																																																													
I _j max ende	17.458	0.27	35.688	91.549	0.011																																																																																																																													
I _j min	12.738	0.46	22.11	171.964	0.011																																																																																																																													
Anleggets adresse:					Anlegg: heislobby_masteroppg Dato: 19.05.2009																																																																																																																													
Norconsult AS . . 1338 SANDVIKA tel: 67 57 11 00					Fordeling TRAFO Febdok vs.5.0.02 06.02.2009				NEK400:2006 415 V TN-C Side 2 av 24																																																																																																																									

Beregningsresultat i Febdok, Holmenkollbakken

Kurs nr.	: 1		
	:	Kursen behøver ikke være beskyttet av et strømstyrt jordfeilvern	
Fordeling	:		
Lastbeskrivelse	: 1		
Jording/utjevning	:	Fordelingstype	: TN-S
Merkespenning	: 415 V	Antall faser	: 3
Laststrøm	: 177.77 A	Fasekobling	: L1-L2-L3-N
Cos phi	: 0.9		
Merkeeffekt, Pn	: 115 kW	Temperatur i fordeling	: 30 °C
Merkeytelse, Sn	: 127.778 kVA		
Sammenlagret strøm	: L1: 0 A L2: 0 A L3: 0 A N: 0 A		
Kabel, merking	:		
Kabeltype-/lederløsning	: IFSI 5G150 AL		
Ref. inst. met.	: E	Ingen parallele kurser	
Omgivelsestemperatur	: 30 °C	Annen korreksjonsfaktor	
Kabellengde	: 80 m		
Tap i kabel	: 2041.34 W 25.52 W/m		
Strømføringsevne	: 240.2 A		
Spenningsfall totalt	: 10.25 V	2.47 %	Klemmespenning : 404.7 V
...til siste fordeling	: 3.2 V	0.77 %	
...over siste Kabel	: 7.08 V	1.7 %	Maksimal lengde : 57.8 m
Kombinert vern, Merking	:	Artikkel nummer	: 3VL37201EJ460AA0
Fabrikkat	: SIEMENS	EAN-nummer	:
Bryterenhhet	: 3VL3	Merkestrøm	: 200 A
Utløserenhhet	: TM_3VL2-5	Bryteevne	: 40 kA Ics
		I2-verdi	: 270 A
		I5-(Im-) verdi	: 2400 A
Kabel, største lengde som vil gi elektromagnetisk utkobling av alle feilstrømmer			: 284.2 m
 Ir	: min: 0.8 / 160 A	max: 1 / 200 A	set: 1 / 200 A
 Ii	: min: 5 / 1000 A	max: 10 / 2000 A	set: 10 / 2000 A
Anleggets adresse:		Anlegg:	
..		heislobby_masteroppg	
..		Dato: 19.05.2009	
Norconsult AS		Fordeling	NEK400:2006
.		HOVEDFORDELING	415 V TN-C-S
1338 SANDVIKA		vs.5.0.02	Side 3
tel: 67 57 11 00		febdok 06.02.2009	av 24

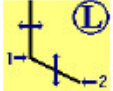
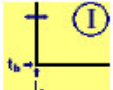

Kurs nr.	: 1				
	Kombinert vern				
	Ik [kA]	Cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2 S^2 / I^2$ [s]	t utkobling [s]
Ik3p max	17.301	0.19	38.27	0.569	0.009
Ik3p max ende	8.523	0.65	13.183	2.344	0.011
Ik3p min	6.838	0.74	10.21	3.642	0.012
Ik2p max	14.983	0.19	33.143	0.759	0.009
Ik2p max ende	7.381	0.65	11.416	3.128	0.012
Ik2p min	5.922	0.74	8.842	4.856	0.013
Ik1p max	17.458	0.27	35.668	0.559	0.009
Ik1p max ende	5.402	0.79	7.947	5.836	0.013
Ik1p min	4.102	0.86	5.955	10.121	0.015
Ij max	17.458	0.27	35.668	0.134	0.009
Ij max ende	4.52	0.92	6.525	2.005	0.014
Ij min	3.266	0.95	4.712	3.84	0.016
Anleggets adresse:			Anlegg:		Dato: 19.05.2009
..			heislobby_masteroppg		
..			Fordeling		NEK400:2006
Norconsult AS			HOVEDFORDELING		415 V TN-C-S
.			febdok		Side 4
1338 SANDVIKA			vs.5.0.02		av 24
tel: 67 57 11 00			06.02.2009		

Beregningsresultat i Febdok, Holmenkollbakken

Kurs nr.	: 2		
	:	Kursen behøver ikke være beskyttet av et strømstyrt jordfeilvern	
Fordeling	:		
Lastbeskrivelse	: 2		
Jording/utjevning	:	Fordelingstype	: TN-S
Merkespenning	: 415 V	Antall faser	: 3
Laststrøm	: 77.2 A	Fasekobling	: L1-L2-L3-N
Cos phi	: 0.9		
Merkeeffekt, Pn	: 50 kW	Temperatur i fordeling	: 30 °C
Merkeytelse, Sn	: 55.5 kVA		
Sammenlagret strøm	: L1: 0 A L2: 0 A L3: 0 A N: 0 A		
Kabel, merking	:		
Kabeltype-/lederløsning	: IFSI 5G50 AL		
Ref. inst. met.	: E		
Omgivelsestemperatur	: 30 °C	Ingen parallelle kurser	
Kabellengde	: 100 m	Annen korreksjonsfaktor	:
Tap i kabel	: 1497.46 W 14.97 W/m		
Strømføringsevne	: 119.3 A		
Spenningsfall totalt	: 13.9 V	3.34 %	Klemmespenning : 401.1 V
...til siste fordeling	: 3.2 V	0.77 %	
...over siste Kabel	: 11.29 V	2.72 %	Maksimal lengde : 47.6 m
Kombinert vern, Merking	:	Artikkel nummer	: 3VL27101BA430AA0
Fabrikkat	: SIEMENS	EAN-nummer	:
Bryterenhet	: 3VL2	Merkestrøm	: 100 A
Utløserenhet	: ETU10	Bryteevne	: 40 kA Ics
		I2-verdi	: 130 A
		I5-(I _m -) verdi	: 1320 A
Kabel, største lengde som vil gi elektromagnetisk utkobling av alle feilstømmer			: 539.8 m
	Ir	: min: 0,8 / 80 A	max: 1 / 100 A set: 1 / 100 A
	Ii	: min: 1,5 / 180 A	max: 6 / 720 A set: 3 / 360 A
Anleggets adresse:	..	Anlegg:	heislobby_masteroppg
	..	Dato:	19.05.2009
	Norconsult AS	Fordeling	NEK400:2006
	.	HOVEDFORDELING	415 V TN-C-S
	1338 SANDVIKA	febdok	vs.5.0.02
	tel: 67 57 11 00		06.02.2009
			Side 5 av 24

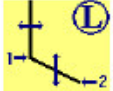
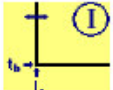
Kurs nr.	: 2				
	Kombinert vern				
	Ik [kA]	Cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2S^2/I^2$ [s]	t utkobling [s]
Ik3p max	17.301	0.19	38.27	0.063	0.011
Ik3p max ende	3.521	0.94	5.081	1.526	0.011
Ik3p min	2.517	0.98	3.831	2.987	0.011
Ik2p max	14.983	0.19	33.143	0.084	0.011
Ik2p max ende	3.049	0.94	4.4	2.035	0.011
Ik2p min	2.179	0.98	3.143	3.985	0.011
Ik1p max	17.458	0.27	35.668	0.062	0.011
Ik1p max ende	1.846	0.97	2.863	5.553	0.011
Ik1p min	1.298	0.98	1.872	11.231	0.011
Ij max	17.458	0.27	35.668	0.014	0.011
Ij max ende	1.363	0.99	1.966	2.258	0.011
Ij min	0.953	0.99	1.375	4.618	0.011
Anleggets adresse:			Anlegg:		Dato: 19.05.2009
..			heislobby_masteroppg		
..			Fordeling		NEK400:2006
Norconsult AS			HOVEDFORDELING		415 V TN-C-S
.			febdok		Side 6
1338 SANDVIKA			vs.5.0.02		av 24
tel: 67 57 11 00			06.02.2009		


