

Prototype: kostnadseffektiv lokal
overgang fra 230/400V TN-C-system til
230V IT-system

Marius Bakkehaug

Master of Science in Electric Power Engineering
Innlevert: juni 2015
Hovedveileder: Eilif Hugo Hansen, ELKRAFT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for elkraftteknikk

Oppgavetekst:

Mange netteiere vurderer å bygge om distribusjonssystemet fra 230V IT til 230/400 V TN-C-S system. En omfattende utfordring er hvordan eksisterende abonnenter skal håndteres. Dersom netteier må bekoste ombygging av abonnenter, vil det bli meget kostbart. Et alternativ er at netteier henstiller om ombygging fra abonnentens side, med alternativ om at det settes opp en standardisert tavle med transformator utomhus for overgang til IT. Denne bør ha en lav pris. Dette vil gi en helt annen forutsigbarhet hva gjelder kostnader for netteier. Kontakt med leverandør av vern, tavler og transformatorer er viktig. Det skal fortrinnsvis presenteres en prototype, samt visualisering av kostnader. Studenten må velge en transformator som gir tilstrekkelig kortslutningsstrøm til at vern kobler ut ved dobbel kortslutning.

Forord

Masteroppgaven er den siste og avsluttende oppgaven på sivilingeniørutdanningen ved instituttet for Elkraftteknikk på Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet. Ofte bygger masteroppgaven på fordypningsprosjektet som blir skrevet semesteret før.

Fordypningsprosjektet med tittelen ”*lokalt TN-system*” ble avsluttet i dette tilfellet, men siden bakgrunns teori for masteroppgaven og fordypningsprosjektet har mange likhetstrekk ble valget av oppgave lett. Det falt på ”*kostnadseffektiv lokal overgang fra TN-system til IT*”, med andre ord lokalt IT-system.

Gjennom prosjektet har jeg kommet i kontakt med utrolig mange kunnskapsrike personer i både bedrifter og forsknings- og utdanningsinstitusjoner. Det har vært kjempe interessant å få høre på all den erfaringen som fins rundt omkring. Derfor vil jeg gjerne takke Bjarte Hoff ved Høgskolen i Narvik for deling av sin kunnskap innenfor lavspente anlegg. Vil også takke Knut Ranheim i Noratel for sin ekspertise på små tørrisolerte transformatorer. Til slutt vil jeg gi en stor takk til oppgavegiver Leif T. Aanesen ved Norges Elektrotekniske Komité (NEK) og veileder ved NTNU Eilif H. Hansen for en spennende oppgave og god veiledning.

Trondheim, 11.06.15

Marius Julian Bakkehaug

Sammendrag

Det kom fram i denne oppgaven at boliger i Norge i dag er veldig forskjellige i oppbygningen av det lavspente elektriske anlegget. Eldre boliger er bygd etter en eldre norm og/eller forskrift hvor andre krav ble stilt til sikkerhet og utførelse av det elektriske anlegget enn dagens boliger. Vanligvis er det slik at desto eldre boligen er desto dyrere er det å bygge om boligen fra et IT-system til et TN-system. Dette medførte at prototypen hadde mange forskjellige elektriske installasjoner som den skulle ta høyde for.

Utgangspunktet var en kostnadseffektiv overgang fra TN til IT. Dermed ble det viktig at antall komponenter ble holdt på et minimum samtidig som dette ikke gikk utover sikkerheten. Prototypen ble dermed bestående av et skap med en transformator i IP00 utførelse med avskjerminger og kortslutningsvern (KV). Likevel med en slik minimal løsning ble prototypen kostbar. Konklusjon ble at for alle boliger som kun hadde to faser inn, altså 230V IT enfaseinstallasjoner, så ville det være billigere å bygge om installasjonen til TN. Dette er fordi at den enfaseinstallasjonen som ble funnet til å være dyrest å bygge om ble estimert til ca. 14.900 NOK mens prototypen ble estimert til 20.000NOK. Det ble derfor mye som skulle til før denne løsningen ble lønnsom.

For trefaseinstallasjoner derimot ble noen løsninger økonomisk mulig siden disse installasjonene er til sammenligning med enfaseinstallasjonene dyre å bygge om. Kostnadene ved en ombygging av en trefaseinstallasjon ble funnet til å være alt fra 12.400 NOK til 32.200 NOK. Prototypen ble estimert til litt over 20.000 NOK. Denne prisen var for en prototype som skulle levere energi til boliger med et overbelastningsvern (OV) på 50A og mindre. Var OV på 63A eller mer ble prototypen raskt meget kostbar og total kostnaden ble for høy. Grunnen for dette var at transformatoren var dyr til sammenligning med andre kostnader ved prototypen. Ved et stort OV i boligen måtte transformatoren være stor også. Dette var for å kunne bruke eksisterende OV i boligen som OV for transformatoren.

Det endelige resultatet ble tre forskjellige løsninger med en 20kVA, 16kVA og en 12,5kVA trefasetransformator som kunne plasseres foran boliger med OV-er på hhv. 50A, 40A og 32A. KV ble en standard størrelse større enn OV når det ble tatt hensyn til selektivitet og kortslutningsstrømmer. Omsetningen og størrelsen på skapet ble anbefalt til hhv. 400/235V og $høyde \cdot bredde \cdot lengde = 500mm \cdot 400mm \cdot 550mm$. Samme skap ble anbefalt for alle løsningene grunnet forskjell i dimensjonene til transformatorene var neglisjerbare.

Abstract

It emerged in this task that residences in Norway today have a variety of how their low-voltage electrical system is constructed. Older residences are constructed after an older norm and/or regulation where other demands for safety and execution are present compared to residences today. Usually it is so that the older the residences are; the more expensive it is to rebuild them from an IT-system to a TN-system. This resulted in that the prototype had a great many different electrical installations which it had to be able to deliver energy to.

The basis was a cost-efficient transition from TN to IT. Thus it was important that the number of components was kept to a minimum simultaneously as the safety aspect of the prototype was not reduced. Therefore the prototype became compromising of a cabinet with a transformer in an IP00 protection class with shielding and a short-circuit protection. Even with a minimum of components, the total cost still became high. The conclusion became that for all residences which only had two phases in, in other words a 230V IT single-phase electrical system, it was less expensive to rebuild the electrical system to TN. This was because the single-phase system which was found to be the most expensive to rebuild was estimated to 14.900 NOK, whilst the prototype was estimated to 20.000 NOK. Therefore it became hard to make this solution profitable.

The three-phase installation however had some profitable solutions. This was because compared to the single-phase installations, these were more expensive to rebuild. The total cost of rebuilding a three-phase installation was estimated to be 12.400 NOK to 32.200 NOK. The prototype was estimated to be a little above 20.000 NOK. This price was for a prototype designed to deliver energy to a residence with an overload protection of 50A or less. If the overload protection was 63A or higher the prototype became relatively expensive. The reason for this was that the main cost of the prototype was the transformer. And so by designing a prototype to a residence with an overload protection of 63A or higher, the transformer also had to be big enough. This was to use the residences overload protection as the overload protection for the transformer.

Finally the factors above resulted in three different solutions, a prototype with a 20kVA, 16kVA and a 12,5kVA three-phase transformer which were able to supply energy to residences with overload protection of respectively 50A, 40A and 32A. The short-circuit protection became one standard size above the overload protection when the selectivity and

short-circuit current were taken into account. The voltage ratio was recommended to 400/235V. The size of the cabinet was recommended to $height \cdot width \cdot length = 500mm \cdot 400mm \cdot 550mm$. The same cabinet was recommended for all solutions due to the fact that the difference in the transformer dimensions was negligible.

Innholdsfortegnelse

Forord	III
Sammendrag	V
Abstract	VII
1 INNLEDNING	1
1.1 OPPGAVENS OPPBYGNING	1
2 TEORIDEL	3
2.1 FORSKRIFTER OG NORMER	3
2.2 NETTSYSTEMER	4
2.2.1 IT-SYSTEM	5
2.2.2 TN-SYSTEM	6
2.2.3 TT-SYSTEM	6
2.3 KABELTEORI	7
2.3.1 SPENNINGSFALL OVER KABEL	8
2.3.2 KABELTYPER	9
2.4 OVERSTRØMSVERN	10
2.4.1 AUTOMATSIKRINGSIKRING	10
2.4.2 EFFEKTBRYTER	11
2.4.3 SMELTESIKRING	13
2.4.4 OVERBELASTNINGSVERN	14
2.4.5 KORTSLUTNINGSVERN	14
2.5 KAPSLINGSGRAD	15
2.6 LEVERINGSKVALITET	16
2.7 SAMTIDIGHETSFAKTOR	16
2.8 INNTAK PÅ BOLIGER	17
2.9 FEBDOK	18
2.10 SELEKTIVITET	19
2.11 TRANSFORMATOR	20
2.11.1 STARTSTRØM	20
2.11.2 TRANSFORMATORKOBLINGER	21
2.11.3 USYMMETRISK BELASTNING AV TREFASETRANSFORMATOR	22
2.11.4 KORTSLUTNING AV TRANSFORMATOR	24
2.11.5 BESTEMMELSE AV STØRRELSE PÅ TRANSFORMATOR	25
2.11.6 TØRRISOLERT TRANSFORMATOR	25
2.11.7 SPENNINGSFALL OVER TRANSFORMATOR	26
2.11.8 AVKJØLING AV EN TØRRISOLERT TRANSFORMATOR	27
2.11.9 ENFASETTRANSFORMATOR	28
2.12 KORTSLUTNINGSBEREGNINGER	29
2.12.1 KORREKSJONSFAKTORER	30

2.12.2	NETTIMPEDANS	31
2.12.3	I_{k3P}	32
2.12.4	I_{k2P}	33
3	<u>KOSTNADER VED OMBYGGING AV DET ELEKTRISKE ANLEGGET I BOLIG FRA IT TIL TN</u>	34
4	<u>KOSTNADER VED MONTERING AV EN PROTOTYPE FOR KOSTNADSEFFEKTIV OVERGANG FRA TN TIL IT</u>	35
5	<u>KARTLEGGING OG FORBEREDELSE TIL ØKONOMISK VURDERING, SIMULERING OG BEREGNING AV PROTOTYPEN</u>	37
5.1	KARTLEGGING AV ELEKTRISKE ANLEGG I BOLIGER I NORGE I DAG	37
5.1.1	OVERBELASTNINGSVERN	37
5.1.2	INNTAKSKABEL	38
5.1.3	OVERLIGGENDE NETT	38
5.2	VALG AV TRANSFORMATOR	39
5.2.1	KOBLINGSGRUPPE	40
5.2.2	KORTSLUTNINGSVERN	42
5.3	UTFORMING AV SKAP MED HENSYN PÅ AVKJØLING	43
6	<u>ØKONOMISKE VURDERINGER</u>	46
6.1	EKSTRAKOSTNADER VED SPESIELLE UTFØRELSER AV INNTAKET TIL BOLIGEN	48
6.2	DISKUSJON	49
7	<u>SIMULERING OG BEREGNING AV PROTOTYPEN.</u>	51
7.1	BEREGNING AV SPENNINGSFALL OG VALG AV OMSETNING TIL TRANSFORMATOR	52
7.2	SIMULERING MED TREFASETRANSFORMATOR I FEBDOK	53
7.2.1	SELEKTIVITETSANALYSE	53
7.2.2	KORTSLUTNINGSBEREGNINGER	56
8	<u>OPPSUMMERING OG ENDELIG DISKUSJON</u>	59
8.1	VALG AV TRANSFORMATOR	59
8.2	VALG AV KORTSLUTNINGSVERN	61
8.3	UTFORMING AV SKAP	62
8.4	BOLIGEIERS VILKÅR	63
8.5	LØNNSOMHETEN AV PROTOTYPEN	63
9	<u>KONKLUSJON</u>	65

10 BIBLIOGRAFI **66**

11 VEDLEGG **68**

Vedlegg A: Priser på transformatorer fra Noratel	68
Vedlegg B: Pris på skap	72
Vedlegg C: Mest brukte OV-er i boliger fra ABB	74
Vedlegg D: Standard transformatorer fra Noratel	76
Vedlegg E: Spenningsfallberegninger	80
Vedlegg F: Selektivitetsanalyse	84
Vedlegg G: Beregningsresultater	103

1 Innledning

Det er ikke mange land i verden i dag som har et utbredt 230 V IT-distribusjonsnett. Det er i hovedsak Norge, Albania og 1/3 av Belgia. Det er mange faktorer som har spilt inn på valget av det distribusjonsnettet vi har i Norge i dag, men faktum er at enkelte netteiere vurderer å bygge om distribusjonsnettet fra 230V IT til 230/400V TN-system. En omfattende utfordring er hvordan eksisterende abonnenter skal håndteres. Mange installasjoner er bygd etter eldre normer og kan være meget kostbar å bygge om til TN. Hvis disse abonnentene nekter å ta på seg disse kostnadene kan det bli dyrt for netteier.

På bakgrunn av dette ser denne rapporten på muligheten for å sette opp en standardisert tavle med transformator utomhus for overgang til IT. Ved å finne en slik standardisert løsning/prototype vil dette gi en større forutsigbarhet for netteiere når de skal anslå kostnader ved ombygging fra IT til TN.

1.1 Oppgavens oppbygning

Første delen av denne oppgaven er en teoridel. Her er det hentet en god del teori fra fordypningsprosjektet høsten 2014 som omhandlet lokale TN-nett. Siden det opprettes et lokalt IT-nett ved å sette opp en prototype som beskrevet ovenfor så vil en god del av transformator- og nettsystemteorien være den samme. Siden dette er en master er den også mer omfattende enn fordypningsprosjektet og det er derfor tilføyd ny teori innenfor disse temaene samt tilført nye temaer.

Deretter kommer det to små kapitler hvor forskjellige relevante kostnader er hentet inn fra forskjellige kilder. Dette er for å belyse kostnadene ved konstruering av en slik prototype, samt kostnader ved ombygging av forskjellige installasjoner bygd etter forskjellige normer og forskrifter.

Denne prototypen har mange forskjellige installasjoner å ta høyde for hvis en standardisert løsning skal kunne brukes på alle abonnentene som nekter. Dette prosjektet har derfor sett på boliger i første omgang, både enfase- og trefaseinstallasjoner. Det er også å foretrekke at OV i boligen brukes som OV for prototypen. Det er derfor gjort en kort undersøkelse i kapittel 5 på hvilke OV som er vanligst i Norge i dag og analysert nettsituasjonen. Det er også gjort forberedelser og antagelser til hvilke transformatorer som skal brukes i simuleringer, beregninger og økonomiske vurderinger.

I neste kapittel er kostnader ved implementering av en slik prototype veid opp mot kostnadene ved ombygging av en bolig til TN. Her har AG14 rapporten samt en bacheloroppgave fra HIN 2014 som har tatt basis i AG14 rapporten vært til stor hjelp for belysning av kostnadsaspekter ved en slik ombygging.

Basert på hvilke løsninger som er økonomisk mulig er disse simulert i Febdok mot prototypen for å se hva som vil være best mulig løsning for prototypen. Videre er det tatt en endelig oppsummering og diskusjon hvor det er foretatt en teknisk og økonomisk evaluering av prototypen. Til slutt er en endelig løsning er presentert i konklusjonen.

2 Teoridel

2.1 Forskrifter og Normer

Når et elektrisk anlegg skal prosjekteres og bygges så krever forskriftene at sikkerheten i anlegget er slik at det ikke oppstår fare for liv og helse. Dette kan oppnås ved å følge relevante normer som forskriftene henviser til. Disse kommer i reviderte og nyere utgaver ettersom nye sikkerhetsmessige mangler oppdages, eller ved bestemte årsintervaller. Her er det viktig å merke seg at disse ikke har tilbakevirkende kraft. Skal et anlegg utvides er det viktig at sikkerheten er minst like høy som før utvidelsen på den berørte installasjonen. Dermed gir dette kapitlet en oversikt over ulike relevante normer og forskrifter [1].

FEL

FEL står for forskrifter for elektriske lavspenningsanlegg hvor det står beskrevet hvordan alt av lavspente elektriske anlegg skal prosjekteres, utføres, endres og vedlikeholdes. FEL definerer sitt omfang som følger:

”Virkeområdet for forskriften er hovedsakelig det samme som for forskrifter for elektriske bygningsinstallasjoner mv., dvs. at den omfatter en lang rekke ulike typer lavspenningsanlegg som er tilknyttet et eksternt forsyningsanlegg eller til egen generator, solcellepanel osv. Elektriske lavspenningsanlegg er anlegg med høyeste nominell spenning til og med 1000 V vekselspenning eller 1500 V likespenning”[2].

FEF

FEF er forskrift for elektriske forsyningsanlegg. Som navnet tilsier er virkeområdet for denne forskriften prosjektering, utførelse, drift og vedlikehold av elektriske forsyningsanlegg. Anlegg og bygg med produksjon, omforming og overføring og fordeling av elektriske energi er underlagt denne forskriften [3].

FOL

FOL står for forskrift om leveringskvalitet i kraftsystemet. Denne forskriften er nærmere beskrevet under kapittel 2.6: ”Leveringskvalitet”.

NEK400

Ved å følge NEK 400 ved prosjektering, bygging, etc. av et lavspent anlegg, så er sikkerhetskravene som FEL krever tilfredsstilt. Dette kommer frem i § 10 i FEL. Det er per dags dato kommet ut fem utgaver av NEK 400:

- NEK400:2014 5.utgave
- NEK400:2010 4.utgave
- NEK400:2006 3.utgave
- NEK400:2002 2.utgave
- NEK400:1998 1.utgave

Eldre forskrifter

Anleggene kan være så gamle at de er bygd etter følgende forskrifter:

- FEB (1991) Forskrifter for Elektriske bygginstallasjoner
- FEB (1988) Forskrifter for Elektriske bygginstallasjoner
- FEA (1963) Forskrifter for Elektriske anlegg ("Rødboka")

2.2 Nettsystemer

Nettsystemteorien er hentet fra "Elektroinstallasjoner" av Eilif Hugo Hansen[4].

Oppgaven til et nettsystem er å overføre elektrisk energi. Det finnes tre hovedtyper nettsystemer som er beskrevet i dette kapittelet. I navnet til de forskjellige nettsystemene beskriver de første to bokstavene hvordan nettsystemet er bygd opp. Disse er beskrevet i tabell 2-1.

Tabell 2-1: Bokstavforklaring til nettsystemene.

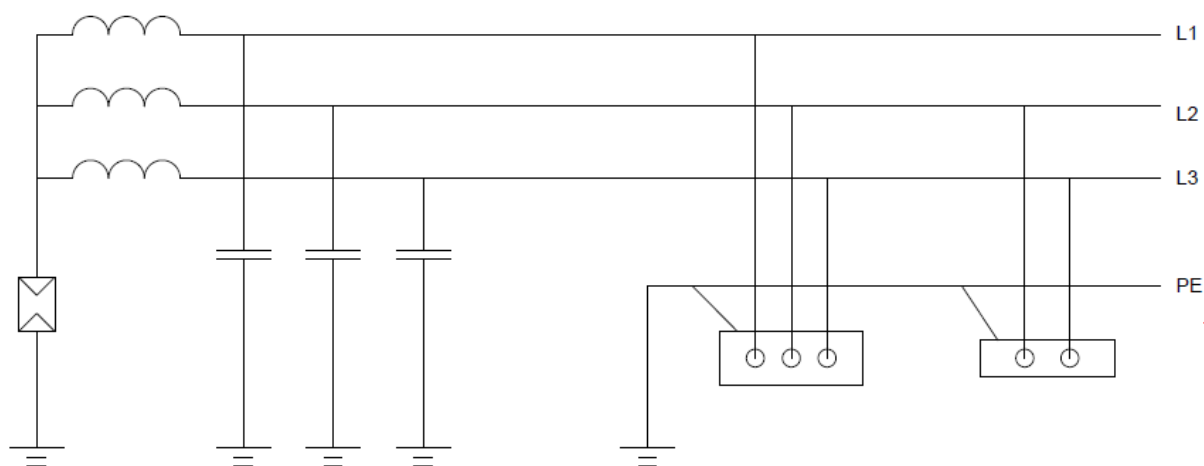
	Første Bokstav	Andre Bokstav
I	Isolert nullpunkt	
T	Direktekoblet nullpunkt i trafoen til jord	Utsatte deler blir direkte tilknyttet jord via beskyttelsesleder
N		Utsatte deler blir tilkoblet beskyttelsesjord via nullpunktet og gjennom ledningsnettet.

2.2.1 IT-system

Systemet kan brukes til alle formål hvor den nominelle spenningen er på opp til 230V.

Systemet kan også ha spenningsnivåene 400V, 690V og 1000V. Disse nivåene er typisk brukt i industri og andre spesielle formål, men denne spenningene kan ikke brukes til varme, lys og styrestrøm.

I Figur 2-1 er IT-systemet illustrert. Nullpunktet eller en av ytterlederne kan være isolert fra jord over et overspenningsvern eller en tilstrekkelig høy impedans. Laster hentes ut enten mellom to faser eller fra alle tre slik som illustrert i figuren nedenfor.

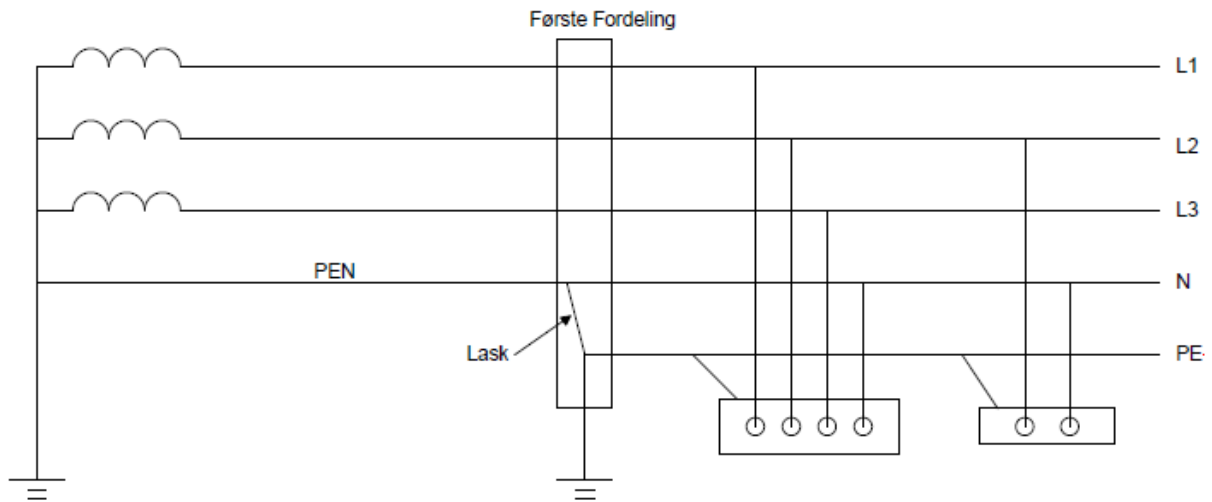


Figur 2-1: Ekvivalentskjema for et IT system [4].

Jordfeil i dette systemet gir en lav strøm. Grunnen for dette er at strømmens returvei er i hovedsak gjennom kablers og ledningers kapasitans mot jord. Dermed trenger ikke dette systemet nødvendigvis å legge ut ved første jordfeil, noe som gjør det til et driftssikkert system der hvor dette måtte være ønskelig. Er anlegget bygd etter forskrifter etter 1991 skal jordfeilen varsles eller legges ut. Et viktig faremoment med en stående jordfeil er hvis det oppstår en til jordfeil på en annen fase i lavspenningsnett. Resultatet er en 2-polt jordfeil, som skaper middels store strømmen og høy berøringsspenning. Strømmen kan være så lav at vernene ikke legger ut umiddelbart. Dermed er det faremomenter som personskade og brann.

2.2.2 TN-system

I hovedsak er det tre TN-systemer. Det ene er et TN-C-S system hvor C står for common og S står for separated. Det betyr at det er felles jord og nøytralleder frem til første fordeling, kalt PEN (Protective earth neutral). Dette er illustrert i Figur 2-2. Etter første fordeling splittes PEN-lederen til N-leder og PE-leder. PE (protective earth) er beskyttelsesjord, og N (neutral) er nøytralleder. I et TN-system vil alle type feil fungere som en kortslutning side N, PE og PEN lederene er direkte koblet til nøytral punktet i transformatoren.



Figur 2-2: Ekvivalentskjema for et TN-C-S system [4].

I figuren ovenfor er et TN-S system representert etter første fordeling. Alternativt kan N- og PE-leder være separert helt fra transformatoren.

Det siste anlegget heter TN-C nett som kun kan brukes i nettselskapenes forsyningsanlegg ved et spenningsnivå på 230/400V. Det brukes frem til første fordeling.

I allmenn forsyning er typisk spenningsnivå 400V linjespenning i et TN-system. For å hente ut 230V kobles enfaselaster mellom en faseleder og nøytralleder. Fordelen med TN-system er at det er 400V slik at overføringstapene eller tverrsnittet kan reduseres.

2.2.3 TT-system

I Norge er det noen eksisterende TT-nett. De som eksisterer er opprinnelige IT-nett hvor nettselskapene har fått dispensasjon til å drifte som TT-nett på grunn av problemer med gjennomslagsvernet. Derfor er ikke dette nettsystemet drøftet videre i dette prosjektet.

2.3 Kabelteori

Når kabeltype skal velges må ytre påkjenninger, forlegningsmåte og monteringsvennlighet kartlegges. For valg av ledertverrsnitt må termiske forhold, mekaniske forhold, spenningsfall, begrensning av kortslutningseffekt og økonomiske forhold kartlegges [4]. Strømføringsevnen er som ordet tilsier, en leders evne til å lede strøm. Denne finnes ved å slå opp i tabeller i NEK400. Her finnes strømføringsevnen med tilhørende korreksjonsfaktorer for omgivelsestemperatur og antall kabler i parallell [5].

Når en kortslutning oppstår en vilkårlig plass i en installasjon vil tilhørende vern slippe gjennom en viss mengde energi før det legger ut. Mengden gjennomsluppet energi fins i grafiske fremstillinger i databladene til de forskjellige vernene. (se kapittel 2.4.1 automatsikringsikringer, Figur 2-5). Det er veldig viktig at den gjennomslupne energien ikke er så stor at grensetemperaturen til isolasjonen nås og tar skade. Likning 1 og 2 kan følges for å unngå dette:

I NEK 400-4-43, avsnitt 434.5 står det beskrevet følgende:

”For utløsetider for vern på $< 0,1s$, og for strømbegrensende vern, skal kabelens $k^2 S^2$ være større enn verdien av den gjennomslupne energi ($I^2 t$), spesifisert av fabrikanten av vernet, dvs:”

$$I^2 t \leq k^2 S^2 \quad 1$$

og videre:

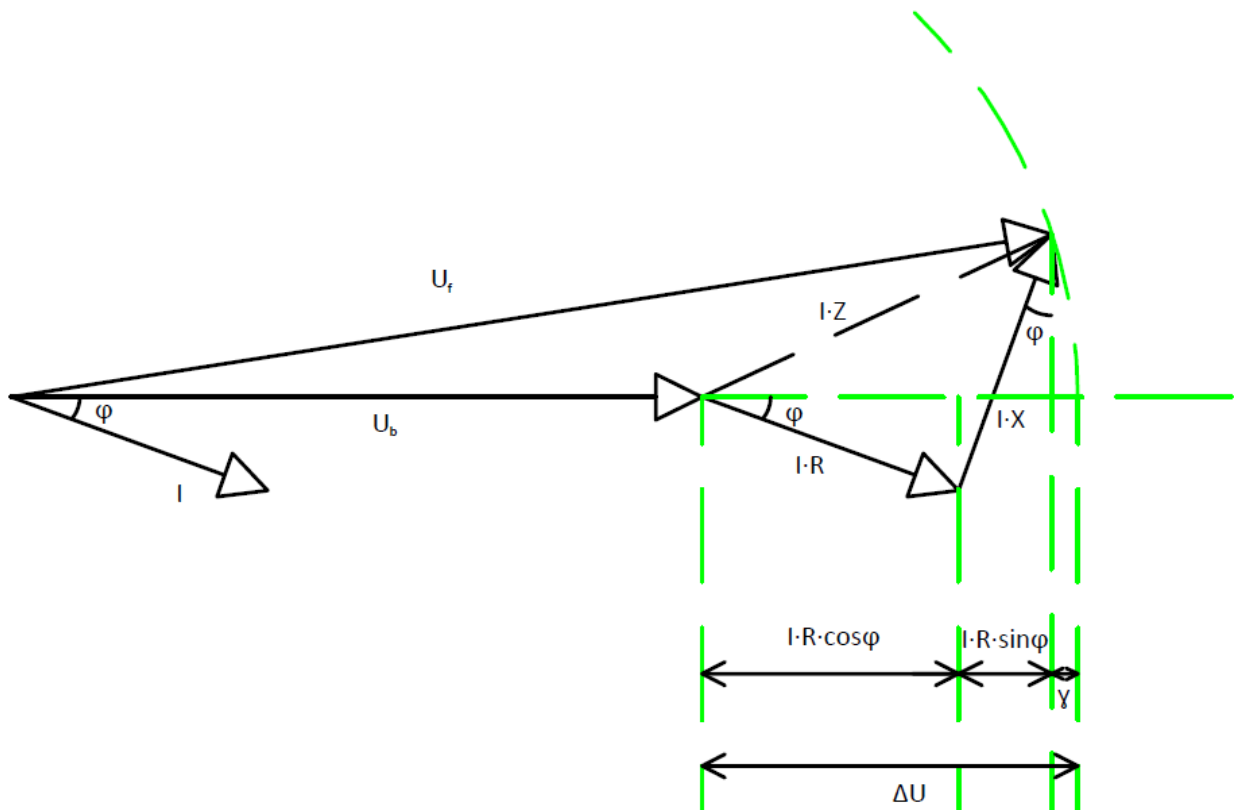
”For kortslutninger av varighet opp til 5s, kan tiden t som det tar gitt kortslutningsstrøm å heve temperaturen på lederisolasjonen fra den høyeste tillatte temperaturen i normal drift til grensetemperaturen tilnærmet bregnes ved hjelp av følgende formel:”

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

I likningene ovenfor er S-en tverrsnittet av kabelen. K er en faktor som tar hensyn til motstand og temperaturer i kabel og isolasjon. Denne faktoren er listet opp i tabell 43A i NEK 400-4-43.

2.3.1 Spenningsfall over kabel

Projeksjonsmetoden er en metode for å beregne spenningsfallet frem til for eksempel en belastning. Metoden er illustrert i figur 2-3 [6].



Figur 2-3: Spenningsfall ved hjelp av projeksjonsmetoden [6].

Hvor

- U_f spenning ved transformator-klemmene, tavle/fordeling eller generator-klemmene
- U_b spenningen ved belastning
- I belastningsstrømmen
- Z impedansen i kabelen
- R resistansen i kabelen
- X induktansen i kabelen
- φ vinkelen mellom strøm og spenning
- ΔU spenningsfallet
- γ avvik fra det virkelige spenningsfallet og den forenklede formelen vist nedenfor

Ut fra figuren kan vi se at formelen for spenningsfallet over kabelen blir:

$$\Delta U = I \cdot R \cdot \cos \varphi + I \cdot X \cdot \sin \varphi + \gamma$$

Ved å neglisjere γ vil spenningsfallet i et 3-fasenett bli:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I \cdot (R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi) \quad 3$$

Og for et 1-fase nett bli:

$$\Delta U = 2 \cdot I \cdot (R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi) \quad 4$$

Spenningsfallet oppgis vanligvis i prosent som kan regnes ut ved hjelp av likning 5.

$$\Delta u = \frac{\Delta U}{U_N} \cdot 100\% \quad 5$$

I NEK400:2014, Tillegg 52F står det at:

”Lavspenningsinstallasjoner direkte tilknyttet offentlig forsyningssystem» bør spenningsfallet være 3 % ved lys og 5 % til annet bruk. Ved lavspenningsinstallasjoner som forsynes fra privat lav-volt forsyning bør spenningsfallet være mindre enn 6 % ved lys og 8 % ved annet bruk. Det er likevel anbefalt generelt at spenningsfallet holdes under 3 % og 5 % for hhv lys og annet bruk” [5].

Det er viktig at spenningen ikke blir så lav at utstyr slutter å fungere eller ikke fungerer optimalt.

2.3.2 Kabeltyper

1kV TFXP fire-leder er den kabelen som er mest bruk i nettselskapenes distribusjonsnett som kabel og hengeledning. Den er anbefalt brukt frem til første fordeling. 1kV PFSP er anbefalt brukt i alle typer rom og utendørs. Både TFXP og PFSP kan forlegges direkte i jorden uten ekstra beskyttelse. Siden disse to kablene er mye brukt er det sett bort fra andre typer [7][8][9].

2.4 Overstrømsvern

Et overstrømsvern to hovedfunksjoner er å redusere farlig strømgjennomgang i mennesker og dyr og å hindre høye temperaturer som kan lede til forbrenning og/eller brann. Ved å følge NEK400 og FEL vil kravene til sikkerhet være overholdt [5][2].

2.4.1 Automatsikringsikring

En automatsikringsikring er et overstrømsvern og består dermed av en termisk- og en elektromagnetisk del. Den termisk delen er typisk et bimetall som legger ut når det blir for varmt. Den elektromagnetisk delen består av en spole rundt et anker. Hvis strømmen øker raskt resulterer dette i et økt felt. Blir feltet stort nok drar det i ankeret slik at vernet legger ut. Automatsikringsikringene fås i standard verdiene 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100 og 125. Disse benyttes i praksis så langt som mulig.

Automatsikringsikringene har forskjellige karakteristikk, som forteller om automatsikringen er kvikk (B), treg (C) eller meget treg (D). Disse tre karakteristikkene er mye brukt. Der fins andre mer spesialiserte karakteristikk som blant andre E og K.

Hver fabrikant kan velge selv hvordan karakteristikk til automatsikringsikringen skal være, men den må være innenfor kravene, som er vist i Tabell 2-2. Ved en korstlutning sier NEK400:2014 i tabell 41A at ved spenninger $132V < U_0 \leq 230V$ skal det være en maksimal utkoblingstid på 0,4 sekunder. U_0 er nominell AC spenning fase-jord [4][5].

Tabell 2-2: Uløsningskarakteristikk for automatsikringsikringer.

	B – automatsikring	C – automatsikring	D - automatsikring
I_2	$1,45 \cdot I_n$	$1,45 \cdot I_n$	$1,45 \cdot I_n$
I_4	$3 \cdot I_n$	$5 \cdot I_n$	$10 \cdot I_n$
I_5	$5 \cdot I_n$	$10 \cdot I_n$	$20 \cdot I_n$

I Figur 2-4 på neste side er karakteristikken til Eatons automatsikringsikringer illustrert. De viktige verdiene for en element automatsikring er:

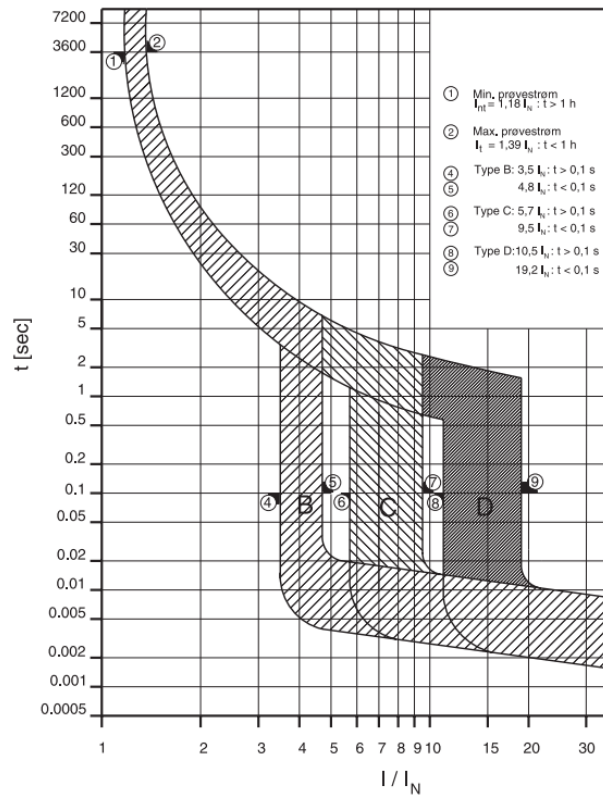
- I_1 er minste (nedre) prøvestrøm som er den største strømmen vernet skal tåle i en viss tid (typisk en time) og garantert ikke legge ut.
- I_2 er minste (øvre) prøvestrøm som er den minste strømmen vernet skal tåle i en viss tid (typisk en time) og garantert legge ut.
- I_4 er største strøm som garanterer at vernet ikke legger ut elektromekanisk.
- I_5 er minste strøm som garanterer at vernet legger ut elektromekanisk.
- I_N er den nominelle strømmen til vernet.

På Figur 2-5 kan man lese av gjennomsluppet energi for automatsikringsikringer med hensyn på kortslutningsstrøm. Kriteriet for at en leder er kortslutningsbeskyttet er at vernet ikke må slippe gjennom mer energi enn det lederen tåler.

2.4.2 Effektbryter

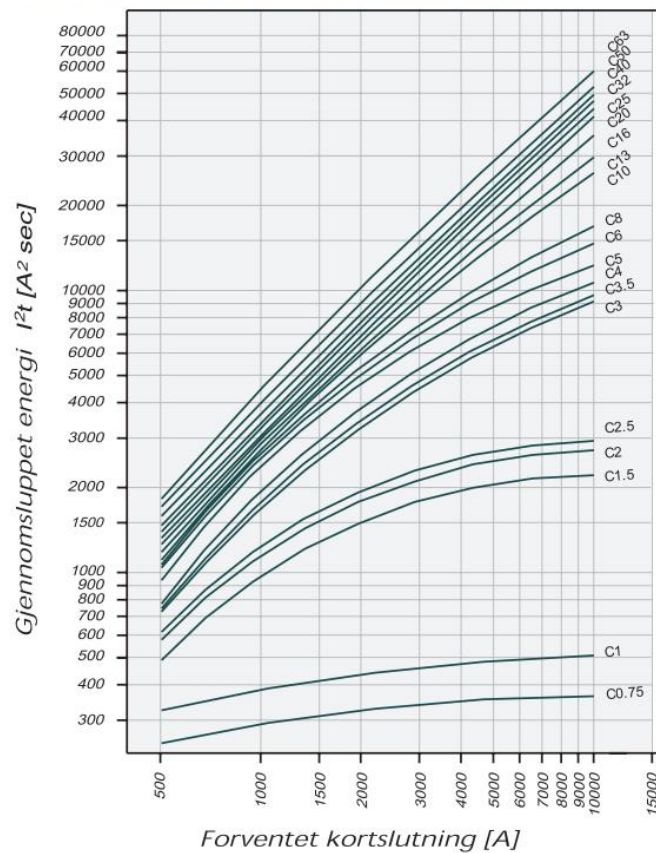
En effektbryter har mange fellestrekk med automatsikringsikringen som det raskt kommer frem fra den engelske betegnelsen på disse to. Automatsikringsikring er en miniature circuit breaker og effektbryter er en circuit breaker. Effektbryteren er beregnet for å tåle høyere kortslutningsstrømmer enn automatsikringen. Karakteristikken kan normalt sett stilles etter hvilke strømmer som kan oppstå i anlegget og i forhold til selektivitet til andre vern.

Effektbryteren er en mer avansert komponent enn smeltesikringen og dermed en god del dyrere. I tillegg stiller effektbryteren større krav til miljøet den står i. Det er ikke den sikreste løsningen å plassere en effektbryter i et kaldt og fuktig miljø. Derfor er det valgt å se på smeltesikringen (se neste delkapittel) i denne rapporten og effektbryter vil ikke bli drøftet videre i denne rapporten [4][10].



Figur 2-4: Karakteristikker for PLSM og PLZM automatsikringskretter fra Eaton Electric AS [11].

Gjennomsluppet energi PLSM, karakteristikk C, 1-polet



Figur 2-5: Gjennomsluppet energi for en PLSM C automatsikring, 1 polet [11].

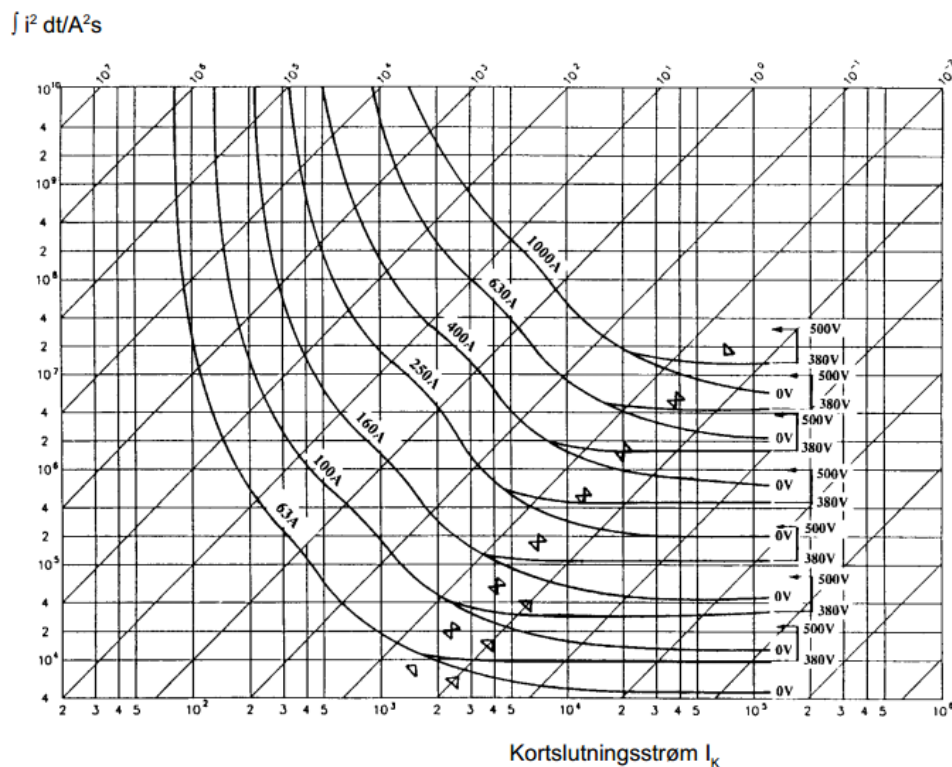
2.4.3 Smeltesikring

Smeltesikringer er små kompakte sikringer som ved hjelp av lysbue-slokkemediet kvartssand kan bryte fra den laveste smeltestrømmen opp til sikringens brytestrøm. Til sammenligning med automatsikringen har de ingen elektromekanisk del, men kun en termisk del.

