

# Institutionen för systemteknik

Department of Electrical Engineering

Examensarbete

## **Analys av dieselsäkrat reservkraftsystem på ett kärnkraftverk**

Examensarbete utfört i fordonssystem  
vid Tekniska högskolan vid Linköpings universitet

av


Johan Rosén

LiTH-ISY-EX-ET--12/0401--SE  
Linköping 2012



# Linköpings universitet



<b>Presentationsdatum</b> 2012-12-07 <hr/> <b>Publiceringsdatum (elektronisk version)</b> 2012-02-07 <hr/>	<b>Institution och avdelning</b> <b>Institutionen för systemteknik</b>  <b>Department of Electrical Engineering</b>	 <b>Linköpings universitet</b>
--	--	--

<b>Språk</b> <input checked="" type="checkbox"/> Svenska <input type="checkbox"/> Annat (ange nedan)  <hr/> <b>Antal sidor</b> 38 <hr/>	<b>Typ av publikation</b> <input type="checkbox"/> Licentiatavhandling <input checked="" type="checkbox"/> Examensarbete <input type="checkbox"/> C-uppsats <input type="checkbox"/> D-uppsats <input type="checkbox"/> Rapport <input type="checkbox"/> Annat (ange nedan) <hr/>	<b>ISBN (licentiatavhandling)</b> <hr/> <b>ISRN LiTH-ISY-EX-ET--12/0401--SE</b> <hr/> <b>Serietitel (licentiatavhandling)</b> <hr/> <b>Serienummer/ISSN (licentiatavhandling)</b> <hr/>
---	--	---

<b>URL för elektronisk version</b> <a href="http://www.ep.liu.se">http://www.ep.liu.se</a>
---

<b>Publikationens titel</b> Analys av dieselsäkrat reservkraftsystem på ett kärnkraftverk  <b>Författare</b> Johan Rosén
--

<b>Sammanfattning</b> <p>Ett kärnkraftverk producerar inte bara elenergi, det är även beroende av det bl.a för kylning av reaktorn. Därför finns åtskilliga säkerhetssystem för reservkraft och ett av dessa system är dieseldrivna generatorer. På en av reaktorerna i Oskarshamn har man fyra sådana generatorer men de börjar bli gamla och det finns ett behov av att skaffa en ny generator för att kunna frigöra de gamla en i taget och göra en grundlig genomgång på dem. Det här examensarbetet kom till för att undersöka om det är möjligt att få fram en ny generator som går att använda som ersättare medans en gammal plockas ner för total genomgång. Det omfattar även kringutrustningen till generatorerna som är lika viktig för dess funktion.</p> <p>För att få fram vad som krävs har jag behövt sätta mig in i hur systemet är uppbyggt och fungerar. Sedan har jag använt mina egna och min handledare på OKG:s kunskaper för att ta fram en specifikation på vad som krävs av en ny generator. Sedan har mycket tid lagts på att leta uppgifter och värden i datablad för att kunna slutföra specifikationen som också är resultatet av arbetet. Jag har även varit i kontakt med en generatortillverkare för att få veta hur dem ställer till kraven och utifrån det kommit med förslag på hur man ska gå vidare med det här projektet. Det har även genomförts en mätning på de befintliga generatorerna för att undersöka skicket på dem.</p>
--

<b>Nyckelord</b> Analys, elkraft, reservkraft, kärnkraftverk, generator
--



## Sammanfattning

Ett kärnkraftverk producerar inte bara elenergi, det är även beroende av det, framför allt för kylning av reaktorn. Därför finns åtskilliga säkerhetssystem för reservkraft och ett av dessa system är dieseldrivna generatorer. På en av reaktorerna i Oskarshamn har man fyra sådana generatorer men de börjar bli gamla och det finns ett behov av att skaffa en ny generator för att kunna frigöra de gamla en i taget och göra en grundlig genomgång på dem. Det här examensarbetet kom till för att undersöka om det är möjligt att få fram en ny generator som går att använda som ersättare medan en gammal plockas ner för total genomgång. Det omfattar även kringutrustningen till generatorerna som är lika viktig för dess funktion.

För att få fram vad som krävs har jag behövt sätta mig in i hur systemet är uppbyggt och fungerar. Sedan har jag använt mina egna och min handledare på OKG:s kunskaper för att ta fram en specifikation på vad som krävs av en ny generator. Sedan har mycket tid lagts på att leta uppgifter och värden i datablad för att kunna slutföra specifikationen som också är resultatet av arbetet. Jag har även varit i kontakt med en generatortillverkare för att få veta hur de ställer sig till kraven och utifrån det kommit med förslag på hur man ska gå vidare med det här projektet. Det har även genomförts en mätning på de befintliga generatorerna för att undersöka skicket på dem.



## **Förord**

Det här har varit ett mycket lärorikt examensarbete som markerar slutet på min högskoleingenjörsutbildning inom elektroteknik vid Linköpings Tekniska Högskola. Det har gett mig en större helhetssyn på elmaskiner och hur de underhålls. Dessutom har jag verkligen fått tillämpa och utveckla mina kunskaper från utbildningen. På OKG:s område råder fotoförbud så det har tyvärr inte gått att ta några bilder därifrån till den här rapporten.

Jag vill tacka alla som har stöttat och hjälpt mig i arbetet men framför allt min handledare på OKG Tomas Malm samt min handledare och examinator Sivert Lundgren på Linköpings Tekniska Högskola.





# Innehållsförteckning

1 Inledning.....	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Problembeskrivning.....	1
1.3 Syfte.....	1
1.4 Mål.....	1
1.5 Avgränsningar.....	1
2 Teori.....	2
2.1 Synkronmaskinen.....	2
2.1.1 Uppbyggnad.....	2
2.1.2 Synkrogeneratorn.....	4
2.1.3 Styrning.....	6
2.1.4 Synkronmotorn.....	7
2.2 Reservkraftsystemet.....	8
2.2.1 Uppbyggnad.....	8
2.2.2 Funktion.....	9
2.2.3 Övrig kringutrustning.....	9
2.2.4 Underhåll.....	10
3 Analys.....	11
3.1 Ombyggnation av asynkronmotor.....	11
3.1.1 Krav på den avställda motorn.....	11
3.1.2 Jämförelse mellan befintlig generator och avställd motor.....	11
3.2 Köpa in nytt.....	14
3.2.1 Huvudgeneratoren.....	14
3.2.2 Hur ställer sig en generatortillverkare till dessa krav?.....	15
3.3 Mätning på befintlig generator.....	17
3.3.1 Vad är då en PD-mätning?.....	17
3.3.2 Vår PD-mätning.....	17
3.4 Matarna.....	18
3.4.1 Vad säger ABB om matare?.....	18
3.5 Styrsystemet.....	19
3.5.1 Vad säger ABB om nytt styrsystem?.....	19
4 Resultat.....	20
5 Diskussion och idéer.....	21
6 Referenser.....	22
7 Bilagor.....	23
Bilaga 1 Huvudgeneratoren med kringutrustning.....	23
Bilaga 2 Motorn och generatorernas fundament.....	24
Bilaga 3 Resultat av PD-mätning.....	25

## Figurer

Figur 2.1: Exempel på en stator.....	2
Figur 2.2: De två olika rotorerna som finns.....	3
Figur 2.3: Synkronmaskin av innerpoltyp.....	3
Figur 2.4: Synkronmaskinens ekvivalenta schema.....	4
Figur 2.5: Exempel på borstlöst magnetiseringssystem.....	5
Figur 2.6: Trepuls- och sexpuls-koppling.....	6
Figur 2.7: Växelspänning över en tyristor.....	7
Figur 2.8: Principskiss på systemet.....	9
Figur 3.1: Motorfundamentets kortsida.....	13
Figur 3.2: Fältlindningens ekvivalenta schema.....	18

# Tabeller

Tabell 3.1.....12

Tabell 3.2:.....14

Tabell 3.3:.....16

Tabell 3.4:.....18



# **1 Inledning**

## **1.1 Bakgrund**

På OKG finns reservkraftsanläggningar i form av dieselgeneratorer. Den avdelning jag utfört exjobbet på har ansvar för fyra av dessa och generatorerna ska driva vital utrustning om strömförsörjning från yttre nät bortfaller.