Beregningsresultat i Febdok, Holmenkollbakken

Kurs nr.	: 3		
	:	Kursen behøver ikke være beskyttet av et strømstyrt jordfeilvern	
Fordeling	:		
Lastbeskrivelse	: 3		
Jording/utjevning	:	Fordelingstype	: TN-S
Merkespenning	: 415 V	Antall faser	: 3
Laststrøm	: 77.2 A	Fasekobling	: L1-L2-L3-N
Cos phi	: 0.9		
Merkeeffekt, Pn	: 50 kW	Temperatur i fordeling	: 30 °C
Merkeytelse, Sn	: 55.5 kVA		
Sammenlagret strøm	: L1: 0 A L2: 0 A L3: 0 A N: 0 A		
Kabel, merking	:		
Kabeltype-/lederløsning	: IFSI 5G50 AL		
Ref. inst. met.	: E		
Omgivelsestemperatur	: 30 °C	Ingen parallelle kurser	
Kabellengde	: 100 m	Annen korreksjonsfaktor	:
Tap i kabel	: 1497.46 W 14.97 W/m		
Strømføringsevne	: 119.3 A		
Spenningsfall totalt	: 13.9 V	3.34 %	Klemmespenning : 401.1 V
...til siste fordeling	: 3.2 V	0.77 %	
...over siste Kabel	: 11.29 V	2.72 %	Maksimal lengde : 47.6 m
Kombinert vern, Merking	:	Artikkel nummer	: 3VL27101BA430A0
Fabrikkat	: SIEMENS	EAN-nummer	:
Bryterenhet	: 3VL2	Merkestrøm	: 100 A
Utløserenhet	: ETU10	Bryteevne	: 40 kA Ics
		I2-verdi	: 130 A
		I5-(I _m -) verdi	: 1320 A
Kabel, største lengde som vil gi elektromagnetisk utkobling av alle feilstømmer			: 648.2 m
	Ir	: min: 0,8 / 80 A	max: 1 / 100 A set: 0,9 / 90 A
	Ii	: min: 1,25 / 150 A	max: 6 / 720 A set: 3 / 360 A
Anleggets adresse:	..	Anlegg:	heislobby_masteroppg
	..		Dato: 19.05.2009
	Norconsult AS	Fordeling	NEK400:2006
	.	HOVEDFORDELING	415 V TN-C-S
	1338 SANDVIKA		Side 7
	tel: 67 57 11 00	vs.5.0.02	av 24
		06.02.2009	

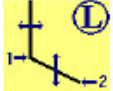
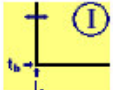
Kurs nr.	: 3				
	Kombinert vern				
	Ik [kA]	Cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2S^2/I^2$ [s]	t utkobling [s]
Ik3p max	17.301	0.19	38.27	0.063	0.011
Ik3p max ende	3.521	0.94	5.081	1.526	0.011
Ik3p min	2.517	0.98	3.831	2.987	0.011
Ik2p max	14.983	0.19	33.143	0.084	0.011
Ik2p max ende	3.049	0.94	4.4	2.035	0.011
Ik2p min	2.179	0.98	3.143	3.985	0.011
Ik1p max	17.458	0.27	35.668	0.062	0.011
Ik1p max ende	1.846	0.97	2.863	5.553	0.011
Ik1p min	1.298	0.98	1.872	11.231	0.011
Ij max	17.458	0.27	35.668	0.014	0.011
Ij max ende	1.363	0.99	1.966	2.258	0.011
Ij min	0.953	0.99	1.375	4.618	0.011
Anleggets adresse:			Anlegg:		Dato: 19.05.2009
..			heislobby_masteroppg		
..			Fordeling		NEK400:2006
Norconsult AS			HOVEDFORDELING		415 V TN-C-S
.			febdok		Side 8
1338 SANDVIKA			vs.5.0.02		av 24
tel: 67 57 11 00			06.02.2009		


Beregningsresultat i Febdok, Holmenkollbakken

Kurs nr.	: 4		
	:	Kursen behøver ikke være beskyttet av et strømstyrt jordfeilvern	
Fordeling	:		
Lastbeskrivelse	: 4		
Jording/utjevning	:	Fordelingstype	: TN-S
Merkespenning	: 415 V	Antall faser	: 3
Laststrøm	: 88.9 A	Fasekobling	: L1-L2-L3-N
Cos phi	: 0.9	Temperatur i fordeling	: 30 °C
Merkeeffekt, Pn	: 57.5 kW		
Merkeytelse, Sn	: 63.9 kVA		
Sammenlagret strøm	: L1: 0 A L2: 0 A L3: 0 A N: 0 A		
Kabel, merking	:		
Kabeltype/-lederløsning	: IFSI 5G95 AL		
Ref. inst. met.	: E		
Omgivelsestemperatur	: 30 °C	Ingen parallele kurser	
Kabellengde	: 110 m	Annen korreksjonsfaktor	:
Tap i kabel	: 1090.46 W 9.91 W/m		
Strømføringsevne	: 179.3 A		
Spenningsfall totalt	: 10.34 V	2.49 %	Klemmespenning : 404.6 V
...til siste fordeling	: 3.2 V	0.77 %	
...over siste Kabel	: 7.3 V	1.75 %	Maksimal lengde : 78.5 m
Kombinert vern, Merking	:	Artikkel nummer	: 3VL27161BA430A0
Fabrikkat	: SIEMENS	EAN-nummer	:
Bryterenhet	: 3VL2	Merkestrøm	: 160 A
Utløserenhet	: ETU10	Bryteevne	: 40 kA Ics
		I2-verdi	: 208 A
		I5-(I _m -) verdi	: 2112 A
Kabel, største lengde som vil gi elektromagnetisk utkobling av alle feilstømmer			: 854.5 m
	Ir	: min: 0,8 / 96 A	max: 1 / 160 A set: 0,8 / 128 A
	Ii	: min: 1,25 / 240 A	max: 8 / 1536 A set: 4 / 768 A
Anleggets adresse:	..	Anlegg:	heislobby_masteroppg
	..	Dato:	19.05.2009
	Norconsult AS	Fordeling	NEK400:2006
	.	HOVEDFORDELING	415 V TN-C-S
	1338 SANDVIKA	febdok	vs.5.0.02
	tel: 67 57 11 00		06.02.2009
			Side 9 av 24

Kurs nr.	: 4				
	Kombinert vern				
	Ik [kA]	Cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2S^2/I^2$ [s]	t utkobling [s]
Ik3p max	17.301	0.19	38.27	0.228	0.011
Ik3p max ende	5.483	0.83	7.999	2.272	0.011
Ik3p min	4.105	0.89	5.94	4.054	0.011
Ik2p max	14.983	0.19	33.143	0.304	0.011
Ik2p max ende	4.748	0.83	6.927	3.03	0.011
Ik2p min	3.555	0.89	5.144	5.405	0.011
Ik1p max	17.458	0.27	35.668	0.224	0.011
Ik1p max ende	3.069	0.91	4.434	7.253	0.011
Ik1p min	2.219	0.94	3.202	13.873	0.011
Ij max	17.458	0.27	35.668	0.066	0.011
Ij max ende	2.519	0.97	3.634	3.163	0.011
Ij min	1.78	0.98	2.568	6.335	0.011
Anleggets adresse:			Anlegg: heislobby_masteroppg		Dato: 19.05.2009
Norconsult AS . 1338 SANDVIKA tel: 67 57 11 00			Fordeling HOVEDFORDELING		NEK400:2006 415 V TN-C-S
			 vs.5.0.02 06.02.2009		Side 10 av 24

Beregningsresultat i Febdok, Holmenkollbakken

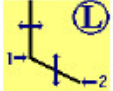
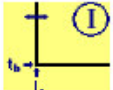
Kurs nr.	: 5		
	:	Kursen behøver ikke være beskyttet av et strømstyrt jordfeilvern	
Fordeling	:		
Lastbeskrivelse	: 5		
Jording/utjevning	:	Fordelingstype	: TN-S
Merkespenning	: 415 V	Antall faser	: 3
Laststrøm	: 162.31 A	Fasekobling	: L1-L2-L3-N
Cos phi	: 0.9	Temperatur i fordeling	: 30 °C
Merkeeffekt, Pn	: 105 kW		
Merkeytelse, Sn	: 116.667 kVA		
Sammenlagret strøm	: L1: 0 A L2: 0 A L3: 0 A N: 0 A		
Kabel, merking	:		
Kabeltype/-lederløsning	: PFSP 4x150 AL		
Ref. inst. met.	: E	Ingen parallelle kurser	
Omgivelsestemperatur	: 30 °C	Annenn korreksjonsfaktor	
Kabellengde	: 10 m		
Tap i kabel	: 198.46 W 19.85 W/m		
Strømføringsevne	: 232.8 A		
Spenningsfall totalt	: 3.95 V	0.95 %	Klemmespenning : 411 V
...til siste fordeling	: 3.2 V	0.77 %	
...over siste Kabel	: 0.75 V	0.18 %	Maksimal lengde : 67.9 m
Kombinert vern, Merking	:	Artikkel nummer	: 3VL37201BA460AA0
Fabrikkat	: SIEMENS	EAN-nummer	:
Bryterenhhet	: 3VL3	Merkestrøm	: 200 A
Utløserenhhet	: ETU10	Bryteevne	: 40 kA Ics
		I2-verdi	: 260 A
		I5-(I _m -) verdi	: 2640 A
Kabel, største lengde som vil gi elektromagnetisk utkobling av alle feilstømmer			: 1036.1 m
	Ir	: min: 0,9 / 180 A	max: 1 / 200 A set: 0,9 / 180 A
	Ii	: min: 1,25 / 300 A	max: 11 / 2640 A set: 6 / 1440 A
Anleggets adresse:	..	Anlegg:	heislobby_masteroppg
	..	Dato:	19.05.2009
	Norconsult AS	Fordeling	NEK400:2006
	.	HOVEDFORDELING	415 V TN-C-S
	1338 SANDVIKA	febdok	vs.5.0.02
	tel: 67 57 11 00		06.02.2009
			Side 11 av 24