Diazed-sikringer er en skrusikring som kan brukes med spenninger opp til 500V. Disse har vært mye brukt i de fleste situasjoner innenfor lavspenningsinstallasjoner, men er i dag på tur å bli erstattet med element automatsikringsikringer. De kan ha en kort smeltetid ved stor overstrøm (kvikk sikring) eller en forholdsvis kort smeltetid (treg sikring)[4][12].

Neozed-sikringer (D0-sikringer) er kompakte skru sikringer som er mest egnet i mindre nett og små kortslutningsstrømmer. Dette vil f.eks. være boliginstallasjoner og styrestrømkretser.

En **høyeffektsikring** (NH-patroner) er beregnet for å bli behandlet av instruert personell. De er strømbegrensende som vil si at de begrenser toppverdien av strømmen slik at den blir lavere i forhold til hvis sikringen ikke var en del av kretsen. Det fins åtte forskjellige størrelser betegnet med 000, 00, 0, 1, 2, 3, 4, 4a og merkestrøm mellom 6 og 1250A ved en merkespenning på 500V [12] [4]. I Figur 2-6 er karakteristikken for gjennomsluppet energi illustrert for NH-sikringer.



Figur 2-6: Gjennomsluppet energi for NH-sikringer [13].

2.4.4 Overbelastningsvern

I NEK400:2014 § 433 står det:

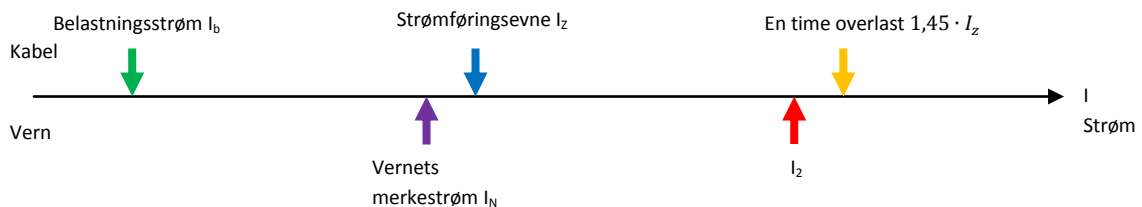
”Utløsekarakteristikken for et vern som skal beskytte en leder mot overbelastning skal tilfredsstillende følgende to krav:”

1. $I_B \leq I_n \leq I_Z$
2. $I_2 \leq 1,45 I_Z$

Dette er spesielt viktig å vite for å sjekke som kursene er i forhold til forskriftene.

Figur 2-7 viser hvordan vernet og kabelen skal være dimensjonert i forhold til overbelastning.

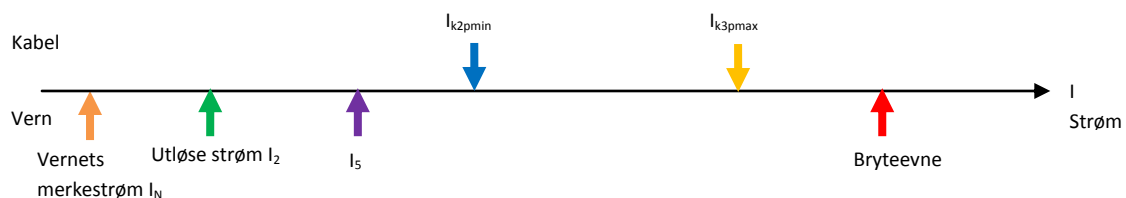
Strømføringssevnen til kabelen må være større en merkestrøm, og vernet må garantert ha termisk utkobling før kabelen får tilført så mye energi at isolasjonen begynner å smelte [5].



Figur 2-7: Koordinering mellom leder og vern mot overbelastning [5].

2.4.5 Kortslutningsvern

Figur 2-8 viser hvordan vernet og kortslutningsstrømmene skal være dimensjonert i forhold til strøm. Den minste kortslutningsstrømmen må være større enn strømmen som vernet garantert legger ut på. Den største kortslutningsstrømmen må være mindre enn bryterevne til vernet, slik at vernet ikke blir ødelagt av den høye strømmen [5].



Figur 2-8: Koordinering mellom leder og vern mot kortslutning [5].

2.5 Kapslingsgrad

Alle elektriske komponenter har deler som ved direkte berøring kan gi skadelige og/eller dødelige berøringsspenninger. Derfor er elektriske komponenter påtrykt en kapslingsgrad.

Denne består av bokstavene IP og to siffer. Sifrene beskriver hvor stor beskyttelsesgrad utstyret har mot ytre påkjenninger samt mot berøring av spenningsførende deler av personer. I Tabell 2-3 er en oversikt over sifrene med tilhørende betydning. Noen ganger er ikke beskyttelsesgraden fullstendig spesifisert. Da kan sifrene erstattes med en X. Noe komponenter kan ha ytterlig informasjon i form av bokstaver. Er det en ekstra bokstav er betydningen beskrevet i Tabell 2-4. Utfyllende litteratur om kapslingsgrader fins i NEK 400-2 avsnitt 210 [5].

Tabell 2-3: Beskrivelse av sifrene i beskyttelsesgraden: Beskyttelse mot inntrengning av faste legemer, berøring av spenningsførende deler av personer og skadelig vanninntrenging.

Første siffer	Beskyttelse av utstyr mot faste partikler.	Andre siffer	Beskyttelse mot skadelig vanninntrenging ved:
0	Ingen beskyttelse	0	Ingen beskyttelse
1	≥ 50mm diameter	1	Vertikale drypp
2	≥ 12,5mm diameter	2	Vertikale drypp med utstyr i 15° vinkel.
3	≥ 2,5mm diameter	3	Dusj/regn
4	≥ 1,0mm diameter	4	Sprut fra alle kanter
5	Støv beskyttet	5	Spyling fra alle kanter
6	støvtett	6	Kraftig spyling fra alle kanter
		7	Kortvarig neddykking i vann
		8	Varig neddykking

Tabell 2-4: Beskrivelse av første tilleggs bokstav i kapslingsgraden.

Første bokstav	Beskyttelse mot skadelig vanninntrenging ved:
A	Håndbaken
B	Finger
C	Verktøy
D	tråd

For luftisolerte spenningsførende deler i lavspenningstavler som ikke har noen form for kapsling, altså IP00, skal disse være bak en avskjerming som resulterer i at utstyret får en beskyttelsesgrad på minimum IPXXB. Er den horisontale toppoverflaten til utstyret mindre enn 1,6m over bakken og tilgjengelig skal beskyttelsesgraden være minimum IPXXD. Er det videre behov for å fjerne avskjermingen må dette kun være mulig ved hjelp av nøkkel eller verktøy [14].

2.6 Leveringskvalitet

I det lavspente fordelingsnettet i Norge må nettselskapene følge forskrift om leveringskvalitet. Denne skal bidra til å sikre at leveringskvaliteten i det norske kraftsystemet er tilfredsstillende. Med andre ord tar den hensyn til alle faktorene som gir en sluttbruker en god og stabil levering av energi. Herunder KILE, leveringspålitelighet, spenningskvalitet, frekvens, over- og underspenninger, harmoniske forvrengninger, osv.

Kravet til hvilke verdier spenningen skal være innenfor er beskrevet under § 3-3 i FOL:

”Nettselskap skal sørge for at langsomme variasjoner i spenningens effektivverdi, er innenfor et intervall på $\pm 10\%$ av nominell spenning, målt som gjennomsnitt over ett minutt, i tilknytningspunkt i lavspenningsnettet.”[15]

2.7 Samtidighetsfaktor

Samtidighetsfaktoren (reduksjonsfaktoren) tar hensyn til at ikke alle belastningene på en fordeling går med full belastning konstant. Det er en faktor som reduserer den totale dimensjonerende effekten på en fordeling slik at overliggende kabler kan ha et mindre tverrsnitt. Faktoren er illustrert i likning 6 [4].

$$\alpha = \frac{P_{\Sigma, maks}}{\sum_i^n P_{i, maks}} \quad 6$$

Hvor:

- α er samtidighetsfaktoren.
- $P_{\Sigma, maks}$ er dimensjonerende effekt for overliggende kabel.
- $P_{i, maks}$ er maksimal effekt per kurs.

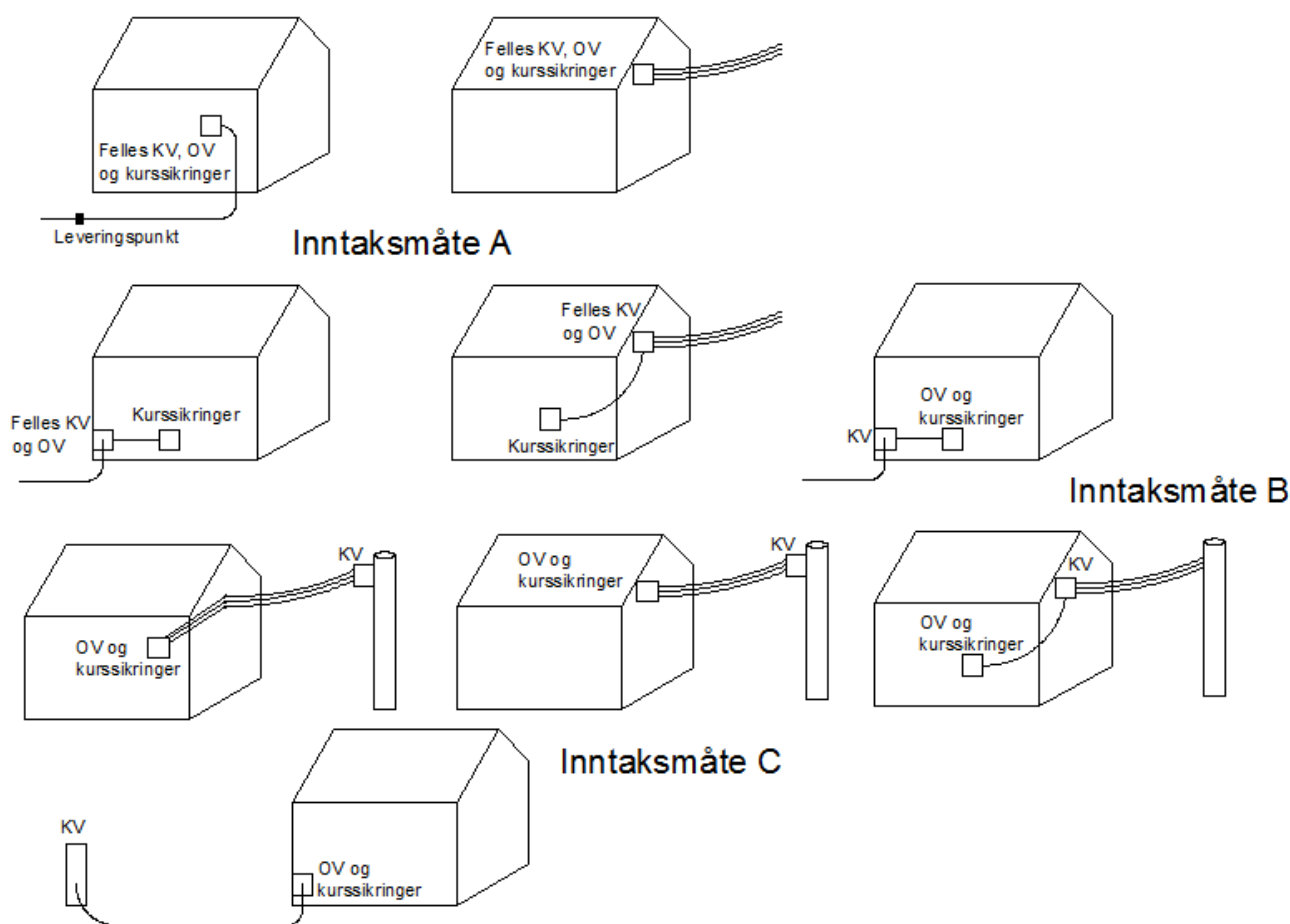
Samtidighetsfaktoren er ikke mulig å beregne på forhånd, men basert på erfaringer for ulike installasjoner kan den antas. Tabell 2-5 har en oversikt over samtidighetsfaktorer for ulike installasjoner basert på erfaringer [4].

Tabell 2-5: Samtidighetsfaktor for ulike installasjoner basert på erfaringer.

Bruksområde	Samtidighetsfaktor
Små kontorer	0,5-0,7
Varehus	0,7-0,9
Kjemisk industri	0,5-0,7
Næringsmiddelindustri	0,7-0,9

2.8 Inntak på boliger

Inntaket varierer fra bolig til bolig. Topologi og geografi rundt boligen samt hvilken forskrift den er bygd etter er med på å bestemme hvilken løsning som er valgt for inntaket. Det fins i hovedsak tre inntaksmåter med forskjellige løsninger som vist i Figur 2-9. Hvor inntak A har et felles OV og KV i leveringspunktet sammen med kurssikringene eller kurssikringer montert inntil 10m fra inntak. Inntak B har KV montert ved leveringspunktet mens OV og kurssikringer er montert inntil 10m fra leveringspunktet. Til slutt har inntak C et eksternt KV. OV og kurssikringene er montert inntil 10m fra leveringspunktet [16].



Figur 2-9: Inntaksmåter [16].

I figuren ovenfor dimensjoneres inntakskabelen etter dimensjonerende effekt i installasjonen, som for boliger ofte beregnes på grunnlag av samtidighetsfaktoren. Deretter kan OV dimensjoneres etter inntakskabelen [4]. OV som forekommer i boliger i dag kan være alt fra 2x32A til 3x63A i 230V IT-nett. I nye boliger er det blitt behov for mer effekt og 3x40A til 3x80A er dominerende [17]. Er boligen konstruert før inntaksbestemmelsen av 1.3.87 er det i hovedsak brukt diazed smeltesikringer (UZ-elementer) som OV. Er boligen bygd etter dette vil automatsikringsikringer dominere [1].

Fra figuren ovenfor kommer det også frem at for noen inntak er KV montert oppe i nærmeste mast. I forskrift om elektriske forsynings anlegg 2006 er dette ikke lov lenger. Høyspent brytere og sikringer, samt lavspente sikringer skal kunne betjenes fra bakken [3].

For denne oppgaven er prototypen antatt montert i de fleste tilfeller på veggen til en bolig. Dermed er leveringspunktet definert til å være på sekundærsiden av transformatoren, mens hovedfordeling vil være der OV er.

2.9 Febdok

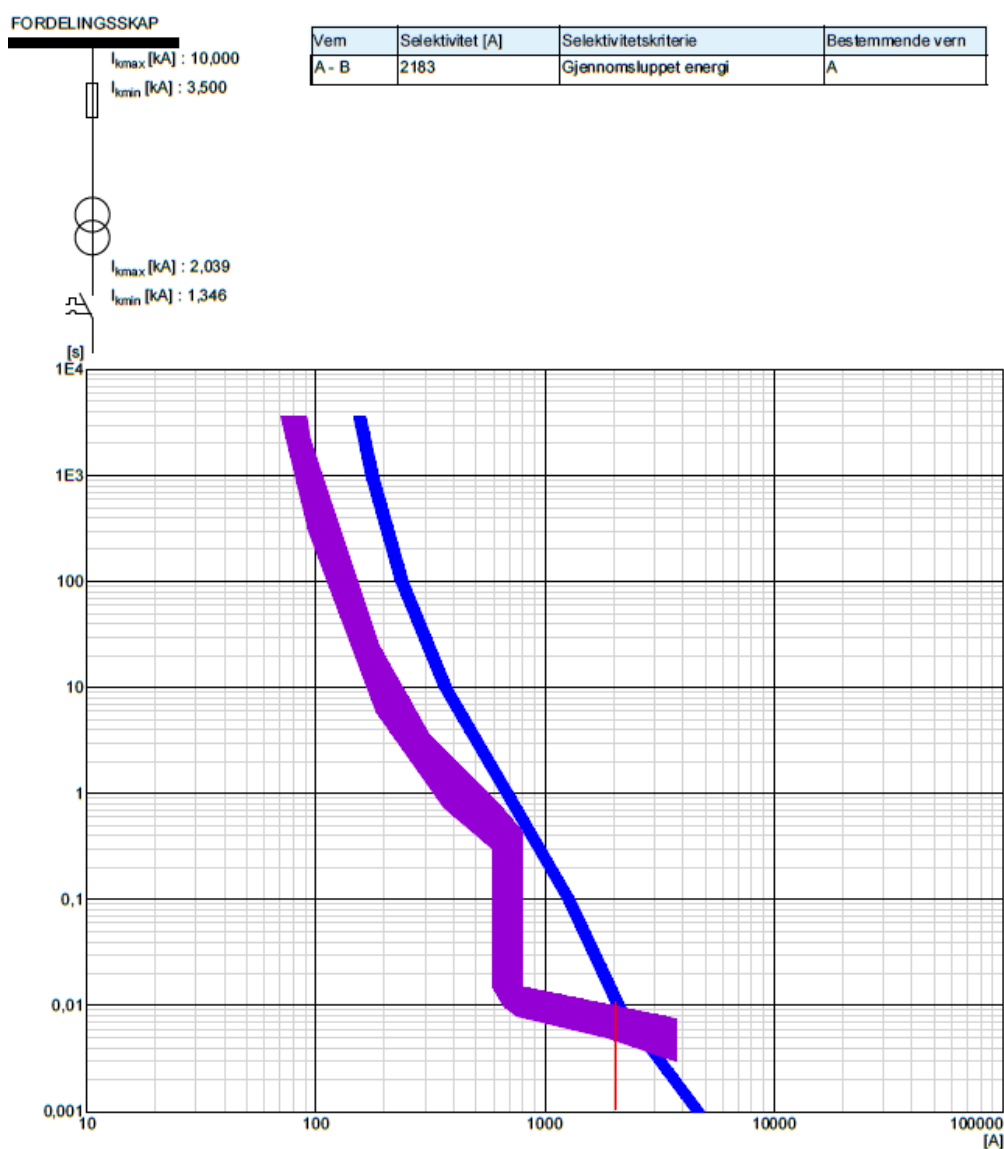
Febdok er et simuleringsverktøy som gjør det mulig å dokumentere og simulere et lavspent elektrisk anlegg. Febdok er laget og programmert av NELFO, som er en forening for EL- og IT- bedriftene i Norge. Figur 2-10 er et utklipp fra NELFO sine hjemmesider med hvilke bruksområder Febdok har [18].

- Beregne kortslutningsstrømmer/feilstrømmer
- Beregne berøringspenninger og spenningsfall
- Dimensjonere ledninger, skinner og vern
- Kontrollere vernets bryteevne og utkoblingstid
- Kontrollere selektivitet (selektivitetsanalyse)
- Kontrollere backup/kaskade beskyttelse mellom vern
- Gi nødvendig dokumentasjon til eitsyn, kunde og installatør
- Sende "melding om installasjonsarbeid" elektronisk til netteier/DLE
- Beregne UPS i både nett og batteridrift
- Regne på skilletrafo enten på primær eller sekundærside
- Bruke Boligmappa
- Beregne generatorinstallasjoner (krever modul)
- Beregne impedansejordet nett (krever modul)
- Dokumentforside
- Hoveddata
- Beregningsresultater
- Hovedkurs- og fordelings skjema
- Detaljert kursfortegnelse
- Forenklet kursfortegnelse
- Verninnstillinger i anlegget
- Oversikt over aktuelle kortslutningstrømmer/feilstrømmer i anlegget
- Selektivitesanalyse
- Lister over kabler, vern og skinner som er benyttet i anlegget
- Melding om installasjonsarbeid
- Erklæring om samsvar
- UPS forespørsel
- Generator forespørsel
- 5 Sikre

Figur 2-10: Oversikt over bruksområder for Febdok [18].

2.10 Selektivitet

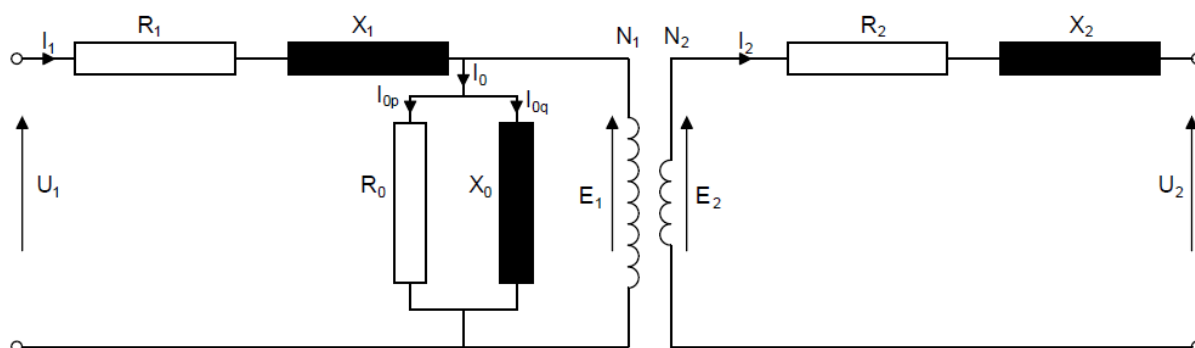
Selektivitet er at vernet nærmest feilen skal legge ut først. Forskjellige vern har forskjellig karakteristikk som beskrevet under kapittel 2.4: "overstrømsvern". I Figur 2-11 er slike karakteristikker presentert. Simuleringsprogrammet Febdok (se kapittel 2.9) har vernkarakteristikkene lagt inn. Dermed kan selektiviteten analyseres ved simulering. Fra figuren kommer det frem at for akkurat dette eksemplet overlapper ikke karakteristikkene før en strøm på 2183. Dette vil være en god løsning siden det også står i figuren at maksimum kortslutningsstrøm ved OV er 2039A noe som også kommer frem i figuren.



Figur 2-11: Selektivitetsanalyse fra Febdok.

2.11 Transformator

I Figur 2-12 er et ekvivalent enlinjeskjema av en transformator illustrert. Her er strøm inn og strøm ut av transformatoren som er hhv. I_1 og I_2 . Spenning inn og ut er hhv. U_1 og U_2 . Når det går strøm gjennom viklingene i transformatoren vil det bli kobbertap og lekkflukser representert av R_1 , X_1 , R_2 og X_2 . De to siste impedansene representerer jerntap (virvelstrømstap og hysteres). Her vil magnetiseringsstrømmen I_o gå så lenge det er spenning på transformatoren. N_1 og N_2 representerer antall vindinger i primær og sekundær vikling. Til slutt er de induerte spenningene E_1 og E_2 illustrert. Mellom E_1 og E_2 er det illustrert en ideell transformator uten tap. Transformatorer kommer i standardstørrelser. Disse er listet opp i Tabell 2-6. Disse størrelsene benyttes i praksis så langt det er mulig [19].



Figur 2-12: Ekvivalent enlinjeskjema for transformator [20].

Tabell 2-6: Standardstørrelser på transformatorer [kVA][19].

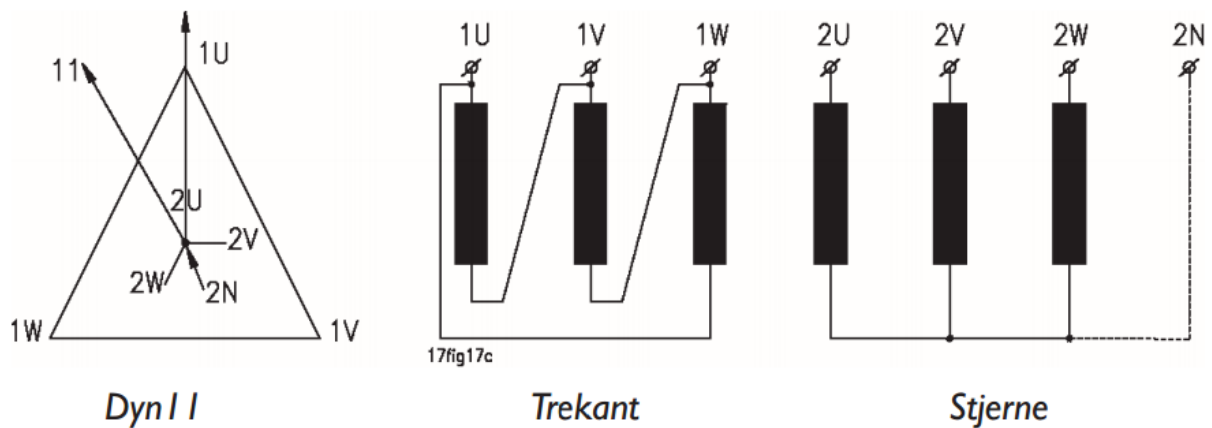
5	31,5	200
6,3	40	250
8	50	315
10	63	400
12,5	80	500
16	100	630
20	125	800
25	160	1000 etc.

2.11.1 Startstrøm

Det er to faktorer som bestemmer størrelsen på startstrømmen til en transformator. Den første faktoren er hvor på spenningskurven innkoblingsforløpet er når en spenningsløs transformator legges inn. Dette er fordi at kjernen må magnetiseres. Den andre faktoren som er med på å bestemme størrelsen på startstrømmen er system impedansen. Desto høyere systemimpedans, desto mindre startstrøm. Dermed hvis kjernens polaritet må snus når transformatoren skal magnetiseres samtidig som det er en lav systemimpedans kan startstrømmens amplitude bli 30 ganger merkestrøm [21].

2.11.2 Transformatorkoblinger

Det fins ulike måter å koble primær- og sekundærsiden av en transformator på. Koblingen er beskrevet av bokstaver og tall, hvor store og små bokstaver beskriver hhv. hvordan primær og sekundærsiden er koblet. Tallene er klokke-tallet og beskriver hvordan fasespenningen på primær- og sekundærsiden ligger i forhold til hverandre. I Figur 2-13 er en Dyn11 kobling illustrert. Det vil si at primærsiden er trekantkoblet (D-koblet) og sekundærsiden er stjernekoblet (Y-koblet) med en nøytralleder hentet ut fra nøytralt punktet i transformatoren. 11 tallet betyr at fasespenningen på primærsiden ligger 30° etter fasespenningen på sekundærsiden. I tillegg fins sikksakk-koblingen som betegnes med en Z. De vanligste koblingene er Yy, Dd og Zz. [19].



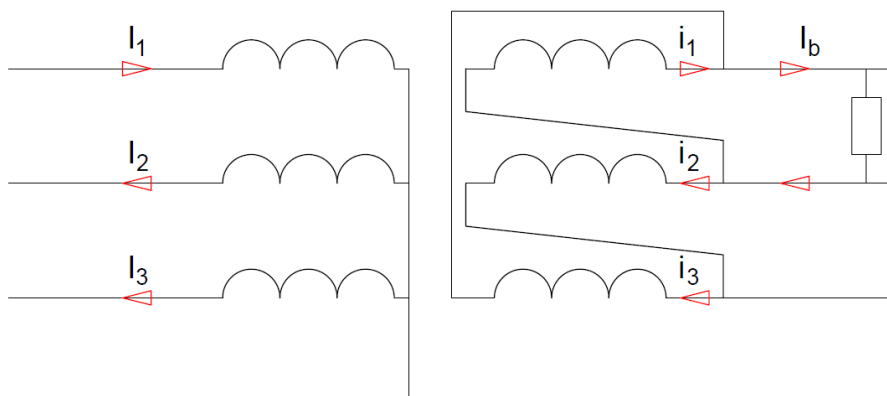
Figur 2-13: En Dyn11 koblet transformator (Fra vedlegg 4).

2.11.3 Usymmetrisk belastning av trefasetransformator

Belastes en transformator med en symmetrisk belastning vil den ha amperevindingsbalanse. Det vil si at øyeblikksverdien av strømmen multiplisert med antall vindinger er lik på primær- og sekundærsiden for hver fase i transformatoren.

$$|I_1 \cdot N_{\text{primær}}| = |i_1 \cdot N_{\text{sekundær}}|$$

Er transformatoren belastet skjevt kan dette resultere i at den ikke har amperevindingsbalanse og viklingene vil dermed sette opp et ekstra felt i transformatoren som gir økt tap. Om det blir amperevindingsbalanse eller ikke ved en skjevlast er avhengig av hvordan transformatoren er koblet. I Figur 2-14, Figur 2-15 og Figur 2-16 er det hhv. en YNd, YNy og en Yyn kobling. Disse to er belastet av en enfase last og dermed en stor skjevlast.



Figur 2-14: YNd koblet transformator med to faser belastet.

I figuren ovenfor kommer det frem at selv om en trekantkobling er belastet med en belastningsstrømmen I_b mellom kun to faser vil det likevel gå strøm i alle fasene i trekantkoblingen. Strømmen kan dermed gå gjennom vikling 1 og gjennom en seriekobling av vikling 2 og 3 på sekundær siden. Antas det at vinklinsresistansen er lik for alle tre på sekundærsiden vil dette bety at:

$$i_1 = \frac{2}{3} \cdot I_b$$

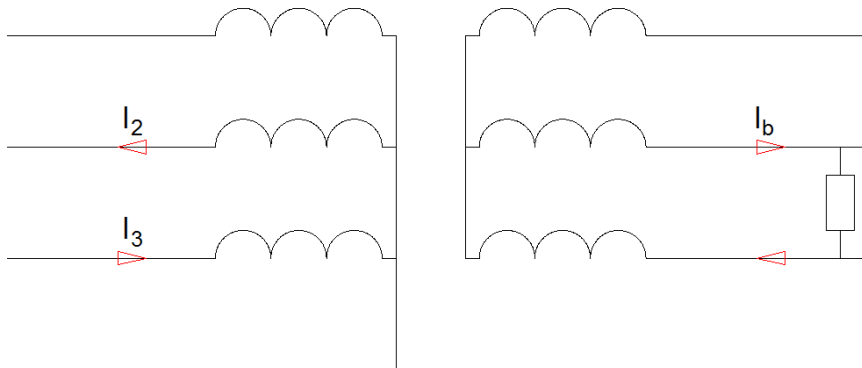
$$i_2 = i_3 = \frac{1}{3} \cdot I_b$$

Multipliseres strømmene på sekundærsiden med omsetningsforholdet k i transformatoren blir resultatet størrelsen på primærstrømmene. Adderes strømmene på primærsiden kommer det frem at strømmen også blir 0 og det går heller ingen strøm i n-leder som vist i følgende likning:

$$I_1 + I_2 + I_2 = k \cdot \frac{2}{3} \cdot I_b - k \cdot \frac{1}{3} \cdot I_b - k \cdot \frac{1}{3} \cdot I_b = 0$$

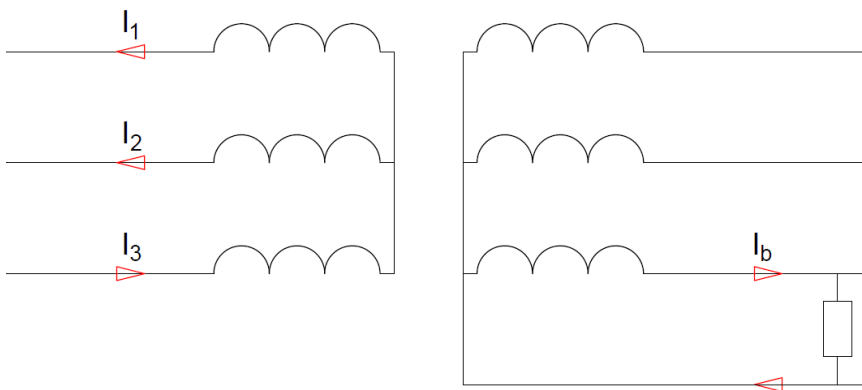
Dermed er det amperevindingsbalanse og det går heller ingen strøm i n-leder på primærsiden.

Som det kommer frem i Figur 2-15 vil det også for YNy kobling bli amperevindingsbalanse. Denne koblingen gir likevel en mye større grad av skjevlast for nettet på primærsiden enn YNd koblingen siden strømmen blir 0 gjennom den ene viklingen.



Figur 2-15: YNy koblet transformator med en enfase last koblet mellom to faser.

I figuren nedenfor er Yyn koblingen presentert. Her kommer det raskt frem at det ikke blir amperevindingsbalanse. Lasten skaper en strøm i den ene viklingen på sekundærsiden noe som igjen skaper en strøm i den ene viklingen på primærsiden. I_3 -s eneste returvei blir dermed gjennom de to resterende viklingene på primærsiden. Her blir $|I_1 \cdot N_{primær}| \neq |i_1 \cdot N_{sekundær}|$ og ekstra felt blir skapt i trafoen noe som forårsaker tap.



Figur 2-16: Yyn koblet transformator med en enfase last koblet mellom en fase og n-leder.

2.11.4 Kortslutning av transformator

Ved en feil i nettet med ubetydelig impedans på sekundærsiden av transformatoren, vil transformatoren gi et bidrag til impedansen i feilsøyfen frem til feil stedet. Likningene for kortslutning kommer senere i kapittelet under kortslutningsberegninger. Under dette kapittelet er kortslutningsimpedansene i transformatoren presentert. Disse beregnes ved hjelp av merkeeffekt, merkestrøm og de relative spenningsfallene. Se likning 7, 8 og 9. Om impedansene skal relateres til primær- eller sekundærsiden velges hhv. primær- eller sekundær merkespenning [20].

$$Z_T[\Omega] = \frac{U_N^2}{S_N} \cdot \frac{e_z}{100 \%} \quad 7$$

$$R_T[\Omega] = \frac{U_N^2}{S_N} \cdot \frac{e_r}{100 \%} \quad 8$$

$$X_T[\Omega] = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} \quad 9$$

Hvor:

- Z_T [Ω] er kortslutningsimpedansen i transformatoren.
- R_T [Ω] er kortslutningsresistansen i transformatoren.
- X_T [Ω] er kortslutningsinduktansen i transformatoren.
- e_z [%] relativt spenningsfallet som resultat av impedansen i transformatoren.
- e_r [%] relativt spenningsfallet som resultat av resistansen i transformatoren.
- U_N [V] er merkespenningen på transformatoren.
- S_N [VA] er merkeeffekten på transformatoren.

2.11.5 Bestemmelse av størrelse på transformator

Når størrelse på transformatoren skal velges bør den være så stor at den ikke går med merkelast eller overlast store deler av tiden. Dette resulterer i en redusert levetid på transformatoren. I tillegg burde den ikke være så stor at tomgangstapet blir unødvendig stort i forhold til belastningstapet.

Det må også tas hensyn til spenningsfallet i transformatoren. Her er det i hovedsak to forhold som spiller inn. Disse er spenningsomsetningen og transformatorens eget spenningsfall. På merkeskiltet er det oppgitt et relativt spenningsfall som gjelder ved merkelast.

Siden de relative spenningsfallene er ved merkelast er det viktig og legge merke til at spenningsfallet blir mindre ved lavere belastning. Har transformatoren for eksempel en e_z på 7 % vil sekundærspenningen ligge 7 % høyere ved tomgang enn ved full last dersom primærspenningen holdes konstant [19][22].

2.11.6 Tørrisolert transformator

En tørrisolert transformator har et isolasjonsmedium rundt viklingene av gas eller andre tørre sammensetninger. I prinsippet er det slik at alle transformatorer som imøtekommer visse nivå i spenning og kVA slik at det ikke er nødvendig å nedsenke viklingene i olje, kan bli klassifisert som tørrisolerte. Andre transformatorer har typisk viklingene nedsenket i olje. Fordelene med tørrisolerte transformatorer er at de er lettere og ikke brennbare. Baksiden er at dimensjonene blir noe større enn transformatorer med olje. [22].

2.11.7 Spenningsfall over transformator

Metoden for beregning av spenningsfall over transformatoren er ikke så ulik den for beregning av spenningsfallet over en kabel som ble gjort i kapittel 2.3.1. I stedet for forskjellen mellom forsyningsspenningen og spenning ved belastning, blir det spenningen mellom klemmene på primærsiden U_1 og spenningen på sekundærklemmene referert til primærsiden U_2' . Dermed ved å følge projeksjonsmetoden blir likningen som følger:

$$\Delta U = I \cdot R \cdot \cos \varphi + I \cdot X \cdot \sin \varphi$$

Samme som for spenningsfallet over en kabel blir γ neglisjert. Siden en transformator ikke har oppgitt de fysiske impedansene, men de relative spenningsfallene e_z og e_r , er disse implementert i formelen for spenningsfall i en transformator. I tillegg siden spenningsfallene er relative vil merkestrømmen følgelig ha en belastningsgrad som også må tilføyes likningen. Derfor divideres belastningsstrømmen på merkestrømmen som gir belastningsfaktoren som er definert som $n = \frac{I_b}{I_N}$.

Alt dette resulterer i følgende likning:

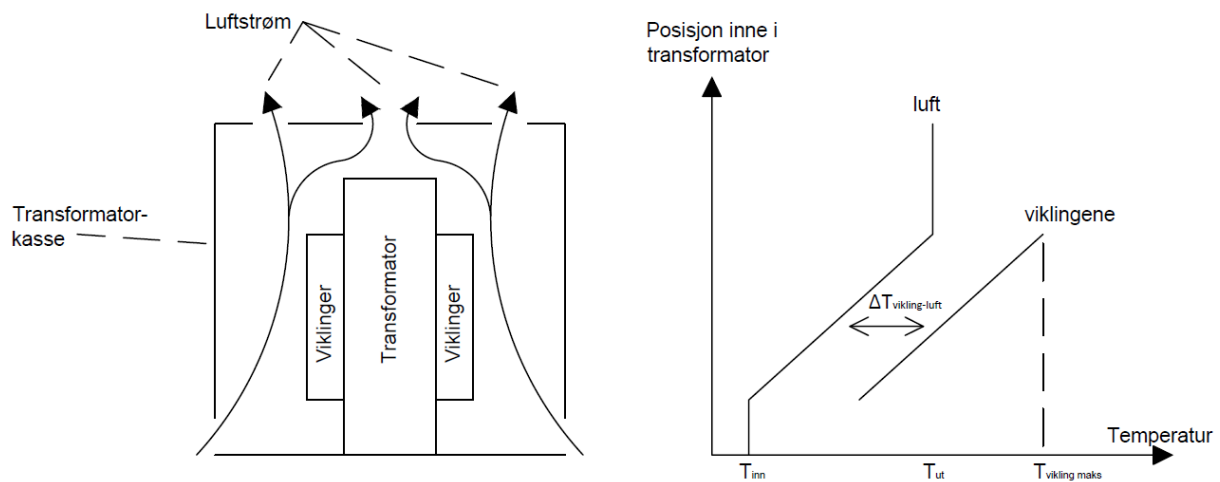
$$\Delta u = \frac{\Delta U}{U_N} = n \cdot (e_r \cdot \cos \varphi + e_x \cdot \sin \varphi) \quad 10$$

Likning 10 gir nøyaktige nok resultater ved $e_z < 4\%$. Er $e_z < 20\%$, men høyere en 4% , må det brukes en mer nøyaktig likning. Da kan likning 11 brukes [19].

$$\Delta u = n \cdot (e_r \cdot \cos \varphi + e_x \cdot \sin \varphi) + \frac{n^2}{2} \cdot (e_r \cdot \sin \varphi - e_x \cdot \cos \varphi)^2 \quad 11$$

2.11.8 Avkjøling av en tørrisolert transformator

I Figur 2-17 er et eksempel på hvordan en tørrisolert transformator blir avkjølt inne i transformator-kassen. En luftstrøm går inn nede og ut oppe på transformator-kassen. Det er også mulig å ha sirkulerende luftstrømmer inne i kassen. Figuren illustrerer hvordan transformatoren blir avkjølt gjennom naturlig konveksjon. For at ikke transformatoren skal få for høy temperatur i viklingene må en viss mengde luft strømme gjennom kassen. Fra grafen nedenfor kommer det frem at viklingene avgir en viss mengde varme. Denne varmen må deretter avgis til luften. I grafen til høyre i figuren nedenfor er det vist at hvis luften inn nede har en viss temperatur T_{inn} og luften ut oppe har en viss temperatur T_{ut} , vil viklingene ikke overstige en viss maksimal temperatur $T_{vikling maks}$ [23].



Figur 2-17: Illustrasjon av luftstrømmen i en transformator-kasse med tilhørende graf som illustrerer temperaturfordelingen i luft og viking inne i kassen [23].

Transformatoren vil avgi en effekt $P_{tap} [W]$ til omgivelsene. For at temperaturen i viklingene skal holde seg på akseptabelt nivå må det gå en luftstrøm $Q \left[\frac{l}{s} \right]$ slik at effekten kan avgis til luften. Dette kommer frem av likning 12. Etter at luftstrømmen er beregnet kan kassen dimensjoneres. Behovet for luft kan tilfredsstilles ved naturlig konveksjon eventuelt at en vifte brukes i tillegg for en tvungen konveksjon. Det må også vurderes hvordan tilgangen er på luft der transformatoren skal plasseres [23].

$$Q = \frac{P_{tap}}{c \cdot \Delta T} \quad 12$$

Hvor:

- $c = 1260 \left[\frac{J}{m^3 \cdot K} \right]$ er varmekapasiteten for luft.
- ΔT er temperaturforskjellen mellom luften inn og ut.