## **1.2 Problembeskrivning**

Problemet är att dessa generatorer är över 25 år gamla och även om de hittills fungerat klanderfritt måste man ta hänsyn till att det krävs utrymme för underhåll samt beredskap för haverier. Dessutom finns det myndighetskrav som säger att om en reservkraftsanläggning blir satt ur funktion måste kärnkraftverket stoppa efter 14 dagar om inte felet är åtgärdat. Skulle mer än en anläggning bli satt ur funktion måste man stoppa efter 2 dagar.

Generatorerna tillverkas inte längre så att köpa en ny likadan eller få tag på reservdelar går inte. Det kanske går att få tag på något begagnat eller specialtillverka, men för det finns inga garantier och det skulle ta lång tid. Samma problem gäller för vissa delar av kringutrustningen. Skulle något inträffa riskerar man alltså att få ett långvarigt bortfall av reservkraften vilket också skulle innebära ett långt produktionsstopp.

## **1.3 Syfte**

Syftet med detta projekt är att ta fram lösningar så ett bra underhåll kan bedrivas samt att tillgången till reservkraft enklare kan säkras även om fel skulle uppstå. Utgångspunkten är att hitta en lösning så det finns minst en extra generator att tillgå och med hjälp av den förbättra både det förebyggande och avhjälpande underhåll.

## **1.4 Mål**

Målet är att ta reda på vad som tekniskt krävs för att få tillgång till en eller flera extra generatorer. Vidare ska ett tekniskt underlag på hur man kan utnyttja den/dem tas fram. Sedan jämföra de alternativ som tagits fram för att se hur man kan använda den/dem på bästa sätt. Underhållsplaner för de olika konstruktionerna ska även tas fram.

## **1.5 Avgränsningar**

Huvudmålet med det här examensarbetet är att ta fram en lösning så man har säker tillgång till reservkraft samt kan bedriva ett bra underhåll. Men fokus ligger på elmaskinerna, styrutrustningen kommer inte behandlas så ingående och dieselmotorn med kringutrustning kommer inte utredas alls.

## 2 Teori

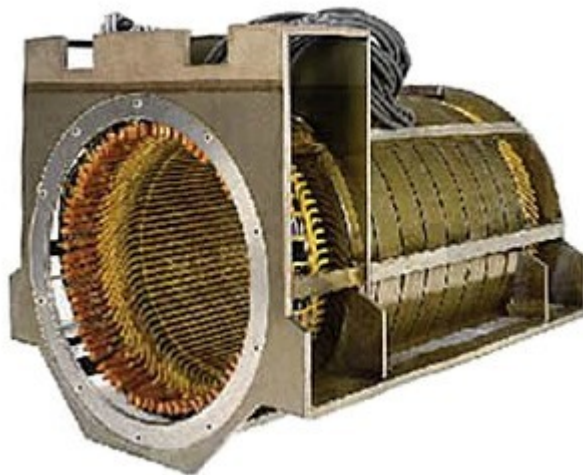
Här presenteras den förstudie som gjorts. Det är en undersökning om hur det dieselsäkrade reservkraftsystemet fungerar samt underhålls. Men först kommer en beskrivning av synkronmaskinen så att läsare som inte har tidigare kunskaper om den ska kunna förstå fortsättningen av rapporten.

### 2.1 Synkronmaskinen

Synkronmaskinen är den vanligaste typen av generator och finns från väldigt små (t.ex bilgeneratorer) upp till riktigt stora generatorer på över tusen MVA (t.ex kärnkraftverk). De små generatorerna har en verkningsgrad på ca.85% medan stora på flera hundra MVA har en verkningsgrad på nära 99%. Namnet synkronmaskin kommer från att hastigheten maskinen roterar med matchar frekvensen på spänningen den producerar. Man säger att varvtalet är synkront. Som motor är synkronmaskinen däremot ovanlig på grund av sina dåliga startegenskaper [1].

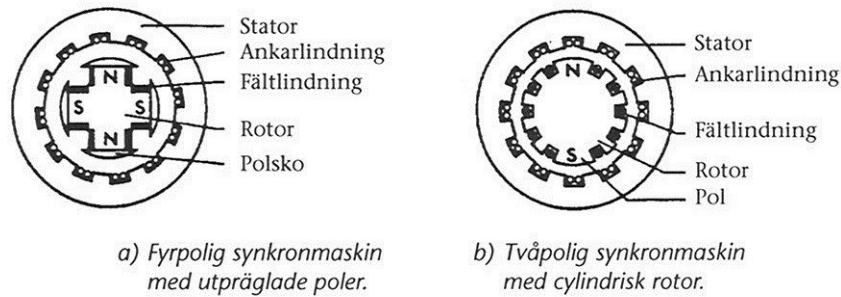
#### 2.1.1 Uppbyggnad

Synkronmaskinen är uppbyggd av en yttre stillastående del och en inre roterande del, dessa kallas stator och rotor. Statorn är uppbyggd av en stomme där lager för rotorn är placerat. I stommen finns järnkärnan som har spår för statorlindningen. Järnkärnan är ett plåtpaket uppbyggt av tunna plåtar med isolering emellan, vilket kallas laminering. Anledningen till att man laminerar järnkärnan är för att eliminera virvelströmmar.



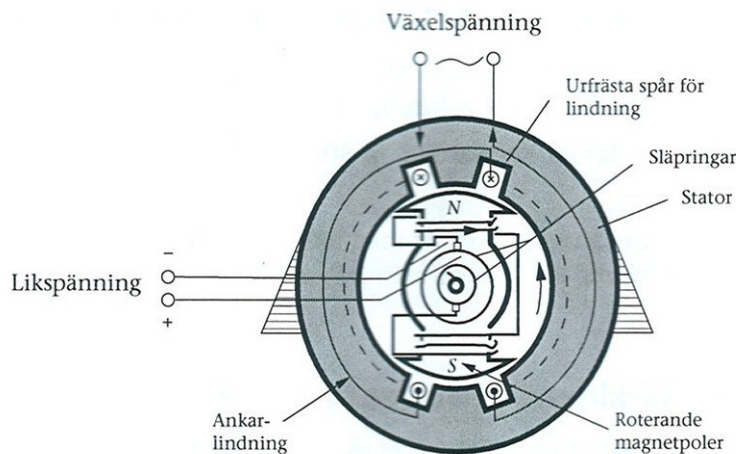
**Figur 2.1** Exempel på en stator

Rotorn kan ha två utföranden, antingen cylindrisk eller utpräglade poler, se figur 2.2. I rotorn finns rotorlindningen och den är placerad i spår på rotorn om den är en cylindrisk. Är det en rotor med utpräglade poler sitter rotorlindningen som en spole på varje pol [1].



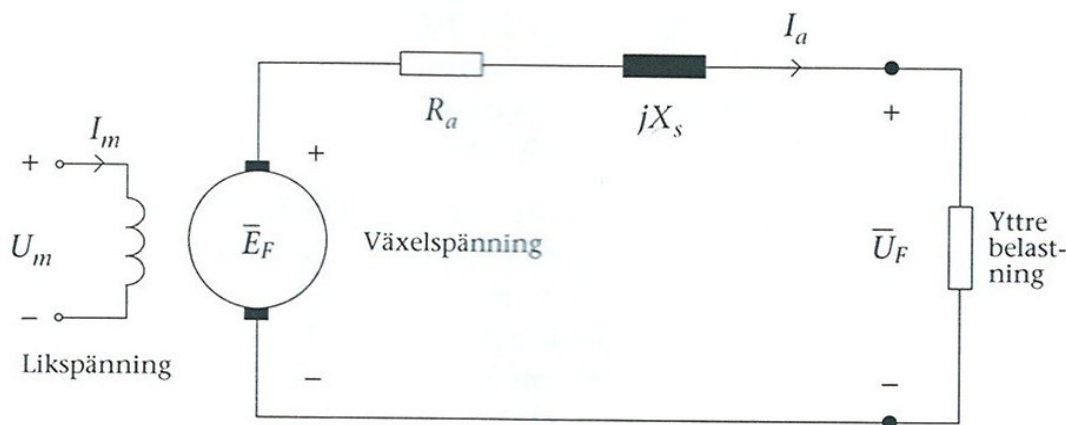
**Figur 2.2 De två olika rotorer som finns [1]**

