



KTH Electrical Engineering

Dimensionering av reservkraftsaggregat för kopplings- och transformatorstationer

Hans Hedlund 811124-7253

Examensarbete 30hp

November 2010

Skolan för Elektro- och Systemteknik

Handledare: Fredrik Edström

Examinator: Lennart Söder

I uppdrag av Svenska Kraftnät



Handledare: Tommie Lindquist
Lars Karlström

Förord

Jag vill tacka mina handledare på Svenska Kraftnät Tommie Lindquist och Lars Karlström för att de givit mig stor frihet. Har hela tiden känt deras stöd och tillit till mig. De gjorde mig ännu mer motiverad till uppgiften. Tack även till min handledar på KTH Fredrik Edström som hela tiden kommit med viktiga inlägg och nyttiga tips under arbetet.

Jag vill även tacka min familj som hela tiden varit intresserade och försökt hjälpt mig så gott de kan.

Till slut vill jag även tacka min fru, för att hon stöttat mig trots all min fysiska och psykiska frånvaro från hemmet.

Abstract

Questions raised on the basis of this work are, what loads are there at the stations, how big are the loads, are there nonlinear loads, are there motor loads with high starting currents, how do the rectifiers interact with batteries? The diesel unit starts about 10 minutes after a regional or national interference in a transformer station. The station's DC power system is then fed during that time from batteries. The question of how rectifiers interact with the batteries is of importance because rectifiers are large instantaneous loads after some discharge of the battery.

The loads that occur at the stations is heat in the control building, server room cooling, lighting inside and out, cooling the reactor, electrical engines, PTO, heating for high voltage circuit breakers etc. These loads will not be active simultaneously and each will not consume a maximum power all the time. This means that you must find the tools to handle these loads. The present report presents developed load factor of the various components involved.

A diesel generator model has been developed consisting of a diesel engine coupled to a synchronous generator in operation through two control systems to regulate voltage and rotor speed. Based on measurements at stations with diesel power, steering systems have been modified for the unit to conform to reality as much as possible. Based on the model, simulations have been done to see what the start-up currents from the motor loads have for effect of voltage and frequency with different sizes of diesel generators. Calculations have been made to examine the size of short circuit currents in different levels of the station's electrical system. This is to analyse if the fuses can be broken if necessary.

Duration curves of station loads are presented from various measurements to get a better picture of how the total load actually behaves. From there, appropriate diesel unit size is developed and also EENS and LOLP are calculated.

Duration curves are also simulated based on the load factors that have been worked out and the actual duration curves made. The idea is that the simulated duration curve should conform to reality for engineers to be able to examine the probability of power shortages in emergency use in a planned station.

The results of the report are guidelines and instructions for an easy way to make good diesel units dimensioning of a reserve and emergency operation.

It turned out that the rectifiers have to be started in sequence to avoid too large fast charge cycles. Also a safety factor is multiplied to the rectifier continuous operation to avoid harmonics in the system at emergency operations.

Start currents from reactors cooling system must be analyzed separately and the generator requirements for those is determined from calculations found in the guide. It also turned out to a certain station can get by with a diesel unit at 100kVA instead of the current 400kVA.

Sammanfattning

Frågor som ställts till grund för detta arbete är, vilka laster finns det på stationerna, hur stora är lasterna, förekommer olinjära laster, förekommer motorlaster med stora startströmmar, ska man ta hänsyn till kortslutningströmmar genererade av dieselaggregatet för att säkringar ska kunna brytas, hur beter sig likriktarna när de samspelar med batterier? Dieselaggregatet startar ca 10 min efter en regional eller nationell störning i en transformatorstation. Stationen likströmssystem och underliggande växelströmssystem via växelriktare matas då under den tiden från batterier. Frågan om hur likriktarna samverkar med batterierna är viktig då likriktarna är stora momentana förbrukare efter viss urladdning av batteriet.

De laster som förekommer på stationerna är värme kontrollbyggnad, kyla serverrum, belysning inne och ute, kylsystem till reaktor, motorvärmaruttag, kraftuttag, brytarvärmare etc. Dessa laster kommer inte vara aktiva samtidigt och alla kommer inte heller konsumera sin maximala effekt hela tiden. Detta gör att verktyg måste tas fram för att hantera dessa laster. Det denna rapport presenterar grundligt framtagna sammanlagringsfaktorer på de olika komponenter som förekommer.

En dieselgeneratormodell har tagits fram bestående av en dieselmotor kopplad till en synkronmaskin i generatordrift via två reglersystem som reglerar spänningsnivå och rotorhastighet. Utifrån den modellen har simuleringar gjorts för att kunna se vad startströmmarna från motorlaster har för effekt på spänningen och frekvensen med olika storlekar på dieselaggregat.

Beräkningar har gjorts för att undersöka storleken på kortslutningsströmmar i olika nivåer i stationens elsystem. Detta för att undersöka om säkringar bryts när det behövs.

Varaktighetskurvor på stationslasterna presenteras från olika mätningar för att få en bättre bild av hur totala lasten egentligen beter sig. Utifrån det kan lämpliga dieselaggregatsdimensioneringar upprättas och även sannolikheter för effektbrist kan tas fram. Varaktighetskurvor simuleras även utifrån de sammanlagringsfaktorer som arbetats fram och de verkliga varaktighetskurvor som gjorts. Tanken är att den simulerade varaktighetskurvan ska överensstämma med verkligheten för att sedan kunna undersöka sannolikhet för effektbrist vid reservdrift i ett planerat stationsbygge.

Resultatet av rapporten är guidelines och instruktioner för att enkelt kunna göra bra dieselaggregatdimensioneringar för reserv- och nödmatning. Guiden bygger på de resultat som kommit fram från simuleringar och mätningar. Det visade sig att likriktarna måste sekvensstartas för att undvika för stora snabbbladdningsförlopp. Även en säkerhetsfaktor läggs på likriktarnas kontinuerliga drift för att undvika övertoner i systemet vid reservkraftsdrift. Startströmmarna från reaktorernas kylsystem måste analyseras separat och generatorkrav för dessa bestäms utifrån beräkningar i guiden. Det visade sig även att en viss kopplingsstation klarar sig med ett dieselaggregat på 100kVA istället för det nuvarande 400kVA.

Innehållsförteckning

1 INLEDNING.....	1
1.1 BAKGRUND	1
1.2 MÅLSÄTTNING	1
1.3 METOD	2
2 TERMINOLOGI.....	2
2.1 NOTATIONER	3
3 OLIKA SYSTEM OCH DESS KOMPONENTER	3
3.1 UTFORMNING AV VHC LOKALKRAFTSTÄLLVERK	3
3.2 LIKSTRÖMSSYSTEMET	4
3.3 DIESELAGGREGATET	4
3.3.1 Dimensionering	4
3.4 LIKRIKTARE	4
3.5 BATTERI	5
3.6 VÄXELRIKTARE	5
3.7 OMRIKTARE.....	5
3.8 SHUNTREAKTOR.....	5
3.9 VÄRME- OCH KYLARLASTER	6
3.9.1 Värme HSP-brytare	6
3.9.2 Värme och kyla i kontrollbyggnad.....	6
4 DRIFTFALL.....	6
4.1 NÖDMATNING.....	6
4.2 RESERVMATNING	7
5 LASTSTUDIER.....	8
5.1 GRUNDLAST	10
5.2 VÄRME	10
5.2.1 Argument ett	10
5.2.2 Argument två.....	10
5.2.3 Mitt argument	11
5.3 STARTSTRÖMMARNA FRÅN MOTORER	11
5.4 LIKRIKTARLASTEN	12
5.5 SAMMANLAGRINGSFAKTORER	13
5.5.1 Likriktare	14
5.5.2 Kraftuttag.....	15
5.5.3 Motorvärmaruttag	15
5.5.4 Belysning	15
5.5.5 Värme och kyla	15
5.5.6 Kylsystem reaktor	16
5.6 VARAKTIGHETSKURVOR.....	16
6 SIMULERING.....	16
6.1 VARAKTIGHETSKURVA.....	17
6.1.1 Exempel	17
6.1.2 Simulering.....	17
6.2 GENERATORMODELL	19
6.2.1 Spänningsregulatorn.....	20
6.2.2 Frekvensregulatorn.....	20
6.3 MOTORMODELL.....	20
6.4 400kVA GENERATOR	21
6.5 370kVA GENERATOR	23
6.6 95kVA GENERATOR	24
6.7 43kVA GENERATOR	26
7 FALLSTUDIER	30
7.1 EN TYPISK KOPPLINGSSTATION.....	30

7.1.1 Likriktarna	34
7.1.2 Dimensionering	35
7.1.3 Resultat och möjliga åtgärder	36
8 DIMENSIONERINGSGUIDE	37
8.1 RESERVMATNING	37
8.2 EXEMPEL	39
8.3 GROV KALKYL	44
8.4 NÖDMATNING	45
8.4.1 Likriktare	45
8.4.2 Värme kontrollrum	45
8.4.3 Kylsystem kontrollbyggnad	45
8.4.4 HSP-brytarvärme	45
9 ELEKTRISKA STUDIER	46
9.1 FELBORTKOPPLING	46
9.1.1 Beräkningar	46
10 ALTERNATIVA RESERVKRAFTLÖSNINGAR	47
10.1 BRÄNSLECELLER	48
10.2 VINDKRAFT	48
11 RESULTAT	48
11.1 STARTSTRÖMMAR	48
11.2 LIKRIKTARNA	48
11.3 SIMULERING	49
12 VIDARE STUDIER	49
13 REFERENSER	50
14 BILAGOR	52
14.1 UTFORMNING AV LIKSTRÖMSSYSTEM	52
14.2 ÄVLÄST DATA FRÅN LIKRIKTARE.	53
14.3 ÄVLÄST DATA FRÅN LIKRIKTARE FRÅN TIDIGARE UNDERSÖKNING.	54
14.4 GENERATORMODELL MED MOTORLAST.	55
14.5 TYPTEST FÖR TYRISTORLIKRIKARE	56
14.6 TEKNISK DATA FÖR TYRISTORLIKRIKTARE.	57
14.7 DATA ERHÅLLET AV THOMAS ROTH FRÅN BENNING.	61
14.8 DIMENSIONERINGSGUIDE FÖR DIESELAGGREGAT	62

Figurförteckning

Figur 3.1 Utformningen av VHC lokalkraftstallverk [3].	3
Figur 4.1 Reservverk inkopplat för nödmatning [3].	7
Figur 4.2 Tre typer av inkopplingar av reservverk för reservmatning [3].	8
Figur 5.1 Kopplingsutrustning vid lokaltransformatorn.	9
Figur 5.2 Kopplingsutrustning vid säkringarna till reaktorns kylfläktar.	9
Figur 5.3 Lokalkraftens fasströmmar över tiden (sekundärström 600/5A).	12
Figur 6.1 Varaktighetskurva med konfidensintervall från simulering.	18
Figur 6.2 Konfidensintervallets varians efter 100 simuleringar.	18
Figur 6.3 Varaktighetskurva med konfidensintervall från simulering efter att ett 70kVA dieselaggregat installerats.	19
Figur 6.4 Modell av reglersystemet för generatorns spänning i Simulink.	20
Figur 6.5 Modell av reglersystemet för rotorhastigheten i Simulink.	20
Figur 6.6 Motormodellernas parametrar i Simulink.	21
Figur 6.7 Den simulerade spänningsvariationen från en 400kVA Stamford dieselgenerator när reaktorns kylsystem startar.	22
Figur 6.8 Simulering av den genererade startströmmen från en 400kVA Stamford dieselgenerator till reaktorns kylsystem.	22
Figur 6.9 Den simulerade frekvensen med en 43kVA generator vid start av kylsystem till reaktor.	23
Figur 6.10 Den simulerade spänningsvariationen från 370kVA Leroy Somer dieselgenerator när reaktorns kylsystem startar.	24
Figur 6.11 Simulering av den genererade startströmmen från en 370kVA Leroy Somer dieselgenerator till reaktorns kylsystem.	24
Figur 6.12 Den simulerade spänningsvariationen från 95kVA Leroy Somer dieselgenerator när reaktorns kylsystem startar.	25
Figur 6.13 Simulering av den genererade startströmmen från en 95kVA Leroy Somer dieselgenerator till reaktorns kylsystem.	26
Figur 6.14 Den simulerade spänningsvariationen från 43kVA Leroy Somer dieselgenerator när reaktorns kylsystem startar.	27
Figur 6.15 Simulering av den genererade startströmmen från en 43kVA Leroy Somer dieselgenerator till reaktorns kylsystem.	27
Figur 6.16 Den simulerade frekvensen med en 43kVA generator vid start av kylsystem till en reaktor.	28
Figur 6.17 Den simulerade spänningsvariationen från 43kVA Leroy Somer dieselgenerator när reaktorns kylsystem startar, med förhöjd kontinuerlig last.	28
Figur 6.18 Simulering av den genererade startströmmen från en 43kVA Leroy Somer dieselgenerator till reaktorns kylsystem, med förhöjd kontinuerlig last.	29
Figur 6.19 Den simulerade frekvensen med en 43kVA generator vid start av kylsystem till reaktor, med förhöjd kontinuerlig last.	29
Figur 7.1 Lokalkraftens skenbara effekt över tiden. Toppen kommer av dieselaggregatets test. (Mätning gjord på sekundärström 600/5A).	30
Figur 7.2 Stationens last över tiden (övre) och dess varaktighetskurva (nedre).	31
Figur 7.3 Varaktighetskurva med efter att ett 70 kVA dieselaggregat installerats.	31
Figur 7.4 Reaktorkylfläktarnas fasströmmar över tiden.	32
Figur 7.5 Effektfaktorn för kylsystemet till reaktor.	32

Figur 7.6 Fasströmmarna från dieselgeneratorn vid en kopplingsstation när kylsystemet till reaktorn slagits TILL och FRÅN två ggr. Bilden visar maxvärden mellan en minuts intervall.....	33
Figur 7.7 Spänningen från dieselgeneraton vid en kopplingsstation när kylsystemet till reaktorn slagits till och från 2 ggr. Bilden visar max- och minvärden mellan en minuts intervall.	34
Figur 7.8 Fasströmmarna till en 48V likriktare med märkström 125A vid snabbbladdning. Bilden visar maxvärden mellan en minuts intervall.....	34
Figur 7.9 Effektfaktorn för snabbbladdningssekvensen i likriktaren.....	35
Figur 7.10 Effektfaktorn vid motorstart för olika storlekar av motorer [18]. $kW=HP*0,746$	36
Figur 8.1 Första sidan i dimensioneringsguiden.	38
Figur 8.2 Andra sidan ur dimensioneringsguiden.....	38
Figur 8.3 Tredje sidan ur dimensioneringsguiden.	39
Figur 8.4 Diagram över motorstarteffekten som kan genereras av ramavtalets 43kVA (S25) och 61kVA (L65) generatorer [15].....	41
Figur 8.5 Utdrag ur ramavtal för diesellaggregat [19].....	42
Figur 8.6 Första sidan ur guiden med beräkningar.....	43
Figur 8.7 Andra sidan ur guiden med beräkningar.....	44
Figur 8.8 Tredje sidan ur guiden med beräkningar.	44

Tabellförteckning

Tabell 6.1 Parametrarna som ändras i generatormodellens dynamik.	19
Tabell 6.2 Generatorparametrar med 400kVA och 240V fasspänning.....	21
Tabell 6.3 Generatorparametrar med 370kVA och 240V fasspänning.....	23
Tabell 6.4 Generatorparametrar med 95kVA och 240V fasspänning.....	25
Tabell 6.5 Generatorparametrar med 43kVA och 240V fasspänning.....	26
Tabell 7.1 Tabellvärden tagna från avläsning av likriktarlast, mätdata och märkdata.	35
Tabell 9.1 Begränsande resistans för olika generatorer.	47
Tabell 9.2 Kabellängder för 370 kVA generator.....	47
Tabell 9.3 Kabellängder för 95 kVA generator.....	47
Tabell 9.4 Kabellängder för 43 kVA generator.....	47

1 Inledning

1.1 Bakgrund

En kopplingsstation kan ses som en nod i ett elkraftssystem. Det är en knutpunkt för olika inkommande ledningar där övervakning och fränkoppling kan ske av olika förbindelser. Transformatorstationen har samma egenskaper men har även minst en krafttransformator för transformering av spänningsnivån till spänningar för regionala och lokala nät. Båda dessa typer av stationer måste alltid ha funktionen att kunna styra högspänningsbrytare, koppla in viktiga komponenter i nätet, övervaka systemet och andrafunktioner som är viktiga för att kunna bibehålla ett stabilt nät. För att säkerställa att alla dessa viktiga funktioner fungerar i alla lägen installeras dieselaggregat som ska kunna producera el till stationens lokalkraft vid behov, t.ex. vid störningar i regionnätet.

Konsulter anlitas idag när SvK ska installera reservkraft på deras befintliga eller ny transformator- eller kopplingsstationer. Oftast har aggregaten blivit överdimensionerade då konsulterna velat vara helt säkra på att all last som skulle säkerställas fick reservkraft när det behövdes.

Överdimensioneringen har då blivit så stor att den aktuella lasten är 5 – 20 % av reservaggregatets märkeffekt. En dieselgenerator som körs på så liten del av sin märkeffekt får en drastiskt förkortad livslängd och emissionerna ökar, men den mest påtagliga effekten av detta är att investeringskostnaderna blir stora och stora utrymmen behövs då stora installerade effekter kräver stora tankar för att kunna köras den tid som krävs.

SvK kontaktade KTH för att få hjälp att analysera detta problem djupare och ta reda på vilka laster som förekommer på stationerna och hur de beter sig. Tillsammans med KTH beslutades att ett examensarbete skulle passa bra för att lösa dessa problem.

SvK vill ha hjälp med att ta fram guidelines för hur reservaggregat ska dimensioneras på transformatorstationer och kopplingsstationer. Stationernas lastprofiler måste noggrant studeras för att få en klar bild över vilka faktorer i stationen som dimensioneringen måste baseras på. Beroende på utformningen på stationen och vilka komponenter som finns ska slutsatser göras om nöd- eller reservmatning ska installeras. Vad som avser det olika matningsalternativen beskrivs närmare avsnitt 4. Både befintliga och planerade stationer ska analyseras.

1.2 Målsättning

Målet med projektet är att få kunskap om vilka laster som förekommer och hur de uppträder på stationerna, samt att optimera dimensionen på tilltänkta reservkraftaggregat till transformator- och kopplingsstationer och på det viset minska direkta kostnader vid inköp och långsiktiga kostnader för underhåll och reparationer. Men det viktigaste är att kunna upprätthålla en effektiv och väl fungerande reservkraft med hög tillgänglighet.

Konsulter och berörda personer från SvK ska enkelt och med bra precision kunna dimensionera reservkraft med ledning från guidelines och tumregler i form av sammanlagringsfaktorer och instruktioner.

1.3 Metod

Genom att läsa av mätarna på aktuella likriktarlaster vid ett antal olika stationer, fås en bra uppfattning vad grundlasten för den avbrottsfria delen ligger på för värden. Om märkdatan på likriktarna samtidigt noteras fås även en uppfattning om hur de i regel är dimensionerade i förhållande till dess laster och sammanlagringsfaktorer för likriktarlaster kan tas fram. Det finns kännedom om att likriktare är olinjära och genererar övertoner i svaga nät. Därför utförs även mätningar på dessa samtidigt som likriktarna stressades genom frånslag och tillslag för bästa resultat.

Andra laster som är viktiga att analysera är vilka startströmmar som finns och hur ofta de inträffar. Startströmmar uppstår då någon form av elektrisk motor startar. Vanliga startströmmar i stationer är kylfläktar till reaktorer och transformatorer. Dessa startströmmar mäts genom att mätutrustning kopplas in på lämplig mätpunkt vid aktuell motor och för bättre resultat vid analysen mäts även en referenspunkt vid lokaltransformatorns utgång. För bästa resultat borde loggningen ske under minst ett års tid för att få med alla olika variationer i lasten under olika årstider. Så lång loggning är inte möjlig för detta projekt då det är planerat för 20 veckor, utan fokus ligger på att få med alla veckodagar, sedan får hänsyn tas till att mätningarna är gjorda under sommarhalvåret. Även mätningar på en station i reservdrift kommer att utföras. Mätningarna avser spänningar och strömmar från dieselaggregatet när den driver en stations lokalkraftsbehov. Motorlaster kommer att slås av och på för att få med startströmmar och spänningsdippar i dieselgeneratoren.

Resultatet från mätningarna analyseras genom att modeller och varaktighetskurvor för lasterna skapas. Från detta kan sedan lämpliga sammanlagringsfaktorer bestämmas för de olika lasterna och effektfaktor tas fram för olika sekvenser i driften.

Modell för dieselaggregat kommer att konstrueras med dess styrsystem för att sedan kopplas samman med modeller för lasterna. Genom detta kan simuleringar göras för hur startströmmarna påverkar stabiliteten. Modellens parametrar kommer justeras för att simuleringarna ska överensstämma med mätningarna.

Kortslutningsströmmar beräknas för olika generatorer och kabelresistanser för att få en bild av hur mycket kabel som kan användas och ändå klara säkringarnas brytarkrav.

2 Terminologi



Brytare normalt TILL



Brytare normalt FRÅN



Transformator med oklindning

VHC: Lokalkraftens huvudcentral

DG: Dieselgenerator

NB: Nätbrytare (Sektioneringsbrytare)

GB: Generatorbrytare

RB: Reservbrytare (kan vara ACB, MCCB eller MCB)

ACB: Air Circuit Breaker (Luftbrytare)

MCCB: Molded Case Circuit Breaker (Isolerkapslade effektbrytare)

MCB: Miniature Circuit Breaker (Dvärgbrytare)

HSP: Högspänning

LOLP:	Loss Of Load Probability (Sannolikhet för förlorad last)
EENS:	Expected Energy Not Served (Förväntad olevererad energi)
PSS:	Power System Stabilizer
SF:	Sammanlagringsfaktor
LRA:	Locked Rotor Ampere
PRP:	Prime Running Power

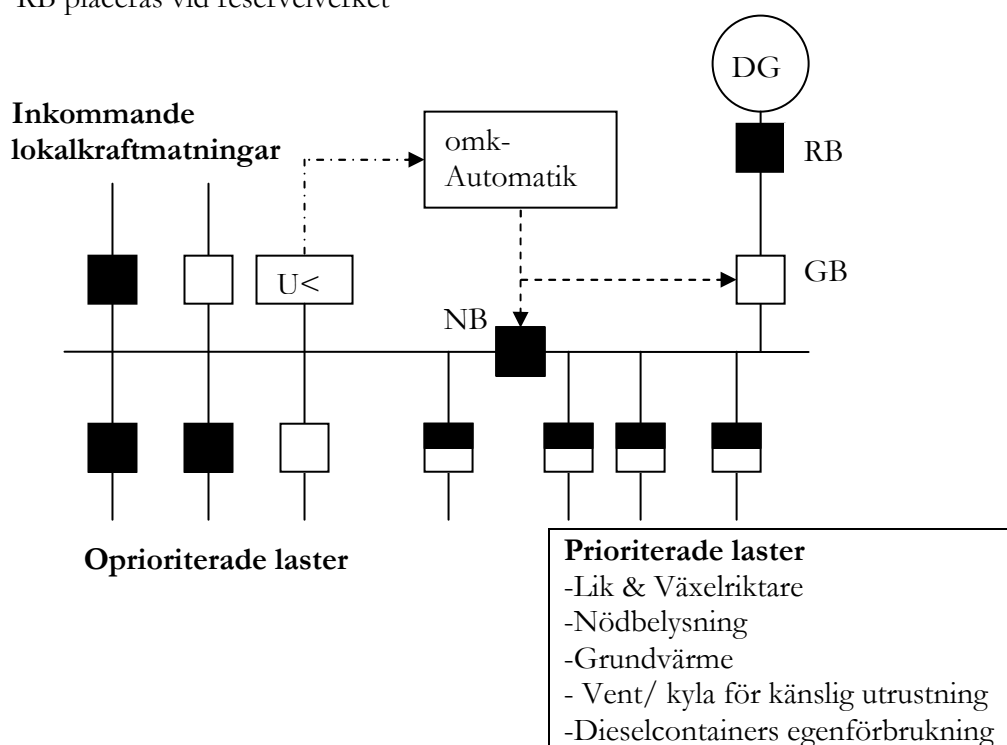
2.1 Notationer

$\rho_{koppars}$:	Resistivitet i koppar ($\Omega mm^2 / m$)
t :	Tid (s)
S :	Skenbar effekt (VA)
P :	Aktiv effekt (W)
Q :	Reaktiv effekt (VAr)
ϕ :	Vinkel mellan P och Q (Rad)
I_f :	Fasström (A)
I_l :	Linjeström (A)
U_h :	Huvudspänning (V)
U_f :	Fasspänning (V)
R :	Resistans (Ω)

3 Olika system och dess komponenter

3.1 Utformning av VHC lokalkraftstättverk

NB och GB placeras i stättverk alternativt central i stationens lokalkraft.
RB placeras vid reservstättverket



Figur 3.1 Utformningen av VHC lokalkraftstättverk [3].

3.2 Likströmssystemet

Bilaga 14.1 visar att likströmssystemet är uppbyggt på så sätt att två likriktare kopplas mellan VHC och en varsin likströmsskena. Varje skena har ett eget batterisystem. Skenan kallas därför för battericentral. Från battericentralerna kopplas all utrustning som behöver avbrottsfri likström, utrustning som behöver avbrottsfri växelström via växelriktare och likströmsomriktare för utrustning med lägre spänningsnivå. Likriktarna är dimensionerade för att enbart den ena ska kunna försörja tilltänkt utrustning om den andra går ur drift. Därav är allt ihopkopplat och styrt via brytare.

3.3 Diesellaggregatet

Ett reservkraftsaggregat består av en motor och en generator. Olika typer av drivmotorer finns tillgängliga på marknaden, som gasturbin, bensinmotor, gasmotor och dieselmotor. Den typ av motor som är vanligast är dieselmotorn då den har bättre tillgänglighet och verkningsgrad. På SvKs stationer används endast diesellaggregat för reservkraft och därför kommer endast den beskriva i denna rapport. Alternativa reservkraftslösningar diskuteras i avsnitt 10.

Diesellaggregatet består av en dieselmotor och en generator. Dessa monteras ihop via en fläns och monteras på en balkram via vibrationsdämpande gummielement. Vibrationsdämparna är viktiga för att förhindra skador på utrustningen.

Förutom generator och motor finns styrsystem som ser till att aggregatet startar vid rätt tillfälle, ett reglerystem som håller rätt spänningsnivå och rotorhastighet och ett hjälpsystem som avser startsystem för dieselmotor med batterier och luftstartsystem.

3.3.1 Dimensionering

Det finns generella riktlinjer där dimensionering borde utföras så att maxlast ej överstiger 80 % av generatorns märkeffekt och lasten bör inte heller understiga 25 %. Den övre gränsen är för framtida utbyggnad och ökat effektbehov. Den undre gränsen är för att problem kan uppstå med motorn då den inte når planerad drifttemperatur. Vid tillslag av elmotorer måste beräkningar göras för att säkerställa att startströmmarna inte ställer till några problem. Även olinjära laster som likriktare är komponenter som behöver analyseras extra. Typ av likriktare är den störta aspekten och vissa typer kan orsaka svängningar i systemet om matningen är för svag.