Luftstrømmen inne i transformatorboksen vil ha en viss hastighet. Varmen i viklingene driver den naturlige konveksjonen. Blir det for smalt mellom viklingene og transformatorboksen vil trykkfallet bli stort. Dette kan resultere i at lufthastigheten blir for lav slik at varmen ikke blir transportert bort fort nok. Hastigheten til luften avhenger derfor av trykkfall inne i transformatorboksen og temperaturforskjellen mellom inn og ut luft. Eksempler på lufthastigheter ved naturlig konveksjon er et kulderas fra vinduer inne i en bolig som sjelden kommer over $0,6 \frac{m}{s}$. I et relativt lite vertikalt rør som holder over $100^\circ C$ mens luften rundt er $30^\circ C$ og ved atmosfærisk trykk, vil dette røret skape en luftstrøm som er i gjennomsnitt $0,3 \frac{m}{s}$ [24][25].

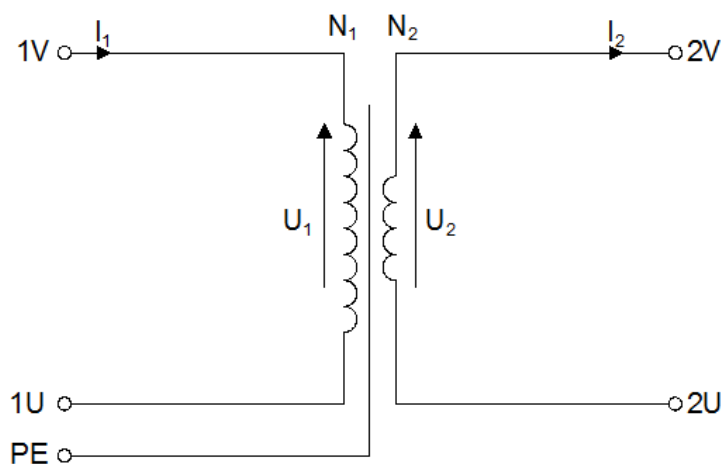
Hvis skapet rundt transformatoren er så tett at det ikke kommer noe luft inn eller ut må varmen bli transportert ved hjelp av transmisjonstapet P . Da kan likning 13 følges. Varmen går gjennom skap veggene som har en viss termisk konduktivitet U [4]. For rustfritt stål er $U = 19,3 \frac{W}{mK}$ [24].

$$P_t = U \cdot A \cdot \Delta T$$

13

2.11.9 Enfasetransformator

Ved å koble en enfasetransformator mellom to av fasene i trefasenettet kan det skapes et enfasenett på sekundærsiden. Denne transformatoren er illustrert i Figur 2-18. Prinsippet for denne transformatoren er på mange områder likt det for en trefasetransformator som beskrevet tidligere i dette kapittelet. Det vil være jern- og kobbertap, startstrøm, krav til avkjøling, spenningsfall, etc.



Figur 2-18: Enfasetransformator [26].

2.12 Kortslutningsberegninger

Kortslutningsberegninger er en viktig del for dimensjonering av vern i et anlegg. Når man beregner kortslutningsverdier har man tre typer kortslutninger. Disse er 3-polt, 2-polt og 1-polt kortslutning. De to første er mellom fasene, mens den siste er fase-nøytralleder [4].

De viktigste kortslutningsstørrelsene man trenger å vite er den høyeste og den minste kortslutningsstrømmen når man skal dimensjonere vernene på kursene. Den høyeste er nødvendig for å vite om vernet vil tåle strømmen. Den minste er nødvendig for å vite om vernet vil legge ut i løpet av den tiden som NEK400 krever [4].

Som regel er den største 3-polte kortslutningsstrømmen størst, og den minste 1-polt kortslutningsstrømmen minst ved en kortslutning lenger unna en distribusjonstransformator enn 100 meter i et TN-system. Den største 1-polte kortslutningsstrøm kan likevel være større enn den 3-polte og den minste 2-polte kortslutningsstrømmen kan være mindre enn den minste 1-polt kortslutningsstrømmen. I et IT-system vil kun 3- og 2-polte kortslutningsstrømmer kunne forekomme og det er dermed ikke nødvendig å ta hensyn til 1-polte [6]. Siden oppgaven dreier seg om lokale IT-nett vil ikke 1-polte kortslutningsstrømmer oppstå på sekundærsiden av transformatoren. Det er derfor valgt ikke å drøfte 1-polte kortslutningsstrømmer videre i denne rapporten. Dermed blir de viktigste kortslutningsstrømmene som må regnes ut $I_{k3p,max}$ som er maksimal 3-polt kortslutningsstrøm og $I_{k2p,min}$ som er minste 2-polte kortslutningsstrøm

2.12.1 Korreksjonsfaktorer

Temperaturkorrigering

Kobber er superledende ved $-273,15\text{ °C}$. Altså ved det absolutte nullpunkt. Derfra endrer resistansen seg tilnærmet lineært med økende temperatur. I datablad er det oppgitt resistans under normale forhold som vil si ved 20 °C .

Når den minste kortslutningsstrømmen skal beregnes er det viktig å ta hensyn til at en kabel ikke nødvendigvis har en leder temperatur på 20 °C når kortslutningen oppstår. Her er det vanlig å ta høyde for at ledertemperaturen er den høyeste tillate driftstemperaturen for kabelen. En PFSP og en TFXP har hhv. maks driftstemperaturen på 70 °C og 90 °C , og siden forholdet mellom resistans og temperatur er tilnærmet et lineært forhold, blir faktoren for PFSP-en som vist i likning 14 [4][8].

$$R_{90} = \frac{273,15 + 70}{273,15 + 20} \cdot R_{20} \approx 1,2 \cdot R_{20} \quad 14$$

Hvor:

- R_{70} resistansen ved 70 °C
- R_{20} resistansen ved 20 °C

Spenningskorrigering

En annen korrigering som er brukt ved kortslutningsberegninger er korrigering for spenning i et leveringspunkt. Denne faktoren er betegnet med en liten c . Ved minimale kortslutningsstrømmer i anlegg med 230V og 230/400V tas det høyde for at spenningen kan være 5 % lavere en nominell spenning i leveringspunktet. I andre anlegg med andre spenningsnivå tas det også høyde for høy spenning, men disse er ikke relevant for oppgaven og dermed ikke drøftet videre [4][5].

2.12.2 Nettimpedans

Når kortslutningsberegninger skal gjøres må impedansen i hele feilsøyfen frem til feilstedet være med. Ved lavspente elektriske installasjoner har nettleverandør krav om å oppgi kortslutningsytelser ved inntaket til installasjonen. Impedansen i nettet vil variere mye alt etter hvor installasjonen befinner seg i nettet. Langt ute på en radial vil gi høy nettimpedans. I Tabell 2-7 er en anslått fordeling av nettstyrken i distribusjonsnettet i Norge. Disse er for minimale kortslutningsytelser. Den maksimale kortslutningsytelse vil også variere med hvor installasjonen befinner seg i nettet. Den kan være så høy at det kan bli problemer med bryteevnen til vern i installasjonen [4][27].

Tabell 2-7: Anslått nettstyrke i distribusjonsnett i Norge [27].

Andel av nettet med lavere enn angitt kortslutningsytelse [I_{kmin}]				
< 350 A	350 – 500 A	500 – 750 A	750 – 1000 A	≥ 1 kA
6,2 %	7,5 %	13,5 %	13,2 %	59,7 %

I likning 15 og 16 er utregningen av nettimpedansene vist.

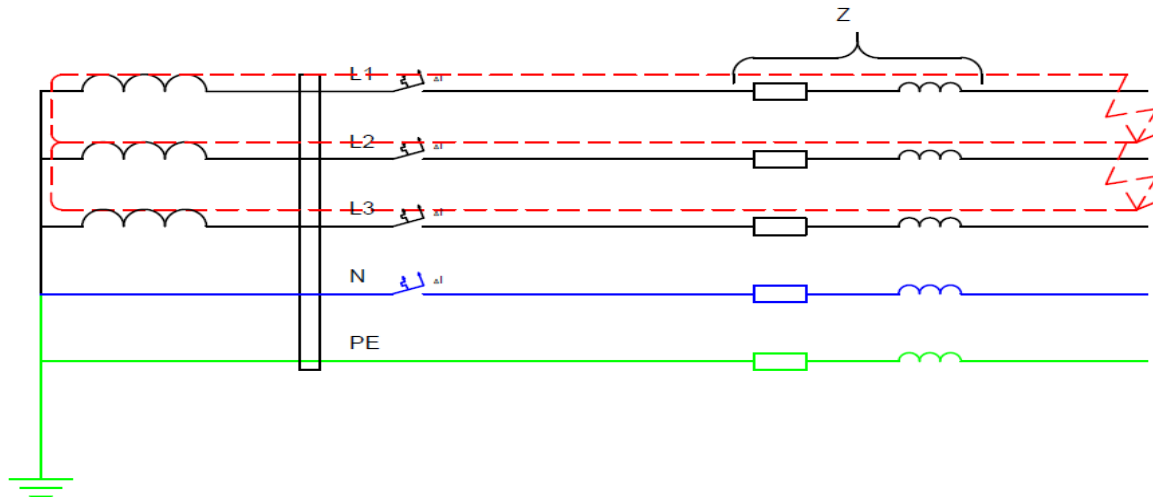
$$I_{k3p} = \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z_k} \quad 15$$

$$I_{k2p} = \frac{c \cdot U}{Z_+ + Z_-} = \frac{c \cdot U}{2 \cdot Z_k} \quad 16$$

Det var nevnt i starten av dette kapittelet at enpolte kortslutninger ikke var drøftet videre. Febdok krever likevel å vite maksimum enpolt jordfeil og minimum enpolt jordfeil i et TN-nett. Disse vil kun ha innvirkning på kortslutninger på primærsiden av transformatoren og det er derfor ikke direkte viktig hvilken verdi det blir valgt for disse [4].

2.12.3 I_{k3p}

I_{k3p} er en 3-polt kortslutning, hvor $I_{k3p, maks}$ vil være den høyeste kortslutningsstrømmen. I figur 3-3 kommer det frem hvilken vei strømmen går ved en slik kortslutning. Z-en i figuren representerer impedansen frem til feilstedet. Denne vil variere alt etter hvilken 3-polt kortslutning man er interessert i å beregne.



Figur 2-19: 3-polt kortslutning i et TN-S system.

For å regne ut forskjellige 3-polte kortslutningsverdier, er den generelle formelen for I_{k3p} som følger:

$$I_{k3p} = \frac{c \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot |Z_k|} \quad 17$$

Hvor:

- I_{k3p} 3-polt kortslutningsstrøm.
- c korreksjonsfaktor for spenningen
- U_N nominell spenning
- Z_k total kortslutningsimpedans frem til feilstedet

Absoluttegnen vil si at det er absoluttverdien av kortslutningsimpedansen. Her er det sett bort fra vinkelen siden denne ikke er nødvendig for å vite strømmens størrelse. Den interessante verdien å beregne her er $I_{k3p, maks}$. Dette er fordi at denne kan representere den høyest mulige kortslutningsstrømmen i et anlegg. Er kortslutningen i første fordeling vil det ofte kun være nettimpedansen. Dermed blir formelen for kortslutningsstrømmen som følger:

$$I_{k3p, maks} = \frac{U_N}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_{nett,3p})^2 + (X_{nett,3p})^2}} \quad 18$$

2.12.4 I_{k2p}

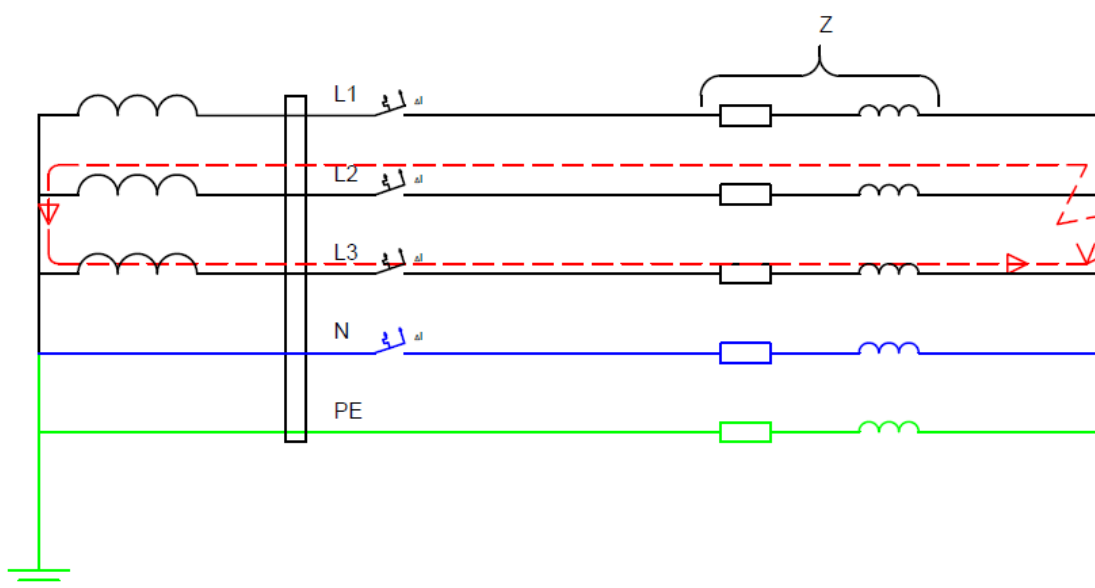
Når I_{k2p} skal beregnes er det nesten samme framgangsmåte som for en 3-polt kortslutning.

Kortslutningsimpedansen vil være to multiplisert med Z_k siden strømmen går tur-retur kortslutningsstedet. Dette er vist i figur 3-4. Den generelle formelen for 2-polt kortslutning er som følger:

$$I_{k2p} = \frac{c \cdot U_N}{2 \cdot |Z_k|} \quad 19$$

Hvor

- I_{k2p} 2-polt kortslutningsstrøm



Figur 2-20: 2-polt kortslutning i et TN-S system.

Siden den to-polte kortslutningen er den potensielt minste kortslutningsstrømmen, er det interessant å se på den lengste kursen. Dermed blir impedansen:

$$|Z_k| = |Z_{nett,2p} + Z_{kabel}|$$

Ved og videre ta hensyn til korreksjonsfaktorene:

$$|Z_k| = |Z_{nett,2p} + k \cdot R_{kabel} + X_{kabel}|$$

Dermed kan impedansen settes inn i den generelle formelen for en to-polt kortslutning, samtidig som at spenningsfall i kabelen tas hensyn til:

$$I_{k2p,min} = \frac{c \cdot U_N}{2 \cdot \sqrt{(R_{nett,2p} + k \cdot R_{kabel})^2 + (X_{nett,2p} + X_{kabel})^2}} \quad 2-20$$

3 Kostnader ved ombygging av det elektriske anlegget i bolig fra IT til TN

Hvis et nettselskap ønsker å bygge om et av sine 230V IT distribusjonsnett til 230/400V TN-C-S, må selvsagt kundene deres bli tatt hensyn til. For at en ombygging av det elektriske anlegget til en av kundene ikke skal bli alt for kostbar gav produkt- og elektrisitetstilsynet (under DSB) ut AG14 rapporten i 1993. Denne beskrev hvordan en slik ombygging kan gjøres enklest mulig. I 2001 kom en revidert utgave som viser hvordan sikkerheten i anlegget kan beholdes eller bedres ved en slik ombygging samtidig som kostnadene holdes nede [1].

I rapporten av 2001 ble det gjort antydninger til pris på en slik ombygging. Her kom det frem at en slik ombygging ikke er så omfattende og så kostnadsfull som først antatt. I 2014 ble det gjort en studie av et 230V IT distribusjonsnett på Helgøya utenfor Tromsø med AG14 rapporten som grunnlag for fastslåing av kostnader for ombyggingen av de forskjellige IT-installasjonene. Kostnadene fra denne rapporten er listet opp i Tabell 3-1 [1][7].

Tabell 3-1: Kostnad ved ombygging fra 230 V IT-nett til 230/400 V TN-nett bygd etter forskjellige normer og forskrifter [7].

Type anlegg utført i henhold til en norm eller forskrift	Minimum pris [NOK]	Maks pris [NOK]
Enfasede installasjoner bygd i henhold til FEB-91 eller NEK 400	4900	9200
Enfasede installasjoner bygd i henhold til FEB-88	6400	12100
Enfasede installasjoner bygd i henhold til FEA-63	9200	14900
Eldre trefaseinstallasjoner bygd før FEB-91	12400	25400
Eldre trefaseinstallasjoner bygd før FEB-91	14800	32200
<ul style="list-style-type: none"> • Kriteriet for tverrsnittet til PEN-leder er ikke oppfylt 		
Nyere trefaseinstallasjoner bygd etter FEB-91 eller NEK 400	12400	25400

I tabellen ovenfor er det en minimum- og maksimum pris som baserer seg på at ikke alle installasjonene som er bygd etter f.eks. FEB-88 er identiske. Installasjoner bygd etter denne normen kan være både over- og underdimensjonert. Dette resulterer i det relativt store spriket i prisen for ombygging av installasjoner bygd etter samme norm [7].

4 Kostnader ved montering av en prototype for kostnadseffektiv overgang fra TN til IT

Ved montering av et kabelfordelingsskap, grave grøfter til kabler og montere kabler medfølger kostnader. Disse kostnadene er blitt estimert av SINTEF for hjelp til planlegging i distribusjonsnettene. I Tabell 4-1, Tabell 4-2 og Tabell 4-3 er noen relevante kostnader fra planleggingsboken listet opp [28]. I Tabell 4-4 er priser på relevante transformatorer skaffet fra Noratel. En større oversikt over priser på transformatorer fra Noratel fins i vedlegg 1. Til slutt ble det sendt en prisforespørsel på et skap fra Schneider Electric. For et skap med kapslingsgrad IP55 med målene 800mm X 600mm X 400mm var listepriisen NOK 3008,00 (se vedlegg 2).

Tabell 4-1: Kostnader for 230/400 V kabelanlegg.

Type	Materiell $\left[\frac{kr}{km}\right]$	Montør $\left[\frac{kr}{km}\right]$	Anlegg $\left[\frac{kr}{km}\right]$	Prosjektering $\left[\frac{kr}{km}\right]$	Totalt $\left[\frac{kr}{km}\right]$
TFXP 4x25 Al	31500	400	3000	14300	49300

Tabell 4-2: Beskrivelse av kostnader til kabelfordelingsskap bredde ca. 330 mm.

Kostnadselement	Kostnad [NOK]	Mengde [Stk.]
Kabelskap bredde 330 mm normalt klima (uten fundament)	2500	1
Høyeffektsikring 80A	450	9
Sikringsbryterlist 160A	3480	3
Fundament til skap bredde ca. 330mm	1080	1
Grave og sette ned skap	650	1
Tilkoble kabel 0,24/0,4kV TFXP 4x50 Al	770	1
Tilkoble jordledning	120	1
Registrering av nettdata i kabelfordelingsskap	320	1

Tabell 4-3: Kostnader for LS/HS grøfter.

Type	Total kostnad $\left[\frac{kr}{km}\right]$
Grøfter i byområde	673 800
Grøfter i forstad	418 400
Grøfter på landsbygden	299 100

Tabell 4-4: Priser på relevante transformatorer fra Noratel eks. MVA.

Ytelse [kVA]	Type	Pris på IP00 [NOK]	Pris på IP23 [NOK]	Pris på IP54 [NOK]
12,5	3LT 12,5	10850	11550	-
16,0	3LT 16,0	12300	13000	-
20,0	3LT 20,0	13900	14600	22650
25,0	3LT 25,0	15800	16900	29500
30,0	3LT 30,0	16800	17900	33500
8,0	2LT 8,0	7430	9950	-
10,0	2LT 10,0	8090	10600	-
12,5	2LT 12,5	9370	12600	-
16,0	2LT 16,0	10080	13400	-
20,0	2LT 20,0	11000	14100	-

5 Kartlegging og forberedelse til økonomisk vurdering, simulering og beregning av prototypen

5.1 Kartlegging av elektriske anlegg i boliger i Norge i dag

Før prototypen kan dimensjoneres må eventuelle anlegg som prototypen skal levere energi til kartlegges. Som nevnt tidligere under avgrensninger kom det frem at tanken med denne prototypen var i første omgang boliger. Hvis OV i boligene skal brukes som OV for transformatoren, må det kartlegges hvilke vern som kan forekomme.

5.1.1 Overbelastningsvern

Som det kom frem av teorien så var alt fra 2x32A til 3x63A vanlig. Byggene som er dyrest å bygge om til TN er trefaseinstallasjonene. Noen av de eldste enfaseinstallasjonene har likevel en betydelig kostnad med å bygge om til TN. Dermed må det tas høyde for at behovet for en slik prototype kan oppstå for både en- og trefase installasjoner.

Boliger som er bygd før og etter inntaksbestemmelsen av 1.3.87 var i hovedsak bygd med hhv. diazed smeltesikringer og automatsikringsikringer som OV. Dermed er det antatt at boliger i Norge i dag kan ha automatsikringsikringer eller smeltesikringer som OV, størrelse på 32A til 63A og være to- eller trepolet.

For å få en god representasjon ved simuleringer og beregninger med forskjellige OV er det valgt å bruke ABBs mest solgte OV som det kommer frem av vedlegg 3. Det står videre i vedlegget at i noen tilfeller brukes to forskjellige automatsikringsikringer som OV som egentlig ikke er dimensjonert for dette. Disse to er derfor også simulert for å få et bedre bilde av installasjonene som prototypen skal levere energi til. Fra Febdoks database er også Eaton OV og en vanlig diazed smeltesikring valgt. Dermed er det antatt at følgende vern vil være en god representasjon av dagens OV i boliger:

- ABBs automatsikringsikringer S750, S800 og S200M
- Eatons automatsikring PLSM OV
- Diazed smeltesikring

5.1.2 Inntakskabel

Det sto i teorien at TFXP var den meste brukte kabelen frem til første fordeling. Deretter at PFSP var mye brukt innomhus frem til hovedfordeling og til stigeledninger. Prototypen må plasseres der det er mulig, men det er antatt at i de fleste tilfeller vil den bli plassert så nært boligen som mulig. Det er her derfor antatt at det er TFXP frem til prototypen og PFSP etter.

Ved dimensjonering av en inntakskabel etter NEK400:2014 433 er et av kravene som følger: $I_B \leq I_N \leq I_Z$. Ved å anta en PVC isolert inntakskabel av aluminium og tre belastede ledere, blir strømføringsevnen I_Z ved forskjellige referanseinstallasjonsmetoder slik:

Tabell 5-1: Strømføringsevnen til relevante tverrsnitt ved relevante referanseinstallasjonsmetoder. Hentet fra NEK 400-5-52 tabell 52B-4.

Nominelt ledertverrsnitt [mm^2]	Referanseinstallasjonsmetode		
	A2	C	D1
16	56	76	64
25	73	96	82
35	89	119	98

Her kommer det frem at en $25mm^2$ inntakskabel er mulig hvis OV er på 63A og mindre. Det blir derfor antatt en PFSP 3x25 Cu 40m for alle eksemplene. Det er derimot ikke tatt hensyn til eventuelle reduksjonsfaktorer som er viktige å være obs på.

5.1.3 Overliggende nett

Fra teorien om nettimpedans sto det at mange installasjoner i Norge i dag har veldig lave kortslutningsytelser i leveringspunktet. For å få med flest boliger i simuleringene, er maksimum og minimum kortslutningsytelse i leveringspunktet satt til hhv. veldig høyt og veldig lavt. En oversikt over antatte kortslutningsytelser i leveringspunktet er vist i Tabell 5-2.

Tabell 5-2: Antatte kortslutningsytelser i leveringspunktet for simuleringer og beregninger.

	Maks 3p korts.	Min 2p korts.	Maks 1p jordfeil (PEN)	Min 1p jordfeil (PEN)
$I_K [kA]$	15,0	0,4	14,0	0,3
$\cos \phi$	0,9	0,9	0,9	0,9

5.2 Valg av transformator

Tørrisolerte transformatorer er de som blir brukt på små effekter. De er ikke brennbare og har lav vekt. Størrelsen på transformatoren velges ut fra størrelsen på belastningen som i dette tilfellet vil være boligen med dets installerte effekt. Metoden for fastslåing av en boligs installert effekt kommer frem av samtidighetsfaktoren. Denne brukes fordi det er vanskelig å si noe om hvordan effektforbruket er over tid i boligen. Denne er erfaringsbasert. En ting som kan sies er at effektbruken ikke må være større enn det OV tillater. Ved en 3x63A hovedsikring burde følgelig strømmen ikke overstige 63A.

OV som er valgt å se på i denne oppgaven er mellom 2x32A og 3x63A. Siden $S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I$ for trefaseinstallasjoner og $S = U \cdot I$ for enfaseinstallasjoner blir dimensjonerende effekt for boliger med forskjellige OV-er som vist i Tabell 5-3 og Tabell 5-4.

Tabell 5-3: Dimensjonerende effekt for enfaseinstallasjoner med forskjellige OV-er. Neste standardstørrelse for transformatoren over dimensjonerende effekt er også med.

Sikringsstørrelse [A]	S [kVA] - enfase	Neste standardstørrelse på transformator [kVA]
2x32	7,4	8
2x40	9,2	10
2x50	11,5	12,5
2x63	14,5	16

Tabell 5-4: Dimensjonerende effekt for trefaseinstallasjoner med forskjellige OV-er. Neste standardstørrelse for transformatoren over dimensjonerende effekt er også med.

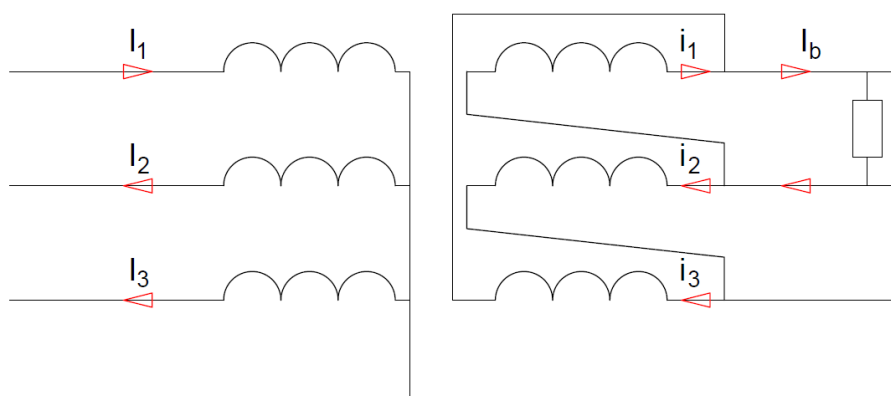
Sikringsstørrelse [A]	S [kVA] - enfase	Neste standardstørrelse på transformator [kVA]
3x32	12,7	16
3x40	15,9	16
3x50	20,0	20
3x63	25,1	30

Det kommer raskt frem av tabellene ovenfor at en 30kVA transformator vil kunne forsyne alle trefaseboliger og en 16kVA transformator vil kunne forsyne alle enfaseinstallasjoner.

5.2.1 Koblingsgruppe

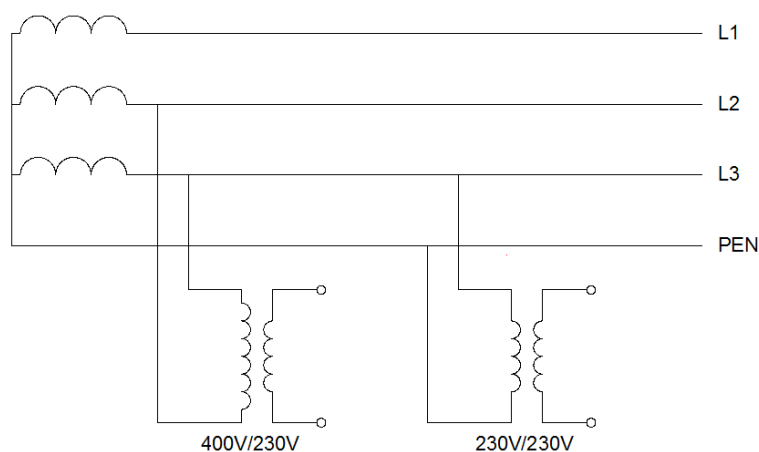
Standardmodellen til Noratel opererer med YNd1 kobling (se vedlegg 4). Denne koblingen vil være et bra valg siden den gir amperevindingsbalanse og ingen store strømmer i N- og PEN-leder ved skjevlast som det kom frem i teorien. Dermed er denne koblingen valgt å bruke i simuleringer og beregninger for trefaseinstallasjonene.

En del boliger har 230V IT-nett med kun to faser inn fra leveringspunktet. Dermed vil det være et 230/400V TN-C trefasenett på primærsiden av prototypen og et 230V IT enfasenett på sekundærsiden. Transformatoren som ble valgt for trefaseinstallasjonene var en Ynd koblet transformator. Fra teorien kom det frem at ved en belastningssituasjon som vist i Figur 5-1 ville dette gi både amperevindingsbalanse samt ingen bidrag til strøm i PEN-leder på primærsiden. Det vil bli en viss skjevlast i distribusjonsnettets på primærsiden, men ikke i like stor grad som hvis transformatoren hadde vært en YNy koblet transformator. Løsningen vil derfor fungere i praksis.



Figur 5-1: Illustrasjon av en trefasetransformator som leverer energi til en bolig med kun to faser.

Et alternativ vil være å bruke en enfasetransformator. Her er det to muligheter som vist i Figur 5-2.



Figur 5-2: Måter å koble en enfasetransformator på et 230/400 V TN-C system.

Dermed er det totalt tre måter å forsyne enfaseinstallasjoner fra prototypen. En ulempe ved å bruke en trefasetransformator er at dette gir dårlig utnyttelse av kapasiteten. Merkestrøm for en 30kVA trefasetransformator er:

$$I_N = \frac{30kVA}{\sqrt{3} \cdot 230V} = 75,3A$$

Hvis denne skal forsyne kun en enfaselast burde det ikke hentes ut mer effekt enn:

$$75,3A \cdot 230V = 17,3kVA$$

Denne strømmen blir likevel for stor i forhold til vernene som er antatt er på 63A. Dermed blir dimensjonerende effekt:

$$63A \cdot 230V = 14,5kVA$$

Dermed kan det enten plasseres en 30kVA trefasetransformator eller en 16kVA enfasetransformator.

Enfasetransformator vil gi betydelig skjevlast siden denne kobles mellom to ledere. Normalt vil det være flere boliger tilknyttet den overliggende distribusjonstransformatoren. Det er derfor viktig at nettselskapet fordeler belastningen på distribusjonsnettet slik at det ikke går for stor strøm gjennom PEN-leder. Slik at å koble enfasetransformatoren mellom fase og PEN leder er et alternativ. På en annen side vil en fase-fase kobling gjøre at strøm i PEN leder unngås fullt ut.

Fra vedlegg 1 kommer det frem at en 2LT00 16kVA koster 10080 og en 3LT00 30kVA koster 16800. Dermed vil det være økonomisk gunstig å velge en enfasetransformator. Det er derfor antatt en 400/230V enfasetransformator koblet mellom to faser i TN-C systemet.

5.2.2 Kortslutningsvern

Som nevnt tidligere i innledningen er målet at OV i boligen skal fungere som OV for transformatoren også. En detaljert beskrivelse av de forskjellige OV-ene som prototypen skal testes mot er vist i Tabell 5-5. For korslutningssikring av transformatoren er det valgt å prøve med NH-sikringer på grunn av deres rimelige pris til sammenligning med effektbrytere.

Tabell 5-5: Oversikt over OV brukt for simulering.

Fabrikkat	Bryterenhet	I_N	Karakteristikk
ABB	S800 N	32-63A	D
ABB STOTZ	S200 M	32-63A	C
ABB STOTZ	S750 DR	32-63A	E
Eaton	PLSM OV	32-63A	-
IEC	IEC Diazed D gG	32-63A	-

Ved valg av KV er det ikke bare selektivitet i forhold til boligens OV som må tas hensyn til. KV skal også bryte alle mulige strømmer som kan oppstå i anlegget. Faktorer som spiller inn på størrelsen på en kortslutning som KV ”ser” er det overliggende og det underliggende nettets impedans. Det overliggende nettets impedans ble diskutert under kapittel 5.1.3: ”overliggende nett”.

For den underliggende impedansen vil kabler og transformatoren ha en impedans som spiller inn på kortslutningsstrømmens størrelse. Kabelen er allerede antatt tidligere til å være en PFSP 3x25 Cu som er 40m lang og med referanseinstallasjonsmetode D1. Transformator impedansen antatt kan finnes i vedlegg 4.

Et siste punkt som er viktig å tenke på når KV skal dimensjoneres, er startstrømmen til transformatoren. I vedlegg 4 står det at Noratels 30kVA transformator har en startstrøm på 16 ganger merkestrøm. Her er det viktig at vernet er stort nok slik at det kan ta høyde for dette. Videre i vedlegget står det at anbefalt forankoblede vern for transformatoren er 50A for 30kVA. Vernet burde dermed ikke være mindre enn dette av hensyn til startstrøm.

KV som er brukt i simuleringene er av typen Siemens LV HRC 3NA6 NH-sikring. Det er simulert med forskjellige transformatorer og OV-er, slik at størrelsen på KV er tilpasset hvilke komponenter det skal kortslutningssikre.

5.3 Utforming av skap med hensyn på avkjøling

Fra delkapitlene ovenfor er det foreløpig valgt at arrangementet skal inneholde en transformator og KV. Det er antatt at transformatoren i de fleste tilfeller vil stå utendørs, dermed må den beskyttes mot vær og vind og et skap må bygges rundt den. I vedlegg 1 kommer det frem at prisen for en 30kVA trefasetransformator med beskyttelsesgrad IP54, IP23 og IP00 er hhv. 33.500, 17.900 og 16.800 NOK.

Den eneste transformatoren ovenfor som kan plasseres direkte ute i vær og vind er den med beskyttelsesgrad IP54. Denne er derimot nesten dobbelt så dyr som de andre to. Det er derfor valgt å se på mulighetene for et skap rundt transformatoren. Dermed er det videre valgt å se på transformatoren med IP00 utførelse siden denne er billigst.

For å dimensjonere skapet kan det være interessant å se på hvor mye luft som trengs for å holde temperaturen på transformatoren på et akseptabelt nivå. Målene brukt for transformatoren er listet opp i Tabell 5-6 og er funnet i vedlegg 4:

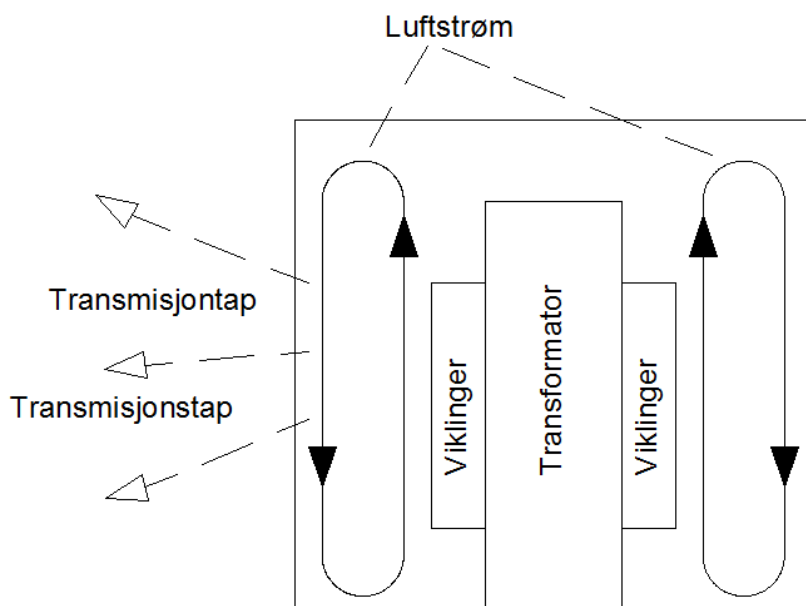
Tabell 5-6: Dimensjoner på Noratels trefasetransformatorer med kapslingsgrad IP00.

	Lengde [mm]	Bredde [mm]	Høyde [mm]
25kVA	480	300	500
30kVA	480	330	500
40kVA	540	520	670

Videre i vedlegg 4 kommer det frem at transformatorer på 30kVA har et effekttap på ca. 1kW ved merkelast. Det er antatt at luften inn er 20°C og at luften ut er 80°C. Til slutt er det antatt at denne temperaturforskjellen gjør at isolasjonstemperaturen holder seg på et akseptabelt nivå. Disse verdiene og antagelsene gir følgende luftstrøm ved hjelp av likning 12.

$$Q = \frac{P_{tap}}{c \cdot \Delta T} = \frac{1000 \frac{J}{s}}{1260 \frac{J}{m^3 \cdot K} \cdot (80 - 20)K} = 0,0132 \frac{m^3}{s} = 13,2 \frac{l}{s}$$

Det er også viktig å tenke på at skapet som skal stå rundt vil ha kapslingsgrad IP55. Fra teorien kom det frem at denne kapslingsgraden betyr at utstyret inni er støvbeskyttet og beskyttet mot spyling fra alle kanter. Dermed vil det være en begrenset mengde luft som kommer inn nede og ut oppe. I tillegg vil det være muligheter for at skapet snør ned. Dermed må skapet belage seg på at varmen må ledes gjennom skapveggene ved hjelp av transmisjon. Dermed vil avgivelse av varmen generert av transformatoren være slik som illustrert i Figur 5-3.



Figur 5-3: Illustrasjon av luftstrømmene i et tett skap og transmisjonstapene gjennom skapveggene.

Dette vil dermed medføre at luften må gå både opp og ned slik at plass behovet inne i skapet av hensyn på luftmengde må ta høyde for det dobbelte. Med andre ord må skapet kunne ta høyde for $26,4 \frac{l}{s}$.

For videre å regne ut hvilke areal som trengs innvendig for å kunne føre $26,4 \frac{l}{s}$ luft må lufthastigheten være kjent. Denne er veldig vanskelig å si eksakt siden det er mange variabler, men den er antatt å være $0,5 \frac{m}{s}$ basert på eksemplene i teorien. Dermed gir dette et behov for et areal på:

$$A = \frac{0,0264 \frac{m^2}{s}}{0,5 \frac{m}{s}} = 0,0528 m^2$$

Dette arealet er illustrert i Figur 5-4. Fra figuren kommer det frem at arealet som trengs rundt transformatoren blir:

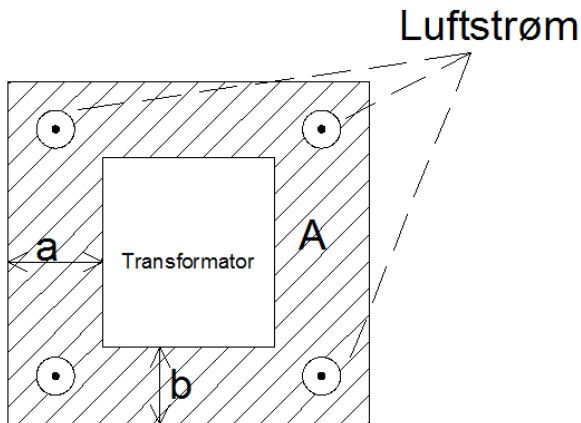
$$A = 2 \cdot (L + 2 \cdot a) \cdot b + 2 \cdot B \cdot a$$

Hvor B og L er bredden og lengden av transformatoren som nevnt i Tabell 5-6.

Ved å bruke formelen ovenfor samtidig som det antas at a og b er like store, blir resultatet minimumsverdiene av a og b:

$$0,0564 m^2 = 2 \cdot (0,48 m + 2 \cdot a) \cdot b + 2 \cdot 0,50 m \cdot b$$

$$a = b \approx 26 mm$$



Figur 5-4: Illustrasjon av et horisontalt tverrsnitt av innsiden av en transformatorkasse.

Beregningen ovenfor er basert på at all varmen blir avgitt til omgivelsene. Omgivelsene for den sirkulerende luften vil for dette tilfelle være veggene i skapet. Dermed må det også analyseres om veggene er store nok for at all effekten blir transmittert bort. For å beregne transmisjonen av varme gjennom skapveggene trengs likning 13:

$$P_t = U \cdot A \cdot \Delta T$$

Skapet er antatt bestående av kun rustfritt stål som har $U = 19,3 \frac{W}{mK}$. Det er antatt rustfritt stål siden det er det, skapet som det er sendt prisforespørsel på, består i hovedsak av (se vedlegg 2). Varme generert er på ca. 1kW. Det ble tidligere antatt at luften ut ble $80^\circ C$ og at ute temperaturen var $20^\circ C$. Ved hjelp av likning 13 gjør disse verdiene at det trengs et veggareal på:

$$A = 0,864m^2$$

Når det tas høyde for transmisjonen må skapveggene minimum ha et areal på $0,864mm^2$. Transformatoren var på $L \cdot B \cdot H = 480mm \cdot 330mm \cdot 500mm$. Sidene som avgir mest varme til omgivelsene vil være sidene og toppen. Totalt areal av sidene og toppen er dermed:

$$2 * 480 \cdot 500 + 2 \cdot 330 \cdot 500 + 330 \cdot 480 = 0,968mm^2 > 0,864mm^2$$

Altså vil et skap som er $26mm$ bredere, høyere og lengre enn transformatoren resultere i at temperaturen på viklingen holder seg på et akseptabelt nivå når forutsetningene ovenfor er tatt.

