

Prosjekteringskriterier for UPS-anlegg

Andreas Husevåg Garnes

Master i energi og miljø

Innlevert: juni 2015

Hovedveileder: Eilif Hugo Hansen, ELKRAFT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for elkraftteknikk

NTNU



MASTEROPPGAVE

Kandidatens navn : Andreas Husevåg Garnes

Fag : ELKRAFTTEKNIKK

Oppgavens tittel (norsk) : **Prosjekteringskriterier for UPS-anlegg**

Oppgavens tittel (engelsk) : **Design criteria in UPS systems**

Oppgavens tekst : Det stilles stadig større krav til leveringssikkerhet til elektriske installasjoner og bruken av UPS er stadig økende. Ved nedstrøms feil i slike anlegg vil det være viktig å hurtig koble bort feil for å forhindre skade på liv og helse. Problemer med utkobling vil føre til at UPS stenger ned og forsyningen til det elektriske anlegget forsvinner.

Studentens oppgave blir å finne en planleggingskriterier for UPS-anlegg

For å finne ut av dette skal studenten:

- Finne ut om forskjellige UPS-er oppfører seg ulikt ved nedstrøms kortslutning. Hvilke innstillingsmuligheter finnes og hvorfor.
- Finne et forhold mellom oppgitt ytelse på UPS og kortslutningsstrøm
- Vurdere om FEBDOK kan benyttes som et fullverdig dokumentasjonsverktøy for UPS-anlegg
- Vurdere hvilke typer vern er mest hensiktsmessig å bruke i UPS-anlegg

Oppgaven gitt : 15.01.15
Besvarelsen leveres innen : 11.06.15
Kandidatens veileder : Eilif Hugo Hansen

Trondheim, 15.01.15

faglærer

Forord

Dette prosjektet er den avsluttende oppgaven utført ved NTNU ved studieretningen Energi og Miljø. Arbeidet har vart i et semester, fra 15. januar til 11. juni. Da forfatteren startet med denne oppgaven i januar var UPS et ukjent fagfelt med ingen tidligere kunnskap. All kunnskap til UPS er blitt tilegnet i løpet av oppgavens 20 uker lange varighet.

Oppgaven og problemstillingen er basert på utfordringen rundt vern av statisk switch i UPS-anlegg. Dette ble tilsendt av Jon Steinar Hanstad i NELFO, som blant annet leverer dokumentasjonsprogrammet FEBDOK. Prosjektering av UPS-anlegg er en meget kompleks oppgave som blir mer og mer aktuell etter hvert som flere ønsker bedre sikkerhet i sine elektriske installasjoner i form av avbruddsfri strømforsyning.

Når UPS-anlegget på Ørland Hovedflystasjon skal testes skal det for eksempel ikke gjennomføres avgang eller landing på rullebanen i følge Forsvarsbygg selv. Dette sier noe om usikkerheten rundt slike anlegg.

Jeg vil rette en stor takk til Energikontakten og NTNU for å ha gitt meg muligheten til å delta på NELFO sitt UPS-seminar i mars 2015. I tillegg har jeg vært på seminar i regi av IFEA hvor også UPS og batterianlegg var tema.

Videre ønsker jeg spesielt takke veileder på prosjektet, Eilif Hugo Hansen. I tillegg til å veilede prosjektet er han også hovedgrunnen til at jeg valgte å søke meg til studiet på grunn av fagene *TET 4170 Elektroinstallasjoner* og *TET4165 Lys og Belysning* som han foreleser.

Jeg har også hatt god hjelp av eksterne bidragsytere og vil gjerne rette en stor takk til Arne Iversen i Makker, Sverre Ivar Carlsen og Ben Tore Ulleland hos EATON, Gunnar Snilsberg i Siemens og Lasse Bøhler i Coromatic/Metric. Uten deres bidrag ville ikke prosjektet vært gjennomførbart, tusen takk.

Helt til slutt vil jeg takke for fem flotte år på NTNU og institutt for elkraftteknikk. Det har vært faglig spennende og utrolig lærerikt.

Trondheim/NTNU, Juni 2015

Andreas Husevåg Garnes

Sammendrag

I denne rapporten er det blitt sett på oppbygningen av UPS-systemer og hvilke prosjekteringskriterier som skal legges til grunn for å få et anlegg som tilfredsstillende forskriftene i form av sikkerhet og pålitelighet.

UPS-er fra forskjellige leverandører har kun mindre forskjeller seg imellom og fører dermed ikke til at prosjekteringsgrunnlaget blir ulikt for de ulike typene. Forskjellen ligger i hvordan en kortslutning oppfattes nedstrøms og hvordan kortslutningsforløpet fra vekselretteren utvikler seg. Enten leveres kortslutningsstrøm som en konstant verdi gjennom hele korslutningsforløpet eller så utvikler den seg stegvis med en høy kortslutningsstrøm i det subtransiente området, 7-10 x I_n , og en lav kortslutningsstrøm i det stasjonære, 1,5-5 x I_n .

Det er blitt utført selektivitetsanalyser i UPS-anlegg med ulike verntyper for å finne ut hvilke typer vern som vil være fornuftig å bruke for å opprettholde selektivitet og samtidig beskytte statisk switch, noe som er en utfordring. Etter utarbeidelse av prosjekteringskriterier for UPS-anlegg kommer rapporten fram til at hvilke vern som bør brukes er avhengige av flere faktorer som ytelse i UPS, foranliggende netts kortslutningsytelse, tåleevne til statisk switch og graden av selektivitet.

Små UPS-er leveres med statisk switch som har lav tåleevne og har derfor behov for hurtigsikringer dersom kortslutningsytelsen i nettet er stor. Effektbrytere vil ikke være strømbegrensende nok til å redusere gjennomsluppet energi ned til et nivå som tyristorne i statisk switch tåler.

Videre tar rapporten for seg dokumentasjon av UPS-anlegg ved bruk av dokumentasjonsprogrammet FEBDOK. Hvilke begrensninger som ligger i dette i dag, og hvilke elementer som bør implementeres videre er vurdert og diskutert.

Dokumentasjon av UPS er per i dag relativt god for anlegg som består av singelmonterte enheter. Dokumentasjon av parallellkoblede enheter er ikke mulig foreløpig, men det er mulig å gjøre unntak for modulbaserte løsninger da disse fra utsiden kan sees på som én enhet. Det må i tilfelle legges inn at tåleevne til statisk switch er gitt for verste tenkelige scenario, altså at kun én bypass er tilgjengelig dersom anlegget har distribuert bypass. Man kan også bruke FEBDOK for parallellkoblede enheter som har sentralisert bypass da disse ikke får problemer med sirkulerende strømmer.

Siden FEBDOK ikke kan benyttes til dynamisk analyse vil det ikke være mulig å kunne dokumentere innsvingning av utgangsspenningen på vekselretteren ved store lastendringer i anlegget.

Abstract

This report is looking at how different UPS systems are built and which criteria that must be taken into consideration in order to get at facility that satisfies the regulations given by the government.

UPS from different manufacturers have only minor differences, which give the same projecting criteria for the various types. The differences lie in how they perceive a downstream short circuit and how they behave when short circuits occur. They either react with a constant current throughout the entire period in the range of 1,5-5 times the nominal current, or as a step function with 7-10 times the nominal current in the sub-transient area and 1,5-5 times in steady state.

There have been done a discrimination analysis in order to find which type of circuit breakers that suits best for UPS systems in order to obtain full discrimination and protection of the static switch at the same time.

After the project criteria were finished the report shows that whether to use fuses or circuit breakers is something that is decided based on the size of the UPS, available short circuit current in the connecting grid, how much energy the static switch can handle and the degree of discrimination.

Small sized UPS systems are delivered with a static switch that only can handle a low amount of energy in case of a short circuit. In these systems one cannot use normal circuit breakers because they are not current limiting enough to reduce the current to an acceptable level that the static switch can manage.

The report does also look into documentation of UPS systems and how this is done with the program FEBDOK. Which limitations that lie in this program today and what elements that should be implemented in the further development of FEBDOK are discussed.

UPS documentation is well taken care of today for single mounted units. Paralleled units on the other hand is not handled by the program at this point but one can actually use FEBDOK to document modular based parallel systems because these can be seen as a single unit from a documentation point of view. For these cases you have to look at a worst case scenario and use values for the static switch and short circuit current as if only one of the modules were to be available. One can also use FEBDOK for parallel mounted single units as long as they are using a centralized bypass. The reason for this is because circulating currents will not occur in this configuration.

Since FEBDOK is not capable of performing dynamic analyses, it cannot be used to document the systems reaction to big load changes.

Innholdsfortegnelse

FIGURLISTE	XI
TABELLISTE.....	XI
1 INNLEDNING.....	1
2 UPS.....	3
2.1 NØDSTRØM.....	3
2.1.1 Oppbygning.....	3
2.1.2 Reservegenerator.....	4
2.2 ULIKE UPS-TOLOGIER.....	4
2.2.1 Offline.....	4
2.2.2 Online.....	5
2.2.3 Roterende.....	7
2.3 BYPASS.....	8
2.3.1 Statisk switch.....	8
2.3.2 Bypasskonfigurering.....	8
2.4 OVERBELASTNING I NORMALDRIFT	12
2.5 BLACK START.....	13
2.6 NEDSTEGNINGSTID	13
2.7 KLASSIFISERING AV UPS.....	13
2.8 SPENNINGSTOLERANSE.....	15
3 VERN.....	17
3.1 I ² T – VARMEINTEGRAL.....	17
3.2 EFFEKTBRYTER.....	18
3.2.1 Effektbryter med strømbegrensning	19
3.3 SMELTESIKRING.....	20
3.4 SELEKTIVITET	22
3.4.1 Delvis selektivitet.....	23
3.5 KASKADEBESKYTTELSE.....	24
3.6 KORTSLUTNINGSBEREGNING	25
3.6.1 Kortslutning nedstrøms UPS.....	25
4 FEBDOK	27
4.1 DIMENSJONERING AV UPS.....	27
4.2 KORTSLUTNINGSBEREGNING MED UPS I FEBDOK.....	28
5 IDÉER FOR PROSJEKTERING AV UPS-ANLEGG.....	31
5.1 RISIKOVURDERING OG PÅLITELIGHETSANALYSE I NØDSTRØMANLEGG.....	31
5.2 HVA SLAGS LAST SKAL UPS BELASTES MED	32
5.3 DIMENSJONERENDE YTELSE OG KORTSLUTNINGSSTRØM	34
5.4 REDUNDANS I ANLEGGET.....	35
5.4.1 Distribuert bypass.....	35
5.4.2 Sentralisert bypass	36
5.5 SELEKTIVITET OG VALG AV VERN	37
5.5.1 Normaldrift.....	37
5.5.2 Effektbryter eller smeltesikring.....	38
5.5.3 Strømbegrensende vern	45
5.5.4 Andre hensyn ved valg av vern.....	46
5.6 ØKONOMI.....	47
5.7 BATTERI.....	48
6 DISKUSJON.....	49
6.1 NOMINELL YTELSE VS. KORTSLUTNINGSYTELSE	49
6.2 SELEKTIVITET	49

6.2.1	<i>Full selektivitet eller delvis selektivitet</i>	51
6.3	EFFEKTBYTERE ELLER SMELTESIKRINGER	51
6.4	SPENNINGSKVALITET	54
6.5	FEBDOK	54
6.5.1	<i>Oppfattelse av nedstrøms kortslutning</i>	54
6.5.2	<i>Parallellkoblede UPS-er</i>	55
6.5.3	<i>Brudd i N-leder</i>	56
7	PROSJEKTERINGSKRITERIER FOR UPS-ANLEGG	57
8	KONKLUSJON	59
9	VIDERE ARBEID	61
	LITTERATURLISTE	63
	VEDLEGG	65

Figurliste

Figur 2.1 Strømforsyning medisinske områder BUSP. Kilde: Raymond Borgersen.....	4
Figur 2.2 Offline UPS. [3].....	5
Figur 2.3 Online UPS. [3].....	5
Figur 2.4 Seriekoblet UPS.[3]	7
Figur 2.5 Roterende UPS.[3]	7
Figur 2.6 Desentralisert bypasskonfigurasjon [6].....	9
Figur 2.7 Sentralisert bypasskonfigurasjon.[6].....	10
Figur 2.8 Spenningsgrenser for ytelsesklasse 1. [8].....	14
Figur 2.9 Spenningsgrenser for ytelsesklasse 2. [8].....	14
Figur 2.10 Spenningsgrenser for ytelsesklasse 3. [8]	15
Figur 2.11 CBEMA kurve som viser spenningstoleranse for ømfintlig PC-utstyr[9]. NB! 60Hz	16
Figur 3.1 Utløserkarakteristikk for effektbryter.....	18
Figur 3.2 Strømbegrensningskurve for effektbryter [13].....	20
Figur 3.3 Utløserkarakteristikk for sikring og effektbryter[11].....	21
Figur 3.4 Tid-strøm karakteristikk for tre vern i serie [11]	22
Figur 4.1 UPS-innstillinger i FEBDOK.....	28
Figur 5.1 Enkel UPS-enhet med prinsipiell vernplassering	34
Figur 5.2 Parallellkoblede UPS-enheter med distribuert bypass.....	36
Figur 5.3 Parallellkoblede UPS-enheter med sentralisert bypass.	37
Figur 5.4 Selektivitet mellom sikring og nedstrøms effektbryter i momentanområdet[11]	38
Figur 5.5 Sammenligning av utløserkarakteristikk for 63A Hs-sikring, 63A normal smeltesikring og 63A NZMB Effektbryter	40
Figur 5.6 63A Effektbryter med nedstrøms D16 automatsikring.	41
Figur 5.7 Gjennomsluppet energi for effektbryter NZMB1[21].....	42
Figur 5.8 63A HS-sikring med nedstrøms D16 automatsikring	43
Figur 5.9 63A HS-sikring med nedstrøms C16 automatsikring	44
Figur 5.10 UPS-anlegg med full kapasitet installert[5]	47
Figur 5.11 UPS-anlegg med stegvis installert kapasitet[5]	47
Figur 6.1 Enkel UPS-enhet med prinsipiell vernplassering.....	50
Figur 6.2 Prinsippskisse på modulbasert UPS.	55

Tabelliste

Tabell 2.1 Fordeler og ulemper med sentralisert bypass[6]	12
Tabell 2.2 Fordeler og ulemper med distribuert bypass[6]	12
Tabell 3.1 Forskjeller mellom IEC 60898 og 60947.....	19
Tabell 3.2 Koblingssekvens etter IEC 60947 og 60898. (O = Utkobling pga. kortslutning, t = pause, C/O = bryteren legges inn mot en kortslutning og kobler ut).....	19
Tabell 3.3 Sammenligning av beskyttende egenskaper for sikringer og effektbrytere[11].	21
Tabell 3.4 Kortslutningsstrøm i lysbue sammenlignet med full kortslutning [10].....	23
Tabell 3.5 Spenningsfaktor ifm. Kortslutningsberegning [12].....	25
Tabell 5.1 Egenskaper for Busmann FWP høyhastighetssikring[23]	43

1 Innledning

Et plutselig bortfall av nettspenning kan være kritisk for mange bedrifter og for operasjoner som krever kontinuerlig drift for å sikre liv og helse. Stadig mer kritisk last blir installert i elektriske anlegg og kontinuerlig drift blir stadig viktigere. Det er mange utfordringer når det kommer til prosjektering av UPS-anlegg, og et av de punktene er selektivitet, som betyr at vern ved feil løser ut slik at minst mulig av anlegget blir koblet ut.

UPS-anlegg skal gjerne benyttes for å sikre strømtilførselen til store installasjoner og kommer derfor nært opptil nettselskapenes transformatorer. Dette betyr igjen at kortslutningsytelsen som disse anleggene kan bli nødt til å håndtere kan bli veldig store. Denne oppgaven skal ta for seg denne problematikken og hvordan prosjektering av slike anlegg kan gjøres best mulig.

En utfordring i UPS-anlegg er at det blir benyttet halvlederkomponenter i statisk switch for å få hurtigst mulig omkoblingstid mellom de forskjellige driftssituasjonene for å unngå nedetid. Dette har i praksis vist seg å gjøre vernkoordinering utfordrende, spesielt med tanke på selektivitet fordi tåleevnen til disse halvlederne er begrenset.

Gjennom en rekke punkter skal rapporten komme fram til prosjekteringskriterier for UPS-anlegg for på denne måten å belyse hvilke elementer som er kritiske i prosjekteringsfasen slik at man får et anlegg som har riktig funksjonalitet i henhold til brukerens ønsker og spesifikasjoner. I tillegg skal anlegget tilfredsstillende gjeldende normer og regler.

For å kunne svare på dette vil det bli sett på hvordan ulike UPS-er fra forskjellige fabrikanter oppfører seg ved nedstrøms kortslutning. Finnes det et forhold mellom nominell ytelse på UPS-en og kortslutningsytelse i batteridrift?

Kan dokumentasjonsprogrammet FEBDOK benyttes som et fullverdig dokumentasjonsverktøy for UPS-anlegg, eller er det elementer med slike installasjoner som gjør at dette ikke er tilstrekkelig? Forslag til forbedringer i FEBDOK vil også bli sett på.

Hvilke typer vern er mest hensiktsmessig å bruke i UPS-anlegg?

Det er delte meninger på hvordan anleggene best kan sikres, og oppgaven vil vise fordeler og ulemper med smeltesikringer kontra effektbrytere og komme med en vurdering om hvilke vern som er riktig å bruke i UPS-installasjoner.

2 UPS

For å tilfredsstille kravene til avbruddsfri strømforsyning for kritiske laster bruker man i dag UPS, Uninterruptible power supply eller uavbrutt strømkilde på norsk.

Det er flere ulike måter å bygge opp et UPS-anlegg, og hvilken løsning man velger vil være basert på flere faktorer som pris, risikoanalyse, type anlegg og nettdata. Man kan skille UPS-er i to forskjellige underkategorier. Statisk UPS er benevnelse på en UPS hvor det er en vekselretter nærmest lasten som leverer strøm, mens for en dynamisk UPS så er det en generator nærmest lasten. De to vanligste konfigurasjonene for statisk UPS er online og offline. I tillegg er leverandørene noe uenige om veien videre er statisk UPS, eller om dynamisk UPS er veien å gå.?

De ulike konfigurasjonene vil bli beskrevet nærmere i dette kapittelet men selve oppgaven er basert på problematikken og utfordringene rundt online statisk UPS. Det er denne typen som vil bli diskutert.

Det er viktig å presisere at UPS ikke bare benyttes i nødstrømsystemer, men for å lette forståelsen av systemoppbyggingen er nødstrøm brukt gjennom oppgaven. I anlegg hvor det ikke står om fare for liv og helse benyttes betegnelsen reservekraft.

2.1 Nødstrøm

Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg, FEL, har som formål å oppnå forsvarlig sikkerhet ved prosjektering, utførelse, endringer og vedlikehold av elektriske lavspenningsanlegg og ved bruk av utstyr tilkoplede slike anlegg[2]. Paragraf 31 i forskriftene sier følgende:

§31 Avbrudd i strømtilførsel

"Anlegg hvor avbrudd i strømtilførselen kan medføre fare for personer, husdyr eller eiendom skal planlegges og utføres slik at vedlikehold, utskiftning m.m. kan skje uten at fare oppstår.

Dersom uventet strømbrudd vil kunne medføre fare for personer, husdyr eller omgivelser, skal behov for uavhengig strømtilførsel vurderes".

I veiledningen til forskriftene er eksempler på anlegg hvor avbrudd kan medføre fare gitt som:

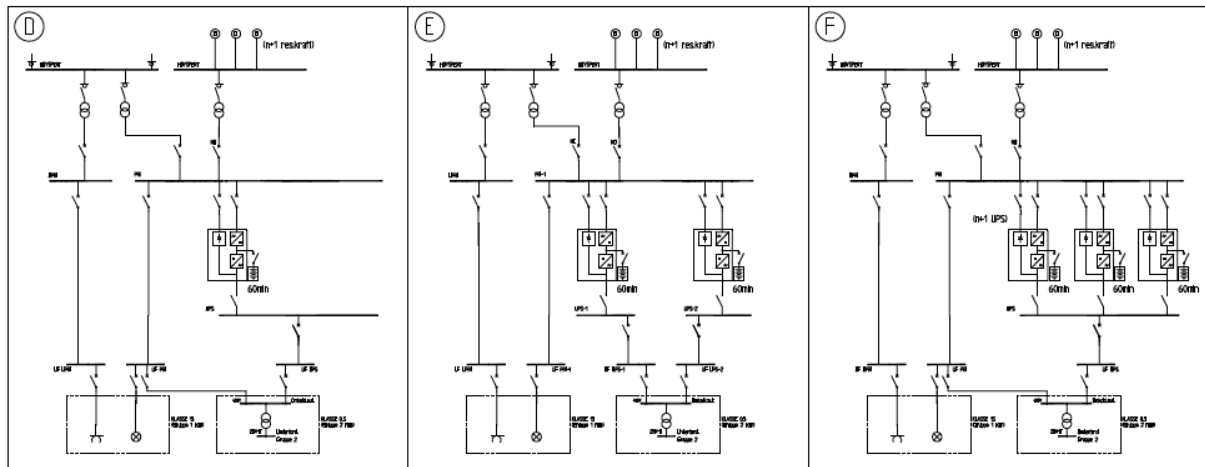
- sykehus
- større hoteller
- industrielt landbruk
- industribedrifter

2.1.1 Oppbygning

Krav til nødstrømanlegg er gitt i NEK 400-5-56. Normen definerer nødstrømsystemer som *"elektrisk system for elektrisk utstyr som skal beskytte eller varsle personer i tilfeller fare, eller som er vesentlig for evakuering av personer fra et sted"*.

Oppbyggingen av systemet kan se ut som i figur 2.1 og inneholder normalforsyning, reservegeneratorer og UPS. De tre bildene viser den samme oppbyggingen men forskjellen ligger i hvor mange UPS-enheter som blir benyttet. Systemet er bygd opp

med hovedforsyning til oppe venstre, reservegeneratorer oppe til høyre og UPS-en(e) plassert i midten av hvert av de tre bildene.



Figur 2.1 Strømforsyning medisinske områder BUSP. Kilde: Raymond Borgersen

Valg av endelig oppbygning skjer gjennom en nøye risiko og pålitelighetsanalyse. Klassifisering av nødstrømsystemer er gitt i NEK 400-560.4. Den vanligste nødstrømsforsyningen er automatisk, hvor oppstart er uavhengig av operatør.

2.1.2 Reservegenerator

Selv om rapporten ikke skal gå nevneverdig inn på generatorer så må de likevel nevnes da den kommer inn som en viktig del i nødstrømssystemer.

Vern av generator skal ikke diskuteres vider i denne oppgaven, men det er et element å huske på i prosjekteringsfasen av UPS-anleggene. I forhold til vernkoordinering så vil en generator levere kortslutningsstrøm som tilsvarende $7-10 \times I_n$ i det sub-transiente området og $3 \times I_n$ som en stasjonær kortslutning. Som rapporten senere skal vise så er disse verdiene nødvendig å kjenne til når kortslutningsberegninger i anlegget skal utføres.

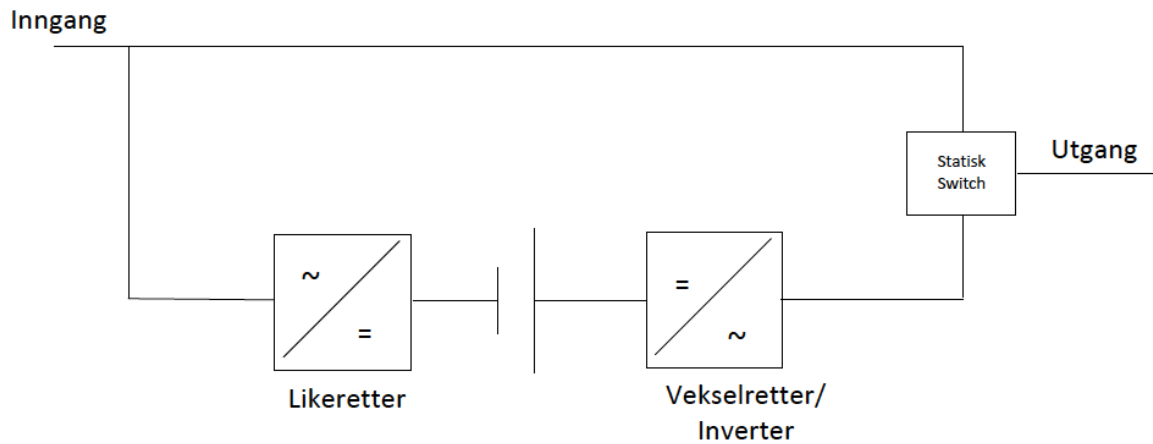
Generatorens hovedoppgave er å drifte installasjonen dersom nettspenningen faller bort. I disse installasjonene er det en tanke å holde verninstallasjonen så enkel som mulig for ikke å oppnå utilsiktet utfall av generatoren. Det vil i enkelte tilfeller være riktig å la generatoren gå på overlast og med varierende spenning og frekvens framfor å stenge ned med det resultat at man ikke har noe strømforsyning.

2.2 Ulike UPS-topologier

2.2.1 Offline

Offline UPS, også omtalt som passiv UPS, er den enkleste og billigste av UPS-ene[3]. Ved normal drift kjører anlegget på strøm direkte fra kraftnettet. Ved bortfall av normalforsyningen kobles anlegget over på en vekselretter og får strøm fra en batteribank. Denne omkoblingen skjer i løpet av svært kort tid, om lag 3-10ms. Et avbrudd opp mot en halv periode kan i enkelte tilfeller være mye, men for mange vil dette være akseptabelt. Et annet aspekt bortsett fra selve omkoblingstiden er at spenningen vil falle noe før omkoblingen inntreffer. Dette medfører at tiden det tar før spenningen starter å falle, og fram til omkoblingen har skjedd i realiteten vil ta mer enn

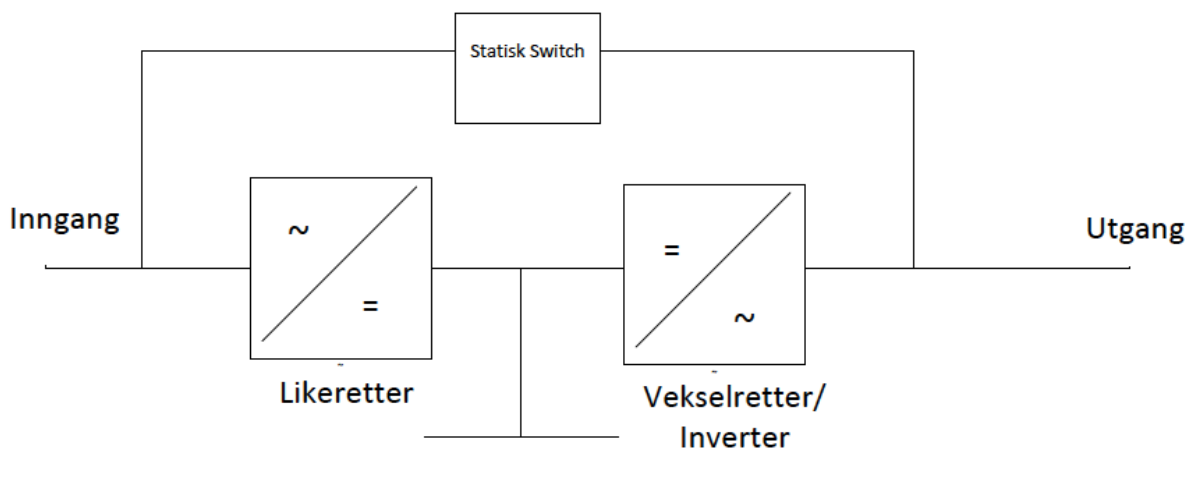
den angitte omkoblingstiden. Ved bruk av offline UPS er det derfor viktig å ta hensyn til belastningen i anlegget og hvilket spenningsnivå som er akseptabelt. Det er heller ingen filtrering av spenningen i en offline UPS-er slik som man har for online.