De faktorer som måste analyseras för att dimensionera ett diesellaggregat är.

- Maxlast
- Sammanlagringsfaktorer för lasten
- Tillslag av last
- Motorlaster
- Olinjära laster
- Spännings- och frekvensstabilitet

3.4 Likriktare

Likriktarens uppgift är att försörja stationens kontinuerliga likströmsbehov som vid transformatorstationer och kopplingsstationer är att säkra funktionen för stationens:

- Skyddssystem
- Manöversystem
- Övervakningssystem
- Kopplingsapparater
- Kylanläggningar

Likriktaren ska även hålladda batterierna samt snabbadda dessa vid behov för att inom en angiven tid bli återuppladdade efter t.ex. en nätstörning som medfört energiuttag från batterierna. Tiden för återladdning av batteriet påverkas av likriktarstorleken [1], [2].

3.5 Batteri

Man kan dela upp alla batteri i två olika grundutföranden, öppna och slutna kärl. De öppna kallas fritt ventilerade och de slutna kallas ventilreglerade. De ventilreglerade är slutna men kan släppa ut övertryck via ventiler om sådant skulle uppstå. För reservkraftanläggningar bör man använda stationära batterier och de vanligaste är blysyra- och Nickel-Cadmium-batterier. Livslängden på batterier definieras av den tid det tar innan batteriet endast klarar av att avge 80 % av sina 10-timmars kapacitet. Faktorer som påverkar batteriets livslängd är:

- Batteritemperatur
- Inställd underhållsladdning
- Överlagrad växelström, rippelström från laddare
- Antalet urladdningar
- Urladdningsgraden på urladdningar.

Under normaldrift sker inget kontinuerligt strömuttag från batterier utöver kortvariga strömtoppar som uppstår som likriktaren inte hinner ta hand om [1], [2]. Batteridimensionering kommer inte analyseras i denna rapport.

3.6 Växelriktare

Växelriktaren sitter kopplad efter likriktaren där den behövs för att omvandla likström till växelström för den utrustning som behöver avbrottsfri växelström [1].

3.7 Omriktare

Omriktaren är en form av transformator för ett likströmssystem. Den ändrar spänningsnivån för anpassning till speciell utrustning. I SvKs stationer finns omriktaren som ett steg under likriktaren. I äldre stationer förekommer ibland mindre likriktare för matning med lägre spänning istället för omriktare.

3.8 Shuntreaktor

Det är alltid ett problem i långa kraftledningar att reaktiv effekt ska samsas med den aktiva effekten. Den reaktiva effekten skapas av ledningen själv och vid perioder då förbrukningen är relativt låg produceras mer reaktiv effekt och spänningen ökar. Spänningen måste hållas nära nominell nivå vilket gör det viktigt att kunna hantera den reaktiva effekten. En shuntreaktor konsumerar reaktiv effekt och kan kopplas in på systemet när det behövs. Det är oftast under nätterna då förbrukningen minskar som reaktorn kopplas in.

Reaktorerna behöver ett kylsystem bestående av pump och fläktar. Det är dessa som belastar lokalkraften på stationen.

3.9 Värme- och kylarlaster

En stor del av lasten är oftast värme till högspänningsbrytare, värme till kontrollbyggnad och kyla till kontrollrum. Annan värmeförsörjning förekommer till annan kontrollutrustning men är i regel små och räknas till grundlast.

3.9.1 Värme HSP-brytare

Det är viktigt att ingen kondens förekommer i brytarlådorna för att undvika rostning av utrustningen. Rostning kan medföra att funktionen på brytarna försvinner vilket kan vara förödande. Det ligger därför alltid en grundvärme på för att förhindra kondens och för att förhindra isbildning slår en tillsatsvärme till vid kallare förhållanden i vissa typer av brytare. Dessa brytarvärmelaster blir stora då det finns många HSP-brytare vid en kopplingsstation. Sällan mindre än 10 st brytare brukar finnas och varje värmare konsumerar runt 1,2kW vid tillsatsvärme.

3.9.2 Värme och kyla i kontrollbyggnad

Kontrollbyggnaderna på stationer är i de flesta fall ett envåningshus, ibland med källarvåning. Uppvärmningen av våningen sker automatiskt kopplat till belysningen. Vid släckt belysning ska en temperatur på minst +10°C hållas och då belysningen tänds ska den regleras upp till +18°C. Innetemperaturen får inte överstiga +30°C [10]. För detta behövs en kylanläggning installeras.

4 Driftfall

Citerar delar ur referens [3].

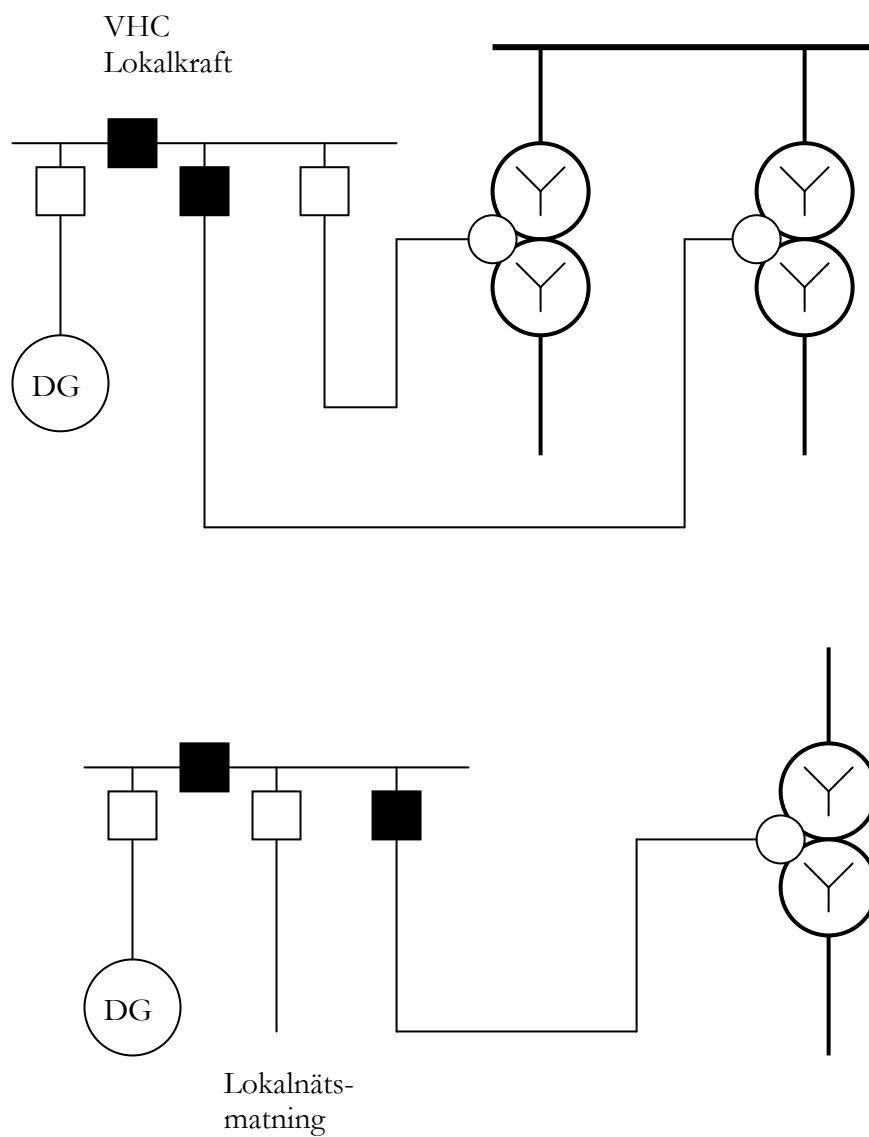
”Om stationen har minst 2 st lokalkraftmatningar, varav minst en av dessa kommer från krafttransformatorns oklindning, skall reservverk installeras för nödmatning av stationen.”

”Om stationen bara har en lokalkraftmatning alt 2 st matningar från lokalnät, skall reservverket installeras mot reservmatning.”

4.1 Nödmatning

Tanken med nödmatning är att endast de laster som är kritiska för att stationen snabbt ska kunna komma i drift efter en stor störning ska matas. Stationens VHC delas upp på en prioriterad skena och en oprioriterad skena. På den prioriterade skenan ansluts de viktiga lasterna och till den oprioriterade skenan ansluts laster som inte är lika viktiga att hålla vid liv för att upprätthåll ett stabilt system. Reservkraften ansluts mot den prioriterade skenan [3].

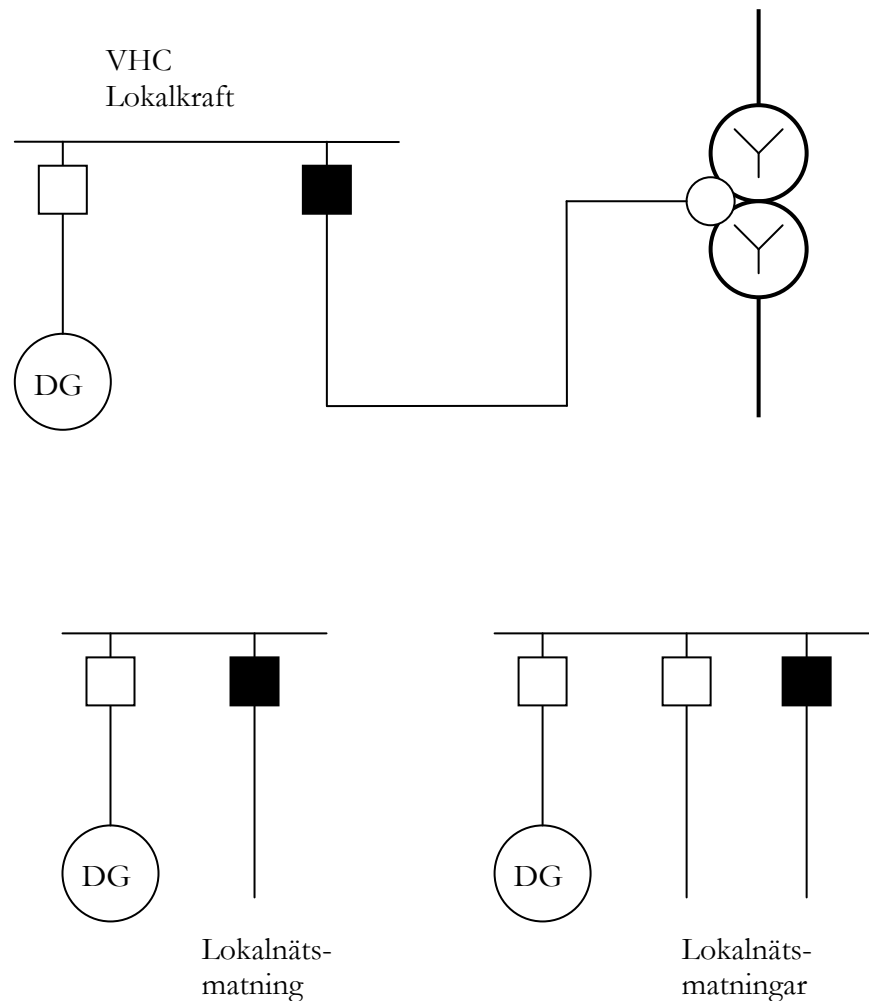
I Figur 4.1 visas hur reservkraften kopplas in mot nödmatning.



Figur 4.1 Reservverk inkopplat för nödmatning [3].

4.2 Reservmatning

Tanken med reservmatning är att hela stationens lokalkraft skall kunna ersättas med ett reservverk. I Figur 4.2 visas tre olika fall hur reservkraft kopplas in för reservmatning beroende på vilka lokalkraftsmatningar som stationen har.



Figur 4.2 Tre typer av inkopplingar av reservverk för reservmatning [3].

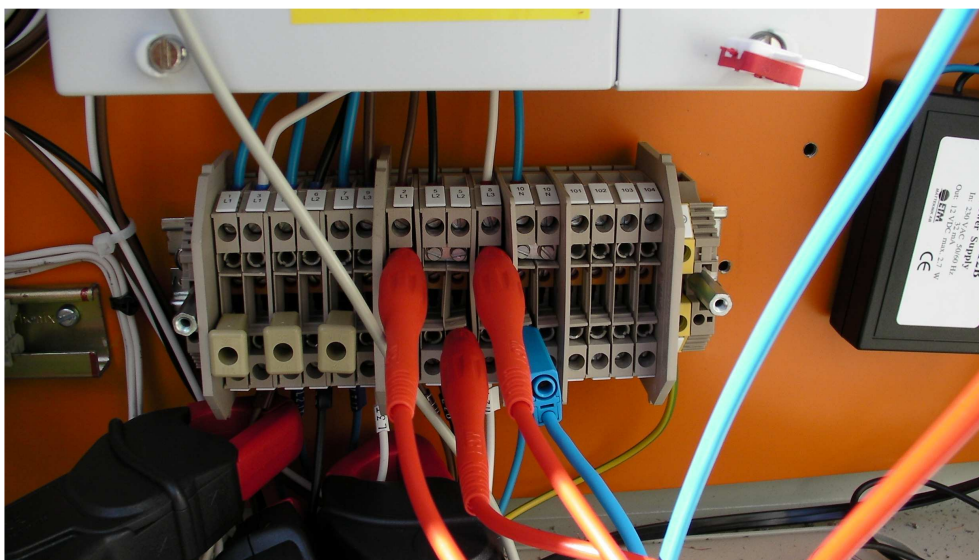
5 Laststudier

Tanken med att logga vissa laster är att få en uppfattning om hur komponenter som inte går hela tiden beter sig. De komponenter som sätts TILL och FRÅN ganska ofta på stationer är kylsystemet på shuntreaktorer. Dess kylfläktar och pump utgör ofta en stor del av lokalkraftbehovet och kan liknas med krafttransformatorers kylsystem. Fördelen med att mäta på en reaktor är att den kopplas in endast när den behövs vilket betyder att det är mer troligt att få ett bra mätresultat då det är startströmmarna och varaktigheten vi vill analysera. En krafttransformator är vid normaldrift alltid TILL.

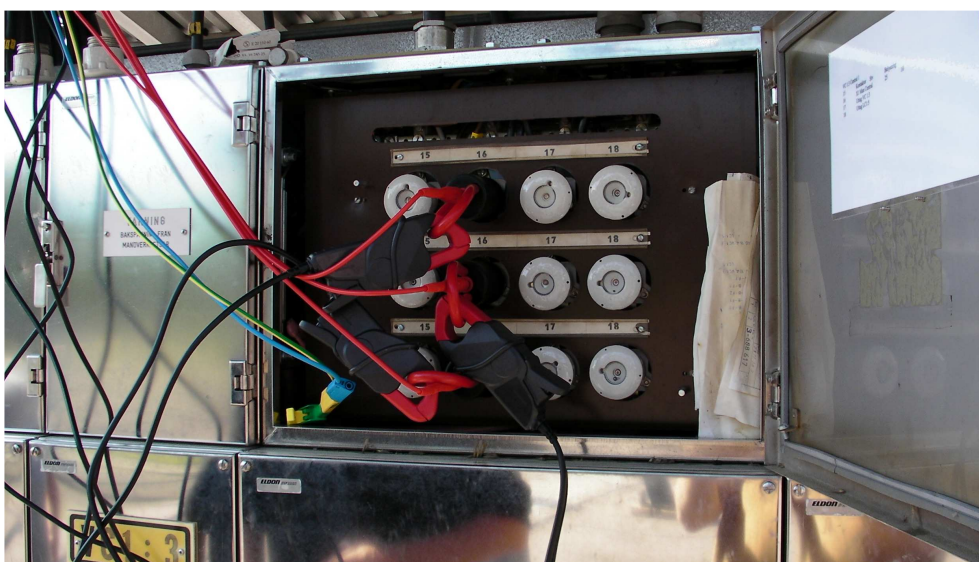
En viss kopplingsstation som blev aktuell har en shuntreaktor kopplad mot ena 400kV skenan. Detta gjorde den till en lämplig station att mäta på. P.g.a. att stationen inte har någon krafttransformator och endast en lokalkraftmatning måste den förses med reservkraft som kan försörja hela dess lokalkraftbehov. Den befintliga dieselgeneratoren som är installerad är väldigt överdimensionerad och klarar utan problem dessa krav. En välkommen händelse var att ett driftprov av dieselaggregatet var planerat under

loggningsperioden av underhållsskäl. Provet skulle utföras genom att mata ut effekt på nätet. Detta test gav tydliga utslag i mätresultaten (Figur 7.1).

Mätutrustning installerades vid säkringarna till fläktarna och även vid lokaltransformatorns utgång till VHC1 för att kunna jämföra fläktarnas strömmar och effekt med den totala lokalkraften. På bilderna nedan kan man se hur mätutrustningen kopplades. Vid lokaltransformatorn gjordes mätningarna på en sekundärström för mätning med omsättningen 600/5A (Figur 5.1), och för fläktarna ersattes säkringskåporna med speciella kåpor för mätning (Figur 5.2).



Figur 5.1 Kopplingsutrustning vid lokaltransformatorn.



Figur 5.2 Kopplingsutrustning vid säkringarna till reaktorns kylfläktar.

Vid analys av mätresultaten syns tydligt när driftprovet av dieselaggregatet utfördes. En kraftig topp i lokalkraftens strömmar kan avläsas p.g.a. att dieselaggregatet matades mot mätpunkten och det syns här väldigt tydligt att överdimensioneringen av dieselaggregatet är stor (Figur 5.3).

Mätningar utfördes även på en likriktare då vetskap fanns om att dessa laster är olinjära och genererar övertoner i svaga nät vid situationer då de stressas.

Mätutrustningen kopplades in vid likriktarens trefasiga växelströmsmatning via säkringarna, på samma sätt som Figur 5.2.

Det behövdes mätningar även på dieselgeneratorns utgång. Det var önskvärt att få med generatorns spänningsvariationer och de strömmar som genererades. P.g.a. svårigheter med inkopplingen fick mätutrustningen lov att anslutas till generatorns sekundärström för mätning. Det visade sig att det fungerade utmärkt så länge man hade koll på att omsättningen mellan primär och sekundärström var 600/5A även här.

5.1 Grundlast

Det finns vissa komponenter som antingen är stora eller uppför sig på ett speciellt sätt. Dessa laster behöver man analysera noga för att få till en bra dimensionering. Andra laster som är ganska stabila och inte särskilt stora räknas till grundlast. Laster som skulle kunna ingå i grundlast är.

- Vattenberedare
- Vattenpump
- Köksutrustning
- Vitvaror
- Kontorsutrustning
- Övriga laster i 220V uttag

5.2 Värme

Värmelaster är ofta stora laster i ett lokalkraftnät för en kopplingsstation men används endast kalla delar av året eller nattetid. Värme på en station finns i HSP-brytare och kontrollbyggnad. Värmens funktion i brytare är uppdelat i två delar. En grundvärme som alltid är på för att förhindra kondens som kan skapa rostbildning och en tillsatsvärme som aktiveras vid väldigt kallt väder för att förhindra isbildning. Vid reservmatning bör man ta höjd för dessa laster.

Vad gäller nödmattning har det blivit diskussioner kring huruvida brytarvärmen ska tas hänsyn till eller inte. Vid nödmattning är de favoriserade lasterna få och värmen till alla brytare är dominerande. Grundvärmen är inte så stor men det är tillsatsvärmen vilket medfört funderingar på om tillsatsvärmen och grundvärmen ska separeras vid nya installationer. Diskussioner har ägt rum med kollegor angående om brytarvärme ska nödmattas eller inte och diskussionerna har lutat åt olika håll.

5.2.1 Argument ett

När nödmattning behövs är det oftast p.g.a. ett omfattande nätfel som ofta orsakas av extrema väderförhållanden som storm, isvindar eller åska. Sådana störningar tar ofta lång tid att återställa. Dessa väderförhållanden sker väldigt sällan vid kalla temperaturer utan oftast vid ca noll grader. Brytarnas värme skulle alltså kunna placeras på en ofavoriserad skena vid nödmattning då värmen anses kunna vara fränkopplad under den tiden det tar att åtgärda felet och på det viset minska den installerade effekten på reservkraftaggregatet.

5.2.2 Argument två

Kom efter senare diskussioner fram till att de senaste stora nätfelen som inträffat 1983 och 2003 har varit helt väderoberoende. Alltså är antagandet att nätstörningar endast sker vid varma förhållanden fel. Dessutom kan

temperaturskillnaden vara mycket stor mellan norra och södra Sverige. Om ett fel som uppstått i södra Sverige p.g.a. storm, isvindar eller åska släcker stora delar av nätet i Sverige däribland delar i norrland kan temperaturen vara tillräckligt låg i norrland för att tillsatsvärmarna måste kopplas på. Detta resonemang framhäver att brytarvärmarna inklusive tillsatsvärmarna borde vara matade vid nödmatning. Dessutom är lasten i nätet högre vid kall väderlek och systemet är mer stressat.

5.2.3 Mitt argument

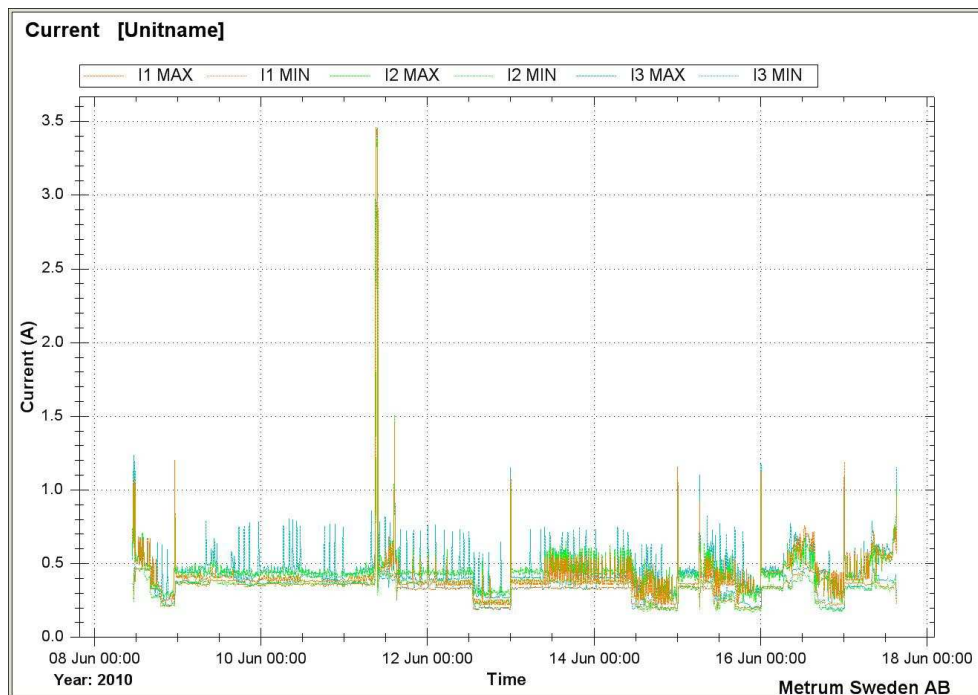
Frågan om huruvida brytarvärmerna ska nödmatas är en fråga som bör diskuteras i varje specifikt fall då en dimensionering ska göras. De personer som blivit utvalda att dimensionera en dieselanläggning för nödmatning har ofta egna synpunkter och framför allt egna erfarenheter. De bör kunna resonera fram ett bra beslut fattat på egna erfarenheter och vart i landet den dieselanläggningen ska installeras. Argument två tog upp att temperaturskillnaden kan vara stor i olika delar av landet vilket bör beaktas. I Skåne är den kallaste temperaturen som uppmäts under de senaste sju åren -19°C [16]. Sannolikheten att Skåne får -25°C är väldigt liten medan den är betydligt större i norra delen av Sverige. Dessutom blir nödmatning endast aktuellt vid längre störningsavbrott som endast sker vid extremt väder. Vid fel på högspänningsutrustning isoleras liten del av nätet och driften sätts snabbt igång. Under den korta tiden kommer då inte dieseln att starta. D.v.s. nödmatning kommer endast att inträffa vid störning orsakat av extrema väderförhållanden.

I befintliga stationer är det ofta inte möjligt att separera grundvärmen från tillsatsvärmen utan större ingrepp i utrustningen. Även nya stationer som planeras kräver särskilda kopplingar och extra kablar om separering ska utföras. Med tanke på detta är det lättare att alltid ha dem ihopkopplade och ta höjd för tillsatsvärmen.

5.3 Startströmmarna från motorer

Figur 5.3 visar fasströmmarna för lokalkraftsförbrukningen i kopplingsstationen. Denna lokalkraftsförbrukning är ganska typisk vid kopplingsstationer med en reaktor. Den stora toppen är från när dieselaggregatet testades. De mindre topparna är de som är intressanta vid dimensionering. Dessa är startströmmar till kylsystemets pump och fläktar på reaktorn och det är de strömmarna som är de störst förekommande och ska kunna hanteras vid reservmatning. Effekten från strömmarna kan räknas ut enligt (5.1). Observera att mätningarna är gjorda på sekundärström med omsättningen 600/5A.

$$\hat{S} = 3 \cdot I_f \cdot U_f \cdot \frac{600}{5} \quad (5.1)$$



Figur 5.3 Lokalkraftens fasströmmar över tiden (sekundärström 600/5A).

Vidare analys av kylsystemets drift och avstämning med brytarsignaler till reaktorn kan det avläsas att det tar varje gång ca 6 timmar för oljan att bli tillräckligt sval för att fläktarna ska stanna, efter det att reaktorns brytare satts i FRÅN läge [4]. Kan även observera att kylfläktarna utan undantag startar samtidigt som reaktorn startar.

5.4 Likriktarlasten

Likriktarlasten är speciell eftersom den är olinjär. Äldre likriktare kan generera övertoner i svagare nät som t.ex. ett nät matat från en dieselgenerator, vilket kan ställa till med oönskade problem i lokalnätet på stationerna. Ett enkelt och bra sätt att få en uppfattning av hur stora likströmslasterna är på olika stationer är att läsa av likriktarnas mätare. Bilaga 14.2 och 14.3 visar avlästa värden på likriktarlaster. Där syns det att drifteffekten på de olika likriktarna ligger runt 15 % av märkeffekten och som mest drygt 30 %. Överdimensionering beror på att likströmssystemet (bilaga 14.1) är utformat för att varje likriktare ska kunna belastas med hela likströmslasten.

Dieselaggregatet startar ca 10 min efter en regional eller nationell störning. Stationens likströmssystem och underliggande växelströmssystem via växelriktare matas under den tiden från batterier. Batterierna belastas även av strömstoppar från brytarspolar då U0-automatiken slår från alla brytare för att systemet senare ska kunna startas upp från en väldefinierad startpunkt. Under den tiden laddas batteriet ur lite men tillräckligt för att likriktaren ska känna av en halv procents skillnad i spänning vilket är den gräns då likriktaren snabbbladdar batterierna. När den snabbbladdar blir strömmarna väldigt stora och mätningar gjordes därför även på likriktarnas matning för att undersöka hur stora dessa strömmar är och hur de beter sig. Mätutrustning kopplades till en 48V tyristorlikriktare med märkström 125A i den aktuella kopplingsstationen. För att likna ett snabbbladdningsförlopp stängdes likriktaren av i fem minuter för att den avbrottsfria likströmsdelen skulle matas från

batterierna och urladda dem lite. När likriktaren åter sattes igång snabbbladdas batterierna en kort stund med stor ström.