6 Økonomiske vurderinger

Der det oppstår et behov for prototypen er det antatt at det er tilgang på et 4-leder 230/400 V TN-C nett på primærsiden av transformatoren. På sekundærsiden er det antatt at det er tilgang på et 230V IT-nett. Derfor vil kostnadene ved installering av prototypen kun være pris på prototypen pluss arbeidet for å montere og installere prototypen.

I Tabell 6-1 er priser fra planleggingsboken av Sintef (se Tabell 4-2) brukt som grunnlag for å anslå priser. Kostnadene i planleggingsboken var for et kabelskap med bredde 330 mm.

Prisene nedenfor er dermed anslått på basis av dette noe som er en potensiell feilkilde.

Likevel er mye av kostnadene som medfølger montering av et kabelskap lik de kostnadene som kommer til å medfølge prototypen. Resultatet er at noen av kostnadselementene fra planleggingsboken kan kopieres som KV, sikringsbryterlisten, fundament og gravekostnader.

Det er antatt at prisen for NH-sikringer er uavhengig av størrelsen på sikringen. Den vil antageligvis variere noe, men dette vil være neglisjerbart i forhold til andre kostnadselementer.

Andre elementer er fått fra leverandører, herunder transformatoren og skapet som er skaffet fra hhv. Noratel og Schneider Electric. De siste kostnadene er tilkobling av IT og TN nettet til prototypen og montering av transformator og vern. Disse er anslått på basis kostnadselementene nevnt i Tabell 4-2 vedrørende tilkobling av kabler i fordelingsskapet. Det er også rundet av oppover til nærmeste tusen for å ha god margin siden disse prisene er så usikre.

Ved å ha en 30kVA trefasetransformator og en 16kVA enfasetransformator med et 63A KV foran begge, blir total kostnadene for prototypene som vist i Tabell 6-1.

Tabell 6-1: Kostnader ved installering av prototypen.

Kostnadselement	Kostnad [NOK] for prototype til enfaseinstallasjoner	Kostnad [NOK] for prototype til trefaseinstallasjoner
Skap	3000	3000
Transformator	10.800	16.800
Høyeffektsikring 50A, 63 eller 80A	100	150
Sikringsbryterlist	1160	1160
Fundament til skap	1500	1500
Grave og sette ned skap	650	650
Montere transformator og vern i skap	2000	2000
Tilkoble IT og TN nettet til prototypen	1000	1000
Registrering av nettdata i prototypen	320	320
Totalt	20.500	26.600

Tabell 6-2: Kostnad ved ombygging fra 230 V IT-nett til 230/400 V TN-nett for forskjellige typer installasjoner.

Type anlegg utført i henhold til en norm eller forskrift	Minimum pris [NOK]	Maks pris [NOK]
Enfasede installasjoner bygd i henhold til FEB-91 eller NEK 400	4900	9200
Enfasede installasjoner bygd i henhold til FEB-88	6400	12.100
Enfasede installasjoner bygd i henhold til FEA-63	9200	14.900
Eldre trefaseinstallasjoner bygd før FEB-91	12.400	25.400
Eldre trefaseinstallasjoner bygd før FEB-91 <ul style="list-style-type: none"> Kriteriet for tverrsnittet til PEN-leder er ikke oppfylt 	14.800	32.200
Nyere trefaseinstallasjoner bygd etter FEB-91 eller NEK 400	12.400	25.400

6.1 Ekstrakostnader ved spesielle utførelser av inntaket til boligen

Fra kapittelet om inntak i boliger var det mange måter inntaket var løst på. Det kan enten komme en kabel nedlagt i jord eller via et luftspenn og inn på veggen. Videre sto det at etter 2006 er det ikke lov med sikringer oppe i masten. Dermed må prototypen plasseres på bakken. Dette resulterer videre i at et problem oppstår med enkelte boliger som har luftspenn med leveringspunktet oppe på veggen.

For disse installasjonene er det to alternativ.

- Legge ny kabel i jord frem til boligen og videre på vegg til leveringspunktet.
- Plassere prototypen ved masten og legge kabel ned og opp i masten. Dermed kan eksisterende luftspenn benyttes.

For løsning 1 er grøftkostnader estimert til 300.000NOK/km, 420.000 og 670.000NOK/km hvis det skal graves i hhv. landsbygd, forstad eller byområde. Siden luftspennet antageligvis kommer fra nærmeste mast er det antatt at lengden ikke vil overstige 100m. Dette gir minimum 30.000 og maksimum 67.000 i grøftkostnader. I tillegg kommer kabelen på 4700 NOK for 150m som også monteres opp veggen på installasjonen frem til inntaket.

For løsning 2 må det monteres en kabel opp og ned på masten. Dermed vil ekstrakostnadene komme fra det faktum at det må spikres en kabel opp masten igjen for så å tilkobles luftspennet. Totale kostnader for 50m TFXP 4x25 Al med montering, anlegg og prosjektering blir prisen 2500NOK.

6.2 Diskusjon

Basert på totalkostnaden for prototypene sammenlignet med prisene for ombygging av forskjellige installasjoner kom det raskt frem at løsningene er for dyre. For trefaseinstallasjonene er det kun eldre trefaseinstallasjoner bygd før FEB-91 hvor det kan være lønnsomt ved bruk av en 30kVA transformator. Kostnaden for denne ombyggingen kan komme opp i 32.200 NOK, mens prototypen blir på ca. 26.6000 NOK. For enfaseinstallasjonene er det ingen installasjoner hvor det lønner seg med en prototype. Basert på disse tallene vil det med andre ord være mest lønnsomt å bygge om boligene som kun har to faser inn.

Kostnadselementene for prototypen er likevel usikre. Hvis det blir stor etterspørsel på denne prototypen kan prisen på transformatoren og skapet bli presset ned. Kostnadene ”montere transformator og vern i skap” og ”tilkoble IT og TN nettet til prototypen” er de mest usikre. De er også like store for både en- og trefasetransformatoren. De vil mest sannsynlig være noe mindre for enfasetransformatoren. På en annen side er maks pris for ombygging av enfaseinstallasjoner bygd i henhold til FEA-63 14.900 NOK og prototypen med enfasetransformatoren på 20.500 NOK. Altså ca. 5600 NOK dyrere. Selv ved å byggen en prototype med en 10kVA enfasetransformator som kun tar høyde for installasjoner med OV på 40A og mindre vil kostnadsposten for transformator reduseres med kun 2000 NOK. Det skal med andre ord mye til før dette blir lønnsomt.

Når det gjelder prototypen med trefasetransformatoren er det noen installasjoner det lønner seg for. Det kommer også frem at den dyreste posten for denne prototypen er selve transformatoren. Ved å plassere inn en transformator en standardstørrelse mindre, altså 25kVA, blir denne posten på 15.800 NOK, eventuelt 13.900 NOK for en 20kVA transformator. Her kan med andre ord totalkostnaden reduseres med noen få tusen. Problemet som oppstår ved å redusere transformatorstørrelsen er at merkestrømmen til transformatoren reduseres. Den blir på:

$$I_{N,25kVA} = \frac{25kVA}{\sqrt{3} \cdot 230V} \approx 62,8A$$

$$I_{N,20kVA} = \frac{20kVA}{\sqrt{3} \cdot 230V} \approx 50,2A$$

Ved å sette inn en 20kVA transformator vil OV til boligen være for stor som OV for transformatoren hvis denne er på 63A. Transformatoren må være sikret mot overbelastning for ikke å bli ødelagt. Ved å plassere inn en 25kVA transformator vil besparelsen likevel bare være en 1000 NOK billigere transformator.

Et siste alternativ vil være å sette inn forskjellige trefasetransformator basert på hvilke OV som er i bygget. Tabell 6-3 viser resultatet.

Tabell 6-3: Totalkostnad for tre forskjellige prototyper.

Kostnadselement	Kostnad [NOK] for prototype til trefaseinstallasjoner med OV 50A	Kostnad [NOK] for prototype til trefaseinstallasjoner med OV 40A	Kostnad [NOK] for prototype til trefaseinstallasjoner med OV 32A
Skap	3000	3000	3000
Transformator	13.900	12.300	10.850
Høyeffektsikring 50A, 63 eller 80A	150	150	150
Sikringsbryterlist	1160	1160	1160
Fundament til skap	1500	1500	1500
Grave og sette ned skap	650	650	650
Montere transformator og vern i skap	2000	2000	2000
Tilkoble IT og TN nettet til prototypen	1000	1000	1000
Registrering av nettdata i prototypen	320	320	320
Totalt	23.700	22.100	20.600

Det kommer frem av tabellen ovenfor at disse tre løsningene er potensielt lønnsom. Det er derfor valgt å simulere disse i neste kapittel.

7 Simulering og beregning av prototypen.

Basert på kartleggingen og den økonomiske vurderingen i de to forrige kapitlene skal det velges KV for en trefasetransformator på 12,5, 16 og 20kVA.

For å vite hvilke omsetning prototypen burde ha er det først foretatt en spenningsfallberegning for hånd. Det er beregnet ved forskjellige belastningsstrømmer I_b og med omsetningene 400/230, 400/235 og 400/240 på transformatoren. Inntakskabelen er en PFSP 3x25 Cu og det er antatt at spenningen på primærsiden av transformatoren er 400V. Spenningsfallresultatene er presentert i Tabell 7-1, Tabell 7-2 og Tabell 7-3. En mer detaljert beregning kan finnes i vedlegg 5. Basert på resultatene fra beregningene er det tatt en rask evaluering for å kunne fastslå hvilken omsetning som vil være best å simulere med videre.

Deretter er det foretatt en selektivitetsanalyse mellom en OV på 32, 40 og 50A og forskjellige NH-sikringer. Disse analysene er presentert i hhv. Figur 7-1, Figur 7-2 og Figur 7-3. Trengs flere detaljer rundt analysen kan disse finnes i vedlegg 6.

Til slutt er det foretatt kortslutningsberegninger for å se om KV klarer å legge ut alle strømmene til rett tid. Her vil OV være irrelevant siden det kun ses på alle feil som er overliggende OV. Her har derfor alle resultatene Eatons PLSM OV som OV. Her kommer dermed nettimpedans, transformatorimpedans og kabelimpedans inn. Trengs flere detaljer rundt beregningene kan disse finnes i vedlegg 7.

7.1 Beregning av spenningsfall og valg av omsetning til transformator

Tabell 7-1: Beregningsresultater av spenningsfallet over en 20kVA trefasetransformator og inntakskabel frem til hovedfordeling.

I_b [A]	$U_{HF,230V}$ [V]	$U_{HF,235V}$ [V]	$U_{HF,240V}$ [V]
10	228,5	233,5	238,4
20	227,0	231,9	236,8
30	225,5	230,4	235,3
40	224,0	228,8	233,7
50	222,5	227,3	232,1

Tabell 7-2: Beregningsresultater av spenningsfallet over en 16kVA trefasetransformator og inntakskabel frem til hovedfordeling.

I_b [A]	$U_{HF,230V}$ [V]	$U_{HF,235V}$ [V]	$U_{HF,240V}$ [V]
10	228,5	233,5	238,4
20	227,0	231,9	236,8
30	225,5	230,4	235,3
40	224,0	228,8	233,7

Tabell 7-3 Beregningsresultater av spenningsfallet over en 12,5kVA trefasetransformator og inntakskabel frem til hovedfordeling.

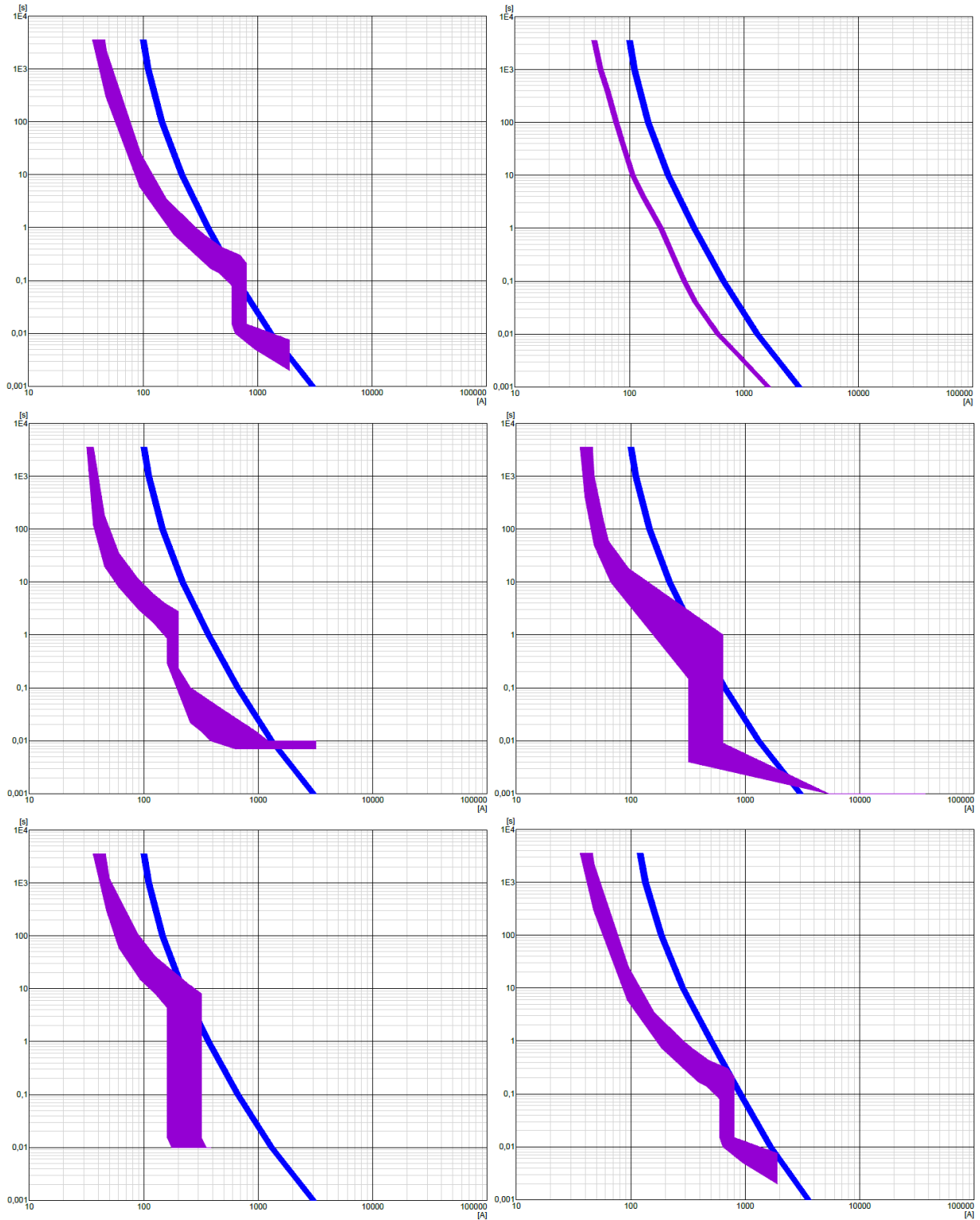
I_b [A]	$U_{HF,230V}$ [V]	$U_{HF,235V}$ [V]	$U_{HF,240V}$ [V]
10	226,7	231,5	236,4
20	223,3	228,0	232,8
30	219,9	224,5	229,1

Det kommer raskt frem av tabellene ovenfor at ved en omsetning på 400/230V vil spenningen i hovedfordelingen sjelden komme over 230V. Hvis nettstyrken er lav samtidig som det er høy belastning kan spenningen ved belastning bli uakseptabelt lav. Velger derfor å simulere videre med omsetningen 400/235.

7.2 Simulering med trefasetransformator i Febdok

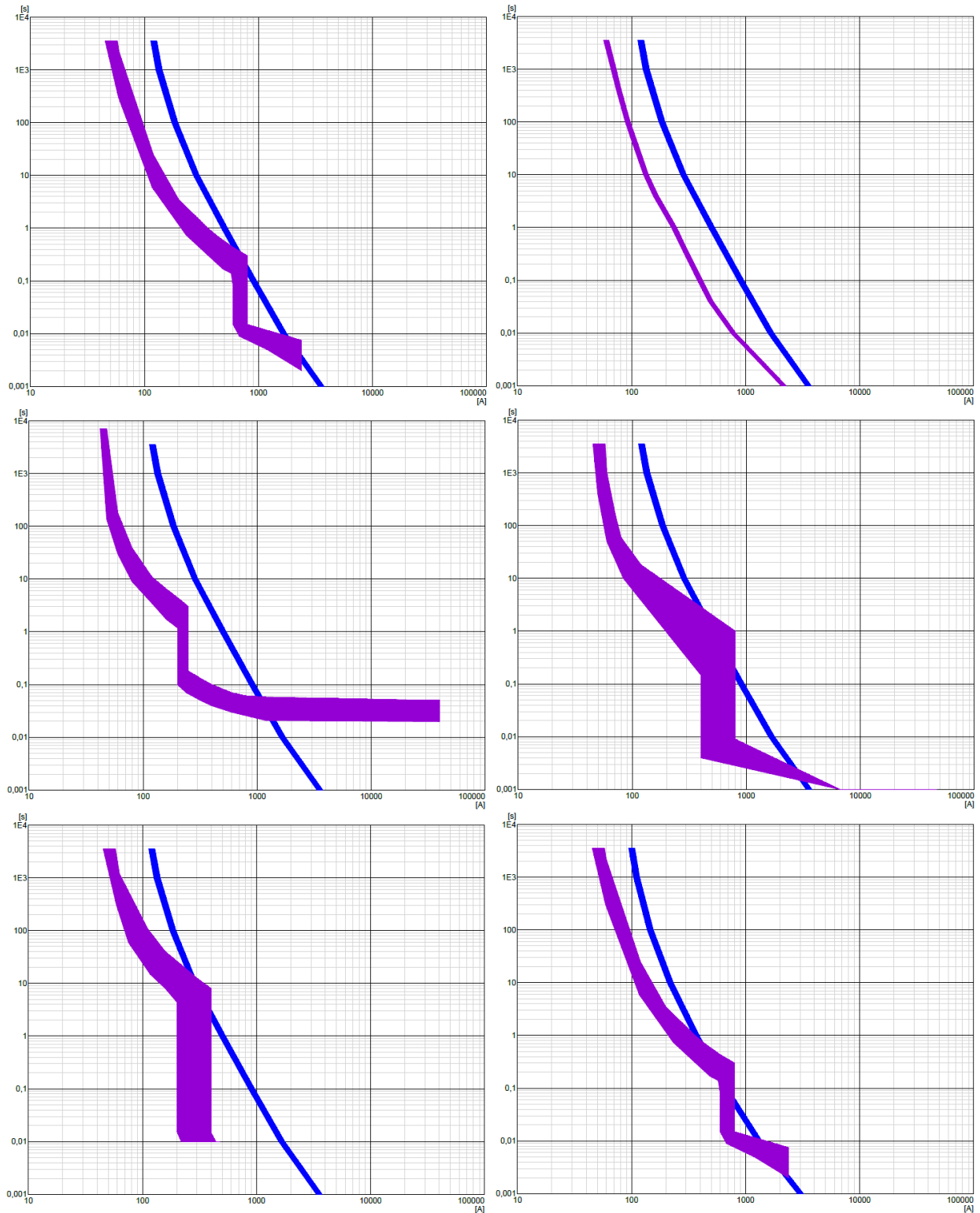
7.2.1 Selektivitetsanalyse

Overbelastningsvern 32A



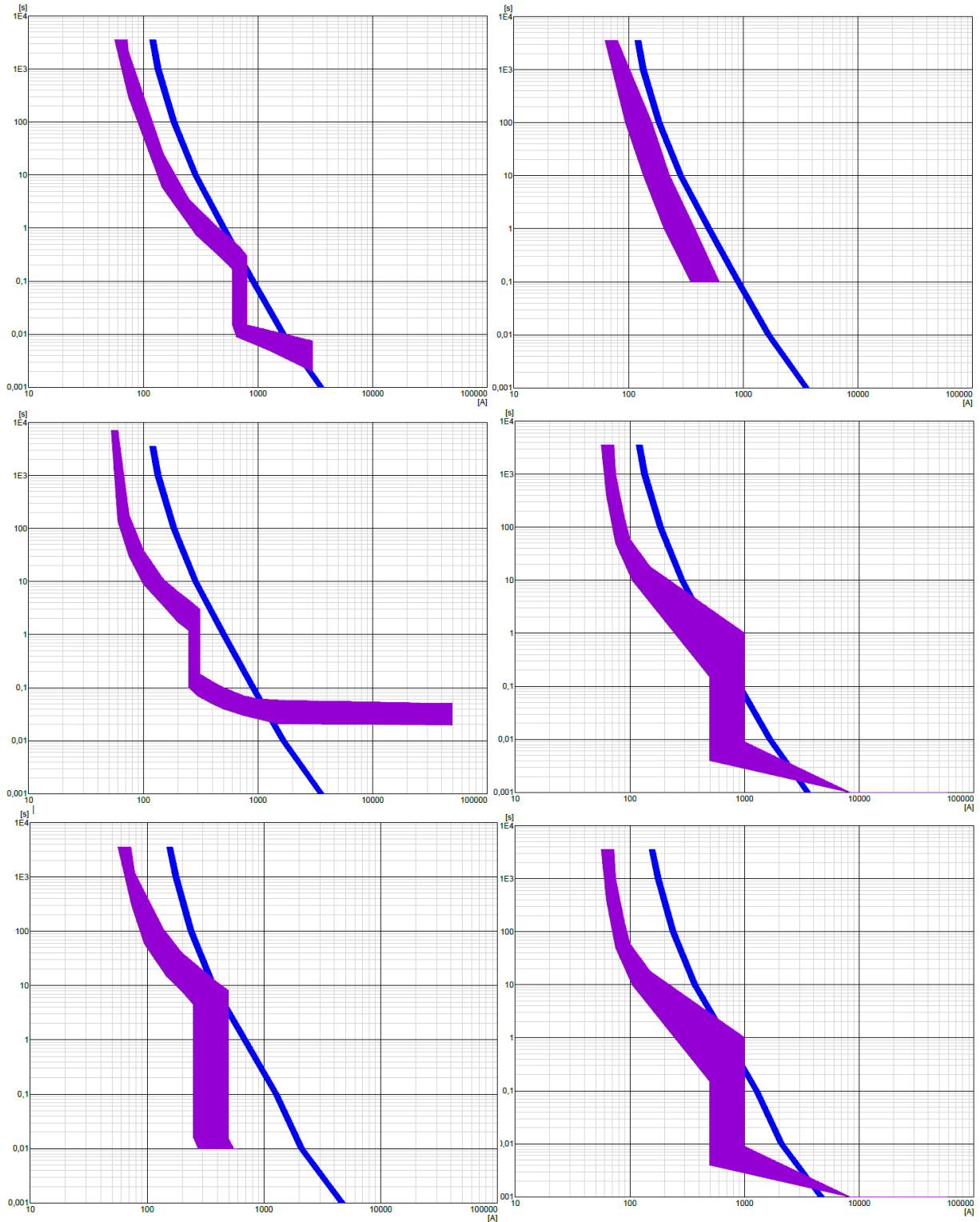
Figur 7-1: Selektivitetsanalyse mellom KV og OV (Fra øverst til venstre til nederst til høyre): Eatons PLSM OV, diazed smeltesikring, ABBs S700, ABBs S800 N, ABBs S200 M og Eatons PLSM OV. De fem første analysene har en forankoblet NH-sikring på 40A og den siste har en 50A forankoblet NH-sikring.

Overbelastningsvern 40A



Figur 7-2: Selektivetsanalyse mellom KV og OV (Fra øverst til venstre til nederst til høyre): Eaton's PLSM OV, diazed smeltesikring, ABBs S750 DR, ABBs S800 N, ABBs S200 M og Eaton's PLSM OV. De fem første analysene har en forankoblet NH-sikring på 50A og den siste har en 40A forankoblet NH-sikring.

Overbelastningsvern 50A



Figur 7-3: Selektivetsanalyse mellom KV og OV (Fra øverst til venstre til nederst til høyre): Eatons PLSM OV, diazed smeltesikring, ABBs S750 DR, ABBs S800 N, ABBs S200 M og ABBs S800 N. De fire første analysene har en forankoblet NH-sikring på 50A og de to siste har en 63A forankoblet NH-sikring.

7.2.2 Kortslutningsberegninger

Tabell 7-4: Beregningsresultater med en forankoblet NH-sikring på 50A, OV på 50A og en 20kVA transformator med e_k på 2,2 % og e_r på 1,9 %.

	Kortslutningsvern					Overbelastningsvern				
	Ik [kA]	cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2S^2/I^2$ [s]	t utkobling [s]	Ik [kA]	cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2S^2/I^2$ [s]	t utkobling [s]
Ik3p max	1,316	0,87	1,908	1,576	0,005					
Ik3p max ende	0,919	0,92	1,327	3,231	0,015	1,599	0,92	2,308	3,233	0,010
Ik3p min	0,287	0,92	0,414	32,999	1,328	0,508	0,91	0,734	32,029	0,806
Ik2p max	1,140	0,87	1,653	2,101	0,007					
Ik2p max ende	0,796	0,92	1,149	4,308	0,026	1,385	0,92	1,999	4,309	0,011
Ik2p min	0,249	0,92	0,360	43,999	2,359	0,440	0,91	0,635	42,694	1,049

Tabell 7-5: Beregningsresultater med en forankoblet NH-sikring på 63A, OV på 50A og en 20kVA transformator med e_k på 2,2 % og e_r på 1,9 %.

	Kortslutningsvern					Overbelastningsvern				
	Ik [kA]	cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2S^2/I^2$ [s]	t utkobling [s]	Ik [kA]	cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2S^2/I^2$ [s]	t utkobling [s]
Ik3p max	1,316	0,87	1,908	1,576	0,009					
Ik3p max ende	0,919	0,92	1,327	3,231	0,047	1,599	0,92	2,308	3,233	0,010
Ik3p min	0,287	0,92	0,414	32,999	4,112	0,508	0,91	0,734	32,029	0,806
Ik2p max	1,140	0,87	1,653	2,101	0,017					
Ik2p max ende	0,796	0,92	1,149	4,308	0,091	1,385	0,92	1,999	4,309	0,011
Ik2p min	0,249	0,92	0,360	43,999	6,949	0,440	0,91	0,635	42,694	1,049

Tabell 7-6: Beregningsresultater med en forankoblet NH-sikring på 80A, OV på 50A og en 20kVA transformator med e_k på 2,2 % og e_r på 1,9 %.

	Kortslutningsvern					Overbelastningsvern				
	Ik [kA]	cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2S^2/I^2$ [s]	t utkobling [s]	Ik [kA]	cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2S^2/I^2$ [s]	t utkobling [s]
Ik3p max	1,316	0,87	1,908	1,576	0,027					
Ik3p max ende	0,919	0,92	1,327	3,231	0,124	1,599	0,92	2,308	3,233	0,010
Ik3p min	0,287	0,92	0,414	32,999	8,787	0,508	0,91	0,734	32,029	0,806
Ik2p max	1,140	0,87	1,653	2,101	0,050					
Ik2p max ende	0,796	0,92	1,149	4,308	0,207	1,385	0,92	1,999	4,309	0,011
Ik2p min	0,249	0,92	0,360	43,999	18,214	0,440	0,91	0,635	42,694	1,049

Tabell 7-7: Beregningsresultater med en forankoblet NH-sikring på 40A, OV på 40A og en 16kVA transformator med e_k på 2,8 % og e_r på 2,4 %.

	Kortslutningsvern					Overbelastningsvern				
	Ik [kA]	cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2S^2/I^2$ [s]	t utkobling [s]	Ik [kA]	cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2S^2/I^2$ [s]	t utkobling [s]
Ik3p max	0,855	0,86	1,241	3,732	0,008					
Ik3p max ende	0,670	0,91	0,968	6,087	0,018	1,165	0,91	1,683	6,090	0,012
Ik3p min	0,253	0,91	0,365	42,518	0,639	0,447	0,91	0,646	41,368	0,683
Ik2p max	0,741	0,86	1,075	4,976	0,013					
Ik2p max ende	0,580	0,91	0,838	8,117	0,030	1,009	0,91	1,458	8,119	0,013
Ik2p min	0,219	0,91	0,316	56,690	1,142	0,387	0,91	0,559	55,189	0,879

Tabell 7-8: Beregningsresultater med en forankoblet NH-sikring på 50A, OV på 40A og en 16kVA transformator med e_k på 2,8 % og e_r på 2,4 %.

	Kortslutningsvern					Overbelastningsvern				
	Ik [kA]	cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2S^2/I^2$ [s]	t utkobling [s]	Ik [kA]	cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2S^2/I^2$ [s]	t utkobling [s]
Ik3p max	0,855	0,86	1,241	3,732	0,020					
Ik3p max ende	0,670	0,91	0,968	6,087	0,049	1,165	0,91	1,683	6,090	0,012
Ik3p min	0,253	0,91	0,365	42,518	2,211	0,447	0,91	0,646	41,368	0,683
Ik2p max	0,741	0,86	1,075	4,976	0,033					
Ik2p max ende	0,580	0,91	0,838	8,117	0,084	1,009	0,91	1,458	8,119	0,013
Ik2p min	0,219	0,91	0,316	56,690	3,965	0,387	0,91	0,559	55,189	0,879

Tabell 7-9: Beregningsresultater med en forankoblet NH-sikring på 63A, OV på 40A og en 16kVA transformator med e_k på 2,8 % og e_r på 2,4 %.

	Kortslutningsvern					Overbelastningsvern				
	Ik [kA]	cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2S^2/I^2$ [s]	t utkobling [s]	Ik [kA]	cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2S^2/I^2$ [s]	t utkobling [s]
Ik3p max	0,855	0,86	1,241	3,732	0,065					
Ik3p max ende	0,670	0,91	0,968	6,087	0,176	1,165	0,91	1,683	6,090	0,012
Ik3p min	0,253	0,91	0,365	42,518	6,552	0,447	0,91	0,646	41,368	0,683
Ik2p max	0,741	0,86	1,075	4,976	0,121					
Ik2p max ende	0,580	0,91	0,838	8,117	0,302	1,009	0,91	1,458	8,119	0,013
Ik2p min	0,219	0,91	0,316	56,690	11,704	0,387	0,91	0,559	55,189	0,879

Tabell 7-10: Beregningsresultater med en forankoblet NH-sikring på 32A, OV på 32A og en 12,5kVA transformator med e_k på 3,9 % og e_r på 3,4 %.

	Kortslutningsvern					Overbelastningsvern				
	Ik [kA]	cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2S^2/I^2$ [s]	$t_{utkobling}$ [s]	Ik [kA]	cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2S^2/I^2$ [s]	$t_{utkobling}$ [s]
Ik3p max	0,492	0,87	0,713	11,279	0,021					
Ik3p max ende	0,424	0,90	0,613	15,169	0,036	0,738	0,90	1,067	15,176	0,263
Ik3p min	0,202	0,91	0,292	66,795	0,587	0,355	0,90	0,513	65,587	0,691
Ik2p max	0,426	0,87	0,617	15,038	0,035					
Ik2p max ende	0,367	0,90	0,530	20,226	0,062	0,639	0,90	0,924	20,243	0,329
Ik2p min	0,175	0,91	0,253	89,060	1,008	0,308	0,90	0,445	87,131	0,888

Tabell 7-11: Beregningsresultater med en forankoblet NH-sikring på 32A, OV på 32A og en 12,5kVA transformator med e_k på 3,9 % og e_r på 3,4 %.

	Kortslutningsvern					Overbelastningsvern				
	Ik [kA]	cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2S^2/I^2$ [s]	$t_{utkobling}$ [s]	Ik [kA]	cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2S^2/I^2$ [s]	$t_{utkobling}$ [s]
Ik3p max	0,492	0,87	0,713	11,279	0,052					
Ik3p max ende	0,424	0,90	0,613	15,169	0,086	0,738	0,90	1,067	15,176	0,263
Ik3p min	0,202	0,91	0,292	66,795	1,628	0,355	0,90	0,513	65,587	0,691
Ik2p max	0,426	0,87	0,617	15,038	0,085					
Ik2p max ende	0,367	0,90	0,530	20,226	0,148	0,639	0,90	0,924	20,243	0,329
Ik2p min	0,175	0,91	0,253	89,060	3,057	0,308	0,90	0,445	87,131	0,888

Tabell 7-12: Beregningsresultater med en forankoblet NH-sikring på 32A, OV på 32A og en 12,5kVA transformator med e_k på 3,9 % og e_r på 3,4 %.

	Kortslutningsvern					Overbelastningsvern				
	Ik [kA]	cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2S^2/I^2$ [s]	$t_{utkobling}$ [s]	Ik [kA]	cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2S^2/I^2$ [s]	$t_{utkobling}$ [s]
Ik3p max	0,492	0,87	0,713	11,279	0,159					
Ik3p max ende	0,424	0,90	0,613	15,169	0,285	0,738	0,90	1,067	15,176	0,263
Ik3p min	0,202	0,91	0,292	66,795	5,498	0,355	0,90	0,513	65,587	0,691
Ik2p max	0,426	0,87	0,617	15,038	0,280					
Ik2p max ende	0,367	0,90	0,530	20,226	0,502	0,639	0,90	0,924	20,243	0,329
Ik2p min	0,175	0,91	0,253	89,060	9,825	0,308	0,90	0,445	87,131	0,888

8 Oppsummering og endelig diskusjon

8.1 Valg av transformator

Ved valg av transformator er det mange faktorer som spiller inn. Angrepsvinkelen i dette prosjektet var i utgangspunktet å skape en prototype som kunne ta høyde for alle boligene i Norge. En av dimensjoneringsfaktorene ble dermed OV i boligene. Med andre ord skulle OV i boligen også fungere som OV for transformatoren.

En av ulempene ved denne angrepsvinkelen er hvis en bolig er overdimensjonert. Det vil si at boligen for eksempel har et 3x50A vern som det kom frem tidligere tilsvarer ca. 20kW, men boligen bruker til vanlig kanskje bare 15kW eller mindre. Dette resulterer i at ved å plassere en 20kVA transformator foran boligen vil denne også være overdimensjonert. Det kom frem i kostnadene for prototypen at den dyreste posten var selve transformatoren. Dermed hvis boligen kun trekker 15kW til vanlig vil det kunne spares på kostnadene ved å sette inn en 16kVA transformator.

Problemet med å sette inn en mindre transformator er at denne må sikres mot overbelastning i tillegg til OV i boligen. Ved å sette en mindre OV rett etter transformatoren enn OV i boligen vil dette kunne medføre uhensiktsmessige utkoblinger av hele installasjonen. I tillegg vil det kun være nettselskapet som har tilgang til transformatoren og vernene.

Et alternativ vil være å bytte OV i boligen til et mindre vern. Dette vernet er dimensjonert etter samtidighetsfaktoren. Samtidighetsfaktoren er videre basert på alle kursene i boligen slik at å redusere OV i boligen kan også kunne gi uhensiktsmessige utkoblinger av hele boligen.

Det er derfor mange problemer som dukker opp ved å redusere transformator størrelsen. En prototype med en 20kVA transformator vil kunne ta høyde for de fleste boliger i Norge med 50A OV og mindre. Siden selve transformatoren er den dyreste delen av prototypen kan det derfor være en idé å ha en prototype med en mindre transformator som kan plasseres foran boliger som har mindre OV. Slik at ved å plassere en 12,5, 16 og en 20kVA trefasetransformator foran en bolig med hhv. 32, 40 og 50A OV-er vil kunne gi en mindre total kostnad av en ombygging.

Når det gjaldt spenningsfallet over trefasetransformatoren og inntakskabelen var det beregnet at nettselskapet leverte 400V ved primærsiden av transformatoren. Disse beregningene ble presentert i Tabell 7-1, Tabell 7-2 og Tabell 7-3. Essensen fra disse tabellene er presentert i Tabell 8-1.

Tabell 8-1: Resultatet fra spenningsfallberegningene i Tabell 7-1, Tabell 7-2 og Tabell 7-3. Spenningsfallet er over transformator og inntakskabel.

	Omsetning	Liten belastning	Full belastning
20kVA	400/230	229	223
	400/235	234	227
	400/240	238	232
16kVA	400/230	229	224
	400/235	234	229
	400/240	238	234
12,5kVA	400/230	227	220
	400/235	232	225
	400/240	236	229

Det er vanskelig å si noe om nettstyrken på forhånd til de forskjellige boligene som det oppstår et behov for en slik prototype. Derfor er det mulig å bestille transformatorer med forskjellige omsetninger. Dermed kan transformatoren med omsetningen 400/240 brukes hvis nettstyrken er dårlig og motsatt for 400/230.

En annen mulighet er å velge samme omsetning for alle prototypene. Det kan tenkes at siden IT-distribusjonsnettets blir ombygd til TN, kan nettstyrken bli bedre og jevnere over hele distribusjonsnettets. Ved å velge 400/235 er spenningen i hovedfordelingen i boligen for alle transformatorene på $230V_{-}^{+}$ noen Volt. Det sto beskrevet i FOL at det var akseptabelt spenningsnivå såfremt spenningen i leveringspunktet varierte med $_{-}^{+}10\%$, noe som blir $230V_{-}^{+}23V$. Det var antatt at det var 400V på primærsiden av transformatoren i beregningene. Denne spenningen er selvfølgelig avhengig av hvor installasjonen befinner seg i distribusjonsnettets, men det er likevel en god margin ved å velge omsetningen 400/235.

Det er også viktig å være obs på at prototypene ikke er et reelt tilfelle. Dermed kan simuleringsresultatene ha potensielle feilkilder.

8.2 Valg av kortslutningsvern

Det kom frem av selektivetsanalysen at ved å plassere en KV med én standardstørrelse over OV i boligen ville det bli relativt god selektivitet i alle tilfeller. ABB S750 DR og diazed smeltesikring hadde veldig bra selektivitet. Eatons PLSM OV, ABBs S800 N og ABBs S200 M fikk et mindre areal på karakteristikken ved 300-500A i kortslutning hvor KV kan legge ut før OV. Dermed ved å sette inn en KV som er like stor som OV vil gi dårligere selektivitet. Ved å sette inn en KV som er to størrelser større enn OV kan det oppnås enda bedre selektivitet. Det er verdt å merke seg her at ABBs S800 N og S200 M ikke er optimale som OV som det ble nevnt tidligere. Det kan tenkes at i enkelte av installasjonene som bruker disse vernene ikke har optimal selektivitet fra før, såfremt ikke et relativt stort KV er brukt.

Et annet punkt som er viktig når selektiviteten analyseres er at det også vil være kurssikringer i en bolig. Dermed hvis det er en relativt god selektivitet mellom KV og OV, så skal videre OV helst ha god selektivitet til kurssikringene. Før det tas en endelig avgjørelse på KV er det viktig å analysere kortslutningsstrømmene.

Fra kortslutningsberegningene kommer det raskt frem at ved å plassere en KV som er to størrelser større enn OV blir tidene ved laveste kortslutningsstrøm på rundt 10 sekunder. Hvis tidene før vernet legger ut er over fem sekunder for de minste kortslutningsstrømmene gir dette økt fare for brann på feilstedet og dette anbefales ikke i NEK400.

Ved å plassere en KV som er en størrelse større enn OV blir tidene ved laveste kortslutningsstrøm på ca. 3, 4 og 6 sekunder for en transformator på hhv. 12,5, 16 og 20kVA. En av tidene er fremdeles over fem sekunder.

På en annen side er minimum kortslutningsytelse brukt i simuleringen på 400A, noe som representerer under 14 % av installasjonene i dagens distribusjonsnett. 400A i kortslutningsytelse er meget dårlig og det er stor sannsynlighet for at nettstyrken blir bedre når distribusjonsnettet bygges om. Dermed siden nettytelsen er så dårlig kan det tenkes at alle tidene for utløsning av laveste kortslutningsstrøm ved en KV som er én størrelse større enn KV blir under fem sekunder.

Et siste punkt som også er viktig å tenke på er at KV skal være selektiv til eventuelle andre overliggende vern. Slik at å sette inn en alt for stor KV kan gi problemer for overliggende vern. Som nevnt tidligere er det viktig å være obs at det ikke er simulert et reelt tilfelle noe som kan gjøre at simuleringsresultatene har potensielle feilkilder.

8.3 Utforming av skap

Det kom frem i kapittelet 5.3: ”utforming av skap med hensyn på avkjøling” at skapet trengte kun å være noen titalls mm større enn selve transformator når det kun ble tatt hensyn til avkjøling. I realiteten må det være plass til KV inne i skapet. Siden kapslingsgraden til transformatoren er IP00 må det også plasseres avskjerminger inne i transformatoren. Dette er for å unngå at sakkyndig personell kommer i fare ved inspeksjon og eventuelle bytting av KV. Avskjermingen skal kun kunne fjernes ved hjelp av verktøy eller nøkkel ved vedlikehold av transformatoren.

I beregningene er det heller ikke tatt hensyn til trykkfall eller turbulens som kan oppstå når den sirkulerende luften i skapet møtes. Det ble også foretatt mange antagelser siden det var mange variabler å ta hensyn til under beregningene. Derfor må det antageligvis være noe større dimensjoner enn 26mm for å unngå at transformatoren blir overopphetet.

Dimensjonene til skapet må derfor ta høyde for faktorene nevnt ovenfor. Skapet trenger dermed å være noe større enn selve transformatoren. Siden KV og avskjermingene også skal ha plass inne i skapet vil dette også medføre tillegg i dimensjonene. Det vil også være bra hvis det er lett å komme til for vedlikehold av transformatoren. Målene for 12,5, 16 og 20kVA trefasetransformatoren er som vist i Tabell 8-2.

Tabell 8-2: Dimensjoner på trefasetransformatorene 12,5kVA, 16kVA og 20kVA.