Figur 2.2 Offline UPS. [3]

2.2.2 Online

I større installasjoner, og hvor kravene til leveringssikkerhet og kvalitet er stor er det vanlig å bruke en online UPS. I motsetning til en offline UPS som normalt leverer strøm direkte fra nettet så leverer en online UPS strøm via en vekselretter i normalmodus. På denne måten er disse UPS-ene spenning- og frekvensuavhengige da utgangsnivået med tanke på spenning og frekvens er gitt av batteri og kraftelektronikken i UPS-en. Ved å benytte UPS-en på denne måten vil spenningskvaliteten på utgangen ikke være avhengig av nettspenningen fordi det automatisk går over til batteridrift når nettspenningen faller bort. For å beskytte UPS-en ligger det en automatisk bypass i parallell som utgangen kobles over på for å beskytte seg selv dersom interne feil i UPS-en oppstår, eller for å få tilgang til foranliggende nett med høyere kortslutningsytelse dersom dette skulle være av behov ved nedstrøms kortslutning. For å koble over til bypass brukes en statisk switch som vil bli omtalt senere.



Figur 2.3 Online UPS. [3]

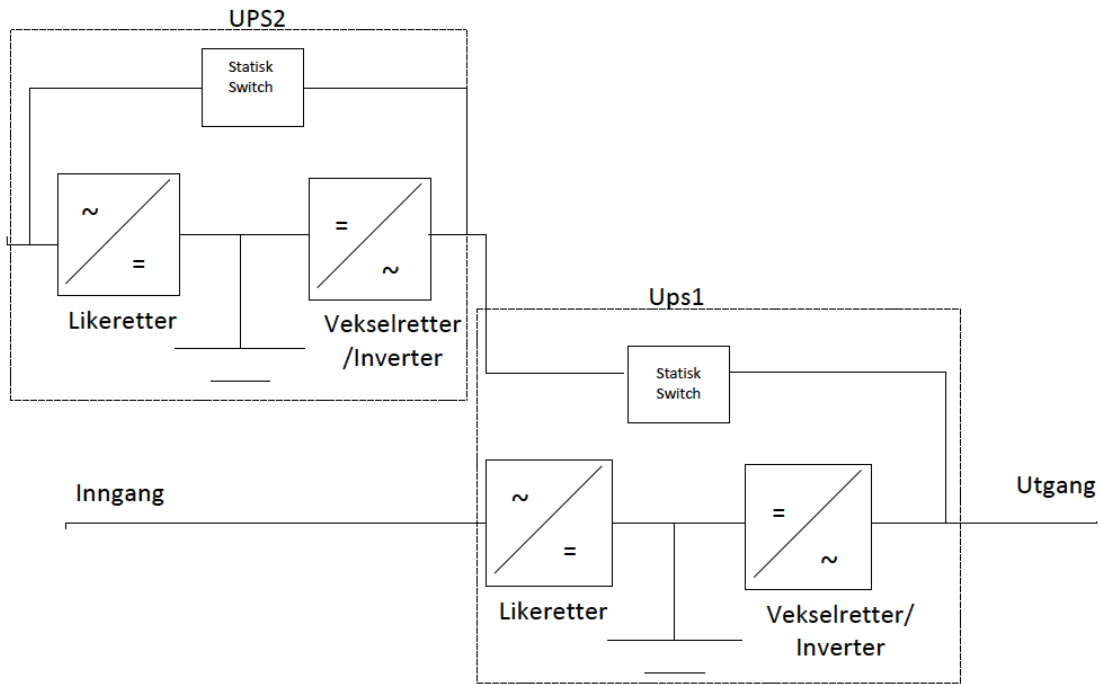
2.2.2.1 Parallellkoblede UPS-er

For å opprettholde sikkerheten i UPS-anlegg vil det ofte være aktuelt å benytte flere UPS-er i samme anlegg. Dersom det skal utføres tyngre vedlikehold på UPS-en så vil det være nødvendig å stenge ned denne, og ved installasjon av kun en UPS i anlegget vil dette ikke lenger tilfredsstillende FEL §31 som omhandler avbrudd i strømtilførselen. På bakgrunn av blant annet dette og ikke minst en risikovurdering med tanke på redundans, blir det ofte installert flere UPS-er i parallell slik at man i feilsituasjoner hvor en UPS-enhet går ut av drift eller ved vedlikehold fremdeles opprettholder kravene til avbruddsfri strømforsyning og minsker risikoen for utilsiktet strømbrudd.

Ved parallellkobling kobles to eller flere UPS-er sammen med en felles utgang. I en n+1 konfigurasjon vil man ha minst en ekstra UPS modul som kan levere strøm til hele lasten[4]. Eksempelvis kan man beskytte en 800kVA last med tre 400kVA UPS-er. Ved normal drift vil lasten være fordelt likt mellom de tre UPS-ene, men dersom det oppstår en feil med den ene vil de to resterende UPS-ene være i stand til å drifte hele lasten på egenhånd. Hvor mange UPS-er som kan parallellkoples i en og samme installasjon varierer fra type til type, men blant annet EATON sine systemer kan benytte opp til åtte parallellkoblede enheter[4]. Avhengig av konfigurasjon kan levert effekt fra UPS komme opp i 3MVA for lavspenningssystemer. For å utføre parallellkobling av flere UPS-er må enheten være av samme type og størrelse. Det finnes per i dag ingen mulighet for samkjøring av ulike UPS typer i parallell.

2.2.2.2 Seriekoblede UPS-er

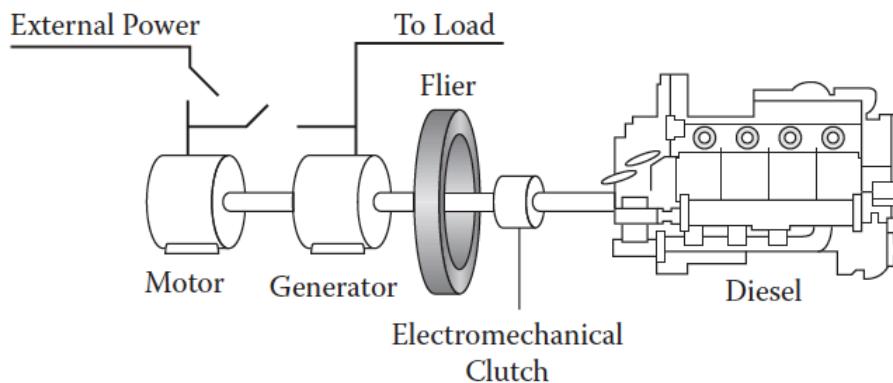
På samme måte som man benytter parallellkoblede UPS-er for å opprettholde leveringssikkerhet og redundans i anlegget så kan man seriekoble UPS-er via den statiske switchen, se figur 2.4. I motsetning til i parallelloppsett av UPS-er så behøver man ikke å benytte seg av lik størrelse og type på UPS-ene dersom man kobler UPS-ene på denne måten. I normalsituasjon ligger all belastning på vekselretterutgangen til UPS1 mens UPS2 ligger som en kald reserve og er normalt ubelastet. Dersom det oppstår en feil i UPS1 vil den statiske switchen koble inn UPS2 som vil levere strøm fra en alternativ kilde, eventuelt det samme nettet dersom dette er tilfellet. Selv om dette ikke er en løsning som benyttes i særlig grad i dag så skal seriekobling av UPS-er teoretisk gi høyere grad av leveringssikkerhet sammenlignet med parallellkobling[3].



Figur 2.4 Seriekoblet UPS.[3]

2.2.3 Roterende

Et alternativ til de statiske UPS-ene som er bygd opp ved bruk av kraftelektronikk er dynamiske UPS-er. Disse består av en motor som konstant driver en generator og det er denne som leverer strøm til lasten[3]. På akslingen er det også montert et svinghjul og videre et aggregat adskilt via en clutch. Roterende UPS-er kan også bestå av batterier som energilager og kraftelektronikk, men det som skiller dem fra statisk UPS er altså at det er en generator nærmest lasten og ikke en vekselretter. Dersom det oppstår strømbrudd vil generatoren fortsette å rotere på grunn av den lagrede energien i svinghjulet. Svinghjulet må være dimensjonert slik at det kan holde generatoren i gang helt til aggregatet har startet opp og er klar til å kobles inn.



Figur 2.5 Roterende UPS.[3]

2.3 Bypass

Dersom det oppstår feil i UPS-en vil det være behov for å koble over til en alternativ strømkilde for å opprettholde strømtilførselen til anlegget. Normalt vedlikehold skal kunne utføres når UPS-en er i drift, men ved større vedlikehold kan man bli nødt til å koble seg forbi UPS-en slik at man kan jobbe spenningsløst. I UPS installasjoner er dette løst ved å installere en bypass, "forbikobler". Bypassen kobles automatisk inn dersom spenningen på vekselretteren blir for lav, for eksempel ved en kortslutning nedstrøms eller ved overbelastning. Bypass kobles også inn dersom det oppstår interne feil med UPS-en. I tillegg til den automatiske bypassen er det vanlig med en manuell bypass som benyttes dersom det skal utføres service på selve UPS-en som må gjøres spenningsløst.

2.3.1 Statisk switch

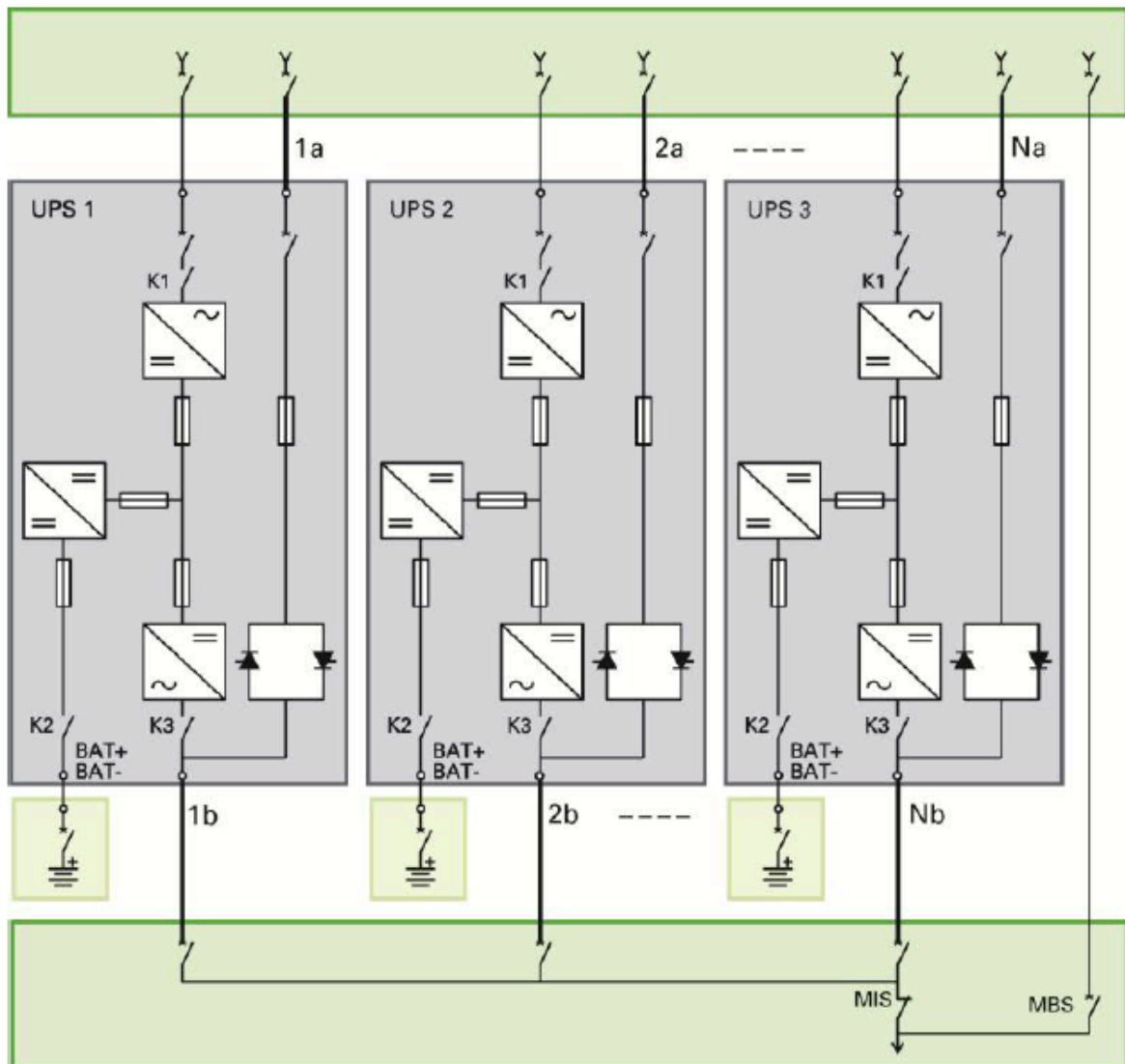
Uavhengig av hvilken UPS-konfigurasjon man velger så er det ønskelig å ha høy hastighet på omkoblingen mellom vekselrettermodus og bypass for å unngå problemer med nedetid i anlegget. For å få til en hurtig omkobling brukes det en statisk switch som er bygd opp ved å bruke tyristorer. For å unngå forstyrrelse i forsyningen ved omkobling holdes spenningen fra vekselretteren på UPS-en i fase med nettet som kobles til bypass[5]. I en normalsituasjon vil frekvensen i det norske nettet holde seg stabil, men dersom anlegget kjøres på reservegeneratorer på grunn av feil i nettet er det viktig å ha tatt hensyn til stabilitet i generatorfrekvens under prosjekteringen slik at UPS-en også kan fungere som normalt i en slik situasjon.

En av utfordringene med bypass i UPS er den at tyristorne som står i den statiske switchen har begrenset tåleevne. De har en I^2t verdi på lik linje med sikringer og som det må tas høyde for ved kortslutningsberegninger og ved selektivitetsanalyse. I^2t vil bli omtalt nærmere i kapitlet om vern, men i UPS-sammenheng så er dette verdien for hva tyristorne i statisk switch tåler av varme før de bryter sammen. De fleste UPS-er som produseres kommer som en ferdig enhet hvor alle komponentene er dimensjonert med ytelse som dimensjonerende faktor. På denne måten kan det oppstå en utfordring ved installasjon av mindre UPS-er hvor bypass ikke er dimensjonert for å tåle kortslutningsytelsen i det foranliggende nettet. Som nevnt går en online UPS i vekselretterdrift ved normaltstand, men ved kortslutning nedstrøms kobles det automatisk over til bypass dersom spenningen faller mer enn 5% fra nominell verdi i mer enn 2ms. Dette gjelder for Siemens sine UPS-er og er oppgitt på mail fra Gunnar Snilsberg 10. Mars 2015.

2.3.2 Bypasskonfigurering

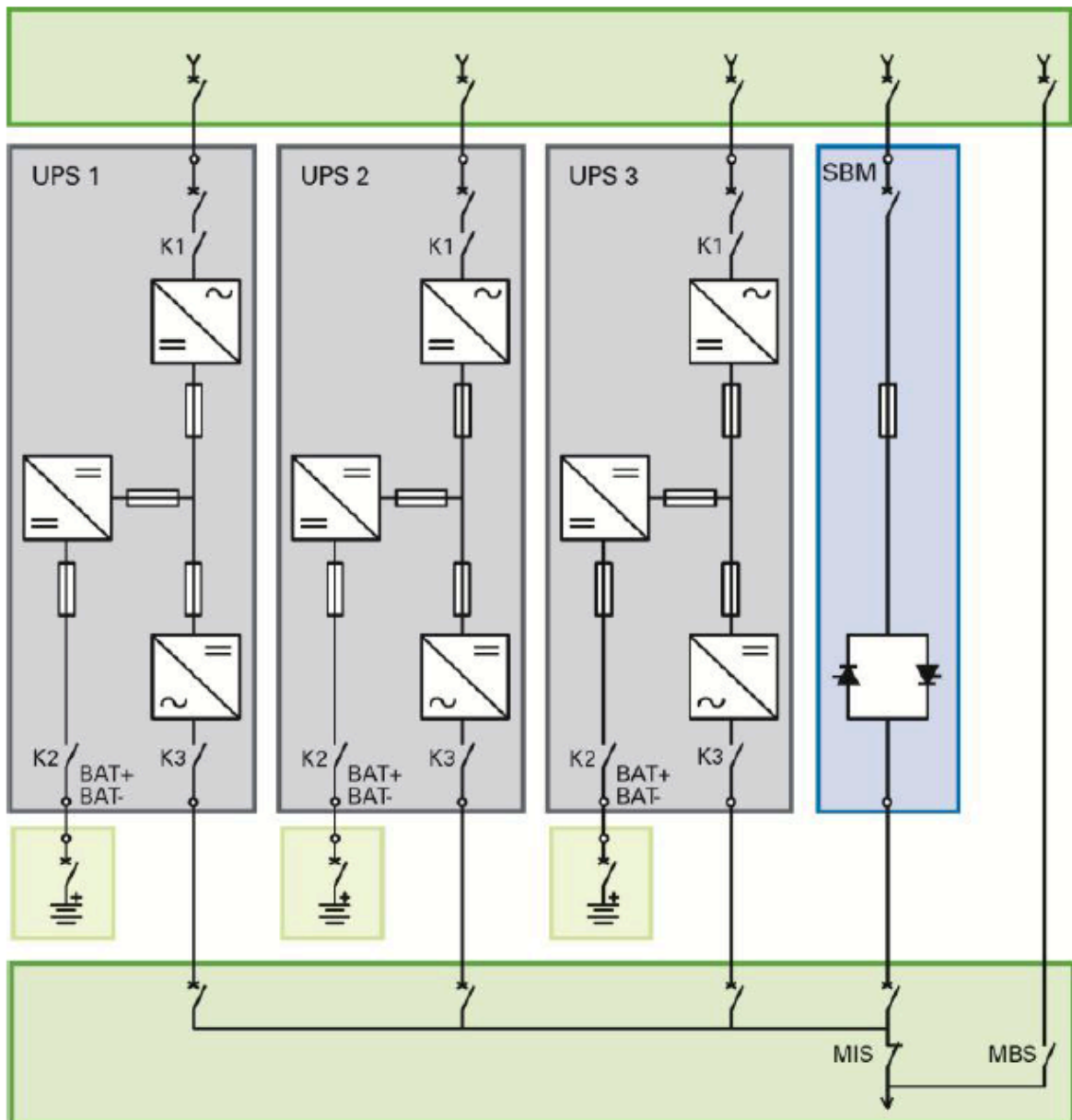
Ved parallellkobling av flere UPS-er kan man prosjektere bypass på to forskjellige måter. Den kan enten være desentralisert, figur 2.5 som betyr at hver UPS-modul har hver sin bypass, eller den kan være sentralisert, figur 2.7, som betyr at det kun er installert en felles bypass for alle UPS-modulene.

Når det benyttes desentralisert bypass er hver statisk switch dimensjonert etter størrelsen på UPS-modulen. Hver enkelt modul overvåker utgangen og dersom feil oppstår nedstrøms, som for eksempel ved en kortslutning, kobler alle modulene over til bypass separat og lasten fordeles likt mellom dem.



Figur 2.6 Desentralisert bypasskonfigurasjon [6]

I et sentralisert bypass system opereres det med en stor felles bypass som er dimensjonert i forhold til hele systemet. Dersom feil oppstår, enten internt eller nedstrøms, kobles all last over på felles bypass, vist som SMB i figur 2.7.



Figur 2.7 Sentralisert bypasskonfigurasjon.[6]

Det er flere fordeler og ulemper med de forskjellige konfigurasjonene med tanke på feilsituasjoner som kan oppstå. Internt i bypass er det to situasjoner som kan forekomme som det er verd å se nærmere på. Den første er at tyristorne låser seg i åpen posisjon slik at bypass ikke vil være tilgjengelig dersom det blir behov. Den andre er at tyristorne kortsluttes og fortsetter å lede når de skulle ha stengt[6].

Tyristorer låst i åpen posisjon:

- Dersom denne feilen oppstår i et sentralisert system vil ikke bypass være tilgjengelig før feilen er rettet.

I en distribuert konfigurasjon vil det være andre switcher tilgjengelig dersom feil oppstår i en av bypassene slik at man fremdeles har et fungerende system. Dette gir distribuert system en økt sikkerhetsfordel mot slike feil.

Kortslutning i tyristor:

- Dersom en tyristor kortsluttes i en av bypassene vil det være direkte kobling mellom UPS-enes vekselretter og foranliggende nett. Dette kan være kritisk da man risikerer at UPS-ene blir liggende å mate foranliggende nett i stede for nedstrøms nett. Det er derfor viktig at UPS-systemer sikres slik at bypass kan kobles bort dersom en slik feil oppstår. Også i dette feiltilfellet vil det være fordelaktig med distribuert konfigurasjon slik at man fremdeles har tilgjengelig bypass dersom en av modulene må kobles ut.

Et vanlig spørsmål som mange stiller seg ved prosjektering av parallelle UPS-er hvordan flere statiske switcher i samspill kobler dersom feil oppstår nedstrøms[6]. Spørsmålet er om alle switchene opererer samtidig, eller om det oppstår forsinkelser slik at bypass blir koblet ut. Så hvordan fungerer dette egentlig?

En normal omkobling skjer når man overstyrer UPS-en direkte eller ved enkle feilsituasjoner som overbelastning og overoppheting. I en parallellkonfigurasjon vil det være den ene UPS-som oppdager problemet som velger å koble om.

I samme øyeblikk sendes et signal til de andre UPS-ene om at også de må koble over til bypass. Denne meldingsprosesseringsen tar om lag 2 millisekunder, en tid som vil være neglisjerbar fordi i en normalsituasjon vil vekselretterne være i stand til å levere strøm til lasten selv om en bypass er åpen i såpass kort tid[6].

Ved en nedstrøms kortslutning eller stor overbelastning hvor spenningen på vekselretteren blir for lav vil den levere så høy strøm den kan for å prøve å holde spenningen oppe og vil mest sannsynlig nå sin øvre grense for hva komponentene i vekselretteren tåler[6].

Dersom nedstrøms vern ikke er riktig koordinert slik at kortslutningsstrømmen blir for lav til å løse ut vernet, eller at vernet løser ut for sent vil spenningen på vekselretteren falle og omkobling til bypass vil bli initiert. Kortslutningsytelsen til foranliggende nett vil gå gjennom bypass og forhåpentligvis løse ut vernet nedstrøms. I slike situasjoner er det særdeles viktig at alle switchene kobler på samme tidspunkt slik at belastningen fra kortslutningsstrømmen kan fordeles mellom alle bypassene.

I en distribuert konfigurasjon overvåker hver enkelt UPS-modul sin egen utgang i tillegg til den felles systemutgangen. Dersom en feil oppstår nedstrøms vil denne bli detektert individuelt av hver modul. Spenningsmåling i vekselretteren skjer veldig raskt og en nedstrøms kortslutning vil føre til hurtig spenningsfall. Fordi endringen i spenning skjer såpass raskt vil den bli detekteres samtidig i alle moduler[6]. Dette fører til at alle switchene vil koble over til bypass uten at det sendes et styresignal til de andre enheten slik det gjøres ved en normal omkobling. Den eneste tidsforsinkelsen som eventuelt kan oppstå er tiden det tar for en enhet å kjøre en spenningsmåling noe som gjøres på under et millisekund. Man kan dermed si at omkoblingen skjer på samme tid for alle switchene og kortslutningsstrømmen fordeles jevnt mellom dem.

Tabell 2.1 Fordeler og ulemper med sentralisert bypass[6]

Sentralisert bypass	
Fordeler	Ulemper
Ingen innvirkning på grunn av impedans i kabler	Man er avhengig av kun en bypass
Mindre mekaniske komponenter og switcher	Man er avhengig av kun en statisk switch
Vedlikeholdsby-pass kan implementeres i sentral by-pass.	Felles by-pass øker kostnaden og fysisk størrelse
	Vedlikeholdskostnader er noe høyere

Tabell 2.2 Fordeler og ulemper med distribuert bypass[6]

Distribuert bypass	
Fordeler	Ulemper
Man behøver ikke sentral bypass som sparer plass og installasjonskostnad	Avhengig av at flere switcher må operer samtidig.
Man har flere switcher tilgjengelig dersom feil oppstår	Man må ta hensyn til kabelimpedans ved installasjon av bypass($\pm 10\%$)
Lettere å øke kapasiteten ved behov	Alle UPS-modulene må være like. Umulig å bruke UPS-er med ulik ytelse

2.4 Overbelastning i normaldrift

Ved normal drift er det mulig å overbelaste vekselretteren i en kortere periode uten at UPS-en kobler over til by-passdrift. Hvor stor overbelastningen kan være og hvor lenge den kan ligge inne varierer fra produsent til produsent og mellom de forskjellige typene de produserer. Fra Makker har det blitt oppgitt følgende data for trefase overbelastning som vekselretteren til RIELLO MHT kan levere:

- 110% - 1 time
- 125% - 10 minutter
- 150% - 60 sekunder
- 200% - 7 sekunder(2 fase)

Dersom man overskrider disse tidene kobles det over i by-pass.

PILLER AP PREMIUM har også lignende data:

- 125% - 10 minutter
- 150% - 60 sekunder

For større overbelastninger er strømmen begrenset til 150% av nominell ytelse. I tillegg er det viktig å merke seg at dersom spenningen faller under gitte grenseverdier kobles by-pass automatisk inn.

2.5 Black Start

En funksjon som kan implementeres i UPS-er er en såkalt "Black start" eller "cold start". Vanligvis er man nødt til å ha nettspenning tilgjengelig for å starte en UPS, men i dette tilfelle vil man være i stand til å kjøre opp UPS-en før nettspenning er tilgjengelig. Black start betyr at vekselretteren blir startet direkte ved hjelp av energien som ligger lagret i batteribanken.