Kurs nr.	: 5				
	Kombinert vern				
	Ik [kA]	Cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2S^2/I^2$ [s]	t utkobling [s]
Ik3p max	17.301	0.19	38.27	0.412	0.011
Ik3p max ende	15.759	0.3	31.108	0.496	0.011
Ik3p min	14.032	0.35	26.627	0.626	0.011
Ik2p max	14.983	0.19	33.143	0.549	0.011
Ik2p max ende	13.647	0.3	26.939	0.662	0.011
Ik2p min	12.152	0.35	23.06	0.834	0.011
Ik1p max	17.458	0.27	35.668	0.404	0.011
Ik1p max ende	14.381	0.46	25.017	0.596	0.011
Ik1p min	12.461	0.52	20.709	0.793	0.011
Ij max	17.458	0.27	35.668	0.163	0.011
Ij max ende	14.185	0.55	23.152	0.247	0.011
Ij min	12.056	0.62	18.931	0.342	0.011
Anleggets adresse:			Anlegg: heislobby_masteroppg		Dato: 19.05.2009
Norconsult AS . 1338 SANDVIKA tel: 67 57 11 00			Fordeling HOVEDFORDELING		NEK400:2006 415 V TN-C-S
			 vs.5.0.02 06.02.2009		Side 12 av 24

Beregningsresultat i Febdok, Holmenkollbakken

Kurs nr.	: 6				
	:	Kursen behøver ikke være beskyttet av et strømstyrt jordfeilvern			
Fordeling	:				
Lastbeskrivelse	: 6				
Jording/utjevning	:	Fordelingstype	: TN-S		
Merkespenning	: 415 V	Antall faser	: 3		
Laststrøm	: 15.4 A	Fasekobling	: L1-L2-L3-N		
Cos phi	: 0.9				
Merkeeffekt, Pn	: 10 kW	Temperatur i fordeling	: 30 °C		
Merkeytelse, Sn	: 11.1 kVA				
Sammenlagret strøm	: L1: 0 A L2: 0 A L3: 0 A N: 0 A				
Kabel, merking	:				
Kabeltype-/lederløsning	: PFSP 4x4 CU				
Ref. inst. met.	: E	Ingen parallelle kurser			
Omgivelsestemperatur	: 30 °C	Annen korreksjonsfaktor			
Kabellengde	: 40 m				
Tap i kabel	: 159.14 W 3.98 W/m				
Strømføringsevne	: 32.3 A				
Spenningsfall totalt	: 8.62 V	2.07 %	Klemmespenning	: 406.3 V	
...til siste fordeling	: 3.2 V	0.77 %			
...over siste Kabel	: 5.97 V	1.43 %	Maksimal lengde	: 37.6 m	
Kombinert vern, Merking	:	Artikkel nummer	:		
Fabrikkat	: ABB STOTZ	EAN-nummer	:		
Bryterenhet	: S200P C	Merkestrøm	: 20 A		
Utløserenhet	: S200P C	Bryteevne	: 25 kA Icn		
		I2-verdi	: 29 A		
		I5-(Im-) verdi	: 200 A		
Kabel, største lengde som vil gi elektromagnetisk utkobling av alle feilstrømmer			: 101.3 m		
Kombinert vern					
	Ik [kA]	Cos phi	i [kA]	Kabel t=k²S²/I² [s]	t utkobling [s]
Ik3p max	17.301	0.19	38.27	0.001	0.01
Ik3p max ende	1.336	0.99	1.927	0.119	0.01
Ik3p min	1	1	1.442	0.212	0.01
Ik2p max	14.983	0.19	33.143	0.001	0.01
Ik2p max ende	1.157	0.99	1.669	0.158	0.01
Ik2p min	0.866	1	1.249	0.282	0.01
Ik1p max	17.458	0.27	35.668	0.001	0.01
Ik1p max ende	0.673	1	0.971	0.467	0.01
Ik1p min	0.503	1	0.726	0.836	0.01
Ij max	17.458	0.27	35.668	0.001	0.01
Ij max ende	0.674	1	0.972	0.466	0.01
Ij min	0.503	1	0.726	0.836	0.01
Anleggets adresse:	Norconsult AS		Anlegg: heislobby_masteroppg		Dato: 19.05.2009
..	.		Fordeling: HOVEDFORDELING		NEK400:2006 415 V TN-C-S
..	1338 SANDVIKA tel: 67 57 11 00		febdok vs.5.0.02 06.02.2009		Side 13 av 24

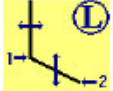
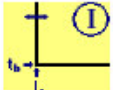
Beregningsresultat i Febdok, Holmenkollbakken

Kurs nr.	: 7		
	:	Kursen behøver ikke være beskyttet av et strømstyrt jordfeilvern	
Fordeling	:		
Lastbeskrivelse	: 7		
Jording/utjevning	:	Fordelingstype	: TN-S
Merkespenning	: 415 V	Antall faser	: 3
Laststrøm	: 46.3 A	Fasekobling	: L1-L2-L3-N
Cos phi	: 0.9		
Merkeeffekt, Pn	: 30 kW	Temperatur i fordeling	: 30 °C
Merkeytelse, Sn	: 33.3 kVA		
Sammenlagret strøm	: L1: 0 A L2: 0 A L3: 0 A N: 0 A		
Kabel, merking	:		
Kabeltype/-lederløsning	: BFSI 4x35 CU		
Ref. inst. met.	: E		
Omgivelsestemperatur	: 30 °C	Ingen parallelle kurser	
Kabellengde	: 40 m	Annen korreksjonsfaktor	:
Tap i kabel	: 174.99 W 4.37 W/m		
Strømføringsevne	: 124.8 A		
Spenningsfall totalt	: 6.3 V	1.27 %	Klemmespenning : 409.7 V
...til siste fordeling	: 3.2 V	0.77 %	
...over siste Kabel	: 2.2 V	0.53 %	Maksimal lengde : 97.2 m
Kombinert vern, Merking	:	Artikkel nummer	: 3VL27101BA430AA0
Fabrikkat	: SIEMENS	EAN-nummer	:
Bryterenhhet	: 3VL2	Merkestrøm	: 100 A
Utløserenhhet	: ETU10	Bryteevne	: 40 kA Ics
		I2-verdi	: 130 A
		I5-(I _m -) verdi	: 1320 A
Kabel, største lengde som vil gi elektromagnetisk utkobling av alle feilstømmer			: 694.6 m
	Ir	: min: 0,5 / 50 A	max: 1 / 100 A set: 0,95 / 95 A
	Ii	: min: 1,25 / 150 A	max: 11 / 1320 A set: 6 / 720 A
Anleggets adresse:	..	Anlegg:	Dato: 19.05.2009
..		heislobby_masteropp	
Norconsult AS		Fordeling	NEK400:2006
.		HOVEDFORDELING	415 V TN-C-S
1338 SANDVIKA		vs.5.0.02	Side 14
tel: 67 57 11 00		06.02.2009	av 24

Beregningsresultat i Febdok, Holmenkollbakken

Kurs nr.	: 7				
	Kombinert vern				
	Ik [kA]	Cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2S^2/I^2$ [s]	t utkobling [s]
Ik3p max	17.301	0.19	38.27	0.075	0.011
Ik3p max ende	8.416	0.79	12.369	0.315	0.011
Ik3p min	6.438	0.88	9.346	0.539	0.011
Ik2p max	14.983	0.19	33.143	0.099	0.011
Ik2p max ende	7.288	0.79	10.712	0.42	0.011
Ik2p min	5.575	0.88	8.093	0.718	0.011
Ik1p max	17.458	0.27	35.668	0.073	0.011
Ik1p max ende	5	0.91	7.222	0.893	0.011
Ik1p min	3.639	0.94	5.25	1.666	0.011
Ij max	17.458	0.27	35.668	0.014	0.011
Ij max ende	3.432	0.97	4.951	0.356	0.011
Ij min	2.437	0.98	3.515	0.708	0.011
Anleggets adresse:			Anlegg:		Dato: 19.05.2009
..			heislobby_masteroppg		
..			Fordeling		NEK400:2006
Norconsult AS			HOVEDFORDELING		415 V TN-C-S
.			febdok		Side 15
1338 SANDVIKA			vs.5.0.02		av 24
tel: 67 57 11 00			06.02.2009		