	Lengde [mm]	Bredde [mm]	Høyde [mm]
12,5kVA	420	240	440
16kVA	420	270	440
20kVA	420	300	440

Det er mulig å bruke tre forskjellige skap til vær løsning. Dette vil gjøre at materialkostnadene på skapet går ned for de mindre transformatorene. På basis av tabellen ovenfor er det likevel liten forskjell i størrelsen på transformatorene. Denne er kun på 60mm i bredden mellom den største og minste transformatoren.

8.4 Boligeiers vilkår

Det kommer frem av oppgaveteksten at grunnlaget for denne prototypen er hvis boligeier nekter å påta seg kostnadene for ombyggingen av sitt lavspente elektriske anlegg til TN. I FOL står det hvilke krav som stilles netteier til levering av energi. Spenning, strøm, harmoniske strømmer, osv. skal ha en viss kvalitet, altså innenfor visse rammer, av hensyn til boligeier. Det er likevel ikke spesifisert i FOL hvilke nettsystem netteier er pliktig til å levere. Dermed er det en mulighet for at det blir et juridisk spørsmål om netteier kan pålegge boligeier kostnadene av en slik ombygging eller ikke.

8.5 Lønnsomheten av prototypen

Under kapittelet økonomiske vurderinger ble det i korte trekk diskutert frem til hvilke komponenter det var verdt å simulere og som var potensielt bli lønnsome. Det kom frem at for enfaseinstallasjoner så skal det mye til før disse blir lønnsomme. Prisen for denne prototypen ble estimert til 5600 NOK dyrere enn den enfaseinstallasjonen som var dyrest å bygge om. For enfaseinstallasjoner vil det på en annen side ikke være lønnsomt. Det kan være muligheter for å plassere en liten og billig transformator som tar høyde for eldre enfaseinstallasjoner med små OV-er. Det vil likevel være en ulempe å ha en prototype som kun kan monteres foran noen få boliger.

Dermed er det mye som tyder på at det kun kan være en prototype til trefaseinstallasjoner som vil bli lønnsom. På neste side er det hentet to tabeller fra kapittel 6 ”Økonomiske vurderinger” for å se nærmere på prototypen til trefaseinstallasjonene. Fra tabellene kommer det frem at disse løsningene er på grensen til om det er lønnsomt eller ikke. Hvis distribusjonsnett som skal bygges om kun har nyere trefaseinstallasjoner er det vanskelig å argumentere for at dette er lønnsomt.

Som nevnt under den økonomiske vurderingen så er noen av kostnadene rundt prototypen usikre og derfor satt med en margin for å ta høyde for uforutsette kostnader. Ved og videre anta at ved en storstilt bestilling av prototypen kan i mange tilfeller reduksjon i pris forekomme på komponenter. Skapet som det er fått prisforespørsel på er også noe større enn det som nødvendigvis trengs for prototypen. Dermed er det muligheter for at total kostnaden på noen eller alle tre av løsningene av prototypen kan presses under 20.000 NOK.

Hvis total prisen for prototypen kan presses under 20.000 NOK vil nettselskapene få en bedre oversikt over hva kostnadene blir ved ombygging av eldre distribusjonsnett med eldre trefaseinstallasjoner.

Tabell 6-3: Totalt kostnad for fem forskjellige prototyper.

Kostnadselement	Kostnad [NOK] for prototype til trefaseinstallasjoner med OV 50A	Kostnad [NOK] for prototype til trefaseinstallasjoner med OV 40A	Kostnad [NOK] for prototype til trefaseinstallasjoner med OV 32A
Skap	3000	3000	3000
Transformator	13.900	12.300	10.850
Høyeffektsikring 50A, 63 eller 80A	150	150	150
Sikringsbryterlist	1160	1160	1160
Fundament til skap	1500	1500	1500
Grave og sette ned skap	650	650	650
Montere transformator og vern i skap	2000	2000	2000
Tilkoble IT og TN nettet til prototypen	1000	1000	1000
Registrering av nettdata i prototypen	320	320	320
Totalt	23.700	22.100	20.600

Tabell 6-2: Kostnad ved ombygging fra 230 V IT-nett til 230/400 V TN-nett for forskjellige typer installasjoner.

Type anlegg utført i henhold til en norm eller forskrift	Minimum pris [NOK]	Maks pris [NOK]
Enfase installasjoner bygd i henhold til FEB-91 eller NEK 400	4900	9200
Enfase installasjoner bygd i henhold til FEB-88	6400	12.100
Enfase installasjoner bygd i henhold til FEA-63	9200	14.900
Eldre trefaseinstallasjoner bygd før FEB-91	12.400	25.400
Eldre trefaseinstallasjoner bygd før FEB-91 <ul style="list-style-type: none"> • Kriteriet for tverrsnittet til PEN-leder er ikke oppfylt 	14.800	32.200
Nyere trefaseinstallasjoner bygd etter FEB-91 eller NEK 400	12.400	25.400

I denne rapporten er grunnlaget for om prototypen er lønnsom eller ikke veid opp mot kostnadene som er listet opp i tabell 6-2. Disse er basert på AG14 rapporten av 2001. Det er mulig at dagens sikkerhetskrav ikke er tilfredsstillt gjennom de ombygningene som denne rapporten spesifiserer. Hvis dagens sikkerhetskrav er strengere kan dette fordyre ombygningen noe som resulterer i at kostnadene i tabell 6-2 blir dyrere.

9 Konklusjon

Lønnsomheten av de forskjellige løsningene

- For trefaseinstallasjoner vil prototypen i mange tilfeller kunne være lønnsom
 - Mest lønnsom for eldre trefaseinstallasjoner
 - Hvis boligen har en OV på 63A eller høyere blir transformatoren så stor at det raskt blir ulønnsomt
- For enfaseinstallasjoner vil prototypen sjelden være lønnsom.

Anbefalt løsning av prototypen vil være en løsning bestående av skap, avskjerminger, transformator og KV. Dimensjonene på skap vil være ca.: $høyde \cdot bredde \cdot lengde = 500mm \cdot 400mm \cdot 550mm$ for alle løsningene siden forskjell i størrelse på transformatorene er neglisjerbar. I Tabell 9-1 er det forskjellige løsningene presentert.

Tabell 9-1: Anbefalt løsning av transformator, KV og hvilke boliger prototypen kan plasseres foran.

Størrelse på transformator	Forankoblet KV	Størrelse på OV i bolig som prototypen kan plasseres foran	Omsetning
20	63A	50A og mindre	400/235
16	50A	40A og mindre	400/235
12,5	40A	32A	400/235

Løsningen i tabellen ovenfor vil fungere i de fleste tilfeller. Det er likevel viktig å være obs at i enkelte tilfeller kan nettsituasjon der prototypen er være svært god eller dårlig. Her kan det være tilfelle at omsetning og/eller KV må endres. Dette er noe nettselskapet burde ta høyde for ved ombygging.

Ved å bruke prototypen vil det i enkelte tilfeller være ulønnsomt og i andre lønnsomt med hovedvekt på lønnsomt. Dermed vil dette i tillegg til å senke kostnadene ved en ombygging, gjøre at nettselskapet kan med større nøyaktighet estimere kostnadene ved en ombygging av et distribusjonsnett fra IT til TN.

Arbeid videre

- Alle kostnadselementene ved protoypen burde undersøkes i mer detalj for å finne en mer presis kostnad samtidig som potensielle uforutsette kostnader kan avdekkes.
- En utredning av AG14 rapporten for å se om ombyggingene som den antyder er god nok i forhold til sikkerhet, faktisk er gode nok etter dagens standard.

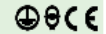
10 Bibliografi

- [1] EBL Kompetanse AS, «Overgang til 230/400V TN-C-S i bestående 230V IT/TT/TN installasjoner,» Publikasjon nr.: 10-2001, 2001.
- [2] Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, «Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg,» [Internett]. Available: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/1998-11-06-1060>. [Funnet Januar 2014].
- [3] Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, «forskrift om elektriske forsyningsanlegg med veiledning,» [Internett]. Available: <http://oppslagsverket.dsb.no/content/el-tilsyn/forskrifter/elektriske-forsyningsanlegg/veiledning-til-forskrift-om-elektriske-forsyningsanlegg/>. [Funnet Januar 2014].
- [4] E. H. Hansen, Elektro-installasjoner, Trondheim: Classica forlag AS, 2010.
- [5] NEK, NEK 400:2014 Elektriske lavspenningsinstallasjoner, vol. 4, Norsk Elektrotekniske komité, 2014.
- [6] S. Svarte og J. H. Sebergesen, Energiproduksjon og energidistribusjon - Produksjon, nettsystemer og beregninger, Oslo: Gyldendal Norske Forlag AS 2002, 2011.
- [7] T. Berg, M. Eriksen og S. Hanssen, Overgang fra 230 V IT-nett til 230/400 V TN-nett, Narvik: Høgskolen i Narvik, 2014.
- [8] Nexans, «Kabelboka,» 2014. [Internett]. Available: http://www.nexans.no/eservice/Norway-no_NO/fileLibrary/Download_540200470/Norway/files/Nexans_Kabelboka_e-verk_2014.pdf. [Funnet mars 2015].
- [9] Nexans, «PFSP 1kV,» [Internett]. Available: http://www.nexans.no/eservice/Norway-no_NO/navigate_13870/PFSP_1kV_med_kobberleder.html. [Funnet Desember 2014].
- [10] Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, Elsikkerhet nr. 70, Tønsberg: DSB, 2006.
- [11] Eaton Electric AS, «PLSM/PLZM automater,» [Internett]. Available: <http://www.moeller.no/cgi-bin/Produkt.exe/TDVis?ID=60>. [Funnet Oktober 2014].
- [12] Siemens, «Fuse Systems,» [Internett]. Available: http://w3.siemens.com/powerdistribution/global/EN/lv/product-portfolio/sentron/protection-devices/fuse-systems/Pages/fuse_systems.aspx. [Funnet 12 2014].
- [13] Installatørproven.no, «Tekniske data - NH-patroner,» [Internett]. Available: <http://www.installatorproven.no/files/vedlegg%20a%281%29.pdf>. [Funnet November 2014].
- [14] NEK, NEK 439:2013 Lavspenningstavler og kanalskinnesystemer, Norsk Elektrotekniske komité, 2013.
- [15] Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, «Forskrift om leveringskvalitet i kraftsystemet,» [Internett]. Available: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-11-30->

1557. [Funnet Mars 2015].
- [16] Moeller Electric AS, Store Grønne Håndbok for inntak i boliger og elektriske installasjoner etter FEL og NEK 400 IT, TT og TN-S-nett, 2009.
- [17] R. Åserud, «Dyrt med mer strøm,» *hus&bolig*, nr. 4, 2012.
- [18] NELFO, [Internett]. Available: <http://www.nelfo.no/Produkter/DataverktoyProgramvare/FEBDOK/>. [Funnet Oktober 2014].
- [19] O. V. Thorsen, Transformatorer, vol. 2, Oslo: Pensumtjeneste AS, 2007.
- [20] T. Østrem, Strømrettere og transformatorer, vol. Kompendium 376, Narvik: Høgskolen i Narvik, 2012.
- [21] T. A. Short, Electric Power Distribution Handbook, vol. 2, Florida: CRC Press, 2014.
- [22] J. H. Harlow, Electrical Power Transformer Engineering, vol. 3, CRC Press, 2012.
- [23] A. Nysveen, Power Transformers, Trondheim: NTNU, Institutt for Elkraftteknikk, 2011.
- [24] F. P. Incropera, D. P. DeWitt og T. L. Bergman, Principles of Heat and Mass Transfer, Singapore: Wiley, 2013.
- [25] S. Johnsrud, Termiske forhold ved fasade uten aktiv kaldrassikring, Trondheim: NTNU, 2013.
- [26] «Noratel,» [Internett]. Available: http://www.noratel.com/fileadmin/content/downloads/isolating-transformers/no/3_2LT00no.pdf. [Funnet Februar 2015].
- [27] H. Kirkeby og H. Seljeseth, «Utfordrende elektriske Apparater,» Sintef Energi AS, [Internett]. Available: http://www.sintef.no/contentassets/8f3be4a5285b4a7a85a2987a9d397615/rapporter/9.3_kirkeby_henrik---utfordrende-elektriske-apparater.pdf. [Funnet 11 2014].
- [28] SINTEF, «Kostnadskatalog distribusjonsnett,» i *Planleggingsbok for Kraftnettet*, Trondheim, REN, 2014.
- [29] REN, *Distribusjonsnett - Jordingsystem - Prosjektering*, 3.4 red., vol. 8010, Rasjonell Elektisk Nettvirksomhet, 2012.

Vedlegg A: Priser på transformatorer fra Noratel

3-fase transformator 3x230/400, kapslet utførelse IP54 - dYNI I



Type 3LT-54

3-fase transformator i sjøvannsbestandig aluminiumskapsling. Effekter fra 30 kVA opp til 250 kVA. Standard utførelse leveres med atskilte primær- og sekundærviklinger, såkalt skilletransformator, som lager et "nytt nett" der alle eventuelle jordfeil er eliminert. Velegnet der hvor det er behov for å transformere spenning opp eller ned, eller når transformatoren skal fungere som skilletransformator.

Standard spesifikasjoner

- Primærspenninger: Maks 1000 V
- Sekundærspenninger: Maks 1000 V
- Frekvens: 47-63 Hz
- Effekt: Maks 250 kVA
- Isolasjonsspenning: 4 kV
- Isolasjonsklasse: F (155°C)
- Max omg. temp (t₁): 45°C
- Kapslingsgrad: IP54

Standardmodeller

3x230/400 V	Effekt	Mål (BxDxH)	Vekt	Art. nr.	Isol. klasse	Pris kr.
3LT 30.0-230/400-54	20 kVA	600x550x630 mm	245 kg	3-010-000150	F	22650
3LT 40.0-230/400-54	25 kVA	630x520x827 mm	245 kg	3-010-000146	F	29500
3LT 40.0-230/400-54	30 kVA	630x520x827 mm	245 kg	3-010-000147	F	33500
3LT 50.0-230/400-54	40 kVA	630x520x827 mm	285 kg	3-020-000088	F	36400
3LT 63.0-230/400-54	50 kVA	660x520x877 mm	320 kg	3-020-000116	F	38700
3LT 80.0-230/400-54	63 kVA	660x520x877 mm	380 kg	3-020-000080	F	46600
3LT 100-230/400-54	80 kVA	870x630x1057 mm	473 kg	3-020-000089	F	56100
3LT 125-230/400-54	100 kVA	870x630x1057 mm	550 kg	3-020-000048	F	63700
3LT 160-230/400-54	125 kVA	990x700x1137 mm	695 kg	3-020-000090	F	79300

3-fase transformator 3x230/400 V, kapslet utførelse IP23 - dYN I I



Type 3LT-23

Kapslet 3-fase transformator, effekter opp til 630 kVA. Standard utførelse leveres med atskilte primær- og sekundærviklinger, såkalt skilletransformator, som lager et "nytt nett" der alle eventuelle jordfeil er eliminert. Velegnet når det er behov for å transformere spenning opp eller ned, eller skilletransformator. Eks. el-motorer, kompressorer, kjøleanlegg, vaskeautotomater, og til å opprette IT- eller TN-S anlegg.

Standard spesifikasjoner

- Primærspenninger: Maks 1000 V
- Sekundærspenninger: Maks 1000 V
- Frekvens: 47-63 Hz
- Effekt: Maks 630 kVA
- Isolasjonsspenning: 4 kV
- Isolasjonsklasse < 4 kVA: B (130°C)
- Isolasjonsklasse > 4 kVA: F (155°C)
- Max omg. temp (t₁): 45°C
- Kapslingsgrad: IP23

Standardmodeller

3x230/400 V	Effekt	Mål (BxDxH)	Vekt	Art. nr.	El. Nr.	Lagerført	Pris kr.
3LT 0.63-230/400-23	0,63 kVA	280x210x248 mm	13 kg	3-040-600900	6622466	Ja	3570
3LT 1.25-230/400-23	1,25 kVA	309x290x401 mm	21 kg	3-040-601100	6622468	Ja	4000
3LT 2.50-230/400-23	2,5 kVA	343x320x431 mm	34 kg	3-040-601400	6622469	Ja	5550
3LT 4.00-230/400-23	4 kVA	377x350x461 mm	45 kg	3-040-601700	6622470	Ja	7000
3LT 6.30-230/400-23	6,3 kVA	427x400x515 mm	63 kg	3-040-602150	6622471	Ja	8900
3LT 10.0-230/400-23	10 kVA	427x400x515 mm	66 kg	3-040-602306	6644473	Ja	10600
3LT 12.5-230/400-23	12,5 kVA	481x450x590 mm	96 kg	3-040-602400	6644400	Ja	11550
3LT 16.0-230/400-23	16 kVA	481x450x590 mm	122 kg	3-040-602500	6622475	Ja	13000
3LT 20.0-230/400-23	20 kVA	481x450x590 mm	148 kg	3-040-602600	6622477	Ja	14600
3LT 25.0-230/400-23	25 kVA	599x550x630 mm	170 kg	3-040-603100	6622479	Ja	16900
3LT 30.0-230/400-23	30 kVA	599x550x630 mm	212 kg	3-040-603200	6622480	Ja	17900
3LT 40.0-230/400-23	40 kVA	670x540x827 mm	185 kg	3-040-700410	6644440	Ja	21800
3LT 50.0-230/400-23	50 kVA	670x540x827 mm	217 kg	3-040-700510	6644442	Ja	24100
3LT 63.0-230/400-23	63 kVA	700x540x877 mm	270 kg	8-040-800630	6644447	Ja	26950
3LT 80.0-230/400-23	80 kVA	700x540x877 mm	299 kg	3-040-700810	6644446	Ja	33450
3LT 100-230/400-23	100 kVA	930x670x1057 mm	370 kg	8-040-801000	6644449	Ja	40300
3LT 125-230/400-23	125 kVA	930x670x1057 mm	430 kg	8-040-801250	6644451	Ja	46600
3LT 160-230/400-23	160 kVA	1050x740x1137 mm	520 kg	8-040-801600	6644456	Ja	54800
3LT 200-230/400-23	200 kVA	1050x740x1137 mm	613 kg	8-040-802000	6644457	Ja	65300
3LT 250-230/400-23	250 kVA	1210x860x1517 mm	850 kg	3-040-702510	6644458	Ja	77500
3LT 315-230/400-23	315 kVA	1210x860x1517 mm	950 kg	3-040-703110	6644459	Ja	91600
3LT 400-230/400-23	400 kVA	1450x960x1557 mm	1170 kg	3-040-704020	6622492	Ja	109300
3LT 500-230/400-23	500 kVA	1450x960x1557 mm	1310 kg	3-040-705020	6622493	Ja	122400
3LT 630-230/400-23	630 kVA	1670x1110x1637 mm	1670 kg	3-040-706310	6622494	Ja	130000

Fra: sales.no@noratel.com

Sendt: 30. april 2015

Til: mabakk@stud.ntnu.no

Emne: SV: Prototype: kostnadseffektiv lokal overgang fra TN-system til IT

Hei,

Vi lagerfører ikke 1-fase transformatorer med større ytelse enn 3,6 kVA - men kan naturligvis bygge på bestilling

Her er priser basert på angitt kobberpris / Eurokurs:

		Kobber	6.00
		Euro	
		kurs	8,40
Ytelse	Type	Pris IP00	Pris IP23
1,25 kVA	2LT1.25	3 500	4 200
2,0 kVA	2LT 2.0	4 620	5 340
3,0 kVA	2LT3.0	5 340	6 010
4,0 kVA	2LT4.0	5 990	6 930
5,0 kVA	2LT5.0	7 050	8 450
6,3 kVA	2LT6.3	7 430	9 350
8,0 kVA	2LT8.0	8 090	9 950
10,0 kVA	2LT10.0	9 370	10 600
12,5 kVA	2LT12.5	10 080	12 600
16,0 kVA	2LT16.0	11 000	13 400
20,0 kVA	2LT20.0	12 000	14 100
25,0 kVA	2LT25.0	13 100	15 600
30,0 kVA	2LT30.0	15 600	18 800
40 kVA	2LT40-	17 200	20 300
50 kVA	2LT50-	23 700	28 000
63 kVA	2LT63-	31 800	35 600
80 kVA	2LT80-	38 000	40 800
100 kVA	2LT100-	42 500	46 400

125 kVA	2LT125-	48 000	51 400
160 kVA	2LT160-	55 300	59 600
200 kVA	2LT200-	63 800	68 100

Når det gjelder tap har vi ikke utarbeidet samme type tabell som for lagerførte 3-fase
Men hvis du angir de ytelse som er av interesse kan jeg lager en tabell til deg.

Priser for 3-fase IP00 finner du ved rett og slett å benytte IP23 prislista og trekke i fra ca. NOK 700,-
(max. 20 kVA) for de mindre og NOK 1100,- for de større opptil 50 KVA

Vennlig hilsen / Best regards

Knut Ranheim

Salg / Sales - Teknisk support / Technical support

Noratel AS

Vedlegg B: Pris på skap

Fra: kundesenter.no@schneider-electric.com

Sendt: 4. mai 2015

Til: mabakk@stud.ntnu.no

Emne: Subject Prisforespørsel på tavle [ref:_00DA0abSm._50012Sb5dx:ref]

Hei

Takk for din henvendelse.

Nermeste Standard skap i IP55 er skap type **Spacial S3D** med ref nummer **NSYS3D8640P** VEGGSKAP MED MONTASJEPLATE. 800MM X 600MM X 400MM Listepriis NOK 3008,00 el nummer 2493406

Ved spørsmål vennligst kontakt vårt kundesenter eller svar på denne e-posten.

Vårt referansenummer er 18631385

Med vennlig hilsen

Ove KJELDAL

Kundesenteret Porsgrunn

Schneider Electric Norge AS | Kundesenter

Phone: 07023 / +47 23 19 12 00

Email: kundesenter.no@schneider-electric.com

Site: www.schneider-electric.com

Vedlegg C: Mest brukte OV-er i boliger fra ABB

Fra: magne.holdhus@no.abb.com

Sendt: 11. februar 2015

Til: mabakk@stud.ntnu.no

Emne: Re: Kjøpt spørsmål vedrørende hovedsikringer i eneboliger i regi av master.

Hei

Fra ABB er i dag det vanligste vernet S750

Det ligger i Febdok under klassen automatsikring overbelastningsvern.

Ellers er det en del av våre kunder som bruker vår S800 i C eller D karakteristikk eller vår standardautomatsikring S200M. Etter min oppfatning er dette ikke en helt god løsning fordi det blir dårlig selektivitet i anlegget.

Jeg er ikke så godt kjent med våre konkurrenters tilbud.

Hilsen

Magne

Vedlegg D: Standard transformatorer fra Noratel

3-fase transformatorer

Lavspent 0,1-30 kVA, IP23

Type 3LT-23

Kapslede 3-fase transformatorer med effekter opp til 30 kVA. Standard utførelse leveres med adskilte primær- og sekundærviklinger, såkalt skilletransformator, som lager "et nytt nett" der alle eventuelle jordfeil er eliminert. Transformatorene er konstruert i henhold til EN61558-2-4 og tilfredstiller kravene som isolertransformator i henhold til forskrift om elektriske lavspenningsanlegg (FEL) og NEK400:1998 som omhandler installasjoner i elektriske lavspenningsanlegg. Standard kapslingsgrad IP23.

Bruksområder:

Transformatorene er velegnet der det er behov for å transformere spenning opp eller ned, eller når transformatoren skal fungere som skilletransformator. Feks. El-motorer, kompressorer, kjøleanlegg, vasleautomater, og til å opprette IT- eller TNS anlegg. Spesialutførelser på forespørsel; Andre spenninger, frekvenser, skjerm mellom primær og sekundær, reguleringer/tappinger, hjul, maskinsko, kapslingsgrader m.v



Tekniske spesifikasjoner

- Primær tilkobling: fra 3x115 til 3x1000V
- Frekvens: 47-63Hz
- Sekundær utgang: fra 3x115 til 3x1000V
- Koblingsgrupper: Dyn11 (standard)
Dyn5, Ynd1, Ynd5
- Konstruksjonsnorm: EN61558-2-4
lav sp. direktivet
- Isolasjonsspenning: 3kV AC RMS
- Sikkerhetsklasse: I (krever jording)
- Isolasjonsklasse: B (130°C)
F (155°C)
- Max omg temp (t_2): 40°C
- Kapslingsgrad: IP23
- Tilkoblinger: Rækkeklammer

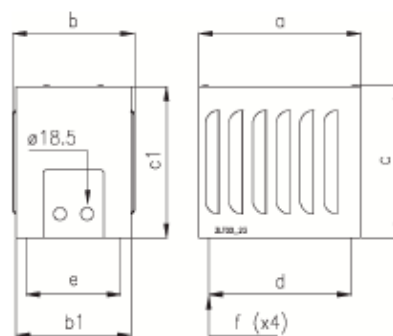
Kan leveres med kobberskinner for tilkobling avhengig av strøm/spenning.

Standard koblingsgruppe:



Noratel erklærer, og innestår for at alle transformatorer leveres i samsvar med gjeldende normer; EN61558-2-4:1997, EN55014:1993 (EN55014-1:1997), EN61000-3-2:1995, EN61000-3-3:1995, EN55104:1995, (EN55014-2:1997), EN50081-1:1992, EN50082-2:1995 på grunnlag av følgende direktiver; L.V.D 73/23/EEC, 93/68/EEC, EMC 89/336/EEC, 91/263/EEC.

Målskisser



3LT 0.1 - 3LT 0.80

Mål & vekt 3LT-23

Effekt (kVA)	Type	Isdassjans klasse	Lengde a	Bredde b	Høyde c	Øvrige mål (mm)					Vekt (kg)
						<i>b1</i>	<i>c1</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	
0,1	3LT 0.10	B	240	180	228	170	225	210	140	8,0	5,0
0,15	3LT 0.15	B	240	180	228	170	225	210	140	8,0	5,6
0,25	3LT 0.25	B	280	210	248	200	245	250	170	8,0	7,8
0,4	3LT 0.40	B	280	210	248	200	245	250	170	8,0	9,5
0,5	3LT 0.50	B	280	210	248	200	245	250	170	8,0	11,5
0,63	3LT 0.63	B	280	210	248	200	245	250	170	8,0	13,0
0,8	3LT 0.80	B	280	210	248	200	245	250	170	8,0	14,5
1,25	3LT 1.25	B	309	290	401	223	362	176	240	12,0	21,0
2	3LT 2.00	B	309	290	401	223	362	176	240	12,0	26,5
2,5	3LT 2.50	B	343	320	431	253	392	200	270	12,0	34,0
3	3LT 3.00	B	343	320	431	253	392	200	270	12,0	38,0
3,5	3LT 3.50	F	377	350	461	283	422	224	300	12,0	39,0
4	3LT 4.00	F	377	350	461	283	422	224	300	12,0	45,0
5	3LT 5.00	F	377	350	461	283	422	224	300	12,0	50,0
6,3	3LT 6.30	F	427	400	515	333	467	264	350	15,0	63,0
8	3LT 8.00	F	427	400	515	333	467	264	350	15,0	73,0
10	3LT 10.0	F	427	400	515	333	467	264	350	15,0	83,0
12,5	3LT 12.5	F	481	450	590	383	542	316	400	15,0	96,0
16	3LT 16.0	F	481	450	590	383	542	316	400	15,0	122
20	3LT 20.0	F	481	450	590	383	542	316	400	15,0	148
25	3LT 25.0	F	599	550	630	480	582	356	500	15,0	170
30	3LT 30.0	F	599	550	630	480	582	356	500	15,0	212

Standardmodellen leveres fra fabrikk med blindlokk på flenshullene.

3-fase transformatorer

Tap & kortslutningsstrømmer

3-LT standardmodeller

Type	Fe-tap (W)	Cu-tap (W)	e_x (%)	e_r (%)	I_c (xI _N)
3LT					
3LT 0.10	5	15	14,8	14,8	44
3LT 0.15	6	27	17,8	17,8	46
3LT 0.25	10	27	10,8	10,8	35
3LT 0.40	12	38	9,6	9,5	35
3LT 0.50	17	39	7,8	7,8	29
3LT 0.63	23	40	6,7	6,3	35
3LT 0.80	30	51	6,5	6,4	34
3LT 1.25	36	57	4,8	4,6	25
3LT 2.00	55	72	3,6	3,6	31
3LT 2.50	56	70	2,9	2,8	27
3LT 3.00	65	79	2,7	2,6	28
3LT 3.50	75	199	5,8	5,7	20
3LT 4.00	90	168	4,2	4,2	24
3LT 5.00	98	205	4,2	4,1	22
3LT 6.30	128	246	4,1	3,9	21
3LT 8.00	158	262	3,6	3,3	21
3LT 10.0	168	294	3,4	2,9	19
3LT 12.5	247	426	3,9	3,4	15
3LT 16.0	269	386	2,8	2,4	17
3LT 20.0	280	371	2,2	1,9	20
3LT 25.0	387	496	2,6	2,0	15
3LT 30.0	494	472	2,1	1,6	16
3LT 40.0	130	1126	3,6	2,8	12
3LT 50.0	171	954	2,8	1,9	12
3LT 63.0	181	1254	3,0	2,0	12
3LT 80.0	237	1298	2,7	1,6	11
3LT 100	251	1934	4,4	1,9	9
3LT 125	356	2497	3,7	2,0	8
3LT 160	365	2912	3,9	1,8	7
3LT 200	456	3355	3,8	1,7	6
3LT 250	640	3797	4,2	1,5	12
3LT 315	651	5156	4,3	1,6	14
3LT 400	786	6681	6,1	1,7	8
3LT 500	935	7212	5,2	1,4	7
3LT 630	1220	7649	3,9	1,2	7
3LT 800	1745	8000	4,5	0,8	10
3LT 1000	1950	8500	4,5	0,8	10
3LT 1250	2400	10000	5,0	0,8	10
3LT 1600	2520	12000	5,0	0,8	10
3LT 2000	3300	15000	5,5	0,7	10

3-LTV & 3LTxxN

Type	Fe-tap (W)	Cu-tap (W)	e_x (%)	e_r (%)	I_c (xI _N)
3LTV					
3LTV 0.25	10	30	13,5	12,1	34
3LTV 0.40	12	40	10,2	10	34
3LTV 0.50	15	44	9,55	8,78	29
3LTV 0.63	23	40	6,68	6,27	35
3LTV 0.80	25	48	6,47	6,06	33
3LTV 1.00	28	40	4,1	4	32
3LTV 1.60	42	46	2,88	2,84	38
3LTV 2.00	50	50	2,6	2,5	33
3LTV 2.50	60	60	2,34	2,4	33
3LTV 3.00	60	92	3,2	3,07	25
3LTV 3.50	75	90	2,65	2,57	31
3LTV 4.00	90	90	2,3	1,8	30
3LTV 5.00	100	105	2,3	2,1	27
3LTV 6.30	130	130	2,2	2,06	31
3LTV 8.00	150	150	2	1,89	32
3LTV 10.0	160	200	2,1	2	23
3LTV 13.0	220	190	1,8	1,5	24
3LTV 16.0	290	190	1,48	1,19	26
3LTV 20.0	310	240	1,5	1,2	23
3LTV 25.0	390	280	1,55	1,15	24
3LTxxN					
3LT 40.0N	321	1046	3,52	2,61	11
3LT 50.0N	431	1098	3,09	2,20	12
3LT 63.0N	404	1587	3,59	2,52	9
3LT 80.0N	622	1362	2,96	1,70	10
3LT 100N	673	1896	3,88	1,90	8
3LT 125N	797	2133	3,91	1,71	8
3LT 160N	901	3221	4,30	2,01	8
3LT 200N	1283	3500	5,10	1,72	7
3LT 250N	1590	3480	3,27	1,39	7

- Alle oppgitte verdier er veiledende,

forbehold om evt. endringer.



Vedlegg E: Spenningsfallberegninger

Transformator (12,5kVA):

- $e_r = 3,4\%$
- $e_x = 1,91\%$
- $U_1/U_2 = \frac{400}{x}$, hvor $x[V] = 230V, 235V$ og $240V$
- $I_{N,230} = \frac{12,5kVA}{\sqrt{3} \cdot 230V} = 31,38A$
- $I_{N,235} = \frac{12,5kVA}{\sqrt{3} \cdot 235V} = 30,71A$
- $I_{N,240} = \frac{12,5kVA}{\sqrt{3} \cdot 240V} = 30,07A$

Transformator (16,0kVA):

- $e_r = 2,4\%$
- $e_x = 1,44\%$
- $U_1/U_2 = \frac{400}{x}$, hvor $x[V] = 230V, 235V$ og $240V$
- $I_{N,230} = \frac{16kVA}{\sqrt{3} \cdot 230V} = 40,16$
- $I_{N,235} = \frac{16kVA}{\sqrt{3} \cdot 235V} = 39,31A$
- $I_{N,240} = \frac{16kVA}{\sqrt{3} \cdot 240V} = 38,49A$

Transformator (20,0kVA):

- $e_r = 1,9\%$
- $e_x = 1,11\%$
- $U_1/U_2 = \frac{400}{x}$, hvor $x[V] = 230V, 235V$ og $240V$
- $I_{N,230} = \frac{20kVA}{\sqrt{3} \cdot 230V} = 50,20A$
- $I_{N,235} = \frac{20kVA}{\sqrt{3} \cdot 235V} = 49,14A$
- $I_{N,240} = \frac{20kVA}{\sqrt{3} \cdot 240V} = 48,11A$

Inntakskabel PFSP 3x25 Cu:

- $r = 0,727 \frac{m\Omega}{m}$
- $x = 0,07899 \frac{m\Omega}{m}$

Belastningsstrøm $I_b[A]$ = 10, 20, 30, 40 og 50

$\cos \phi$ for strømmen er antatt til 0,9

Fra teori kapittelet var formelene for spenningsfall i transformator og kabel:

$$\Delta u_{\text{trafo}} = n \cdot (e_r \cdot \cos \varphi + e_x \cdot \sin \varphi) + \frac{n^2}{2} \cdot (e_r \cdot \sin \varphi - e_x \cdot \cos \varphi)^2$$

$$\Delta U_{\text{kabel}} = \sqrt{3} \cdot I \cdot (R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi)$$

$$\Delta U_{\text{tot}} = 230V \cdot \Delta u_{\text{trafo}} + \Delta U_{\text{kabel}}$$

Disse formlene er brukt sammen med verdiene ovenfor. Excell er brukt som utregningsverktøy med følgende resultater:

Transformator (12,5kVA):

	ΔU [V]	Δu [%] trafo	Δu [%] trafo	Δu [%] trafo	ΔU tot [V]	ΔU tot [V]	ΔU tot [V]
lb	kabel	ved 230V	ved 235V	ved 240V	ved 230V	ved 235V	ved 240V
10	0,477	1,246	1,273	1,301	3,343	3,470	3,599
20	0,954	2,504	2,559	2,614	6,713	6,968	7,228
30	1,432	3,773	3,856	3,939	10,109	10,493	10,886

lb	U_b [V] ved 230V	U_b [V] ved 235V	U_b [V] ved 240V
10	226,7	231,5	236,4
20	223,3	228,0	232,8
30	219,9	224,5	229,1

Transformator (16,0kVA):

	ΔU [V]	Δu [%] trafo	Δu [%] trafo	Δu [%] trafo	ΔU tot [V]	ΔU tot [V]	ΔU tot [V]
lb	kabel	ved 230V	ved 235V	ved 240V	ved 230V	ved 235V	ved 240V
10	0,477	0,438	0,448	0,457	1,485	1,529	1,575
20	0,954	0,879	0,898	0,917	2,975	3,064	3,155
30	1,432	1,321	1,350	1,379	4,471	4,605	4,742
40	1,909	1,767	1,805	1,844	5,972	6,151	6,335

lb	U_b [V] ved 230V	U_b [V] ved 235V	U_b [V] ved 240V
10	228,5	233,5	238,4
20	227,0	231,9	236,8
30	225,5	230,4	235,3
40	224,0	228,8	233,7

Transformator (20,0kVA):

	ΔU [V]	Δu [%] trafo	Δu [%] trafo	Δu [%] trafo	ΔU tot [V]	ΔU tot [V]	ΔU tot [V]
lb	kabel	ved 230V	ved 235V	ved 240V	ved 230V	ved 235V	ved 240V
10	0,477	0,438	0,448	0,457	1,485	1,529	1,575
20	0,954	0,879	0,898	0,917	2,975	3,064	3,155
30	1,432	1,321	1,350	1,379	4,471	4,605	4,742
40	1,909	1,767	1,805	1,844	5,972	6,151	6,335
50	2,386	2,214	2,262	2,312	7,478	7,703	7,934

lb	U_b [V] ved 230V	U_b [V] ved 235V	U_b [V] ved 240V
10	228,5	233,5	238,4
20	227,0	231,9	236,8
30	225,5	230,4	235,3
40	224,0	228,8	233,7
50	222,5	227,3	232,1

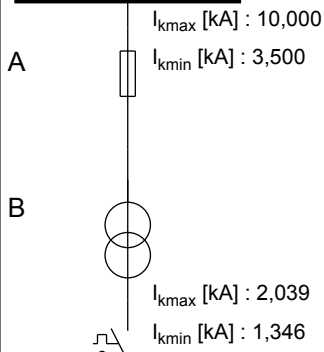
Vedlegg F: Selektivetsanalyse

Selektivetsanalyse

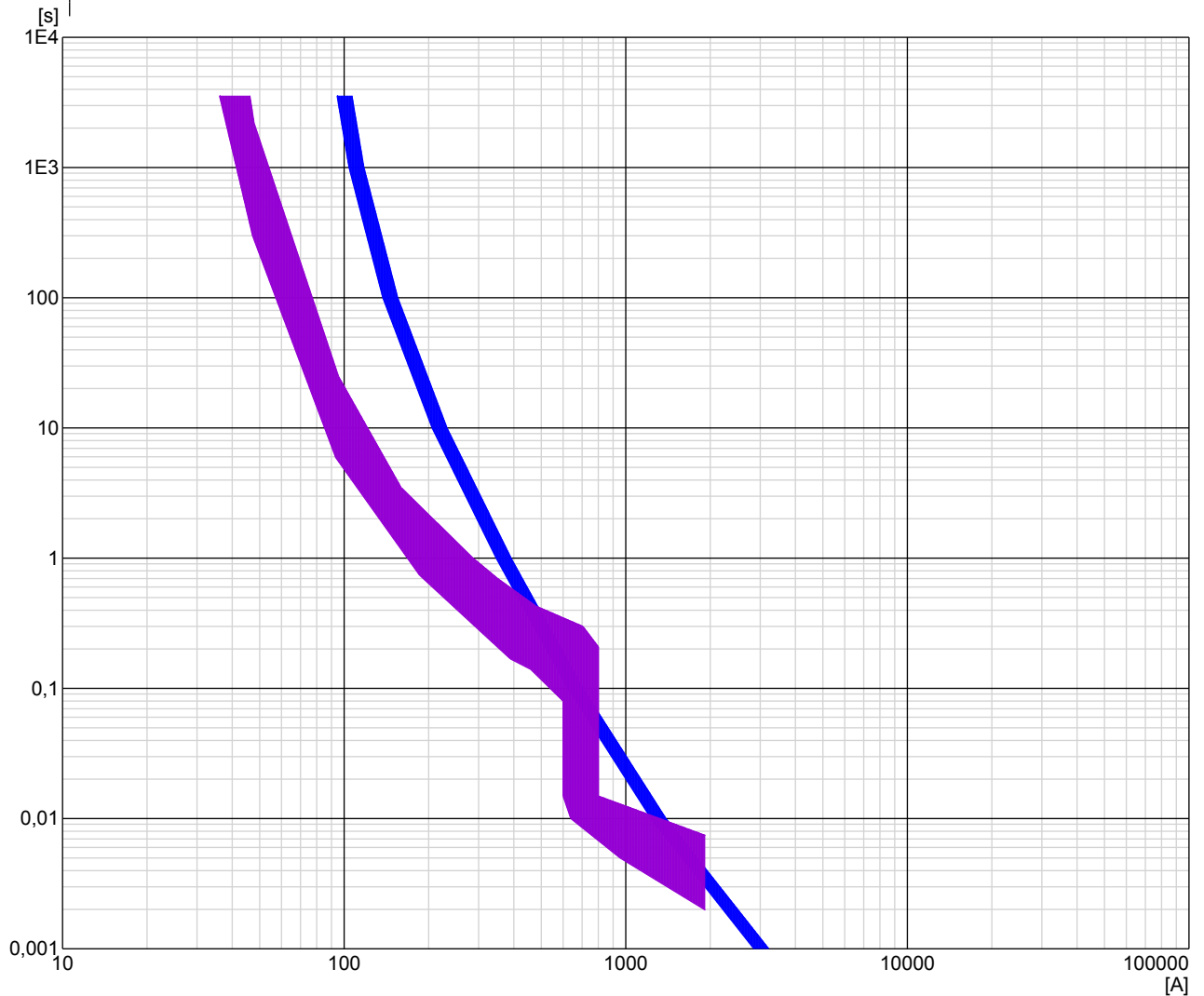
Kurs nr.: 1

Vern	Fabrikat	Type	I_n [A]
A	SIEMENS	3NA6_0_690	40
B	EATON	PLSM_OV	32

FORDELINGSSKAP



Vern	Selektivitet [A]	Selektivetskriterie	Bestemmende vern
A - B	402	Strøm/tid-kurver	



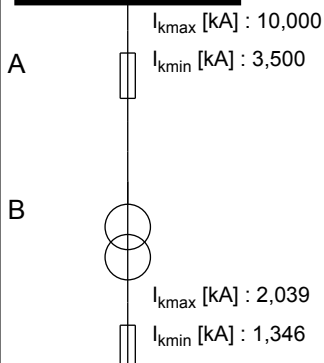
Anleggets adresse:	Anlegg: Det som skal i vedlegget	Dato: 03.06.2015 17:25:59
NTNU Institutt for Elkraftteknikk O S Bragstads pl 2 F 7491 TRONDHEIM Tel: 73591287	Fordeling FORDELINGSSKAP febdok 5.5.05 28.01.2015	NEK 400:2014 400 V TN-C-S Side 1 av 18