Mätningarna är gjorda på den trefasiga växelströmssidan som matar likriktaren. Detta för att det var mycket enklare att mäta där men också för att kunna se hur stora förlusterna var. Likriktaren har en amperemätare vilken indikerar hur mycket likströmslasten förbrukar. Beräkningar utförs med data från bilaga 14.2 och 14.3. Jämför man den likströmseffekten mot den aktiva effekten som likriktaren förbrukar kan förlusten räknas ut (5.2)-(5.4). Förlusten är viktig att veta eftersom det är vad likriktaren förbrukar som är intressant. För att kunna räkna ut den aktiva effekten som likriktaren förbrukar måste effektfaktorn vara känd. Även den erhålls från mätning.

Likriktarens aktiva trefaseffektförbrukning vid kontinuerlig drift.

$$P_{trefas} = 3 \cdot I_f \cdot U_f \cdot \cos(\varphi) \quad (5.2)$$

Likriktarens producerade likströmseffekt vid kontinuerlig drift. Likströmsdata från bilaga 14.2.

$$P_{likström} = U \cdot I \quad (5.3)$$

Uträkning av effektförlusten i likriktaren.

$$\begin{aligned} P_{förlust} &= P_{trefas} - P_{likström} \\ \frac{P_{förlust}}{P_{trefas}} &= \% \text{ förlust} \end{aligned} \quad (5.4)$$

5.5 Sammanlagringsfaktorer

När en ny station planeras behövs bra instrument för hur eventuella reservkraftsaggregatet ska dimensioneras. Därför tas sammanlagringsfaktorer fram för att inte behöva installera aggregat dimensionerade för den högsta möjliga konsumtionen i stationen. Alla stora och viktiga komponenter i stationen tilldelas en varsin sammanlagringsfaktor mellan noll och ett, beroende på hur ofta den är i drift och hur stor del av dess maximala förbrukning som igenomsnitt används. Faktorn för varje komponent räknas fram genom hur stor del av tiden den är i drift multiplicerat med hur mycket den förbrukar av sin märkeffekt (5.5).

$$SF = \frac{t_{drift} \cdot P_{komponent}}{t_{tot} \cdot \hat{P}_{komponent}} \quad (5.5)$$

Tilldelas en komponent faktorn 1 kommer den vara aktiv hela tiden och konsumera sin maximala effekt, medan om genomsnittliga förbrukningen endast är sin halva maximala effekt eller bara är igång 50 % av tiden så tilldelas den faktorn 0,5. När alla komponenter tilldelats en sammanlagringsfaktor beräknas den sammanlagrade effekten för stationen. Säkerhetsfaktor för eventuell framtida utbyggnad läggs till i slutet.

Beslut har tagits efter många diskussioner att de laster som människan direkt påverkar på plats på stationerna kommer räknas som att delar

är igång 100 % av tiden. Alltså kommer sammanlagringsfaktorn i dessa fall baseras på hur stor del av lasten som är i drift. Detta för att man räknar med att stationen snabbt blir bemannad vid avbrott i lokalkraften som medför att dieselgeneratoren startar. Detta gäller inte för nödmatning då felet orsakats av större långvarig störning i infrastrukturen. Beslut har även tagits att 10 % extra effekt ska installeras som säkerhet och eventuell framtida utbyggnad av stationen.

Alla sammanlagringsfaktorer antas helt okorrelerade med varandra. Det är en grov uppskattning då bl.a. värmelaster normalt är korrelerade. I detta fall har det ingen stor inverkan då de största värmelasterna har tilldelats sammanlagringsfaktorn 1,0.

5.5.1 Likriktare

Likriktarlasterna är olinjära laster och kan ställa till med problem. Det finns som sagts tidigare olika typer av likriktare. Gamla tyristorlikriktare ställer till problem med övertoner om de är stora. En regel vid dimensionering är att en 3 pulstyristorlikriktare som matas från en dieselgenerator är att generatoren minst ska vara av storleken 2,5 ggr likriktarnas märkeffekt. Detta är mest kännbart vid dimensionering för nödmatning. Enligt bilaga (14.6) minskar THD med ungefär hälften om en 6 pulslrikriktare används och ytterligare med hälften om en 12 pulslrikriktare används. Det betyder att även säkerhetsfaktorn kan minskas. Bilaga 14.7 presenterar hur en dieselgenerator med subtransient reaktans på mindre än 10 % bör dimensioneras i förhållande till de olika likriktarna. De generatorer som ingår i ramavtalet klarar den reaktansen med undantag från de största [19]. Är fallet så att en stor generator måste sättas in, är likriktarlasten troligtvis så pass liten i förhållande till generatoren att övertonerna inte är ett problem.

Enligt [17] tar mindre känslig utrustning skada vid övertoner endast om varaktigheten är längre än 10 min. Snabbladdningsförloppet är bara någon enstaka minut vilket betyder att säkerhetsfaktorn inte behöver läggas på märkeffekten. Den känslig utrustning som finns på stationerna ligger efter likriktarna och påverkas inte av de genererade övertonerna. D.v.s. dimensionering kan utföras med säkerhetsfaktorn gånger sammanlagringsfaktorn på likriktaren. Trots detta måste generatoren kunna producera den effekt som krävs för den snabbladdning som sker efter att batterierna dragit ur en stund. Det är aktuellt att sekvensstarta likriktarna efter en sådan händelse för att minska det direkta effektbehovet. Tanken är då att den likriktare med störst effektbehov startar först. Observera även att vid äldre stationsbyggnader kan de lägre likpänningsnivåerna matas från egna likriktare istället för omriktare.

Ny likriktare som kallas "switchade" likriktare har inte samma problem med övertoner och en sammanlagringsfaktor har tagits fram med hjälp av mätningar. Efter flertalet avläsningar på likriktarlaster på olika stationer har det framgått att lasten ligger på max en tredjedel av märkeffekt men normalt ca 20 %. Därför är ny sammanlagringsfaktor satt till 0,2. K är säkerhetsfaktorn för att undvika stora övertoner.

Alltså:

3 puls tyristorlikriktare tilldelas sammanlagringsfaktor $SF=0,2$ $K=2,5$.

6 puls tyristorlikriktare tilldelas sammanlagringsfaktor $SF=0,2$ $K=2,5$.

12 puls tyristorlikriktare tilldelas sammanlagringsfaktor $SF=0,2$ $K=2,0$.

Switchade likriktare tilldelas sammanlagringsfaktor $SF=0,2$ $K=1,2$.

5.5.2 Kraftuttag

Dessa uttag används väldigt sällan. Det finns ofta flera utspridda i stationen och används endast vid byggnation eller underhåll av transformator och reaktor. Vid dieseldrift sker inte underhåll utan skjuts upp tills störningen är åtgärdad och sannolikheten för att underhåll sker samtidigt som en långvarig störning inträffar anses obefintlig.

Dessa uttag tilldelas numer sammanlagringsfaktor 0.

5.5.3 Motorvärmartag

Dessa uttag räknas som människopåverkade laster. Vid störning kommer personal ut och använder några uttag. Räknar här med att 20 % av uttagen används vid reservkraftdrift.

Dessa uttag tilldelas sammanlagringsfaktor 0,2.

5.5.4 Belysning

Belysningen är på endast när personal är på plats och tryckt på strömbrytaren eller om någon belysning tänts via fjärrstyrning för att personal ska kunna se vid t.ex. kameraövervakning. Detta gäller både inomhus och utomhus. Stationerna är inte ofta bemannade men vid händelse av störning kommer troligtvis personal komma till stationen inom kort. Detta gör att belysningen får en högre sammanlagringsfaktor då det är dieselaggregatet som ska dimensioneras efter dessa. Till inomhusbelysningen finns flera strömbrytare som inte är tillslagna samtidigt vilket betyder att alla lampor är inte i bruk på samma gång. Utomhusbelysningen har oftast endast en strömbrytare vilket betyder att hela belysningen anses vara tänd vid reservkraftsdrift.

Belysningen inomhus tilldelas sammanlagringsfaktorerna 0,6

Belysning utomhus tilldelas sammanlagringsfaktorerna 1,0.

5.5.5 Värme och kyla

Huruvida värme och kylarlaster är tänkta att fungera på stationer finns specificerat i stycke 3.9. Frågor som dykt upp kring HSP-brytarens tillsatsvärme är om man ska ta höjd för denna vid nöddrift. Olika argument har diskuterats i stycke 5.2 vilka alla är väl motiverade.

Vid framtida dimensioneringar kommer berörda personer kunna ta hänsyn till denna last efter egna erfarenheter och sunt förnuft. Eftersom nöddrift endast kopplas in vid större regional eller nationell störning kommer den nödkraften sättas i drift extremt sällan. Dessutom är det väldigt sällan - 25°C i södra Sverige.

Beslut har tagits att ingen separering ska göras mellan HSP-brytarens grundvärme och tillsatsvärme på befintliga stationer då det medför merkostnader för omkoppling och kabeldragning.

Värmelasterna är uppdelade i värme för kontrollbyggnad, HSP-brytarens grundvärme, HSP-brytarens tillsatsvärme, kylanläggning till t.ex. kontrollrum.

De tilldelas sammanlagringsfaktorerna:

Kontrollbyggnad: 0,4

HSP-brytarens grundvärme: 1,0

HSP-brytarens tillsatsvärme: 1,0

Kylanläggning kontrollbyggnad: 0,8.

5.5.6 Kylsystem reaktor

Kylsystemet till reaktorer och transformatorer består av pump och fläktar. Kommer här enbart ta hänsyn till reaktorns kylsystem då transformatorn inte kommer vara i drift då reservkraft behövs. Fläktar och pump kopplas till samtidigt vid behov och är TILL minst 30 minuter eller tills önskad temperatur nåtts efter att reaktorn fränkopplats.

Startströmmarna är en kritisk del av motorerna och analyseras separat.

Fläktar och pumpar till reaktorkylaren tilldelas sammanlagringsfaktorn 0,8.

5.6 Varaktighetskurvor

För att analysera lasten i stationen djupare skapades en varaktighetskurva för lasten. Genom den kan det med säkerhet tydas hur mycket effekt stationen konsumerar som minst och även hur stor del av tiden stationen konsumerar en specifik intressant effektstorlek. Utgående från lastens varaktighetskurva kan beräkningar göras för att få fram LOLP och EENS vid en eventuell dieselaggregatinstallation. En varaktighetskurva skapas genom att ändra ordningen på mätdatan till storleksordning för att sedan rotera grafen så att axlarna byter plats. Alltså y-axeln är tid och x-axeln är effekt. För att få en bra bild av varaktigheten i lasten delas varje tid i tidsaxeln med den totala tiden för mätningen.

Från en av fasströmmarna i Figur 5.3 har en varaktighetskurva skapats. Anledningen till att strömmarna analyserats är för att få med alla snabba strömtoppar som inte kom med i effektmätningen i Figur 7.1. Strömtoppen från provet på dieselgenerator har tagits bort för att efterlikna normala förhållanden. Även startströmmarna fläktarna i kylsystemet till reaktorn har tagits bort då de är stora och kortvariga och kan hanteras av generatoren trots att de är större än generatorens märkström. Detta p.g.a. att generatoren ska klara 3 ggr märkström under 10 sekunder. De mindre topparna kommer tätt och är svåra att veta vilka laster som orsakar dessa. Av de anledningarna kommer de innefattas i analysen. Strömmen har sedan räknats om till skenbar effekt genom (5.6). När ett dieselaggregat installeras fås en ny varaktighetskurva som ger en fingervisning om hur just det aggregatet påverkar balansen i det lokala systemet. Här antas att dieselaggregatet har en tillgänglighet på 100 % vid reservdrift.

$$\begin{aligned} I_{fas-Station} &= I_{fas-mätning} \cdot (600/5) \\ S_{Station} &= 3 \cdot U_{fas} \cdot I_{fas-Station} = 3 \cdot 240 \cdot I_{fas-Station} \end{aligned} \quad (5.6)$$

6 Simulering

För att få bra underlag för dimensioneringen av dieselaggregat gjordes några simuleringar. När simuleringar ska utföras måste det finnas bra och tydliga mätningar som referens, så att simuleringsresultaten blir så nära verkligheten som möjligt. Mätningar gjordes i en kopplingsstation där mätinstrumenten monterades direkt vid dieselaggregatets utgång. För att på bästa sätt efterlikna reservdrift kopplades stationens lokalkraft bort för att låta omkopplingsautomatiken automatiskt koppla in dieselaggregatet i reservdrift. Sedan kopplades reaktorns kylfläktar till och från några gånger för att få med spänningsdipparna i generatoren.

En generatormodell konstruerades utgående från [10]. Till generatormodellen kopplas en konstant effektlast och även tre asynkronmotorer via en brytare som ska representera kylfläktar och oljepump till en reaktor. Brytaren slår till motorerna samtidigt när dieselaggregatet går stabilt (bilaga 14.4).

6.1 Varaktighetskurva

När bra sammanlagringsfaktorer har arbetats fram för alla viktiga komponenter i stationen måste det finnas något bra sätt att kontrollera hur olika aggregat klarar de laster som förväntas förekomma.

I denna rapport presenteras en metod som kan vara till användning och bygger på simulerade varaktighetskurvor. Genom att jämföra slumpantal mellan noll och ett med de framtagna sammanlagringsfaktorerna för varje komponent i varje simuleringspunkt och upprepa detta ca 10000 ggr, kan en varaktighetskurva med konfidensintervall beräknas utifrån medelvärden och standardavvikelse. Räknar här med att lasterna är inte har någon som helst korrelation vilket är ett grovt men bra antagande. Eftersom det kommer att utföras 10000 iterationer behövs inga variansreduceringstekniker.

6.1.1 Exempel

Vi säger att vi har 4 komponenter i en station med sammanlagringsfaktorer som jämförs mot 4 slumpantal. Är slumpantalet lägre än sammanlagringsfaktorn tolkas det som att komponenten är i full drift vid just den mätpunkten.

$P_{Komponent1} = 500W$,	sammanlagring = 0,5	Slumpantal 1 = 0,8451
$P_{Komponent2} = 1000W$,	sammanlagring = 0,4	Slumpantal 2 = 0,3529
$P_{Komponent3} = 200W$,	sammanlagring = 0,2	Slumpantal 3 = 0,1583
$P_{Komponent4} = 700W$,	sammanlagring = 0,7	Slumpantal 4 = 0,2275

Alltså i denna mätpunkt är komponent 2-4 aktiva medan komponent 1 är inaktiv (6.1).

$$P_{Station} = P_{Komponent2} + P_{Komponent3} + P_{Komponent4} = 1900W \quad (6.1)$$

De här beräkningarna görs i ett lämpligt antal mätpunkter. I detta arbete används 2000 mätpunkter vilket gav bra resultat men ändå snabba beräkningar. Utförs dessa beräkningar 10000 ggr med alla mätpunkter kan en varaktighetskurva skapas med önskat konfidensintervall.

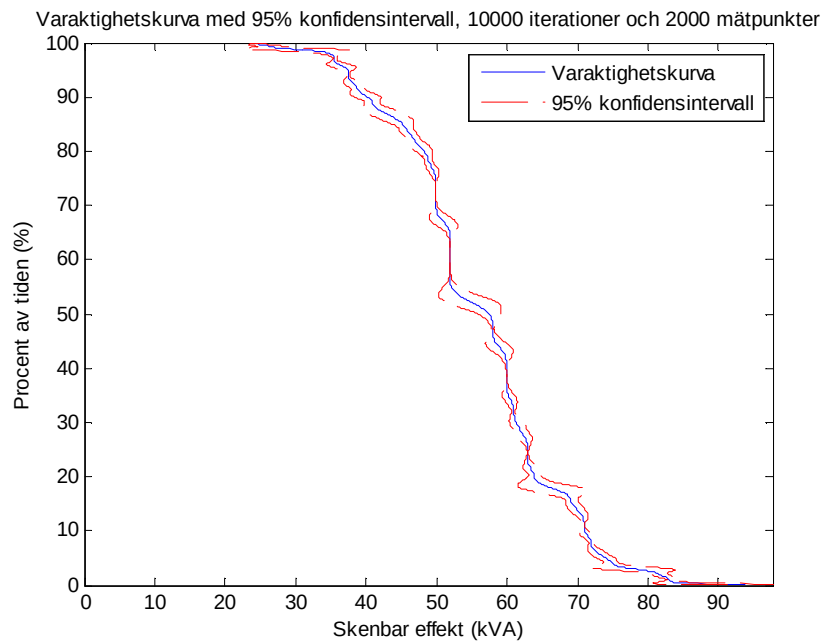
6.1.2 Simulering

Figur 6.1 visar varaktighetskurvan simulerad enligt exempel 6.1.1 utgående från de sammanlagringsfaktorer som arbetats fram i avsnitt 5.5. Tanken med simuleringen är att man ska kunna få en uppfattning av hur bra dimensioneringen av dieselgeneratormodellen blir vid en planerad station där mätresultat inte finns tillgängligt. Figur 6.1 visar medelkurvan av alla 10000 kurvor och det 95 procentiga konfidensintervallet. Eftersom slumpantal genereras olika varje gång simuleringen körs kommer konfidensintervallet att skilja sig något varje gång. Därför kommer hela simuleringen köras 100 ggr och därur få en varianskoeficient för konfidensintervallet i varje tidpunkt (Figur 6.2).

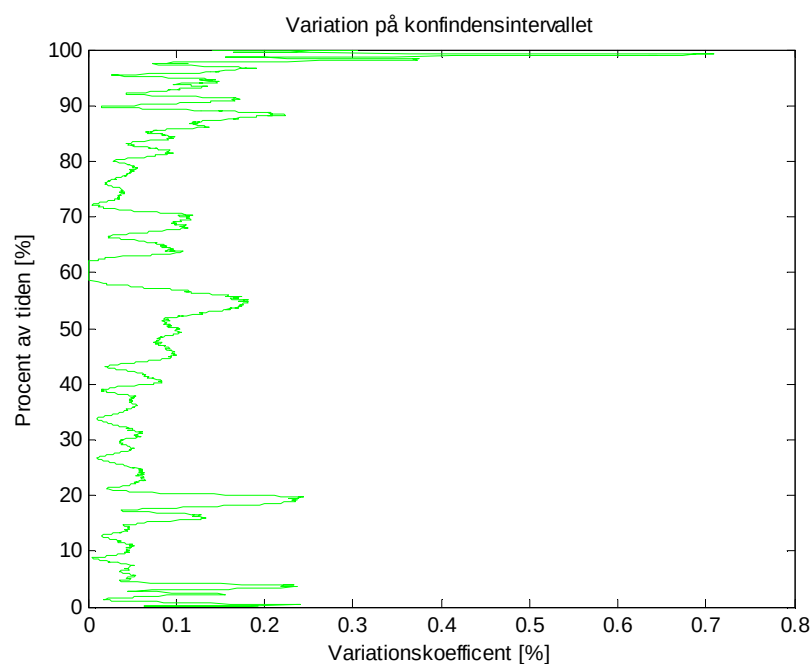
Det 95 procentiga konfidensintervallet räknas ut genom (6.2) där $\bar{x}_k$ är medelvärdet för alla kurvor i mätpunkt k och Std_k är standardavvikelsen för alla kurvor i mätpunkt k. Z är ett tabellvärde som bestämmer hur säkert konfidensintervallet är. I detta fall är $Z=1.96$ och representerar ett intervall med en säkerhet på 95 %.

$$Intervall_k : \bar{x}_k \pm Z \cdot Std_k \quad \text{där } k = 1, 2, 3, \dots, 2000 \quad (6.2)$$

Medelvärdet för varje mätpunkt plottas tillsammans med det 95 procentiga konfidensintervallet. Grafen visas i Figur 6.1.

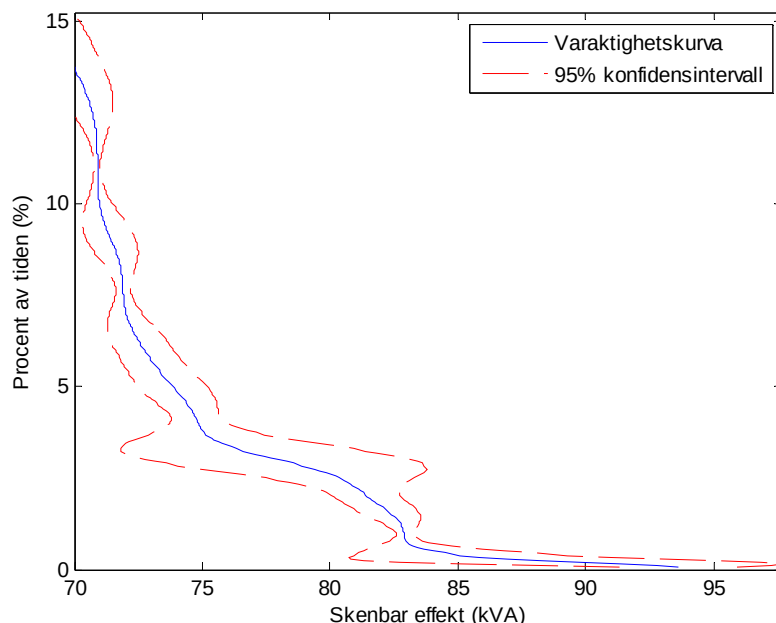


Figur 6.1 Varaktighetskurva med konfidensintervall från simulering.



Figur 6.2 Konfidensintervallets varians efter 100 simuleringar.

Varaktighetskurva med 70kVA diesel 100% tillgänglighet => EENS=599.4905VA LOLP=13.75%



Figur 6.3 Varaktighetskurva med konfidensintervall från simulering efter att ett 70kVA dieselaggregat installerats.

Kan här se att med en dieselgenerator på 70 kVA installerad fås en EENS på nästan 600 VA och en LOLP på 13,75 %. Den övre konfidensgränsen genererar högre resultat men i detta fall borde generatorvalet vara det samma. Dessa resultat är bra med tanke på att de är snabba toppar i lasten som ger upphov till större maxlast. En generator på 70 kVA klarar troligtvis även dessa toppar.

6.2 Generatormodell

Modellen är skapad i Simulink i Matlab utgående från [10]. Generatoren är modellerad som en dieselmotor kopplad till en synkronmotor i generatordrift via två olika reglersystem som reglerar spänningsnivån respektive rotorhastigheten. Tidskonstanter och reaktanser för generatorns dynamik ställdes in hämtat från generatorns produktblad [12]-[15]. Styrsystemet är direkt taget från [10] och verifieras genom att jämföra mot mätningar.

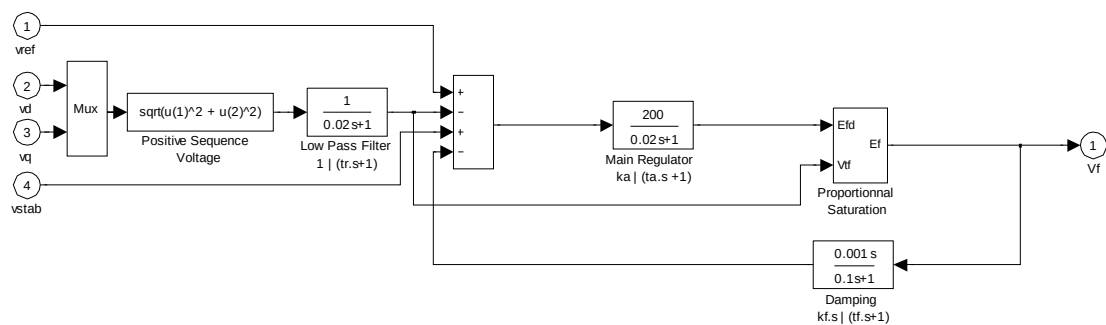
De parametrar som ändras i generatorns dynamik är:

Tabell 6.1 Parametrarna som ändras i generatormodellens dynamik.

Parameter	Beteckning
d-axelns synkrona reaktans	X_d
d-axelns transienta reaktans	X'_d
d-axelns subtransienta reaktans	X''_d
q-axelns synkrona resistans	X_q
q-axelns transienta reaktans	X'_q
d-axelns transienta tidskonstant	T'_d
Open circuit field time constant	T''_{q0}

6.2.1 Spänningsregulatorn

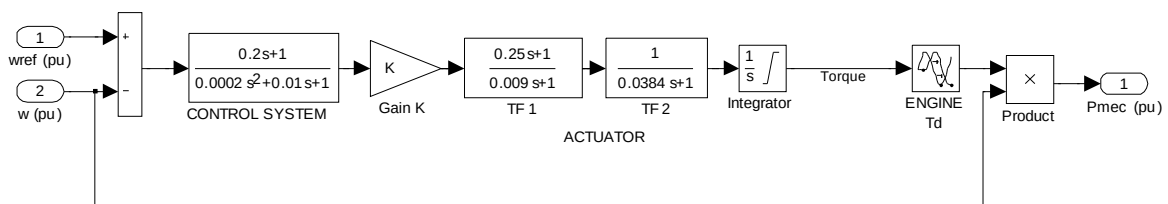
Spänningsregulatorn i Figur 6.4 är uppbyggd med en önskad terminalspänning och den verkliga terminalspänningen som insignal. Det finns även en ingång för PSS (Power System Stabilizer) men används inte i denna modell. Istället används en separat funktion för dämpning vilken bl.a. ska stoppa bidrag från frekvensvariationer i jämviktsläge. Terminalspänningen går igenom en omvandlare vilken representerar fördröjningen p.g.a. mätningar, likriktning och filtrering. Den verkliga terminalspänningen och dämpningen subtraheras från den önskade terminalspänningen för att sedan regleras via en funktion som har både en tidskonstant för en styrfunktion och en förstärkning. Spänningen regleras där till den fältspänning som behövs för att terminalspänningen ska stabiliseras. Fältspänningen begränsas för att förhindra skador på generatoren.



Figur 6.4 Modell av reglersystemet för generatorns spänning i Simulink.

6.2.2 Frekvensregulatorn

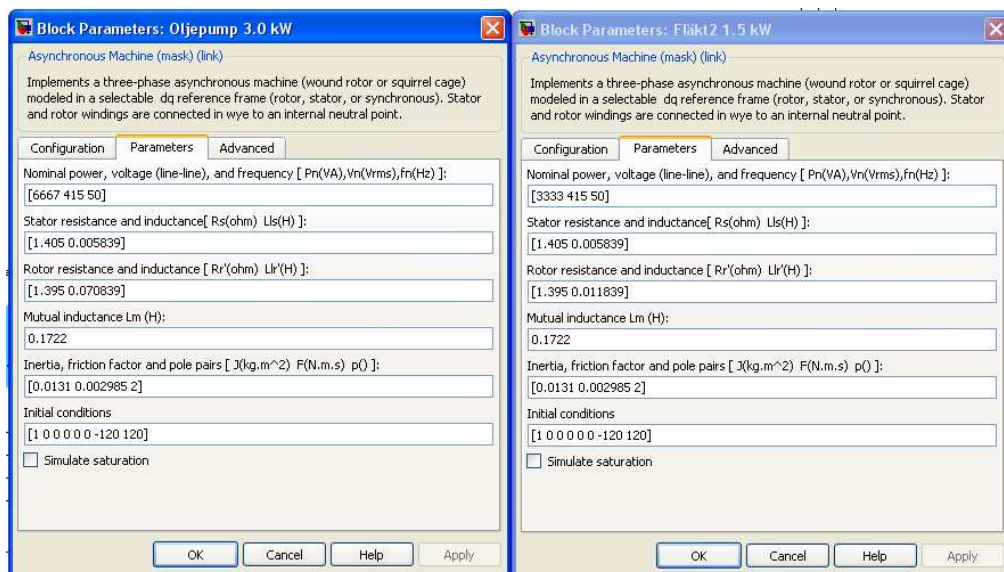
En dieselgenerators frekvensregulator reglerar rotorhastigheten i generatoren. Insignal är skillnaden i vinkelhastighet mellan den önskade och den verkliga rotorhastigheten. En fördröjning är inlagd för att simulera en dieselmotors tid från att spruta in mer bränsle till att öka hastigheten.