De två lindningarna kallas även ankarlindning och fältlindning. Det absolut vanligaste är att ankarlindningen sitter i statorn och fältlindningen i rotorn. En sådan maskin kallas innerpolmaskin. Då matas fältlindningen med likström vilket gör den till en magnet och åstadkommer det magnetfält som fodras. Därför kallas fältlindningen även magnetiseringslindning. I ankarlindningen flyter växelspanning och där sker den huvudsakliga energiomvandlingen. Fältlindningen kan även ersättas med en permanentmagnet. Vanligtvis överförs likströmmen till rotorn genom kol som går mot släpningar på rotorn. Genom att variera likströmmen så varieras storleken på den inducerade spänningen i ankaret. Det finns även maskiner med fältlindningen i statorn, dessa maskiner kallas ytterpolmaskiner. De är mycket ovanliga men finns bl.a i reservkraftsanläggningen på OKG. Figur 2.3 visar synkronmaskinens uppbyggnad.



**Figur 2.3 Synkronmaskin av innerpoltyp [1]**

Alla elmaskiner kan ritas upp med ett ekvivalent elektriskt schema. Det underlättar vid analys och ger en bra överblick av maskinens funktion. Figur 2.4 visar synkronmaskinens ekvivalenta schema per fas.



**Figur 2.4 Synkronmaskinens ekvivalenta schema [1]**

Schemat visar synkronmaskinen vid generatordrift inkopplad mot en yttre belastning. Hade maskinen gått som motor hade enda skillnaden varit att ankarströmmen ( $I_a$ ) varit riktad åt andra hållet samt att den yttre belastningen varit ersatt med en matande växelspänning. Till vänster i schemat är fältkretsen och till höger ankarkretsen.

$E_F$  = Den per fas inducerade växelspänningen

$U_F$  = Polspänningen per fas

$R_a$  = Ankarlindningens resistans

$X_s$  = Synkrona reaktansen

Relationen mellan synkronmaskinens hastighet och den inducerade spänningens frekvens beror inte bara på maskinens hastighet utan även antalet poler. Det minsta poltalet en synkronmaskin kan ha är två. I det fallet motsvarar den i varje ögonblick två magnetpoler, en nord och en syd. När en tvåpolig maskin har roterat ett varv ( $360^\circ$  alltså) har magnetpolerna också förflyttat sig ett varv. Den inducerade spänningen har då gått 360 elektriska grader på 360 mekaniska grader. En fyrpolig maskin har istället två syd och två nordpoler. Då byter polerna plats med varandra under ett varv. Då går den inducerade spänningen igenom 720 elektriska grader på 360 mekaniska grader.

Antalet poler ger även effekter på konstruktionen av en maskin. Utpräglade poler används främst för maskiner med lågt varvtal. Detta är vanligt i vattenkraftverk då dessa går med låg hastighet men fortfarande ska producera el med 50 Hz frekvens. Uppemot 70-90 poler är inte ovanligt i vattenkraftverk. För maskiner som ska gå snabbt behöver vikten reduceras då det blir höga centrifugalkrafter. I sådana applikationer används därför cylindrisk rotor. Men även storleken på en maskin kan begränsa varvtalet. En stor maskin som ska producera mycket effekt får en väldigt tung rotor vilket ger begränsningar i varvtal. Istället för att då begränsa storleken kan istället poltalet ökas. Poltalet används som en växel kan man säga.

## 2.1.2 Synkrogeneratoren

Det finns två typer av synkrogeneratorer, med roterande fält eller med stationärt fält (inner och ytterpolmaskiner). Det absolut vanligaste är generatorer med roterande fält, alltså att fältlindningen sitter i rotorn och ankarlindningen i statorn. Då är ankarlindningen ansluten direkt till den last



generatorm ska driva.

En generator kan belastas på två sätt, det ena kallas ensamdrift och det andra paralleldrif. Paralleldrif är när en generator belastas av ett nät där flera andra generatorer är inkopplade, vilket kallas starkt nät. Ett exempel på ett sådant är hela Sveriges elnät. En generator som är inkopplad mot ett starkt nät kan alltså inte bestämma spänning eller frekvens i nätet. Därför måste en generator som ska anslutas mot ett starkt nät fasa in. Det innebär att generatorm måste generera en spänning som har samma frekvens, spänning, fasföljd och fasläge som nätets spänning.

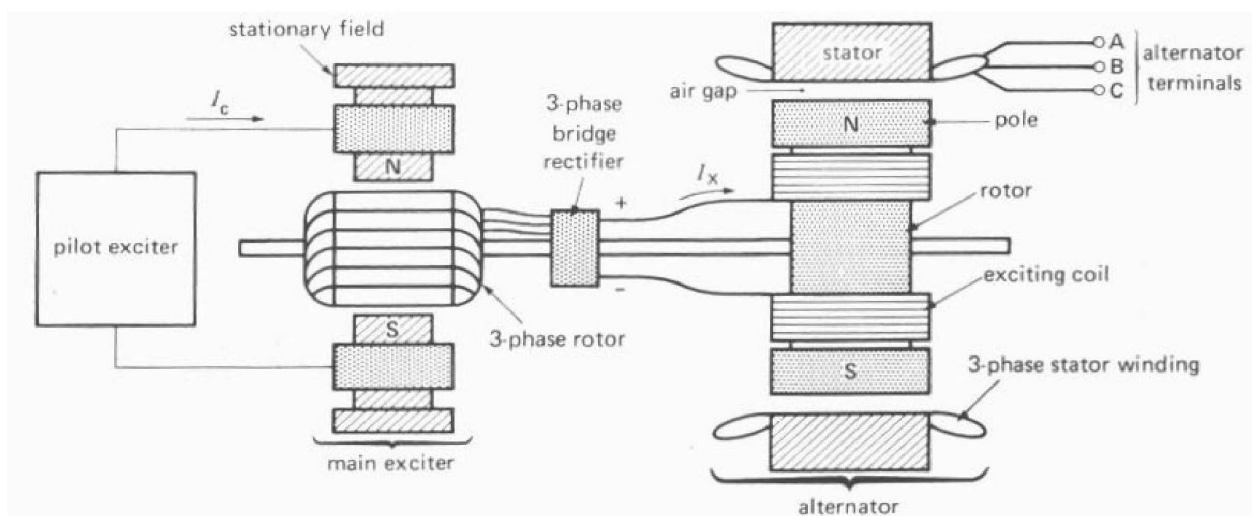
Det som kan styras är hur mycket aktiv och reaktiv effekt som generatorm skickar ut på nätet. Den aktiva effekten för en elmaskin bestäms av:

$$P = M \omega$$

Där  $M$  är momentet och  $\omega$  är varvtalet i rad/s. Eftersom varvtalet är fixerat bestäms det aktiva effektutbytet av axelmomentet. Det reaktiva effektutbytet bestäms av magnetiseringsströmen.

Det andra driftfallet, ensamdrift, är när en generator arbetar mot ett nät som inte matas av fler generatorer. Då är det den ensamma generatorm som bestämmer spänning och frekvens i nätet medan lasten bestämmer effektutbytet mellan generator och nät. De flesta reservkraftsanläggningar är exempel på generatorer som arbetar i ensamdrift eftersom det oftast är en generator som startas och driver en anläggning då det blir strömbrott. Vid ensamdrift är det hastighet och poltal på generatorm som bestämmer frekvensen i nätet och spänningen bestäms av magnetiseringsströmmen. Det gäller alltså att hålla reda på vilket driftfall en generator arbetar i om man ska ändra några parametrar.