Selektivetsanalyse

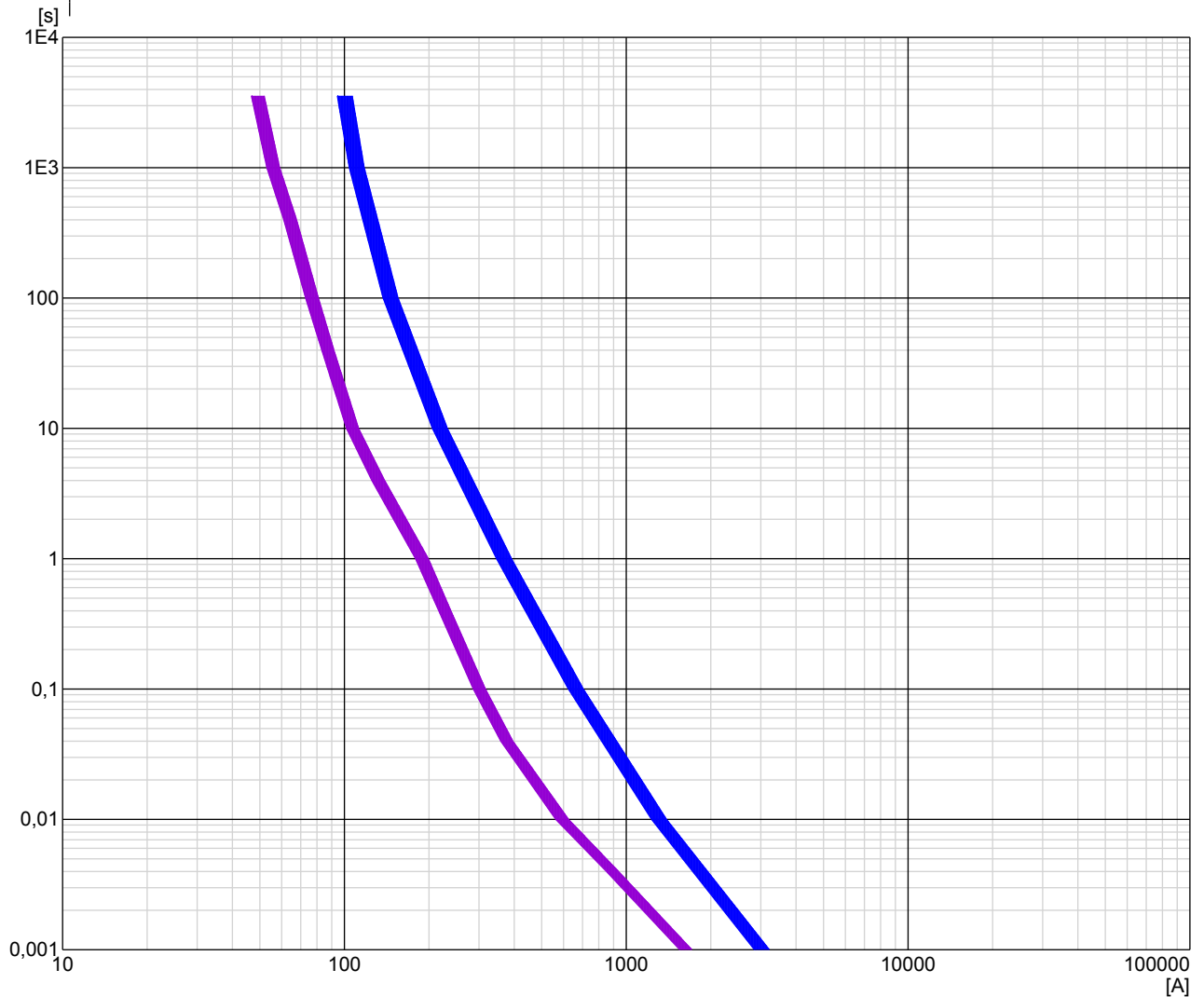
Kurs nr.: 2

Vern	Fabrikat	Type	I_n [A]
A	SIEMENS	3NA6_0_690	40
B	IFÖ	GL/GG_GL/GG	32

FORDELINGSSKAP



Vern	Selektivitet [A]	Selektivetskriterie	Bestemmende vern
A - B		Kurvebetraktninger tillates ikke !	B



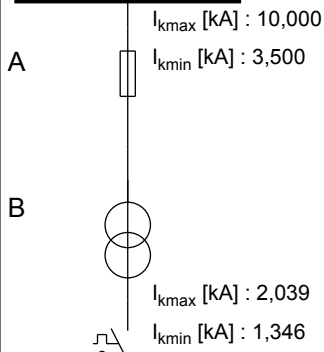
Anleggets adresse:	Anlegg: Det som skal i vedlegget	Dato: 03.06.2015 17:25:59
NTNU Institutt for Elkraftteknikk O S Bragstads pl 2 F 7491 TRONDHEIM Tel: 73591287	Fordeling FORDELINGSSKAP febdok 5.5.05 28.01.2015	NEK 400:2014 400 V TN-C-S Side 2 av 18

Selektivetsanalyse

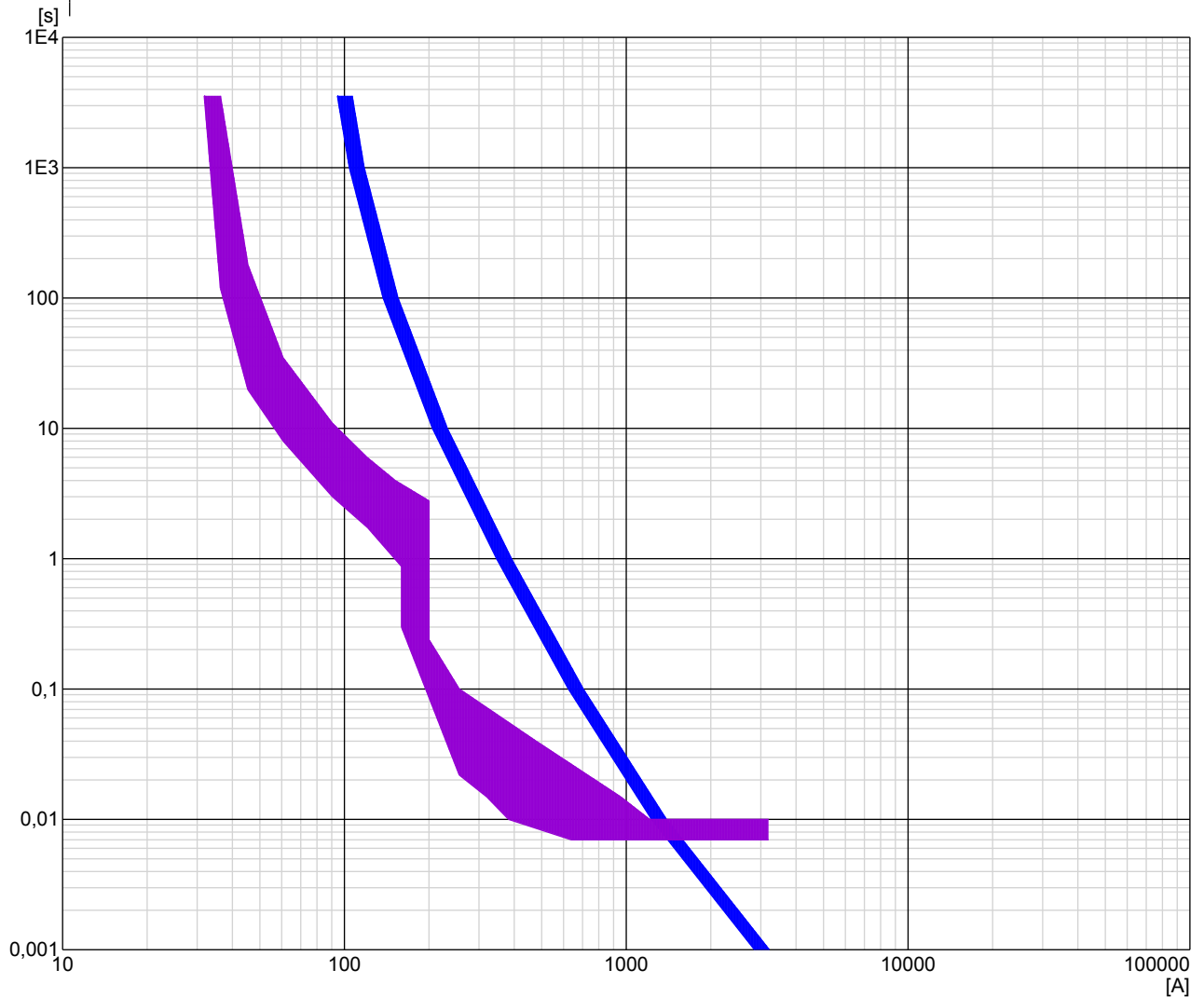
Kurs nr.: 3

Vern	Fabrikat	Type	I_n [A]
A	SIEMENS	3NA6_0_690	40
B	ABB STOTZ	S700 E	32

FORDELINGSSKAP



Vern	Selektivitet [A]	Selektivetskriterie	Bestemmende vern
A - B	902	Gjennomsluppet energi	A



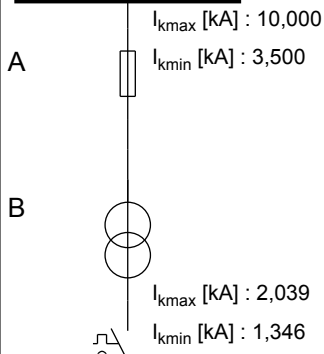
Anleggets adresse:	Anlegg: Det som skal i vedlegget	Dato: 03.06.2015 17:25:59
NTNU Institutt for Elkraftteknikk O S Bragstads pl 2 F 7491 TRONDHEIM Tel: 73591287	Fordeling FORDELINGSSKAP febdok 5.5.05 28.01.2015	NEK 400:2014 400 V TN-C-S Side 3 av 18

Selektivetsanalyse

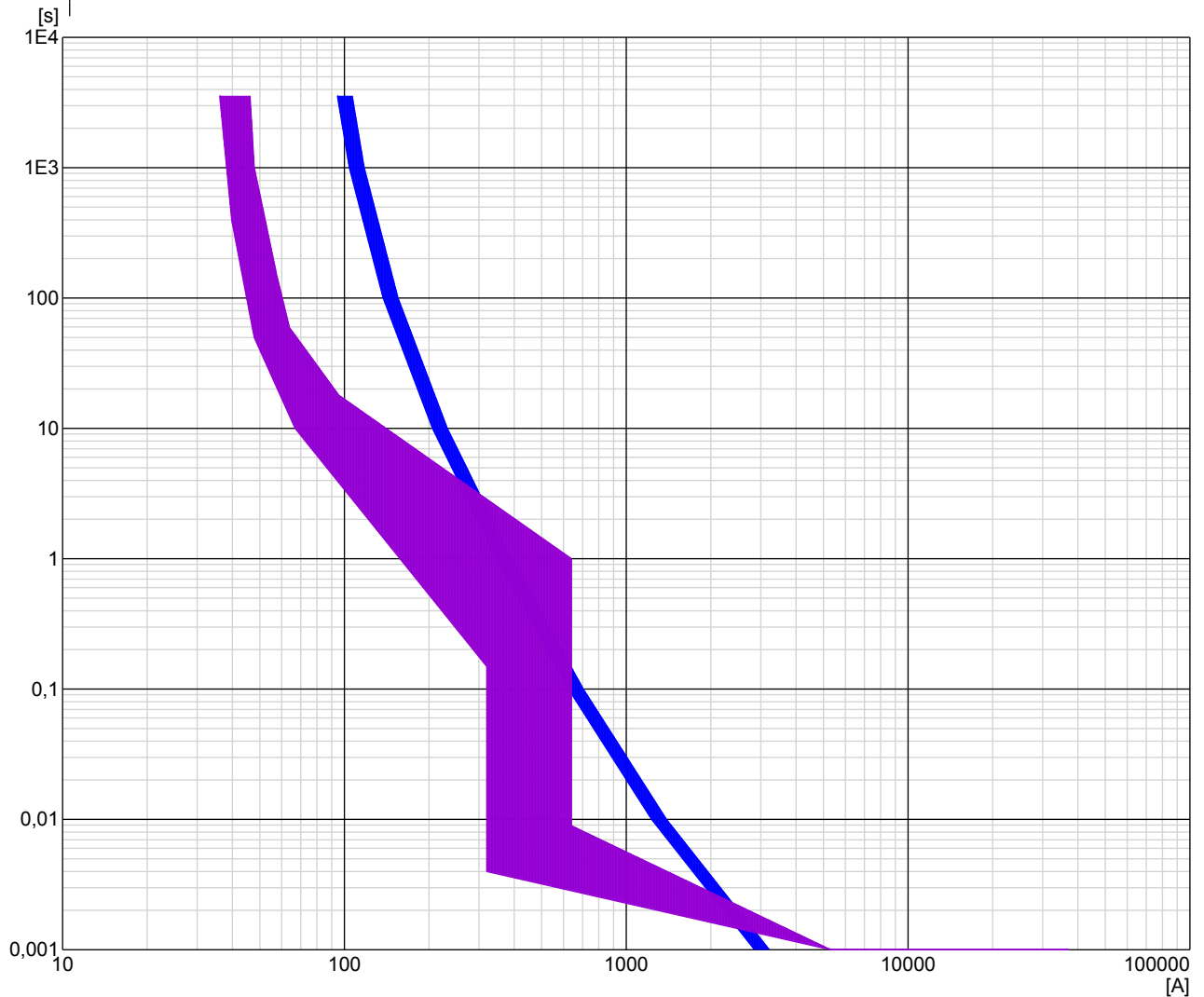
Kurs nr.: 4

Vern	Fabrikat	Type	I_n [A]
A	SIEMENS	3NA6_0_690	40
B	ABB	S800 N	32

FORDELINGSSKAP



Vern	Selektivitet [A]	Selektivetskriterie	Bestemmende vern
A - B	252	Strøm/tid-kurver	



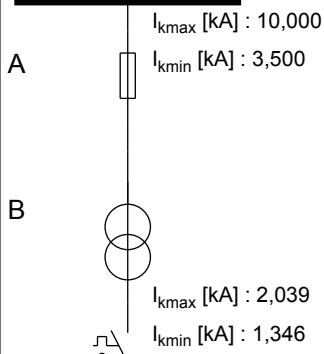
Anleggets adresse:	Anlegg: Det som skal i vedlegget	Dato: 03.06.2015 17:25:59
NTNU Institutt for Elkraftteknikk O S Bragstads pl 2 F 7491 TRONDHEIM Tel: 73591287	Fordeling FORDELINGSSKAP febdok 5.5.05 28.01.2015	NEK 400:2014 400 V TN-C-S Side 4 av 18

Selektivetsanalyse

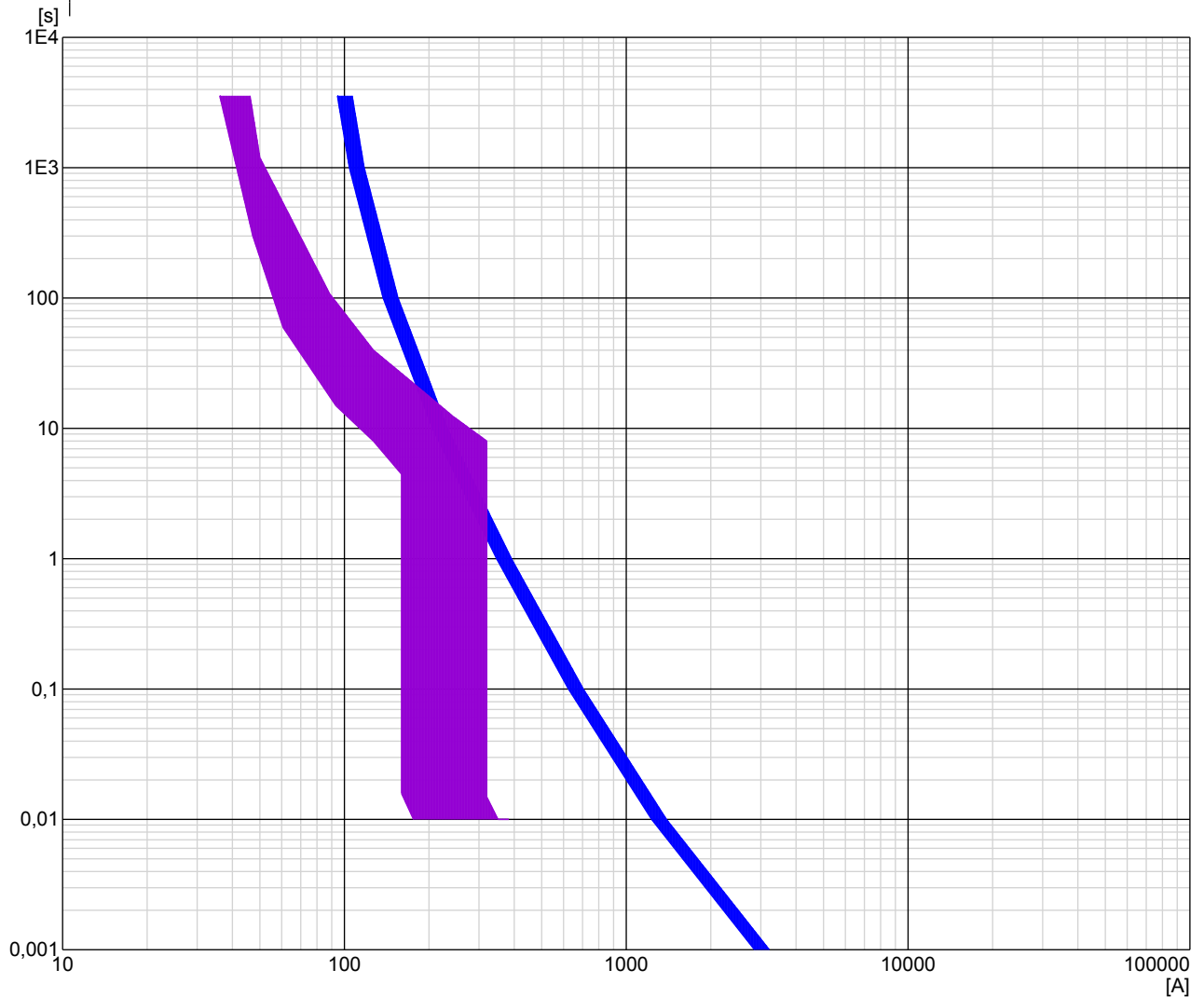
Kurs nr.: 5

Vern	Fabrikat	Type	I_n [A]
A	SIEMENS	3NA6_0_690	40
B	ABB STOTZ	S200M C	32

FORDELINGSSKAP



Vern	Selektivitet [A]	Selektivetskriterie	Bestemmende vern
A - B	180	Strøm/tid-kurver	



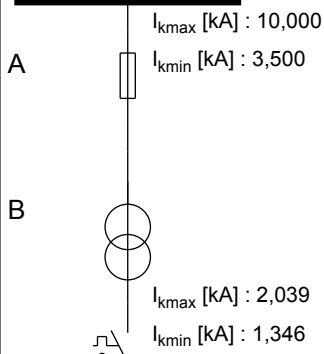
Anleggets adresse:	Anlegg: Det som skal i vedlegget	Dato: 03.06.2015 17:25:59
NTNU Institutt for Elkraftteknikk O S Bragstads pl 2 F 7491 TRONDHEIM Tel: 73591287	Fordeling FORDELINGSSKAP	NEK 400:2014 400 V TN-C-S
	febdok 5.5.05 28.01.2015	Side 5 av 18

Selektivetsanalyse

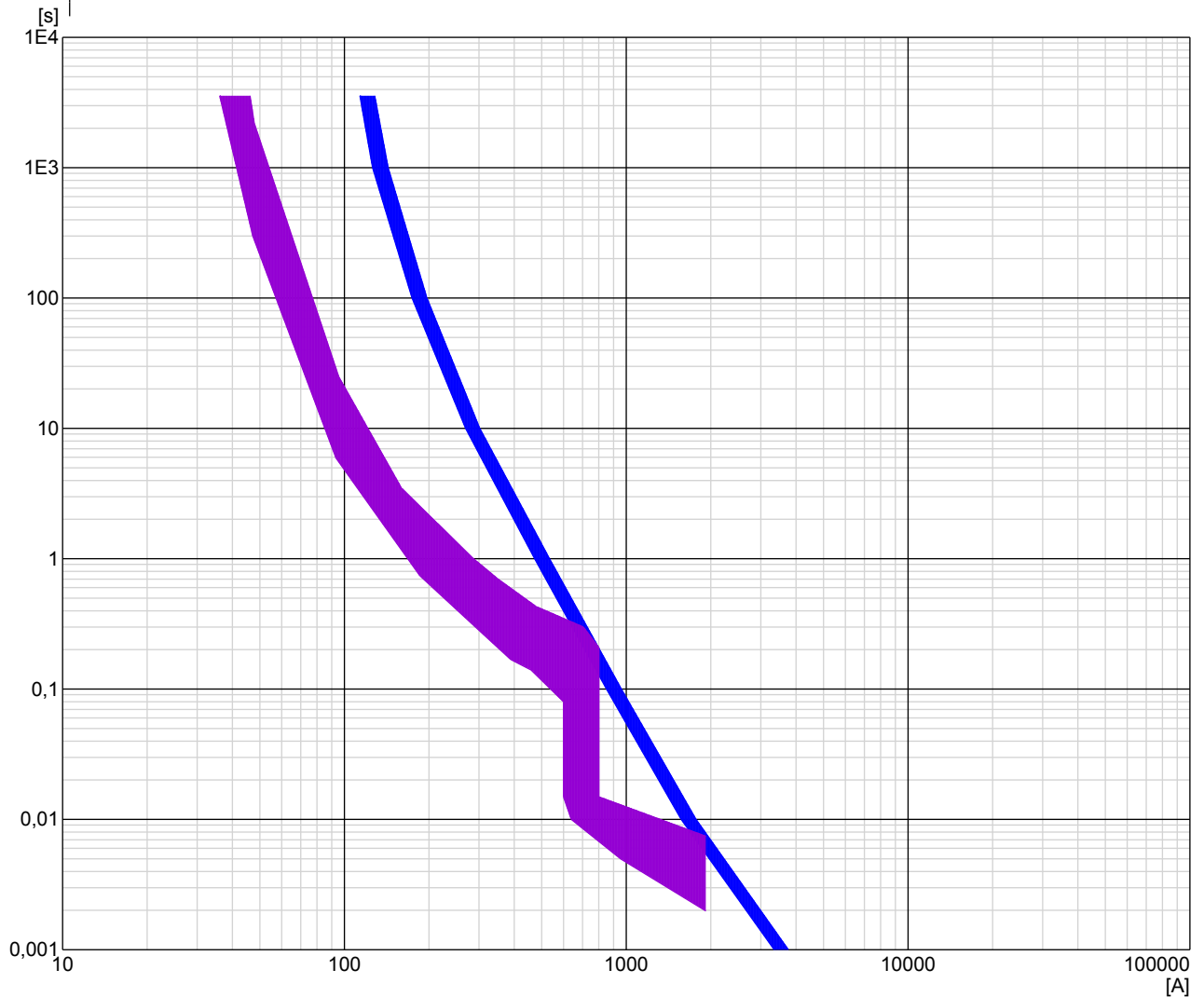
Kurs nr.: 6

Vern	Fabrikat	Type	I_n [A]
A	SIEMENS	3NA6_0_690	50
B	EATON	PLSM_OV	32

FORDELINGSSKAP



Vern	Selektivitet [A]	Selektivetskriterie	Bestemmende vern
A - B	628	Strøm/tid-kurver	



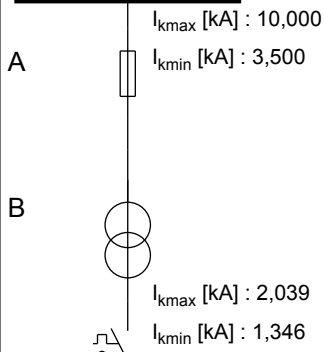
Anleggets adresse:		Anlegg: Det som skal i vedlegget	Dato: 03.06.2015 17:25:59
NTNU Institutt for Elkraftteknikk O S Bragstads pl 2 F 7491 TRONDHEIM Tel: 73591287		Fordeling FORDELINGSSKAP	NEK 400:2014 400 V TN-C-S
		febdok 5.5.05 28.01.2015	Side 6 av 18

Selektivetsanalyse

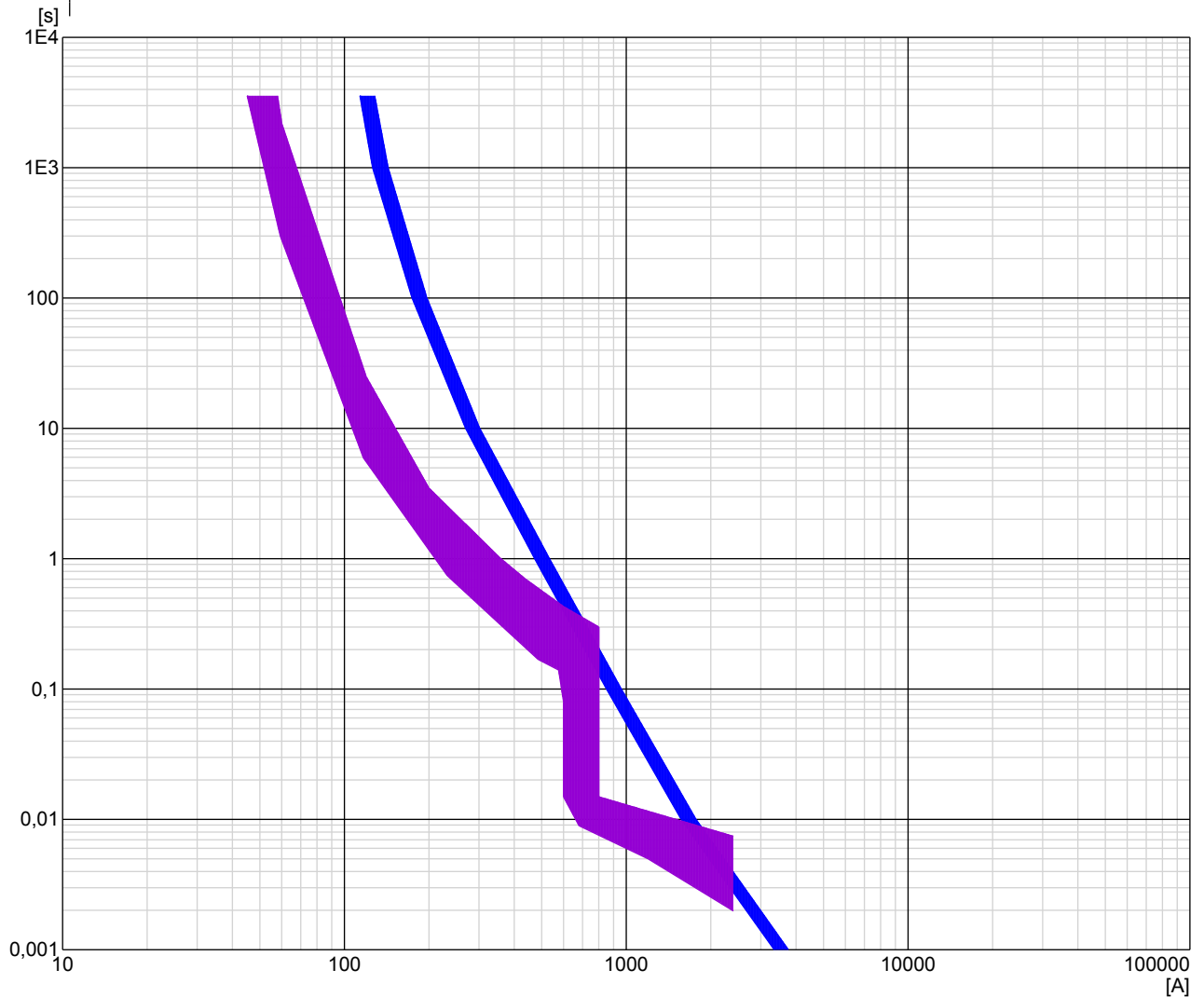
Kurs nr.: 7

Vern	Fabrikat	Type	I_n [A]
A	SIEMENS	3NA6_0_690	50
B	EATON	PLSM_OV	40

FORDELINGSSKAP



Vern	Selektivitet [A]	Selektivetskriterie	Bestemmende vern
A - B	581	Strøm/tid-kurver	



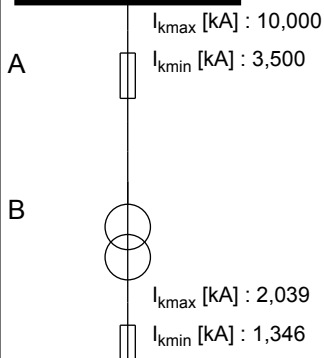
Anleggets adresse:	Anlegg: Det som skal i vedlegget	Dato: 03.06.2015 17:25:59
NTNU Institutt for Elkraftteknikk O S Bragstads pl 2 F 7491 TRONDHEIM Tel: 73591287	Fordeling FORDELINGSSKAP febdok 5.5.05 28.01.2015	NEK 400:2014 400 V TN-C-S Side 7 av 18

Selektivetsanalyse

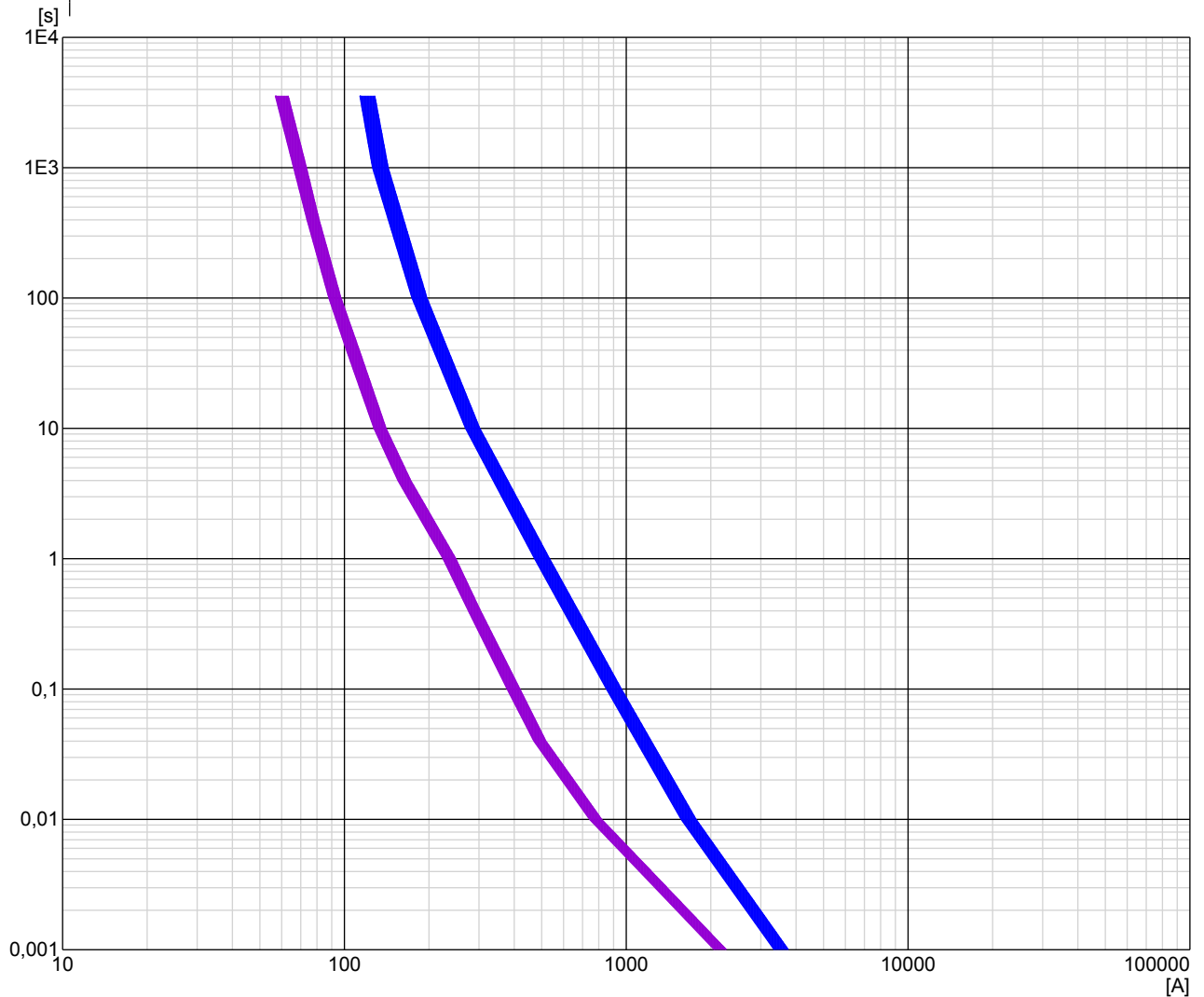
Kurs nr.: 8

Vern	Fabrikat	Type	I_n [A]
A	SIEMENS	3NA6_0_690	50
B	IFÖ	GG-ECO_gG	40

FORDELINGSSKAP



Vern	Selektivitet [A]	Selektivetskriterie	Bestemmende vern
A - B		Kurvebetraktninger tillates ikke !	B



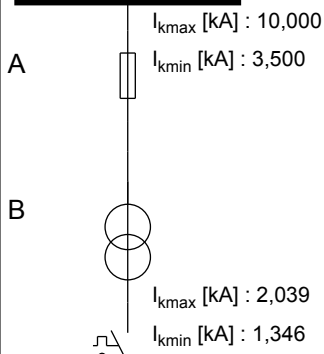
Anleggets adresse:	Anlegg: Det som skal i vedlegget	Dato: 03.06.2015 17:25:59
NTNU Institutt for Elkraftteknikk O S Bragstads pl 2 F 7491 TRONDHEIM Tel: 73591287	Fordeling FORDELINGSSKAP febdok 5.5.05 28.01.2015	NEK 400:2014 400 V TN-C-S Side 8 av 18

Selektivetsanalyse

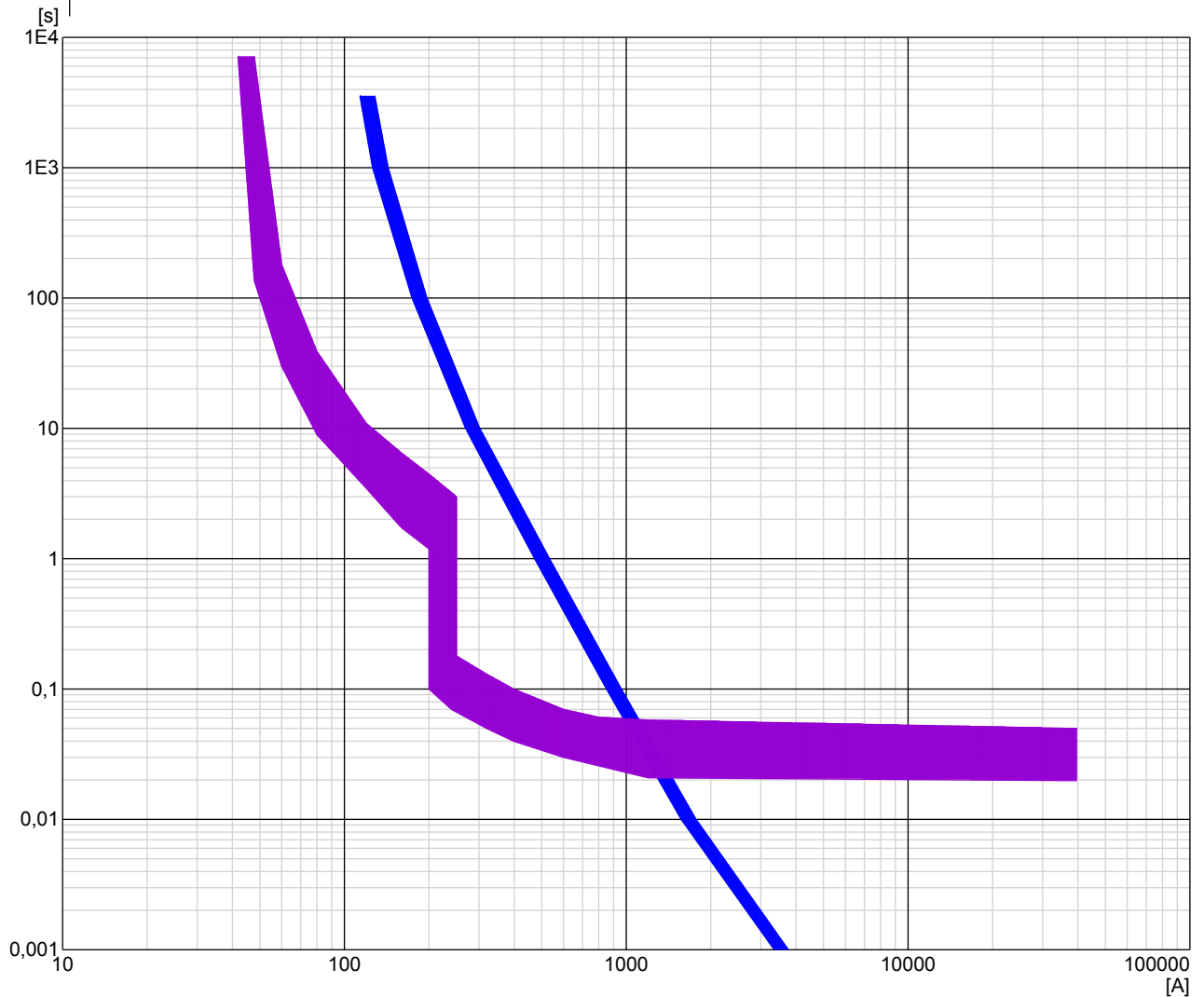
Kurs nr.: 9

Vern	Fabrikat	Type	I_n [A]
A	SIEMENS	3NA6_0_690	50
B	ABB STOTZ	S750DR E	40

FORDELINGSSKAP



Vern	Selektivitet [A]	Selektivetskriterie	Bestemmende vern
A - B	3351	Gjennomsluppet energi	A



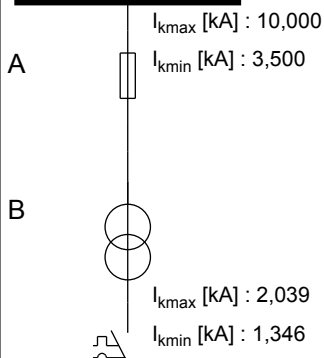
Anleggets adresse:	Anlegg: Det som skal i vedlegget	Dato: 03.06.2015 17:25:59
NTNU Institutt for Elkraftteknikk O S Bragstads pl 2 F 7491 TRONDHEIM Tel: 73591287	Fordeling FORDELINGSSKAP febdok 5.5.05 28.01.2015	NEK 400:2014 400 V TN-C-S Side 9 av 18

Selektivetsanalyse

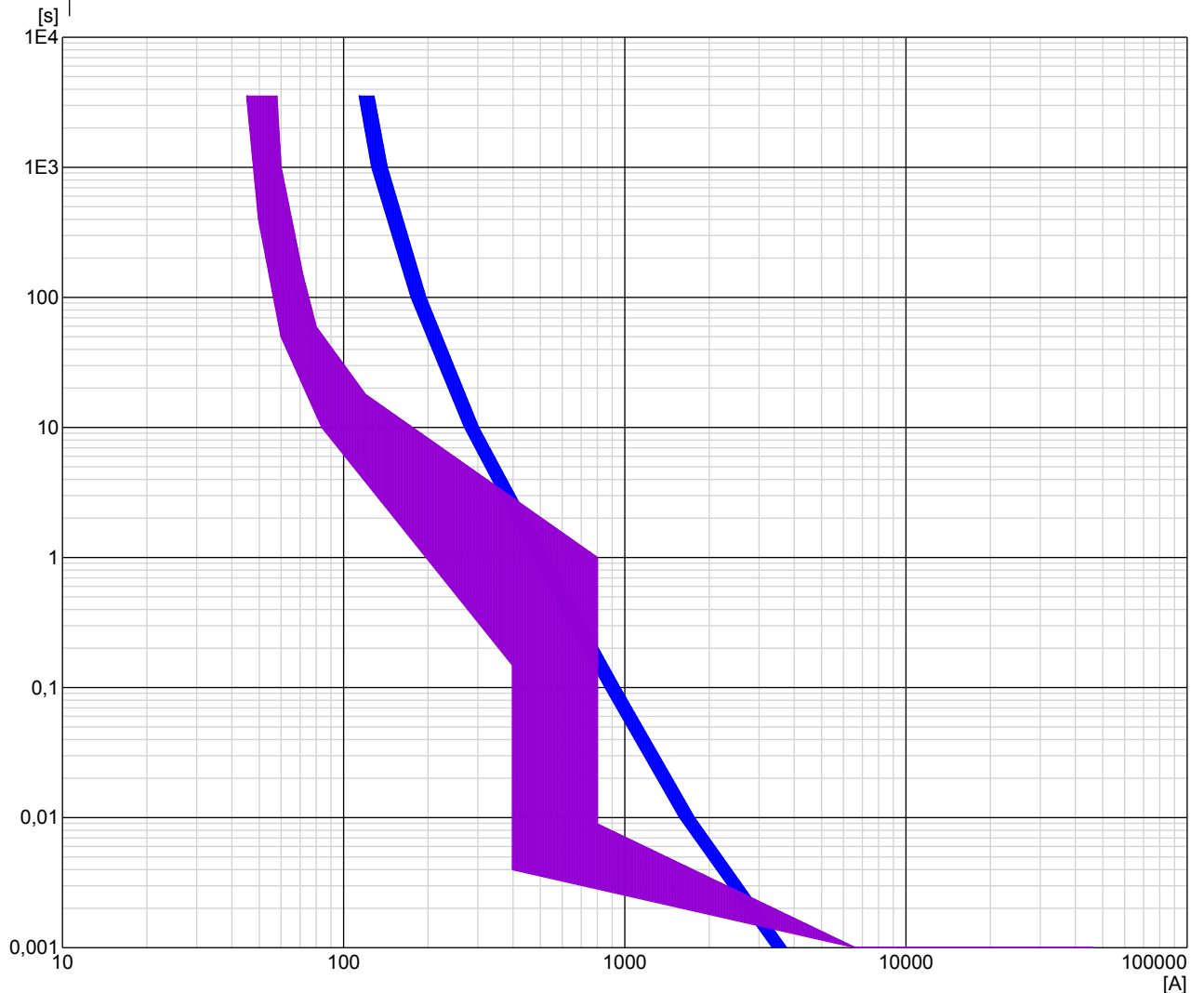
Kurs nr.: 10

Vern	Fabrikat	Type	I_n [A]
A	SIEMENS	3NA6_0_690	50
B	ABB	S800 N	40

FORDELINGSSKAP



Vern	Selektivitet [A]	Selektivetskriterie	Bestemmende vern
A - B	347	Strøm/tid-kurver	