Figur 6.5 Modell av reglersystemet för rotorhastigheten i Simulink.

6.3 Motormodell

Motorerna som representerar reaktorns kylsystem är modellerade genom Simulinks egna 4kW synkronmotor med squirrel-cage rotor som grund. Modellen anpassas sen för att simuleringarna ska passa de mätningar som gjort för att den ska stämma med verkligheten så mycket som möjligt. Motorernas parametrar syns i Figur 6.6.



Figur 6.6 Motormodellernas parametrar i Simulink.

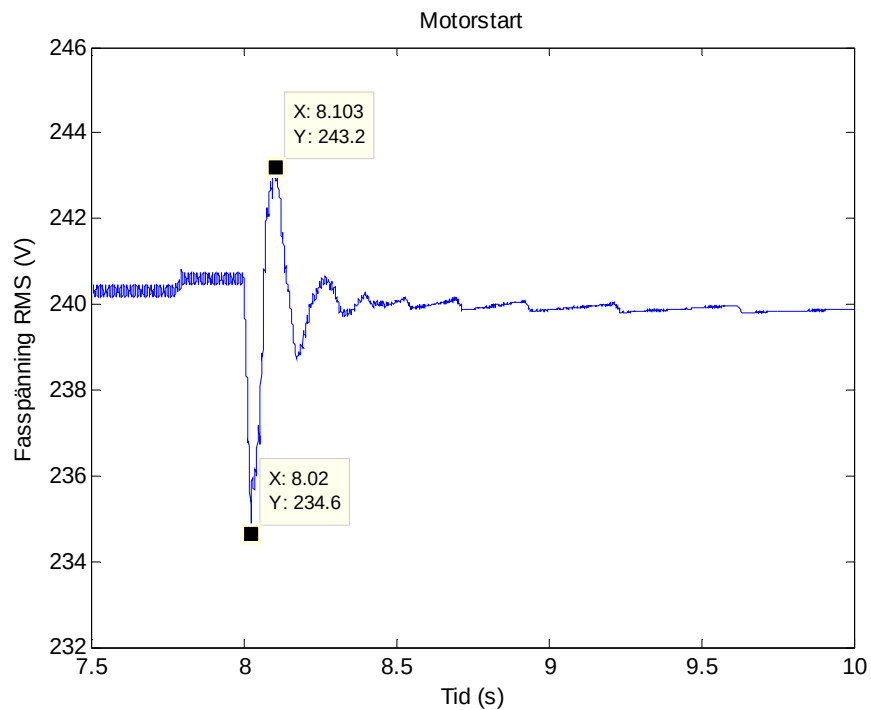
6.4 400kVA generator

Simuleringar utfördes med den generatormodell som skapats. Parametrar från datablad ställdes in på generatormodellen för att representera 400kVA generatoren på plats i kopplingsstationen. Parametrar som användes var.

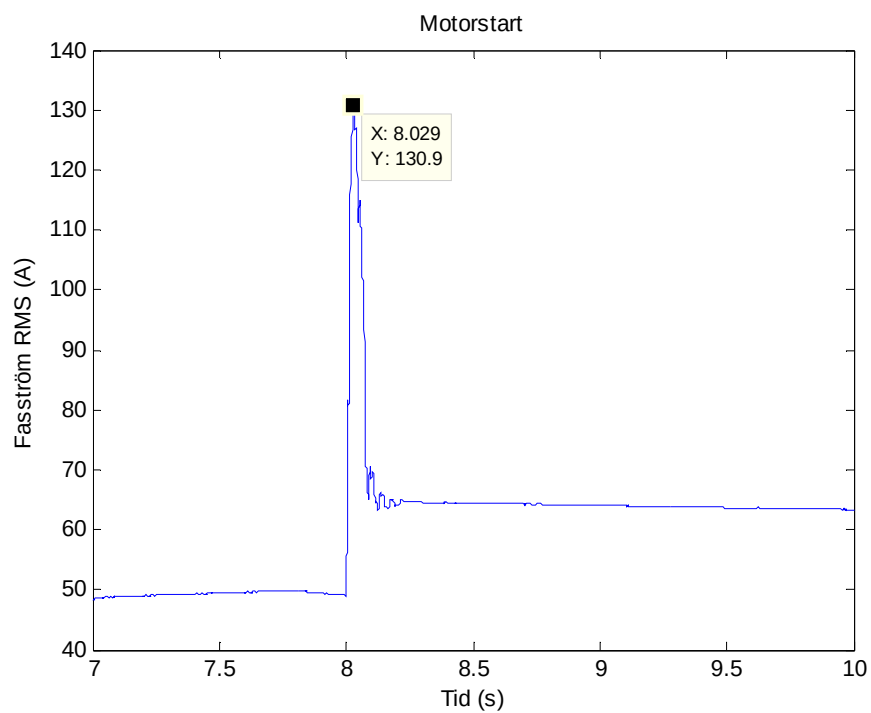
Tabell 6.2 Generatorparametrar med 400kVA och 240V fasspänning

Reaktans	Tidskonstant	Nominell effekt	Nominell fasspänning	Fabrikat
$X_d=2,28 \text{ p.u}$	$T'd=0,08\text{s}$	400 kVA	240 V	Stamford
$X'd=0,15 \text{ p.u}$	$T''d=0,019\text{s}$			
$X''d=0,11 \text{ p.u}$	$T''q=1,7\text{s}$			
$X_q=1,97 \text{ p.u}$				
$X''q=0,26 \text{ p.u}$				

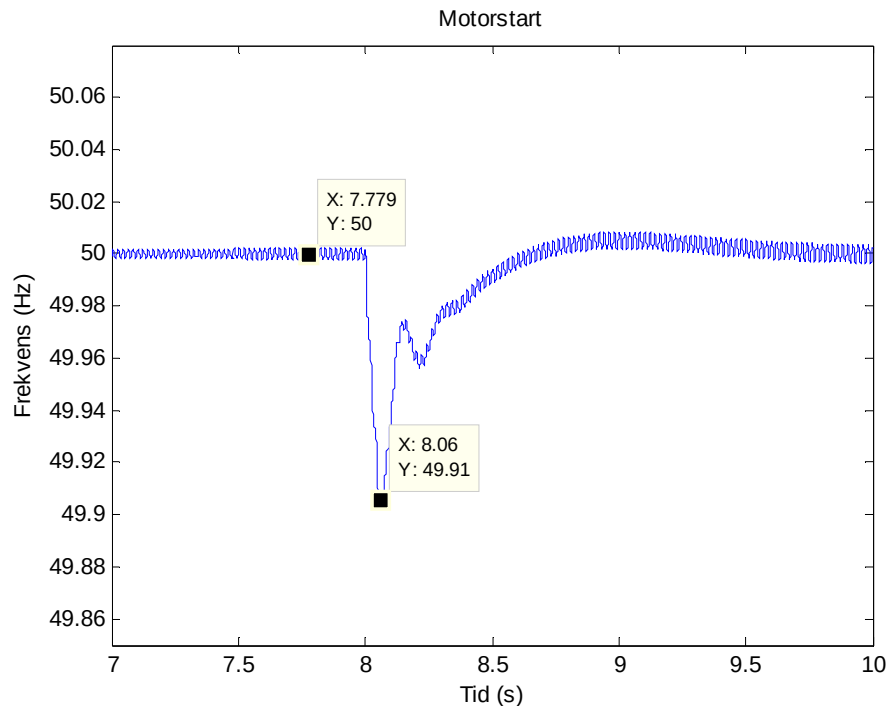
För att verifiera att modellen är bra jämfördes simuleringsresultatet med de mätningar som gjorts på dieselgeneratoren vid stationen. Spänningen sjunker momentant vid ett stort lasttillslag i ett svagt nät. Ett exempel på det är när kylsystemet till reaktorn startar. Denna sekvens var möjlig att mäta och passade bra att jämföra mot simuleringar. Figur 6.7 visar den simulerade spänningsdippen som uppstår när kylsystemet till reaktorn startar. Jämförs den med Figur 7.7 från mätningarna kan man se att spänningen sjunker till samma nivå. Även fasströmmarnas toppar från simuleringen (Figur 6.8) stämmer bra överens med mätningarna (Figur 7.6).



Figur 6.7 Den simulerade spänningsvariationen från en 400kVA Stamford dieselgenerator när reaktorns kylsystem startar.



Figur 6.8 Simulering av den genererade startströmmen från en 400kVA Stamford dieselgenerator till reaktorns kylsystem.



Figur 6.9 Den simulerade frekvensen med en 43kVA generator vid start av kylsystem till reaktor.

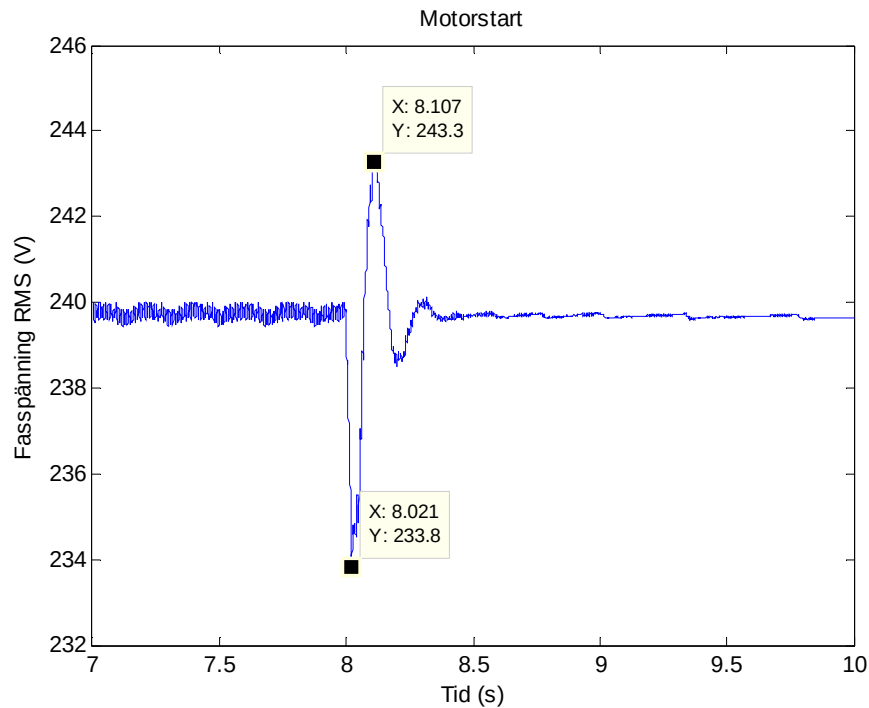
6.5 370kVA generator

Utifrån samma modell ställdes parametrar in för den 370kVA Leroy Somer generator som finns med i SvKs ramavtal [19].

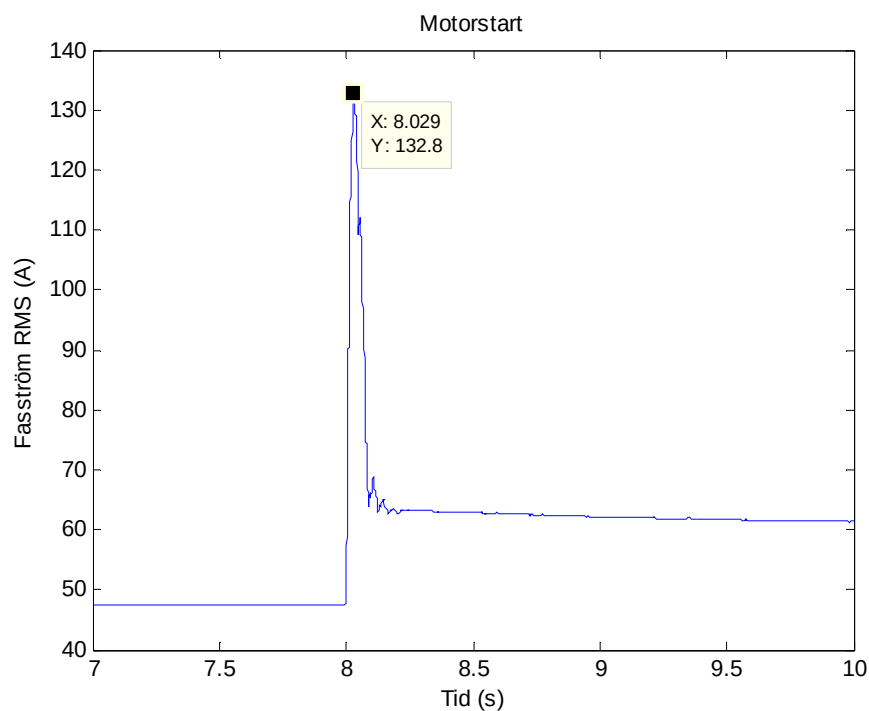
Tabell 6.3 Generatorparametrar med 370kVA och 240V fasspänning

Reaktans	Tidskonstant	Nominell effekt	Nominell fasspänning	Fabrikat
$X_d=3,22$ p.u	$T'd=0,1$ s	370 kVA	240 V	Leroy Somer
$X'd=0,173$ p.u	$T''d=0,01$ s			
$X''d=0,121$ p.u	$T''q0=1,855$ s			
$X_q=1,93$ p.u				
$X''q=0,163$ p.u				

Ser i Figur 6.10 och Figur 6.11 att generatorn från ramavtalet i samma storleksordning klarar motorstarten bra. Den enda skillnaden är att den här simuleringen är något stabilare vilket kan bero på att Stamford-generatorn som nu står vid stationen är mycket äldre.



Figur 6.10 Den simulerade spänningsvariationen från 370kVA Leroy Somer dieselgenerator när reaktorns kylsystem startar.



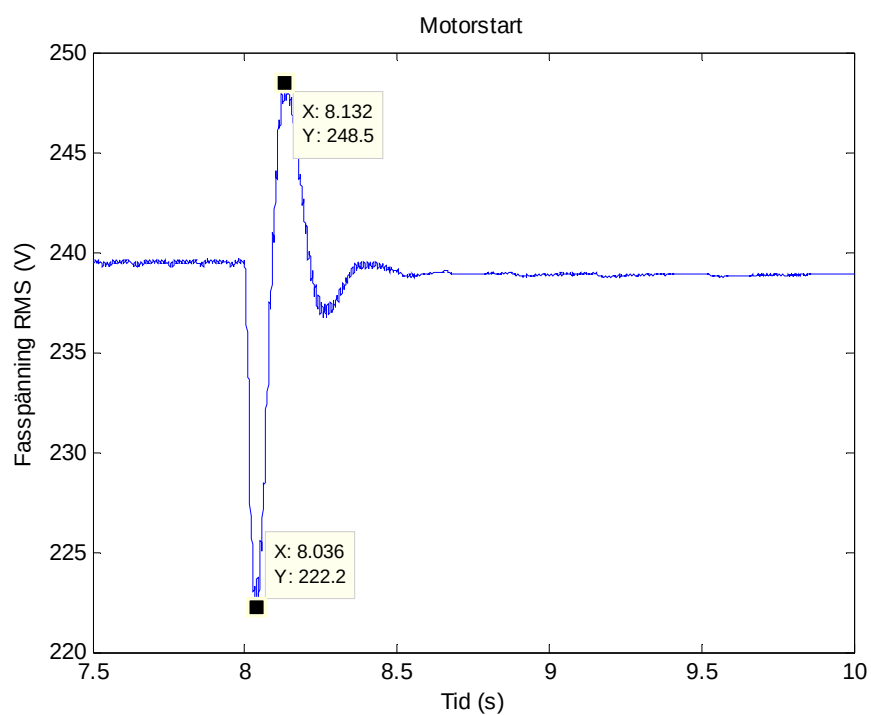
Figur 6.11 Simulering av den genererade startströmmen från en 370kVA Leroy Somer dieselgenerator till reaktorns kylsystem.

6.6 95kVA generator

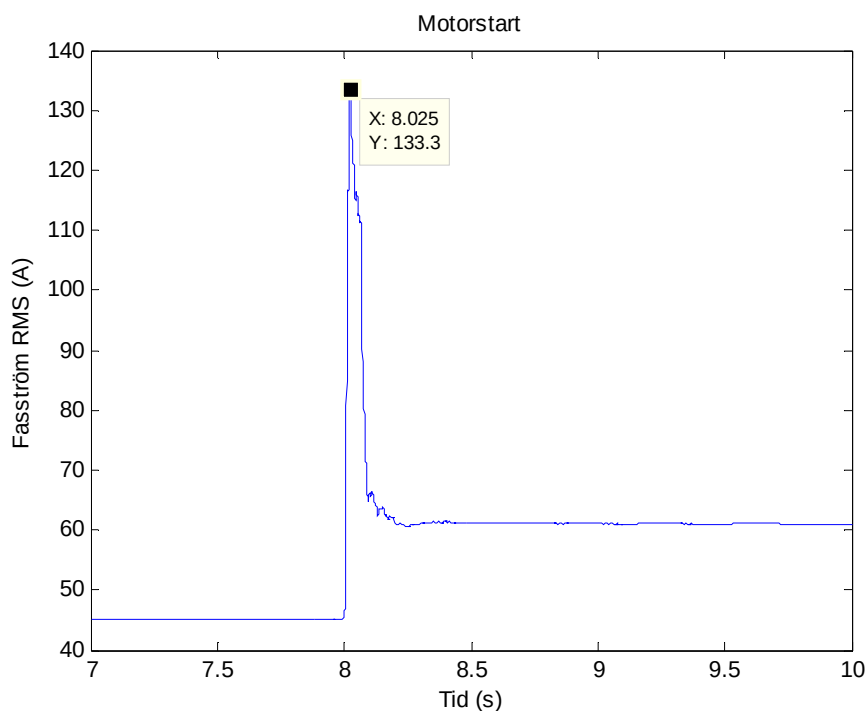
Utifrån samma modell ställdes parametrar in för den 95kVA Leroy Somer generator som finns med i SvKs ramavtal [19]. Kan i Figur 6.12 och Figur 6.13 se att även en 95kVA generator klarar motorstarterna bra.

Tabell 6.4 Generatorparametrar med 95kVA och 240V fasspänning

Reaktans	Tidskonstant	Nominell effekt	Nominell fasspänning	Fabrikat
$X_d=3,11 \text{ p.u}$	$T'_d=0,1\text{s}$	95 kVA	240 V	Leroy Somer
$X'_d=0,121 \text{ p.u}$	$T''_d=0,01\text{s}$			
$X''_d=0,073 \text{ p.u}$	$T''_{q0}=2,555\text{s}$			
$X_q=1,86 \text{ p.u}$				
$X''_q=0,089 \text{ p.u}$				



Figur 6.12 Den simulerade spänningsvariationen från 95kVA Leroy Somer dieselgenerator när reaktorns kylsystem startar.



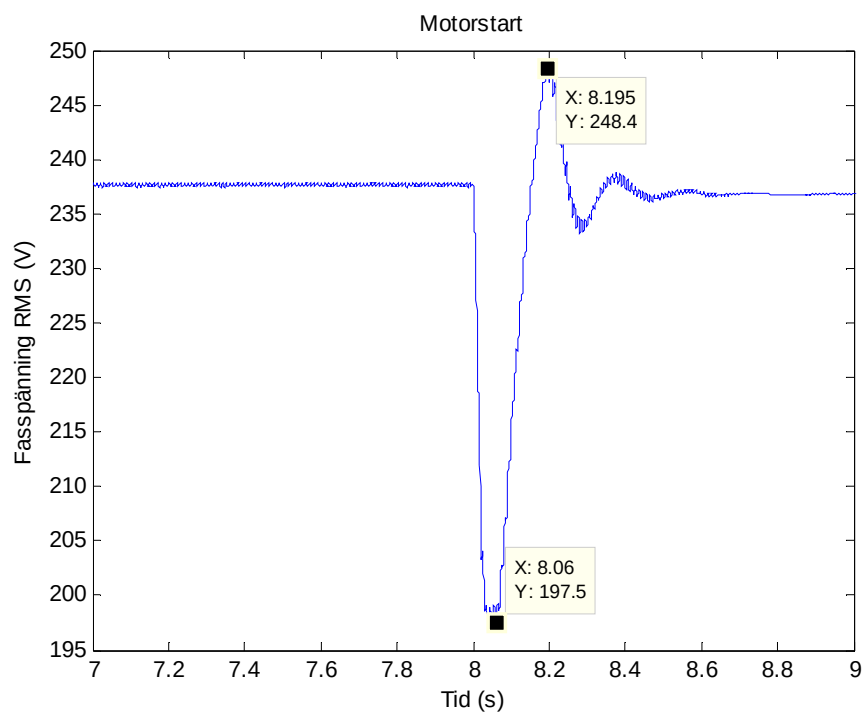
Figur 6.13 Simulering av den genererade startströmmen från en 95kVA Leroy Somer dieselgenerator till reaktorns kylsystem.

6.7 43kVA generator

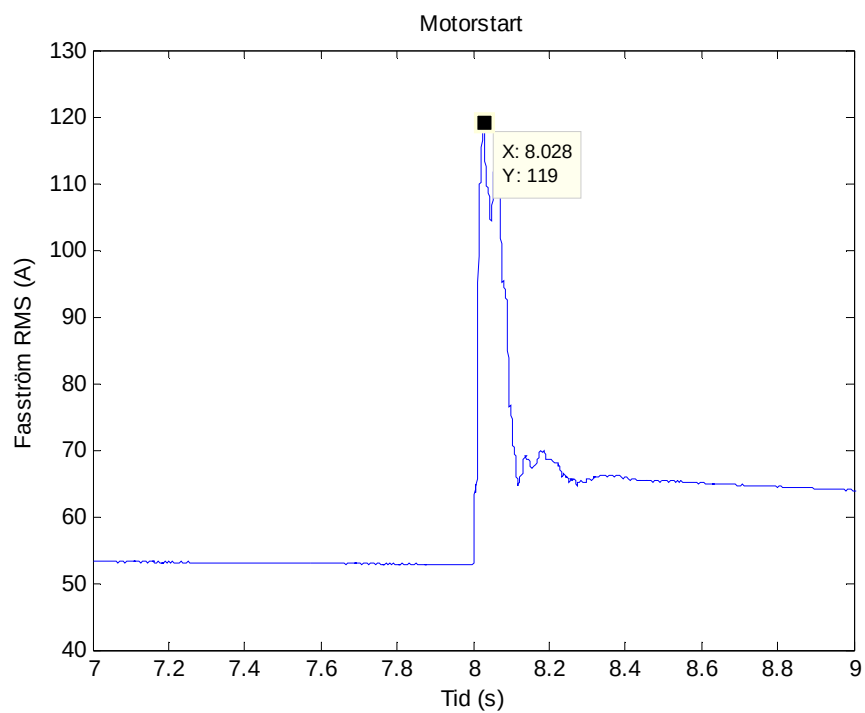
Tabell 6.5 Generatorparametrar med 43kVA och 240V fasspänning

Reaktans	Tidskonstant	Nominell effekt	Nominell fasspänning	Fabrikat
$X_d=2,97 \text{ p.u}$	$T'_d=0,05\text{s}$	43 kVA	240 V	Leroy Somer
$X'_d=0,131 \text{ p.u}$	$T''_d=0,005\text{s}$			
$X''_d=0,065 \text{ p.u}$	$T''_q=1,131\text{s}$			
$X_q=1,78 \text{ p.u}$				
$X'_q=0,082 \text{ p.u}$				

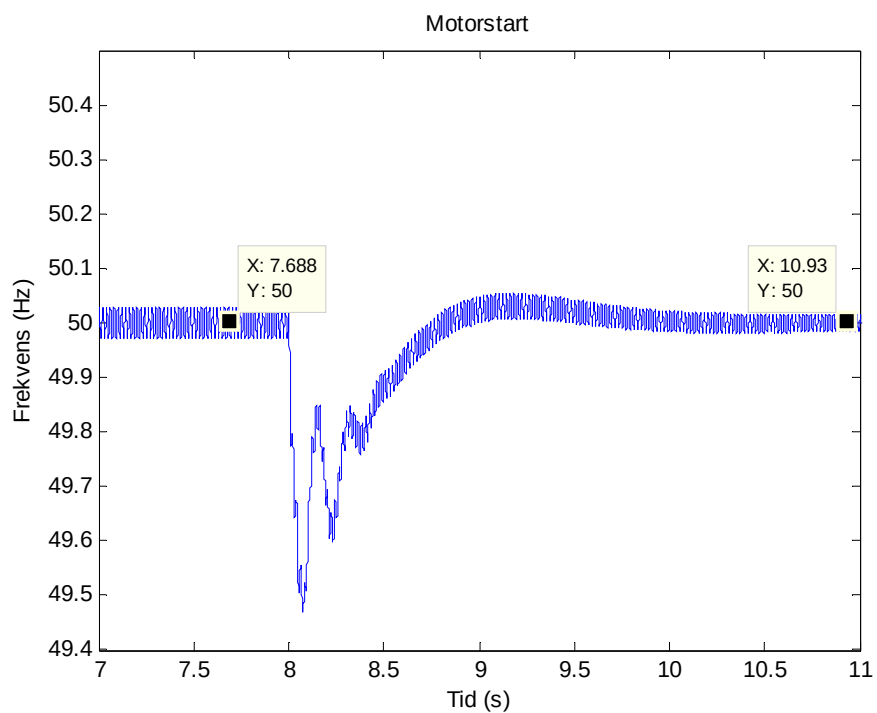
Kan se i Figur 6.14 - Figur 6.16 att även en generator på 43kVA från Leroy Somer klarar motorstarterna. Det överensstämmer även med uppgifter från dess datablad, där den ska kunna generera en motorstartseffekt på 135kVA. Det står dock att den ska klara det på en transient spänningsdipp med 50 %. I simuleringen blir den spänningsdippen ca 20 %. Skillnaden kan bero på modellfel. Hursomhelst borde 43kVA generatoren vara för liten och borde inte klara en lite ökning av den kontinuerliga lasten. Kan se i Figur 6.17 - Figur 6.19 att nätet blir instabilt vid en ökad kontinuerlig last från 30kW till 44kW och generatoren orkar inte hålla frekvensen.