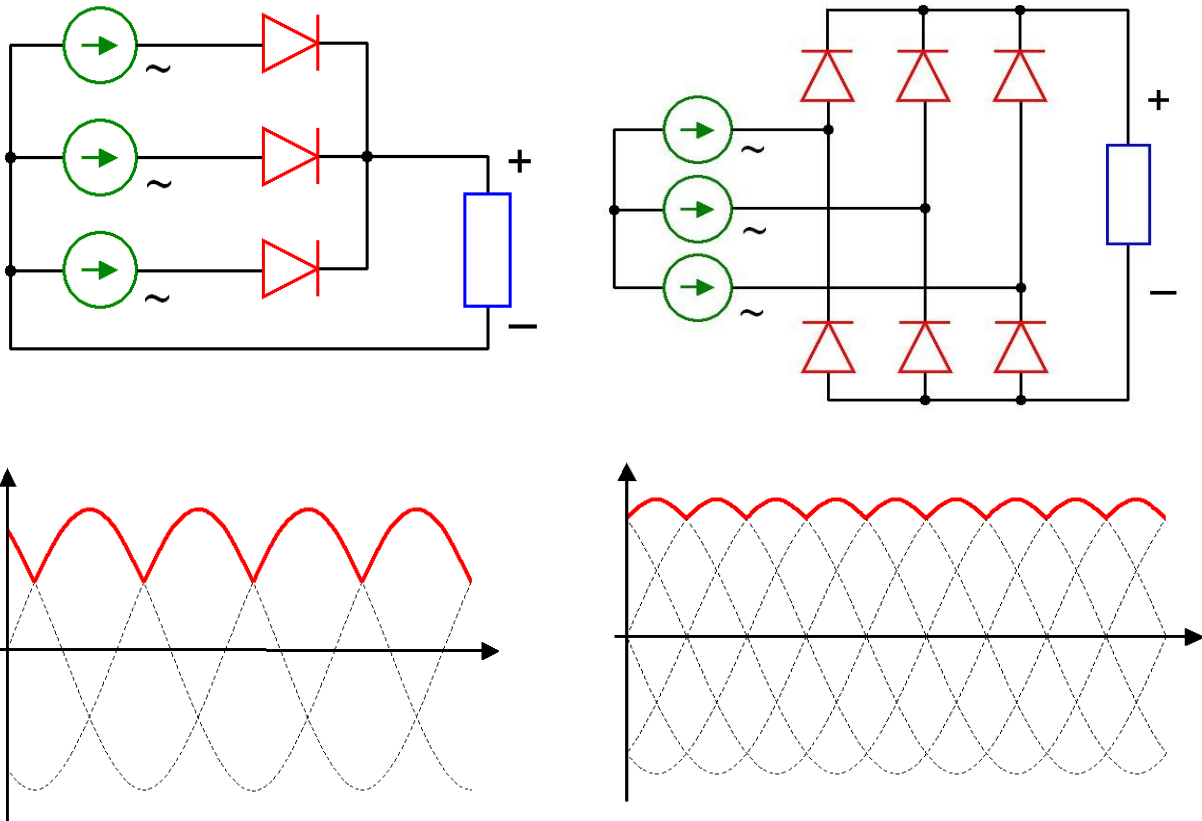
Generatorer med stationärt fält är den andra typen av generator som finns. Då matas statorn med likström och en växelspanning induceras i rotorlindningen. Ska effekten tas ut från en sådan generator används släpningar. Men det är inte lämpligt för högre effekter eftersom det blir ett litet elektriskt motstånd i släpningarna. Därför används nästan aldrig den här typen av generator annat än till så kallad borstlös magnetisering. Då sitter en ytterpolgenerator på samma axel som en annan generator och den växelspanning som induceras i rotorn går genom en roterande likriktare som sitter på samma axel.



Figur 2.5 Exempel på ett borstlöst magnetiseringssystem [3]

## 2.1.3 Styrning

Parametern som styrs i en synkrongenerator är magnetiseringsströmmen. Den styrs på olika sätt beroende på hur fältlindningen matas men vanligast är att en växelspanning från nätet eller en matande generator likriktas och regleras med hjälp av kraftelektronik. Till likriktningen används vanligtvis tyristorer men ibland även dioder. En diod fungerar som en elektrisk backventil, släpper bara fram ström i en riktning. För att använda dioden till att likrikta magnetiseringsströmmen till en synkrongenerator används i regel tre eller sexpuls koppling. Båda kopplingarna kräver trefassspanning. Figur 2.6 visar de båda kopplingarna samt diagram för när dioderna leder.

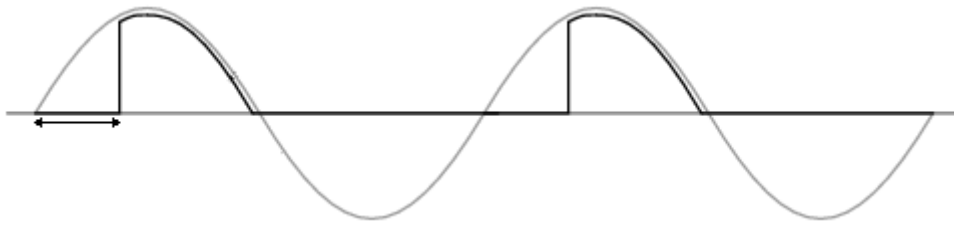


**Figur 2.6 Trepulskoppling**

**Sexpulskoppling**

Figuren visar att en sexpuls koppling ger en betydligt jämnare likspänning men det finns ändå ett tydligt rippel i den. Det innebär att rotorns reaktans kommer att inverka vilket man måste tänka på vid konstruktion av ett magnetiseringssystem. Det går även att lösa det genom att sätta ett filter efter likriktaren. Problemet är att det inte går att styra spänningen från en likriktare som är uppbyggd med dioder. Ska magnetiseringsströmmen styras används istället tyristorer.

En tyristor fungerar som en diod men med skillnaden att det finns ett så kallat styre på den. Tyristorn börjar inte leda fören en spänning läggs på styret och då leder den fram till dess att spänningen går ner till noll. Sedan måste tyristorn få en ny spänningspuls för att tända (börja leda) igen. Figur 2.7 visar en växelspanning över en tyristor.



**Figur 2.7 Växelspänning över en tyristor**

I figuren är den grå linjen kretsens spänning och den svarta strömmen som går genom den. Här syns fördröjningen innan tyristorn får tändimpuls och börjar leda. Vinkeln som är markerad med en pil kallas tändvinkel (brukar betecknas  $\alpha$ ) och genom att ändra den styrs utspänningen från likriktaren. Med tyristorer fås en så kallad styrd likriktare och det är i regel sådana som används för att styra synkrogeneratorer. Kopplad till styrda likriktare är reglerutrustning som styr tändvinkeln. För styrning av en synkrogenerator kan reglerutrustningen t.ex ha reaktiv effekt som mätvärde och ställer då in hur mycket reaktiv effekt som ska skickas ut på nätet genom att ändra tändvinkeln som i sin tur innebär att generatorns magnetiseringsström ändras.

### 2.1.4 Synkronmotorn

En synkronmotor är i princip en synkrogenerator som arbetar motsatt. Istället för att producera en spänning i ankaret lägger man på en. Även synkronmotorn arbetar med ett synkront varvtal och för att variera hastigheten behöver frekvensen på den matande spänningen ändras. Synkronmotorn är dock ovanlig då man i regel använder asynkronmotorn istället, som är en enklare och billigare konstruktion. Vidare behöver stora synkronmotorer en hjälpmotor som varvar upp den. Det finns fler fördelar att använda asynkronmotorn men det tas inte upp här då detta bara är tänkt som en överblick av synkronmotorn.

Men för långsamtgående motorer blir synkronmotorn intressant. En asynkronmotor som ska gå långsamt blir tung, dyr och har låg effektfaktor samt verkningsgrad [3]. Även om synkronmotorn är en mer komplex konstruktion blir de oftast billigare och lättare än en asynkronmotor som har samma hastighet och effekt. Dessutom kan man med magnetiseringsströmmen ställa in effektfaktorn nära 1 och verkningsgraden är hög.