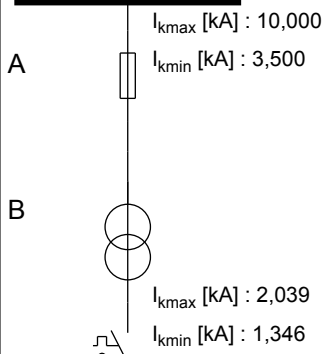
Anleggets adresse:		Anlegg: Det som skal i vedlegget	Dato: 03.06.2015 17:25:59
NTNU Institutt for Elkraftteknikk O S Bragstads pl 2 F 7491 TRONDHEIM Tel: 73591287		Fordeling FORDELINGSSKAP	NEK 400:2014 400 V TN-C-S
		5.5.05 28.01.2015	Side 10 av 18

Selektivetsanalyse

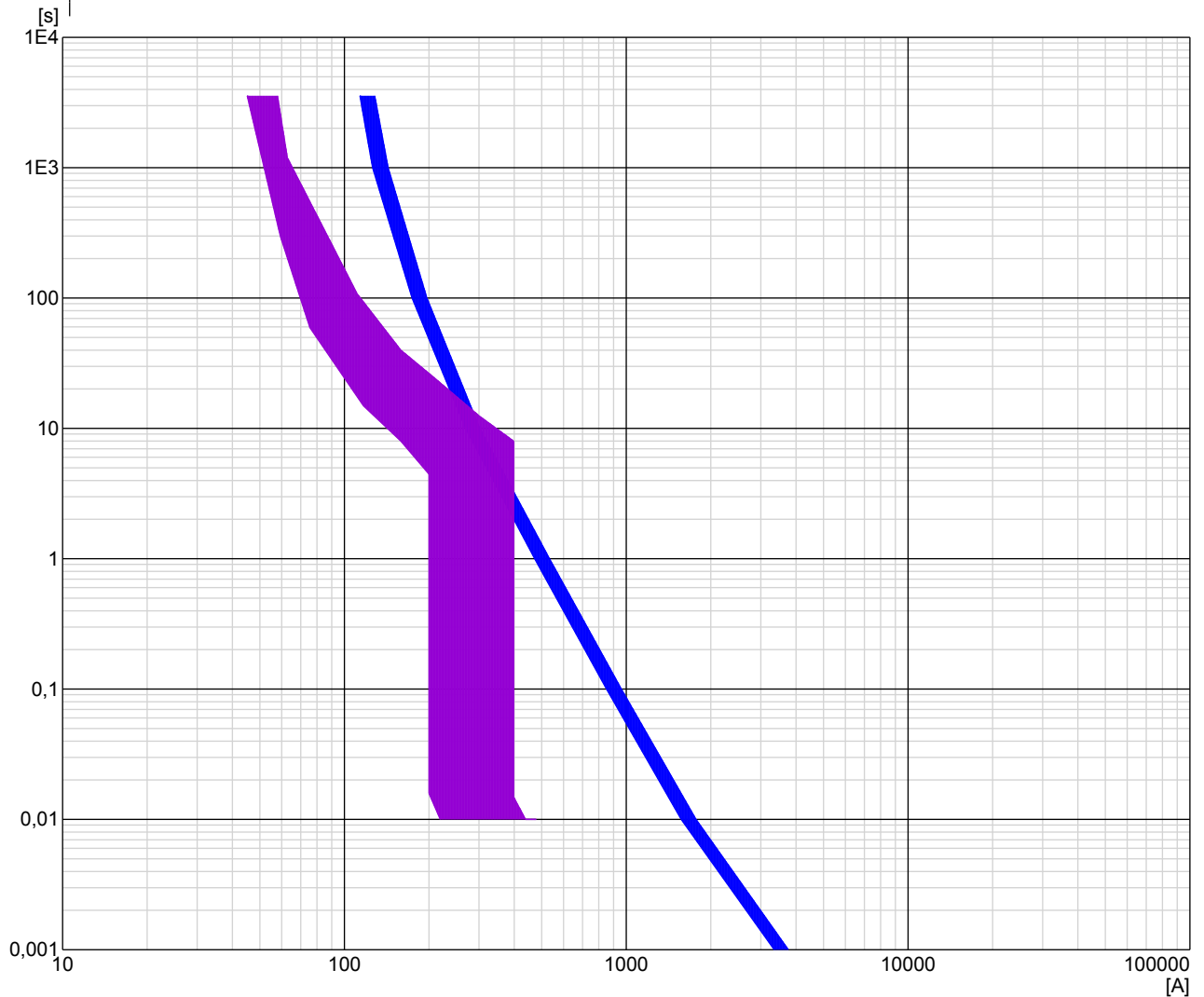
Kurs nr.: 11

Vern	Fabrikat	Type	I_n [A]
A	SIEMENS	3NA6_0_690	50
B	ABB STOTZ	S200M C	40

FORDELINGSSKAP



Vern	Selektivitet [A]	Selektivetskriterie	Bestemmende vern
A - B	237	Strøm/tid-kurver	



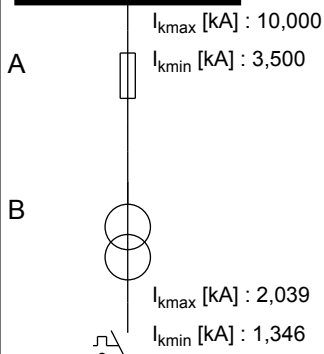
Anleggets adresse:	Anlegg: Det som skal i vedlegget	Dato: 03.06.2015 17:25:59
NTNU Institutt for Elkraftteknikk O S Bragstads pl 2 F 7491 TRONDHEIM Tel: 73591287	Fordeling FORDELINGSSKAP febdok 5.5.05 28.01.2015	NEK 400:2014 400 V TN-C-S Side 11 av 18

Selektivetsanalyse

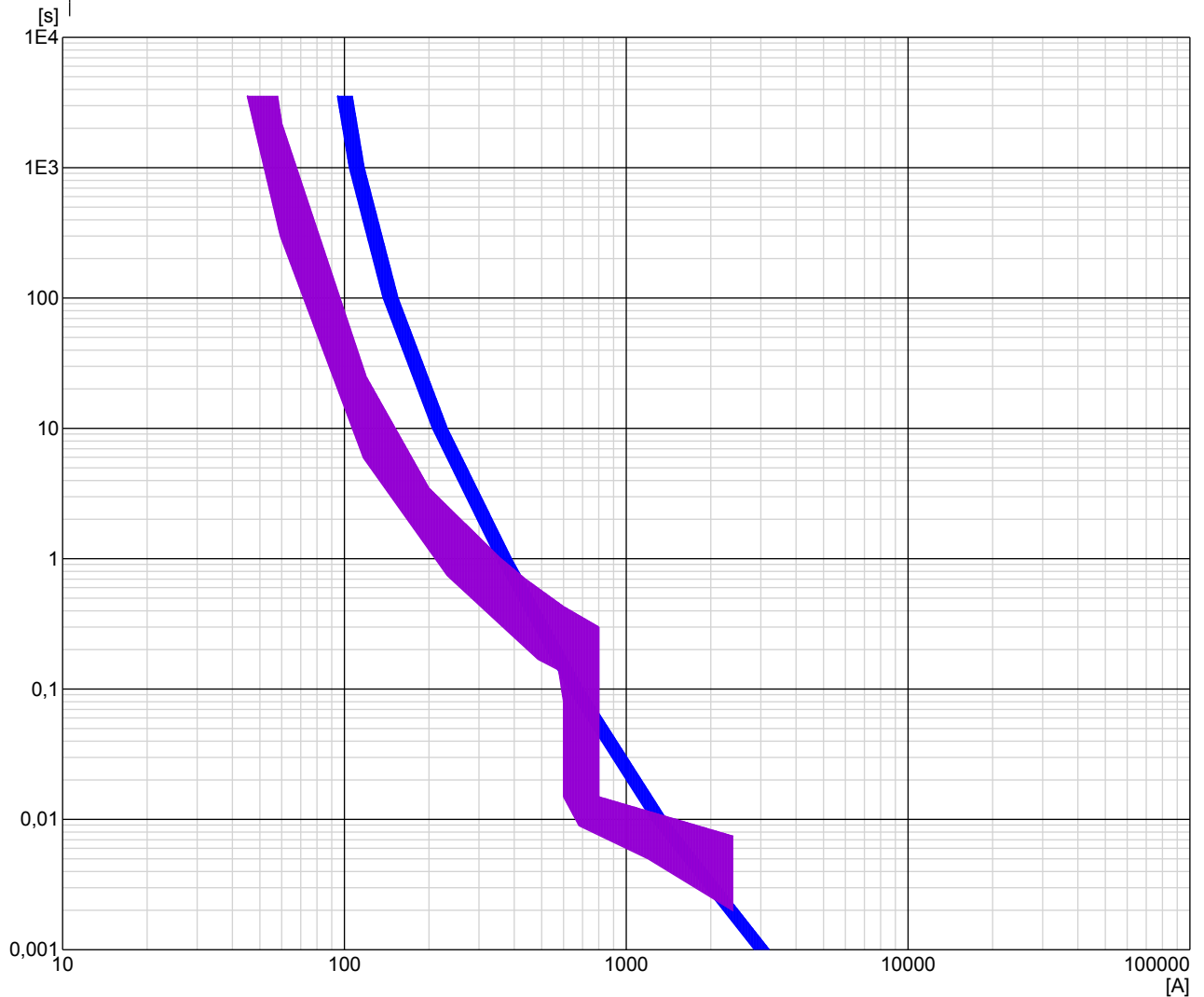
Kurs nr.: 12

Vern	Fabrikat	Type	I_n [A]
A	SIEMENS	3NA6_0_690	40
B	EATON	PLSM_OV	40

FORDELINGSSKAP



Vern	Selektivitet [A]	Selektivetskriterie	Bestemmende vern
A - B	337	Strøm/tid-kurver	



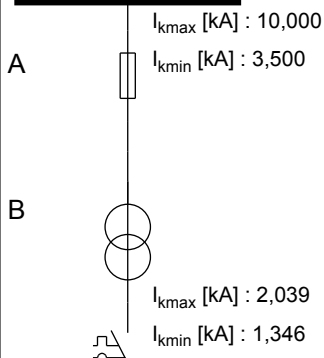
Anleggets adresse:	Anlegg: Det som skal i vedlegget	Dato: 03.06.2015 17:25:59
NTNU Institutt for Elkraftteknikk O S Bragstads pl 2 F 7491 TRONDHEIM Tel: 73591287	Fordeling FORDELINGSSKAP febdok 5.5.05 28.01.2015	NEK 400:2014 400 V TN-C-S Side 12 av 18

Selektivetsanalyse

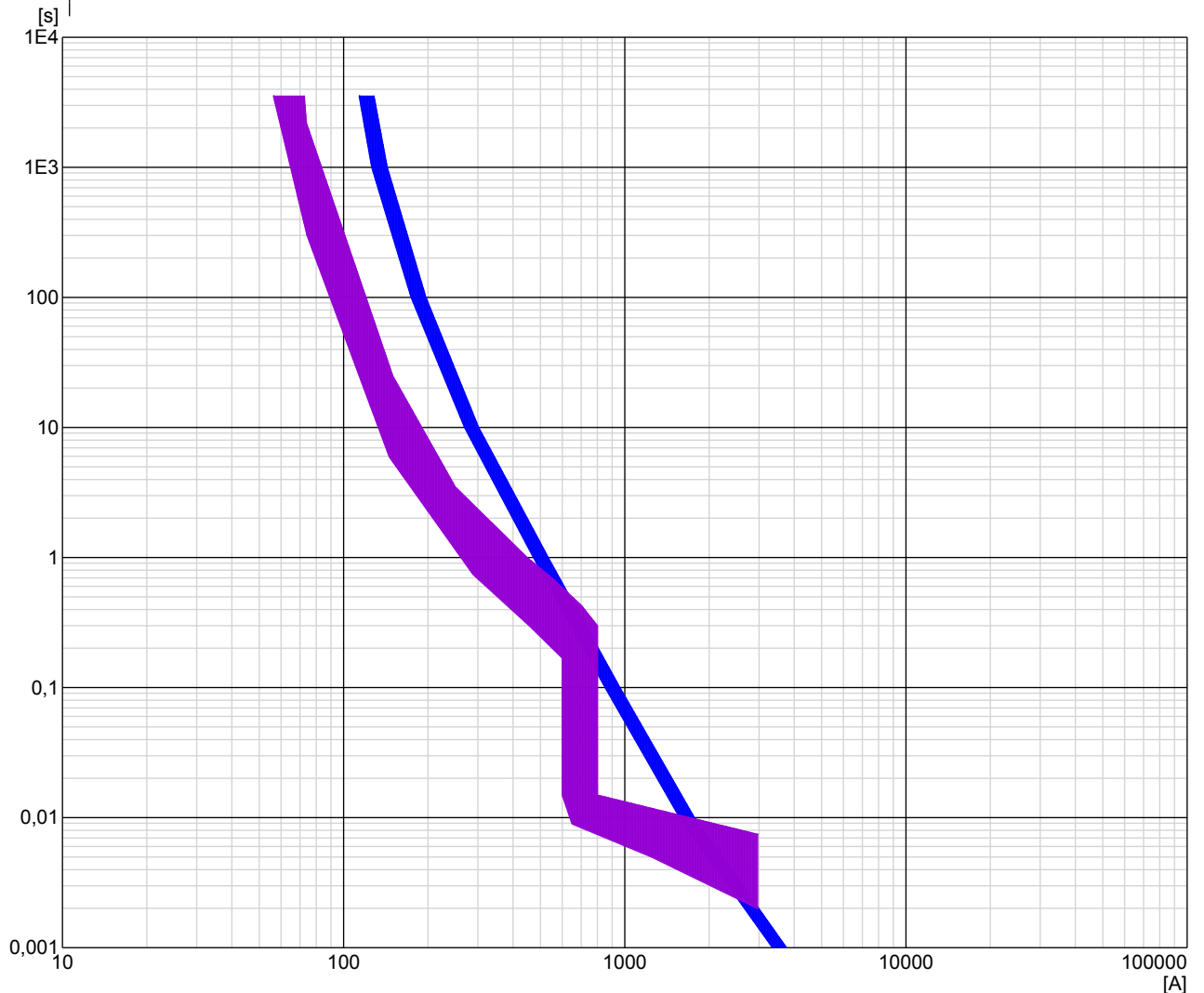
Kurs nr.: 13

Vern	Fabrikat	Type	I_n [A]
A	SIEMENS	3NA6_0_690	50
B	EATON	PLSM_OV	50

FORDELINGSSKAP



Vern	Selektivitet [A]	Selektivetskriterie	Bestemmende vern
A - B	496	Strøm/tid-kurver	



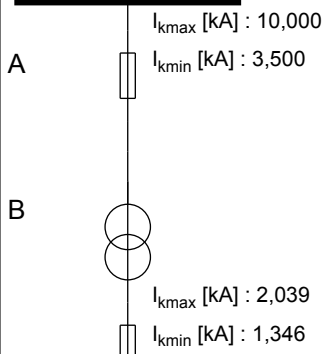
Anleggets adresse:	Anlegg: Det som skal i vedlegget	Dato: 03.06.2015 17:25:59
NTNU Institutt for Elkraftteknikk O S Bragstads pl 2 F 7491 TRONDHEIM Tel: 73591287	Fordeling FORDELINGSSKAP febdok 5.5.05 28.01.2015	NEK 400:2014 400 V TN-C-S Side 13 av 18

Selektivetsanalyse

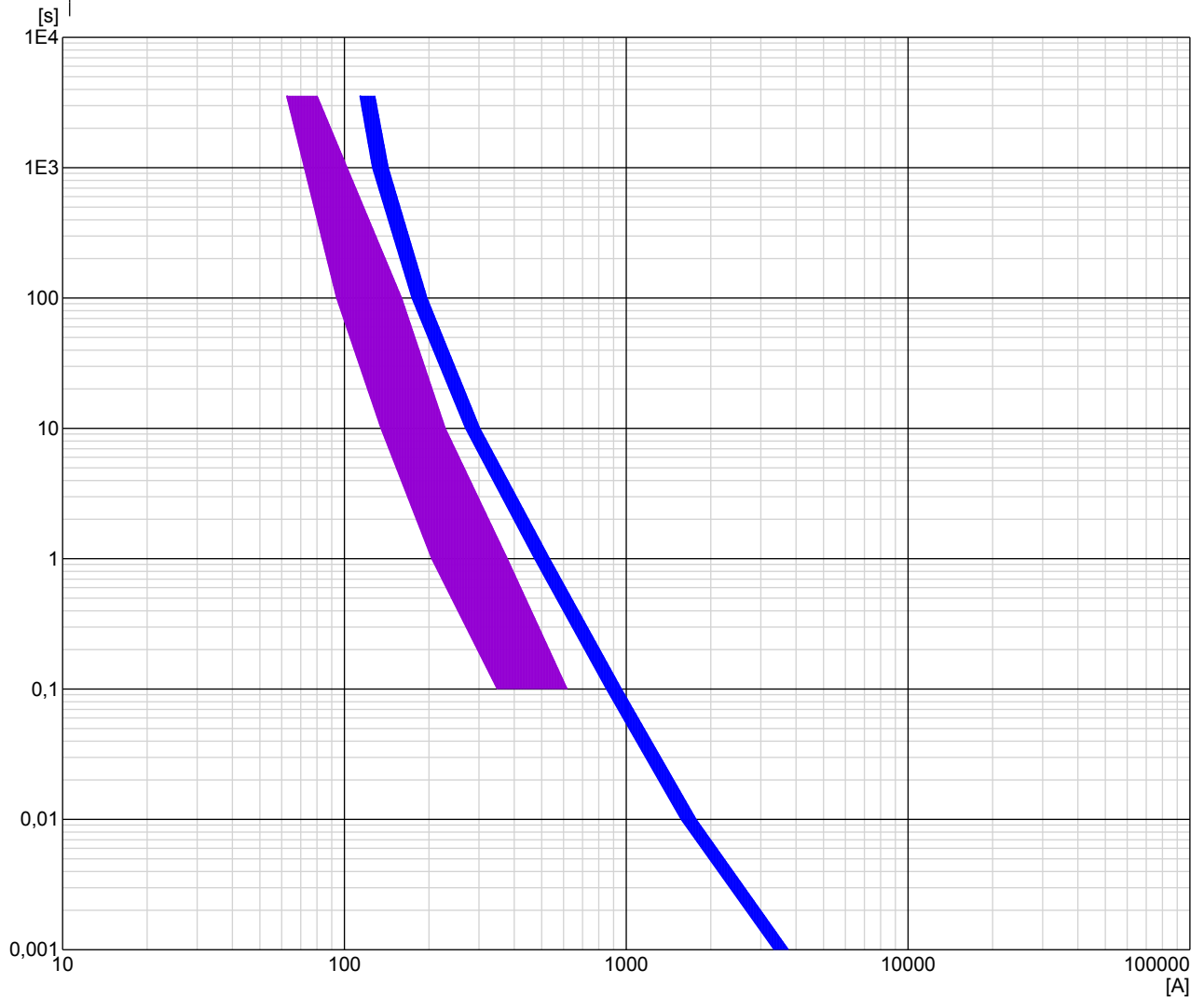
Kurs nr.: 14

Vern	Fabrikat	Type	I_n [A]
A	SIEMENS	3NA6_0_690	50
B	IEC	IEC_D_gG	50

FORDELINGSSKAP



Vern	Selektivitet [A]	Selektivetskriterie	Bestemmende vern
A - B	3351	Gjennomsluppet energi	A



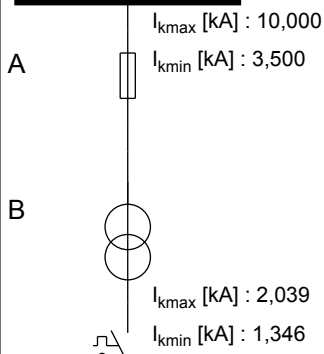
Anleggets adresse:	Anlegg: Det som skal i vedlegget	Dato: 03.06.2015 17:25:59
NTNU Institutt for Elkraftteknikk O S Bragstads pl 2 F 7491 TRONDHEIM Tel: 73591287	Fordeling FORDELINGSSKAP febdok 5.5.05 28.01.2015	NEK 400:2014 400 V TN-C-S Side 14 av 18

Selektivetsanalyse

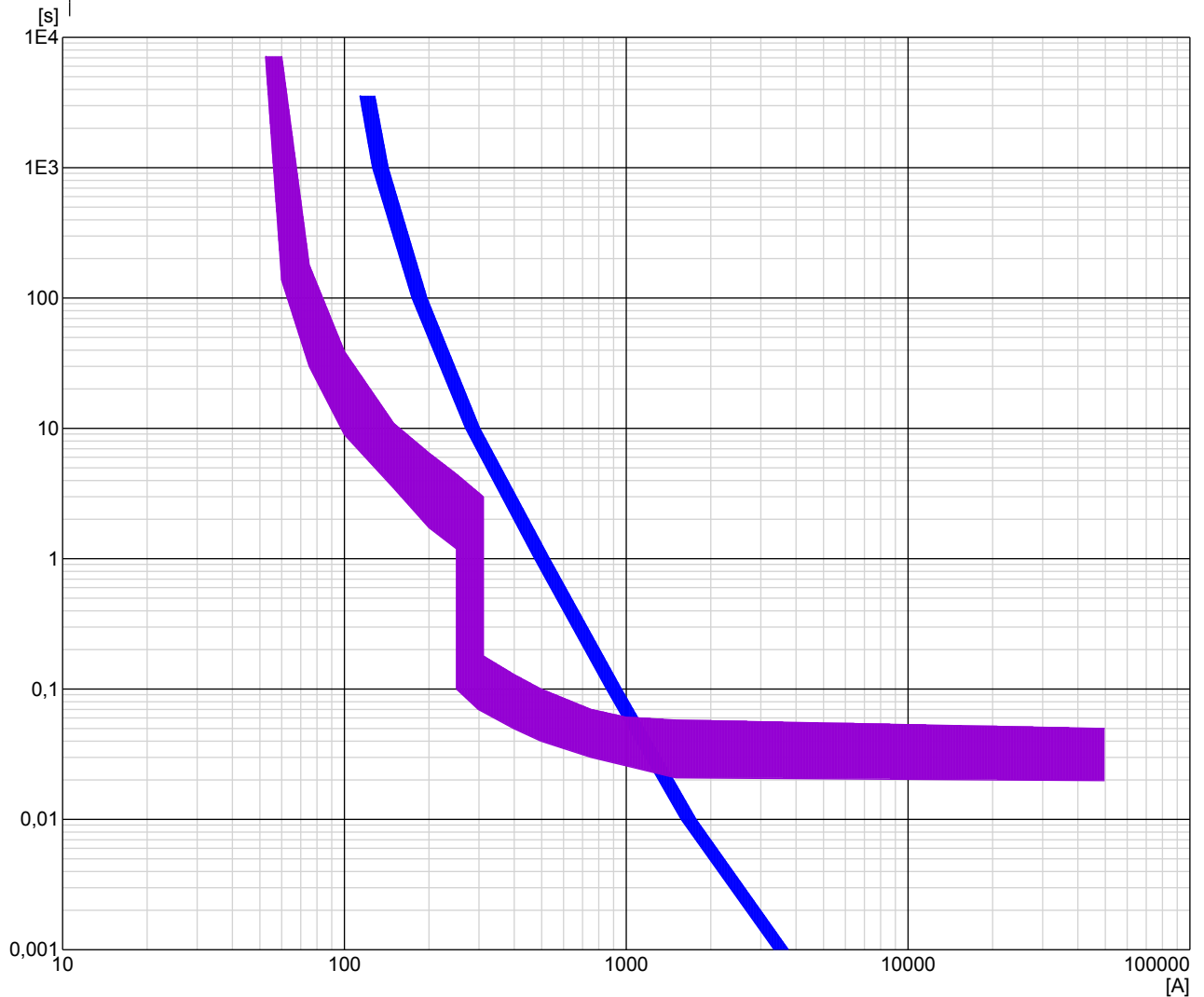
Kurs nr.: 15

Vern	Fabrikat	Type	I_n [A]
A	SIEMENS	3NA6_0_690	50
B	ABB STOTZ	S750DR E	50

FORDELINGSSKAP



Vern	Selektivitet [A]	Selektivetskriterie	Bestemmende vern
A - B	3351	Gjennomsluppet energi	A



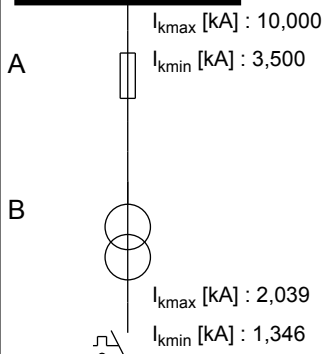
Anleggets adresse:	Anlegg: Det som skal i vedlegget	Dato: 03.06.2015 17:25:59
NTNU Institutt for Elkraftteknikk O S Bragstads pl 2 F 7491 TRONDHEIM Tel: 73591287	Fordeling FORDELINGSSKAP febdok 5.5.05 28.01.2015	NEK 400:2014 400 V TN-C-S Side 15 av 18

Selektivetsanalyse

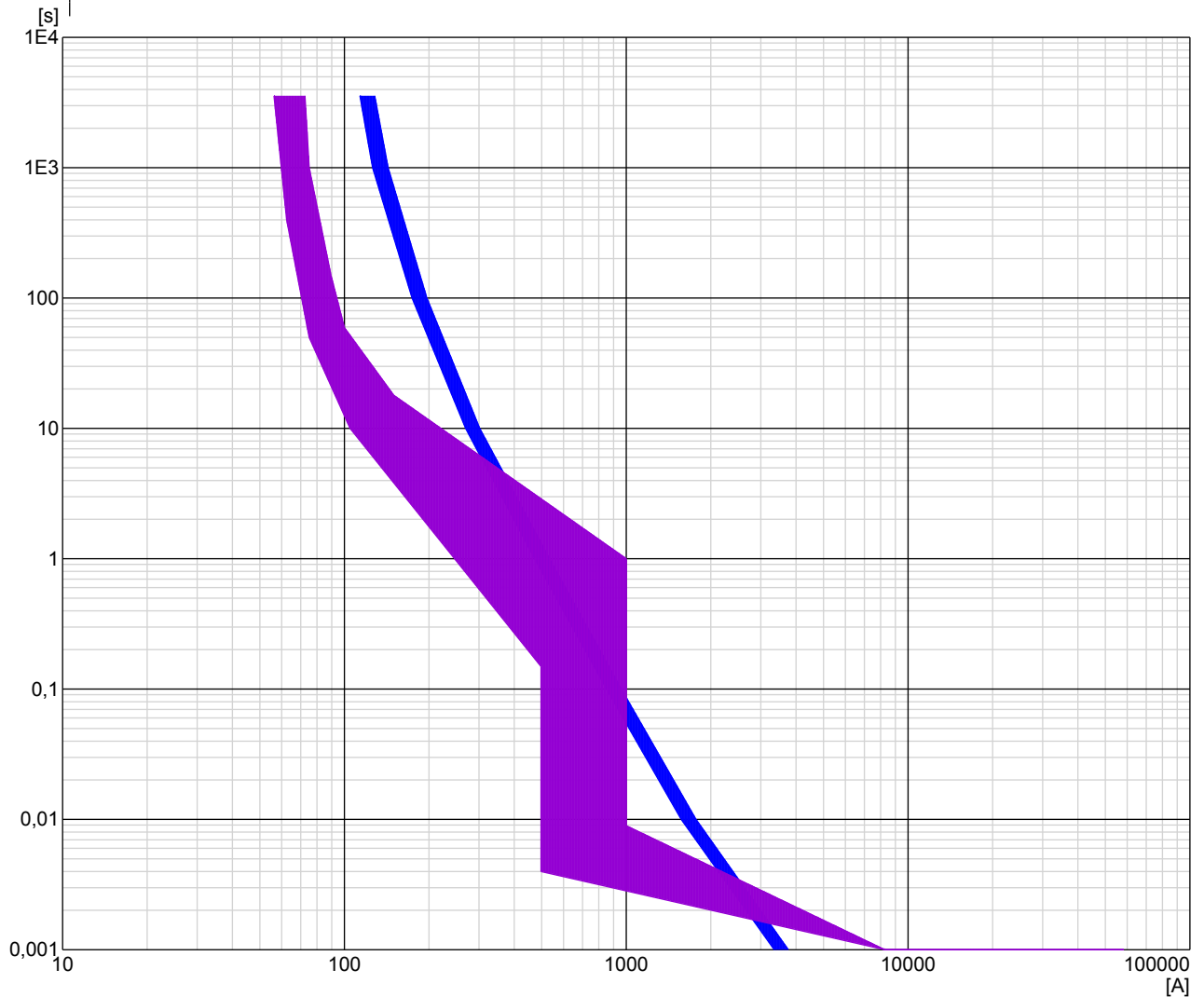
Kurs nr.: 16

Vern	Fabrikat	Type	I_n [A]
A	SIEMENS	3NA6_0_690	50
B	ABB	S800 N	50

FORDELINGSSKAP



Vern	Selektivitet [A]	Selektivetskriterie	Bestemmende vern
A - B	304	Strøm/tid-kurver	



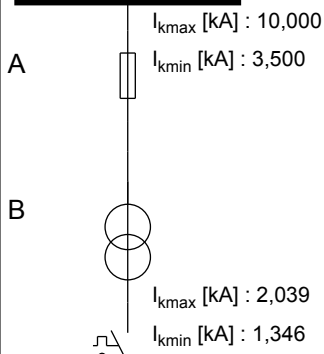
Anleggets adresse:	Anlegg: Det som skal i vedlegget	Dato: 03.06.2015 17:25:59
NTNU Institutt for Elkraftteknikk O S Bragstads pl 2 F 7491 TRONDHEIM Tel: 73591287	Fordeling FORDELINGSSKAP febdok 5.5.05 28.01.2015	NEK 400:2014 400 V TN-C-S Side 16 av 18

Selektivetsanalyse

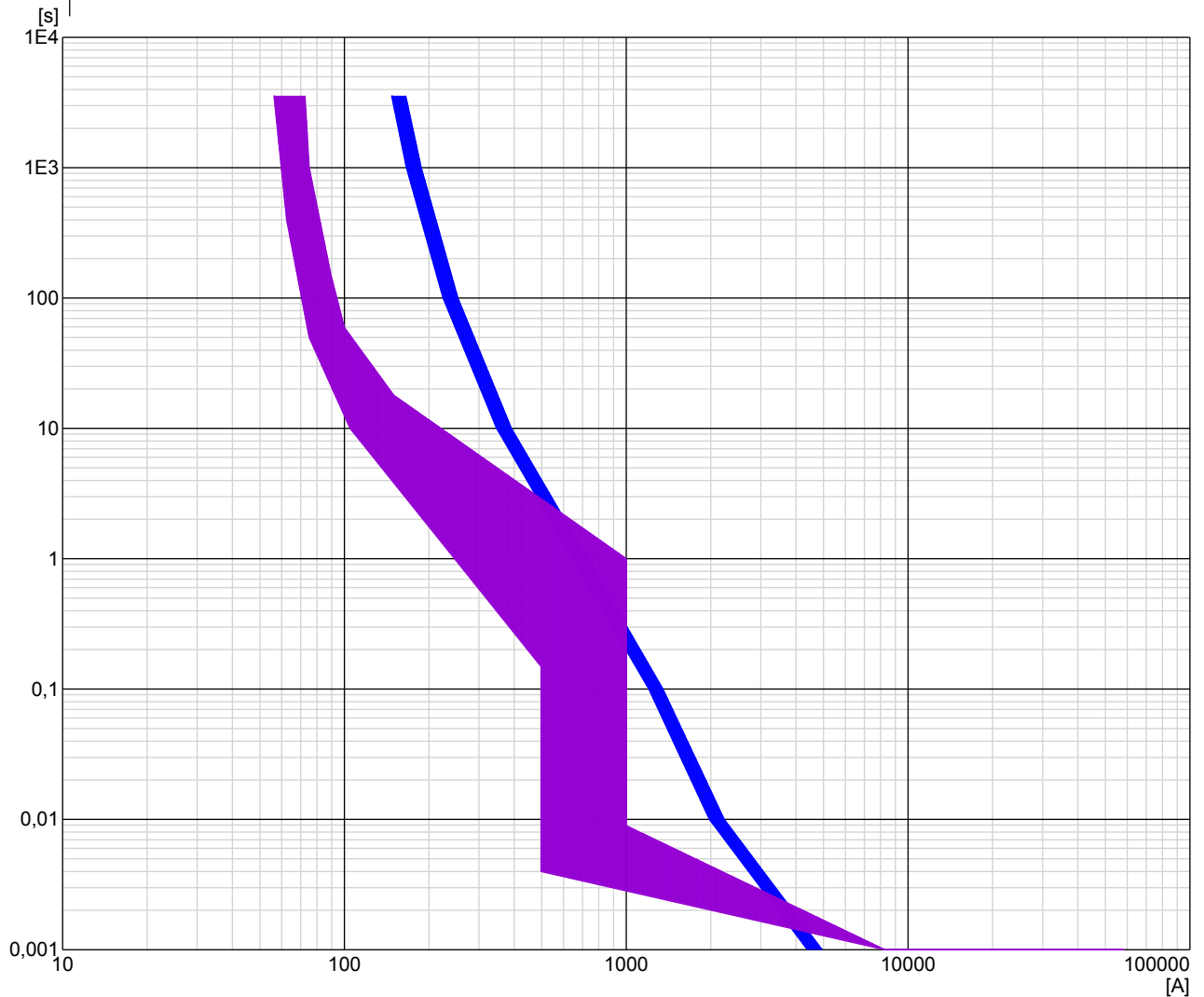
Kurs nr.: 17

Vern	Fabrikat	Type	I_n [A]
A	SIEMENS	3NA7_0_690	63
B	ABB	S800 N	50

FORDELINGSSKAP



Vern	Selektivitet [A]	Selektivetskriterie	Bestemmende vern
A - B	479	Strøm/tid-kurver	



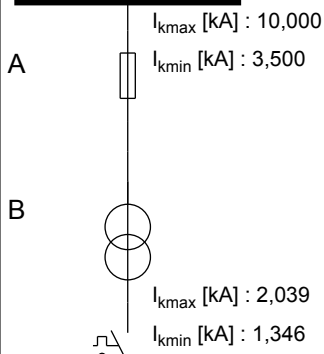
Anleggets adresse:	Anlegg: Det som skal i vedlegget	Dato: 03.06.2015 17:25:59
NTNU Institutt for Elkraftteknikk O S Bragstads pl 2 F 7491 TRONDHEIM Tel: 73591287	Fordeling FORDELINGSSKAP febdok 5.5.05 28.01.2015	NEK 400:2014 400 V TN-C-S Side 17 av 18

Selektivetsanalyse

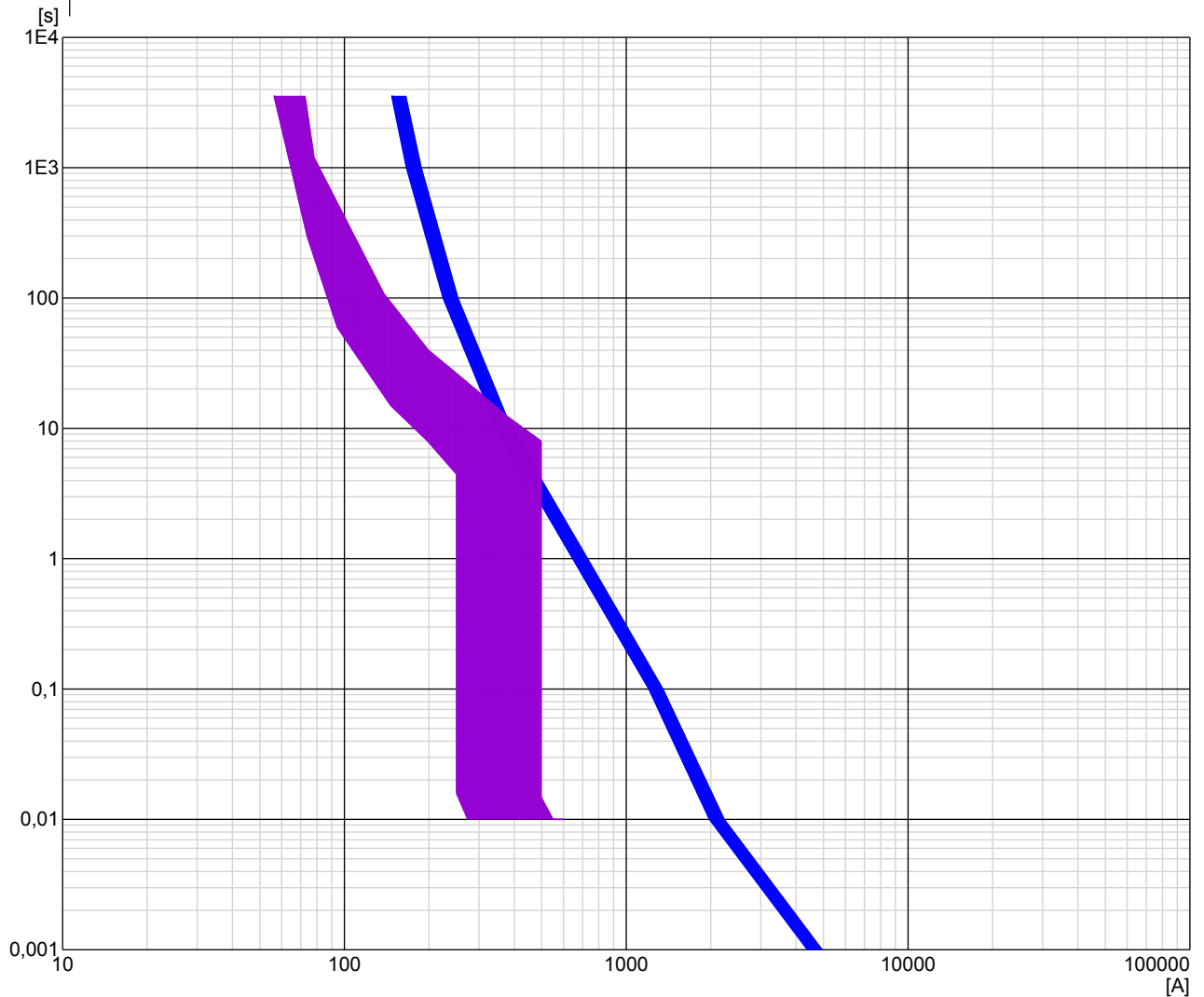
Kurs nr.: 18

Vern	Fabrikat	Type	I_n [A]
A	SIEMENS	3NA7_0_690	63
B	ABB STOTZ	S200M C	50

FORDELINGSSKAP



Vern	Selektivitet [A]	Selektivetskriterie	Bestemmende vern
A - B	312	Strøm/tid-kurver	



Anleggets adresse:	Anlegg: Det som skal i vedlegget	Dato: 03.06.2015 17:25:59
NTNU Institutt for Elkraftteknikk O S Bragstads pl 2 F 7491 TRONDHEIM Tel: 73591287	Fordeling FORDELINGSSKAP febdok 5.5.05 28.01.2015	NEK 400:2014 400 V TN-C-S Side 18 av 18

Vedlegg G: Beregningsresultater

Beregningsresultater

Kurs nr. 1

Max utkoblingstid for jordfeil : 5

Det er angitt at kursen ikke behøver å være beskyttet av et strømstyrt jordfeilvern

Inntak/fordeling	: HUS1	Fordelingstype	: IT
Beskrivelse	: Hus1		
Merkespennning	: 230 V	Antall faser	: 3
Laststrøm	: 27,9 A	Fasekobling	: L1-L2-L3
Cos phi	: 0,9	Temperatur i fordeling	: 30 °C
Merkeeffekt, Pn	: 10,0 kW	Kurs nr innmating	: 0
Merkeytelse, Sn	: 11,1 kVA		
Sammenlagret strøm	: L1: 0,0 A L2: 0,0 A L3: 0,0 A		
Sum nedstrøms tap	: 0,0 [kW]		
	:		