2.6 Nedstegningstid

Som en sikkerhetsfunksjon for UPS-en og lasten som er tilkoblet er det en begrenset tidsperiode UPS-en kan holde med stående feil i anlegget før den stenger ned. For en del kritisk utstyr så slutter utstyret og fungerer dersom spenningen er utenfor toleransenivå i så korte tidsperioder som 15-25ms. Ved større overbelastninger vil strømmen ut av vekselretteren begrenses til 150% av dimensjonerende verdi og dersom spenningen faller under toleransegrensen definert i UPS-ens spesifikasjoner så vil den stenge ned. Dersom foranliggende nett ikke er tilstede stenger UPS-en ned etter maksimalt 5 sekunder, mens normalen ligger ned mot 200-300ms[7]

2.7 Klassifisering av UPS

I henhold til NEK IEC 62040-3 så skal UPS-er klassifiseres etter standarden gitt med følgende kode[8]:

AAA BB CCC

AAA = hvor mye utgangen avhenger av inngangen i normal operasjon. Denne kan angis på tre måter:

- VDF : UPS-en skal beskytte lasten mot nettutfall
- VI : UPS-en skal beskytte lasten som en VDF klassifisert UPS i tillegg til over- og underspenninger på inngangssiden av UPS-en.
- VFI: UPS-en skal levere strøm til lasten uavhengig av spenning og frekvensvariasjoner.

Videre angir andre del av koden:

BB = Spenningens karakteristikk som også har tre mulige angivelser hvor første bokstav forteller om spenningen i normal eller bypassmodus og andre bokstav når UPS-leverer lagret energi.

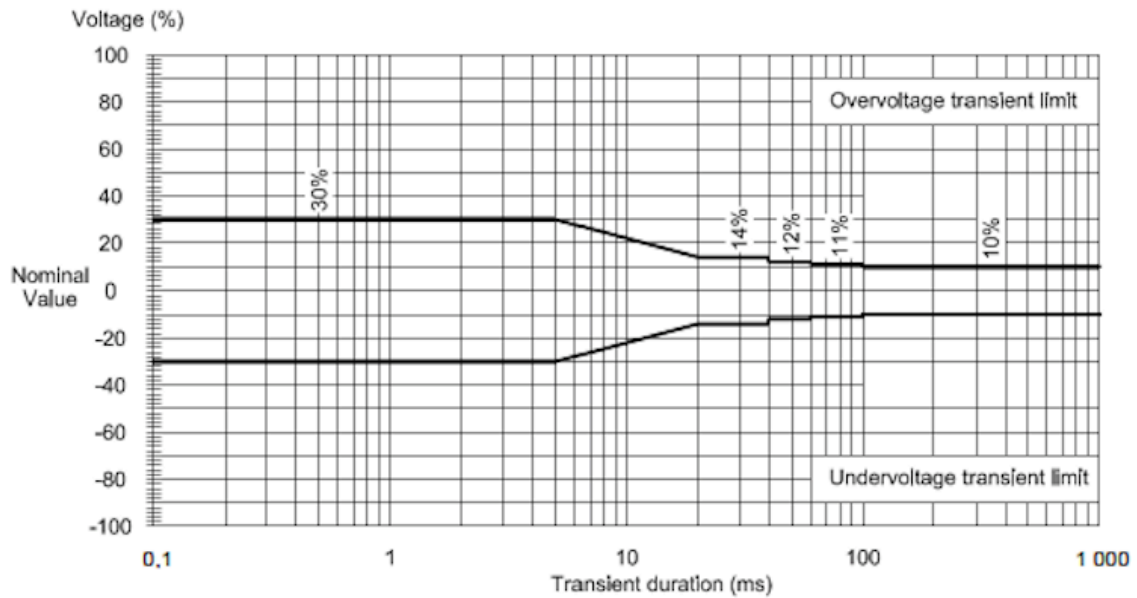
- S: Spenningen er sinusformet.
- X: Spenningen er sinus- eller ikke sinusformet.
- Y: Spenningen er ikke sinusformet

Den siste delen av koden, CCC, angir det dynamiske utgangsforløpet til UPS-en og beskriver spenningsvariasjoner som forårsakes av:

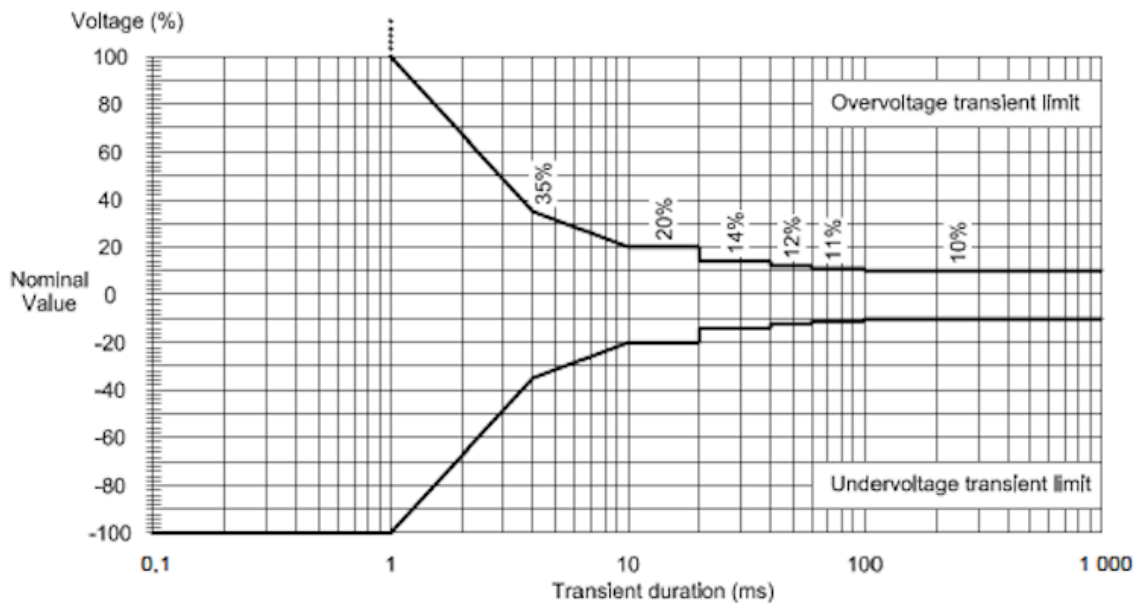
- endring i operasjonsmodus (1. Boksav)
- lineær lastvariasjon (2. Bokstav)
- ikke-lineær lastvariasjon(3. Bokstav)

Hver av de tre C-ene blir gitt tallet 1, 2 eller tre med følgende beskrivelse.

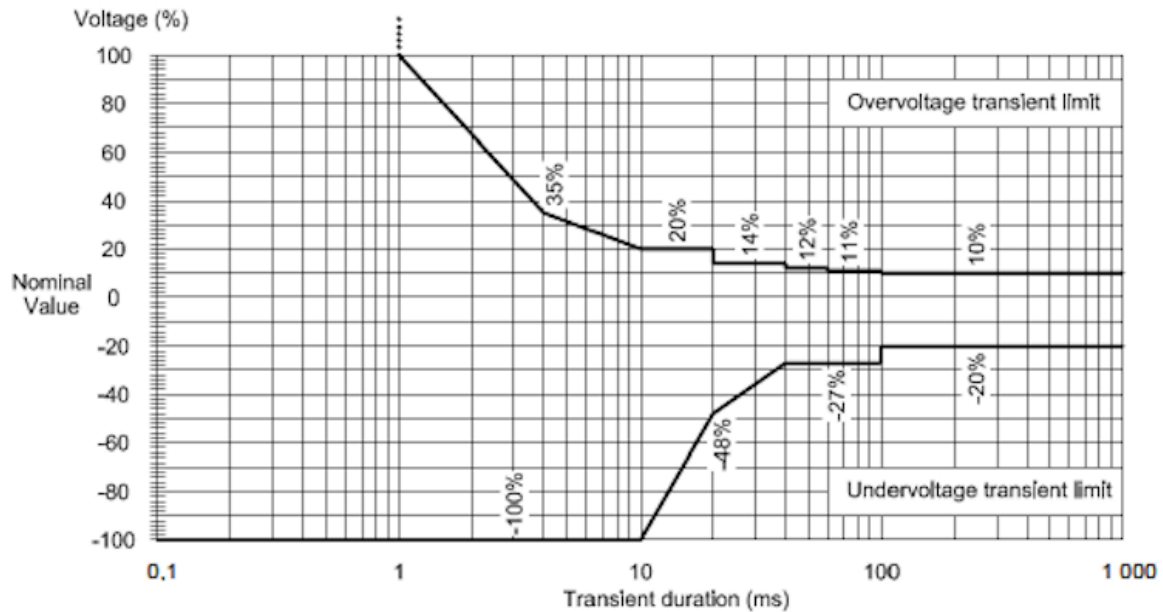
- 1: ytelsesklasse for sensitive, kritiske laster
Spenningen må holdes innenfor grensene gitt i figur 2.8.
- 2: ytelsesklasse akseptert for de fleste typer kritiske laster.
Spenningen må holdes innenfor grensene gitt i figur 2.9.
- 3: ytelsesklasse akseptert for vanlige IT-belastninger.
Spenningen må holdes innenfor grensene gitt i figur 2.10.



Figur 2.8 Spenningsgrenser for ytelsesklasse 1. [8]



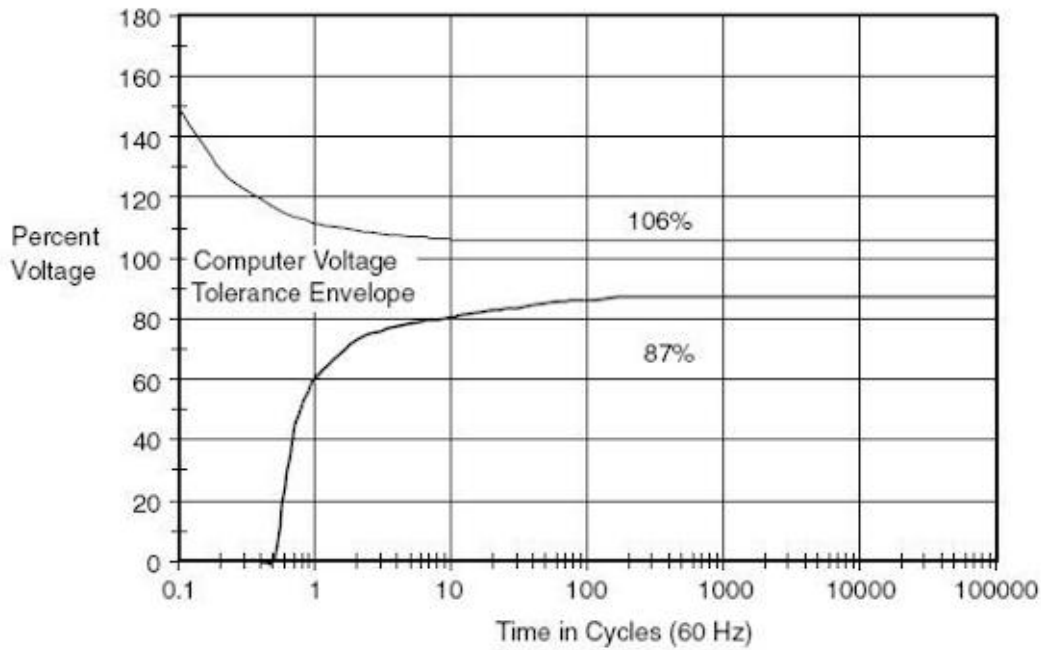
Figur 2.9 Spenningsgrenser for ytelsesklasse 2. [8]



Figur 2.10 Spenningsgrenser for ytelsesklasse 3. [8]

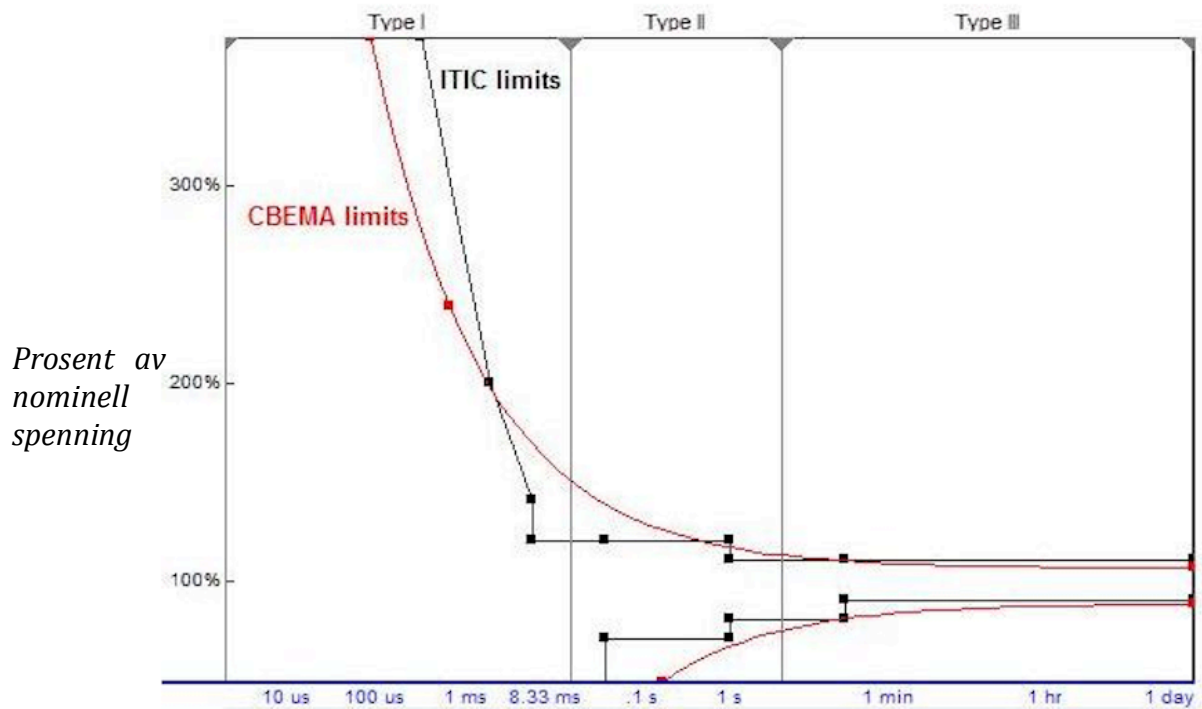
2.8 Spenningstoleranse

Felles for mange anlegg som krever avbruddsfri strømforsyning er at utstyret som er montert er av livsviktig nødvendighet eller har strenge krav til spenningskvalitet. CBEMA-kurven som er illustrert i figur 2.11 viser hvordan toleransekurven til datautstyr så ut på 70-tallet og hvordan spenningsnivå og tid henger nøye sammen. Til sammenligning opererer UPS-er med toleransebånd for spenning som også er avhengig av tid. Ved overbelastning i normaldrift vil UPS-en begrense strømmen oppad. For PILLER UPS er denne verdien satt til 150% av merkestrøm. Dersom denne maksgrensen blir nådd vil spenningen på utgangen reduseres. Dersom spenningen faller mer enn 3% vil UPS-en koble over til bypass umiddelbart så lenge foranliggende nett er tilstede. Dersom nettet ikke er tilstede vil UPS-en stenge ned etter fem sekunder. De samme spenningsgrensene gjelder også for kortslutninger. Fra Siemens er det blitt oppgitt at deres spenningsgrense er på 5% av nominell spenning. Dersom spenningen faller under gitte verdi i mer enn 2ms kobles bypass inn for å opprettholde spenningen.



Figur 2.11 CBEMA kurve som viser spenningstoleranse for ømfintlig PC-utstyr[9]. NB! 60Hz

CBEMA-kurven har siden blitt modifisert og i versjonen fra år 2000 kan man tydelig se at det har skjedd endringer på toleransenivå.



Figur 2.12 ITIC-kurve, videreutvikling av CBEMA-kurven [1]

3 Vern

3.1 I²t – Varmeintegral

Ved store kortslutninger vil ikke tid-strøm karakteristik være mulig å bruke for automatsikringer og effektbrytere dersom man ser på tider under 50ms. I slike tilfeller må strømbegrensningskarakteristikk eller I²t-karakteristikker benyttes. For smeltesikringer vil denne begrensningen være satt til 100ms. Dette fordi under 100ms vil tiden før lysbuen oppstår være en større del av den totale brytetiden. Også i disse situasjonene må I²t-karakteristikk benyttes[10].

Den mengden varme, produsert av strømmen gjennom en sikring som trengs for å smelte et sikringselement er kalt smelte-I²t [11]. Den totale varmen som absorberes fram til lysbuen som oppstår i det sikringselementet slukker, kalles bryt-I²t.

I²t verdien til sikringer er med på å bestemme selektivitet mellom sikringer og hvordan kabler og annet utstyr blir belastet termisk. Energien som tilføres på grunn av strømmen er gitt ved:

$$\int_0^{t_s} \rho_c \frac{l}{a} i^2 dt \quad (3.1)$$

Hvor

- t_s er tiden fra strømmen blir slått på og til avsmelting
- ρ_c er spesifikk elektrisk motstand
- l er lengden av smelteleddet
- a er tverrsnittet av smelteleddet
- i er strømstyrken

Energien som skal til for å nå smeltetemperaturen er:

$$\int_{T_0}^{T_s} c_v a l dT \quad (3.2)$$

Hvor

- T_s er smeltetemperaturen
- T₀ er starttemperatur
- c_v er spesifikk varmekapasitet for smelteleddet
- a,l er hhv. Areal og lengde av smelteleddet

Tilført energi må være lik smelteenergien slik at:

$$\int_0^{t_s} \rho_c \frac{l}{a} i^2 dt = \int_{T_0}^{T_s} c_v a l dT \quad (3.3)$$

Videre kan denne ligningen skrives om til:

$$\int_0^{t_s} i^2 dt = a^2 \int_{T_0}^{T_s} \frac{c_v}{\rho_c} dT \quad (3.4)$$

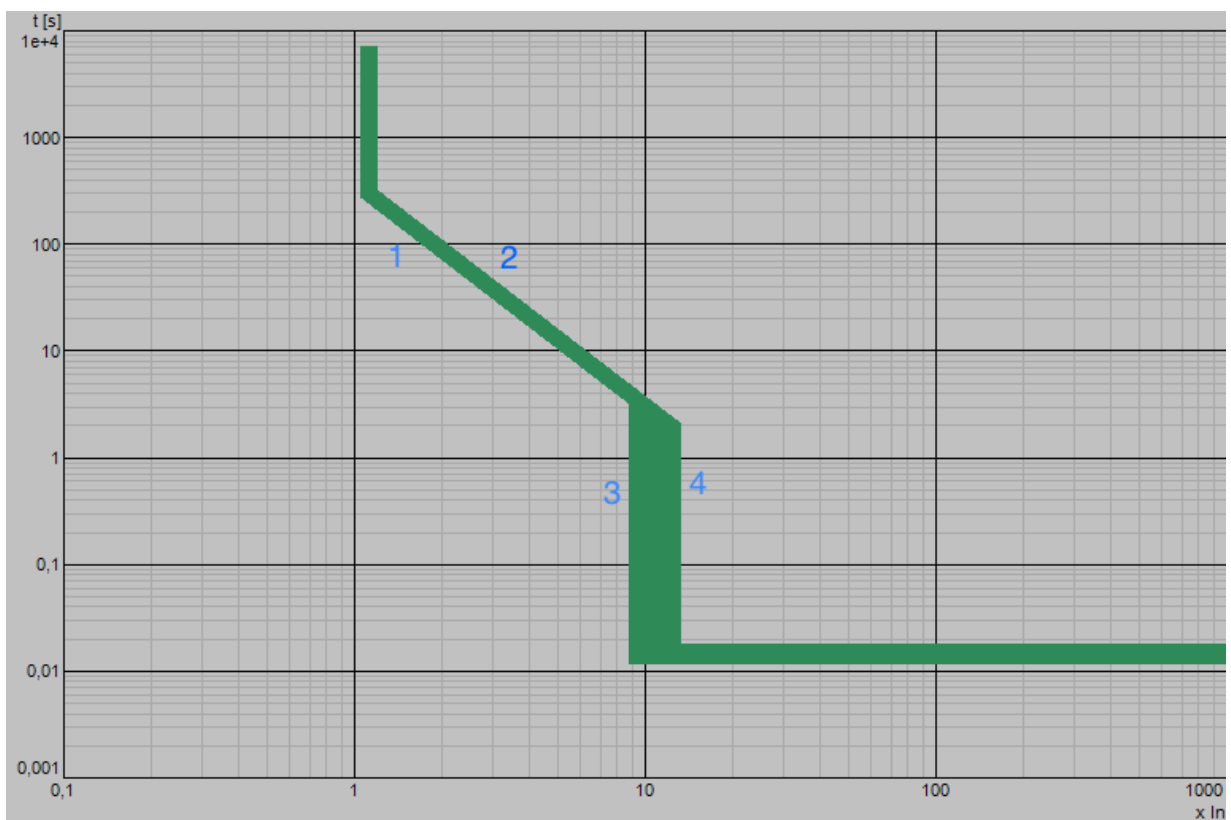
Det som står på høyre side i ligning 3.4 er kun temperaturavhengige materialkonstanter som kan finnes i litteratur.

Dette gir ligning 3.5 som omtales som smelteintegralet eller varmeintegralet.

$$\int_0^{t_s} i^2 dt = \text{smelteintegralet } [A^2s] \quad (3.5)$$

3.2 Effektbryter

En effektbryter er en mekanisk bryterenhet som er i stand til å legge inn, føre og bryte strømmer under normale forhold. Den skal også kunne legge inn, føre en bestemt tid, og bryte strømmer under unormale forhold, som ved en kortslutning[12]. Effektbrytere består av to deler, en utløserdel og en bryterdel. Hovedfunksjonen til effektbrytere er å beskytte mot kortslutninger[11] men den er også designet for å ta hånd om overbelastning. Utløserdelen har vanligvis en termisk utløser som i hovedsak tar seg av overbelastning samt en magnetisk hurtigutløsning som tar hånd om kortslutninger. Utløserkarakteristikken til en effektbryter vises i figur 3.1 og her kan er det fire egenskaper som er viktig å få med seg med tanke på vernets virkemåte:



Figur 3.1 Utløserkarakteristikk for effektbryter

- 1 Minste prøvestrøm I_1 , er den største strømmen som vernet skal tåle i løpet av en time uten å løse ut.
- 2 Største prøvestrøm I_2 , som er den minste strømmen som garanterer at vernet løser ut før det har gått en time.
- 3 Største strøm, I_4 , som ikke fører til elektromagnetisk utkobling (0,1 sekund).
- 4 Minste strøm, I_5 , som garantert fører til utkobling (0,1 sekund).

Kortslutningsvern som skal kunne legges inn og benyttes flere ganger blir testet etter gitte normer avhengig av om utstyret er beregnet for bruk av ikke-sakkyndig eller sakkyndig personell. De aktuelle normene er henholdsvis IEC 60898 og IEC 60947. På bakgrunn av disse normene er det noen benevninger det er verd å legge merke til:

- I_{cs} Rated service short circuit breaking capacity. Kortslutningsstrøm som bryteren kan belastes med gjentatte ganger.
- I_{cu} Ultimate short circuit breaking capacity(sakkyndig). Maksimal kortslutningsstrøm som bryteren kan belastes med én gang.
- I_{cn} Nominel short circuit breaking capacity(ikke-sakkyndig). Maksimal kortslutningsstrøm som bryteren kan belastes med en gang.

Effektbrytere blir testet etter forskjellige testprosedyrer avhengig av hvilken av disse strømmene de testes for.

Tabell 3.1 Forskjeller mellom IEC 60898 og 60947

Emne	IEC 60898	IEC 60947
Bruksområde	Bolig(ikke-sakkyndig)	Industri(sakkyndig)
Karakteristikk	B, C, D	Fri
Antall poler	1, 2, 3, 4 + N	2 eller fler
Bryterkapasitet	I_{cn}	I_{cu}
	I_{cs}	I_{cs}
I_{cs} i forhold til I_{cn}	$I_{cs} = 0,5, 0,75, 1 \times I_{cn}$	$I_{cs} = \text{min. } 50\% \text{ av } I_{cu}$

Tabell 3.2 Koblingssekvens etter IEC 60947 og 60898. (O = Utkobling pga. kortslutning, t = pause, C/O = bryteren legges inn mot en kortslutning og kobler ut)

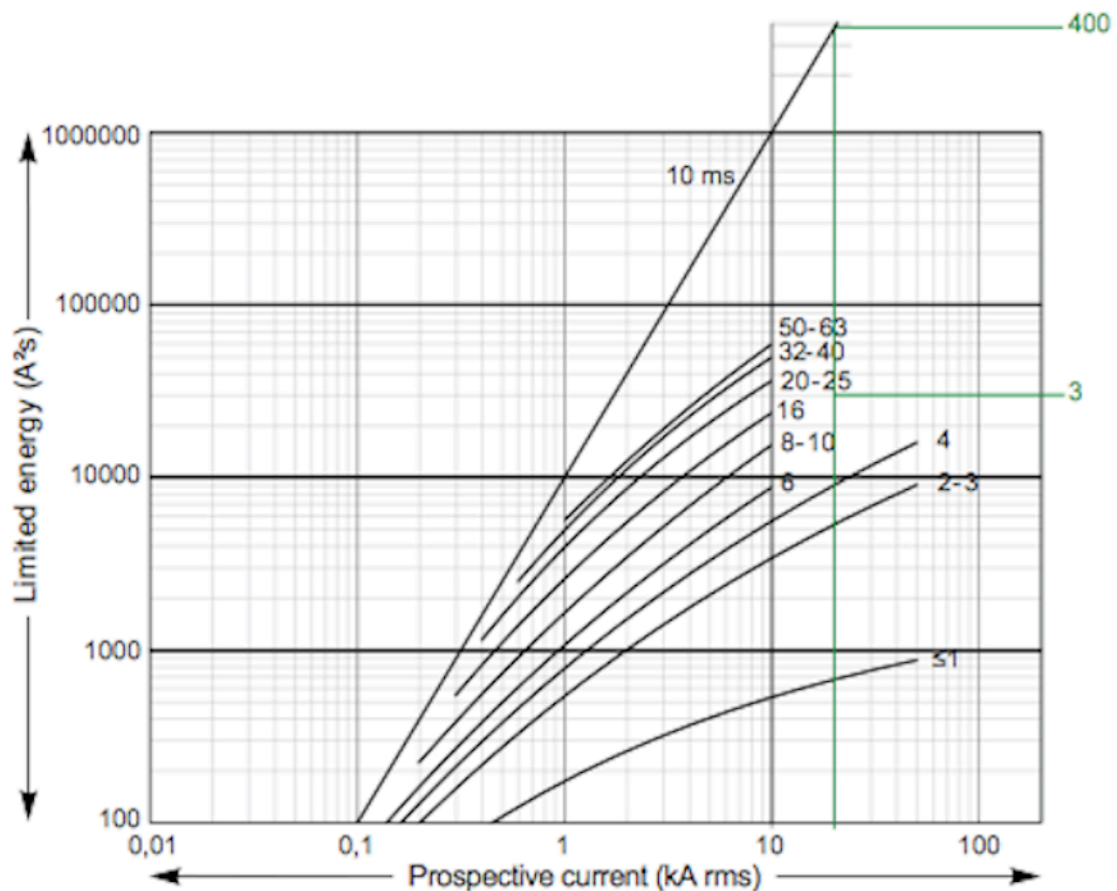
Bryterkapasitet	I_{cs}	I_{cn}	I_{cu}
Koblingssekvens	O - t - C/O - t - C/O	O - t - C/O	O - t - C/O

3.2.1 Effektbryter med strømbegrensning

Effektbrytere med strømbegrensning løser ut så tidlig at strømmen gjennom bryteren ikke rekker å stige til sin maksimalverdi[11]. Dette kan man gjøre på flere forskjellige måter.