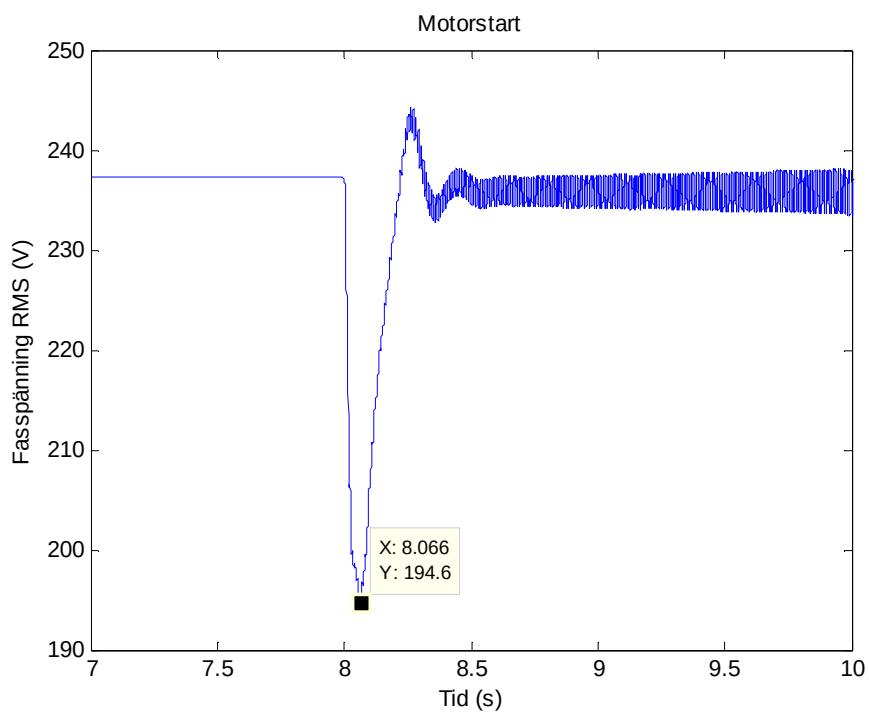
Figur 6.14 Den simulerade spänningsvariationen från 43kVA Leroy Somer dieselgenerator när reaktorns kylsystem startar.



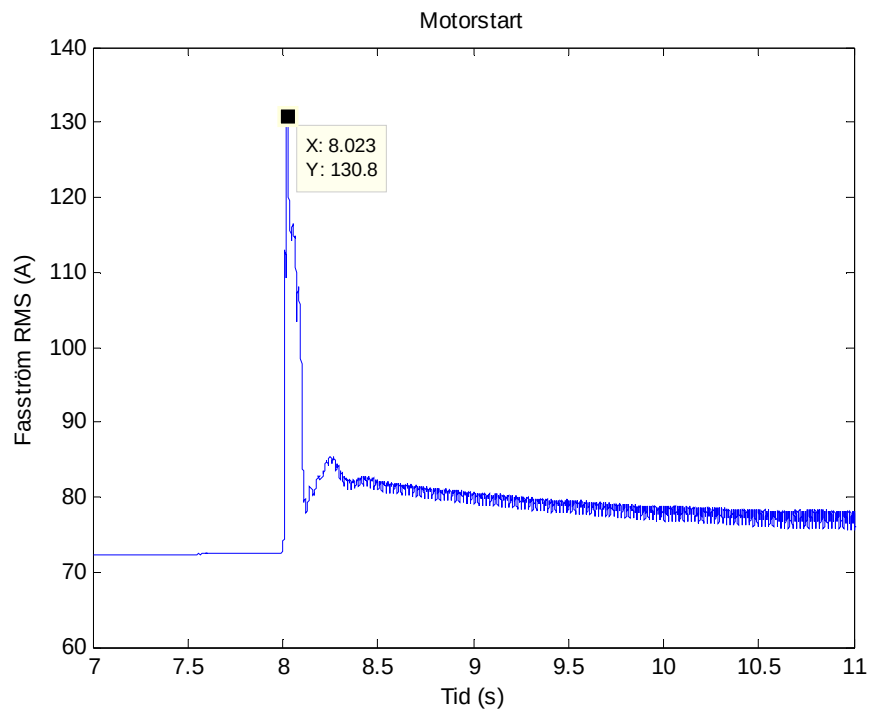
Figur 6.15 Simulering av den genererade startströmmen från en 43kVA Leroy Somer dieselgenerator till reaktorns kylsystem.



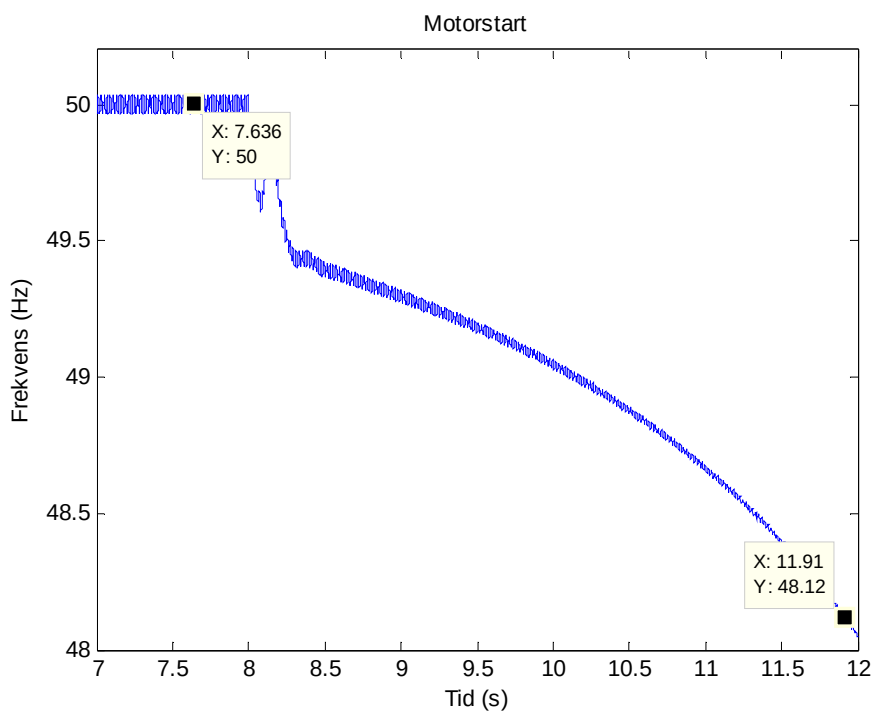
Figur 6.16 Den simulerade frekvensen med en 43kVA generator vid start av kylsystem till en reaktor.



Figur 6.17 Den simulerade spänningsvariationen från 43kVA Leroy Somer dieselgenerator när reaktorns kylsystem startar, med förhöjd kontinuerlig last.



Figur 6.18 Simulering av den genererade startströmmen från en 43kVA Leroy Somer dieselgenerator till reaktorns kylsystem, med förhöjd kontinuerlig last.

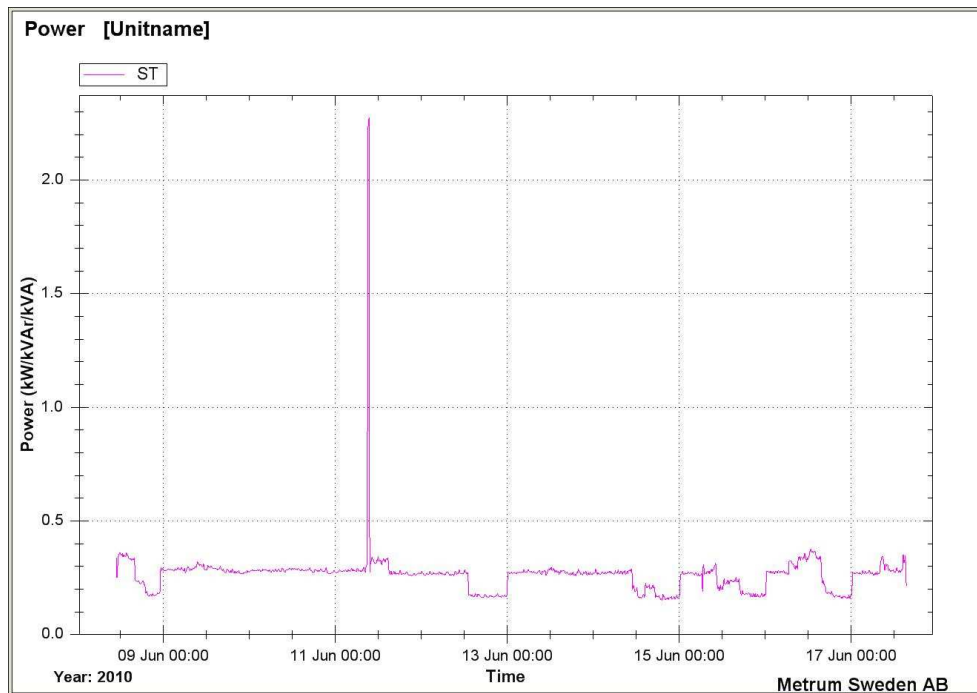


Figur 6.19 Den simulerade frekvensen med en 43kVA generator vid start av kylsystem till reaktor, med förhöjd kontinuerlig last.

7 Fallstudier

7.1 En typisk kopplingsstation

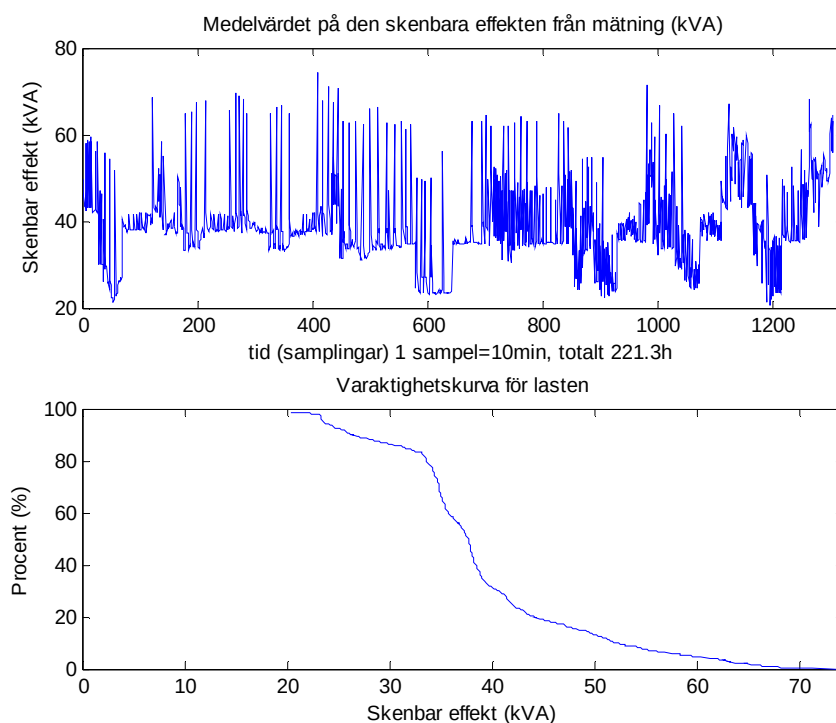
Tidigare förklarades att överdimensioneringen av dieselaggregatet tydligt framkom från lokalkraftens fasströmmar. Faktum är att dieselaggregatet inte körs för fullt vid testtillfället utan har i själva verket märkeffekten 400kVA. Enligt mätdata på lokalkraftens skenbara effekt (Figur 7.1) har testet utförts med en effekt på ca 300kVA vilket överensstämmer med statusbedömningsrapporten från testet [5].



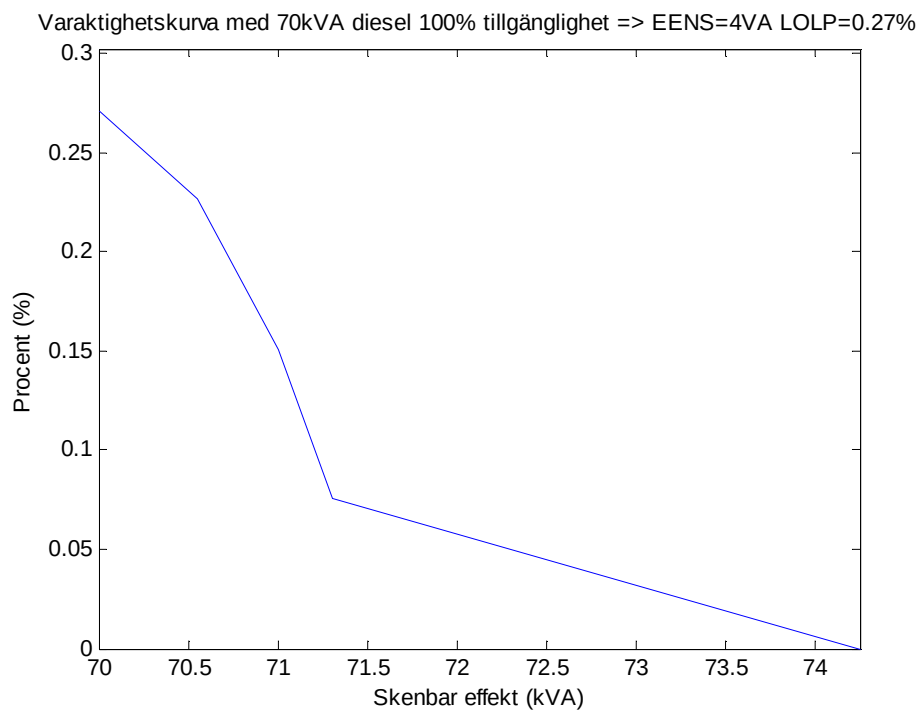
Figur 7.1 Lokalkraftens skenbara effekt över tiden. Toppen kommer av dieselaggregatets test. (Mätning gjord på sekundärström 600/5A).

Nu när det finns tillgänglig mätdata är det intressant att i detta enskilda fall undersöka hur dimensionering skulle kunna göras om ett nytt aggregat skulle köpas in. I figuren ovan kan det utläsas att lokalkraftförbrukningen mestadels ligger runt 36kVA. De lägre värdena representeras av när kylfläktarna och pumpen till reaktorn inte är i drift. Effektbehovet vid start av dessa fläktar framgår inte av bilden då endast medelförbrukningen vid varje tidpunkt är plottad, därav syns inga toppvärden, men från Figur 5.3 kan effekttopparna räknas fram från strömmarna. Fasströmmarna för stationen gjordes om till en varaktighetskurva för att snabbt få en bild på hur mycket effekt stationen kräver. Figur 7.2 visar lastens strömmar med topparna från reaktorns motorstarter borttagna då det är den kontinuerliga lasten som ger den intressanta varaktighetskurvan. Figur 7.3 visar hur varaktighetskurvan ser ut efter att ett 70 kVA dieselaggregat installerats. Kan se att det är ca 0,27 % sannolikhet att lasten överstiger 70 kVA, d.v.s. den sannolikheten att man inte kan leverera den effekt som krävs (LOLP). Från figuren kan även beräkningar göras för att få fram hur stor den förväntade energin som inte kan levereras blir (EENS), då med sannolikheten inräknad. I det här fallet blir EENS ungefär 4 VA. Mätningarna är gjorda under sommaren och höjd bör tas för mer last i form av värmelaster. Varaktighetskurvan kan jämföras med den

simulerade. Den simulerade kurvan sträcker sig mot en högre effekt och ger större LOLP och EENS. Detta är p.g.a. att den tar hänsyn till hela året och mer värmelaster är inräknade.

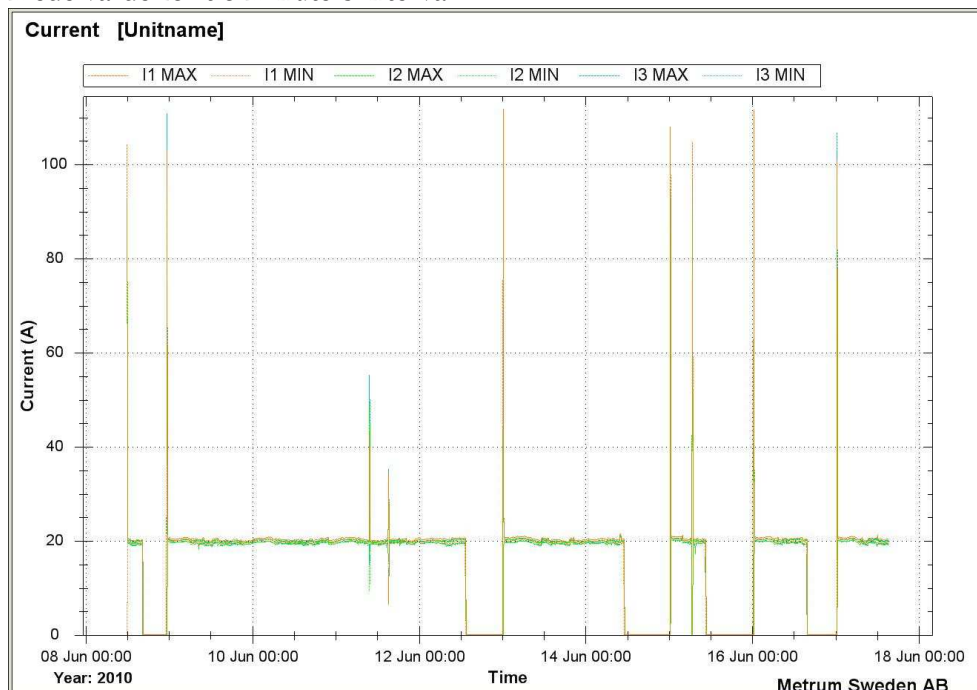


Figur 7.2 Stationens last över tiden (övre) och dess varaktighetskurva (nedre).

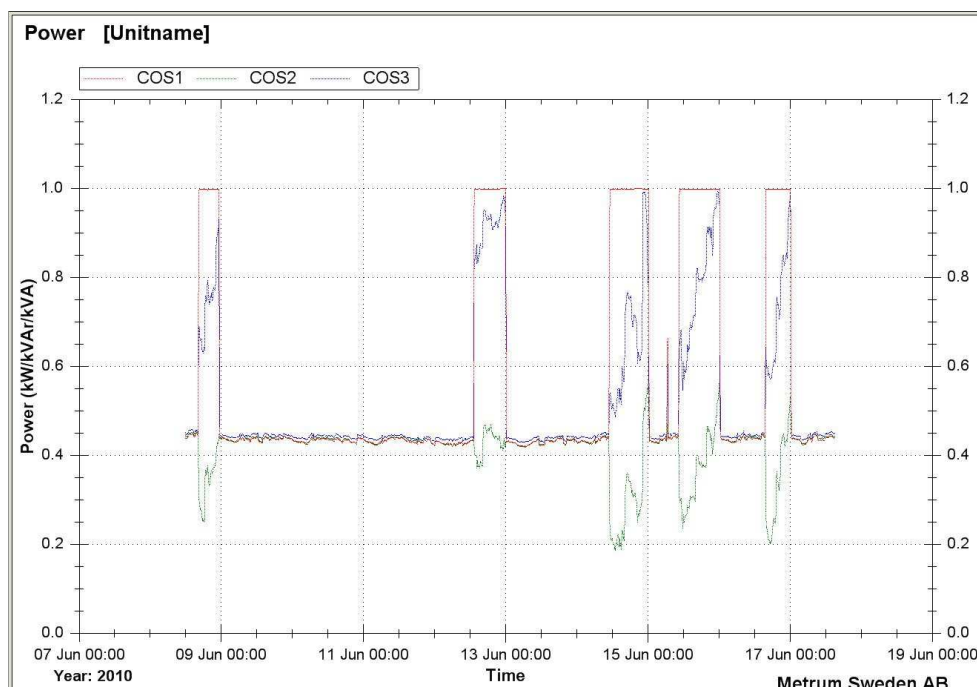


Figur 7.3 Varaktighetskurva med efter att ett 70 kVA dieselaggregat installerats.

Kylfläktarnas startströmmar och driftström syns tydligare vid den andra mätpunkten vid kylsystemets säkringar (Figur 7.4). I Figur 7.5 syns det hur effektfaktorn ser ut för kylsystemet. Den är i detta fall ungefär 0,45 vilket betyder att det är den reaktiva effekten som är dominerande. Vid start kan effektfaktorn ändras men det går inte att se från mätningarna då grafen visar ett medelvärde för tio minuters intervall



Figur 7.4 Reaktorkylfläktarnas fasströmmar över tiden.



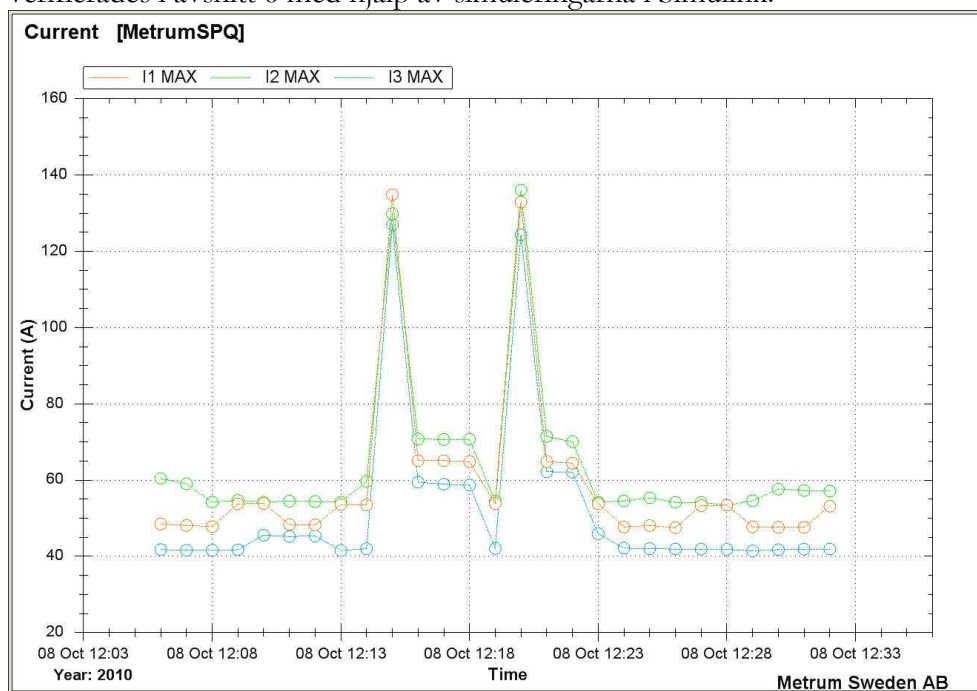
Figur 7.5 Effektfaktorn för kylsystemet till reaktorn.

Om den största toppen efter "dieseltoppen" är utgångspunkt och räknar med att alla tre fasströmmar är lika stora vilket är en bra approximation fås den skenbara effekten enligt (5.1) till 129,6kVA.

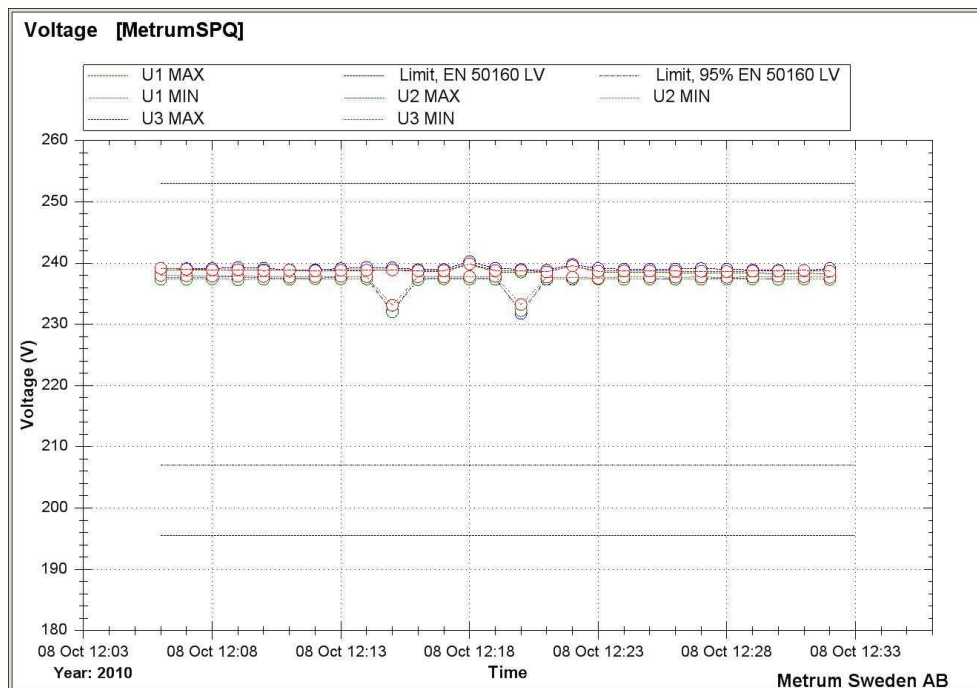
Resultatet av (5.1) är det maximala lokalkraftsbehovet som uppnåtts under mätningarna. Den är 32.4 % av generatorns märkeffekt och överdimensioneringen är då på en faktor tre. Självklart behövs viss säkerhetsmarginal och i vissa fall överflödigt installerad effekt för eventuella framtida utbyggnader av stationen, men den marginalen brukar vara på en faktor två [3].

Denna beräkning behöver nödvändigtvis inte vara helt korrekt då effektfaktorn skiljer sig något mellan motorstart och vanlig drift. Hur mycket som skiljer beror på motorstorleken (Figur 7.10). Dessutom ska en generator med de krav på spänning som SvK har klara strömtoppar som är 133 % av märkeffekt. Mer beräkningar presenteras i stycke 7.1.2.

Efter dessa mätningar är det tydligt att startströmmar är ett fenomen som måste testas ihop med dieselgeneratoren. Nya mätningar gjorde för att kontrollera hur spänningen från dieselgeneratoren påverkas av dessa startströmmar. Förväntningen var att den inte skulle påverkas särskilt mycket då generatoren på plats är väldigt stor, men förhoppningarna var att kunna se en liten spänningssänkning vid startsekvensen. Figur 7.6 och Figur 7.7 visar att startströmmarna beter sig likadant som när lokaltransformatorn matade nätet. Skillnaden är att spänningen får en liten dipp vid motorstartsekvensen. P.g.a. att generatoren är så stor är denna spänningsavvikelse väldigt liten och kraven på 20 % tillgodoses utan problem. Man får dock en fingervisning på att spänningen kommer att avvika ännu mer med en mindre generator och det verifierades i avsnitt 6 med hjälp av simuleringarna i Simulink.