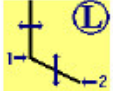
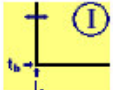
Beregningsresultat i Febdok, Holmenkollbakken

Kurs nr.	: 8		
	:	Kursen behøver ikke være beskyttet av et strømstyrt jordfeilvern	
Fordeling	:		
Lastbeskrivelse	: 8		
Jording/utjevning	:	Fordelingstype	: TN-S
Merkespenning	: 415 V	Antall faser	: 3
Laststrøm	: 115.89 A	Fasekobling	: L1-L2-L3-N
Cos phi	: 0.9		
Merkeeffekt, Pn	: 75 kW	Temperatur i fordeling	: 30 °C
Merkeytelse, Sn	: 83.3 kVA		
Sammenlagret strøm	: L1: 0 A L2: 0 A L3: 0 A N: 0 A		
Kabel, merking	:		
Kabeltype/-lederløsning	: PFSP 4x95 AL		
Ref. inst. met.	: D	Ingen parallelle kurser	
Omgivelsestemperatur	: 20 °C	Annen korreksjonsfaktor	
Kabellengde	: 70 m		
Tap i kabel	: 1100.13 W 15.72 W/m		
Strømføringsevne	: 138 A		
Spenningsfall totalt	: 8.72 V	2.1 %	Klemmespenning : 406.2 V
...til siste fordeling	: 3.2 V	0.77 %	
...over siste Kabel	: 5.65 V	1.36 %	Maksimal lengde : 64.6 m
Kombinert vern, Merking	:	Artikkel nummer	:
Fabrikkat	: SIEMENS	EAN-nummer	:
Bryterenhhet	: 3VL2	Merkestrøm	: 125 A
Utløserenhhet	: ETU10	Bryteevne	: 40 kA Ics
		I2-verdi	: 162.5 A
		I5-(I _m -) verdi	: 1650 A
Kabel, største lengde som vil gi elektromagnetisk utkobling av alle feilstømmer			: 1172.7 m
	Ir	: min: 0,95 / 118,75 A	max: 1 / 125 A
			set: 0,95 / 119 A
	Ii	: min: 1,25 / 188 A	max: 11 / 1650 A
			set: 6 / 900 A
Anleggets adresse:	..	Anlegg:	heislobby_masteroppg
	..	Dato:	19.05.2009
	Norconsult AS	Fordeling	NEK400:2006
	.	HOVEDFORDELING	415 V TN-C-S
	1338 SANDVIKA	febdok	vs.5.0.02
	tel: 67 57 11 00		06.02.2009
			Side 16 av 24


Beregningsresultat i Febdok, Holmenkollbakken

Kurs nr.	: 8				
	Kombinert vern				
	Ik [kA]	Cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2S^2/I^2$ [s]	t utkobling [s]
Ik3p max	17.301	0.19	38.27	0.165	0.011
Ik3p max ende	7.663	0.77	11.346	0.842	0.011
Ik3p min	6.151	0.82	8.984	1.306	0.011
Ik2p max	14.983	0.19	33.143	0.22	0.011
Ik2p max ende	6.636	0.77	9.826	1.122	0.011
Ik2p min	5.327	0.82	7.78	1.742	0.011
Ik1p max	17.458	0.27	35.668	0.162	0.011
Ik1p max ende	4.556	0.88	6.595	2.381	0.011
Ik1p min	3.521	0.92	5.064	3.986	0.011
Ij max	17.458	0.27	35.668	0.08	0.011
Ij max ende	3.798	0.95	5.479	1.688	0.011
Ij min	2.879	0.97	4.153	2.938	0.011
Anleggets adresse:			Anlegg:		Dato: 19.05.2009
..			heislobby_masteropp		
..			Fordeling		NEK400:2006
Norconsult AS			HOVEDFORDELING		415 V TN-C-S
.			febdok		vs.5.0.02
1338 SANDVIKA			06.02.2009		Side 17
tel: 67 57 11 00					av 24

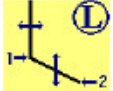
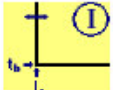

Beregningsresultat i Febdok, Holmenkollbakken

Kurs nr.	: 9		
	:	Kursen behøver ikke være beskyttet av et strømstyrt jordfeilvern	
Fordeling	:		
Lastbeskrivelse	: 9		
Jording/utjevning	:	Fordelingstype	: TN-S
Merkespenning	: 415 V	Antall faser	: 3
Laststrøm	: 162.31 A	Fasekobling	: L1-L2-L3-N
Cos phi	: 0.9	Temperatur i fordeling	: 30 °C
Merkeeffekt, Pn	: 105 kW		
Merkeytelse, Sn	: 116.667 kVA		
Sammenlagret strøm	: L1: 0 A L2: 0 A L3: 0 A N: 0 A		
Kabel, merking	:		
Kabeltype/-lederløsning	: IFSI 5G150 AL		
Ref. inst. met.	: E		
Omgivelsestemperatur	: 30 °C	Ingen parallelle kurser	:
Kabellengde	: 80 m	Annen korreksjonsfaktor	:
Tap i kabel	: 1701.76 W 21.27 W/m		
Strømføringsevne	: 240.2 A		
Spenningsfall totalt	: 9.64 V	2.32 %	Klemmespenning : 405.3 V
...til siste fordeling	: 3.2 V	0.77 %	
...over siste Kabel	: 6.47 V	1.55 %	Maksimal lengde : 63.3 m
Kombinert vern, Merking	:	Artikkel nummer	: 3VL37201BA460AA0
Fabrikkat	: SIEMENS	EAN-nummer	:
Bryterenhhet	: 3VL3	Merkestrøm	: 200 A
Utløserenhhet	: ETU10	Bryteevne	: 40 kA Ics
		I2-verdi	: 260 A
		I5-(I _m -) verdi	: 2640 A
Kabel, største lengde som vil gi elektromagnetisk utkobling av alle feilstømmer			: 967.7 m
	Ir	: min: 0,9 / 180 A	max: 1 / 200 A set: 0,9 / 180 A
	Ii	: min: 1,25 / 300 A	max: 11 / 2640 A set: 11 / 2640 A
Anleggets adresse:	..	Anlegg:	heislobby_masteroppg
	..		Dato: 19.05.2009
	Norconsult AS	Fordeling	NEK400:2006
	.	HOVEDFORDELING	415 V TN-C-S
	1338 SANDVIKA	vs.5.0.02	Side 18
	tel: 67 57 11 00	febdok 06.02.2009	av 24


Beregningsresultat i Febdok, Holmenkollbakken

Kurs nr.	: 9				
	Kombinert vern				
	Ik [kA]	Cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2S^2/I^2$ [s]	t utkobling [s]
Ik3p max	17.301	0.19	38.27	0.569	0.011
Ik3p max ende	8.523	0.65	13.183	2.344	0.011
Ik3p min	6.838	0.74	10.21	3.642	0.011
Ik2p max	14.983	0.19	33.143	0.759	0.011
Ik2p max ende	7.381	0.65	11.416	3.128	0.011
Ik2p min	5.922	0.74	8.842	4.856	0.011
Ik1p max	17.458	0.27	35.668	0.559	0.011
Ik1p max ende	5.402	0.79	7.947	5.836	0.011
Ik1p min	4.102	0.86	5.955	10.121	0.011
Ij max	17.458	0.27	35.668	0.134	0.011
Ij max ende	4.52	0.92	6.525	2.005	0.011
Ij min	3.266	0.95	4.712	3.84	0.011
Anleggets adresse:			Anlegg: heislobby_masteroppg		Dato: 19.05.2009
Norconsult AS . 1338 SANDVIKA tel: 67 57 11 00			Fordeling HOVEDFORDELING		NEK400:2006 415 V TN-C-S
			 vs.5.0.02 06.02.2009		Side 19 av 24

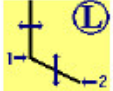
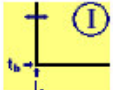
Beregningsresultat i Febdok, Holmenkollbakken