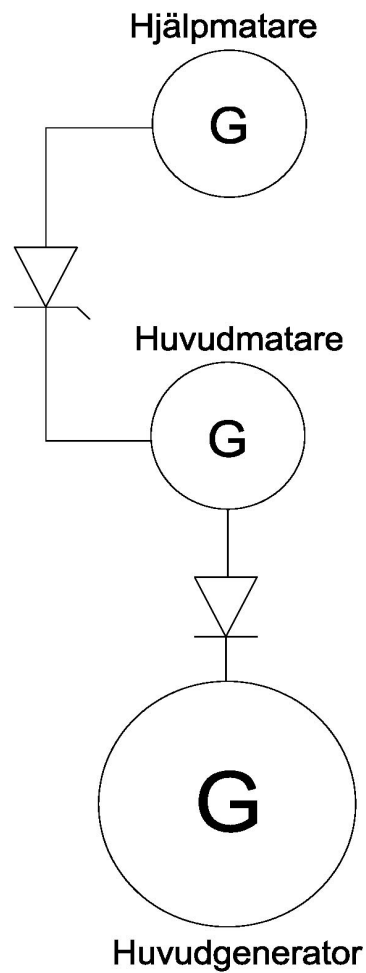
## **2.2 Reservkraftsystemet**

Det dieselsäkrade reservkraftsystemet har som uppgift att förse stationen med reservkraft om yttre strömförsörjning bortfaller. Det är uppbyggt av fyra identiska dieselgeneratorer som matar varsitt ställverk. I det här avsnittet beskrivs det dieselsäkrade reservkraftsystemets uppbyggnad och funktion.

### **2.2.1 Uppbyggnad**

Drivningen till reservkraften kommer från en dieselmotor. På motorns utgående axel sitter huvudgeneratoren samt mataren. Mataren består av två mindre generatorer som har till uppgift att magnetisera huvudgeneratoren. Längst ut på axeln sitter hjälpmataren som är en trefas synkrongenerator med permanentmagnet i rotorn. I mitten sitter huvudmataren som även den är en trefas synkrongenerator men med stationärt fält. Alltså med fältlindningen i statorn och ankarlindningen i rotorn. Längst in mot dieselmotorn sitter huvudgeneratoren som är en trefas synkrongenerator med roterande fält. Den är direkt ansluten till ställverket.

Hjälpmatarens uppgift är att förse huvudmatarens fältlindning med likström. Det görs genom en sexpuls tyristorlikriktare som är kopplad mellan hjälpmatarens ankarlindning (i statorn) och huvudmatarens fältlindning (även den i statorn). Den förser huvudgeneratorns fältlindning med likström. Det görs genom en roterande sexpuls diodlikriktare som sitter på axeln mellan huvudmataren och huvudgeneratoren. Likriktaren är kopplad mellan huvudmatarens ankarlindning (som sitter i rotorn) och huvudgeneratorns fältlindning (även den i rotorn). Anledningen till att systemet är uppbyggt så här är dels för att få en magnetisering utan yttre spänning och för att slippa ha borstar i systemet. Figur 2.8 visar hur systemet är uppbyggt.



**Figur 2.8 Principskiss på huvudgeneratoren med matare**

Bilaga 1 är en kopia från leverantörens systembeskrivning och visar systemet i sin helhet.

## 2.2.2 Funktion

Om spänning från yttre nät försvinner startar dieselmotorn automatiskt. Då axeln börjar rotera induceras spänning i hjälpmatarens ankarlindning. När motorn varvat upp sluts fältbrytaren och huvudmatarerna magnetiseras som i sin tur magnetiserar huvudgeneratoren och förser ställverket med el. Det som kan regleras är dieselmotorns varvtal samt tändvinkeln på tyristorerna. Allt detta sker automatiskt vid ett strömavbrott.

Eftersom generatoren arbetar i ensamdrift bestämmer den spänning och frekvens varför det är viktigt att reglerutrustningen fungerar bra. Den består av en spänningsregulator som styr tyristorerna samt en varvtalsregulator till dieselmotorn. Spänningsregulatorn återkommer i kapitel 3.5.

## 2.2.3 Övrig kringutrustning

Det finns utrustning för infasning mot nätet men den används bara då man provkör generatoren. Om yttre nät skulle falla bort och dieseln behöver starta i ”skarpt läge” behövs ingen infasning då anläggningen står utan försörjning från yttre nät. Infasningen är halvautomatisk och fungerar så att

spänning och frekvens justeras manuellt så det stämmer tämligen bra överens med nätet. Sedan trycker man på en knapp och resten sköts automatiskt av reglerutrustningen. Det finns även ström och spänningstransformatorer som tar ner höga spänningar och strömmar till rimliga värden för reglerutrustningen. Vidare finns mätutrustning så man kan se spänning, ström, effekt (aktiv & reaktiv) o.s.v.

## **2.2.4 Underhåll**

Det förebyggande underhåll som görs i dagsläget sker under subavställningarna. Man demonterar kåpor och fläktar för att göra en visuell kontroll. Man kollar efter smuts och skador samt oljenivån i lagerbockar. Sedan görs resistans- och isolationsmätningar på matarna och om allt är bra sätter man ihop allt igen. Vidare mäts dioderna upp. Vid kontrollen utför man även resistans- och isolationsmätning i ställverket.

Så har generatorerna underhållits i ca. 25 år. Men även om översyner och reparationer gör att generatorerna blir i bättre skick så blir det ändå en gradvis förslitning [2]. Genom att hitta en lösning så det går att plocka bort generatorerna och gå igenom dem grundligt får man ett underhåll som är anpassat efter dagens situation.

## 3 Analys

I det här kapitlet utreds vad som tekniskt krävs för att få fram en ny generator som passar in både mekaniskt och elektriskt. Även för matarna och delar av kringutrustningen behöver en ny lösning tas fram.

### 3.1 Ombyggnation av asynkronmotor

På OKG finns en gammal avställd asynkronmotor som är av samma ”familj” som de befintliga generatorerna. Dessutom är båda maskinerna av 1120 modell. Det innebär att måttet från rotorlagrets centrum till golvet är 1120 mm. Maskinerna förefaller alltså ganska lika och det finns en idé om att kunna använda delar av motorn till reservkraftsystemet. Det behöver undersökas vad som är möjligt att göra med den här motorn.

#### 3.1.1 Krav på den avställda motorn

Rotorn på en asynkronmotor är helt annorlunda mot en synkrongenerator så den kan inte användas. Ur en elektrisk synvinkel är däremot statorn på en asynkronmaskin identisk med en synkronmaskin [6]. I den bästa av världar skulle en ny rotor kunna konstrueras och motorn skulle gå att använda som generator i reservkraftsystemet. Det som elektriskt behöver stämma för att statorn ska kunna användas är poltal samt att statorlindningen klarar den ström som krävs. Den befintliga generatoren är sexpolig och har en märkeffekt på 3375 kVA vid 10.5kV. Det krävs nästan märkeffekt av de befintliga generatoerna så en ny generator måste ha minst samma märkeffekt. Eftersom strömmen är direkt proportionell mot effekten behöver en ny generator alltså klara minst samma märkström:

$$S = \sqrt{3} UI \Leftrightarrow I = \frac{S}{\sqrt{3}U} = \frac{3375}{\sqrt{3} * 10.5} \approx 186A$$

Det betyder att motorns statorlindningar måste klara minst 186A. Varvtalet på generatorerna blir vid 50 Hz:

$$n_s = \frac{120f}{p} = \frac{120 * 50}{6} = 1000\text{rpm}$$

De mekaniska krav som ställs på motorn är framför allt att lagerlägena för rotorn samt att fundamentet är lika som den befintliga generatoren. Den får heller inte väga mer än vad platsen för generatoren klarar.

#### 3.1.2 Jämförelse mellan befintlig generator och avställd motor

De data som gick att få fram på den avställda motorn visas i tabellen.