Transformator	:	Koblingsgruppe	: Yd5
Merkeytelse, Sn	: 20,0 kVA	Kortslutningsspennning, er	: 1,9 %
Merkespennning primær	: 400,00 V	Kortslutningsspennning, ex	: 1,1 %
Merkespennning sekundær	: 235,0 V	Kortslutningsspennning, ek	: 2,2 %

Spenningsfall totalt	: -0,5 V	-0,19 %	Klemmespenning	: 230,5
...til siste fordeling	: 0,0 V	0,00 %		
...over Kabel, Sekundær	: 1,7 V	0,75 %	Maksimal lengde	: 165,6 m
...over Transformator	: 2,9 V	1,27 %	Maksimal lengde	:

Kabel, Sekundær	:		
Kabeltype/-lederløsning	: PFSP 3x25 CU		
Ref. inst. met.	: D1		
Omgivelsestemperatur	: 20,0 °C		
Kabellengde	: 40,0 m	Annen korreksjonsfaktor	1
Tap i kabel	: 84,82 W	2,12 W/m	
Strømføringsevne	: 82,00 A		

Kortslutningsvern, merking	:		
Fabrikkat	: SIEMENS	Artikkel nummer	: 3NA68206
Bryterenhet	: 3NA6_0_690	EAN-nummer	: 4,00187E+12
Utløserenhet	: 3NA6_0_690_50.	Bryteevne	: 120,00 kA Ic
Merkestrøm	: 50,00 A	I2-verdi	: 80,00 A
		I5-(Im-) verdi	: 0,00 A
Kabel, Sekundær, største lengde som vil gi utkobling av jordfeil innen tillatt tid			: 327,2 m

Anleggets adresse:	Beregningsresultater for anlegget:	Dato: 15.05.2015 14:10:13
	Beregningsresultater	
NTNU	Fordeling	NEK 400:2014
O S Bragstads pl 2 F	FORDELINGSSKAP	400 V TN-C-S
7491 TRONDHEIM	febdok Ver. 5.5.05	Side 1
Tel: 73591287	Dato. 28.01.2015	av 18

Beregningsresultater

Kurs nr.	1				
Overbelastningsvern, merking	:				
Fabrikat	: EATON	Artikkel nummer	:		
Bryterenhet	: PLSM_OV	EAN-nummer	:		
Utløserenhet	: PLSM_OV_50	Bryteevne	: 10,00 kA Ics		
Merkestrøm	: 50,00 A	I2-verdi	: 72,50 A		
		I5-(Im-) verdi	: 800,00 A		
Kabel, Sekundær, største lengde som vil gi elektromagnetisk utkobling av alle feilstømmer				: 27,4 m	

	Kortslutningsvern					Overbelastningsvern				
	Ik [kA]	cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2S^2/I^2$ [s]	$t_{utkobling}$ [s]	Ik [kA]	cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2S^2/I^2$ [s]	$t_{utkobling}$ [s]
Ik3p max	1,316	0,87	1,908	1,576	0,005					
Ik3p max ende	0,919	0,92	1,327	3,231	0,015	1,599	0,92	2,308	3,233	0,010
Ik3p min	0,287	0,92	0,414	32,999	1,328	0,508	0,91	0,734	32,029	0,806
Ik2p max	1,140	0,87	1,653	2,101	0,007					
Ik2p max ende	0,796	0,92	1,149	4,308	0,026	1,385	0,92	1,999	4,309	0,011
Ik2p min	0,249	0,92	0,360	43,999	2,359	0,440	0,91	0,635	42,694	1,049

@ = Vernet tilfredsstillter ikke alle krav i forskrift/norm

= Ikke forskriftsstridig, men vær oppmerksom på løsningen

Anleggets adresse:	Beregningsresultater for anlegget: Beregningsresultater	Dato: 15.05.2015 14:10:13
NTNU	Fordeling FORDELINGSSKAP	NEK 400:2014 400 V TN-C-S
O S Bragstads pl 2 F 7401 TRONDHEIM Tel: 73591287	febdok Ver. 5.5.05 Dato: 28.01.2015	Side 2 av 18

Beregningsresultater

Kurs nr. **2**

Max utkoblingstid for jordfeil : 5

Det er angitt at kursen ikke behøver å være beskyttet av et strømstyrt jordfeilvern

Inntak/fordeling	: HUS2	Fordelingstype	: IT
Beskrivelse	: Hus2		
Merkespenning	: 230 V	Antall faser	: 3
Laststrøm	: 27,9 A	Fasekobling	: L1-L2-L3
Cos phi	: 0.9	Temperatur i fordeling	: 30 °C
Merkeeffekt, Pn	: 10,0 kW	Kurs nr innmating	: 0
Merkeytelse, Sn	: 11,1 kVA		
Sammenlagret strøm	: L1: 0,0 A L2: 0,0 A L3: 0,0 A		
Sum nedstrøms tap	: 0,0 [kW]		
	:		

Transformator	:	Koblingsgruppe	: Yd5
Merkeytelse, Sn	: 20,0 kVA	Kortslutningsspenning, er	: 1,9 %
Merkespenning primær	: 400,00 V	Kortslutningsspenning, ex	: 1,1 %
Merkespenning sekundær	: 235,0 V	Kortslutningsspenning, ek	: 2,2 %

Spenningsfall totalt	: -0,5 V	-0,19 %	Klemmespenning	: 230.5
...til siste fordeling	: 0,0 V	0,00 %		
...over Kabel, Sekundær	: 1,7 V	0,75 %	Maksimal lengde	: 165,6 m
...over Transformator	: 2,9 V	1,27 %	Maksimal lengde	:

Kabel, Sekundær	:		
Kabeltype/-lederløsning	: PFSP 3x25 CU		
Ref. inst. met.	: D1		
Omgivelsestemperatur	: 20,0 °C		
Kabellengde	: 40,0 m	Annen korreksjonsfaktor	1
Tap i kabel	: 84,82 W	2,12 W/m	
Strømføringsevne	: 82,00 A		

Kortslutningsvern, merking	:		
Fabrikkat	: SIEMENS	Artikkel nummer	: 3NA68226
Bryterenhet	: 3NA6_0_690	EAN-nummer	: 4,00187E+12
Utløserenhet	: 3NA6_0_690_63.	Bryteevne	: 120,00 kA Ic
Merkestrøm	: 63,00 A	I2-verdi	: 100,80 A
		I5-(Im-) verdi	: 0,00 A
Kabel, Sekundær, største lengde som vil gi utkobling av jordfeil innen tillatt tid			: 196,5 m

Anleggets adresse:	Beregningsresultater for anlegget:	Dato: 15.05.2015 14:10:13
	Beregningsresultater	
NTNU	Fordeling	NEK 400:2014
O S Bragstads pl 2 F	FORDELINGSSKAP	400 V TN-C-S
7401 TRONDHEIM	febdok	Side 3
Tel: 73591287	Ver. 5.5.05 Dato. 28.01.2015	av 18

Beregningsresultater


Kurs nr. 2

Overbelastningsvern, merking :
 Fabrikat : EATON Artikkel nummer :
 Bryterenhet : PLSM_OV EAN-nummer :
 Utløserenhet : PLSM_OV_50 Bryteevne : 10,00 kA Ics
 Merkestrøm : 50,00 A I2-verdi : 72,50 A
 I5-(Im-) verdi : 800,00 A
 Kabel, Sekundær, største lengde som vil gi elektromagnetisk utkobling av alle feilstømmer : 27,4 m

	Kortslutningsvern					Overbelastningsvern				
	Ik [kA]	cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2S^2/I^2$ [s]	t utkobling [s]	Ik [kA]	cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2S^2/I^2$ [s]	t utkobling [s]
Ik3p max	1,316	0,87	1,908	1,576	0,009					
Ik3p max ende	0,919	0,92	1,327	3,231	0,047	1,599	0,92	2,308	3,233	0,010
Ik3p min	0,287	0,92	0,414	32,999	4,112	0,508	0,91	0,734	32,029	0,806
Ik2p max	1,140	0,87	1,653	2,101	0,017					
Ik2p max ende	0,796	0,92	1,149	4,308	0,091	1,385	0,92	1,999	4,309	0,011
Ik2p min	0,249	0,92	0,360	43,999	6,949	0,440	0,91	0,635	42,694	1,049

@ = Vernet tilfredsstillter ikke alle krav i forskrift/norm

= Ikke forskriftsstridig, men vær oppmerksom på løsningen

Anleggets adresse:	Beregningsresultater for anlegget: Dato: 15.05.2015 14:10:13
	Beregningsresultater
NTNU O S Bragstads pl 2 F 7491 TRONDHEIM Tel: 73591287	Fordeling FORDELINGSSKAP  Ver. 5.5.05 Dato: 28.01.2015
	NEK 400:2014 400 V TN-C-S Side 4 av 18

Beregningsresultater

Kurs nr. 3

Max utkoblingstid for jordfeil : 5

Det er angitt at kursen ikke behøver å være beskyttet av et strømstyrt jordfeilvern

Inntak/fordeling	: HUS3	Fordelingstype	: IT
Beskrivelse	: Hus3		
Merkespenning	: 230 V	Antall faser	: 3
Laststrøm	: 27,9 A	Fasekobling	: L1-L2-L3
Cos phi	: 0.9	Temperatur i fordeling	: 30 °C
Merkeeffekt, Pn	: 10,0 kW	Kurs nr innmating	: 0
Merkeytelse, Sn	: 11,1 kVA		
Sammenlagret strøm	: L1: 0,0 A L2: 0,0 A L3: 0,0 A		
Sum nedstrøms tap	: 0,0 [kW]		
	:		

Transformator	:	Koblingsgruppe	: Yd5
Merkeytelse, Sn	: 20,0 kVA	Kortslutningsspenning, er	: 1,9 %
Merkespenning primær	: 400,00 V	Kortslutningsspenning, ex	: 1,1 %
Merkespenning sekundær	: 235,0 V	Kortslutningsspenning, ek	: 2,2 %

Spenningsfall totalt	: -0,5 V	-0,19 %	Klemmespenning	: 230.5
...til siste fordeling	: 0,0 V	0,00 %		
...over Kabel, Sekundær	: 1,7 V	0,75 %	Maksimal lengde	: 165,6 m
...over Transformator	: 2,9 V	1,27 %	Maksimal lengde	:

Kabel, Sekundær	:		
Kabeltype/-lederløsning	: PFSP 3x25 CU		
Ref. inst. met.	: D1		
Omgivelsestemperatur	: 20,0 °C		
Kabellengde	: 40,0 m	Annen korreksjonsfaktor	: 1
Tap i kabel	: 84,82 W	2,12 W/m	
Strømføringsevne	: 82,00 A		

Kortslutningsvern, merking	:		
Fabrikkat	: SIEMENS	Artikkel nummer	: 3NA68246
Bryterenhet	: 3NA6_0_690	EAN-nummer	: 4,00187E+12
Utløserenhet	: 3NA6_0_690_80.	Bryteevne	: 120,00 kA Ic
Merkestrøm	: 80,00 A	I2-verdi	: 128,00 A
		I5-(Im-) verdi	: 0,00 A
Kabel, Sekundær, største lengde som vil gi utkobling av jordfeil innen tillatt tid	: 119,5 m		

Anleggets adresse:	Beregningsresultater for anlegget:	Dato: 15.05.2015 14:10:13
	Beregningsresultater	
NTNU	Fordeling	NEK 400:2014
O S Bragstads pl 2 F	FORDELINGSSKAP	400 V TN-C-S
7491 TRONDHEIM	febdok Ver. 5.5.05	Side 5
Tel: 73591287	Dato. 28.01.2015	av 18

Beregningsresultater

Kurs nr. 3

Overbelastningsvern, merking	:			
Fabrikat	:	EATON	Artikkel nummer	:
Bryterenhet	:	PLSM_OV	EAN-nummer	:
Utløserenhet	:	PLSM_OV_50	Bryteevne	: 10,00 kA Ics
Merkestrøm	:	50,00 A	I2-verdi	: 72,50 A
			I5-(Im-) verdi	: 800,00 A
Kabel, Sekundær, største lengde som vil gi elektromagnetisk utkobling av alle feilstømmer				: 27,4 m

	Kortslutningsvern					Overbelastningsvern				
	Ik [kA]	cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2S^2/I^2$ [s]	$t_{utkobling}$ [s]	Ik [kA]	cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2S^2/I^2$ [s]	$t_{utkobling}$ [s]
Ik3p max	1,316	0,87	1,908	1,576	0,027					
Ik3p max ende	0,919	0,92	1,327	3,231	0,124	1,599	0,92	2,308	3,233	0,010
Ik3p min	0,287	0,92	0,414	32,999	8,787	0,508	0,91	0,734	32,029	0,806
Ik2p max	1,140	0,87	1,653	2,101	0,050					
Ik2p max ende	0,796	0,92	1,149	4,308	0,207	1,385	0,92	1,999	4,309	0,011
Ik2p min	0,249	0,92	0,360	43,999	18,214	0,440	0,91	0,635	42,694	1,049

@ = Vernet tilfredsstillter ikke alle krav i forskrift/norm

= Ikke forskriftsstridig, men vær oppmerksom på løsningen

Anleggets adresse:	Beregningsresultater for anlegget:	Dato: 15.05.2015 14:10:13
	Beregningsresultater	
NTNU	Fordeling	NEK 400:2014
O S Bragstads pl 2 F	FORDELINGSSKAP	400 V TN-C-S
7491 TRONDHEIM	febdok Ver. 5.5.05	Side 6
Tel: 73591287	Dato. 28.01.2015	av 18

Beregningsresultater**Kurs nr.** 4

Max utkoblingstid for jordfeil : 5

Det er angitt at kursen ikke behøver å være beskyttet av et strømstyrt jordfeilvern

Inntak/fordeling	: HUS4	Fordelingstype	: IT
Beskrivelse	: Hus4		
Merkespenning	: 230 V	Antall faser	: 3
Laststrøm	: 27,9 A	Fasekobling	: L1-L2-L3
Cos phi	: 0.9	Temperatur i fordeling	: 30 °C
Merkeeffekt, Pn	: 10,0 kW	Kurs nr inmating	: 0
Merkeytelse, Sn	: 11,1 kVA		
Sammenlagret strøm	: L1: 0,0 A L2: 0,0 A L3: 0,0 A		
Sum nedstrøms tap	: 0,0 [kW]		
	:		

Transformator	:	Koblingsgruppe	: Yd5
Merkeytelse, Sn	: 16,0 kVA	Kortslutningsspenning, er	: 2,4 %
Merkespenning primær	: 400,00 V	Kortslutningsspenning, ex	: 1,4 %
Merkespenning sekundær	: 235,0 V	Kortslutningsspenning, ek	: 2,8 %

Spenningsfall totalt	: 1,3 V	0,55 %	Klemmespenning	: 228.7
...til siste fordeling	: 0,0 V	0,00 %		
...over Kabel, Sekundær	: 1,7 V	0,75 %	Maksimal lengde	: 122,7 m
...over Transformator	: 4,7 V	2,03 %	Maksimal lengde	:

Kabel, Sekundær	:		
Kabeltype/-lederløsning	: PFSP 3x25 CU		
Ref. inst. met.	: D1		
Omgivelsestemperatur	: 20,0 °C		
Kabellengde	: 40,0 m	Annen korreksjonsfaktor	1
Tap i kabel	: 84,82 W	2,12 W/m	
Strømføringsevne	: 82,00 A		

Kortslutningsvern, merking	:		
Fabrikkat	: SIEMENS	Artikkel nummer	: 3NA68176
Bryterenhet	: 3NA6_0_690	EAN-nummer	: 4,00187E+12
Utløserenhet	: 3NA6_0_690_40.	Bryteevne	: 120,00 kA Ic
Merkestrøm	: 40,00 A	I2-verdi	: 64,00 A
		I5-(Im-) verdi	: 0,00 A
Kabel, Sekundær, største lengde som vil gi utkobling av jordfeil innen tillatt tid			: 468,1 m

Anleggets adresse:	Beregningsresultater for anlegget:	Dato: 15.05.2015 14:10:13
	Beregningsresultater	
NTNU	Fordeling	NEK 400:2014
O S Bragstads pl 2 F	FORDELINGSSKAP	400 V TN-C-S
7491 TRONDHEIM	Febdok Ver. 5.5.05	Side 7
Tel: 73591287	Dato. 28.01.2015	av 18

Beregningsresultater

Kurs nr. 4

Overbelastningsvern, merking	:			
Fabrikkat	:	EATON	Artikkel nummer	:
Bryterenhet	:	PLSM_OV	EAN-nummer	:
Utløserenhet	:	PLSM_OV_40	Bryteevne	:
Merkestrøm	:	40,00 A	I2-verdi	:
			I5-(Im-) verdi	:
				:
Kabel, Sekundær, største lengde som vil gi elektromagnetisk utkobling av alle feilstømmer	:			Ikke mulig

	Kortslutningsvern					Overbelastningsvern				
	Ik [kA]	cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2S^2/I^2$ [s]	t utkobling [s]	Ik [kA]	cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2S^2/I^2$ [s]	t utkobling [s]
Ik3p max	0,855	0,86	1,241	3,732	0,008					
Ik3p max ende	0,670	0,91	0,968	6,087	0,018	1,165	0,91	1,683	6,090	0,012
Ik3p min	0,253	0,91	0,365	42,518	0,639	0,447	0,91	0,646	41,368	0,683
Ik2p max	0,741	0,86	1,075	4,976	0,013					
Ik2p max ende	0,580	0,91	0,838	8,117	0,030	1,009	0,91	1,458	8,119	0,013
Ik2p min	0,219	0,91	0,316	56,690	1,142	0,387	0,91	0,559	55,189	0,879

@ = Vernet tilfredsstillter ikke alle krav i forskrift/norm

= Ikke forskriftsstridig, men vær oppmerksom på løsningen

Anleggets adresse:	Beregningsresultater for anlegget:	Dato: 15.05.2015 14:10:13
	Beregningsresultater	
NTNU	Fordeling	NEK 400:2014
O S Bragstads pl 2 F	FORDELINGSSKAP	400 V TN-C-S
7491 TRONDHEIM	febdok	Side 8
Tel: 73591287	Ver. 5.5.05 Date. 28.01.2015	av 18

Beregningsresultater

Kurs nr. 5

Max utkoblingstid for jordfeil : 5

Det er angitt at kursen ikke behøver å være beskyttet av et strømstyrt jordfeilvern

Inntak/fordeling	: HUS5	Fordelingstype	: IT
Beskrivelse	: Hus5		
Merkespenning	: 230 V	Antall faser	: 3
Laststrøm	: 27,9 A	Fasekobling	: L1-L2-L3
Cos phi	: 0.9	Temperatur i fordeling	: 30 °C
Merkeeffekt, Pn	: 10,0 kW	Kurs nr innmating	: 0
Merkeytelse, Sn	: 11,1 kVA		
Sammenlagret strøm	: L1: 0,0 A L2: 0,0 A L3: 0,0 A		
Sum nedstrøms tap	: 0,0 [kW]		
	:		

Transformator	:	Koblingsgruppe	: Yd5
Merkeytelse, Sn	: 16,0 kVA	Kortslutningsspenning, er	: 2,4 %
Merkespenning primær	: 400,00 V	Kortslutningsspenning, ex	: 1,4 %
Merkespenning sekundær	: 235,0 V	Kortslutningsspenning, ek	: 2,8 %

Spenningsfall totalt	: 1,3 V	0,55 %	Klemmespenning	: 228.7
...til siste fordeling	: 0,0 V	0,00 %		
...over Kabel, Sekundær	: 1,7 V	0,75 %	Maksimal lengde	: 122,7 m
...over Transformator	: 4,7 V	2,03 %	Maksimal lengde	:

Kabel, Sekundær	:		
Kabeltype/-lederløsning	: PFSP 3x25 CU		
Ref. inst. met.	: D1		
Omgivelsestemperatur	: 20,0 °C		
Kabellengde	: 40,0 m	Annen korreksjonsfaktor	1
Tap i kabel	: 84,82 W	2,12 W/m	
Strømføringsevne	: 82,00 A		

Kortslutningsvern, merking	:		
Fabrikkat	: SIEMENS	Artikkel nummer	: 3NA68206
Bryterenhet	: 3NA6_0_690	EAN-nummer	: 4,00187E+12
Utløserenhet	: 3NA6_0_690_50.	Bryteevne	: 120,00 kA Ic
Merkestrøm	: 50,00 A	I2-verdi	: 80,00 A
		I5-(Im-) verdi	: 0,00 A
Kabel, Sekundær, største lengde som vil gi utkobling av jordfeil innen tillatt tid			: 293,5 m

Anleggets adresse:	Beregningsresultater for anlegget:	Dato: 15.05.2015 14:10:13
	Beregningsresultater	
NTNU	Fordeling	NEK 400:2014
O S Bragstads pl 2 F	FORDELINGSSKAP	400 V TN-C-S
7491 TRONDHEIM	Febdok Ver. 5.5.05	Side 9
Tel: 73501287	Date. 28.01.2015	av 18

Beregningsresultater

Kurs nr. 5

Overbelastningsvern, merking	:			
Fabrikkat	:	EATON	Artikkel nummer :	
Bryterenhet	:	PLSM_OV	EAN-nummer :	
Utløserenhet	:	PLSM_OV_40	Bryteevne	: 10,00 kA Ics
Merkestrøm	:	40,00 A	I2-verdi	: 58,00 A
			I5-(Im-) verdi	: 800,00 A
Kabel, Sekundær, største lengde som vil gi elektromagnetisk utkobling av alle feilstømmer	:			: Ikke mulig

	Kortslutningsvern					Overbelastningsvern				
	Ik [kA]	cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2S^2/I^2$ [s]	t utkobling [s]	Ik [kA]	cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2S^2/I^2$ [s]	t utkobling [s]
Ik3p max	0,855	0,86	1,241	3,732	0,020					
Ik3p max ende	0,670	0,91	0,968	6,087	0,049	1,165	0,91	1,683	6,090	0,012
Ik3p min	0,253	0,91	0,365	42,518	2,211	0,447	0,91	0,646	41,368	0,683
Ik2p max	0,741	0,86	1,075	4,976	0,033					
Ik2p max ende	0,580	0,91	0,838	8,117	0,084	1,009	0,91	1,458	8,119	0,013
Ik2p min	0,219	0,91	0,316	56,690	3,965	0,387	0,91	0,559	55,189	0,879

@ = Vernet tilfredsstillter ikke alle krav i forskrift/norm

= Ikke forskriftsstridig, men vær oppmerksom på løsningen

Anleggets adresse:	Beregningsresultater for anlegget:	Dato: 15.05.2015 14:10:13
	Beregningsresultater	
NTNU	Fordeling	NEK 400:2014
O S Bragstads pl 2 F	FORDELINGSSKAP	400 V TN-C-S
7491 TRONDHEIM	febdok	Side 10
Tel: 73591287	Ver. 6.5.05	av 18
	Dato. 28.01.2015	

Beregningsresultater

Kurs nr. 6

Max utkoblingstid for jordfeil : 5

Det er angitt at kursen ikke behøver å være beskyttet av et strømstyrt jordfeilvern

Inntak/fordeling	: HUS6	Fordelingstype	: IT
Beskrivelse	: Hus6		
Merkespenning	: 230 V	Antall faser	: 3
Laststrøm	: 27,9 A	Fasekobling	: L1-L2-L3
Cos phi	: 0.9	Temperatur i fordeling	: 30 °C
Merkeeffekt, Pn	: 10,0 kW	Kurs nr innmating	: 0
Merkeytelse, Sn	: 11,1 kVA		
Sammenlagret strøm	: L1: 0,0 A L2: 0,0 A L3: 0,0 A		
Sum nedstrøms tap	: 0,0 [kW]		
	:		

Transformator	:	Koblingsgruppe	: Yd5
Merkeytelse, Sn	: 16,0 kVA	Kortslutningsspenning, er	: 2,4 %
Merkespenning primær	: 400,00 V	Kortslutningsspenning, ex	: 1,4 %
Merkespenning sekundær	: 235,0 V	Kortslutningsspenning, ek	: 2,8 %

Spenningsfall totalt	: 1,3 V	0,55 %	Klemmespenning	: 228.7
...til siste fordeling	: 0,0 V	0,00 %		
...over Kabel, Sekundær	: 1,7 V	0,75 %	Maksimal lengde	: 122,7 m
...over Transformator	: 4,7 V	2,03 %	Maksimal lengde	:

Kabel, Sekundær	:		
Kabeltype/-lederløsning	: PFSP 3x25 CU		
Ref. inst. met.	: D1		
Omgivelsestemperatur	: 20,0 °C		
Kabellengde	: 40,0 m	Annen korreksjonsfaktor	: 1
Tap i kabel	: 84,82 W	2,12 W/m	
Strømføringsevne	: 82,00 A		

Kortslutningsvern, merking	:		
Fabrikkat	: SIEMENS	Artikkel nummer	: 3NA68226
Bryterenhet	: 3NA6_0_690	EAN-nummer	: 4,00187E+12
Utløserenhet	: 3NA6_0_690_63.	Bryteevne	: 120,00 kA Ic
Merkestrøm	: 63,00 A	I2-verdi	: 100,80 A
		I5-(Im-) verdi	: 0,00 A
Kabel, Sekundær, største lengde som vil gi utkobling av jordfeil innen tillatt tid			: 161,9 m

Anleggets adresse:	Beregningsresultater for anlegget:	Dato: 15.05.2015 14:10:13
	Beregningsresultater	
NTNU	Fordeling	NEK 400:2014
O S Bragstads pl 2 F	FORDELINGSSKAP	400 V TN-C-S
7491 TRONDHEIM	Febdok Ver. 5.5.05	Side 11
Tel: 73591287	Dato. 28.01.2015	av 18

Beregningsresultater

Kurs nr.	6				
Overbelastningsvern, merking	:				
Fabrikkat	: EATON	Artikkel nummer	:		
Bryterenhet	: PLSM_OV	EAN-nummer	:		
Utløserenhet	: PLSM_OV_40	Bryteevne	: 10,00 kA Ics		
Merkestrøm	: 40,00 A	I2-verdi	: 58,00 A		
		I5-(Im-) verdi	: 800,00 A		
Kabel, Sekundær, største lengde som vil gi elektromagnetisk utkobling av alle feilstrømmer	: Ikke mulig				

	Kortslutningsvern					Overbelastningsvern				
	Ik [kA]	cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2S^2/I^2$ [s]	t utkobling [s]	Ik [kA]	cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2S^2/I^2$ [s]	t utkobling [s]
Ik3p max	0,855	0,86	1,241	3,732	0,065					
Ik3p max ende	0,670	0,91	0,968	6,087	0,176	1,165	0,91	1,683	6,090	0,012
Ik3p min	0,253	0,91	0,365	42,518	6,552	0,447	0,91	0,646	41,368	0,683
Ik2p max	0,741	0,86	1,075	4,976	0,121					
Ik2p max ende	0,580	0,91	0,838	8,117	0,302	1,009	0,91	1,458	8,119	0,013
Ik2p min	0,219	0,91	0,316	56,690	11,704	0,387	0,91	0,559	55,189	0,879

@ = Vernet tilfredsstillere ikke alle krav i forskrift/norm

= Ikke forskriftsstridig, men vær oppmerksom på løsningen

Anleggets adresse:	Beregningsresultater for anlegget:	Dato: 15.05.2015 14:10:13
	Beregningsresultater	
NTNU	Fordeling	NEK 400:2014
O S Bragstads pl 2 F	FORDELINGSSKAP	400 V TN-C-S
7491 TRONDHEIM	febdok	Side 12
Tel: 73501287	Ver. 5.5.05 Dato. 28.01.2015	av 18

Beregningsresultater

Kurs nr. 7

Max utkoblingstid for jordfeil : 5

Det er angitt at kursen ikke behøver å være beskyttet av et strømstyrt jordfeilvern

Inntak/fordeling	: HUS7	Fordelingstype	: IT
Beskrivelse	: Hus7		
Merkespenning	: 230 V	Antall faser	: 3
Laststrøm	: 10,0 A	Fasekobling	: L1-L2-L3
Cos phi	: 0.9	Temperatur i fordeling	: 30 °C
Merkeeffekt, Pn	: 3,6 kW	Kurs nr inmating	: 0
Merkeytelse, Sn	: 4,0 kVA		:
Sammenlagret strøm	: L1: 0,0 A L2: 0,0 A L3: 0,0 A		
Sum nedstrøms tap	: 0,0 [kW]		
	:		

Transformator	:	Koblingsgruppe	: Yd5
Merkeytelse, Sn	: 12,5 kVA	Kortslutningsspenning, er	: 3,4 %
Merkespenning primær	: 400,00 V	Kortslutningsspenning, ex	: 1,9 %
Merkespenning sekundær	: 235,0 V	Kortslutningsspenning, ek	: 3,9 %

Spenningsfall totalt	: -1,4 V	-0,62 %	Klemmespenning	: 231.4
...til siste fordeling	: 0,0 V	0,00 %		
...over Kabel, Sekundær	: 0,6 V	0,26 %	Maksimal lengde	: 458,6 m
...over Transformator	: 3,0 V	1,29 %	Maksimal lengde	:

Kabel, Sekundær	:		
Kabeltype/-lederløsning	: PFSP 3x25 CU		
Ref. inst. met.	: D1		
Omgivelsestemperatur	: 20,0 °C		
Kabellengde	: 40,0 m	Annen korreksjonsfaktor	1
Tap i kabel	: 10,90 W	0,27 W/m	
Strømføringsevne	: 82,00 A		

Kortslutningsvern, merking	:		
Fabrikkat	: SIEMENS	Artikkel nummer	: 3NA68126
Bryterenhet	: 3NA6_0_690	EAN-nummer	: 4,00187E+12
Utløserenhet	: 3NA6_0_690_32.	Bryteevne	: 120,00 kA Ic
Merkestrøm	: 32,00 A	I2-verdi	: 51,20 A
		I5-(Im-) verdi	: 0,00 A
Kabel, Sekundær, største lengde som vil gi utkobling av jordfeil innen tillatt tid			: 590,2 m

Anleggets adresse:	Beregningsresultater for anlegget:	Dato: 15.05.2015 14:10:13
	Beregningsresultater	
NTNU	Fordeling	NEK 400:2014
O S Bragstads pl 2 F	FORDELINGSSKAP	400 V TN-C-S
7401 TRONDHEIM	febdok	Ver. 5.5.05
Tel: 73591287	Dato. 28.01.2015	Side 13
		av 18

Beregningsresultater

Kurs nr. 7

Overbelastningsvern, merking	:			
Fabrikat	:	EATON	Artikkel nummer	:
Bryterenhet	:	PLSM_OV	EAN-nummer	:
Utløserenhet	:	PLSM_OV_32	Bryteevne	:
Merkestrøm	:	32,00 A	I2-verdi	:
			I5-(Im-) verdi	:
				:
Kabel, Sekundær, største lengde som vil gi elektromagnetisk utkobling av alle feilstømmer	:			Ikke mulig

	Kortslutningsvern					Overbelastningsvern				
	Ik [kA]	cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2S^2/I^2$ [s]	$t_{utkobling}$ [s]	Ik [kA]	cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2S^2/I^2$ [s]	$t_{utkobling}$ [s]
Ik3p max	0,492	0,87	0,713	11,279	0,021					
Ik3p max ende	0,424	0,90	0,613	15,169	0,036	0,738	0,90	1,067	15,176	0,263
Ik3p min	0,202	0,91	0,292	66,795	0,587	0,355	0,90	0,513	65,587	0,691
Ik2p max	0,426	0,87	0,617	15,038	0,035					
Ik2p max ende	0,367	0,90	0,530	20,226	0,062	0,639	0,90	0,924	20,243	0,329
Ik2p min	0,175	0,91	0,253	89,060	1,008	0,308	0,90	0,445	87,131	0,888

@ = Vernet tilfredsstillter ikke alle krav i forskrift/norm

= Ikke forskriftsstridig, men vær oppmerksom på løsningen

Anleggets adresse:	Beregningsresultater for anlegget:	Dato: 15.05.2015 14:10:13
	Beregningsresultater	
NTNU	Fordeling	NEK 400:2014
O S Bragstads pl 2 F	FORDELINGSSKAP	400 V TN-C-S
7491 TRONDHEIM	febdok Ver. 5.5.05	Side 14
Tel: 73591287	Dato. 28.01.2015	av 18

Beregningsresultater

Kurs nr. **8**

Max utkoblingstid for jordfeil : 5

Det er angitt at kursen ikke behøver å være beskyttet av et strømstyrt jordfeilvern

Inntak/fordeling	: HUS8	Fordelingstype	: IT
Beskrivelse	: Hus8		
Merkespenning	: 230 V	Antall faser	: 3
Laststrøm	: 10,0 A	Fasekobling	: L1-L2-L3
Cos phi	: 0.9	Temperatur i fordeling	: 30 °C
Merkeeffekt, Pn	: 3,6 kW	Kurs nr innmating	: 0
Merkeytelse, Sn	: 4,0 kVA		
Sammenlagret strøm	: L1: 0,0 A L2: 0,0 A L3: 0,0 A		
Sum nedstrøms tap	: 0,0 [kW]		
	:		

Transformator	:	Koblingsgruppe	: Yd5
Merkeytelse, Sn	: 12,5 kVA	Kortslutningsspenning, er	: 3,4 %
Merkespenning primær	: 400,00 V	Kortslutningsspenning, ex	: 1,9 %
Merkespenning sekundær	: 235,0 V	Kortslutningsspenning, ek	: 3,9 %

Spenningsfall totalt	: -1,4 V	-0,62 %	Klemmespenning	: 231.4
...til siste fordeling	: 0,0 V	0,00 %		
...over Kabel, Sekundær	: 0,6 V	0,26 %	Maksimal lengde	: 458,6 m
...over Transformator	: 3,0 V	1,29 %	Maksimal lengde	:

Kabel, Sekundær	:		
Kabeltype/-lederløsning	: PFSP 3x25 CU		
Ref. inst. met.	: D1		
Omgivelsestemperatur	: 20,0 °C		
Kabellengde	: 40,0 m	Annen korreksjonsfaktor	: 1
Tap i kabel	: 10,90 W	0,27 W/m	
Strømføringsevne	: 82,00 A		

Kortslutningsvern, merking	:		
Fabrikat	: SIEMENS	Artikkel nummer	: 3NA68176
Bryterenhet	: 3NA6_0_690	EAN-nummer	: 4,00187E+12
Utløserenhet	: 3NA6_0_690_40.	Bryteevne	: 120,00 kA Ic
Merkestrøm	: 40,00 A	I2-verdi	: 64,00 A
		I5-(Im-) verdi	: 0,00 A
Kabel, Sekundær, største lengde som vil gi utkobling av jordfeil innen tillatt tid			: 395,6 m

Anleggets adresse:	Beregningsresultater for anlegget:	Dato: 15.05.2015 14:10:13
	Beregningsresultater	
NTNU	Fordeling	NEK 400:2014
O S Bragstads pl 2 F	FORDELINGSSKAP	400 V TN-C-S
7491 TRONDHEIM	febdok Ver. 5.5.05	Side 15
Tel: 73591287	Dato. 28.01.2015	av 18

Beregningsresultater

Kurs nr. 8

Overbelastningsvern, merking	:		
Fabrikat	:	EATON	Artikkel nummer :
Bryterenhet	:	PLSM_OV	EAN-nummer :
Utløserenhet	:	PLSM_OV_32	Bryteevne : 10,00 kA Ics
Merkestrøm	:	32,00 A	I2-verdi : 46,40 A
			I5-(Im-) verdi : 800,00 A
Kabel, Sekundær, største lengde som vil gi elektromagnetisk utkobling av alle feilstrømmer	:		Ikke mulig

	Kortslutningsvern					Overbelastningsvern				
	Ik [kA]	cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2S^2/I^2$ [s]	$t_{utkobling}$ [s]	Ik [kA]	cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2S^2/I^2$ [s]	$t_{utkobling}$ [s]
Ik3p max	0,492	0,87	0,713	11,279	0,052					
Ik3p max ende	0,424	0,90	0,613	15,169	0,086	0,738	0,90	1,067	15,176	0,263
Ik3p min	0,202	0,91	0,292	66,795	1,628	0,355	0,90	0,513	65,587	0,691
Ik2p max	0,426	0,87	0,617	15,038	0,085					
Ik2p max ende	0,367	0,90	0,530	20,226	0,148	0,639	0,90	0,924	20,243	0,329
Ik2p min	0,175	0,91	0,253	89,060	3,057	0,308	0,90	0,445	87,131	0,888

@ = Vernet tilfredsstillter ikke alle krav i forskrift/norm

= Ikke forskriftsstridig, men vær oppmerksom på løsningen

Anleggets adresse:	Beregningsresultater for anlegget:	Dato: 15.05.2015 14:10:13
	Beregningsresultater	
NTNU	Fordeling	NEK 400:2014
O S Bragstads pl 2 F	FORDELINGSSKAP	400 V TN-C-S
7491 TRONDHEIM	febdok Ver. 5.5.05	Side 16
Tel: 73591287	Dato. 28.01.2015	av 18

Beregningsresultater

Kurs nr. 9

Max utkoblingstid for jordfeil : 5

Det er angitt at kursen ikke behøver å være beskyttet av et strømstyrt jordfeilvern

Inntak/fordeling	: HUS9	Fordelingstype	: IT
Beskrivelse	: Hus9		
Merkespenning	: 230 V	Antall faser	: 3
Laststrøm	: 10,0 A	Fasekobling	: L1-L2-L3
Cos phi	: 0.9	Temperatur i fordeling	: 30 °C
Merkeeffekt, Pn	: 3,6 kW	Kurs nr innmating	: 0
Merkeytelse, Sn	: 4,0 kVA		:
Sammenlagret strøm	: L1: 0,0 A L2: 0,0 A L3: 0,0 A		
Sum nedstrøms tap	: 0,0 [kW]		
	:		

Transformator	:	Koblingsgruppe	: Yd5
Merkeytelse, Sn	: 12,5 kVA	Kortslutningsspenning, er	: 3,4 %
Merkespenning primær	: 400,00 V	Kortslutningsspenning, ex	: 1,9 %
Merkespenning sekundær	: 235,0 V	Kortslutningsspenning, ek	: 3,9 %

Spenningsfall totalt	: -1,4 V	-0,62 %	Klemmespenning	: 231.4
...til siste fordeling	: 0,0 V	0,00 %		
...over Kabel, Sekundær	: 0,6 V	0,26 %	Maksimal lengde	: 458,6 m
...over Transformator	: 3,0 V	1,29 %	Maksimal lengde	:

Kabel, Sekundær	:		
Kabeltype/-lederløsning	: PFSP 3x25 CU		
Ref. inst. met.	: D1		
Omgivelsestemperatur	: 20,0 °C		
Kabellengde	: 40,0 m	Annen korreksjonsfaktor	1
Tap i kabel	: 10,90 W	0,27 W/m	
Strømføringsevne	: 82,00 A		

Kortslutningsvern, merking	:		
Fabrikkat	: SIEMENS	Artikkel nummer	: 3NA68206
Bryterenhet	: 3NA6_0_690	EAN-nummer	: 4,00187E+12
Utløserenhet	: 3NA6_0_690_50.	Bryteevne	: 120,00 kA Ic
Merkestrøm	: 50,00 A	I2-verdi	: 80,00 A
		I5-(Im-) verdi	: 0,00 A
Kabel, Sekundær, største lengde som vil gi utkobling av jordfeil innen tillatt tid			: 219,5 m

Anleggets adresse:	Beregningsresultater for anlegget:	Dato: 15.05.2015 14:10:13
	Beregningsresultater	
NTNU	Fordeling	NEK 400:2014
O S Bragstads pl 2 F	FORDELINGSSKAP	400 V TN-C-S
7491 TRONDHEIM	febdok	Side 17
Tel: 73591287	Ver. 5.5.05 Dato. 28.01.2015	av 18

Beregningsresultater

Kurs nr. 9

Overbelastningsvern, merking	:			
Fabrikkat	:	EATON	Artikkel nummer	:
Bryterenhet	:	PLSM_OV	EAN-nummer	:
Utløserenhet	:	PLSM_OV_32	Bryteevne	:
Merkestrøm	:	32,00 A	I2-verdi	:
			I5-(Im-) verdi	:
				:
Kabel, Sekundær, største lengde som vil gi elektromagnetisk utkobling av alle feilstømmer	:			Ikke mulig

	Kortslutningsvern					Overbelastningsvern				
	Ik [kA]	cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2S^2/I^2$ [s]	t utkobling [s]	Ik [kA]	cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2S^2/I^2$ [s]	t utkobling [s]
Ik3p max	0,492	0,87	0,713	11,279	0,159					
Ik3p max ende	0,424	0,90	0,613	15,169	0,285	0,738	0,90	1,067	15,176	0,263
Ik3p min	0,202	0,91	0,292	66,795	5,498	0,355	0,90	0,513	65,587	0,691
Ik2p max	0,426	0,87	0,617	15,038	0,280					
Ik2p max ende	0,367	0,90	0,530	20,226	0,502	0,639	0,90	0,924	20,243	0,329
Ik2p min	0,175	0,91	0,253	89,060	9,825	0,308	0,90	0,445	87,131	0,888

@ = Vernet tilfredsstillter ikke alle krav i forskrift/norm

= Ikke forskriftsstridig, men vær oppmerksom på løsningen

Anleggets adresse:	Beregningsresultater for anlegget:	Dato: 15.05.2015 14:10:13
	Beregningsresultater	
NTNU	Fordeling	NEK 400:2014
O S Bragstads pl 2 F	FORDELINGSSKAP	400 V TN-C-S
7491 TRONDHEIM	febdok Ver. 5.5.05	Side 18
Tel: 73591287	Date. 28.01.2015	av 18