Kurs nr.	: 11		
	:	Kursen behøver ikke være beskyttet av et strømstyrt jordfeilvern	
Fordeling	:		
Lastbeskrivelse	: 11		
Jording/utjevning	:	Fordelingstype	: TN-S
Merkespenning	: 415 V	Antall faser	: 3
Laststrøm	: 61.8 A	Fasekobling	: L1-L2-L3-N
Cos phi	: 0.9		
Merkeeffekt, Pn	: 40 kW	Temperatur i fordeling	: 30 °C
Merkeytelse, Sn	: 44.4 kVA		
Sammenlagret strøm	: L1: 0 A L2: 0 A L3: 0 A N: 0 A		
Kabel, merking	:		
Kabeltype/-lederløsning	: IFSI 5G50 AL		
Ref. inst. met.	: E	Ingen parallelle kurser	
Omgivelsestemperatur	: 30 °C	Annen korreksjonsfaktor	
Kabellengde	: 20 m		
Tap i kabel	: 191.92 W 9.6 W/m		
Strømføringsevne	: 119.3 A		
Spenningsfall totalt	: 11.97 V	2.88 %	Klemmespenning : 403 V
...til siste fordeling	: 10.25 V	2.47 %	
...over siste Kabel	: 1.81 V	0.43 %	Maksimal lengde : 0 m
Kombinert vern, Merking	:	Artikkel nummer	: 3VL27101BA430A0
Fabrikkat	: SIEMENS	EAN-nummer	:
Bryterenhhet	: 3VL2	Merkestrøm	: 100 A
Utløserenhhet	: ETU10	Bryteevne	: 40 kA Ics
		I2-verdi	: 130 A
		I5-(I _m -) verdi	: 1320 A
Kabel, største lengde som vil gi elektromagnetisk utkobling av alle feilstrømmer			: 513.2 m
	Ir	: min: 0,63 / 63 A	max: 1 / 100 A set: 1 / 100 A
	Ii	: min: 1,5 / 180 A	max: 11 / 1320 A set: 6 / 720 A
Anleggets adresse:	..	Anlegg:	heislobby_masteropp
	..		Dato: 19.05.2009
	Norconsult AS	Fordeling	NEK400:2006
	.	1	415 V TN-S
	1338 SANDVIKA		Side 20
	tel: 67 57 11 00	vs.5.0.02	av 24
		06.02.2009	

Beregningsresultat i Febdok, Holmenkollbakken

Kurs nr.	: 11				
	Kombinert vern				
	Ik [kA]	Cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2S^2/I^2$ [s]	t utkobling [s]
Ik3p max	8.523	0.65	13.183	0.26	0.011
Ik3p max ende	6.229	0.79	9.155	0.488	0.011
Ik3p min	4.729	0.88	6.863	0.848	0.011
Ik2p max	7.381	0.65	11.416	0.347	0.011
Ik2p max ende	5.394	0.79	7.928	0.65	0.011
Ik2p min	4.095	0.88	5.943	1.128	0.011
Ik1p max	5.402	0.79	7.947	0.648	0.011
Ik1p max ende	3.574	0.89	5.171	1.481	0.011
Ik1p min	2.605	0.93	3.76	2.788	0.011
Ij max	4.52	0.92	6.525	0.205	0.011
Ij max ende	2.786	0.97	4.019	0.54	0.011
Ij min	1.973	0.98	2.848	1.077	0.011
Anleggets adresse:			Anlegg: heislobby_masteroppg		Dato: 19.05.2009
Norconsult AS . 1338 SANDVIKA tel: 67 57 11 00			Fordeling 1		NEK400:2006 415 V TN-S
			 vs.5.0.02 06.02.2009		Side 21 av 24

Beregningsresultat i Febdok, Holmenkollbakken

Kurs nr.	: 12		
	:	Kursen behøver ikke være beskyttet av et strømstyrt jordfeilvern	
Fordeling	:		
Lastbeskrivelse	: 12		
Jording/utjevning	:	Fordelingstype	: TN-S
Merkespenning	: 415 V	Antall faser	: 3
Laststrøm	: 61.8 A	Fasekobling	: L1-L2-L3-N
Cos phi	: 0.9		
Merkeeffekt, Pn	: 40 kW	Temperatur i fordeling	: 30 °C
Merkeytelse, Sn	: 44.4 kVA		
Sammenlagret strøm	: L1: 0 A L2: 0 A L3: 0 A N: 0 A		
Kabel, merking	:		
Kabeltype/-lederløsning	: IFSI 5G50 AL		
Ref. inst. met.	: E	Ingen parallelle kurser	
Omgivelsestemperatur	: 30 °C	Annen korreksjonsfaktor	
Kabellengde	: 50 m		
Tap i kabel	: 479.81 W 9.6 W/m		
Strømføringsevne	: 119.3 A		
Spenningsfall totalt	: 14.53 V	3.5 %	Klemmespenning : 400.4 V
...til siste fordeling	: 10.25 V	2.47 %	
...over siste Kabel	: 4.52 V	1.08 %	Maksimal lengde : 0 m
Kombinert vern, Merking	:	Artikkel nummer	: 3VL27101BA430A0
Fabrikkat	: SIEMENS	EAN-nummer	:
Bryterenhhet	: 3VL2	Merkestrøm	: 100 A
Utløserenhhet	: ETU10	Bryteevne	: 40 kA Ics
		I2-verdi	: 130 A
		I5-(I _m -) verdi	: 1320 A
Kabel, største lengde som vil gi elektromagnetisk utkobling av alle feilstømmer			: 513.2 m
	Ir	: min: 0,63 / 63 A	max: 1 / 100 A set: 1 / 100 A
	Ii	: min: 1,5 / 180 A	max: 10 / 1200 A set: 5 / 600 A
Anleggets adresse:	..	Anlegg:	Dato: 19.05.2009
..		heislobby_masteropp	
Norconsult AS		Fordeling	NEK400:2006
		1	415 V TN-S
1338 SANDVIKA		vs.5.0.02	Side 22
tel: 67 57 11 00		06.02.2009	av 24

Beregningsresultat i Febdok, Holmenkollbakken

Kurs nr.	: 12				
	Kombinert vern				
	Ik [kA]	Cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2S^2/I^2$ [s]	t utkobling [s]
Ik3p max	8.523	0.65	13.183	0.26	0.011
Ik3p max ende	4.311	0.68	6.242	1.018	0.011
Ik3p min	3.157	0.92	4.557	1.899	0.011
Ik2p max	7.381	0.65	11.416	0.347	0.011
Ik2p max ende	3.733	0.88	5.405	1.358	0.011
Ik2p min	2.734	0.92	3.947	2.532	0.011
Ik1p max	5.402	0.79	7.947	0.648	0.011
Ik1p max ende	2.33	0.93	3.362	3.486	0.011
Ik1p min	1.663	0.96	2.399	6.842	0.011
Ij max	4.52	0.92	6.525	0.205	0.011
Ij max ende	1.754	0.98	2.53	1.363	0.011
Ij min	1.232	0.99	1.777	2.763	0.011
Anleggets adresse:			Anlegg:		Dato: 19.05.2009
..			heislobby_masteropp		
..			Fordeling		NEK400:2006
Norconsult AS			1		415 V TN-S
.			Febdok		Side 23
1338 SANDVIKA			vs.5.0.02		av 24
tel: 67 57 11 00			06.02.2009		

Beregningsresultat i Febdok, Holmenkollbakken

Kurs nr.	: 41				
	:	Kursen behøver ikke være beskyttet av et strømstyrt jordfeilvern			
Fordeling	:				
Lastbeskrivelse	: 41				
Jording/utjevning	:	Fordelingstype	: TN-S		
Merkespenning	: 415 V	Antall faser	: 3		
Laststrøm	: 11.8 A	Fasekobling	: L1-L2-L3-N		
Cos phi	: 0.9				
Merkeeffekt, Pn	: 7.5 kW	Temperatur i fordeling	: 30 °C		
Merkeytelse, Sn	: 8.33 kVA				
Sammenlagret strøm	: L1: 0 A L2: 0 A L3: 0 A N: 0 A				
Kabel, merking	:				
Kabeltype-/lederløsning	: PFSP 4x4 CU				
Ref. inst. met.	: E	Ingen parallele kurser			
Omgivelsestemperatur	: 30 °C	Annen korreksjonsfaktor			
Kabellengde	: 40 m				
Tap i kabel	: 90.29 W 2.26 W/m				
Strømføringsevne	: 32.3 A				
Spenningsfall totalt	: 14.42 V	3.47 %	Klemmespenning : 400.5 V		
...til siste fordeling	: 10.34 V	2.49 %			
...over siste Kabel	: 4.5 V	1.08 %	Maksimal lengde : 0 m		
Kombinert vern, Merking	:	Artikkel nummer	: 5SY44207		
Fabrikkat	: SIEMENS	EAN-nummer	:		
Bryterenhet	: 5SY4_C	Merkestrøm	: 20 A		
Utløserenhet	: 5SY3_C	Bryteevne	: 7.5 kA Ics		
		I2-verdi	: 29 A		
		I5-(Im-) verdi	: 200 A		
Kabel, største lengde som vil gi elektromagnetisk utkobling av alle feilstrømmer			: 90.5 m		
Kombinert vern					
	Ik [kA]	Cos phi	i [kA]	Kabel t=k²S²/I² [s]	t utkobling [s]
Ik3p max	5.483	0.83	7.999	0.007	0.01
Ik3p max ende	1.12	0.99	1.816	0.169	0.01
Ik3p min	0.829	0.99	1.196	0.308	0.01
Ik2p max	4.748	0.83	6.927	0.009	0.01
Ik2p max ende	0.97	0.99	1.399	0.225	0.01
Ik2p min	0.718	0.99	1.036	0.41	0.01
Ik1p max	3.069	0.91	4.434	0.022	0.01
Ik1p max ende	0.565	1	0.815	0.663	0.01
Ik1p min	0.417	1	0.602	1.217	0.01
Ij max	2.519	0.97	3.634	0.033	0.01
Ij max ende	0.539	1	0.778	0.728	0.01
Ij min	0.396	1	0.571	1.349	0.01
Anleggets adresse:	Anlegg: heislobby_masteropp		Dato: 19.05.2009		
..					
..					
	Norconsult AS	Fordeling	NEK400:2006		
	.	4	415 V TN-S		
	1338 SANDVIKA	Febdok	vs.5.0.02	Side 24	
	tel: 67 57 11 00		06.02.2009	av 24	