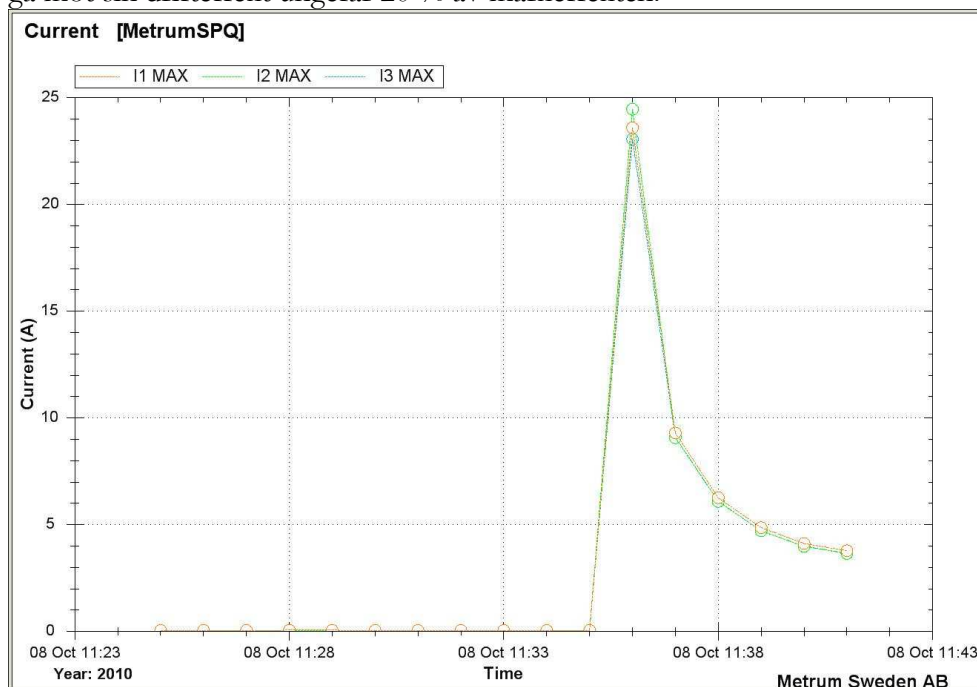
Figur 7.6 Fasströmmarna från dieselgeneratoren vid en kopplingsstation när kylsystemet till reaktorn slagits TILL och FRÅN två ggr. Bilden visar maxvärden mellan en minuts intervall.



Figur 7.7 Spänningen från dieselgeneratoren vid en kopplingsstation när kylsystemet till reaktorn slagits till och från 2 ggr. Bilden visar max- och minvärden mellan en minuts intervall.

7.1.1 Likriktarna

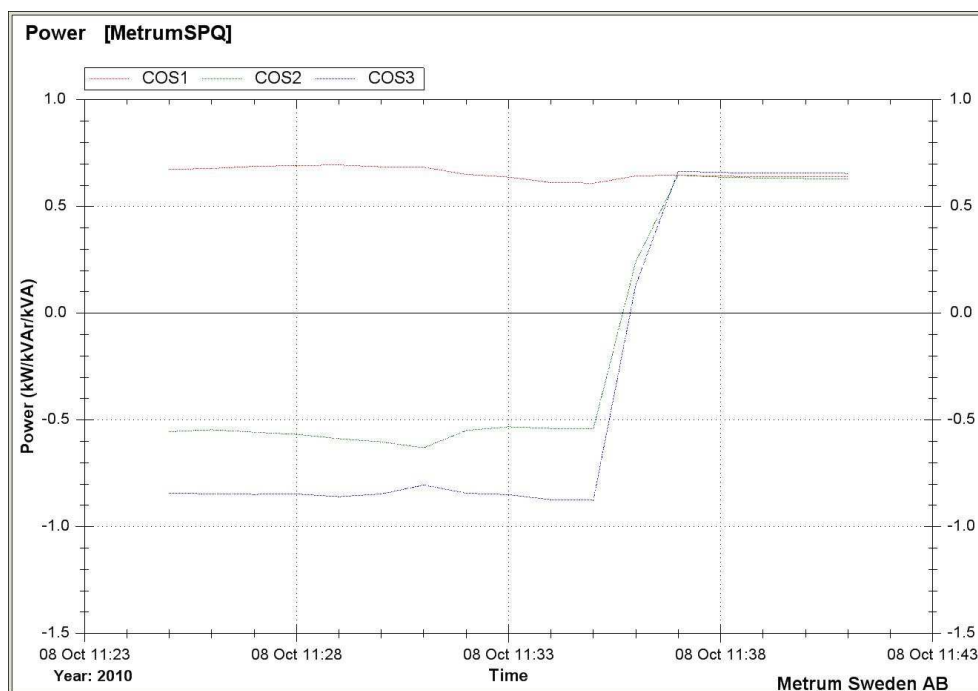
Figur 7.8 visar snabbladdningsförloppet som sker efter att batterierna laddats ur i fem minuter. Ser att den förbrukar märkeffekt en kort stund för att sedan gå mot sin drifteffekt ungefär 20 % av märkeffekten.



Figur 7.8 Fasströmmarna till en 48V likriktare med märkström 125A vid snabbladdning. Bilden visar maxvärden mellan en minuts intervall.

I Figur 7.9 syns tydligt att effektfaktorn för likriktarens förbrukning går mot ett stabilt värde på ca 0,62. Med hjälp av den och fasströmmarna i Figur 7.8 kan

enkelt den aktiva effektförbrukningen räknas ut till 1607W enligt ekvation (5.2). Den effekten behövs för att med hjälp av ekvation (5.3) och (5.4) räkna ut hur stor förlust det blir i likriktarna. Beräkningarna ger en förlust på 25 % i likriktarna.



Figur 7.9 Effektfaktorn för snabbbladdningssekvensen i likriktaren.

Får här fram att förlusten i likriktaren är 25 % med effektfaktorn 0.62 vilket även överensstämmer ganska bra med typtester som likriktartillverkaren Benning gjort (bilaga 14.5). I bilaga 14.6 framgår att förlusten minskar för likriktare med högre spänning vilket är bra att känna till då det är högre spänningar som är dominerande i SvKs stationer.

7.1.2 Dimensionering

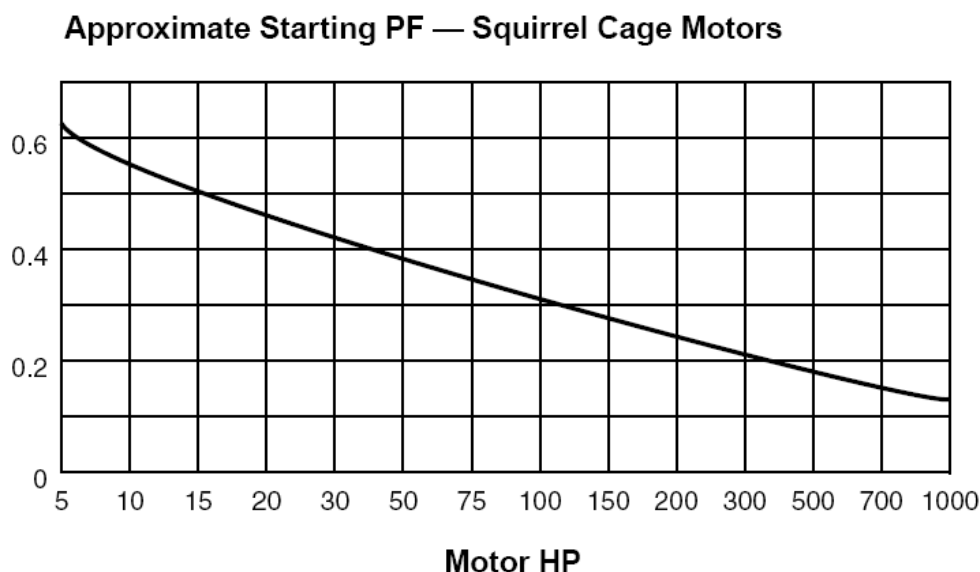
Startströmmarna är stora momentana lasttillslag och kan ställa till problem för ett dieselaggregat. Startströmmarna i kopplingsstationen kommer här analyseras noggrannare och undersökas vilken dieselgenerator som klarar av lasttillslagen. Kan se i Figur 7.10 att de motorer som genererar startströmmar i detta fall har en hög effektfaktor vid start. Sätter den till $\cos\phi_i=0,6$ vid start.

Tabell 7.1 Tabellvärden tagna från avläsning av likriktarlast, mätdata och märkdata.

Lasttyp	Märkeffekt (kW)	Drifteffekt
Direktstartat kylsystem	6,5	6,5kW
Likriktare LR1A	5,5	1,05kW* (0,84kW**)
Likriktare LR1B	5,5	0,0kW
Likriktare LR8A	6,0	1,5kW* (1,2kW**)
Likriktare LR8B	6,0	0,0kW
Övrigt	?	17,5kW
Summa laster		26,55kW
Fläktstart1 ($\cos\phi_i=0.6$)	6,5	80kVA

*Effekt som likriktaren konsumerar.

**Effekt som likriktaren producerar.



Figur 7.10 Effektfaktorn vid motorstart för olika storlekar av motorer [18].
 $kW=HP*0,746$.

Normal lokalkraft under mätningarna vid kopplingsstationen låg enligt Figur 7.1 på ca 36 kVA. Likriktarlasten är en olinjär last och måste utvärderas särskilt men är den mindre än 50 % av totala lasten är det normalt inga problem. I detta fall står det tyristorlikriktare på stationen vilka kräver en extra analys. Beroende på om likriktaren arbetar med 3 puls, 6 puls eller 12 puls måste generatorstorleken vara olika stor i förhållande till likriktarens effektförbrukning. Vid 3 puls måste generatorstorleken vara minst 2,5 ggr förbrukningen för att inte stora övertoner ska uppträda. THD:n minskar ungefär med hälften när man går till en 6 puls och sen ner ytterligare med hälften med en 12 pulslrikrtare (bilaga 14.6). I detta fall kommer inte övertoner vara något problem då andra komponenter är dimensionerande.

Största tillslaget på 80kVA måste klaras av generatorm. Generatorm ska alltså klara tillslag av 80kVA med max spänningssänkning av 20 %. Enligt [6] klarar ett aggregat ett lasttillslag på 133 % av märkeffekt med en spänningssänkning på 20 %. Alltså är det tillräckligt med en generator på 60kVA[6].

Denna generatorstorlek klarar även den kontinuerliga lasten. Observera dock att dessa mätningar är gjorda på sommaren och värmeeffekter tillkommer. Den installerade effekten skulle alltså kunna minskas på dieselgeneratorm till en sjättedel och ändå klara de största topparna.

7.1.3 Resultat och möjliga åtgärder

För att hålla spänningen nära nominell nivå måste en generatorstorlek på minst 70kVA användas för att klara av de motorstarter som finns på stationen. Det är uppenbart att de startströmmar som förekommer här är stora nog för att extra hänsyn måste tas. En lösning skulle vara att ha Y/D startade motorer för att sänka startströmmarna. Detta ger ett lägre moment vid de lägre varvtalen men borde inte spela någon roll då det är kylfläktar som drivs där det är viktigast att de har en bra drifhastighet för kylning. Eftersom kylsystemet består av två

fläktar skulle en sekvensstart vara aktuellt. Då fördelas startströmmarna ut med viss tidsförskjutning vilket skulle halvera totala startströmmen.

Ett annat problem med reservkraften på kopplingsstationen är att aggregatet är alldeles för överdimensionerat. Den är dimensionerad till 400kVA och normal driftlast är ca 36kVA. För att ett dieselaggregat ska fungera bra och hålla länge bör man ha en last på minst 25 % av aggregatets märkeffekt [6]. Här ligger den på drygt 8 %. Detta är i allmänhet inte något problem då dieselaggregatet i regel har få drifttimmar och underhåll sker mest p.g.a. att maskin, olja och drivmedel föråldras.

Det är fortfarande ett problem när en 400kVA diesel är installerad där det endast behövs 60kVA. En anläggning med stor installerad effekt har en stor tank för att kunna köra samma antal timmar som ett litet. Stor tank medför dålig omsättning på bränsle som medför stora volymer av diesel som måste dumpas p.g.a. föråldrad och dålig kvalitet. Dessutom blir investeringskostnaden väldigt mycket högre.

De mätningar som gjorts på stationen skedde under sommarhalvåret vilket betyder att värmelaster förmodligen inte var igång. Under vintern finns det stor chans att totala lasten är högre. Spelar ingen större roll i detta fall då startströmmarna var de som var dimensionerande.

8 Dimensioneringsguide

Guiden är framtagen utifrån de mätningar och simuleringar som gjorts. Även krav från riktlinjer och önskningar från beredskapsavdelning ingår.

8.1 Reservmatning

För reservmatning bifogas en dimensioneringsguide (bilaga 14.8). Kommer här att förklara hur den är uppbyggd och hur den ska användas. Det finns även ett exempel för att se arbetsgången. De laster som särskilt måste analyseras är likriktarlasten och motorstarterna.

Ser i Figur 8.1 hur första sidan i guiden ser ut. Här bearbetas steg för steg likriktarnas laster. Räknar här med att inkopplingsförloppen kommer sekvensstyras så att den största likriktaren startar först. Räknar först ut största inkopplingssekvensen och jämför den med den sammanlagrade effekten med säkerhetsfaktor. Den största måste täckas av generatoren. Även den sammanlagrade effekten utan säkerhetsfaktor räknas ut för att användas när lasterna summeras i slutet.

I Figur 8.2 visas andra sidan ur guiden vilken räknar ut hur stor generator som krävs för att klara av startströmmarna från de motorer som finns på stationen, som oftast enbart är kylsystemet till reaktorn. Först räknas den effekt som krävs för att starta motorn (SKVA) för att sedan räkna ut hur stor generatoren måste vara för att klara den starteffekten en kort stund.

Här räknas även den sammanlagrade effekten för motorerna i kontinuerlig drift ut, som senare används för sammanställningen av laster.

Säkerhetsfaktor	K=2,5	K=2,5	K=2,0	K=1,2
Typ	3-puls	6-puls	12-puls	Switchade

Likriktare 1 SF=0,2

Märkspänning (Uf)	_____ V	_____ V	_____ V	_____ V
Märkström (If)	_____ A	_____ A	_____ A	_____ A
Märkeffekt=Uf*If=_____ W			Max aktiv effektförbrukning=Märkeffekt*1,25=_____ W	

Likriktare 2 SF=0,2

Märkspänning (Uf)	_____ V	_____ V	_____ V	_____ V
Märkström (If)	_____ A	_____ A	_____ A	_____ A
Märkeffekt=Uf*If=_____ W			Max aktiv effektförbrukning=Märkeffekt*1,25=_____ W	

Likriktare 3 SF=0,2

Märkspänning (Uf)	_____ V	_____ V	_____ V	_____ V
Märkström (If)	_____ A	_____ A	_____ A	_____ A
Märkeffekt=Uf*If=_____ W			Max aktiv effektförbrukning=Märkeffekt*1,25=_____ W	

Likriktare 4 SF=0,2

Märkspänning (Uf)	_____ V	_____ V	_____ V	_____ V
Märkström (If)	_____ A	_____ A	_____ A	_____ A
Märkeffekt=Uf*If=_____ W			Max aktiv effektförbrukning=Märkeffekt*1,25=_____ W	

Storleksordning

PmaxA=Största likriktarens maxförbrukning=_____ W

PmaxB=Närmast mindre än likriktare A:s maxförbrukning=_____ W

PmaxC=Närmast mindre än likriktare B:s maxförbrukning=_____ W

PmaxD=Närmast mindre än likriktare C:s maxförbrukning=_____ W

Sekvensstart. Börja med den största.

Sekvens1=PmaxA=_____ W

Sekvens2=PmaxA*SF+PmaxB=_____ W

Sekvens3=(PmaxA+PmaxB)*SF+PmaxC=_____ W

Sekvens4=(PmaxA+PmaxB+PmaxC)*SF+PmaxD=_____ W

Krav på aggregatstorlek. Den största av lim1 eller lim2

Plim1=Största Sekvens=_____ W

Slim1=Största Sekvens/0,62=_____ VA

Plim2=(PmaxA+PmaxB+PmaxC+PmaxD)*SF*K=_____ W

Slim2=(PmaxA+PmaxB+PmaxC+PmaxD)*SF*K/0,62=_____ VA

Sammanlagrad effekt.

Prek=(PmaxA+PmaxB+PmaxC+PmaxD)*SF=_____ W

Figur 8.1 Första sidan i dimensioneringsguiden.

Start kVA (SKVA)	Motor(er)
LRA eller Startström	
Om LRA och Startström är okänd.	_____ A
Använd 7x märkström	
Effektfaktor vid start (scos(fi))	_____
SKVA=(LRAx240x3)/1000	_____ skVA
Generatorval från ramavtal med hänsyn till SKVA och effektfaktor vid start	
Generatorval	_____ kVA
SKVA med 20% spänningsdipp och scos(fi)	_____ skVA
Om SKVA inte finns i datablad kan beräkningar göras med antagandet, 20% spänningsdipp vid 133% lasttillslag vid motorstart.	
Sg=SKVA/1,33=_____ kVA	
Sammanlagrad effekt SF=0,8	Motor(er)
Effektfaktor (cos(fi))	_____
Märkström (If)	_____ A
Fasspänning (Uf)	_____ V
eller	
Märkeffekt (Pmot)	_____ kW
	Pm=SF*If*Uf ³ *cos(fi)/1000=_____ kW
	Pm=SF*Pmot=_____ kW

Figur 8.2 Andra sidan ur dimensioneringsguiden.

På tredje sidan som visas i Figur 8.3 sammanställs alla lasters sammanlagrade effekt på stationen. En summa erhålls från den kontinuerliga lasten och jämförs med motorstarternas krav på generator. Utifrån dessa resultat väljs ett aggregat med 10 % extra marginal för framtida utbyggnad från ramavtalet [19]. Det aggregat som väljs kontrolleras sedan att den klarar likriktarnas krav på generatorstorlek.

Laster	Effekt
Kraftuttag SF=0,0	Pmärk*SF=_____kW
Motorvärmartag SF=0,2	Pmärk*SF=_____kW
Belysning inomhus SF=0,6	Pmärk*SF=_____kW
Belysning utomhus SF=1,0	Pmärk*SF=_____kW
Värme kontrollbyggnad SF=0,4	Pmärk*SF=_____kW
Grundvärme HSP-brytare SF=1,0	Pmärk*SF=_____kW
Tillsatsvärme HSP-brytare SF=1,0	Pmärk*SF=_____kW
Kylanläggning kontrollbyggnad SF=0,8	Pmärk*SF=_____kW
Motorer	Pm=_____kW
Likriktarlaster	Prek=_____kW
Övrig last	Pmärk=_____kW
	Summa=Ptot=_____kW
10% extra för framtida utbyggnad	Ptotal=Ptot*1,1=_____kW
Aggregatval från ramavtal med hänsyn till Ptotal och motorens generatorbehov.	
PRP-effekt (kW)	_____kW
PRP-effekt (kVA)	_____kVA
Undersök om aggregatet klarar likriktarnas krav (lim1 och lim2)	
Valda aggregatets data	
PRP-effekt (kW)	_____kW
PRP-effekt (kVA)	_____kVA
Generatoreffekt vid cos(fi)=0,8	_____kVA
Drivmotor	_____kW

Figur 8.3 Tredje sidan ur dimensioneringsguiden.

8.2 Exempel

Detta exempel följer den dimensioneringsguide som arbetats fram (bilaga 14.8).

Likriktarna

Har tidigare gjort en dimensionering efter de mätningar som gjorts under sommarhalvåret vid kopplingsstationen. Ska i detta exempel göra dimensioneringsberäkningar baserat på den guide som har tagits fram. Tanken med den är att den täcka hela årets förbrukning och borde ge ett resultat något högre än vid mätningarna. Detta exempel är för reservmatning i en kopplingsstation. Börjar med att undersöka hur mycket effekt likriktarna behöver i stationen för att fungera utan att störa systemet. I det här fallet är likriktarna inte sekvensstartade men beräkningarna kommer ändå göras som om de vore de p.g.a. att man räknar med att de kopplas om vid installation av nytt aggregat. I stationen står fyra 3-puls likriktare. Två med märkdata 110V, 50A och två med märkdata 48V, 125A. De har då märkeffekterna 5500W respektive 6000W. Med 25 % förlust förbrukar de 6875W respektive 7500W. Alltså blir storleksordningen.

1. $P_{maxA}=7500W$

2. $P_{maxB}=7500W$

$$3. P_{\max C} = 6875 \text{ W}$$

$$4. P_{\max D} = 6875 \text{ W}$$

Likriktarna förbrukar maxeffekt vid uppstart och kommer därför att sekvensstartas med den största först. När den andra startar måste man addera den genomsnittliga drifteffekten på den första som är sammanlagringen av märkeffekten, sen fortsätter man på samma sätt med nästa. Den största startsekvensen blir den som ger högst effekt.

Den största sekvensstarten blir i detta fall när den sista likriktaren startar (8.1). Det måste nu undersökas vilken den största effekten man måste ta höjd för är hos denna likriktaruppsättning. Är det största sekvensen eller den totala sammanlagrade effektförbrukningen med säkerhetsfaktor K inkluderad. K är en faktor för att säkerställa att generatoren blir tillräckligt stor för att undvika stora övertoner. För en 3-pulslikriktare är $K=2,5$.

$$P_{\text{sekvens4}} = P_{\lim 1} = (7500 + 7500 + 6875) \cdot 0,2 + 6875 = 11250 \text{ W}$$

$$\Rightarrow S_{\lim 1} = \frac{11250}{0,62} = 18145 \text{ VA} \Rightarrow S_{\lim 1} = 18145 \text{ VA} \quad (8.1)$$

$$P_{\lim 2} = (7500 + 7500 + 6875 + 6875) \cdot 0,2 \cdot 2,5 = 14375 \text{ W}$$

$$S_{\lim 2} = \frac{14375}{0,62} = 23185 \text{ VA} \quad (8.2)$$

Kan se i (8.2) att den sammanlagrade effekten är störst i detta fall och generatoren måste minst vara så stor.

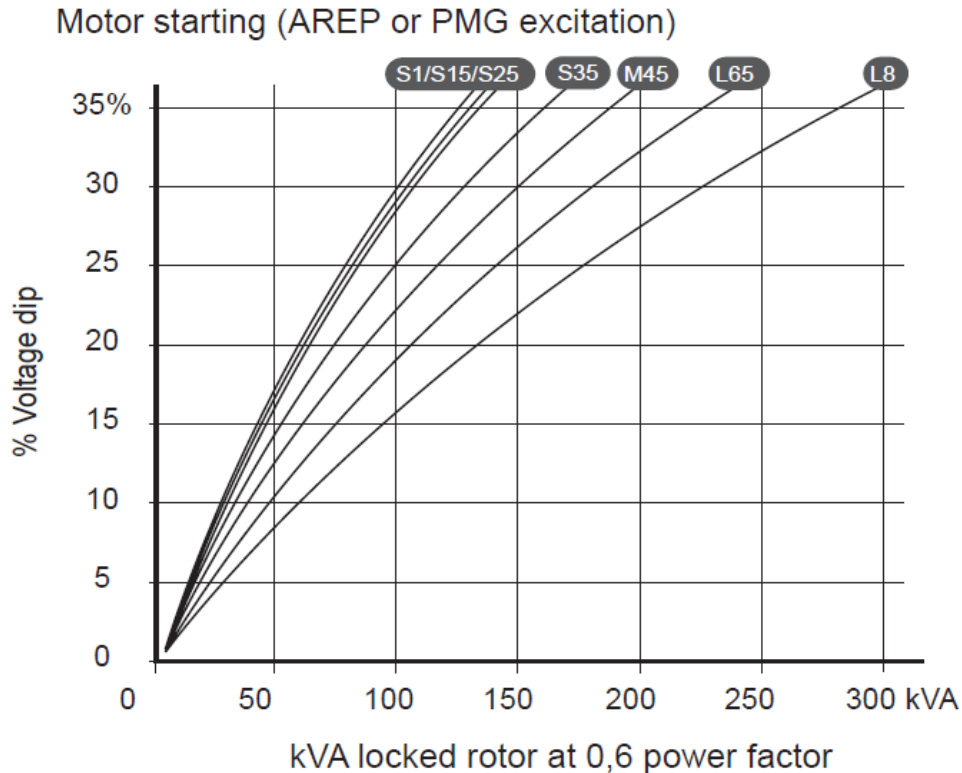
Det måste även enbart räknas ut den sammanlagrade effekten utan säkerhetsfaktor som senare kommer adderas till den totala kontinuerliga lasten.

$$P_{\text{rek}} = (7500 + 7500 + 6875 + 6875) \cdot 0,2 = 5749 \text{ W} \quad (8.3)$$

Motorstarter

Börja med att undersöka i datablad eller märkning på motor vilken startström den har. Står inte det kan det stå LRA vilket kan liknas med startström. Står inte LRA heller kan man räkna på en startström som är sju gånger märkström. I detta fall startar en reaktors kylsystem vilket består av två fläktar och en pump exakt samtidigt och ger upphov till en startström på 110A. Detta ger en starteffekt (SKVA) på 79,2kVA. Finns tillgång till generatordatablad kan man kolla vilken generator som klarar denna SKVA med maximal transient spänningsdipp på 20 %. Har man inte tillgång till datablad finns en generell regel att en generator momentant kan generera 133 % av märkeffekt med en transient spänningsdipp på 20 %.

Figur 8.4 visar utdrag ur databladet för ramavtalets 43kVA och 61 kVA generatorer. Diagrammet visar förmågan att starta en motor med hänsyn till spänningssänkning. Kan se att 61kVA generatoren klarar av att starta en motor med SKVA på ungefär 110kVA med spänningssänkning på 20 %. Alltså kan 61kVA generatoren starta de aktuella motorerna. Vetskap behövs även om vad motorerna förbrukar i normal drift. Detta räknas enkelt ut med hjälp av märkströmmen eller om det går att avläsa märkeffekten. Sedan multipliceras den med dess sammanlagringsfaktor ($SF=0,8$). I detta fall blir drifteffekten $P_m=5,2 \text{ kW}$.



Figur 8.4 Diagram över motorstartseffekten som kan genereras av ramavtalets 43kVA (S25) och 61kVA (L65) generatorer [15].

Sammanställning

Nästa steg är att sammanställa alla laster och räkna ut den sammanlagrade effekten för alla laster samt jämföra vad som är dimensionerande. Är det motorstarterna eller den totala sammanlagrade effekten för alla laster. De laster som finns adderas med hänsyn till dess sammanlagringsfaktor. De flesta kontrollbyggnader ser väldigt lika ut och den installerade värmen för byggnadens kontrollrum brukar vara runt 5kW sen tillkommer värme för andra delar av byggnaden. Kylanläggningen är avsäkrad till 16A vilket ger en maxeffekt på 11kVA [7]-[9].

Effektuttag SF=0,0	0,0kW
Motorvärmaruttag SF=0,2	2,2kW
Belysning inomhus SF=0,6	1,2kW
Belysning utomhus SF=1,0	4,0kW
Värme kontrollbyggnad SF=0,4	3,2kW
Grundvärme HSP-brytare SF=1,0	2,1kW
Tillsatsvärme HSP-brytare SF=1,0	8,4kW
Kylanläggning kontrollbyggnad SF=0,8	8,8kW
 Motorer SF=0,8	 5,2kW
Likriktarlast	5,8kW
 Övrig last	 10,0kW
 Summa	 50,9kW
10% extra för framtida utbyggnad	56,0kW

Övrig last kan vara 220V uttag, vattenberedare, köksutrustning, vitvaror etc. Efter dessa beräkningar är summan av de kontinuerliga lasten känd med även vilken generatorstorlek som motorerna kräver. Den generatoren sitter enligt ramavtalet på ett aggregat med en PRP-effekt på 48kW. Den kontinuerliga lasten täcks då inte av PRP-effekten. Alltså måste ett större aggregat väljas och nästa större klarar kraven. Den har PRP-effekter på 80 kW och 100kVA. Den klarar även kraven från motorerna och likriktarna. Utdrag från ramavtal finns i Figur 8.5.