Effektbrytere med høy indre resistans fungerer på den måten at dersom den termiske innstillingen på bryteren er lav, kan den totale resistansen i hver av polene på bimetallet og viklingene for momentanutløsning bli meget høy. Resistansen kan bli så høy at alle kortslutningsstrømmer vil bli redusert til et nivå som effektbryteren ikke bare kan takle med hensyn til termisk og dynamiske påkjenninger, men de kan også brytes. Slike effektbrytere omtales som kortslutningssikre og kan installeres i områder hvor forventet kortslutningsstrøm kan komme over 80kA[11].

En annen måte å begrense kortslutningsstrømmen på er ved bruk effektbrytere med ekstremt kort åpningstid og høy lysbuespenning. Denne metoden baserer seg på at åpningen av kontaktene skjer meget raskt og at en lysbue med høy spenning og høy resistans oppstår mellom polene i bryteren. Generelt kan det sies at for spenninger opp til 400V, så vil effektbrytere med strømbegrensning ha høyere brytekapasitet enn nullgjennomgangsbrytere med lik ytelse[12].



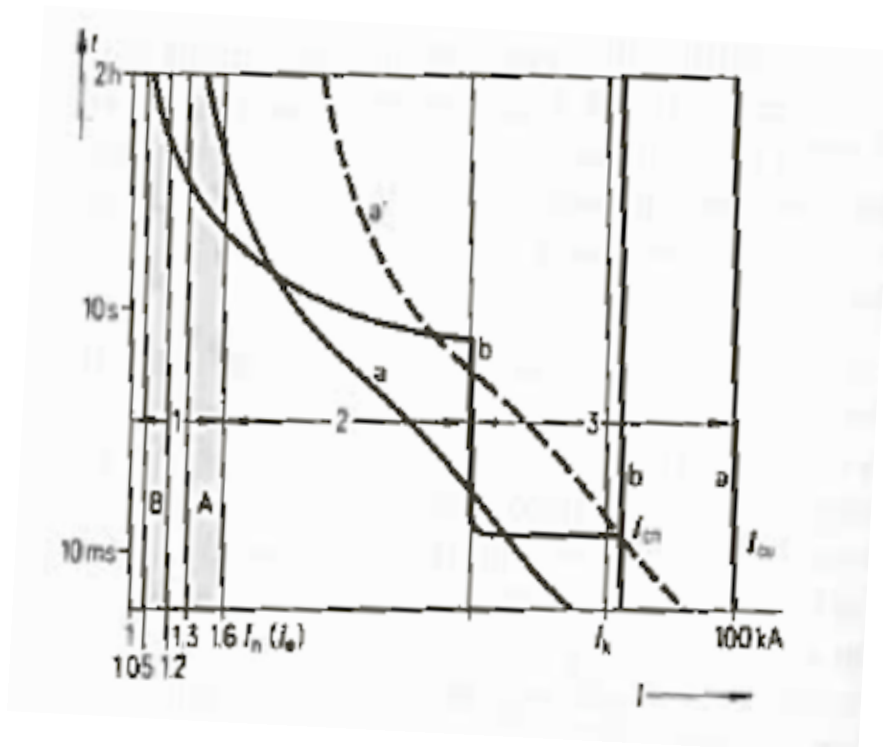
Figur 3.2 Strømbegrensningskurve for effektbryter [13]

3.3 Smeltesikring

Smeltesikringen er en av de eldste verntypene som eksisterer i dag og er blant annet vanlig å bruke i elektriske apparater og som kortslutningsvern i elektroinstallasjoner. Tidligere ble smeltesikringer også brukt som kurssikringer, såkalte skrusikringer, men dette markedssegmentet er nå overtatt av automatsikringer. Smeltesikringen har en enkel oppbygning og består av:

- sikringshus
- motstandstråd
- smeltetråd
- bruddmelder
- kvartssand

Dersom sikringen belastes over merkestrømmen som er angitt vil det utvikles varme som til slutt fører til at smeltetråden ryker og kretsen brytes. Det vil oppstå en lysbue i det tråden ryker og det er kvartssandens oppgave å slukke denne. Smeltesikringer er merket med bokstaver som angir hvilken type det er. Den første bokstaven angir funksjonsområdet.



Figur 3.3 Utløserkarakteristikk for sikring og effektbryter[11]

- g = beskyttelse mot overbelastning
- a = beskyttelse mot kortslutning

Den andre bokstaven angir beskyttelsesområdet.

- L = Ledninger
- M = apparater og komponenter
- R = halvledere

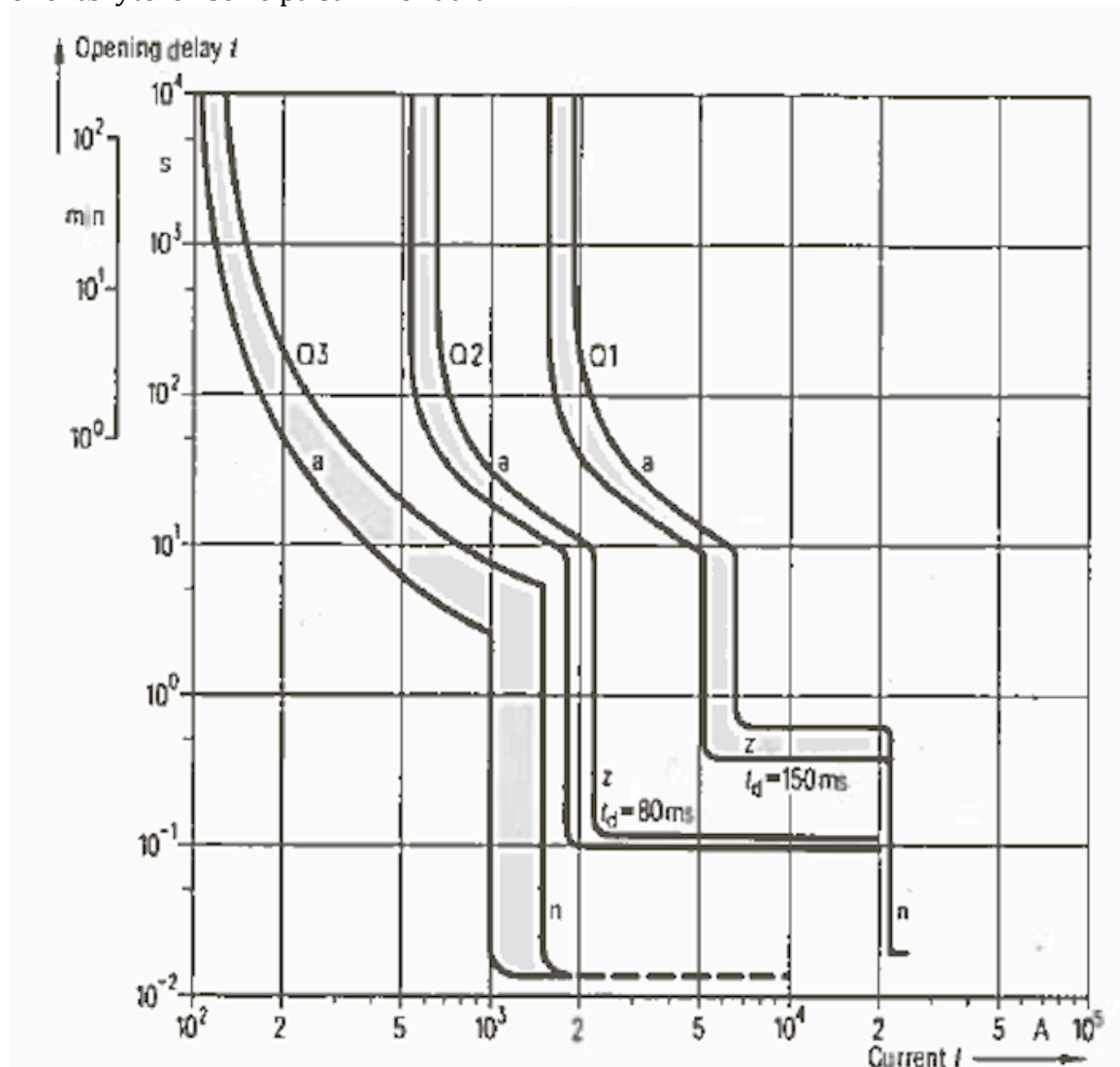
Dersom man sammenligner utløserkarakteristikken til en effektbryter med en sikring vil man få en kurve lik som i figur 3.3. I dette eksempelet er nominell strøm satt lik for begge sikringstypene. Den minste smeltestrømmen for sikringen ligger i området A, 1,3 til 1,6 I_n . En sikring gir god beskyttelse for kabler og lignende utstyr, men for motorer og annet utstyr med høy startstrøm vil det være nødvendig å velge en sikring med utløserkarakteristikk vist som a'. For kortslutninger vil effektbryteren løse ut raskere dersom kortslutningsstrømmen er marginalt større enn innstilt verdi for momentan utløsning. Ved større kortslutninger vil sikringen løse ut raskest. Ved veldig høye kortslutningsstrømmer vil også sikringen begrense toppverdien på strømmen[11].

Tabell 3.3 Sammenligning av beskyttende egenskaper for sikringer og effektbrytere[11]

Egenskap	Sikring	Effektbryter
Kortslutningsbeskyttelse		
-Kabler og kontaktorer	Verdig god	God
-Motor	Veldig god	God

3.4 Selektivitet

Selektivitet i et elektrisk anlegg betyr at kun den anleggsdelen som har en overbelastning eller annen feil kobles ut. Kun vernene som er nærmest feilstedet skal løse ut[11]. For å oppnå selektivitet må alle vern i de forskjellige strømradiálne koordineres med hverandre[14]. For å kunne koordinere ulike vern er det nødvendig å kjenne til vernets egenskaper med tanke på hvor raskt vernet kobler ut overstrøm som funksjon av tiden. Denne funksjonen angis i et strøm-tid diagram som alle vern har. Eksempel på et slikt diagram kan sees i figur 3.4 og viser utløserkarakteristikken til tre effektbrytere i serie på samme radial.



Figur 3.4 Tid-strøm karakteristikk for tre vern i serie [11]

Utløserkarakteristikken er vist som et bånd fordi den ikke kan lages som en eksakt karakteristikk. Den nedre kurven viser for hvilken verdi vernet garantert ikke skal løse ut, mens den øvre angir maksimal utløsertid for en gitt strøm.

Dersom man har flere vern koblet i serie langs samme radial kan man si at anlegget har selektivitet mellom vernene dersom ingen av karakteristikkene berører hverandre. Vernet lengst ut i anlegget skal ligge lengst til høyre i diagrammet.

For større kortslutningsstrømmer vil det ikke nødvendigvis være nok at karakteristikkene ikke berører hverandre, men man må også være sikker på at nedstrøms vern sin bryt- I^2t er lavere enn det forankoblede verns smelt- I^2t [11]. Generelt kan man si at selektivitet oppnås dersom forholdet mellom to seriekoblede smeltesikringer er 1:1,6.

For sikring i kombinasjon med nedstrøms effektbryter vil det være full selektivitet dersom gjennomsluppet energi i effektbryteren er høyere enn sikringens smeltverdi[15].

3.4.1 Delvis selektivitet

Ved enkelte situasjoner kan det oppstå problemer med å oppnå selektivitet for de største kortslutningsstrømmene uten at det er mulig å endre verntype. I disse situasjonene kan det være aktuelt å se på forskjellen mellom en fullstendig kortslutning og en kortslutning som skjer i form av lysbue. Når luften ioniseres og lysbuen oppstår vil det være motstand i luften som reduserer strømstyrken sammenlignet med direkte kortslutning[10]. Jo mer strømbegrensende en nedstrøms effektbryter er jo lavere strøm vil gå gjennom oppstrøms effektbryter. Siden effektbrytere løser ut på topp-verdi av feilstrømmen så vil det være nødvendig å ta strømbegrensningen med i betraktningen når man utfører selektivitetsanalyse mellom vern.

Tabell 3.4 Kortslutningsstrøm i lysbue sammenlignet med full kortslutning [10]

Spenning (kV)	Full kortslutning (kA)	Kortslutnings som lysbue* (kA)	% av full kortslutning
0,208	10	4,35	43%
	20	7,08	35%
	30	9,41	31%
	40	11,51	29%
	50	13,47	27%
0,480	10	6,56	66%
	20	11,85	59%
	30	16,76	56%
	40	21,43	54%
	50	25,93	52%
0,600	10	7,86	79%
	20	14,88	74%
	30	21,62	72%
	40	28,19	70%
	50	34,62	69%
≥1,0 opp til 15.0	10	9,21	97%
	20	19,18	96%
	30	28,58	95%
	40	37,92	95%

Gitt et forenklet eksempel[10] hvor man har en 50A trepolt effektbryter stående i et 480V anlegg som forsyner et 208V anlegg via en lavspenningstrafo. $I_{k3pol maks}$ er oppgitt til å være 2599A på primærsiden av trafoen mens den på sekundærsiden ville vært

$$2599 \times 208/480 = 1126A$$

I et slikt anlegg vil det i utgangspunktet være hensiktsmessig å velge en effektbryter med momentanutløsningsområde mellom 630-188A.

Nedstrøms trafoen er det installert en 20A kurssikring som ikke oppnår selektivitet opp mot effektbryteren da man ikke kan garantere for at den IKKE skal løse ut for strømmer over 630A og den maksimale kortslutningsstrømmen er beregnet til 1126A.

Tar man i betraktning at den feilen som mest sannsynlig kommer til å inntreffe er en lysbue, så kan man se av tabell 3.4 at for et 208V system med 10kA

kortslutningsstrøm (full kortslutning) vil kortslutningsstrømmen gjennom forårsaket av en lysbue være 43% av full kortslutning. I dette tilfellet ville det gitt en kortslutningsstrøm på:

$$1126A \times 0,43 = 484A$$

Altså vil man kunne si at det i dette eksempelet vil være selektivitet mellom vernene dersom kortslutning oppstår som en lysbue.

Spørsmålet om delvis selektivitet vil være aktuelt å diskutere i situasjoner hvor full selektivitet er umulig å oppnå, altså for alle teoretiske feilstrømmer. Argumentasjonen vil være at i en kortslutningssituasjon så er det størst sannsynlighet at kortslutningen oppstår i form av en lysbue. Lysbuens egenskaper vil redusere kortslutningsstrømmen betraktelig slik at faktisk kortslutningsstrøm er betydelig lavere enn hva som er teoretisk mulig. På denne måten vil man ha et argumentasjonsgrunnlag for at selektivitet oppnås for de feilsituasjonene som det er størst sannsynlighet for at vil oppstå ved en kortslutning.

3.5 Kaskadebeskyttelse

Kaskadebeskyttelse, eller backupbeskyttelse er en måte å kunne bruke effektbrytere som har for lav bryteevne i en installasjon i forhold til kortslutningsytelsen i anlegget. Dersom det vernet nærmest feilstedet ikke løser ut kortslutningsstrømmen som oppstår, vil foranliggende vern fungere som backup og koble bort feilen. Kravet er at vernene samlet sett har en bryteevne som er minst like stor som maksimal kortslutningsytelse på stedet[11]. På denne måten kan man også begrense kortslutningsstrømmen som går inn i anlegget ved at vernet på inntaket er strømbegrensende som beskrevet i kapittel 3.2.1.

For å kunne dokumentere kaskadebeskyttelse er man nødt til å benytte vern fra samme vernfabrikat fordi de kun garanterer for sine egne tester. Alle produsentene har egne backup tabeller som sier hvilke vern som kan benyttes sammen, og for hvilke kortslutningsverdier de kan benyttes. Kaskadetabeller må for all del ikke forveksles med selektivitetstabeller da disse har helt forskjellig bruksområde. Backup tabeller gir kun et svar på om verninstallasjonen totalt sett klarer å løse ut kortslutningsstrømmen som kan oppstå, den garanterer ikke for selektivitet mellom vernene selv om tabellene har tilsynelatende lik utforming.

3.6 Kortslutningsberegning

Kortslutningsberegninger i lavspente elektroinstallasjoner gjøres i hovedsak på bakgrunn av oppgitte kortslutningsverdier gitt fra det lokale nettselskapet i leveringspunktet. Ut fra disse verdiene kan det beregnes maksimal og minimal kortslutningsstrøm som vil oppstå ved feil i anlegget.

Kortslutningsberegningene er nødvendige for å kunne velge riktige vern i installasjonen slik at alle feil blir koblet ut. Kortslutningsberegninger gjøres på bakgrunn av IEC-60909 som er en europeisk standard. Denne benytter symmetriske komponenter i nettet. Ved gjennomføring av en selektivitetsanalyse bør følgende kortslutningsstrømmer beregnes[16]:

- Maksimal kortslutningsstrøm, I_{k3p}
- Minimal kortslutningsstrøm, $I_{k2p \text{ min}}$
- Stasjonær kortslutningsstrøm fra små generatorer
- Transient og varig strøm fra batterier og UPS-vekselrettere
- Lave jordfeilstømmer, I_{kj}

Maksimal og minimal kortslutningsstrøm vil bli beregnet på bakgrunn av verdier i foranliggende nett som nettselskapet oppgir i leveringspunktet.

$$I_{k3p} = \frac{c \times U_n}{\sqrt{3} \times Z_k} \quad (3.6)$$

Hvor

- U_n = Linjespenning
- Z_k = total impedans pr. fase
- C = spenningsfaktor, gitt av nettsystem

Tabell 3.5 Spenningsfaktor ifm. Kortslutningsberegning [12]

Nettspenning	Maksimal eller minimal kortslutningsstrøm	Spenningsfaktor, C
230/400V	Maksimal	1,00
230/400V	Minimal	0,95
$U_n < 1\text{kV}$	Maksimal	1,05
$U_n < 1\text{kV}$	Minimal	1,00
$U_n > 1\text{kV}$	Maksimal	1,10
$U_n > 1\text{kV}$	Minimal	1,00

Minimal kortslutningsstrøm finnes ved å beregne topolt kortslutningsstrøm ved formel

$$I_{k2p} = \frac{c \times U_n}{Z_+ + Z_-} \quad (3.7)$$

3.6.1 Kortslutning nedstrøms UPS

Ved kortslutning nedstrøms i et UPS anlegg er det av stor viktighet at feilen blir koblet bort hurtig for å unngå problemer med strømforsyningen. Kortslutningsforløpet til en UPS vil være forskjellig avhengig om UPS-en er i batteridrift eller i bypass. Så lenge

nettspenning er tilstede i anlegget så vil UPS-en automatisk koble over til bypass ved nedstrøms kortslutning. Dette gjøres fordi UPS-en har en veldig begrenset kortslutningsytelse, normalt ikke mer enn 1,5-5 ganger nominell strøm. Dette kan være for lav verdi til å gi tilstrekkelig kortslutningsstrøm for kurser langt ute i UPS-anlegget dersom dette ikke er tatt høyde for.

Det vil være av stor viktighet å også ha selektivitet i bypassdrift. Siemens CP200 UPS garanterer selektivitet mellom bypassikring og fordelingskurser dersom sikringene som brukes er mindre enn 30% av merkestrømmen til UPS-en. Dette er ikke entydig for alle UPS-er og er noe som må beregnes i hvert enkelt tilfelle.

Dersom eksternt nett ikke er tilstede ved kortslutning, altså at UPS-en leverer strøm fra batteriene, så vil det være forskjeller mellom forskjellige UPS-er hvor stor og hvor lang kortslutningsstrøm som vil bli levert. Hvordan kortslutningsforløpet framstilles varierer fra leverandør til leverandør men typisk for alle er at tidsrommet det fokuseres på er de første 200-300ms av forløpet.

Fra enkelte produsenter oppgis dette til å være en konstant strøm, mens det for andre er to trinn hvor da I_{kort} oppgis opp til 50ms og I_{lang} oppgis for 50-200 ms. Dersom kortslutningen ikke er koblet bort før den lange kortslutningstiden er løpt ut vil UPS-en redusere strømmen ytterligere og til slutt stenge ned for å beskytte seg selv. Fra Makker som leverer UPS fra Piller anbefales det at kortslutninger kobles bort innenfor 10ms for å opprettholde normal drift på de resterende kursene.

4 FEBDOK

FEBDOK er et dataprogram for dimensjonering og dokumentasjon for elektriske installasjoner i henhold til FEL og NEK 400. FEBDOK ble lansert i 1991, og er i dag tilgjengelig i Norge, Sverige, Danmark, Finland og England. Programmet er et nyttig verktøy for installatører av elektriske installasjoner og benyttes i dag på boliginstallasjoner, offshore, sykehus, industri og næringsbygg. FEBDOK er under kontinuerlig oppdatering.

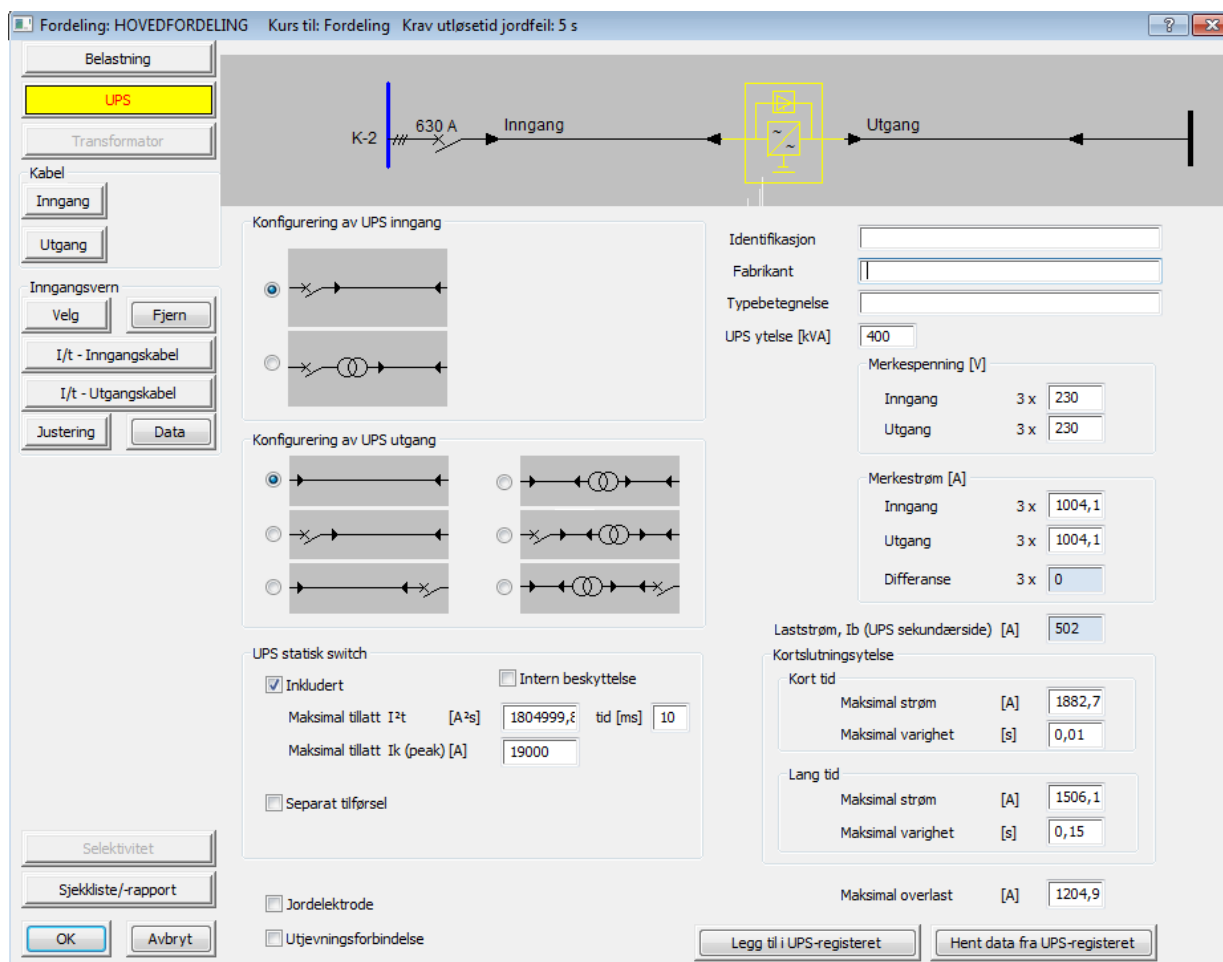
4.1 Dimensjonering av UPS

Det finnes ingen database i FEBDOK hvor man kan finne de forskjellige leverandørers UPS-er med tilhørende verdier slik som det er med kabler og vern. Dette fordi FEBDOK antar at UPS-er oppfører seg likt uavhengig av leverandør. Når det skal dimensjoneres UPS i FEBDOK er man i utgangspunktet nødt til å ha prosjektert anlegget mer eller mindre ferdig på forhånd da man trenger et stort datagrunnlag for å legge inn UPS i anlegget. For å ha oversikt over hvilke parametere man behøver, finner man i FEBDOK en fane som heter UPS-register. Her står alle parametere som behøves for å kunne utføre dimensjonering av UPS-anlegg i FEBDOK.

Fra Lasse Bøhler i Metric blir det opplyst om at en database for UPS-er vil være vanskelig å gjennomføre på grunn av faren for feilinformasjon og misforståelser er større enn hva den er i dag. Det gjøres stadig optimalisering på utstyret og produsenter og leverandører av UPS er ofte uavhengig av hverandre. Hvem skal i tilfelle stå for å holde en slik database oppdatert til enhver tid? Man kan gjøre endringer i programvaren til UPS-ene og på den måten oppnå ulike egenskaper på to like UPS-er.

En av svakhetene til FEBDOK er at det i dag ikke kan benyttes til dokumentasjon av parallellkobling av UPS-er, noe som blir mer og mer vanlig i større bygninger med behov for uavbrutt strømforsyning. Heller ikke seriekobling via statisk switch er mulig i dag. NELFO, som markedsfører FEBDOK, sier selv at mulighet for dokumentasjon av parallellkobling er noe det jobbes med å få til, men når dette vil bli implementert er det ikke kommet noe tidspunkt for.