Vedlegg 2 Beregningsresultat i Nettdok, Holmenkollbakken

Johan Skogsrud NTNU

Tegning:
Prosjekt:

Side 1 av 2

Transformatorer

-T1

Tegningsside: 1
Referanse -T1
Kabel ut: Hoved TFXP AI 8x4x240/240

Primær

U, kV: 11
Sn, MVA: 250

Sekundær

Spennning, V: 415
Ytelse St, kVA: 800
Ek/Uz%: 5,96
Er/Ur%: 0,76
Ex/Ux%: 5,91
Koblingsgruppe: Dyn11/Dd0
System: TN-C

Beregnete verdier

	kA		mOhm
Merkestrøm I_n	1,113	R+	1,712
Stetstrøm I_s	41,1428	X+	13,4809
Kortslutnings strøm I_{k3p} kA	17,6317	R ₀	1,636
Kortslutnings strøm I_{k2p} kA	15,3396	X ₀	10,178
Kortslutnings strøm I_{k1p} kA	19,1765	Z+	13,589
		Z ₀	10,309

Kortslutningsstrømmer og spenningsfall

Kabel	kode	Driftstilstand			Kontinuerlige kortslutningsstrømmer i kA						Kabelimpedans	
		°C	U,Volt	U,%	°C	cos ϕ	Ikmin	Ikmax	Istot	Uc, V	Zfm Ohm	Zpem Ohm
1	S	90	406,21	1,49	90	0,751	3,394	9,173	13,426	127,5	20,992	37,565
2	S	90	402,33	2,43	90	0,963	0,989	3,848	5,442	143,2	75,397	144,813
3	S	90	402,33	2,43	90	0,963	0,989	3,848	5,442	143,2	75,397	144,813
4	S	90	405,68	1,62	90	0,899	1,8	5,816	8,225	131,8	44,287	73,24
5	S	70	411,71	0,16	70	0,347	12,674	16,312	30,913	56	2,478	4,415
6	S	70	406,55	1,41	70	0,997	0,503	1,359	1,922	109,1	217,134	217,134
7	S	90	410,24	0,51	90	0,866	2,478	8,654	12,238	143,6	26,633	57,925
8	S	70	407,16	1,26	70	0,83	2,898	8,047	11,381	126,9	26,519	43,782
9	S	90	406,75	1,36	90	0,751	3,394	9,173	13,426	127,5	20,992	37,565
11	S	90	404,6	0,4	90	0,867	2,053	6,741	9,534	136,6	15,079	28,963
12	S	90	402,2	0,99	90	0,928	1,281	4,686	6,627	140,8	37,698	72,407
41	S	70	401,32	1,07	70	0,995	0,397	1,144	1,618	115,3	217,134	217,134
Hoved		90	412,37	0,63	90	0,217	16,743	17,778	38,216	11,9	1,422	0,711

Vedlegg 3 Formler til de manuelle kortslutningsberegningene

Her er formler brukt til utregning av absoluttverdi og $\tan \varphi$ til kortslutningsstrømmene vist, all utregning av kortslutningsstrømmer og støtstrømmer er utført i Excel. Ved utregning av $\tan \varphi$ som er lik forholdet til X/R er det ikke utført forkortninger, dette for å vise verdien av X og R .

Treplet kortslutning:

$$|I_{k3}| = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_+^2 + X_+^2}}$$

$$\tan \varphi = \frac{X}{R} = \frac{-X_+}{R_+}$$

Topolet kortslutning:

$$|I_{k2}| = \frac{c \cdot U_n}{2 \cdot \sqrt{R_+^2 + X_+^2}}$$

$$\tan \varphi = \frac{X}{R} = \frac{-X_+}{R_+}$$

Topolet kortslutning med samtidig jordfeil (beregnes mot N- og PE-leder, R_{0N} eller R_{0PE} og X_{0N} eller X_{0PE} benyttes)

$$|I_{k2EL2}| = \frac{c \cdot U_n \cdot \sqrt{\left(\frac{R_0 \cdot R_+ + X_0 \cdot X_+ + 0,5}{R_+^2 + X_+^2}\right)^2 + \left(\frac{R_+ \cdot X_0 - R_0 \cdot X_+ - \sqrt{3}}{R_+^2 + X_+^2} - \frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2}}{\sqrt{(R_+ + 2 \cdot R_0)^2 + (X_+ + 2 \cdot X_0)^2}}$$

$$\tan \varphi = \frac{X}{R} = \frac{(R_+ + 2 \cdot R_0) \cdot \left(\frac{R_0 \cdot R_+ + X_0 \cdot X_+ + 0,5}{R_+^2 + X_+^2}\right) + (X_+ + 2 \cdot X_0) \cdot \left(\frac{R_+ \cdot X_0 - R_0 \cdot X_+ - \sqrt{3}}{R_+^2 + X_+^2} - \frac{\sqrt{3}}{2}\right)}{(R_+ + 2 \cdot R_0)^2 + (X_+ + 2 \cdot X_0)^2}$$

$$\tan \varphi = \frac{X}{R} = \frac{(R_+ + 2 \cdot R_0) \cdot \left(\frac{R_+ \cdot X_0 - R_0 \cdot X_+ - \sqrt{3}}{R_+^2 + X_+^2} - \frac{\sqrt{3}}{2}\right) - (X_+ + 2 \cdot X_0) \cdot \left(\frac{R_0 \cdot R_+ + X_0 \cdot X_+ + 0,5}{R_+^2 + X_+^2}\right)}{(R_+ + 2 \cdot R_0)^2 + (X_+ + 2 \cdot X_0)^2}$$

$$|I_{k2EL3}| = \frac{c \cdot U_n \cdot \sqrt{\left(\frac{R_0 \cdot R_+ + X_0 \cdot X_+ + 0,5}{R_+^2 + X_+^2}\right)^2 + \left(\frac{R_+ \cdot X_0 - R_0 \cdot X_+ + \frac{\sqrt{3}}{2}}{R_+^2 + X_+^2}\right)^2}}{\sqrt{(R_+ + 2 \cdot R_0)^2 + (X_+ + 2 \cdot X_0)^2}}$$

$$\tan \varphi = \frac{X}{R} = \frac{(R_+ + 2 \cdot R_0) \cdot \left(\frac{R_0 \cdot R_+ + X_0 \cdot X_+ + 0,5}{R_+^2 + X_+^2}\right) + (X_+ + 2 \cdot X_0) \cdot \left(\frac{R_+ \cdot X_0 - R_0 \cdot X_+ + \frac{\sqrt{3}}{2}}{R_+^2 + X_+^2}\right)}{(R_+ + 2 \cdot R_0)^2 + (X_+ + 2 \cdot X_0)^2}$$

$$= \frac{(R_+ + 2 \cdot R_0) \cdot \left(\frac{R_+ \cdot X_0 - R_0 \cdot X_+ + \frac{\sqrt{3}}{2}}{R_+^2 + X_+^2}\right) - (X_+ + 2 \cdot X_0) \cdot \left(\frac{R_0 \cdot R_+ + X_0 \cdot X_+ + 0,5}{R_+^2 + X_+^2}\right)}{(R_+ + 2 \cdot R_0)^2 + (X_+ + 2 \cdot X_0)^2}$$

$$|I_{kE2E}| = \frac{\sqrt{3} \cdot c \cdot U_n}{\sqrt{(R_+ + 2 \cdot R_0)^2 + (X_+ + 2 \cdot X_0)^2}}$$

$$\tan \varphi = \frac{X}{R} = \frac{X_+ + 2 \cdot X_0}{-(R_+ + 2 \cdot R_0)}$$

Enpolet kortslutning (beregnes mot N- og PE-leder, R_{0N} eller R_{0PE} og X_{0N} eller X_{0PE} benyttes)

$$|I_{k1}| = \frac{\sqrt{3} \cdot c \cdot U_n}{\sqrt{(2 \cdot R_+ + R_0)^2 + (2 \cdot X_+ + X_0)^2}}$$

$$\tan \varphi = \frac{X}{R} = \frac{-(2 \cdot X_+ + X_0)}{2 \cdot R_+ + R_0}$$

Vedlegg 4 Datablad transformator



MØRE TRAFØ AS
 HOVEDKONTOR
 N-6230 SYKKYLVEN
 TLF.: 47 -70 24 61 00
 FAX : 47 -70 24 61 01

11000 / **415** Volt
 + -- 2 x 2,5 % Dyn11 *
 3 -fase ONAN
 2 - viklingstransformator * 31,5 kVA Yzn11
 E = EPOXY V=Vfz (zink)

Kobl. Hz
 50
 Kjøling
 EP 96056
 RAL 7024
 Grafitt grå

Step-lap Laser
 NYTRO 10X
 Mineralolje

more.trafo@moretrafo.no

Hermetisk tett

Skal ikke åpnes ved vedlikehold !