Beräkningarna från mätresultaten skiljer sig mot dessa resultat vilket beror på att denna beräkning även tar hänsyn till hela året och även till de lokalnätstörningar som likriktarna skulle kunna orsaka vid för svag generator.

	Pos 1	Pos2	Pos 3	Pos 4	Pos 5	Pos 6	Pos 7	Pos 8
	15	20	30	40	50	60	100	150
Aggregatets PRP-effekt i kVA	20	20	30	40	60	60	100	150
Aggregatets PRP-effekt i kW	16	16	24	32	48	48	80	120
Fabrikat och typbeteckning på motor	John Deere 3029 DF120	John Deere 3029 DF120	John Deere 3029 DF120	John Deere 3029 TF120	John Deere 4045TF120	John Deere 4045TF120	John Deere 4045HF120	John Deere 6068HF120
Motorns maxeffekt i kW	31	31	31	42	82	82	110	187

	Pos 1	Pos2	Pos 3	Pos 4	Pos 5	Pos 6	Pos 7	Pos 8
	15	20	30	40	50	60	100	150
Högsta temperatur på returbrännoljan	Max 55 °C. Skulle problem uppstå lösers detta med bränslekylare	Max 55 °C. Skulle problem uppstå lösers detta med bränslekylare	Max 55 °C. Skulle problem uppstå lösers detta med bränslekylare	Max 55 °C. Skulle problem uppstå lösers detta med bränslekylare	Max 55 °C. Skulle problem uppstå lösers detta med bränslekylare	Max 55 °C. Skulle problem uppstå lösers detta med bränslekylare	Max 55 °C. Skulle problem uppstå lösers detta med bränslekylare	Max 55 °C. Skulle problem uppstå lösers detta med bränslekylare
Typ och fabrikat på vartalsregulator	John Deere	John Deere	John Deere	John Deere	John Deere	John Deere	John Deere	John Deere
Varvtalsinregleringstid och varvtalsavvikelse vid inkoppling av 55% last.	Bättre än ställda krav i teknisk beskrivning, testprotokoll redovisas före första leverans.	Bättre än ställda krav i teknisk beskrivning, testprotokoll redovisas före första leverans.	Bättre än ställda krav i teknisk beskrivning, testprotokoll redovisas före första leverans.	Bättre än ställda krav i teknisk beskrivning, testprotokoll redovisas före första leverans.	Bättre än ställda krav i teknisk beskrivning, testprotokoll redovisas före första leverans.	Bättre än ställda krav i teknisk beskrivning, testprotokoll redovisas före första leverans.	Bättre än ställda krav i teknisk beskrivning, testprotokoll redovisas före första leverans.	Bättre än ställda krav i teknisk beskrivning, testprotokoll redovisas före första leverans.
Generatorfabrikat och typbeteckning	Leroy Somer LSA 42.2 M6	Leroy Somer LSA 42.2 M7	Leroy Somer LSA 43.2S25	Leroy Somer LSA 43.2S45	Leroy Somer LSA 43.2L65	Leroy Somer LSA 44.2VS3	Leroy Somer LSA 44.2M95	Leroy Somer LSA 46.2M5
Generators märkeffekt vid cos fi 0.8	21 kVA	25 kVA	43 kVA	51 kVA	61 kVA	95 kVA	135 kVA	184 kVA

Figur 8.5 Utdrag ur ramavtal för diesellaggregat [19].

Figur 8.6 - Figur 8.8 visar hur guiden ser ut efter att värden fyllts i och beräkningar gjorts enligt exempel.

Säkerhetsfaktor	K=2,5	K=2,5	K=2,0	K=1,2
Typ	3-puls	6-puls	12-puls	Switchade
Likriktare 1 SF=0,2				
Märkspänning (Uf)	110 V	_____ V	_____ V	_____ V
Märkström (If)	50 A	_____ A	_____ A	_____ A
Märkeffekt=Uf*If=5500 W			Max aktiv effektförbrukning=Märkeffekt*1,25=6875W	
Likriktare 2 SF=0,2				
Märkspänning (Uf)	110 V	_____ V	_____ V	_____ V
Märkström (If)	50 A	_____ A	_____ A	_____ A
Märkeffekt=Uf*If=5500 W			Max aktiv effektförbrukning=Märkeffekt*1,25=6875W	
Likriktare 3 SF=0,2				
Märkspänning (Uf)	48V	_____ V	_____ V	_____ V
Märkström (If)	125A	_____ A	_____ A	_____ A
Märkeffekt=Uf*If=6000 W			Max aktiv effektförbrukning=Märkeffekt*1,25=7500 W	
Likriktare 4 SF=0,2				
Märkspänning (Uf)	48V	_____ V	_____ V	_____ V
Märkström (If)	125A	_____ A	_____ A	_____ A
Märkeffekt=Uf*If=6000 W			Max aktiv effektförbrukning=Märkeffekt*1,25=7500 W	

Storleksordning

PmaxA=Största likriktarens maxförbrukning=7500 W
PmaxB=Närmast mindre än likriktare A:s maxförbrukning=7500 W
PmaxC=Närmast mindre än likriktare B:s maxförbrukning=6875 W
PmaxD=Närmast mindre än likriktare C:s maxförbrukning=6875 W

Sekvensstart. Börja med den största.

Sekvens1=PmaxA=7500 W
Sekvens2=PmaxA*SF+PmaxB=9000 W
Sekvens3=(PmaxA+PmaxB)*SF+PmaxC=9875 W
Sekvens4=(PmaxA+PmaxB+PmaxC)*SF+PmaxD=11250 W

Krav på aggregatstorlek. Den största av lim1 eller lim2

Plim1=Största Sekvens=11250 W
Slim1=Största Sekvens/0,62=18145 VA

Plim2=(PmaxA+PmaxB+PmaxC+PmaxD)*SF*K=14375 W
Slim2=(PmaxA+PmaxB+PmaxC+PmaxD)*SF*K/0,62=23185 VA

Sammanlagrad effekt.

Prek=(PmaxA+PmaxB+PmaxC+PmaxD)*SF=5749 W

Figur 8.6 Första sidan ur guiden med beräkningar.

Start kVA (SKVA)	Motor(er)	
LRA eller Startström		
Om LRA och Startström är okänd.	<u>110 A</u>	
Använd 7x märkström		
Effektfaktor vid start (scos(fi))	<u>0,6</u>	
SKVA=(LRAx240x3)/1000	<u>79,2 skVA</u>	
Generatorval från ramavtal med hänsyn till SKVA och effektfaktor vid start		
Generatorval	<u>61 kVA</u>	
SKVA med 20% spänningsdipp och scos(fi)	<u>110 skVA</u>	
Om SKVA inte finns i datablad kan beräkningar göras med antagandet, 20% spänningsdipp vid 133% lasttillslag vid motorstart. Sg=SKVA/1,33=_____kVA		
Sammanlagrad effekt SF=0,8	Motor(er)	
Effektfaktor (cos(fi))	<u>0,45</u>	
Märkström (If)	<u>20 A</u>	
Fasspänning (Uf)	<u>240 V</u>	Pm=SF*If*Uf*3*cos(fi)/1000= <u>5,2</u> kW
eller		
Märkeffekt (Pmot)	_____kW	Pm=SF*Pmot=_____kW

Figur 8.7 Andra sidan ur guiden med beräkningar.

Laster	Effekt
Kraftuttag SF=0,0	Pmärk*SF= <u>0,0</u> kW
Motorvärmartag SF=0,2	Pmärk*SF= <u>2,2</u> kW
Belysning inomhus SF=0,6	Pmärk*SF= <u>1,2</u> kW
Belysning utomhus SF=1,0	Pmärk*SF= <u>4,0</u> kW
Värme kontrollbyggnad SF=0,4	Pmärk*SF= <u>3,2</u> kW
Grundvärme HSP-brytare SF=1,0	Pmärk*SF= <u>2,1</u> kW
Tillsatsvärme HSP-brytare SF=1,0	Pmärk*SF= <u>8,4</u> kW
Kylanläggning kontrollbyggnad SF=0,8	Pmärk*SF= <u>8,8</u> kW
Motorer	Pm= <u>5,2</u> kW
Likriktarlast	Prek= <u>5,8</u> kW
Övrig last	Pmärk= <u>10</u> kW
	Summa=Ptot= <u>50,9</u> kW
10% extra för framtida utbyggnad	Ptotal=Ptot*1,1= <u>56</u> kW
Aggregatval från ramavtal med hänsyn till Ptotal och motorenas generatorbehov.	
PRP-effekt (kW)	<u>80</u> kW
PRP-effekt (kVA)	<u>100</u> kVA
Undersök om aggregatet klarar likriktarnas krav (lim1 och lim2)	
Valda aggregatets data	
PRP-effekt (kW)	<u>80</u> kW
PRP-effekt (kVA)	<u>100</u> kVA
Generatoreffekt vid cos(fi)=0,8	<u>135</u> kVA
Drivmotor	<u>110</u> kW

Figur 8.8 Tredje sidan ur guiden med beräkningar.

8.3 Grov kalkyl

Enligt guiden skulle ett aggregat kunna vara på 100kVA. Enligt [2] kan en grov kalkyl göras med en investeringskostnad på 2800 kronor per kVA för en hel anläggning med installerad effekt mellan 80kVA och 550kVA. Får då en investeringskostnad enligt (8.4) och (8.5).

$$Investering = 100 \cdot 2800 = 280kSEK \quad (8.4)$$

Jämfört med anläggning i nuvarande storlek.

$$Investering = 400 \cdot 2800 = 1,12MSEK \quad (8.5)$$

Dieselmotorer har en specifik bränsleförbrukning på ca 200g/kWh. Dieselns densitet är ca 810g/liter och en generator har generellt en verkningsgrad på ca 94 %. Detta ger att ett dieselaggregat förbrukar drygt 0,2 liter/kVAh (8.6).

$$Förbrukning = \frac{200 \cdot 0,8}{810 \cdot 0,94} = 0,21l / kVAh \quad (8.6)$$

Det här betyder att alla dieselaggregat förbrukar ungefär lika mycket bränsle per kVAh oberoende av storlek. Men är aggregatet för stort kommer den aldrig att köras optimalt och verkningsgraden i motorn blir sämre. Dessutom har ett stort aggregat en stor tank för att kunna vara i drift i 96 timmar med hög last. Är aggregatet väldigt överdimensionerat förbrukas väldigt liten del av bränslet och stora mängder måste dumpas vid föråldring. Ekvation (8.7) visar tydligt hur stor skillnaden i tankstorlek skulle bli på i detta fall.

$$\begin{aligned} l_{Tank400} &= 0,2 \cdot 400 \cdot 96 = 7680 \approx 8000l \\ l_{Tank100} &= 0,2 \cdot 100 \cdot 96 = 1920 \approx 2000l \end{aligned} \quad (8.7)$$

En liter diesel kostar ca 12kr per liter och med ett 400kVA aggregat skulle mängden diesel som dumpas bli 6000 liter om resterna inte används efter det 96 timmar långa avbrottet. Alltså skulle det dumpas bränsle för drygt 70 000kr innan det upptäcktes att aggregatet är för stor för stationen.

Svenska kraftnät har väldigt många stationer och kan de skära ner investeringskostnaderna med nästa en miljon som i det här fallet vid framtida dimensioneringar skulle besparingarna bli väldigt stora. Om 10 stationer behöver en installerad reservmatning skulle besparingarna bli 8,4 miljoner kr.

8.4 Nödmatning

Vid nödmatning matas likriktare, värme i kontrollrum, kylsystem kontrollbyggnad och värme i HSP-brytare.

8.4.1 Likriktare

Följ dimensioneringsguide sida 1 (bilaga 14.8).

8.4.2 Värme kontrollrum

Kontrollera märkeffekt på radiatorer som ska sitta i kontrollrummet och summera ihop.

8.4.3 Kylsystem kontrollbyggnad

Undersök märkeffekt på kylanläggning eller kolla vad den är avsäkrad för.

8.4.4 HSP-brytarvärme

Undersök den totala effekten på grundvärmaren i brytaren och summera ihop den för alla brytare. Om tillsatsvärmare finns och ska även den adderas till grundvärmaren för varje brytare. I en planerad station ska diskussioner

bestämma om tillsatsvärmen ska separeras från grundvärmen för att endast mata grundvärmen vid nödmatning. Dessa diskussioner bör innehålla vart i Sverige stationen ska vara och erfarenheter från projektgruppen.

9 Elektriska studier

9.1 Felbortkoppling

En aspekt som dyker upp vid reservkraftsammanhang är om de klarar av att producera tillräckliga kortslutningsströmmar för att bryta säkringar där det behövs. Detta är inte helt säkert då aggregatets installerade effekt minskas. Det är heller inte säkert att detta är något som borde tas hänsyn till eftersom det då räknas på att det blir fler oberoende fel efter varandra. Först ett fel då reservkraft måste kopplas in sen ett fel på lokalkraftsnätet strax efter. Det som egentligen styr sådana beslut är vilka konsekvenser det får och sannolikheten att det inträffar.

Det är sen tidigare beslutat på SvK att detta problem inte är något som ska reflekteras över vid installation av dieselaggregat för nödmatning utan låter i så fall generatorskyddet slå ifrån.

Vid reservmatning vill man i största mån kunna ha en selektiv felbortkoppling då hela lokalkraften är ersatt med en dieselgenerator och fler stora komponenter är inkopplade.

I stationerna finns olika säkringar utplacerade för att skydda systemet från för stora strömmar vid t.ex. kortslutning. De säkringar som är utplacerade är anpassade efter den last som är ansluten till den kabel som säkringen sitter på. När en dieselgenerator är i drift betraktas det som onormal drift och det är inte säkert att generatoren kan generera tillräcklig ström för att bryta alla säkringar. Om säkringarna är väl dimensionerade efter utrustningen bör dieselgeneratoren kunna bryta säkringen med undantag från laster som har stora momentana strömuttag. Ett sådant exempel är motorlaster med stora startströmmar. Är dieselgeneratoren väl dimensionerad efter dessa lasttillslag kommer den inte att kunna bryta de säkringar kopplade till dessa motorlaster. Detta p.g.a. generatoren är då dimensionerad med beaktning till att den kan generera mer än märkström korta stunder och säkringen är dimensionerad till dessa startströmmar.

Det som är känt vid installation av en dieselgenerator är bl.a. vilken kortslutningsström den kan generera. Det som inte är känt är hur den strömmen minskar med långa kablar. Har här undersökt vanliga storlekar på kablar och beräknat hur långa de kan vara utan att dessa strömmar börjar minska.

9.1.1 Beräkningar

För att reda ut huruvida ett dieselaggregat klarar av att leverera kortslutningsströmmar för att bryta de säkringar som ska skydda systemet har beräkningar utförts. Ett av kraven på en dieselgenerator är att de ska kunna leverera en kortslutningsström på 3 ggr märkström. Resistansen motsvarar kablar av olika typer och längd. Resultatet av simuleringen blir hur långa kablar av de olika typerna som kan användas för att ett visst dieselaggregat ska kunna leverera den kortslutningsström som krävs.

Kabelresistans räknas ut genom följande formel.

$$\frac{\rho_{koppars} \cdot l_{kabel}}{A_{kabel}} = R_{kabel} \quad (9.1)$$

Resistiviteten för är koppar = 0,0175 ohm mm² / m vid 15°C. Resistiviteten ökar med 0,4 % per grad temperaturhöjning, men kommer för enkelhets skull inte beaktas här. Sedan gäller ohms lag för att beräkna hur stor kortslutningsströmmen kan bli. Generatoren kan alltid generera en viss kortslutningsström som kan hämtas från datablad medan kabeln begränsar hur stor den blir. Börjar med att beräkna vilken kabelresistans som krävs för att kortslutningsströmmen ska börja begränsas. Sen beräknas den längd på kabeln som representerar den beräknade resistansen för olika storlekar av kablar. Det som beräknas är resistansen för varje ledare då det är fasströmmen som är den intressanta strömmen.

Tabell 9.1 Begränsande resistans för olika generatorer.

Generator	Kortslutningsström (A)	Begränsande resistans (Ω)
Leroy Somer 370 kVA	1800	240/1800=0,13
Leroy Somer 95 kVA	400	240/400=0,6
Leroy Somer 43 kVA	200	240/200=1,2

Tabell 9.2 Kabellängder för 370 kVA generator.

Kabeltyp	Ledararea (mm ²)	Kabellängd (m)
FKKJ 3x185/95	185	1374
FKKJ 3x120/70	120	891
FKKJ 3x95/50	95	705

Tabell 9.3 Kabellängder för 95 kVA generator.

Kabeltyp	Ledararea (mm ²)	Kabellängd (m)
FKKJ 3x185/95	185	6343
FKKJ 3x120/70	120	4114
FKKJ 3x95/50	95	3257

Tabell 9.4 Kabellängder för 43 kVA generator.

Kabeltyp	Ledararea (mm ²)	Kabellängd (m)
FKKJ 3x185/95	185	12686
FKKJ 3x120/70	120	8229
FKKJ 3x95/50	95	6514

10 Alternativa reservkraftlösningar

När ett företag behöver reservkraft i någon form investeras det för en lång tid framöver. Dieselaggregat är idag det mest beprövade och fungerar bra, men med tanke miljön måste ett nytt alternativ snart ta över. Visserligen körs reservverk inte så ofta men det kan hända att förbränningsmotorer i framtiden måste ersättas med något mer miljövänligt alternativ.

10.1 Bränsleceller

Det finns ett antal olika typer av bränsleceller som var och en fungerar på olika sätt. Skillnaden är vilken typ av elektrolyt de använder. De olika typerna skiljer sig i arbetstemperatur och hur känsliga de är för orent bränsle. Den typ som enligt [11] är lämplig för reservkraft är en polymerelektrolyttyp (PEFC). Dessa celler är robusta och snabbstartade. Arbetstemperaturen uppgår till 200°C och räknas därför som lågtemperaturcell. Lasterna i SvKs stationer är större än vad dessa bränsleceller används till idag men de skulle med fördel kunna ersätta stationens batterisystem i framtiden. Fördelen är att det inte finns någon begränsning på drifttiden. Batterier tar så småningom slut medan bränsleceller drivs på vätgas och kan fyllas på.

Vid nöddrift matas en mycket mindre del av lokalkraften och att en dieselgenerator skulle i dessa fall kunna ersättas med bränsleceller om effektförbrukningen är tillräckligt låg. Investeringskostnaden skulle bli större men man skulle spara in på både driftkostnad, underhåll och miljö.

10.2 Vindkraft

En annan lösning som skulle kunna vara aktuell speciellt för Svenska Kraftnät är reservkraft från vindkraft. Tanken är då att mindre vindkraftsparker är utplacerade i landet och är inkopplade till nätet men också inkopplade med separata ledningar till olika stationer i regionen. Vid avbrott i regionnätet försvinner stationernas lokalkraft och då kan vindkraftsparken via sin separata ledning mata stationernas lokalkraft. På det sättet blir nätet starkare och dessutom blir produktionen mycket mer miljövänlig.

11 Resultat

Tanken med arbetet var att göra det enkelt för de personer som ska dimensionera en dieselanläggning och med enkla metoder kunna dimensionera mer optimalt i förhållande till den last som förekommer på varje station.

En dimensioneringsguide upprättas där alla olika typer av laster som förekommer på stationerna behandlas (bilaga 12.8). Guiden är baserad på de mätningar som gjorts de simuleringar som utförts men framför allt på det fakta som samlats in från böcker, rapporter och diskussioner.

11.1 Startströmmar

Det som är uppseendeväckande är att motorers startströmmar är så pass stora i förhållande till den övriga lasten på stationerna att enbart motorerna i många fall är de som bestämmer storleken på dieselaggregatet. Utifrån motorernas märkdata kan en startström räknas ut och ligger till grund för den motorstarteffekt (SKVA) som motorerna konsumerar vid uppstart. Varje generator klarar en viss SKVA större än sin märkeffekt med en viss spänningsdipp. Denna effekt och spänningsdipp finns oftast specificerad i generatorns datablad. Utifrån den bestäms generatorkraven för motorernas startströmmar.

11.2 Likriktarna

Någonting som kom fram efter många diskussioner var att likriktarna är krångligare än det först verkar. Deras säregna beteende medför att större effekter måste tas hänsyn till än vad den kontinuerliga driften indikerar. Vid

händelse av störning där dieselaggregatet måste kopplas på kommer batterisystemet laddas ur något under den tid det tar mellan avbrott och uppstart av aggregat. Detta medför att likriktarna kommer snabbbladda batterierna när aggregatet startat för att jämna ut de spänningsskillnader som blivit mellan batterier och likriktaren. Vi en sådan sekvens konsumerar likriktaren maximal effekt under en kort stund och aggregatet måste dimensioneras för att klara dessa. I alla stationer står det minst två likriktare och ofta fyra som vid reservdrift kommer snabbbladda samtidigt. Därför kommer alla likriktare sekvensstartas i fortsättningen för att undvika för stora toppar i förbrukningen.

11.3 Simulering

En metod för att simulera en varaktighetskurva har tagits fram och är tänkt att användas vid planerade stationer där det är känt vilka komponenter som ingår och deras märkdata. Utifrån det kan man då få en bild över hur en dieselgenerator dimensionerad utifrån guiden klarar den last som väntas. Det kan då innan installation bestämmas värden på LOLP och EENS. Vidare studier efter detta kommer bl.a. innehålla vilka krav man kan ställa på LOLP genererat av denna metod.

12 Vidare studier

Detta examensarbete resulterade i en projektanställning. Tanken är där att analysera vidare på de sammanlagringsfaktorerna och göra en undersökning om vilka konsekvenser det får med andra sammanlagringsfaktorer.

Även en känslighetsanalys för simuleringsmetoden med varaktighetskurvor ska utföras för att säkerställa ett säkra resultat. Man kan då bestämma maxkrav på LOLP och EENS med hänsyn till startströmmar och mindre strömtoppar. Det som skulle vara bra med det är att dimensioneringen av dieselaggregatet skulle kunna ske enbart med hjälp av denna simulering.

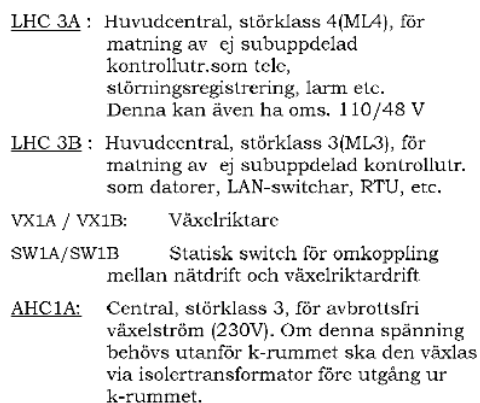
Man kan ta reda på vilka olika skydd som finns på stationerna och undersöka vid vilka situationer de löser ut. Resultaten bör då kontrolleras med ett reservkraftssystem för en mer säker analys av selektiviteten och säkerheten vid reservdrift.

13 Referenser

- [1] Svenska kraftnät, "Likströmssystem TR2-09-1", Teknisk riktlinje, Svenska kraftnät, Sundbyberg, 2009-01-30
- [2] Hans Lundin, *Reservkraft, Från bränsle till el*, SIS Förlag AB, Stockholm, 2008
- [3] Lars Karlström, "Dimensionering av reservverk i stationer", Förslag, Svenska kraftnät, Sundbyberg, 2009-04-20
- [4] Svenska kraftnät, "Sök händelser i Hansa (SvK:s intranät)", <http://analys/eventlog>, Uppdaterad 2009-12-19. Hämtad 2010-05-22.
- [5] Kenth Stenberg, "Statusbedömning dieselaggregat Odensala", Drifttestrapport, ÅF, Enköping, 2010-06-16
- [6] Hans Nordin, *Reservkraft – dimensionering, planering, projektering*, STF ingenjörsutbildning, Stockholm, 2010-04-20
- [7] Ulf Tannergren, "Reservkraftinstallation CT292 Hisingen", Inventering av laster, Svenska Kraftnät, Sundbyberg, 2010-06-09
- [8] Ulf Tannergren, "Reservkraftinstallation FT92 Kolstad", Inventering av laster, Svenska Kraftnät, Sundbyberg, 2010-06-09
- [9] Ulf Tannergren, "Reservkraftinstallation FT52 Timmersdala", Inventering av laster, Svenska Kraftnät, Sundbyberg, 2010-06-09
- [10] Mathworks, "SimPowerSystems 5.3 – Emergency Diesel-Generator and Asynchronous Motor", http://www.mathworks.com/products/simpower/demos.html?file=/products/demos/simpowersys/Sim_Machines_Demo.html, Hämtad 2010-07-01
- [11] Anders Ocklind, "Reservkraft - Bränsleceller", White paper, Cellkraft, Oktober 2005
- [12] Cummins Generator Technologies, "Stamford HCI434F/444F – Winding 311", Technical data sheet, 2010
- [13] Leroy Somer, "PARTNER Alternator LSA 47.2 – 4 Pole, Electrical and mechanical data, http://www.leroy-somer.com/documentation_pdf/catalogues_pdf/3782f_en.pdf, Hämtad 2010-09-30
- [14] Leroy Somer, "PARTNER Alternator LSA 44.2 – 4 Pole, Electrical and mechanical data, http://www.leroy-somer.com/documentation_pdf/catalogues_pdf/3820e_en.pdf, Hämtad 2010-09-30

- [15] Leroy Somer, "PARTNER Alternator LSA 43.2 – 4 Pole, Electrical and mechanical data, http://www.leroy-somer.com/documentation_pdf/catalogues_pdf/3819f_en.pdf, Hämtad 2010-09-30
- [16] SMHI, "Lägsta temperatur vintersäsongen 2009/10", <http://www.smhi.se/klimatdata/lagsta-temperatur-vintersasongen-2009-10-1.9655>, 10 februari 2010, hämtad 2010-10-14
- [17] International Electrotechnical Commission, "IEC 61000-2-4", International Standard, International Electrotechnical Commission, Genève, 2002
- [18] Caterpillar, "Electric power applications, engine and generator sizing", Application and installation guide, Caterpillar, 2010
- [19] Mikael Odenberg, "Avtal 702, bilaga 2", Ramavtal för diesellaggregat, Svenska Kraftnät, Stockholm, 2010-03-26

14.1 Utformning av likströmssystem



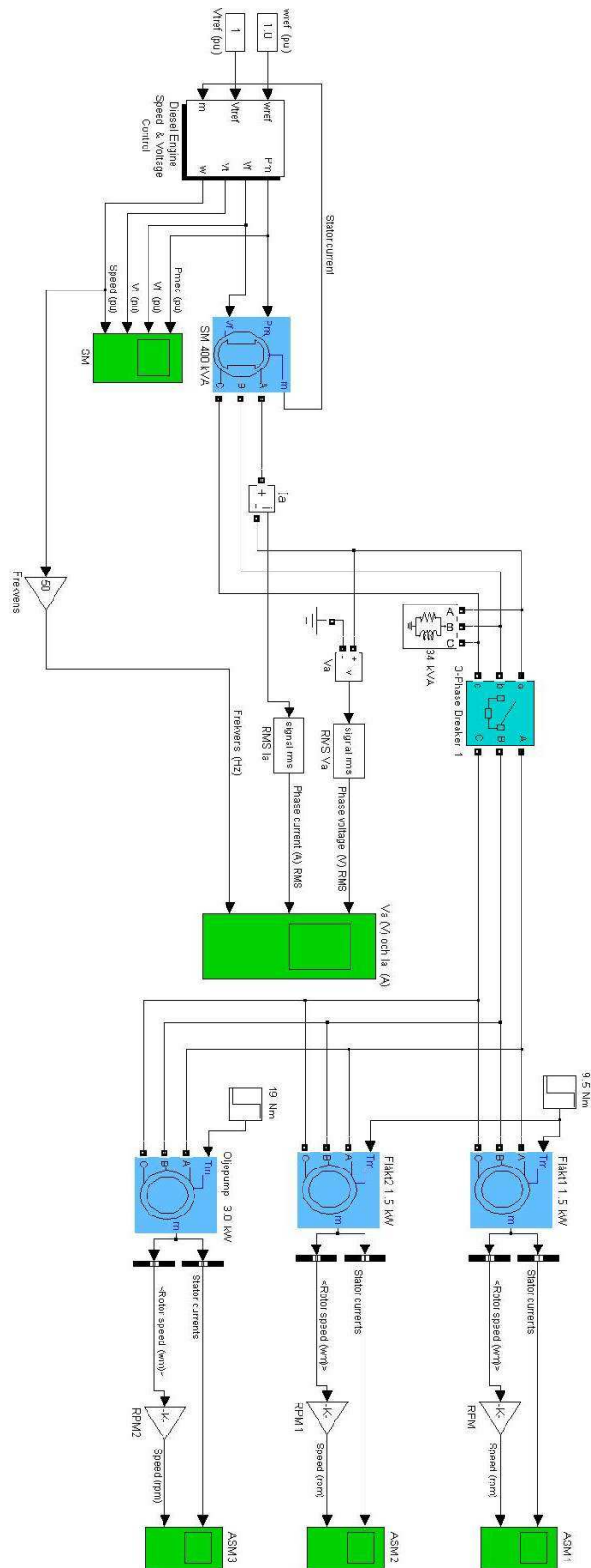
14.2 Avläst data från likriktare.