Å legge inn UPS i elektriske anlegg i FEBDOK er i og for seg en relativt enkel jobb. I det man velger UPS på den aktuelle kursen kommer alle valgmuligheter til syne i skjermbildet slik som vist i figur 4.1. På dette stadiet bør man som tidligere nevnt ha bestemt seg for hvordan UPS-anlegget skal bygges opp da man har flere hundre valgmuligheter avhengig om det skal benyttes separat tilførsel til bypass, vern på inngangskabler, vern på utgangskabler, trafo på inngangs- eller utgangskabler og så videre. Man må også kjenne til om UPS-en man bruker har intern beskyttelse av statisk switch eller om dette må gjøres av de andre vernene i anlegget.



Figur 4.1 UPS-innstillinger i FEBDOK

4.2 Kortslutningsberegning med UPS i FEBDOK

Kortslutningsberegninger for UPS er en ganske omfattende affære og i FEBDOK blir det gjort enkelte tilnærminger for å forenkle regneprosessen slik at den effektivt skal dekke alle scenarier og like leverandører. I motsetning til kabler og vern finner man ingen database i FEBDOK som inneholder de ulike leverandørers UPS-er. FEBDOK antar dermed at alle oppfører seg likt og har lik tilnærming til alle. Når man legger til en UPS i febdok blir man bedt om å legge inn nominell ytelse, kort kortslutningsstrøm, $I_{k\text{ort}}$ og lang kortslutningsstrøm, I_{lang} . På bakgrunn av disse verdiene beregner febdok alle feilstrømmer som kan oppstå i anlegget og hvor lang utkoblingstid de enkelte vern vil ha.

Dersom anlegget ikke er i henhold til gjeldende normer og forskrifter med tanke på utkobling vil FEBDOK gi tilbakemelding på dette. Dersom feilstrømmen ikke kobles bort før UPS-en stenger ned eller gjennomsluppen energi i bypass overstiges vil FEBDOK også gi tilbakemelding på dette i form av en "rødmelding", som betyr at dette strider mot gjeldende forskrifter.

Dokumentasjonen i FEBDOK vil aldri bli bedre enn det man legger inn av verdier på forhånd. Man må også vurdere de svarene som FEBDOK kommer med.

Termisk grenseverdi for en UPS er gitt som den maksimale strømmen UPS-en kan levere og fremdeles opprettholde nominell spenning på utgangen. Dersom den beregnede strømmen er større en termisk grenseverdi, som ved en kortslutning, vil UPS-en gå over til å oppføre seg som en ideell strømkilde så fremt ikke bypass er tilgjengelig. Ved kortslutning nedstrøms antar FEBDOK følgende:

- Utgangsspenning på vekselretteren går til 0V
- UPS gir feilstrøm i henhold til oppgitt kort og lang kortslutningsstrøm
- UPS kobler inn bypass
- UPS går ned

Selektivitetsanalyse i FEBDOK vil ikke kunne gjøres fullstendig da det per dags dato ikke ligger hurtigsikringer inne i verndatabasen. Dersom UPS-en levers med intern beskyttelse er det mulig å hake av for dette i programmet men da ser FEBDOK kun på selektivitet mellom oppstrøms og nedstrøms vern for bypass.

5 Idéer for prosjektering av UPS-anlegg

Hvordan bør så et UPS-anlegg prosjekteres for å oppnå best mulig virkemåte med tanke på funksjonalitet, sikkerhet og pålitelighet? Å si at det er en fasit til dette spørsmålet vil være en overdrivelse, men det er mange elementer som er viktige å ta hensyn til uansett hva slags anlegg som prosjekteres.

De fleste UPS-leverandører har sin egen metode å prosjektere anleggene etter, men ingen av metodene gir en helhetlig beskrivelse av hva som må gjøres for å få et forskriftsmessig anlegg. EATON viser til følgende fremgangsmåte for å velge riktig UPS tilgjengelig på sine hjemmesider[17]:

- 1) Lag en liste over alt utstyret som skal forsynes via UPS-en.
- 2) Finn strøm og spenning til utstyret på listen.
- 3) Finn tilsynelatende effekt, VA, for utstyret.
- 4) Legg sammen og finn totaleffekten.
- 5) Gang summen fra punkt 4 med 1,2 for å ha rom for utvidelse.

UPS-en som man velger bør så ha lik eller større ytelse enn den verdien man kommer fram til i punkt 5.

I tillegg gjøres man oppmerksom på at dersom anlegget skal forsyne motorer, laserprintere og annet utstyr med høye startstrømmer, så må dette tas høyde for under prosjekteringen.

Dette virker fornuftig, men som de videre delkapitlene skal vise så vil man ved bruk av denne metoden ikke ta hensyn til hvilken kortslutningsytelse som behøves i anlegget for å selektivitet med nedstrøms vern. Den gir heller ingen indikasjon på om tåleevnen til statisk switch er i samsvar med kortslutningsytelsen i foranliggende kraftnett eller hvordan dette skal tas høyde for.

Resten av dette kapittelet skal gi leseren et innblikk i hva forfatteren av rapporten mener bør legges til grunn ved prosjektering av UPS-anlegg. Det vil bli brukt et fiktivt eksempel-anlegg hvor effektbehovet er satt til 30kW.

5.1 Risikovurdering og pålitelighetsanalyse i nødstrømanlegg

I UPS-anlegg generelt, vil en viktig del av planleggingen av anlegget være å utføre en tilstrekkelig risikovurdering og pålitelighetsanalyse. Formålet med en slik vurdering vil være vurdere ulike systemløsninger for strømforsyningen slik at leveringssikkerheten til anlegget opprettholdes på en så sikker måte som mulig. Ser man på figur 2.1, så viser denne tre forskjellige måter man kan bygge et UPS-anlegg med tanke på redundans.

Det første bildet, D, i figuren består av en enkelt UPS som dimensjoneres til å kunne forsyne hele anlegget dersom en feil oppstår. Bilde 2, E, har to enheter som hver er dimensjonert til å kunne forsyne anlegget, mens det siste bildet i figuren, F, har tre UPS-moduler i en såkalt n+1 konfigurasjon hvor to av tre moduler kan forsyne hele anlegget. Uavhengig om dette er et nødstrømanlegg eller ikke så vil disse forskjellige måtene å sette opp et UPS-anlegg på være like.

Forskjellen for et nødstrømanlegg er at FEL[2] stiller krav til avbruddsfri strømforsyning for anlegg som medfører fare for liv og helse dersom avbrudd oppstår, slik som tilfellet er for et sykehus. Videre er det definert i NEK 400 hvilke krav som gjelder med tanke på tiden det skal være tillatt at avbrudd finner sted[18].

Vedlikehold på UPS-er vil man annet måtte gjøre i spenningsløs tilstand, og i det øyeblikket det må utføres arbeid på en slik måte at man må benytte den manuelle bypassen til UPS-en vil det oppstå konflikt med §31 i FEL[2]. Dette fordi man da ikke lenger har automatisk omkobling tilgjengelig. Dette vil i utgangspunktet gjelde for sykehusinstallasjoner og andre anlegg som listes opp i forskriftene, men for installasjoner hvor man har sett behovet for avbruddsfri strømforsyning må man vurdere viktigheten av redundans i anlegget og se dette opp i mot risikovurderingen.

Det å benytte seg av kun én UPS modul vil høyst sannsynlig komme ut som den mest økonomiske løsningen, men med tanke på faremomenter som kan oppstå ved feil enten i UPS-en eller nedstrøms i anlegget så er dette en løsning som sjeldent vil være god. Man vil også kunne møte på de samme utfordringene dersom man benytter seg av n+1 eller 2n konfigurasjon med sentralisert bypass. I en normalsituasjon vil anlegget ha redundans i motsetning til å bruke en enkelt UPS. I det øyeblikket det skjer en feil med bypass som beskrevet i kapittelet om bypasskonfigurering, 2.3.2, enten ved at bypass kortslutter eller låser i åpen posisjon, så vil anleggets sårbarhet øke betydelig.

Sikkerhetsmessig vil det være fordelaktig å velge en konfigurasjon hvor alle UPS-enhetene kan fungere hver for seg dersom noe skulle skje. Flere funksjoner som sammenkobles for flere enheter fører til at anlegget kan få mange "single point of failure" områder som betyr at feil i enkeltkomponenter får konsekvenser for hele anlegget. Dette er ikke ønskelig og reduserer sikkerheten betraktelig.

5.2 Hva slags last skal UPS belastes med

Hvilken UPS man velger vil være avhengig av belastningen i anlegget og det er derfor viktig å få kartlagt hvilke typer last som skal forsynes og hvor store disse er.

Som beskrevet i tidligere kapittel har UPS-er forskjellig klassifisering avhengig av hvilken type installasjon de er beregnet for. Selv om de fleste UPS-ene på markedet leveres med tilstrekkelig ytelse for alle typer last er det likevel viktig å være klar over forskjellene som finnes og hva som er viktig for den aktuelle installasjonen.

Ved installasjon av utstyr som er sensitivt med tanke på spenningsvariasjoner, enten det gjelder over eller underspenning, så er det viktig å ta dette i betraktning når UPS-anlegget prosjekteres. Selv om anlegget har full selektivitet og så god redundans som det er mulig å oppnå, så hjelper ikke det dersom utstyr stenger ned fordi UPS-en ikke klarer å regulere spenningen raskt nok i det den kobler over fra vekselretter- til bypassdrift eller ved store lastvariasjoner. I dagens anlegg installeres det mer og mer ikke-lineær last slik som store LED-lysanlegg, datamaskiner, motorer osv. som fører til at også store ikke-lineære lastvariasjoner blir viktig å ta høyde for. Selv sier leverandørene av UPS, [7] og [19], at Piller UPS og Siemens UPS automatisk kobler over til bypass dersom kortslutning eller overbelastning oppstår og spenningen fra vekselretteren faller under henholdsvis 3% og 5% fra normalnivå. Altså vil UPS-en måtte komme til å koble over til

bypass med store lastendringer. Problemet trenger ikke løses enkelt av den grunn, for det er også en responstid ved omkobling. Med andre ord er det viktig at responstiden på UPS-en er rask nok ved kobling mellom vekselretter- og bypassdrift slik at kritisk last ikke kobler ut ved store lastendringer som kjent senker utgangsspenningen fra UPS-en.

Merkingen er som nevnt tidligere, AAA BB CCC, og de ulike delene i koden beskriver ulike virkemåte. Det vil for eksempel være forskjell på hvilken UPS man trenger dersom det er mye ikke-lineær last som skal forsynes eller om lasten er lineær. Her må det ses på hvert enkelt tilfelle. Ser man på ITIC-kurven i kapittel 2.8, og sammenligner denne med ytelsesklassifiseringen i IEC 62040-3 så kan man tydelig se at om man har utstyr som er ømfintlig mot spenningsvariasjoner så vil det være naturlig å velge en UPS med ytelsesklasse 1 framfor en med ytelsesklasse 2 eller 3. Dette gjelder for alle typer last. Del tre av merkingen, CCC, vil i så måte være ført som 111.

I enkelte anlegg trenger det ikke være avbruddsfri strømforsyning over tid som er grunnen til at UPS skal installeres, men hovedhensikten er å unngå frekvens- og spenningsvariasjoner på grunn av svært ømfintlig utstyr. Slike UPS-er må da være beskrevet med VFI som første del av merkingen, AAA.

Når belastningen er kartlagt må det fastsettes hvilken fordelingsstruktur man ønsker i anlegget, antall underfordelinger og kurser, og fastsette størrelsen for disse.

FEL §23 Beskyttelse mot overstrøm

"Mennesker, husdyr og eiendom skal være beskyttet mot skade fra for høye temperaturer eller elektromekaniske påkjenninger som skyldes noen form for påregnelige overstrømmer i strømførende ledere."

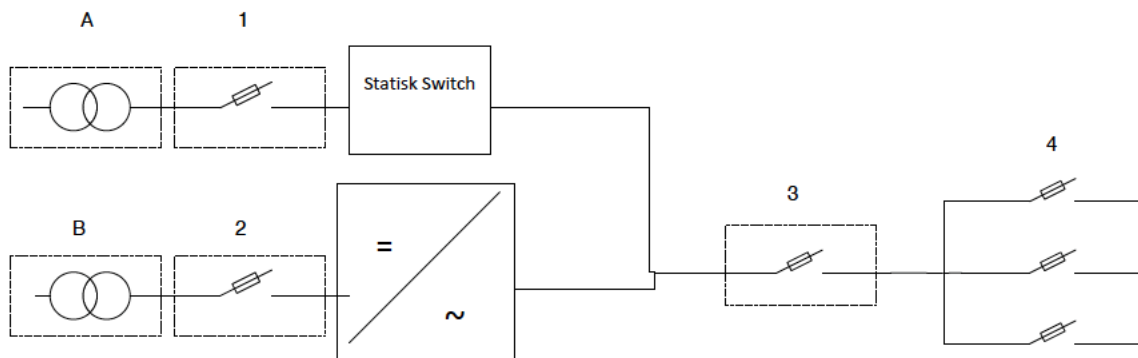
Det første som EATON legger til grunn for valg av UPS er riktig å gjøre, altså å finne den totale effekten som skal dekkes av UPS-anlegget og gi rom for utvidelse. Men velger man å bruke den verdien man kommer fram til i punkt 5 alene som grunnlag til valg av UPS så risikerer man at UPS-en ikke klarer å drifte anlegget på en forsvarlig måte.

For det første må man være sikkert på at UPS-en klarer å levere høy nok kortslutningsstrøm til å koble ut alle vern nedstrøms UPS-en. Ved en kortslutning vil spenningen raskt falle og det er ønskelig at utkobling skjer så raskt som mulig slik at ikke annet utstyr mister spenningen lengre enn nødvendig, ref. ITIC-kurven. Piller, som leveres av Makker anbefaler at kortslutninger kolbes bort innen 10ms for å forhindre at annet utstyr på anlegget stenger ned. Det er derfor viktig av vernets utløserstrøm, I_5 -verdi, har lavere verdi en kortslutningsstrømmen som vekselretteren yter[20].

I tillegg til at kortslutningsstrømmen må være tilstrekkelig høy fra vekselretteren må det også tas høyde for impedansen i kablen fra vekselretter og fram til forbruker, da dette vil dempe størrelsen på strømmen betydelig, jf. ligning (3.6 og (3.7. Dersom UPS-anlegget har flere nivåer av underfordelinger må man sjekke dette punktet for alle vern. Det vernet med høyest I_5 -verdi vil være dimensjonerende for UPS-ens kortslutningsytelse.

Prosjekterer man et anlegg hvor det skal brukes flere UPS-moduler i parallell så vil kortslutningsytelsen til anlegget være lik summen av ytelsen fra alle modulene. Det er likevel viktig å ta høyde for at flere av modulene kan falle ut, slik at utkobling av vern må baseres på at kun én modul er tilgjengelig.

NEK 400 560.6.9 "Kortslutningsbeskyttelse og beskyttelse ved feil skal være ivaretatt når installasjonen er forsynt fra hver enkelt strømkilde separat eller ved alle strømkilder i parallell."



Figur 5.1 Enkel UPS-enhet med prinsipiell vernplassering.

I figur 5.1 er det viktig å legge merke til følgende:

- A er transformator på inngangen til bypass.
- B er transformator på hovedtilkobling UPS.
- 1 er overstrømsvern i bypass.
- 2 er overstrømsvern hovedtilkobling UPS.
- 3 er overstrømsvern på UPS utgang.
- 4 er første nedstrøms underfordeling.

Det neste punktet vil være å summere all lasten som skal forsynes med UPS-en slik at man kan bestemme hvilken ytelse som skal leveres. Husk på å ta høyde for at anlegget skal kunne utvides senere slik at kapasiteten ikke er sprengt ved oppstart av anlegget. Muligheten for utvidelse av anlegget må også legges til grunn ved valg av kabler slik at man ikke må gjøre en total rehabilitering av det elektriske anlegget dersom UPS-ytelsen skal økes.

5.3 Dimensjonerende ytelse og kortslutningsstrøm

På bakgrunn av størrelse på vern som nå er gjort nedstrøms UPS-en og hvilken ytelse UPS-en skal levere så kan man gjøre en første grovutvelgelse av hvilken UPS-man skal ha. UPS-en må kunne levere nominell ytelse som tilsvarer total last i anlegget inkludert utvidelsesmuligheter. I tillegg må kortslutningsytelsen i batteridrift være minst like høy som den høyeste I_5 verdien det opereres med i anlegget. Det finnes ikke noe endelig forhold mellom nominell strøm fra UPS-en og kortslutningsytelsen den leverer, men for

de fleste større typene kan man anta en langvarig kortslutningsstrøm på 1,5-5 x In. Det er altså denne verdien som må være høyere enn dimensjonerende I_5 -verdi korrigert for impedans i nedstrøms nett. På denne måten sikrer man at alle vern i installasjonen vil være i stand til å løse ut ved en eventuell kortslutning nedstrøms UPS-en og man sikrer selektivitet mellom vern.

5.4 Redundans i anlegget

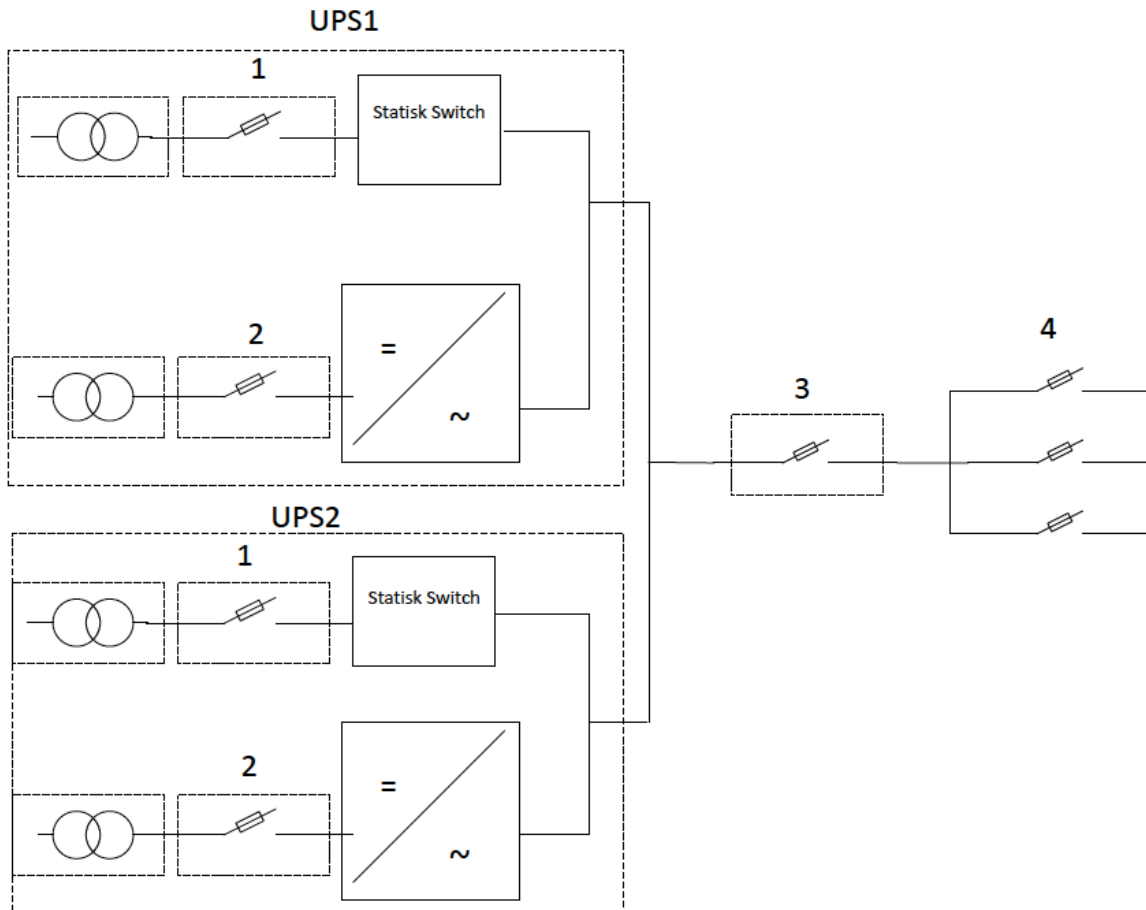
Risiko- og pålitelighetsanalysen vil gi svar på om anlegget skal bestå av én enkelt UPS-enhet eller om det skal benyttes flere enheter i parallell eller serie for å ha redundans i anlegget. Hvor mange enheter som skal benyttes og hvordan disse skal spille sammen vil være avhengig av flere faktorer.

Det er som nevnt fordeler og ulemper ved bruk av sentralisert og distribuert bypass. Sett i sammenheng med problematikken rundt statisk switch så kan dette være med på å bestemme hvilken løsning man velger. Som nevnt i kapittel 5.2 så skal utkobling av vern baseres på at kun en modul er tilgjengelig. Det samme vil også gjelde for bypass.

Det betyr altså at dersom flere UPS-er er koblet i parallell så skal man kunne koble ut nedstrøms kortslutning med kun en av UPS-ene tilgjengelig. I anlegg hvor det er oppgitt høy kortslutningsytelse i foranliggende nett så vil distribuert bypass ha den fordel at kortslutningsstrømmen blir fordelt over alle bypassene som er tilgjengelige og dermed reduseres energien hver enkelt switch blir utsatt for. Men sett i et verst tenkelig scenarium hvor kun et minimum av UPS-enheten er tilgjengelige og nedstrøms kortslutning oppstår, så vil det kun være gitte bypasser som kobles inn og dermed må tåle hele kortslutningsstrømmen.

5.4.1 Distribuert bypass

Gitt at man har valgt å gå for en $n+1$ konfigurasjon som skal yte 30kW i normal drift så vil man da installere for eksempel 2 stk. 30kW enheter i parallell, figur 5.2. Dersom man velger distribuert bypass vil hver av disse enhetene ha en statisk switch med tåleevne på 25 000A²s [21] som betyr at den tåler en I_{tsm} på 2236A, hvor I_{tsm} er den maksimale toppverdien switchen tåler. Med begge enhetene i drift vil UPS-anlegget være i stand til å tåle kortslutningsstrøm med toppverdi på 4472A, men på grunn av redundans må man ta hensyn til at den ene enheten ikke er tilgjengelig. Dersom kortslutningsytelsen i nettet er under I_{tsm} vil det ikke være noe problem, men overstiger kortslutningsstrømmen denne verdien må man gjøre tiltak slik at ikke statisk switch bryter sammen ved nedstrøms kortslutning.

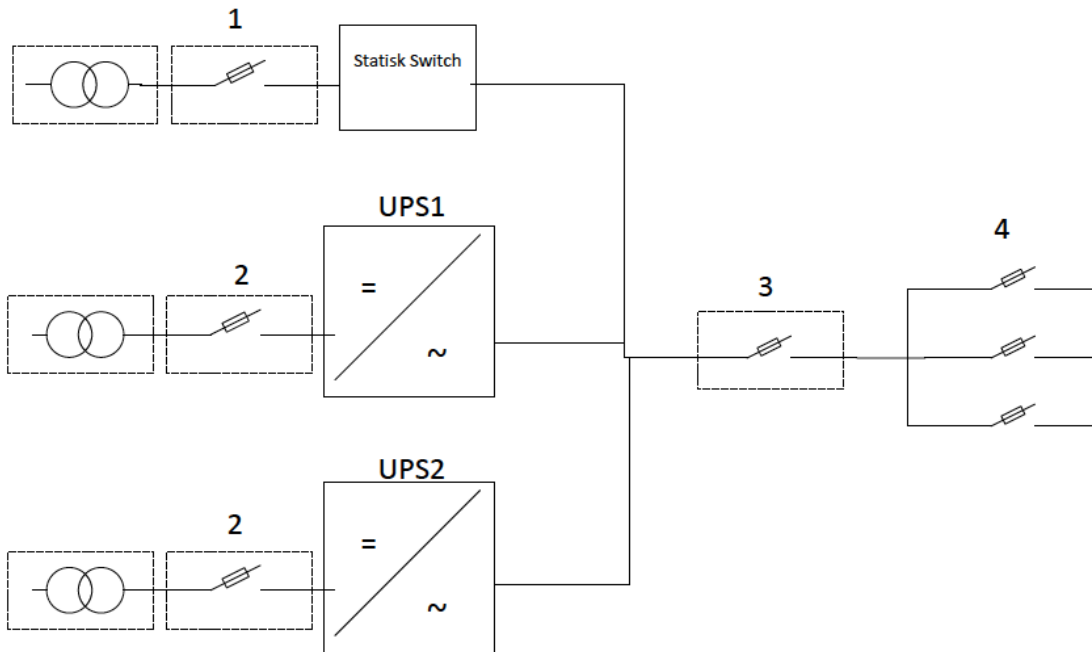


Figur 5.2 Parallellkoblede UPS-enheter med distribuert bypass.

5.4.2 Sentralisert bypass

Dersom kortslutningsytelsen i nettet ikke er betydelig større enn hva en switch tåler så kan alternativet være å benytte seg av en felles bypass for begge UPS-enhetene. Denne vil da være dimensjonert slik at den skal tåle den totale normalytelsen til begge enhetene, altså 60kW. Tyristorner i switchen vil også kunne forventes å ha dobbelt så høy tåleevne som hver enkelt ville hatt separat, totalt 50 000 A²s.

Ulempen med dette valget er at dersom det oppstår feil i den statiske switchen, i form av et den enten kortsluttes eller låses i åpen posisjon, så finnes det ingen redundant løsning for denne og anlegget vil være uten mulighet for automatisk omkobling lenger. Anlegget blir mer sårbart fordi feil i enkeltkomponenter fører til nedsatt funksjonalitet for hele anlegget.



Figur 5.3 Parallellkoblede UPS-enheter med sentralisert bypass.

5.5 Selektivitet og valg av vern

Selektivitet og beskyttelse av statisk switch er to viktige faktorer som alltid vil være en utfordring i UPS-systemer. I og med at man har flere strømkilder tilgjengelig må man se på selektivitet fra flere hold avhengig om UPS-en leverer strøm fra vekselretteren eller via bypass, og da enten fra kraftnettet eller generator dersom dette er installert.

I installasjoner hvor man har generatorer installert så er kortslutningsforløpet relativt likt som for UPS i batteridrift. I det subtransiente området så er kortslutningsstrømmen 7-10 x I_n mens den stasjonære kortslutningsstrømmen ligger på 3 x I_n .