IEC60076 -1996


	Type :											
	OTK	OTK	OTK	OTK	OTK	OTK	OTW	OTW	OTW	OTK	OTK	OTK
7070747 XXXXX K	2528	3528	5538	5570	6970	6970	6970	6970	6970	6970	6970	6970
EI.no	29 XXXXX	00399 5	00400 8	00401 5	04473 8	00424 4	04307 6	04382 3	00427 5	00428 2	00428 2	00428 2
kVA	31,5	50	100	200	500	630	800	1 000	1 250	1 600	1 600	1 600
Viklinger HS	Cu	Cu	Cu	Cu	Cu	Cu	AI	AI	AI	AI	AI	AI
Viklinger LS												
Volt	415											
Kurs	8,20											
Tomg.tap Po:	1,0	90	210	340	580	690	850	920	1130	1400	1400	1400
Tomg.strøm Io:	%	1,15	0,87	0,34	0,13	0,15	0,17	0,15	0,14	0,17	0,17	0,17
Bel.tap Pk:	W	740	1430	2120	4080	5800	6070	8240	10090	13910	13910	13910
(ek ,uk ,uz,Ucc ,Vcc) :		4,65	3,77	3,74	3,61	4,40	5,96	5,68	5,52	5,60	5,60	5,60
		2,35	1,79	1,43	0,82	0,92	0,76	0,82	0,81	0,87	0,87	0,87
		4,02	3,32	4,05	3,52	4,30	5,91	5,62	5,46	5,53	5,53	5,53
Reaktive Ig, Qo:	kVAr	0,35	0,41	0,58	0,26	0,61	1,04	1,13	1,32	2,30	2,30	2,30
Reaktive bel. Qk:	kVAr	1,27	1,66	7,17	17,59	27,11	47,31	56,17	66,21	86,46	86,46	86,46
Komp.full last:	kVAr	1,62	2,07	7,76	17,85	27,72	48,36	57,30	66,53	90,76	90,76	90,76
Ro	mOhm	64,134	61,588	24,611	2,811	2,515	1,632	1,419	1,112	0,936	0,936	0,936
Xo	mOhm	21,962	91,348	55,815	24,738	21,008	10,186	7,739	6,015	4,761	4,761	4,761
Spenn.fall dU %												
Belastn.faktor	cosφ:	1,0	2,43	1,51	0,82	1,01	0,93	0,98	0,96	1,02	1,02	1,02
Belastn.faktor	cosφ:	1,0	4,3	3,6	2,76	3,36	4,25	4,11	4	4,09	4,09	4,09

	Type :											
	OTK	OTK	OTK	OTK	OTW	OTW	OTW	OTW	OTW	OTK	OTK	OTK
7070747 XXXXX K	2528	3528	5538	5570	6970	6970	6970	6970	6970	6970	6970	6970
EI.no	29 XXXXX	00399 5	00400 8	00401 5	04473 8	00424 4	04307 6	04382 3	00427 5	00428 2	00428 2	00428 2
kVA	31,5	50	100	200	500	630	800	1 000	1 250	1 600	1 600	1 600
Viklinger HS	Cu	Cu	Cu	Cu	Cu	Cu	AI	AI	AI	AI	AI	AI
Viklinger LS												
Volt	415											
Kurs	8,20											
Tomg.tap Po:	1,0	90	210	340	580	690	850	920	1130	1400	1400	1400
Tomg.strøm Io:	%	1,15	0,87	0,34	0,13	0,15	0,17	0,15	0,14	0,17	0,17	0,17
Bel.tap Pk:	W	740	1430	2120	4080	5800	6070	8240	10090	13910	13910	13910
(ek ,uk ,uz,Ucc ,Vcc) :		4,65	3,77	3,74	3,61	4,40	5,96	5,68	5,52	5,60	5,60	5,60
		2,35	1,79	1,43	0,82	0,92	0,76	0,82	0,81	0,87	0,87	0,87
		4,02	3,32	4,05	3,52	4,30	5,91	5,62	5,46	5,53	5,53	5,53
Reaktive Ig, Qo:	kVAr	0,35	0,41	0,58	0,26	0,61	1,04	1,13	1,32	2,30	2,30	2,30
Reaktive bel. Qk:	kVAr	1,27	1,66	7,17	17,59	27,11	47,31	56,17	66,21	86,46	86,46	86,46
Komp.full last:	kVAr	1,62	2,07	7,76	17,85	27,72	48,36	57,30	66,53	90,76	90,76	90,76
Ro	mOhm	64,134	61,588	24,611	2,811	2,515	1,632	1,419	1,112	0,936	0,936	0,936
Xo	mOhm	21,962	91,348	55,815	24,738	21,008	10,186	7,739	6,015	4,761	4,761	4,761
Spenn.fall dU %												
Belastn.faktor	cosφ:	1,0	2,43	1,51	0,82	1,01	0,93	0,98	0,96	1,02	1,02	1,02
Belastn.faktor	cosφ:	1,0	4,3	3,6	2,76	3,36	4,25	4,11	4	4,09	4,09	4,09

Vedlegg 5 UPS spesifikasjoner oppgitt av leverandør

UPS type	
Fabrikant	Emerson Network Power Ltd
Typebetegnelse	NXA 60 kVA
Ytelse (kVA)	60 kVA / 48 kW
Separat tilførsel statisk switch	
Ja	Ja, men valg fritt
Nei	
Merkespenning	
Primær	400 V
Sekundær	400 V
Merkestrøm	
Primær	93
Sekundær	86,6
Statisk Switch	
Ja (dersom ja, noter tillatt I2t)	20000
Nei	
Kortslutningsytelse	
Kort tid strøm (A)	277,1
Maksimal tid (s) kort tid	0,2
Lang tid strøm (s)	277,1
Maksimal tid (s) lang tid	0,2
Maksimal termisk overlast	
Strøm (A)	194,85
Data oppgitt av	PowerNor AS
Dato	08.03.2009