Station 1							
Objekt	Märkspänning	Märkström	Driftspänning	Driftström	Märkeffekt	Drifteffekt	Procent av märkeffekt
LR1A	220,0V	300,0A	242,0V	34,6A	66 000,0W	8 373,2W	12,69%
LR1B	220,0V	300,0A	243,0V	2,7A	66 000,0W	656,1W	0,99%
LR8A	48,0V	160,0A	51,0V	14,0A	7 680,0W	714,0W	9,30%
LR8B	48,0V	160,0A	51,4V	11,5A	7 680,0W	591,1W	7,70%
Växelriktare 1			230,0V	11,2A			
Växelriktare 2			230,0V	14,0A			
Station 2							
Objekt	Märkspänning	Märkström	Driftspänning	Driftström	Märkeffekt	Drifteffekt	Procent av märkeffekt
LR1	110,0V	15,0A	120,0V	5,0A	1 650,0W	600,0W	36,36%
LR2	110,0V	15,0A	120,0V	4,0A	1 650,0W	480,0W	29,09%
Lokalkraft			380V (växel)	3,10,3			
Station 3							
Objekt	Märkspänning	Märkström	Driftspänning	Driftström	Märkeffekt	Drifteffekt	Procent av märkeffekt
LR1	110,0V	25,0A	120,0V	3,1A	2 750,0W	372,0W	13,53%
LR2	110,0V	25,0A	120,0V	2,2A	2 750,0W	264,0W	9,60%
LR3	48,0V	12,0A	54,0V	2,0A	576,0W	108,0W	18,75%
CV35 OK lindning			400,0V	13,15,?			
Station 4							
Objekt	Märkspänning	Märkström	Driftspänning	Driftström	Märkeffekt	Drifteffekt	Procent av märkeffekt
LR1	110,0V	15,0A	120,0V	2,0A	1 650,0W	240,0W	14,55%
LR2	110,0V	15,0A	120,0V	3,0A	1 650,0W	360,0W	21,82%
lokalkraft			400 ??	20, 21 ?			
Station 5							
Objekt	Märkspänning	Märkström	Driftspänning	Driftström	Märkeffekt	Drifteffekt	Procent av märkeffekt
LR1	108,0V	25,0A	120,0V	6,5A	2 700,0W	780,0W	28,89%
LR2	108,0V	25,0A	120,0V	2,7A	2 700,0W	324,0W	12,00%
Lokalkraft			400,0V	17,15,16			
Station 6							
Objekt	Märkspänning	Märkström	Driftspänning	Driftström	Märkeffekt	Drifteffekt	Procent av märkeffekt
LR1A, LR2A	108,0V	25,0A	120,0V	6,2A	2 700,0W	744,0W	27,56%
LR1B, LR2B	108,0V	25,0A	120,0V	5,0A	2 700,0W	600,0W	22,22%
Växelriktare			227,0V	1,0A			
Lokalkraft			400 ??	1,5,5			
Station 7							
Objekt	Märkspänning	Märkström	Driftspänning	Driftström	Märkeffekt	Drifteffekt	Procent av märkeffekt
LR1A	110,0V	100,0A	125,0V	96,0A (Batteriprov)	11 000,0W	12 000,0W	109,09%
LR1B	110,0V	100,0A	130,0V	12,0A	11 000,0W	1 560,0W	14,18%
LR8A	48,0V	125,0A	45,0V	2,0A	6 000,0W	90,0W	1,50%
LR8B	48,0V	125,0A	52,0V	10,0A	6 000,0W	520,0W	8,67%
Station 8							
Objekt	Märkspänning	Märkström	Driftspänning	Driftström	Märkeffekt	Drifteffekt	Procent av märkeffekt
LR1A	110,0V	100,0A	125,0V	7,0A	11 000,0W	875,0W	7,95%
LR1B	110,0V	100,0A	125,0V	7,0A	11 000,0W	875,0W	7,95%
Station 9							
Objekt	Märkspänning	Märkström	Driftspänning	Driftström	Märkeffekt	Drifteffekt	Procent av märkeffekt
LR1A	110,0V	50,0A	120,0V	7,0A	5 500,0W	840,0W	15,27%
LR1B	110,0V	50,0A	120,0V	0,0A	5 500,0W	0,0W	0,00%
LR8A	48,0V	125,0A	48,0V	25,0A	6 000,0W	1 200,0W	20,00%
LR8B	48,0V	125,0A	48,0V	0,0A	6 000,0W	0,0W	0,00%

14.3 Avläst data från likriktare från tidigare undersökning.

Station	Objekt	Märkdata			Driftvärden			Sammanlagringsfaktor
		U Volt	I Ampere	KvA	U volt	I Ampere	KvA	
Station 10	LR A	110	100	11	120	9,4	1,128	10,3%
	LR B	110	100	11	120	16,6	1,992	18,1%
	LR 48A	48	35	1,68	54	2	0,108	6,4%
	LR48B	48	35	1,68	54	1,5	0,081	4,8%
	LR48C	48	35	1,68	54	5,4	0,2916	17,4%
	LR48D	48	35	1,68	54,7	2,1	0,11487	6,8%
Station 11	LR1A	110	300	33	121	13,2	1,5972	4,8%
	LR1B	110	300	33	121,2	11,9	1,44228	4,4%
	LR9A	24	80	1,92	26,5	5,4	0,1431	7,5%
	LR9B	24	80	1,92	26,8	5,6	0,15008	7,8%
Station 12	LR1A	220	50	11	240,8	7,7	1,85416	16,9%
	LR1B	220	50	11	240,8	7,7	1,85416	16,9%
Station 13	LR1A	110		5,5			1,06	19,3%
	LR48A	48		2,9			0,5	17,2%
Station 14	LR1A	110		27,5			2,1	7,6%
	LR24	24		0,6			0,43	71,7%
Station 15	LR1A	110		27,5			4,8	17,5%
	LR24	24		0,6			0,38	63,3%
	LR48	48		0,6			0,07	11,7%
Medel								17,4%

14.4 Generatormodell med motorlast.



14.5 Typtest för tyristorlikrikare.

BENNING	Typprüfung Gleichrichter	Nr. / No.:
	Type test rectifier	Blatt/Sheet: 7/7

Vorgenommene Prüfungen und Kontrollen
inspections and tests performed

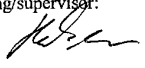
Ergebnis/result
o.k. ja/yes nein/no

- 9 Messung des Wirkungsgrades nach VDE 0558, Teil 1/5.7.6
measuring of the efficiency according to VDE 0558, part 1/5.7.6

	U [V]	I [A]	cos ϕ	P [kW]	η [%]	Last/load [%]
Eingang/input	400	14	0,63	6,147		25
Ausgang/output	26,5	200		5,360	0,822	25
Eingang/input	400	26	0,67	12,260		50
Ausgang/output	26,8	400		10,747	0,876	50
Eingang/input	400	39	0,69	18,620		75
Ausgang/output	26,78	604		16,175	0,868	75
Eingang/input	400	51	0,703	24,530		100
Ausgang/output	26,2	800		20,960	0,854	100

- 10 Sonstige Messungen/Bemerkungen
other measurements/remarks:

Wärmelauf:
Siehe angefügtes Diagramm.

Prüfer/tester:  Datum/date: 19.05.2003
Kontrolleitung/supervisor:  Datum/date: 19.05.2003

TB-330.0/97deen

14.6 Teknisk data för tyristorlikriktare.

BENNING

Elektrotechnik und Elektronik GmbH u. Co KG

46393 Bocholt
Tel. 02871/93-0
Fax 02871/93-390

Technical data rectifier range Thyrotronic

Dimensioning table

Output voltage	Output current	Input voltage	Input power	Input current	Terminal size	External fuse	Efficiency 100% load	Power losses max.	Efficiency 50% load	Power losses 50% load	Height	Width	Depth	Weight
V-DC	A-DC	V-AC	kVA	A-AC	mm ²	A	%	kW	%	kW	mm	mm	mm	kg
24	20	230	1,08	4,6	10	10	78	0,13	73	0,08	758	534	470	30
24	40	230	1,91	8,3	10	16	78	0,25	73	0,16	578	534	470	40
24	60	230	2,85	12,4	10	16	79	0,36	74	0,22	1500	600	400	60
24	80	230	3,73	16,2	10	20	79	0,48	74	0,30	1500	600	400	75
24	100	400	3,81	5,5	10	10	80	0,58	75	0,36	1500	600	400	150
24	125	400	4,71	6,8	10	16	80	0,72	75	0,45	1500	600	400	200
24	160	400	6,02	8,7	10	16	80	0,92	75	0,58	1500	600	400	240
24	200	400	7,47	10,8	10	16	81	1,09	76	0,69	1500	600	400	290
24	300	400	13,15	19,0	16	25	81	1,64	76	1,04	1500	600	400	400
24	400	400	16,82	24,3	16	32	82	2,07	77	1,32	1500	900	600	510
24	500	400	21,45	31,0	35	50	82	2,59	77	1,66	1500	900	600	650
24	600	400	26,3	38,0	35	50	82	3,11	77	1,99	1800	900	600	780
24	800	400	33,91	49,0	35	63	83	3,92	78	2,53	1800	900	600	900
24	1000	400	42,9	62,0	M 8	80	83	4,90	78	3,17	1800	900	600	1100
24	1200	400	52,59	76,0	M 8	100	84	5,53	79	3,63	2200	1200	800	1200
24	1500	400	62,97	91,0	M 8	125	85	6,48	80	4,32	2200	1200	800	1480
48	10	230	0,97	4,2	10	10	79	0,12	74	0,07	758	534	470	30
48	20	230	2,09	9,1	10	16	80	0,23	75	0,14	578	534	470	40
48	30	230	2,83	12,3	10	16	80	0,35	75	0,22	1500	600	400	60
48	40	230	3,75	16,3	10	20	80	0,48	75	0,29	1500	600	400	75
48	50	400	4,01	5,8	10	10	81	0,55	76	0,35	1500	600	400	145
48	60	400	4,64	6,7	10	16	81	0,66	76	0,41	1500	600	400	190
48	80	400	6,16	8,9	10	16	82	0,83	77	0,53	1500	600	400	220
48	100	400	7,47	10,8	10	16	82	1,04	77	0,66	1500	600	400	270
48	125	400	9,55	13,8	10	20	82	1,30	77	0,83	1500	600	400	290
48	160	400	12,18	17,6	16	25	83	1,57	78	1,01	1500	600	400	340
48	200	400	15,15	21,9	16	32	83	1,96	78	1,27	1800	600	600	400
48	300	400	22,14	32,0	35	50	84	2,76	79	1,81	1800	600	600	500
48	400	400	33,22	48,0	35	63	84	3,69	79	2,42	1800	900	600	600
48	500	400	43,60	63,0	M 8	80	85	4,32	80	2,88	1800	900	600	780
48	600	400	52,59	76,0	M 8	100	85	5,18	80	3,46	1800	900	600	950
48	800	400	66,43	96,0	M 8	125	86	6,45	81	4,38	2200	1200	800	1160
48	1000	400	86,50	125,0	M 8	160	86	8,06	81	5,47	2200	1200	800	1300

Technical data rectifier range Thyrotronic

Dimensioning table

Output voltage	Output current	Input voltage	Input power	Input current	Terminal size	External fuse	Efficiency 100% load	Power losses max.	Efficiency 50% load	Power losses 50% load	Height	Width	Depth	Weight
V-DC	A-DC	V-AC	kVA	A-AC	mm²	A	%	kW	%	kW	mm	mm	mm	kg
60	10	230	1,17	5,1	10	10	79	0,15	74	0,09	758	534	470	30
60	20	230	2,37	10,3	10	16	80	0,29	75	0,18	578	534	470	40
60	30	230	4,03	17,5	10	16	80	0,43	75	0,27	1500	600	400	60
60	40	230	5,52	24,0	10	16	80	0,58	75	0,36	1500	600	400	75
60	50	400	4,71	6,8	10	16	81	0,68	76	0,43	1500	600	400	150
60	60	400	5,61	8,1	10	16	81	0,82	76	0,52	1500	600	400	220
60	80	400	7,47	10,8	10	16	82	1,04	77	0,66	1500	600	400	250
60	100	400	9,34	13,5	10	20	82	1,30	77	0,83	1500	600	400	280
60	125	400	11,83	17,1	10	25	82	1,62	77	1,04	1500	600	400	300
60	160	400	15,02	21,7	16	32	83	1,96	78	1,27	1500	600	400	350
60	200	400	18,34	26,5	16	50	83	2,45	78	1,58	1800	600	600	420
60	300	400	28,03	40,5	35	63	84	3,46	79	2,27	1800	600	600	520
60	400	400	36,68	53,0	35	80	84	4,61	79	3,02	1800	900	600	620
60	500	400	47,06	68,0	M 8	100	85	5,40	80	3,60	1800	900	600	810
60	600	400	56,05	81,0	M 8	125	85	6,48	80	4,32	1800	900	600	970
60	800	400	76,12	110,0	M 10	160	86	8,06	81	5,47	2200	1200	800	1175
60	1000	400	96,88	140,0	M 10	200	86	10,08	81	6,84	2200	1200	800	1325
108	5	230	1,17	5,1	10	10	86	0,09	81	0,06	758	534	470	30
108	10	230	2,35	10,2	10	10	86	0,18	81	0,12	578	534	470	40
108	16	230	3,45	15,0	10	16	87	0,27	82	0,19	1500	600	400	60
108	25	400	4,50	6,5	10	10	87	0,42	82	0,29	1500	600	400	75
108	30	400	5,19	7,5	10	16	87	0,51	82	0,35	1500	600	400	95
108	40	400	6,92	10,0	10	16	88	0,62	83	0,44	1500	600	400	180
108	50	400	8,93	12,9	16	16	88	0,78	83	0,55	1500	600	400	220
108	60	400	10,17	14,7	16	20	88	0,93	83	0,66	1500	600	400	260
108	80	400	13,84	20,0	16	25	89	1,14	84	0,83	1500	600	400	330
108	100	400	17,09	24,7	25	32	89	1,43	84	1,04	1800	600	600	400
108	125	400	21,8	31,5	25	50	89	1,78	84	1,30	1800	600	600	450
108	160	400	27,68	40,0	25	50	90	2,07	85	1,56	1800	600	600	500
108	200	400	34,60	50,0	35	63	90	2,59	85	1,94	1800	900	600	520
108	300	400	48,44	70,0	35	80	90	3,89	85	2,92	1800	900	600	850
108	400	400	69,20	100,0	M 8	100	91	4,67	86	3,63	2200	800	800	1100
108	500	400	86,50	125,0	M 10	160	91	5,83	86	4,54	2200	800	800	1290
108	600	400	103,80	150,0	M 10	200	92	6,22	87	5,05	2200	1200	800	1480
108	800	400	138,40	200,0	M 12	250	92	8,29	87	6,74	2200	1200	800	1700
108	1000	400	173,00	250,0	M 12	300	93	9,07	88	7,78	2200	1600	800	1850
108	1200	400	207,60	300,0	M 12	350	93	10,89	88	9,33	2200	1600	800	2000

Technical data rectifier range Thyrotronic

Dimensioning table

Output voltage	Output current	Input voltage	Input power	Input current	Terminal size	External fuse	Efficiency 100% load	Power losses max.	Efficiency 50% load	Power losses 50% load	Height	Width	Depth	Weight
V-DC	A-DC	V-AC	kVA	A-AC	mm ²	A	%	kW	%	kW	mm	mm	mm	kg
216	5	230	1,84	9,4	10	16	89	0,15	84	0,10	758	534	470	40
216	10	400	3,46	5,1	10	10	90	0,26	85	0,19	1500	600	400	60
216	16	400	5,54	8,0	10	16	90	0,41	85	0,31	1500	600	400	80
216	20	400	6,78	9,8	10	16	90	0,52	85	0,39	1500	600	400	120
216	25	400	8,58	12,4	10	16	91	0,58	86	0,45	1500	600	400	220
216	30	400	10,52	15,2	10	20	91	0,7	86	0,54	1500	600	400	260
216	40	400	14,53	21,0	16	25	91	0,93	86	0,73	1500	600	400	330
216	50	400	17,44	25,2	16	32	92	1,04	87	0,84	1800	600	600	400
216	60	400	21,11	30,5	16	50	92	1,24	87	1,01	1800	600	600	450
216	80	400	28,03	40,5	35	50	92	1,66	87	1,35	1800	600	600	500
216	100	400	34,60	50,0	35	63	93	1,81	88	1,55	1800	900	600	620
216	125	400	43,60	63,0	35	80	93	2,27	88	1,94	1800	900	600	720
216	160	400	56,05	81,0	M 8	100	94	2,49	89	2,28	1800	900	600	800
216	200	400	69,20	100,0	M 10	160	94	3,11	89	2,85	2200	800	800	1050
216	300	400	105,18	152,0	M 10	200	95	3,89	90	3,89	2200	1200	800	1300
216	400	400	140,48	203,0	M 12	250	95	5,18	90	5,18	2200	1200	800	1600
216	500	400	174,38	252,0	M 12	300	95	6,48	90	6,48	2200	1600	800	1750
216	600	400	209,68	303,0	M 12	350	96	6,22	91	6,99	2200	1600	800	1900
216	800	400	280,26	405,0	M 12	450	96	8,29	91	9,32	2200	2400	800	2200
216	1000	400	348,08	503,0	M 12	630	96	10,36	91	11,66	2200	2400	800	2600

Table with THD in % based of the
basic oscillation from the ideally mains current

n	p = 2	p = 3	p = 6	p = 12	p = 18	p = 24
1	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
2		50,00				
3	33,30					
4		25,00				
5	20,00	20,00	20,00			
7	14,30	14,30	14,30			
8		12,50				
9	11,10					
10		10,00				
11	9,10	9,10	9,10	9,10		
13	7,70	7,70	7,70	7,70		
14		7,15				
15	6,70					
16		6,25				
17	5,90	5,90	5,90		5,90	
19	5,25	5,25	5,25		5,25	
20		5,00				
21	4,75					
22		4,55				
23	4,35	4,35	4,35	4,35		4,35
25	4,00	4,00	4,00	4,00		4,00
26		3,55				
27	3,70					
28		3,55				
29	3,45	3,45	3,45			
31	3,20	3,20	3,20			
32		3,10				
33	3,00					
34		2,95				
35	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	
37	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	
Sum	46,94%	66,65%	29,69%	13,87%	8,82%	5,91%

14.7 Data erhållet av Thomas Rooth från Benning.

Tabell visar riktlinjer för generatordimensionering beroende på likriktartyp. I tabellen finns förutom 6-puls och 12-puls brygga även likriktartyp med transistorer (IGBT). Denna typ kan likställas med likriktare av switchad typ motsvarande vår 3000HDi när det gäller nätåterverkan. Dokumenterat riktvärde för 3-puls har jag inte hittat men den ligger i den övre delen av rekommendationen för 6-puls d.v.s. $\geq 2,5$ ggr.

Då strömdistorsionen från likriktaren genererar en spänningsdistorsion så är det viktigt att "Xd" (generatorns subtransienta reaktans) är så låg som möjligt. I tabellen är "Xd" angivet till 10% vilket är ett reaktansvärde för en generator som är rätt dimensionerad. Ett bra värde bör ligga mellan 8 - 10%. Blir spänningsdistorsionen för hög kan detta ge reglerproblem samt även överhettning i generatorlindningen. Notera att även ledningsimpedansen kan ha påverkan.

Riktlinjer för generatorstorlek beroende på likriktarkonstruktion

UPS rectifier type	THDi %	Input power factor	Efficiency %	Generator sizing Xd“<10%
6 pulse thyristor	27	0,8	93,5	2 – 2,5
6 pulse thyristor with 5th harmonic filter	10	0,9	92	
12 pulse thyristor	12	0,86	93	2
12 pulse thyristor with 11th harmonic filter	>5	0,9	91,5	
IGBT (insulated gate bipolar transistor)	<5	0,99	93	1,2

14.8 Dimensioneringsguide för dieselaggregat

Säkerhetsfaktor	K=2,5	K=2,5	K=2,0	K=1,2
Typ	3-puls	6-puls	12-puls	Switchade
Likriktare 1 SF=0,2				
Märkspänning (Uf)	_____ V	_____ V	_____ V	_____ V
Märkström (If)	_____ A	_____ A	_____ A	_____ A
Märkeffekt=Uf*If=_____ W			Max aktiv effektförbrukning=Märkeffekt*1,25=_____ W	

Likriktare 2 SF=0,2				
Märkspänning (Uf)	_____ V	_____ V	_____ V	_____ V
Märkström (If)	_____ A	_____ A	_____ A	_____ A
Märkeffekt=Uf*If=_____ W			Max aktiv effektförbrukning=Märkeffekt*1,25=_____ W	

Likriktare 3 SF=0,2				
Märkspänning (Uf)	_____ V	_____ V	_____ V	_____ V
Märkström (If)	_____ A	_____ A	_____ A	_____ A
Märkeffekt=Uf*If=_____ W			Max aktiv effektförbrukning=Märkeffekt*1,25=_____ W	

Likriktare 4 SF=0,2				
Märkspänning (Uf)	_____ V	_____ V	_____ V	_____ V
Märkström (If)	_____ A	_____ A	_____ A	_____ A
Märkeffekt=Uf*If=_____ W			Max aktiv effektförbrukning=Märkeffekt*1,25=_____ W	

Storleksordning

PmaxA=Största likriktarens maxförbrukning=_____ W
 PmaxB=Närmast mindre än likriktare A:s maxförbrukning=_____ W
 PmaxC=Närmast mindre än likriktare B:s maxförbrukning=_____ W
 PmaxD=Närmast mindre än likriktare C:s maxförbrukning=_____ W

Sekvensstart. Börja med den största.

Sekvens1=PmaxA=_____ W
 Sekvens2=PmaxA*SF+PmaxB=_____ W
 Sekvens3=(PmaxA+PmaxB)*SF+PmaxC=_____ W
 Sekvens4=(PmaxA+PmaxB+PmaxC)*SF+PmaxD=_____ W

Krav på aggregatstorlek. Den största av lim1 eller lim2

Plim1=Största Sekvens=_____ W
 Slim1=Största Sekvens/0,62=_____ VA
 Plim2=(PmaxA+PmaxB+PmaxC+PmaxD)*SF*K=_____ W
 Slim2=(PmaxA+PmaxB+PmaxC+PmaxD)*SF*K/0,62=_____ VA

Sammanlagrad effekt.

Prek=(PmaxA+PmaxB+PmaxC+PmaxD)*SF=_____ W

Start kVA (SKVA)

LRA eller Startström

Om LRA och Startström är okänd. _____ A

Använd 7x märkström

Motor(er)Effektfaktor vid start ($\cos(\phi_i)$) _____

SKVA=(LRAx240x3)/1000 _____ skVA

Generatorval från ramavtal med hänsyn till SKVA och aktiv starteffekt

Generatorval _____ kVA

SKVA med 20% spänningsdipp och $\cos(\phi_i)$ _____ skVA

Om SKVA inte finns i datablad kan beräkningar göras med antagandet, 20% spänningsdipp vid 133% lasttillslag vid motorstart.

 $S_g = SKVA / 1,33 =$ _____ kVA**Märkeffekt SF=0,8**Effektfaktor ($\cos(\phi_i)$) _____Märkström (I_f) _____ AFasspänning (U_f) _____ V

eller

Märkeffekt (P_{mot}) _____ kW**Motor(er)** $P_m = SF \cdot I_f \cdot U_f \cdot 3 \cdot \cos(\phi_i) / 1000 =$ _____ kW $P_m = SF \cdot P_{mot} =$ _____ kW

Laster

Kraftuttag SF=0,0
 Motorvärmarruttag SF=0,2
 Belysning inomhus SF=0,6
 Belysning utomhus SF=1,0
 Värme kontrollbyggnad SF=0,4
 Grundvärme HSP-brytare SF=1,0
 Tillsatsvärme HSP-brytare SF=1,0
 Kylanläggning kontrollbyggnad SF=0,8

Motorer
 Likriktarlaster

Övrig last

Effekt

Pmärk*SF= _____ kW
 Pmärk*SF= _____ kW
 Pmärk*SF= _____ kW
 Pmärk*SF= _____ kW
 Pmärk*SF= _____ kW
 Pmärk*SF= _____ kW
 Pmärk*SF= _____ kW
 Pmärk*SF= _____ kW

Pm= _____ kW
 Prek= _____ kW

Pmärk= _____ kW

10% extra för framtida utbyggnad

Summa=Ptot= _____ kW
 Ptotal=Ptot*1,1= _____ kW

Aggregatval från ramavtal med hänsyn till Ptotal och motorens generatorbehov.

PRP-effekt (kW) _____ kW
 PRP-effekt (kVA) _____ kVA

Undersök om aggregatet klarar likriktarnas krav (lim1 och lim2)

Valda aggregatets data

PRP-effekt (kW) _____ kW
 PRP-effekt (kVA) _____ kVA
 Generatoreffekt vid cos(fi)=0,8 _____ kVA
 Drivmotor _____ kW