5.5.1 Normaldrift

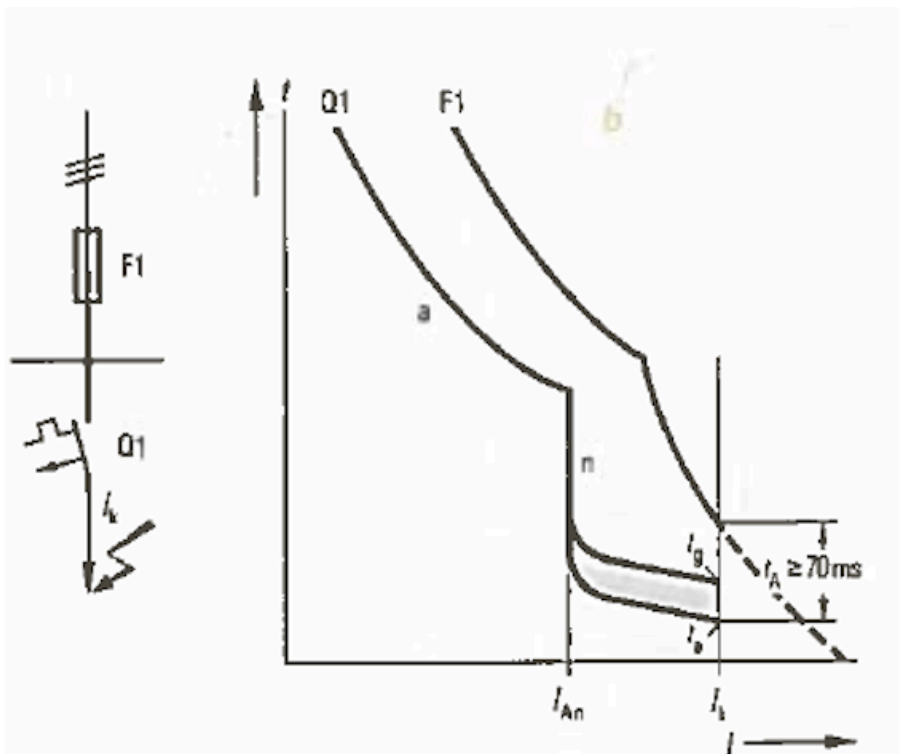
I normal tilstand vil UPS-en levere strøm til anlegget via vekselretteren. Bypass vil være tilgjengelig i denne driftstilstanden dersom en feilsituasjon skulle oppstå. Ved kortslutning nedstrøms vil bypass kobles inn i løpet av kort tid når spenningen faller under oppgitt grenseverdi som er $\pm 3-5\%$ av nominell spenning, avhengig av hvilken type UPS som er installert.

I normalmodus vil det være det foranliggende nettets kortslutningsytelse som blir dimensjonerende i det man skal se på selektivitet mellom vern i bypass. I utgangspunktet vil det være en helt vanlig selektivitetsanalyse som gjøres i dette tilfellet, men for UPS-anlegg må det tas høyde for at tyristorner i den statiske switchen har begrenset tåleevne, jf. Kap. 3.3.1. Det vil være av stor viktighet at gjennomsluppet energi fra vern foran bypass, merket 1 i figur 5.1, holdes under oppgitt I^2t verdi fra UPS-levernadøren for å unngå havari i switchen. I motsetning til en sikring som ryker og i verste fall må byttes (smeltesikringer) risikerer man at hele switchen inkludert styrekort går i stykker dersom gjennomsluppet energi overstiger oppgitt tåleevne.

Man kan sikre switchen på en enkel måte ved at det blir installert et eget ultraraskt vern oppstrøms switchen som skal hindre havari. I så tilfelle må man ta denne sikringen inn i selektivitetsanalysen for anlegget og dette kan være utfordrende på grunn av utløserkarakteristikken til slike ultrasnære vern som vil bli omtalt senere.

5.5.2 Effektbryter eller smeltesikring

Benytter man seg av sikring oppstrøms og effektbrytere eller automatsikringer nedstrøms UPS-en så vil det i en overbelastningssituasjon være tilstrekkelig at utløserkarakteristikkene ikke berører hverandre for at det skal være selektivitet mellom vernene. I en kortslutningssituasjon vil ting derimot ikke være fullt så enkelt. I det kortslutningen oppstår og vernet nedstrøms begynner å løse ut vil det som nevnt i kapittel 3.2.1 oppstå en lysbue i effektbryteren. Jo lengre lysbuen står før vernet løser ut, jo lengre tid vil smeltråden i sikringen bli varmet opp. Det vil være hensiktsmessig at smeltekurven til sikringen ligger minst 70ms over utløserverdien til effektbryteren i momentanområdet som vist i figur 5.4[11].



Figur 5.4 Selektivitet mellom sikring og nedstrøms effektbryter i momentanområdet[11]

Figur 5.4 viser selektivitet mellom en sikring, F1, og nedstrøms effektbryter, Q1, hvor:

- t_a er forsinkelse ved åpning av effektbryteren
- t_g er total utløsertid for effektbryteren
- t_a er sikkerhetsmargin mellom effektbryterens åpningsverdi og sikringens smelteverdi
- a er effektbryterens utløserkarakteristikk med hensyn på overbelastning
- n er effektbryterens utløserkarakteristikk med hensyn på kortslutning
- I_k er aktuell kortslutningsstrøm
- I_{An} er effektbryterens utløserverdi i momentanområdet.

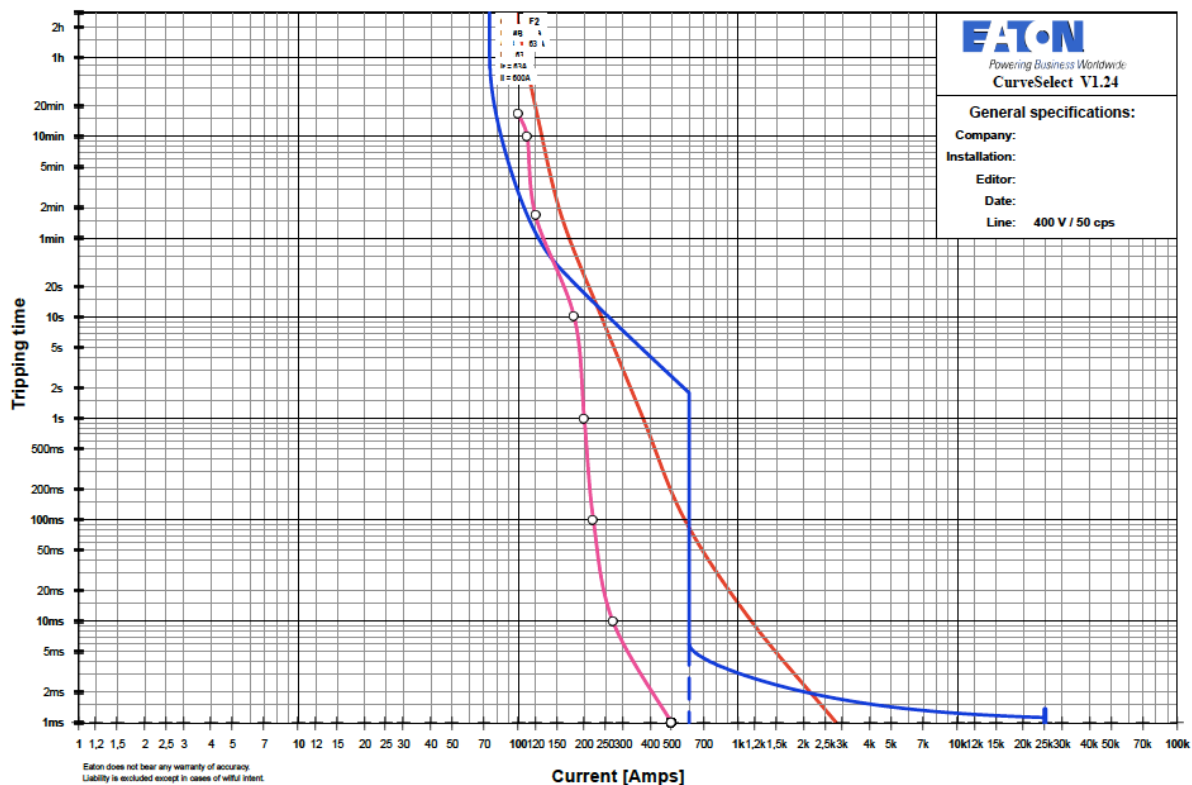
Et alternativ til vanlige smeltesikringer er å benytte ultrasnære sikringer for å begrense strømmen og dermed redusere gjennomsluppet energi. Virkemåten for disse er i prinsippet lik som for en vanlig smeltesikring, men forskjellen er at smeltetiden er mye raskere enn hva tilfellet er for en normal sikring av denne størrelsen. Slik sett kan man altså si at det er mer egnet å bruke høyhastighetssikringer til beskyttelse av switchen fordi strømbegrensningen er høyere med slike vern sammenlignet med å bruke effektbrytere. Men det man må være klar over er at selektivitet med nedstrøms vern kan bli utfordrende nettopp på grunn av den lave bryt-verdien.

I databasen til FEBDOK ligger ikke ultrasnære sikringer, og det er dermed ikke mulig å benytte FEBDOK til selektivitetsanalyse av anlegg med slike sikringer. For å gi en grafisk framstilling av de ulike verns strøm-tid kurver, I-t kurver, så er det benyttet EATONS CurveSelect V1.24 som ligger gratis på EATONS hjemmesider[22]. I dette programmet ligger alle EATONS vern inne, samtidig som man kan legge til andre vern dersom man har data tilgjengelig for disse.

Figur 5.5 viser en sammenligning av utløserkarakteristikkene til tre forskjellige typer vern med lik merkestrøm, 63A, gjort med CurveSelect.

- Den blå linjen viser effektbryter av typen NZMB1.
- Rød linje viser en normaltype smeltesikring.
- Rosa linje viser høyhastighet smeltesikring.

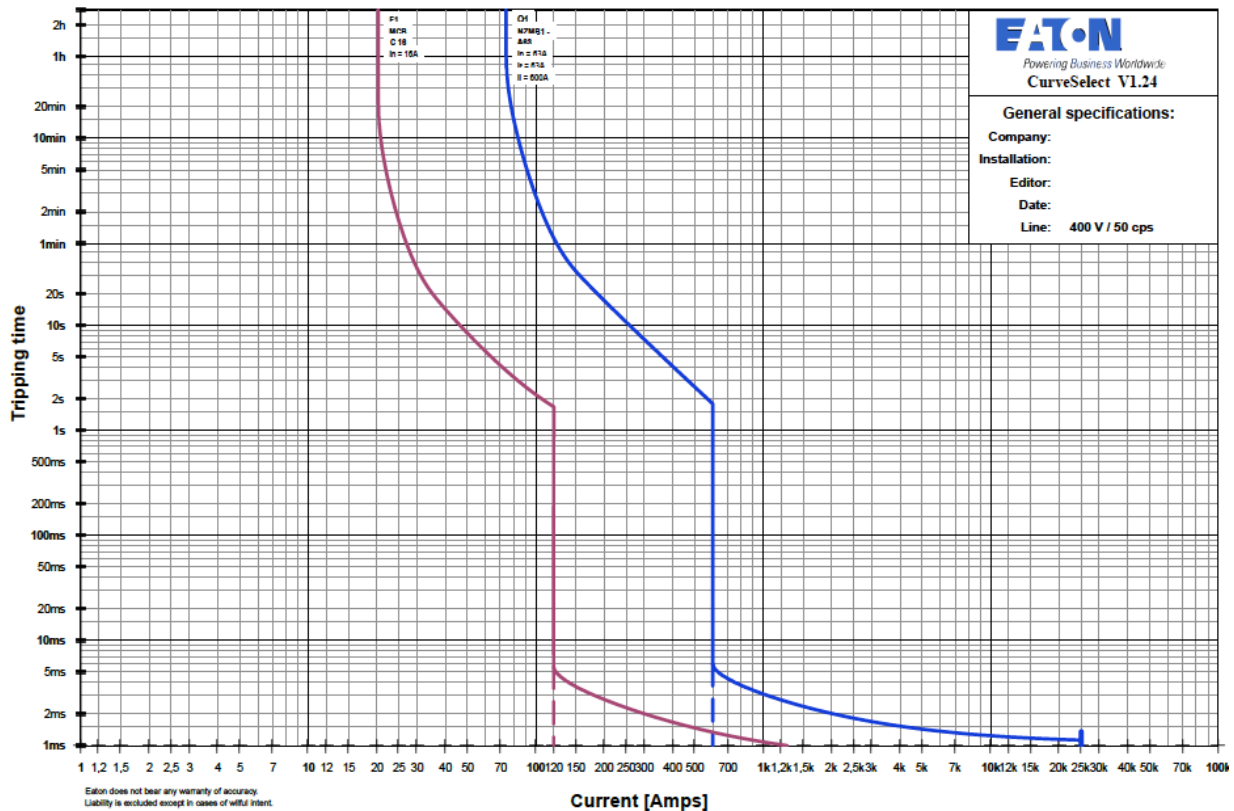
Effektbryteren og den normale smeltesikringens utløserkarakteristikker samsvarer godt med hva man kan forvente og se mens høyhastighet sikringen har en mye brattere kurve sammenlignet med normaltype smeltesikring.



Figur 5.5 Sammenligning av utløserkarakteristikk for 63A Hs-sikring, 63A normal smeltesikring og 63A NZMB Effektbryter.

Med bakgrunn i dette vil det derfor være utfordrende å oppnå selektivitet mellom internsikringen UPS-ens bypass og nedstrøms effektbryter fordi en slik sikkerhetsmargin på 70 ms ikke vil være mulig å oppnå. Tåleevnen til tyristorne i switchen er som nevnt begrenset av gjennomsluppet energi, og denne er oppgitt ved 10ms. Med andre ord må en kortslutning nedstrøms kobles ut raskere enn hva ønsket sikkerhetsmargin mellom sikring og nedstrøms effektbryter tilsier. I slike tilfeller må man dermed se på gjennomsluppet energi, I^2t , for vernene for å kunne avgjøre om vernene er selektive mot hverandre.

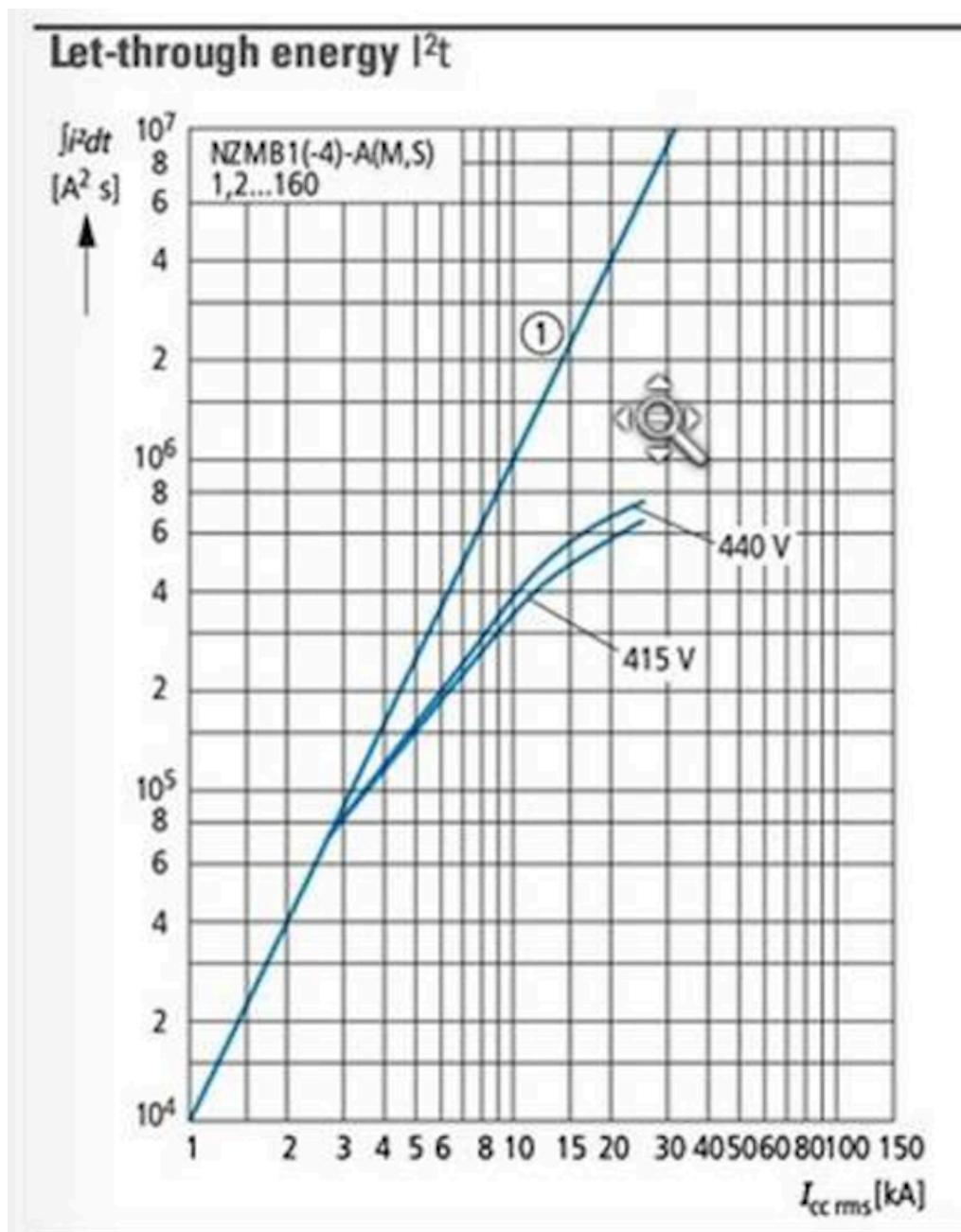
Som man kan se av figur 5.6 så er selektiviteten mellom oppstrøms NZMB1 effektbryter på 63A og nedstrøms automatsikring, D16A, tilsynelatende i orden. Her må man som sagt se på gjennomsluppet energi fra effektbryteren mot tåleevne til statisk switch i UPS for å se om switchen er tilstrekkelig beskyttet.



Figur 5.6 63A Effektbryter med nedstrøms D16 automatsikring.

Figur 5.7 viser gjennomsluppet energi for effektbryter av typen NZMB1. UPS-en i eksempelet med 30kW UPS har statisk switch en tåleevne på 25 000A²s. Lest ut av grafen så betyr det at effektbryter av denne typen vil oppnå denne verdi ved 1,5kA.

Med andre ord vil det være selektivitet mellom nedstrøms kurssikring og oppstrøms effektbryter, samtidig som man har ivaretatt beskyttelse av statisk switch så lenge kortslutningsstrømmen er under 1,5kA. Hvordan skal det sikres dersom kortslutningsstrømmen overstiger denne verdien?



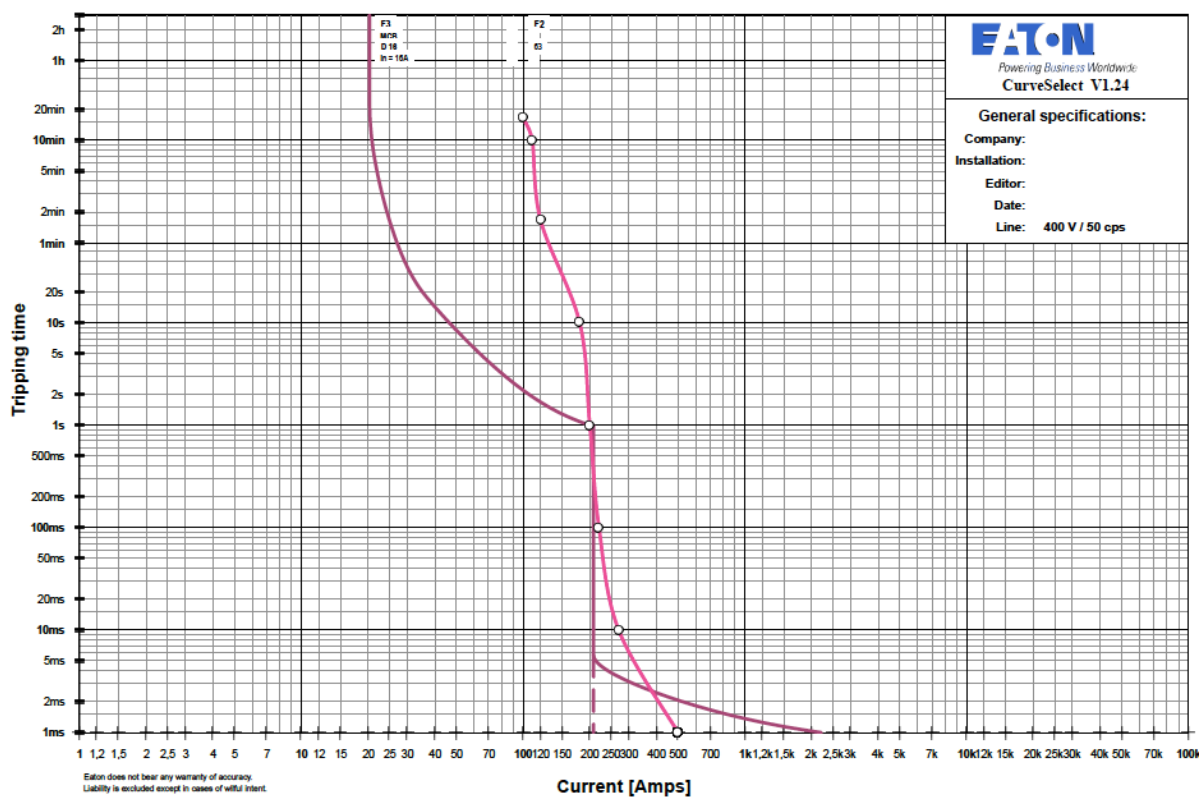
Figur 5.7 Gjennomsluppet energi for effektbryter NZMB1[21]

Dersom man bytter ut effektbryteren med en HS-sikring så ser man av figur 5.8 at man ikke har god selektivitet i det elektromagnetiske området for denne kombinasjonen men den vil beskytte statisk switch da bryt-verdien til HS-sikring på 63A er 3080 A^2s . Og en smelt-verdi helt nede i 280 A^2s . Gjentatt kortslutning kan altså ikke føre til høyere energi enn dette uten at sikringene må byttes. For å finne selektivitetsområdet for denne vernkombinasjonen må man se på gjennomsluppet energi for automatsikringen i elektromagnetisk området. Denne verdien er oppgitt i leverandørens datablad, se figur 3.2. For en D16 automatsikring oppnås en gjennomsluppet energi på 3080 A^2s ved kortslutningsstrøm på 1100A. Altså vil man ha selektivitet for denne vernkombinasjonen opptil 1100A for en kortslutning som oppstår etter første fordeling nedstrøms UPS-en. Da må også HS-sikringene byttes fordi de har begynt å smelte.

Tabell 5.1 Egenskaper for Busmann FWP høyhastighets sikring[23]

Merkestrøm RMS (A)	I ² t (A ² s)		Effekt tap (W)
	Pre-arc	Bryt verdi ved 660V	
50	155	1600	9,5
63	280	3080	11
80	600	6600	13,5
100	1100	12500	16

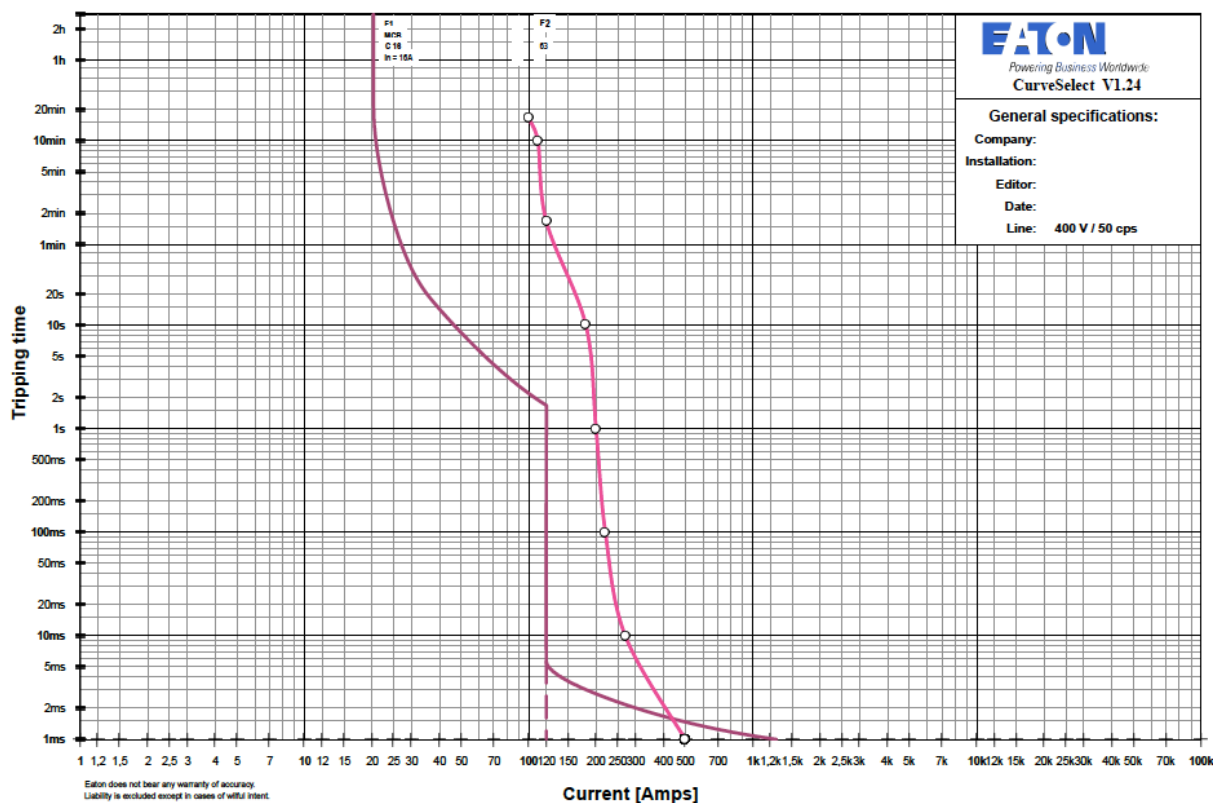
Så hvordan skal man løse denne utfordringen. Skal man velge å sikre statisk switch eller skal det oppnås full selektivitet mellom alle vern? Er det mulig å få til begge deler?



Figur 5.8 63A HS-sikring med nedstrøms D16 automatsikring.

Et alternativ er å bytte utløserkarakteristikk på vernet nedstrøms fra D til C. Dette fører til at området hvor det garantert skal gi utløsning flytter seg fra 10-20 x In for D-karakteristikk til 5-10 x In for en C-karakteristikk.

Som man kan se av figur 5.9 så oppnår man i dette tilfellet tilsynelatende selektivitet mellom disse to vernene men igjen gjelder dette kun for kortslutningsstrømmer opp til 1100A når man ser på gjennomsluppet energi for automatsikringene.



Figur 5.9 63A HS-sikring med nedstrøms C16 automatsikring

For anlegg hvor det ikke stilles krav til full selektivitet eller hvor det er problemer med å oppnå full selektivitet er det mulig å kunne dokumentere delvis selektivitet, altså innenfor enkelte områder i I-t kurvene. Ser man på hvilke feil som er størst sannsynlighet for at oppstår, viser det seg at ved en kortslutning er det trolig en lysbue som er årsaken[10].