	<b>Motorn</b>	<b>Generatoren</b>
<b>Märkeffekt</b>	11300kW	3375kVA
<b>Märkspänning</b>	10.0kV	10.5kV
<b>Märkvarvtal</b>	1485rpm	1000rpm

**Tabell 3.1**

Skillnaden i spänning på 0.5 kV kommer inte att vålla några problem då spänningsskillnaden är så pass liten. Effekten som angivs för motorn är uteffekten på axeln. Det vållar lite problem eftersom det är statorns märkström som är sökt. Den fås genom formeln för aktiv effekt:

$$P_{in} = \sqrt{3} U_m * I * \cos \varphi \Leftrightarrow I = \frac{P_{in}}{\sqrt{3} U_m * \cos \varphi}$$

För att få fram den exakt skulle man behöva veta tillförd effekt ( $P_{in}$ ) samt effektfaktor på motorn. Tillförd effekt kan beräknas om man känner verkningsgraden men inte heller den gick att få fram. Men det är viktigt att få fram vilken ström statorn klarar så verkningsgrad och effektfaktor måste approximeras.

Asynkronmotorer i storleken 1-100kW har normalt en verkningsgrad i intervallet ca 75-90%. Verkningsgraden beror till stor del på maskinens storlek under förutsättning att de är välkonstruerade. En del av förklaringen till detta ligger i att läckreaktansen blir mindre i förhållande till flödena i den magnetiska kretsen. Det i sin tur beror på att järnets yta i förhållande till volymen blir mindre när maskinen blir större. Men sambandet mellan en maskins storlek och verkningsgrad är inte linjär. Derivatnan avtar ju högre upp i verkningsgrad man kommer eftersom en maskin aldrig kan få en verkningsgrad på 100%. Med det resonemanget approximeras den avställda motorns verkningsgrad till 95%. Även effektfaktorn ökar med större maskiner så den approximeras till 0.9. Då går det att få fram ett värde på tillförd effekt:

$$P_{in} = \frac{P_{ut}}{\eta} = \frac{11300}{0.95} \approx 11895 \text{ MW}$$

Värdet på strömmen blir då:

$$I = \frac{P_{in}}{\sqrt{3} U_m * \cos \varphi} = \frac{11895}{\sqrt{3} * 10 * 0.9} \approx 763 \text{ A}$$

Alltså klarar statorn avsevärt mycket högre ström än den behöver (min. kravet var 186A).

Via märkvarvtalet går det att få fram vilket poltal motorn har. Rotorn på en asynkronmaskin går

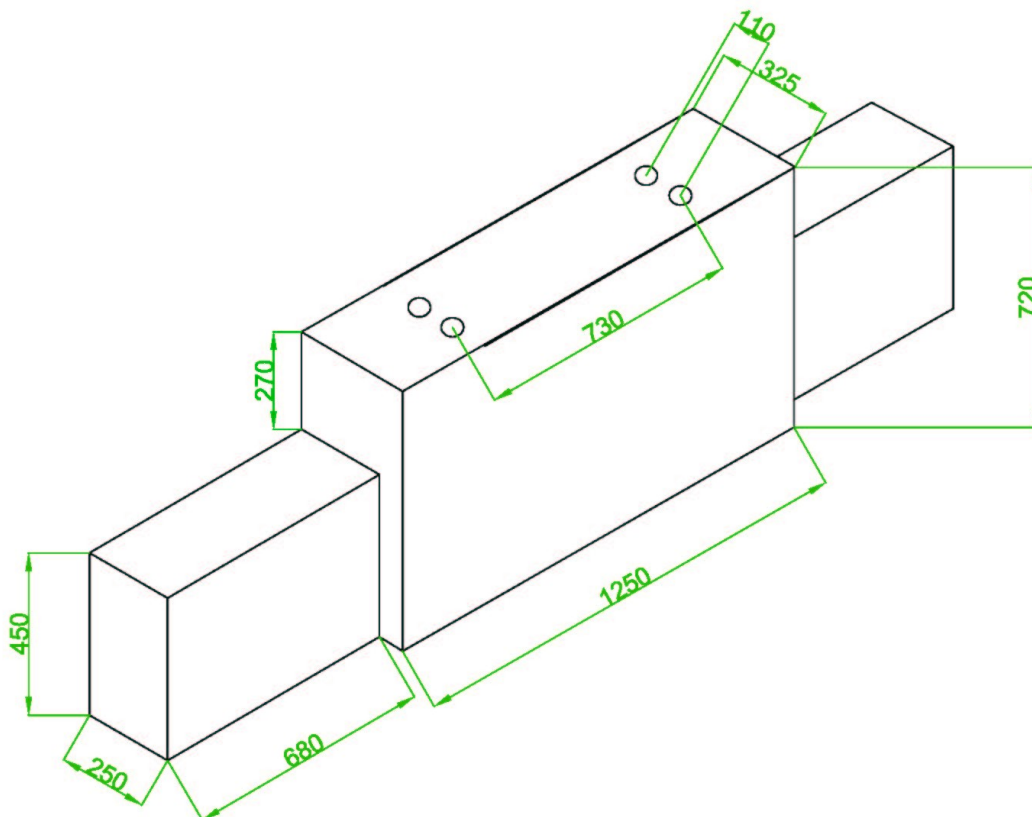


alltid lite långsammare än det synkrona varvtalet i statorn. Genom att stoppa in motorns märkvarvtal i formeln för det synkrona varvtalet och lösa ut poltalet fås ett värde nära poltalet:

$$n = \frac{120f}{p} \Leftrightarrow p = \frac{120f}{n} = \frac{120 \cdot 50}{1485} = 4.0404\dots$$

Eftersom poltalet alltid är ett jämnt heltal ser man att motorns poltal är fyra. Det innebär att hastigheten vid 50Hz blir 1500rpm. Dieselmotorn går med ett ganska högt varvtal för sin storlek redan nu så ska det fungera behöver en växel konstrueras eftersom det inte går att höja varvtalet på motorena.

För att jämföra de mekaniska skillnaderna användes ritningar på de båda maskinerna. Men alla mått på fundamentens kortsidor fanns inte på ritningen så de mättes direkt på maskinerna. Det viktigaste är som tidigare nämnts lagerlägen samt fötternas placering på fundamenten. Lagerlägena visste man på förhand att de skulle stämma och det bekräftades av ritningarna. Fötterna på fundamenten är lika stora på de båda maskinerna med ett undantag. De som sitter på ena kortsidan av generatorns fundament är aningen längre än de övriga. Det är samma sida som matarna sitter på då de behöver klara högre belastning. Bilaga 2 visar de båda fundamenten med mått. Där syns det att den avställda motorn är längre och bredare än generatorn så placeringen på fötterna stämmer inte. Det innebär att fundamentet inte passar på platsen där generatorn ska stå. Men när jag mätte på maskinerna visade det sig att kortsidorna nästan är identiska. Figur 3.2 är en måttsatt skiss av en kortsida på motorn.



**Figur 3.1 Motorfundamentets kortsida (enhet mm)**

Balken som är 680mm lång i figuren är 610mm på generatoren men i övrigt är de identiska. De fyra hålen högst upp är gängade och där skruvas roterns lager fast.

Vidare är motorn vattenkyld till skillnad från generatoren som är luftkyld, det innebär att även kåporna skiljer sig mycket åt.

Avslutningsvis är det en hel del som skiljer på den motorn mot generatoren. Det som måste göras om motorn ska kunna användas som direkt utbytbar haverireserv är:

- Ny rotor behöver konstrueras
- Konstruera en växel så att dieselmotorena kan gå på 1000rpm och generatoren på 1500rpm
- Ombyggnad till luftkyllning
- Konstruera om fundamentet

Men frågan är om det är möjligt att konstruera om fundamentet så det passar. Motorn är betydligt större än generatorerna så ska den passa behöver ett fundament som är mindre än motorn konstrueras vilket inte är optimalt. Hur som helst är det väldigt omfattande och dyra ändringar att genomföra. Hurvida det är vettigt att gå vidare med idén tas upp i kapitel 4 resultat.

## 3.2 Köpa in nytt

Ett alternativ är att köpa in en helt ny generator som serietillverkas idag. Men hur man ska gå till väga för att få en sådan att passa behöver utredas

### 3.2.1 Huvudgeneratoren

Ska en ny huvudgenerator köpas in behöver problemet betraktas ur mer än en synvinkel. En ny generator som är direkt utbytbar finns inte på marknaden utan det blir någon form av specialtillverkning [6]. Men det är ändå bra att sträva efter att använda så mycket standardkomponenter som möjligt. Dels för att det blir enklare att köpa reservdelar samt att det håller ner tillverkningskostnaden. Det innebär att en ny generator kommer bli annorlunda mot de befintliga. Därför är det viktigt att bestämma vilka parametrar som är viktiga samt vad det skulle innebära att ändra dem. I tabell 3.2 syns de kritiska parametrarna samt vad det skulle innebära om de skulle ändras.