Vedlegg 6 Datablad generator og kortslutningsytelser oppgitt av leverandør

FRAME		5014F / 5024F		WINDING		6						
MODELS		LL5014F / LL5024F / LL5034F										REF: F5004FW6-2 OCTOBER 2002
WINDING DETAILS						MECHANICAL DETAILS						
Code	6	Insulation class	H			Standard protection	IP23					
Phase	3	Leads	12			Overspeed	rpm	2250				
Pole number	4	Pitch	2/3			Air flow 50Hz/60Hz	m ³ /s	0.43 / 0.51				
EXCITATION DETAILS						WAVEFORM						
Excitation system	SHUNT		AREP/PMG			Line voltage on no load or balanced linear rated load						
AVR model	R448		R448			Total harmonic content THC						
Sustained short-circuit current	-		300%:10s			Telephone influence factor TIF (NEMA)						
Steady state voltage regulation	±0.5%		±0.5%			Telephone harmonic factor THF (IEC)						
LINE VOLTAGE <i>No overvoltage tolerance for 440V 50Hz excitation level</i>												
Frequency / speed		50Hz / 1500rpm				60Hz / 1800rpm						
Series star	V	380	400	415	440	380	400	416	440	460	480	
Series delta	V	220	230	240		220	230	240				
Parallel star	V		200	208	220		200	208	220	230	240	
RATING <i>Power factor 0.8, Altitude <=1000m</i>												
Class H rise BR	125/40	kVA	200	200	200	180	210	220	226	236	245	250
		kW	160	160	160	144	168	176	181	189	196	200
Class H rise PR	150/40	kVA	212	212	212	191	223	233	240	250	260	265
		kW	170	170	170	153	178	186	192	200	208	212
Class H rise PR	163/27	kVA	220	220	220	200	231	242	249	260	270	275
		kW	176	176	176	160	185	194	199	208	216	220
Class F rise BR	105/40	kVA	182	182	182	164	191	200	206	215	223	228
		kW	146	146	146	131	153	160	165	172	178	182
EFFICIENCIES <i>Power factor 0.8</i>												
110%	Class H BR	%	91.9	92.1	92.0	91.7	91.7	92.0	92.2	92.4	92.4	92.5
100%	Class H BR	%	92.3	92.4	92.3	91.9	92.1	92.4	92.5	92.7	92.8	92.7
75%	Class H BR	%	93.1	93.1	92.9	92.0	92.9	93.1	93.2	93.3	93.3	93.2
50%	Class H BR	%	93.5	93.2	92.8	91.3	93.3	93.4	93.4	93.4	93.3	93.0
25%	Class H BR	%	91.9	91.2	90.4	87.4	91.5	91.5	91.4	91.2	90.9	90.4
CHARACTERISTIC PARAMETERS <i>Reactance base class H BR rating</i>												
K _c	Short-circuit ratio		0.38	0.44	0.52	0.80	0.25	0.27	0.29	0.32	0.37	0.42
X _d	D-Axis synchronous reactance (unsaturated)	pu	3.33	3.01	2.79	2.24	4.20	3.87	3.77	3.52	3.34	3.13
X' _d	D-Axis transient reactance (saturated)	pu	0.16	0.15	0.14	0.11	0.21	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15
X'' _d	D-Axis sub-transient reactance (saturated)	pu	0.098	0.089	0.082	0.066	0.124	0.117	0.111	0.104	0.099	0.092
X _q	Q-Axis synchronous reactance (unsaturated)	pu	2.00	1.80	1.68	1.34	2.62	2.38	2.26	2.11	2.00	1.88
X'' _q	Q-Axis sub-transient reactance (saturated)	pu	0.121	0.110	0.102	0.081	0.163	0.145	0.137	0.128	0.122	0.114
X ₂	Negative-sequence reactance (saturated)	pu	0.109	0.099	0.092	0.073	0.138	0.130	0.123	0.115	0.109	0.103
X ₀	Zero-sequence reactance (independent)	pu	0.006	0.005	0.005	0.004	0.007	0.007	0.006	0.006	0.006	0.005
T' _d	D-Axis transient time constant	ms		100					100			
T'' _d	D-Axis sub-transient time constant	ms		10					10			
T' _∞	D-Axis open-circuit time constant	ms		2042					2042			
T _a	Armature time constant	ms		15					15			
T _r	Voltage recovery time	ms		< 500					< 500			
EXCITATION VOLTAGE AND CURRENT												
No load excitation voltage	V	8.0	9.2	10.5	13.4	5.7	6.2	6.6	7.4	8.2	9.2	
No load excitation current	A	0.91	1.05	1.19	1.52	0.65	0.70	0.75	0.84	0.93	1.04	
Class H BR excitation voltage	V	31.8	32.6	34.1	36.3	29.0	29.5	29.7	30.8	31.9	33.1	
Class H BR excitation current	A	3.61	3.71	3.87	4.01	3.29	3.35	3.38	3.48	3.62	3.76	
WINDING RESISTANCE <i>At 20°C</i>												
Stator line-to-line (series star)	Ω	0.0364							Exciter field	Ω	8.80	
Main field	Ω	0.24										

According to: IEC 60034, UTE NFC51.111, VDE 0530, BS 4999/5000, NEMA MG 1-33
 Values quoted are typical. In line with our policy of continuous improvement, we reserve the right to change specification without notice.

FRAME 5014F / 5024F WINDING 6



MODELS LL5014F / LL5024F / LL5034F

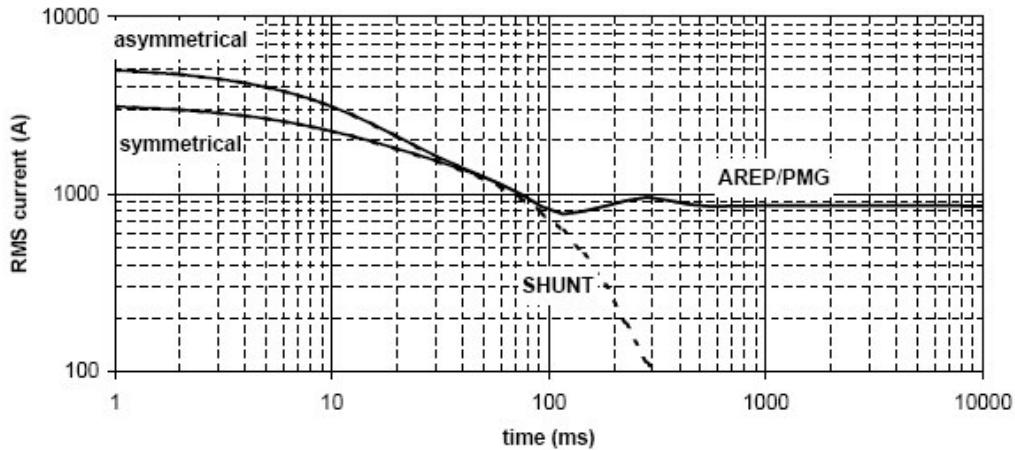
REF: F5004FW6-2 OCTOBER 2002

THREE-PHASE SHORT-CIRCUIT DECREMENT CURVES

No-load excitation at rated speed

400V 50Hz, 480V 60Hz

Series Star



Multiplication Factors

50Hz Voltages	380	400	415	440
Multiplication Factor	0.95	1.00	1.04	1.10

Apply factor up to 2xT'd, remainder of curve unchanged

Aggregat- størrelse (kVA som Stand-by) 400V+N	$I_n =$ $S/(0,4 \cdot 3^{0,5})$	$I_k 3p$ Varig ($t < 10s$)	$I_k 2p =$ $1,5 \cdot I_k 3p$ Varig ($t < 10s$)	$I_k 1p = I_k$ $1p_j = 2,5 \cdot I_k$ $3p$ Varig ($t < 10s$)	$I_k 3p$ Sub transient ($t < 0,1S$)	$I_k 2p =$ $0,86 \cdot I_k 3p$ Sub transient ($t < 0,1S$)	$I_k 1p =$ $1,3 \cdot I_k 3p$ Sub transient ($t < 0,1S$)
200	288,7 A	3 x I_n	4,5 x I_n	7,5 x I_n	10 x I_n	8,7 x I_n	13 x I_n

Vedlegg 7 Beregningsresultat i Nettdok, Generator

Generatorer

Generator -G1

Tegningsside: 1
 Referanse -G1
 Kabel ut: Generator PFSP Cu 20x3x150/70

Innmatet

System: TN-S
 Sg, kVA: 200
 Power factor: 0,8
 Ytelse, kW: 160
 Un, Volt: 400
 Frekvens, Hz: 50
 Perm.mag:
 xo %: 0,5
 x'd %: 8,9
 x'd %: 15
 xd %: 301
 Ra, mOhm: 18,2
 T"d, s: 0,01
 T'd, s: 0,1
 T'do, s: 2,042

Beregnet

	kA		mOhm
<i>I_n</i>	0,289	<i>x_d</i>	2408
<i>I_{k3p-Ikd (sustaining)}</i>	0,866	<i>x'd</i>	120
<i>I_{k2p}</i>	0,753	<i>x'd</i>	71,2
<i>I_{k1p}</i>	1,225	<i>Z_g</i>	800
<i>I_{ac (sym. at T/2)}</i>	2,419	<i>r_o</i>	0,3
<i>I_{p (peak at T/2)}</i>	5,448	<i>x_o</i>	4
<i>I_{dc (d.c component) at T/2}</i>	2,027	<i>X₊</i>	266,1

Kortslutningsstrømmer med motorbidrag, vekselstrømsnett

Kabel (Vern)	Motorbidrag (MB) ved T/2	Kortslutningsstrøm etter IEC 61363-1 ved T/2		IEC 60947-2, Icu=ultimate breaking capacity, Min. Icm=Beregnet minimum making capacity i tabell 4.3.5.3 i IEC 60947-2			Kontroll av I _c ved T/2	
	I _{acM} Subtransient, kA	I _p , peak asymetrisk, kA	I ["] _k symetrisk, kA	cosø i start av kabel	I _{cu} , kA	Min. I _{cm} , kA	Sum (I _{acM} Subtransient) + Sum(I _p peak asymmetric)	Feil
Generator	0	5,448	2,419	0,068	0	0	0	
Hovedfordeling	0	4,999	2,343	0,084	0	0	5,448	
Kabel PFSP 2x4x240 Al (-Q1)	0	5,448	2,419	0,068	45	99	5,448	

Vedlegg 8 Datablad ABB asynkronmotor

Asynkronmotor	
Fabrikant	ABB
Typebetegnelse	M3AA 200 MLC
Merkeverdier	
Spenning	400 V
Strøm	77,56A
Ytelse	45 kW
Effektfaktor ($\cos\phi$)	0,89
Virkningsgrad	0,941
Antall polpar	1
Startstrøm / merkestrøm (I_s/I_n)	8,2
Tomgangsstrøm /merkestrøm (I_0/I_n)	0,246
Impedansverdier	
Rotor resistans (R_R)	3,5 %
Rotor reaktans (X_R)	5 %
Stator resistans (R_S)	4 %
Stator reaktans (X_S)	8 %
Resistans / reaktans	0,5769