Som beskrevet i tabell 3.4, så viser det seg at kortslutningsstrømmen i en lysbue er kraftig redusert sammenlignet med maksimal kortslutningsstrøm som kan oppstå. I henhold til disse resultatene er det rimelig å anta at i en lysbue-kortslutning i et UPS-anlegg så vil strømmen være ned mot 50-60% av maksimal ytelse når spenningen ligger på 400V. Om dette vil være tilstrekkelig for å oppnå selektivitet må vurderes i hvert enkelt prosjekt, men i problemsituasjoner vil det være god argumentasjon for å akseptere forholdene i anlegget.

For eksempelet gitt i dette kapittelet så betyr det at delvis selektivitet vil kunne dokumenteres med denne vernkombinasjonen, oppstrøms HS 63A og nedstrøms C16, for kortslutning i form av lysbue dersom fullstendig kortslutning er begrenset til 2200A.

5.5.3 Strømbegrensende vern

Det er ikke umulig å beskytte tyristorne ved å benytte effektbrytere så fremt kortslutningsytelsen i nettet ikke er for stor. Dette fordi strømbegrensninger er avhengig av kortslutningsstrøm. Det er også avgjørende hvilken tåleevne den statiske switchen har. Hvorvidt dette er mulig vil man kunne lese ut av det enkelte verns datablad og sammenligne gjennomsluppet energi fra vernet med tåleevnen til statisk switch i anlegget. Ved å benytte strømbegrensende effektbrytere vil man også kunne gi back-up beskyttelse til nedstrøms vern.

Strømbegrensningskurven vist i figur 3.2 viser at effektbryteren med 63A merkestrøm kan begrense gjennomsluppet energi til under 25 000A²s for kortslutningsstrømmer opp til 4kA. Dette er nesten 3 ganger mer enn hva tilfellet er for tilsvarende effektbryter uten strømbegrensning. Delvis selektivitet for lysbuekortslutninger vil føre til at maksimal kortslutningsstrøm i nettet, $I_{k3p maks}$, kan være opptil 8kA

Dersom strømbegrensende effektbryter er tilstrekkelig for å beskytte statisk switch så må det sjekkes selektivitet mot nedstrøms vern. Dette vil trolig ikke være noe problem da utløserkarakteristikken til vernet er lik som for en vanlig effektbryter. Som vist i figur 5.6 så oppnås selektivitet i dette tilfellet. Selektivitetstabell for de aktuelle vernene som blir stående i serie bør likevel sjekkes for å finne maksimal kortslutningsstrøm som gir selektivitet.

Er kortslutningsytelsen i det foranliggende nettet for stor vil ikke strømbegrensende vern være tilstrekkelig for å beskytte statisk switch. En annen utfordring er jo at et vern med strømbegrensning vil kunne løse ut når kontaktene starter å åpne og lysbuen oppstår, noe som ikke er ønskelig at skal skje.

I så tilfelle er man nødt til å benytte HS-sikringer eller benytte seg av andre strømbegrensende tiltak for å redusere kortslutningsstrømmen inn i anlegget.

En mulighet man har da er å benytte en transformator på inngangen til bypass i UPS-en, merket med A i figur 5.1. Forenklet kan man si at transformatoren er en stor impedans, som består av et resistans-ledd og et induktans-ledd. Transformatoren kan designes på bakgrunn av ønskede spesifikasjoner slik at man på den måten kan redusere kortslutningsstrømmen som UPS-en "ser".

Spoler motsetter seg som kjent sprang i strøm på grunn av dens egenskaper, og spenningen er gitt ved:

$$v = L \frac{di}{dt} \quad (5.1)$$

Et sprang i strøm vil med andre ord kreve en uendelig høy spenning og dette er ikke mulig å oppnå. Det vil ikke bli sett nærmere på trafodesign i denne oppgaven men løsning er velkjent og utprøvd.

Så framman man operer i et 400V TN-system så vil et alternativ til transformatoren være å benytte rene spoler til begrensnings av strøm. Virkemåten til disse to løsningene er i prinsippet lik og vil heller ikke bli sett nærmere på.

5.5.4 Andre hensyn ved valg av vern

§21 Beskyttelse mot elektrisk støt ved feil[2]

"Mennesker og husdyr skal være beskyttet mot fare som kan oppstå ved berøring av utsatte deler som er blitt spenningsatte som følge av feil."

NEK 400 551.2.01 sier:

"For statiske omformere hvor fordelingsnett er tilknyttet omformerens sekundærside ikke er galvanisk adskilt fra primærsiden og utført med nøytralleder skal være forankret i installasjonens innkommende PEN-leder".

Veiledningen til punktet forteller at man risikerer at spenningssystemet vil flyte i forhold til jord dersom dette ikke gjøres.

Årsaken til dette er at vekselretteren i UPS-en benytter nøytrallederen som referanse når den vekselretter strømmen på sekundærsiden av UPS-en. Dersom det ubevist monteres vern med brudd i nøytrallederen så vil ikke denne referansen være tilstede dersom det oppstår en feil som fører til at vernet legger ut, eller at noen bryter strømmen manuelt for eksempel ved batteritest. Dette kan igjen føre til høye berøringspenninger ved en eventuell jordfeil i UPS-anlegget.

Vernene merket 1 og 2 i figur 5.1 må derfor ikke ha brudd i N-leder.

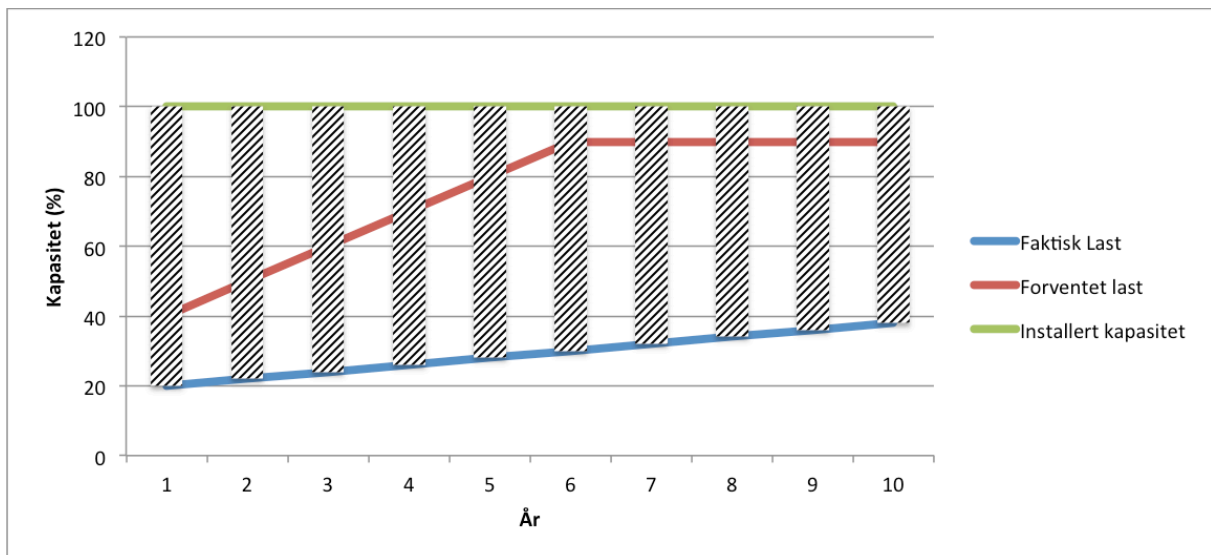
5.6 Økonomi

For å oppnå en optimal løsning for anlegget er det ikke til å unngå at kostnader knyttet til valg av anlegg kommer inn i bildet.

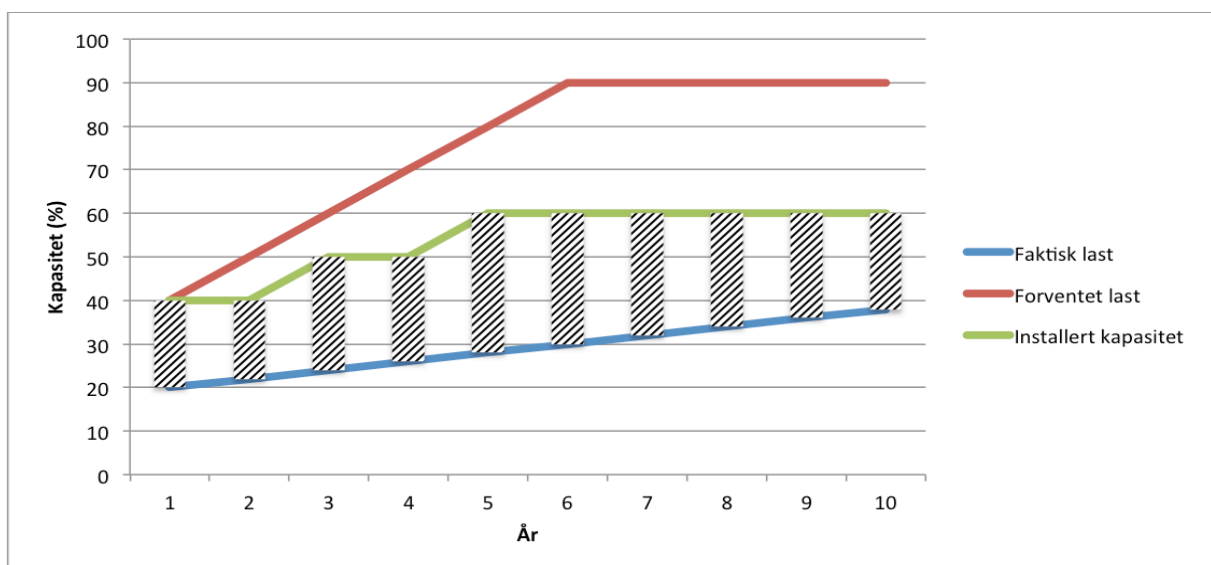
Når man har kommet fram til en dimensjonerende ytelse for UPS-anlegget så har man også tatt høyde for at det skal være rom for utvidelse av anlegget. Figur 5.10 og figur 5.11 viser hvordan denne økningen kan tas høyde for på to forskjellige måter forutsatt tilgang på utstyr over hele investeringsperioden.

Enten så kan den totale kapasiteten installeres med en gang slik som det er vist i figur 5.10 eller så kan det gjøres stegvis slik som 5.11 viser det.

De skraverte linjene viser til den tilgjengelige kapasiteten i anlegget som ikke blir benyttet. Det er tydelig å se at dersom det ikke er en markant økning i den forventede lasten så vil det være gunstig å øke den tilgjengelige kapasiteten over tid. Dette vil føre til at man kan fordele investeringskostnaden utover en lengre periode samtidig som man ikke investerer i kapasitet som ikke blir benyttet.



Figur 5.10 UPS-anlegg med full kapasitet installert[5]



Figur 5.11 UPS-anlegg med stegvis installert kapasitet[5]

5.7 Batteri

Selve batterianlegget skal ikke diskuteres i oppgaven da batteriteknologi i seg selv er en egen masteroppgave. Beregning av batteribanken er likefult en viktig del av UPS-prosjekteringen og et punkt som bør komme inn i tidligfase av totalprosjekteringen. Ikke fordi anlegget i seg selv er veldig komplekst prosjekteringsmessig, men fordi det er viktig at batterirommet blir tilstrekkelig stort for å kunne gi plass nok til alle batteriene. Det ville vært synd å komme med arealbehov for batterianlegget sent i prosjekteringen og risikere at det ikke er plass.

Beregning av batterier blir gjort på bakgrunn av total last i anlegget inkludert mulighet for utvidelse.

For så å finne batteribehovet må man ta høyde for tap i vekselretteren i henhold til UPS-ens virkningsgrad oppgitt fra leverandøren. Dette fører til at effekten batteribanken må kunne levere er:

$$P_{batteribank} = \frac{P_{totallast}}{\eta} \quad (5.2)$$

I tillegg til å vite effekten på batteribanken må det også være klart hvor lang batteri-backup anlegget skal ha. Dette vil ha betydning for antall battericeller som behøves som igjen vil være avgjørende for hvor stort volum det er behov for til plassering av batteribanken.

Levetiden til batteribanken er definert som den tiden det tar før kapasiteten i batteriene har sunket til 80%. Dette må man ta høyde for i prosjekteringen slik at man har dimensjonert kapasitet tilgjengelig når batterikapasiteten har sunket til 80%.

Det vil også være fornuftig å sette ekstra batterier til ladning samtidig som batterianlegget settes i drift for å la aldringsprosessen på reservebatteriene følge resten av banken. Dette bør gjøres fordi indremotstanden i batterier øker med tiden. Setter man inn et nytt batteri i et eldet anlegg så vil det nye batteriet ha lavere indremotstand en resten og følgelig få en høyere ladespenning som igjen fører til kortere levetid på det nye batteriet.

Batteribankens vekt vil også være en viktig faktor ved plassering og dimensjonering av bærende konstruksjoner.

6 Diskusjon

6.1 Nominell ytelse vs. kortslutningsytelse

På bakgrunn av oppgitte data fra leverandørene jeg har vært i kontakt med i forbindelse med denne oppgaven, er det ikke mulig å fastsette et endelig forhold mellom nominell ytelse og kortslutningsstrøm i batteridrift. Dette fordi kortslutningsstrømmen er gitt på bakgrunn av batteriene i UPS-en og egenskaper i vekselretteren. Leverandører som Siemens operer med $5 \times I_n$ som kortslutningsytelse fra sine UPS-er mens EATON benytter eksempelvis samme IGBT-er i vekselretteren på UPS for 20 og 30kW, kun med programmert forskjell i firmwaren. De vil derfor være i stand til å levere lik kortslutningsstrøm på grunn av at komponentene er like. For statiske UPS-er viser seg det likevel at de fleste har en kortslutningsytelse som ligger mellom $1,5-5 \times I_n$.

6.2 Selektivitet

Selektivitet i elektriske anlegg er definert i NEK 400-536 og sier følgende:

"Hvor det er nødvendig med koordinering av vern for å hindre fare eller for å oppnå en korrekt funksjon av installasjonen, skal selektivitet og/eller nødvendig backup beskyttelse vurderes".

For anlegge hvor man ønsker avbruddsfri strømforsyning er det helt naturlig å betrakte selektivitet som et viktig kriterium for korrekt funksjon av installasjonen. I nødstrømsystemer så vil det også være av hensyn til liv og helse at selektivitet oppnås. Spørsmålet vil likevel være om man skal kreve full selektivitet i alle tenkelige situasjoner. Topologien i anlegget vil spille inn på hvor utfordrende selektivitet vil være å oppnå.

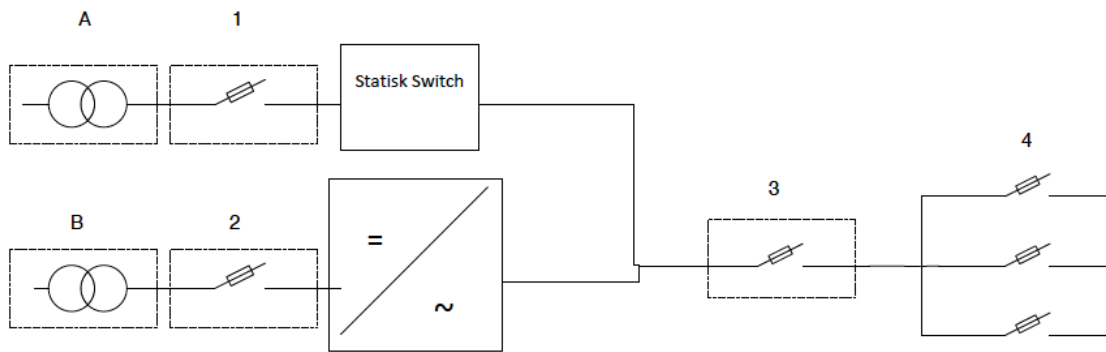
Jo flere sikringer som installeres etter hverandre på samme radial, jo mer kompleks blir selektivitetsanalysen. Når man i tillegg har et anlegg som kobler mellom ulike forsyningssystemer slik som et UPS-anlegg gjør når det kobler fra vekselretter til bypass så øker dette kompleksiteten.

Det vil være ønskelig å bruke så få vern som mulig men samtidig ha god sikkerhet i anlegget. Hvilke vern kan eventuelt utelates?

I henhold til NEK 400 skal det benyttes overbelastningsvern foran enhver endring i kabeltverrsnitt, eller det kan plasseres lengre ut i lederen dersom det ikke er avgreninger eller stikkontakter fra punktet hvor tverrsnittendringer skjer.

Men det er likefult et krav at lederen skal være beskyttet mot kortslutning i henhold til NEK 400-434.

Fra Raymond Borgersen i COWI blir det fortalt at det er normal praksis fra deres side å benytte kortslutningsvern på utgangen i UPS-anlegg som kortslutningsbeskyttelse, altså vernet merket 3 i figur 6.1. Dette fører til at det må oppnås selektivitet mellom minst tre vern i tillegg til statisk switch dersom UPS-anlegget leverer strøm via bypass og består av én underfordeling.



Figur 6.1 Enkel UPS-enhet med prinsipiell vernplassering.

I forhold til kortslutningsbeskyttelse av anlegget så er det mulig å argumentere for å ikke benytte dette vernet, 3, og dermed forenkle arbeidet med selektivitet.

Dersom UPS-en har foranliggende nett tilgjengelig vil den i normalmodus koble over i bypass dersom kortslutning oppstår nedstrøm. For beskyttelse av bypass og statisk switch vil det være installert overbelastningsvern og kortslutningsvern oppstrøms bypass, merket 1, for å ta hånd om dette. Dette vernet vil også kunne beskytte utgangskabelen fra UPS-en slik at eget vern, merket 3, til dette ikke er nødvendig.

Ved kortslutning i batteridrift vil strømmen begrenses både i størrelse og tid. Maksimal strøm vil være 1,5-5 x I_n og tiden vil være begrenset opp mot 300 millisekunder. Man kan dermed dimensjonere ledertverrsnittet på bakgrunn av ligning 6.1.

$$A = \sqrt{\frac{I^2 t}{k^2}} \quad (6.1)$$

Hvor strømtettheten, k , er gitt ut i fra ledermaterialet.

I stedet for eget vern til kortslutningsbeskyttelse av utgangskabelen vil en bedre løsning vil være å benytte seg av kortslutningssikker forlegning fra utgangen på UPS-en og fram til første fordeling.

Kortslutningssikker forlegning vil tilfredsstillere kravene i NEK 400-434.3 hvor risikoen for kortslutning er redusert til et minimum og fordi utkobling av vernet vil forårsake fare for driften av anlegget.

Det må også begrunnes hvorfor det aktuelle overbelastningsvernet kan utelates og i batteridrift kan dette gjøres på bakgrunn av to paragrafer i NEK.

- 433.3.1 Generelt
 - "Overbelastningsvern er ikke nødvendig for ledere som sannsynligvis ikke vil bli utsatt for overbelastning, forutsatt at de er beskyttet mot kortslutning i samsvar med avsnitt 434 og at de ikke har avgreninger eller stikkontakter".

- 433.3.3 Utelatelse av overbelastningsvern av sikkerhetsgrunner
 - *"Utelatelse av overbelastningsvern er tillatt i kurser som forsyner forbruksapparater hvor uventet utkobling av kursen kan medføre fare eller ødeleggelse slik som kretser som forsyner nødstrømsystemer".*

UPS-anlegg forsyner ofte nødstrømsystemer og det kan være et godt nok argument i seg selv. Overbelastningsstrømmen i UPS-er er begrenset både i tid og størrelse, og blir ikke høyere enn 150% av nominell strøm. I så måte vil det være lurt å dimensjonere utgangskabelen fra UPS-en etter denne verdien, altså 150% av nominell strøm. På denne måten hindrer man at det i det hele tatt er mulig å overbelaste kabelen i en kortslutningssituasjon.

Ved å benytte kortslutningssikker forlegning av utgangskabel fra UPS-en vil man dermed kunne redusere antallet vern i bypassradialen og dermed forenkle arbeidet med selektivitet.

6.2.1 Full selektivitet eller delvis selektivitet

Dette spørsmålet vil det være naturlig å spørre i situasjoner hvor det kan være problemer med å oppnå full selektivitet. Skal man kunne godta at det ikke er full selektivitet for alle kortslutningsstrømmer som kan oppstå, og hvordan kan dette dokumenteres på en akseptabel måte?

Som tabell 3.4 fra IEEE viser så vil en lysbuekortslutning være betydelig mindre enn en kortslutning med full kontakt. Samtidig er det grunnlag for å si at de kortslutningene som oppstår hyppigst i elektriske anlegg er lysbuekortslutninger[10].

I eksempelanlegget som ble presentert i kapittel 5 så ble det angitt hvordan blant annet kortslutning i form av lysbue kunne være med på å øke grensen for hvor høy $I_{k3p\ maks}$ kunne være i et anlegg og fremdeles ha selektivitet mellom vern ved en slik form for kortslutning.

Det er likevel viktig å spørre seg selv om hvorfor man går til anskaffelse av avbruddsfri strømforsyning? Skal man la sikkerheten til brukerne og funksjonaliteten til anlegget gå på bekostning av økonomi? I mange avgjørelser er det økonomien som bestemmer hvilken løsning man går for men man må være klar over hvilke konsekvenser dette fører med seg. Selektivitet er avgjørende for å sikre god funksjonalitet i elektriske anlegg og dermed vil det være å anbefale at full selektivitet etterstrebes så fremt dette lar seg gjennomføre. Prisen man kan ende opp med å måtte betale dersom funksjonaliteten ikke viser seg å være tilstrekkelig vil ofte overstige en noe økt investeringskostnad.

6.3 Effektbrytere eller smeltesikringer

Hvilke typer sikringer som er mest hensiktsmessige å bruke i UPS-anlegg vil variere mellom ulike installasjoner og hvilke forutsetninger som gjøres med tanke på virkemåte av anlegget. Utfordringen med vernkoordinering i UPS-anlegg er som nevnt tidligere tyristorne i statisk switch da disse har mye lavere tåleevne i forhold til andre komponenter i anlegget.

I all hovedsak så er det selektivitet mellom fordelingskurser i nedstrøms anlegg og sikringer i bypass som er av betydning for funksjonaliteten av anlegget. Rent praktisk så spiller det ingen rolle om sikringen som skal beskytte bypass og statisk switch ryker, eller om det er statisk switch selv som ryker. Situasjonen som oppstår er like fullt den samme, altså at UPS-anlegget blir strømløst og stenger ned. Forskjellen ligger i hva det koster å få anlegget opp å gå igjen. Er det bare å legge inn en effektbryter eller eventuelt å skifte sikringer, eller må man bytte hele switchen fordi man har belaget seg på at det er denne som skal ryke?

Ved kortslutning etter første underfordeling er det viktigste at selektivitet mot oppstrøms vern er tilstede slik at kun anleggsdelen nærmest feilstedet kobles ut. Oppstår kortslutning mellom utgangen på UPS-en og første underfordeling vil det med stor sannsynlighet være en alvorlig hendelse som har forårsaket kortslutningen og da er det ikke nødvendigvis slik at det er prisen for bytte av statisk switch som er den store bekymringen.

Siemens skriver i deres produktblad at selektivitet oppnås mellom internsikringer i bypass og fordelingskurser dersom disse er 30% av merkestrømmen til UPS-en[24]. Lignende tall er ikke oppgitt fra andre leverandører og en slik generalisering kan dermed ikke gjøres for alle UPS-installasjoner.

Eksempelanlegget viser at man oppnår selektivitet mellom nedstrøms vern, C16 automatsikring, og sikring i bypass, 63A HS-sikring, kun opp til 1100A og da med et forhold på 25% mellom oppstrøms og nedstrøms vern. Ved denne strømmen må også sikringene byttes da smelt-verdien er oversteget. Skal området for selektivitet økes må dermed størrelsen på oppstrøms HS-sikring økes. Siemens sier ingenting om den anbefalte vernkombinasjonen gir total selektivitet eller delvis selektivitet.

Ser man videre på figur 5.7 så viser denne gjennomsluppet energi for en effektbryter av typen NZMB1 med merkestrøm opp til 160A. Kurven viser at dersom denne skal benyttes til beskyttelse av statisk switch med tåleevne på 25 000 A²s så må kortslutningsstrømmen i bryterpunktet ikke være over 1,5kA, en verdi som ikke er unormal å overstige i elektriske anlegg. Sammenligner man egenskapene til en høyhastighetssikring som er vist i tabell 5.1 så ser man at en sikring med merkestrøm på 63A bryter kortslutningsstrøm og begrenser gjennomsluppet energi til 3080 A²s, uavhengig av kortslutningsytelsen i punktet. Hurtig-sikringene har med andre ord mye bedre strømbegrensningsegenskaper enn effektbrytere men gir til gjengjeld større problemer med selektivitet.

Vedlegg A viser en typisk tyristor som sitter i en 300kVA UPS. Ser man på denne tyristorens I_{tsm} , så viser den at maksimal strømstøt som kan ledes gjennom denne er 19kA. Foranliggende vern til denne switchen må da begrense strømmen nedad til 19kA for at ikke tyristoren skal bli skadet av kortslutningen. Tåleevnen til en 30kW UPS ligger på 25 000 A²s, altså betydelig lavere enn hva tilfellet er for en 300 kVA UPS som har en tåleevne på 1805 kA²s. Ti ganger øking i ytelse på UPS-en svarer til nesten hundre ganger så høy tåleevne i statisk switch.

UPS-er med lav ytelse vil altså mer utfordrende med tanke på vernkoordinering enn hva tilfellet er for større UPS-er på grunn av tåleevnen til statisk switch, med mindre det er veldig lav kortslutningsstrøm. Smeltesikringer har mye bedre strømbegrensningsegenskaper enn effektbrytere og dersom svært høye kortslutningsstrømmer skal begrenses til lave verdier vil hurtigsikringer være å foretrekke.

I eksempelanlegget beskrevet i denne oppgaven vil det beste alternativet være å benytte strømbegrensende effektbryter som overstrømsvern oppstrøms bypass dersom kortslutningsstrømmen i bryterpunktet holdes under 4kA. Dette fordi den vil begrense gjennomsluppet energi til et nivå som statisk switch tåler og fordi det gir best selektivitet mot nedstrøms vern. Med kortslutningsstrøm over 4kA ville HS-sikringer vært eneste alternativ på grunn av de overlegne strømbegrensningmulighetene.

Det er viktig å huske på at dersom en kortslutning oppstår og kun en av sikringene smelter så skal alle sikringene byttes. Det er nærliggende å tro at selv om ikke alle sikringene har røket så vil energien gjennom dem vært så stor at smelt-verdien er oppnådd. Sikringenes egenskaper vil derfor være redusert og ved en ny kortslutning vil ikke sikringene begrense strømmen sammenlignet med en ny sikring og man kan risikere skade på statisk switch.

Denne problematikken er noe av utfordringen i det at man ikke kan sette sammen en UPS etter egne spesifikasjoner. Det er ikke mulig å be om en UPS som skal yte 30kW og på samme tid ha en statisk switch med tåleevne tilsvarende en UPS på 300kVA[7]. Så hvilke muligheter har man da? Det er vanskelig å komme med et konkret svar på dette men her må man ta hensyn til all tilgjengelig informasjon og sette det i samsvar med gjeldende normer og bruksområdet for anlegget.