Parameter	Värde	Konsekvens vid ändring
Märkspänning	10.5 kV	Omkonstruktion av ställverket
Märkeffekt	3375 kVA	Minskning ej möjlig, höjning går bra
Märkvarvtal	1000rpm	Ändring av dieselmotorns varvtal, alternativt en växel
Lagerläge	1120mm	Måste stämma för att passa mot dieselmotorn
”Fotplacering”	Se bilaga	Ombyggnad av platsen där generatoren står

Vikt	16.2 ton (inkl. matare)	Max 20 ton
------	-------------------------	------------

**Tabell 3.2**

Spänningen 10.5 kV finns det ingen anledning att ändra på. Det är en vanlig spänning för generatorer så det skapar inga problem. Märkeffekten måste vara minst lika hög som den befintliga då generatorerna nästan går på märkeffekt idag. Dieselmotorerna går som tidigare sagts med ett ganska högt varvtal för sin storlek så man skulle kunna använda ett högre poltal för att få ner varvtalet. Men då reaktorn byggdes gjordes en grundlig utredning på vilket poltal som skulle användas så därför är det bäst att låta poltalet vara oförändrat.

Lagerlägena kommer inte att vålla några problem då 1120mm är ett standardmått även idag. Maskinen får inte heller väga för mycket vilket ställer krav på verkningsgraden. En synkronmaskin med en viss uteffekt och låg verkningsgrad blir större och tyngre än en med hög verkningsgrad och samma uteffekt. De befintliga generatorerna har en verkningsgrad på 96.6% vid märkeffekt och effektfaktor 0.8 [7]. Vad gäller generatorns fundament måste det konstrueras med fötter som har samma placering som dagens generatorer.

Ska en ny generator installeras ställs även krav på att den är testad innan. Enligt en typkontroll som är utförd på de befintliga generatorerna har de genomgått ett antal tester innan leverans, såsom rusningsprov, tomgångsprov, svetskontroll, isolationsresistansmätning etc. Det är rutinmässiga tester som man kan räkna med att de flesta generatortillverkare gör innan leverans. Om inte annat är det något som absolut ska krävas vid köp av en ny generator. Vidare finns det ett myndighetskrav som säger att alla säkerhetsklassade system i ett kärnkraftverk måste klara en jordbävning. Reservkraftsystemet är säkerhetsklassat så det krävs att en ny generator är jordbävningstestad.

### **3.2.2 Hur ställer sig en generatortillverkare till dessa krav?**

För att få svar på den frågan vände jag mig till ABB i Västerås. Att det blev just ABB beror dels på att de är en av världens största tillverkare av elmaskiner och har tillverkningen av synkronmaskiner i Västerås. Men framför allt är det de som har tillverkat de befintliga generatorerna och i och med det har bäst möjlighet att ta fram de data och ritningar som kan behövas för att ta fram en ny generator som motsvarar de befintliga.

De tog fram ett förslag på en generator som heter "AMS 800SC", den serietillverkas av dem idag. En jämförelse mellan generatorerna syns i tabellen nedan:

	”AMS 800SC”	Befintliga generatorer
Märkeffekt (vid $\cos\varphi = 0.8$ )	3375kVA	3375kVA
Märkspänning	10.5kV	10.5kV
Varvtal/frekvens	1000rpm/50Hz	1000rpm/50Hz
Verkningsgrad märklast	96.35%	96.6%
Magnetisering vid tomgång (spänning/ström)	42/370 V/A	26/263 V/A
Magnetisering vid märklast (spänning/ström)	60/532 V/A	54/400 V/A
Vikt rotor	6 850kg	5 500kg
Vikt stator	5 500kg	5 800kg
Lagerläge	800mm	1120mm
Lagertyp	Glidlager	Rullager

**Tabell 3.3**

Generatorerna är nästan identiska ur elektrisk synpunkt. Magnetiseringen skiljer lite men det vållar inga problem då den nya levereras komplett med matare. Enda problemet kan bli styrsystemet för magnetiseringen men det återkommer vi till i kapitel 3.4.

Den största skillnaden mellan generatorerna är att den nya faktiskt har fel lagerhöjd. Men det finns en god anledning till det. Som tidigare nämnts måste placeringen på fötterna som generatoren står på stämma. ABB:s lösning på det är att konstruera en ram som har samma placering på fötterna som de befintliga generatorerna och som den nya generatoren kan fästas på. Eftersom en sådan ram gör att generatoren kommer upp i höjddled kommer lagerhöjden att stämma. ABB hävdar dessutom att de har mycket goda erfarenheter av den lösningen.

Men ett problem är att den nya generatoren har glidlager istället för rullager. Ett glidlager behöver ett aktivt smörjsystem medan ett rullager inte kräver det. Alltså måste en ny generator förses med rullager för att passa in.

Vad gäller vikten kunde de bara ange den för statorn och rotorn. Det går heller inte att säga exakt vad hela maskinen kommer väga förrän ramen är konstruerad. Men eftersom effekt och verkningsgrad är det som avgör storlek och tyngd på en synkronmaskin kan man utgå från att skillnaden inte blir så stor. En liten notering är att den nya maskinen har lägre verkningsgrad än de gamla. utvecklingen tydligen inte alltid framåt.

För att summera går det att ta en ny serietillverkad generator för att ersätta de gamla utan omfattande specialtillverkning. Det som måste göras är att konstruera en ram för att få generatoren att passa där de befintliga står samt ersätta glidlagren mot rullager. ABB säljer färdiga lösningar för sina generatorer så det enda som behöver specialtillverkas är ramen som generatoren ska stå på. Byte av lager är mer att betrakta som anpassning. Egentligen blir även fästet mellan dieselmotorn och generatoren specialtillverkat men eftersom ABB säljer generatorer världen över är det mer regel än undantag att det fästet måste anpassas.

### 3.3 Mätning på befintlig generator

De befintliga generatorerna har bara har gått cirka 100 timmar per år sedan de installerades för 25 år sedan och därför kan man anta att de är i gott skick. Men på en så här viktig anläggning duger det inte att anta hur skicket är. I slutet av projektet gjordes ett planerat underhåll på en av dieselgeneratorerna och då gjordes även en PD-mätning för att undersöka statorlindningarnas skick. Mätningen utfördes av en konsult, min handledare på OKG och jag själv.

#### 3.3.1 Vad är då en PD-mätning?

PD är en förkortning av ”Partial Discharges” (partiella urladdningar). Mätningen går till så att man spänningssätter statorlindningen och kollar efter urladdningar med t.ex en mätdator. Det kan även gå att höra urladdningarna, t.ex i ett högspänningsställverk hörs alltid ett ”sprakande” ljud och det är just partiella urladdningar. Ibland går det att se dessa urladdningar också om man utför mätningen i mörker, det kallas för glimning.

#### 3.3.2 Vår PD-mätning

När vi mätte la vi en spänning mellan en statorlindning och jord. Urladdningarnas amplitud plottades i ett diagram på en mätdator. Vi började på en spänning på drygt 1.1kV och ökade stegvis med 1kV upp till drygt märkspänningen 6.1kV. Mellan varje mätning kontrollerades urladdningarna. Det vi kollade efter var om det fanns väldigt stora urladdningar. I så fall hade det varit indikation på skadad isolering. Med stora urladdningar riskerar man att skada isoleringen ytterligare. Men det var mycket låga värden på urladdningarna så vi ökade ytterligare till 7.2kV. Även då var urladdningarna väldigt låga och generatorns statorlindningar är bevisligen i mycket bra skick. Resultatet av mätningarna på de tre faserna visas i bilaga 2. Där syns det att fas L1 och L3 i princip inte har några urladdningar alls medan L2 har lite. Kurvan i bakgrunden är den pålagda spänningen.