For UPS-er med lav ytelse vil det være problematisk å benytte effektbrytere framfor statisk switch fordi strømbegrensningsegenskapene ikke er gode nok til å redusere gjennomsluppet energi. Man må altså se hele prosjekteringen under ett for så å basere valg av vern ut i fra all informasjon og beregninger. Det er heller ikke mulig å fastslå et krysningpunkt hvor man må bytte fra effektbrytere til smeltesikringer, da man har for mange variabler å ta hensyn til slik som:

- Kortslutningsytelse i nettet
- Tåleevne til statisk switch
- Ytelse på UPS
- Selektivitet

For nødstrømanlegg vil det være nødvendig å opprettholde selektiviteten i alle driftssituasjoner med tanke på liv og helse. For små UPS-er kan dette være en utfordring hvor selektivitet mellom fordelingskurser og oppstrøms HS-sikring kan være problematisk på grunn av lav bryt-energi i HS-sikringen. Løsningen på dette kan være å benytte mindre fordelingskurser eller automatsikringer med en annen utløserkarakteristikk, eventuelt å øke størrelsen på HS-sikringen. Vær da oppmerksom på at sikringene må holde oppstartstrømmer som kan oppstå i anlegget fra eksempelvis motorer og lysanlegg.

Dersom det ikke er tilstrekkelig å endre størrelsen på vern, må man velge en UPS med høyere ytelse for å få en statisk switch som tåler mer slik at man kan velge andre sikringer som gjør selektivitet mulig å oppnå. Dette vil være helt avgjørende for funksjonaliteten i nødstrømanlegg.

Velger man å benytte hurtigsikringer oppstrøms statisk switch, vil det være å anbefale at sikringen man velger har bryt-energi så tett som mulig opp mot tåleevnen til statisk switch. På den måten gis best mulighet til selektivitet mot nedstrøms vern.

Et annet viktig aspekt når det kommer til valg av sikringer er også hvilke andre kvaliteter man ønsker at vernet skal ha annet en sin primær oppgave som er å bryte feilstrømmer. I byggherrens kravspesifikasjon til elektriske anlegg er det ofte beskrevet at avgangsbrytere skal være innstillbare, skal inneholde flere meldekontakter, skal ha potensialfrie kontakter med mer. Disse kravene vil det være vanskelige å imøtekomme for smeltesikringer da det ikke finnes sokler med alle disse funksjonene integrert. Det er kun effektbrytere som imøtekommer alle slike krav, men til smeltesikringer er det mulig å få tak i sokler med potensialfrie kontakter[21]. Man må altså veie opp om driftssikkerheten i anlegget skal gå på bekostning av overvåkningsfunksjoner noe som ville vært svært uheldig.

6.4 Spenningskvalitet

Et av elementene i UPS-anlegg som virker lite belyst er sammenhengen mellom øvre og nedre grenser for hva belastning tåler av spenning og hvordan vekselretteren håndterer lastendringer som oppstår i anlegget. Store lastpåslag enten de er lineære eller ikke-lineære vil forårsake en spenningsendring på utgangen og UPS-en må svinge seg tilbake til nominell spenning. Denne svingningen i spenning skal dokumenteres i henhold til NEK IEC 62040-3 etter gjeldende klassifiseringskriterier som beskrevet i kapittel 2.4. Den dynamiske responsen i UPS-en er viktig å være klar over da man kan risikere at kritisk last stenger ned dersom de oppgitte grenseverdiene ikke overholdes.

6.5 FEBDOK

Hvordan kan FEBDOK utvikles videre med tanke på framtidig dokumentasjon av UPS-anlegg?

I og med at FEBDOK kun gjør statiske analyser så vil programmet ikke være i stand til å dokumentere dynamisk utgangsrespons som er lastavhengig. For å gjøre dette må man benytte andre program som simulerer slike problemer som for eksempel Power Factory fra DigSILENT eller lignende.

6.5.1 Oppfattelse av nedstrøms kortslutning

Når det kommer til kortslutning i UPS, og hvordan UPS-en oppfatter en kortslutning så gjøres dette ulikt fra de forskjellige aktørene. UPS-er fra Siemens leverer sinusformet strøm helt til den kommer opp i den ytelsen den klarer å levere. Dersom strømmen øker videre vil vekselretteren kutte toppene i sinuskurven slik at de blir flate.

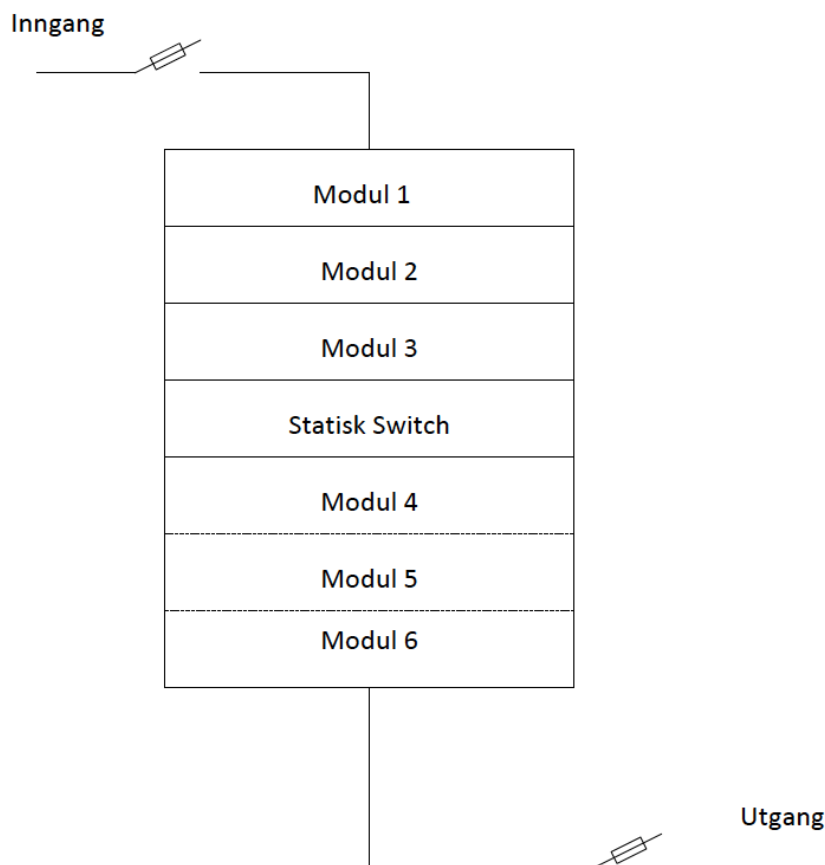
EATON på den andre siden måler impedansen i nedstrøms nett for å avgjøre hvilken tilstand nettet er i, normaltilstand, overbelastning eller kortslutning. Ved å gjøre målinger på denne måten vil det bli oppfattet en nedre grense for hva UPS-klarer å "se"

som en kortslutning og dermed også gå i kortslutningsmodus. Denne impedansverdien som man kommer fram til vil være viktig å ta hensyn til når man ser på hvor lange kabelstrekking som kan benyttes ut fra utgangen.

Ved lange kabelstrekninger gir FEBDOK tilbakemelding dersom vernet ikke slår ut i elektromagnetisk område, men går over i termisk området. Det gis ingen tilbakemelding på at impedansen i kabelen er for høy til at kortslutning i enden på kabelen ikke vil bli sett på av UPS-en som en kortslutning, og at den dermed ikke vil sende kortslutningsytelsen inn i nedstrøms nett. Dette er noe jeg mener FEBDOK bør kunne ta høyde for i UPS-anlegg.

6.5.2 Parallellkoblede UPS-er

NELFO sier selv at de ønsker å kunne dokumentere parallellkoblede UPS-moduler i FEBDOK, men at dette ikke har vært mulig å prioritere enda. Det finnes likevel mulighet for dette dersom man benytter seg av modulbaserte løsninger, slik som det er skissert i figur 6.2.



Figur 6.2 Prinsippskisse på modulbasert UPS.

Dette kan gjøres fordi modulbasert UPS består av en ferdigkablet ramme som installeres. I denne rammen kan man velge hvor mange moduler man skal sette inn basert på effektbehov og redundansbehov. Mye av problematikken rundt dokumentasjon av parallellkoblede anlegg har med kablingen mellom utgangen på hver enkelt UPS og felles koblingspunkt. I normal drift via vekselretteren er det ikke noe

problem at det er impedansforskjeller i disse strekningene. Når det oppstår en situasjon som gjør til at bypass blir koblet inn, så vil disse forskjellene føre til at lastflyten i anlegget ikke blir jevnt fordelt og man risikerer at det oppstår sirkulære strømmer. I en modulbasert UPS som bygges i en ramme vil kablene være tilpasset slik at denne problematikken ikke er tilstede. Man vil dermed kunne se på de parallellkoblede enhetene som én enkelt UPS sett ut i fra et dokumenteringsståsted. Det som blir viktig å påse er likevel at verdiene som legges inn i FEBDOK er tåleevne dersom man har kun én modul tilgjengelig.

Gitt at det skal installeres 60kVA UPS kapasitet ved bruk av 3 stk. 30kVA moduler i N+1 konfigurasjon og dette monteres i en ramme dimensjonert for å tåle 6 x 30kVA så anbefales det å dimensjonere inntakskabel og utgangskabel ut i fra maksimal effekt som rammen kan installeres med. Slik sikrer man at anlegget er ferdig klargjort for utvidelse dersom det skulle bli behov. Med tanke på dokumentasjon vil også dette bli enkelt da man i ettertid kun trenger å gå inn å endre nominell ytelse på UPS-en dersom man har behov for å øke kapasiteten i anlegget.

Det vil også på samme måte være mulig å dokumentere parallellkoblede enkeltenheter dersom det benyttes én felles bypass for hele anlegget. Da vil man ikke få problemer med impedansforskjeller mellom de forskjellige enhetene fordi det kun vil være én bypass som fører strøm dersom det blir behov for omkobling på grunn av feil. De andre ulempene som en slik konfigurering har vil ikke være noe som går ut over dokumentasjonen av anlegget og må derfor gjøres rede for i risikovurderingen for anlegget.

6.5.3 Brudd i N-leder

Som NEK 400 beskriver, så er det krav til ubrutt N-leder i alle situasjoner for UPS installasjoner. Det er 3 scenarier som kan forårsake at denne ikke er tilstede:

1. Anlegget mangler N-leder
2. Anlegget blir testet i batteridrift ved at man slår av forrankoblet 4-polet vern.
3. 4-polet vern blir slått ut som følge av kortslutning eller overbelastning

For normale elektroinstallasjoner er det ikke problemer knyttet til brudd av N-ledere i vern. For et UPS-anlegg som benytter N-leder som referanse til vekselretting, og enfaselaster som er koblet mellom fase og N-leder så vil det være meget uheldig om N-leder ikke er tilgjengelig når anlegget forsynes fra batteribanken. Uten N-leder vil lastene bli seriekoblet mellom to faser i nedstrøms nett og man risikerer da å ødelegge utstyr pga. spenningsdeling som utstyret ikke er beregnet for. Det er altså spesielt viktig for UPS-anlegg at det ikke er brudd i N-leder oppstrøms UPS-en noe som FEBDOK bør kunne gi et varsel på i form av en "rødmelding" i og med at dette vil være brudd på NEK 400 551.2.01.

7 Prosjekteringskriterier for UPS-anlegg

På bakgrunn av de foregående kapitlene kan prosjekteringskriterier for UPS-anlegg oppsummeres til en relativt kort punktliste som vil være generell og fungere for de fleste UPS-installasjoner.

- I. Gjennomfør en pålitelighetsanalyse og risikovurdering av anlegget og finn ut hvilken grad av redundans som skal være gjeldene for anlegget. Skal det være en enkelt UPS eller skal det være flere i parallell i N+1 eller 2N konfigurasjon?
- II. Finn ut hvilken last som skal forsynes av UPS-en og fordel antall kurser og størrelse på kursene.
- III. Summer total last i anlegget og legg til rom for utvidelse av anlegget.

Grunnlag for valg av UPS

- 1 Hvor stor kortslutningsstrøm behøves for å garantere utløsning i momentanområdet? Vernet med høyest I_5 -verdi vil være dimensjonerende for dette. Det er viktig å ta høyde for demping i kabler fram til vern og korrigere for dette i samsvar med ligning 3.6(3.6 og 3.7.
- 2 Velg UPS som kan yte kortslutningsstrøm som beskrevet i punkt 1 og som har nominell ytelse minst lik punkt III.
- 3 Dersom parallellkobling av flere UPS-er:
 - a. Skal det benyttes sentralisert eller distribuert bypass? Valget vil være gitt på bakgrunn av gjennomført risikoanalyse og kortslutningsytelse i nettet.
 - b. Tåler statisk switch maksimal kortslutningsstrøm som kan oppstå, $I_{k3p \text{ maks}}$, eller må det iverksettes tiltak for å beskytte switchen?
- 4 Velg vern for bypass som gir selektivitet i samsvar med nedstrøms vern. Vernets gjennomslupne energi må ikke overstige tåleevne til statisk switch.
- 5 Vil strømbegrensende effektbryter oppstrøms bypass være tilstrekkelig med tanke på gjennomsluppet energi eller må det benyttes høyhastighets smeltesikringer?
- 6 Dersom selektivitet ikke er mulig å oppnå mellom valgte vern, vurder alternativer for å begrense kortslutningsstrømmen i bypass ved bruk av trafo eller spoler.
- 7 Dersom ønsket ytelse ikke er mulig å oppnå må størrelsen på UPS-en økes for på denne måten øke tåleevnen til statisk switch.

Dimensjonering av batteribank

- 1 Summer total last som i punkt III.
- 2 Beregne tap i vekselretteren i henhold til UPS-ens virkningsgrad, η .
- 3 Totaleffekten som batteribanken må kunne levere er summen av total last og tap.
- 4 Fastsett hvor lang backup-tid anlegget skal ha
- 5 Beregn antall batteriblokker på bakgrunn av totaleffekt og backup-tid
- 6 Husk å ta høyde for at kapasiteten på batteriene synker gjennom levetiden.

8 Konklusjon

Med bakgrunn i diskusjon og prosjekteringskriteriene kan man konkludere spørsmålet om forskjellige UPS-er oppfører seg ulikt ved nedstrøms kortslutning med:

- Ja, det er ulik oppførsel selv om prinsippene er like.
- Grenseverdier for spenning som gjelder før man kobler over i bypass varierer.
- Kortslutningsforløpet er ulikt mellom leverandørene hvor enkelte benytter trinnvis redusert kortslutningsstrøm mens andre oppgir konstant strøm gjennom hele kortslutningsforløpet.
- EATON er eneste leverandør som oppgir at de har impedansmåling på vekselretteren for å bedømme status i nedstrøms nett.

Med bakgrunn i teori kan man konkludere spørsmålet om det finnes et gitt forhold mellom nominell ytelse og kortslutningsstrøm i batteridrift for UPS:

- Det kan ikke settes et endelig forhold mellom nominell strøm fra UPS og kortslutningsytelse. $1,5-5 \times I_n$ er forholdet for de aller fleste UPS-er.

Med bakgrunn i diskusjon og prosjekteringskriterier kan det konkluderes på spørsmålet om FEBDOK kan benyttes som et fullverdig dokumentasjonsverktøy til UPS-anlegg:

- Nei, FEBDOK kan per i dag ikke benyttes til dokumentasjon av alle typer UPS-anlegg.
- FEBDOK støtter ikke dynamisk analyse så UPS-ens utgangsrespons er ikke mulig å redegjøre for.
- Konvensjonell parallellkobling av flere UPS-er med distribuert bypass er ikke mulig per i dag.
- FEBDOK kan benyttes til dokumentasjon av parallellkoblede modulsystemer fordi prefabrikkerte kabinetter eliminerer impedansforskjeller i kabelanlegget. Dette gjelder også parallellkobling med sentralisert bypass.
- Det er krav til ubrutt N-leder i UPS-anlegg på grunn av farer for flytende spenningsystem i batteridrift. FEBDOK tar ikke hensyn til dette ved valg av vern.
- Hurtigsikringer er per i dag ikke innlagt i databasene til FEBDOK, fullstendig selektivitetsanalyse kan dermed ikke gjennomføres ved internsikring av statisk switch.

På bakgrunn av diskusjon og prosjekteringskriterier kan det ikke konkluderes hvilken type vern som er mest hensiktsmessig å benytte i UPS-installasjoner.

- Valget må gjøres på bakgrunn av topologi, kortslutningsytelser i nettet, og anleggets funksjonalitet.
- Generelt vil det likevel anbefales å benytte strømbegrensende effektbrytere så lenge kortslutningsytelsen i nettet tilsier at dette er mulig med tanke på tåleevne til statisk switch. Dette fordi full selektivitet er lettere å oppnå med effektbrytere kontra hurtigsikringer.

9 Videre arbeid

Gjennom arbeidet med denne oppgaven er det dukket opp mange interessante problemstillinger knyttet til UPS-anlegg som gjerne kan belyses i senere oppgaver.

Når det kommer til selektivitet er det lite eller ingen dokumentasjon på vernkombinasjoner hvor det er brukt ultrasnake sikringer og effektbrytere på samme radial. Dette hadde vært interessant å gjort laboratorieforsøk på for å finne marginkriterier på samme måte som det finnes for normale smeltesikringer, jf. Figur 5.4.

Rapporten konkluderer også med at et eksakt skjæringspunkt for når man må benytte effektbryter eller hurtigsikringer ikke er mulig å gi på generelt grunnlag. Ser man bort i fra selektivitet så vil det være mulig å utarbeide en skjæringskurve for hvilket vern som kan benyttes hvor man ser på kortslutningsytelse i sikringspunktet opp i mot tåleevne gjennomsluppet energi i det aktuelle vernet. Det vil være mulig å utarbeide denne på bakgrunn av data fra vernleverandører og den vil kunne undersøkes ved å utføre laboratorieforsøk hvor man måler gjennomsluppet energi opp i mot kortslutningsstrøm. Dette vil gi de som prosjekterer UPS-anlegg en enkel oppgave når de skal velge vern forran statisk switch kun ved å benytte tåleevnen til switchen i UPS-en de har valgt mot kortslutningsstrømmen i punktet. Dette vil som nevnt ikke gi svar på selektivitet.

Leverandører av UPS-er oppgir sjelden verdier for enpolt kortslutningsstrøm fra vekselretteren. Selv om enkelte oppgir $I_{k1p} = I_{k3p}$ så er ikke dette gjeldende for alle. Dersom det er mulig å få UPS-er å utføre kortslutningstester på så hadde det vært spennende å prøvd gjort forsøk uavhengig av leverandør for å finne et forhold mellom disse to kortslutningsstrømmene.

Ytelsesklassifisering av UPS skal dokumenteres fra produsent men i datablader så oppgis denne kun som en statisk grenseverdi og ikke som en funksjon av tid. Med tanke på spennings sensitivt utstyr i UPS-installasjoner så hadde det vært interessant å gjort laboratorieforsøk på hvordan UPS-er regulerer seg inn etter store lastvariasjoner i både lineær og ikke-lineær last, samt omkobling mellom vekselretter og bypass, og motsatt.

Litteraturliste

- [1] (2011, ITIC Curve - Power acceptability curve for information technology equipment. *Power Quality in Electrical Systems*. Available: <http://www.powerqualityworld.com/2011/04/itic-power-acceptability-curve.html>
- [2] NEK, "Forskrift om ELEKTRISKE LAVSPENNINGSANLEGG," vol. Vedlegg 1, ed: Norsk Elektroteknisk komite, 1998.
- [3] V. Gurevich, "Uninterruptable Power Supply," in *Power Supply Devices and Systems of Relay Protection*, ed: CRC Press, 2013, pp. 129-154.
- [4] E. Spears. (2009, 20. April 2015). Parallel UPS configurations. *White Paper*.
- [5] K. G. M. Jackson, *The UPS Handbook*, 4 ed.: Uninterruptible Power Supplies Limited, 2013.
- [6] J. P. S. Syvanen. (2012, 20. April 2015). Increased power protection with parallel UPS configurations. *White Paper*. Available: <http://powerquality.eaton.com/EMEA/About-Us/News-Events/whitepapers/default.asp>
- [7] A. Iversen, "Daglig leder, MAKKER AS," ed, 2015.
- [8] IEC, "62040-3, Uninterruptible power supply (UPS)," in *Method of specifying the performance and test requirements* vol. 5.3.4, ed. Switzerland: IEC, 2011.
- [9] (2011). *CBEMA CURVE - THE POWER ACCEPTABILITY CURVE FOR COMPUTER BUSINESS EQUIPMENT*. Available: <http://www.powerqualityworld.com/2011/04/cbema-curve-power-quality-standard.html>
- [10] E. Larsen and J. Degnan, "Selective coordination in low-voltage power distribution systems: Is the level important?," in *2008 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference, I and CPS*, Clearwater Beach, FL, 2008.
- [11] S. AG, *Switching, protection and distribution in low-voltage networks*, 2nd ed. Erlangen, Germany: Publicis MCD Verlag, 1994.
- [12] E. H. Hansen, *Elektroinstallasjoner*. Trondheim: Classica forlag AS, 2010.
- [13] S. Electric, "Acti9 ", ed. <http://www.schneider-electric.com>: Schneider Electric, 2011.
- [14] F. Larsen, "Selektivitetsforhold ved bruk av ikke-radiale nettstrukturer i bygninger," Hovedoppgave, Institutt for Elkraftteknikk, NTNU, Trondheim, 1997.
- [15] R. Burud, "COWI ", ed, 2015.
- [16] R. Solheim. (1987). *Selektivitet i elektriske anlegg* [E-bok]. Available: <http://kildekompasset.no/referansestiler/ieee.aspx>
- [17] Eaton. (2011, 8. April 2015). UPS Basics. *White Paper*. Available: <http://powerquality.eaton.com/EMEA/About-Us/News-Events/whitepapers/default.asp>
- [18] NEK, "Elektriske Lavspenningsinstallasjoner," ed: NEK, 2014.
- [19] G. Snilsberg, "Siemens," ed, 2015.
- [20] S. Carlsen, "Sales Manager LSG Marine, EATON," ed, 2015.
- [21] B. T. Ulleland, "EATON," ed, 2015.
- [22] EATON. (2015). *CurveSelect V1.24*. Available: <http://www.eaton.eu/Europe/Electrical/ProductsServices/CircuitProtection/MouldedCaseCircuitBreakers/NZM/index.htm - tabs-4>

- [23] BUSSMAN, "FWP 660V/700V 20-100A," ed: <http://www.cooperindustries.com>, 2015.
- [24] SIEMENS. (2006). *Reliable power for complex intallations*. Available: [http://www.siemens.no/ccmi/bu/ea/pdf/CP100 and CP200 Catalogue -Juni 2006.pdf](http://www.siemens.no/ccmi/bu/ea/pdf/CP100_and_CP200_Catalogue_-_Juni_2006.pdf)

Vedlegg

Vedlegg A: Datablad for SKKT 570

Vedlegg A

Datablad for SKKT 570, tyristor brukt i 300kVA UPS

SKKT 570, SKKH 570 THYRISTOR BRIDGE, SCR, BRIDGE



SEMPACK® 5

Thyristor / Diode Modules

SKKT 570

SKKH 570

Features

- Heat transfer through aluminium nitride ceramic insulated metal baseplate
- Precious metal pressure contacts for high reliability
- Thyristor with amplifying gate
- UL recognized, file no. E63532

Typical Applications*

- AC motor softstarters
- Input converters for AC inverter drives
- DC motor control (e.g. for machine tools)
- Temperature control (e.g. for ovens, chemical, processes)
- Professionals light dimming (studios, theaters)

1) see assembly instructions

V_{RSM} V	V_{BRM}, V_{DRM} V	$I_{T(RMS)} = 1000$ A (maximum value for continuous operation) $I_{T(AV)} = 570$ A (sin. 180; $T_c = 85$ °C)	
1300	1200	SKKT 570/12 E	
1700	1600	SKKT 570/16 E	SKKH 570/16 E
1900	1800	SKKT 570/18 E	SKKH 570/18 E

Symbol	Conditions	Values	Units
$I_{T(AV)}$	sin. 180; $T_c = 85$ (100) °C;	570 (435)	A
I_{TSM}	$T_{vj} = 25$ °C; 10 ms	19000	A
	$T_{vj} = 135$ °C; 10 ms	15500	A
I_t	$T_{vj} = 25$ °C; 8.3 ... 10 ms	1805000	A s
	$T_{vj} = 135$ °C; 8.3 ... 10 ms	1201250	A s
V_T	$T_{vj} = 25$ °C; $I_T = 1700$ A	max. 1,44	V
$V_{T(CTO)}$	$T_{vj} = 135$ °C	max. 0,78	V
t_T	$T_{vj} = 135$ °C	max. 0,32	ms
I_{DO}, I_{RD}	$T_{vj} = 135$ °C; $V_{RD} = V_{BRM}, V_{DD} = V_{DRM}$	max. 225	mA
t_{cr}	$T_{vj} = 25$ °C; $I_G = 1$ A; $di_G/dt = 1$ A/μs	1	μs
t_{gr}	$V_D = 0,67 \cdot V_{DRM}$	2	μs
$(di/dt)_{cr}$	$T_{vj} = 135$ °C	max. 250	A/μs
$(dv/dt)_{cr}$	$T_{vj} = 135$ °C	max. 1000	V/μs
t_c	$T_{vj} = 135$ °C	100...200	μs
I_H	$T_{vj} = 25$ °C; typ. / max.	150 / 500	mA
I_L	$T_{vj} = 25$ °C; $R_G = 33$ n; typ. / max.	300 / 2000	mA
V_{GT}	$T_{vj} = 25$ °C; d.c.	min. 3	V
I_{GT}	$T_{vj} = 25$ °C; d.c.	min. 200	mA
V_{GD}	$T_{vj} = 135$ °C; d.c.	max. 0,25	V
I_{GD}	$T_{vj} = 135$ °C; d.c.	max. 10	mA
$R_{th(j-c)}$	cont.; per thyristor / per module	0,069 / 0,034	K/W
$R_{th(j-s)}$	slp. 180°; per thyristor / per module	0,072 / 0,036	K/W
$R_{th(j-c)}$	tec. 120°; per thyristor / per module	0,077 / 0,038	K/W
$R_{th(c-s)}$	par thyristor / per module	0,02 / 0,01	K/W
T_{vj}		- 40 ... + 135	°C
T_{sta}		- 40 ... + 125	°C
$V_{L(50)}$	a.c. 50 Hz; t.m.s.; 1 s / 1 min.	3600 / 3000	V-
M_s	to heatsink	$5 \pm 15\%$ 1)	Nm
M_t	to terminals	$12 \pm 15\%$	Nm
a		$5 \cdot 9,81$	ω/s
ω	approx.	1400	g.
Case	SKKT	A 60b	
	SKKH	A 66b	