Normalt när man gör PD-mätning går man högre över märkspänning än vad vi gjorde. Men eftersom det inte finns någon reserv till generatormen ville vi inte gå längre än så här. Vi hade även tänkt göra ett visuellt prov genom att släcka ner lokalen för att se eventuell glimning. Men det högsta värdet på urladdning vi fick var ca. 2nC och så små urladdningar ser man inte.

Den observante har sett att det står 6.1 kV märkspänning här men 10.5 tidigare i rapporten. Det beror på att 10.5kV är märkspänningen mellan faserna (huvudspänningen) men mätningarna gjordes mellan fas och jord. Mellan fas och jord ligger fasspänningen och den beräknas utifrån huvudspänningen:

$$U_f = \frac{U_h}{\sqrt{3}} = \frac{10.5}{\sqrt{3}} \approx 6.06 \text{ kV}$$

### 3.4 Matarna

De befintliga matarna har samma problem som generatorerna, nämligen att det varken finns nya reservdelar på plats eller att köpa. Men problemet är större för matarna då de till skillnad från huvudgeneratorerna är byggda på ett sätt som inte tillämpas idag [6]. De befintliga är nämligen byggda så att de två generatorerna (hjälp- och huvudmataren i figur 2.8) sitter på rad efter varandra. Moderna matare bygger på samma princip med en hjälpmatare kopplad till en ytterpolmaskin via tyristorer, men i ett betydligt mer kompakt format. Därför finns det inte plats för samma poltal som det gamla formatet så nya matare arbetar med andra frekvenser.

Det som krävs av en ny matare är att den kan ge rätt magnetiseringsström samt att den mekaniskt passar på generatorm. Den befintliga generatorm kräver [5]:

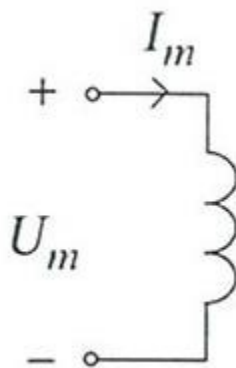
Driftfall	spänning/ström [V/A]
Tomgång	26/263
Märklast	54/400

Tabell 3.4

Fästet mellan matarens och generatorms axel består av en skarv med skruvförband. Den befintliga mataren sitter på en platta monterad på generatorms kortsida. Den behöver konstrueras om eller ersättas med en ny konstruktion för att få en ny matare att passa.

#### 3.4.1 Vad säger ABB om matare?

De hävdar att det inte går att använda en ny matare till de gamla generatorerna för att de kräver mindre magnetiseringsström än vad en ny gör. I tabell 3.3 ser man att det skiljer mot en ny generator. Men just att skillnaden är att nya matare ger ”för mycket” borde innebära att det går att styra ner magnetiseringen till den nivå som de befintliga generatorerna kräver. Det är strömmen som avgör styrkan på magnetfältet i fältlindningen så det är den som är viktig.



Figur 3.2 Fältlindningens ekvivalenta schema

I figur 3.3 ser man att strömmen beror på spänningen och fältlindningens impedans så om man styr ner spänningen till samma nivå som de gamla matarna så får man samma ström om man har en ideal likspänning. Eftersom regleringen sker med tyristorer finns ju möjligheten att styra ner spänningen ända till noll. Men med tyristorer fås inte en ideal likspänning utan det blir ett visst rippel i den (visades i kapitel 2.1.3). Då inverkar fältlindningens reaktans och eftersom de nya matarna dessutom jobbar med annan frekvens kan ripplet i likspänningen göra att spänning/ström förhållandet blir annorlunda om en ny matare monteras på de befintliga generatorerna. Detta skulle naturligtvis behöva testas i praktiken men det går inte förrän man har lyckats lösgöra en av de befintliga generatorerna. Till detta hade inte ABB några direkta svar eller argument men skulle undersöka saken mer noggrant och se om det trots allt inte skulle kunna gå att använda nya matare på de befintliga generatorerna.

### **3.5 Styrsystemet**

Som tidigare sagts styrs magnetiseringsströmmen genom att ändra tändvinkeln på tyristorerna. I reservkraftsystemet på OKG styrs tändvinkeln av en spänningsregulator som skickar ut pulser till tyristorerna när de ska öppna. Spänningsregulatorn är en analog enhet som är konstruerad på 70-talet och är att betrakta som antik idag. Inte heller till den finns det några reservdelar att köpa.

#### **3.5.1 Vad säger ABB om nytt styrsystem?**

ABB säljer kompletta styrsystem till sina generatorer och att ersätta de gamla med nya PLC-baserade system lät de positiva till. Men jag fick inget slutgiltigt svar om det. Däremot är ett nytt styrsystem nästan ett måste om en ny generator ska kunna köpas in. Eftersom styrutrustningen behöver programmeras om beroende på om det sitter en gammal eller ny generator blir det betydligt enklare med en PLC. Där laddar man "bara" in ett nytt program i samband med att man byter generator. Det som i så fall blir specialtillverkat för styrsystemet är ett program för de gamla generatorerna.

## 4 Resultat

Syftet med det här arbetet var att ta fram underlag och lösningsförslag till att kunna bedriva ett bra underhåll samt säkra tillgången på reservkraft. Det skulle lösas genom att få tillgång till reservdelar och haverireserver till reservkraftsystemet.

Analysen av den gamla motorn visade att det var väldigt stora skillnader mot de befintliga generatorerna. Vilket innebär att det i princip skulle bli ett rent specialbygge för att få motorn att passa som generator. Alternativet är att köpa in en ny generator. För det har en specifikation tagits fram och kontakt har tagits med ABB som tillverkar generatorer. De tog fram ett förslag på en generator som de serietillverkar och som kan anpassas för att passa in i reservkraftsystemet. Jämför man alternativen blir det tydligt att en ny generator är linjen att satsa på. Det kräver betydligt mindre anpassning och mycket lite specialtillverkning. Så även om inte några konkreta priser tagits fram inser man att det kommer att bli dyrare. Framför allt är en serietillverkad maskin utprovad och klar. För ett specialbygge däremot är risken för barnsjukdomar och driftstörningar betydligt högre. Eftersom driftstörningar kan innebära att reaktorn måste stängas av är det ett av huvudargumenten till att inte bygga om den gamla motorn. Det som skulle kunna användas från den gamla motorn är kortsidorna på ramen. Eftersom en ny ram måste specialtillverkas skulle motorns gamla kortsidor kunna användas för att hålla nere kostnaden.

Matarna och styrsystemet har samma problem som generatorerna. Därför togs beslutet att undersöka om det går att ersätta samtliga matare med nya. Via datablad på de befintliga generatorerna gick det att få fram vilken magnetisering de behövde. Den uppgiften ihop med en ritning på skarven mellan generator och matare är det enda som en tillverkare behöver för att kunna ta fram en ny matare som passar på de gamla generatorerna. I övrigt spelar inte utformningen någon roll för funktionen. Styrutrustningen har inte undersökts så noga för att ABB kan leverera nya kompletta styrsystem där funktionen blir samma som för dagens styrsystem. Även om ABB inte gav ett definitivt svar på om det gick att byta ut styrsystemet och få det att fungera ihop med de befintliga generatorerna lät de positiva till det.



## 5 Diskussion och idéer

Hur man ska gå till väga för att lösa det här beror lite på vad ABB kommer fram till. Det de har konstaterat är att en ny generator med matare och styrsystem kan installeras utan några större ombyggnader. Men vad gäller matare och styrsystem till de befintliga generatorerna finns det i dagsläget inget säkert svar på vad som går att göra. Det troligaste utfallet är att ABB kan leverera ett styrsystem som passar både de befintliga generatorerna och en ny, men inte en matare som passar de befintliga generatorerna. Vad är då bäst att göra med de förutsättningarna?

Det bästa vore om ett nytt styrsystem och matare går att installera till de gamla generatorerna. Då bör den kompletta generatören inklusive styrsystem och som ABB erbjuder köpas in och först installeras i en sub. Där testas den ordentligt för att vara säker på att den fungerar bra. För att lösa problemet med reservdelar i övrigt installeras samma styrsystem i övriga subar. Vidare installeras även nya matare på alla gamla generatorer. Då återstår bara reservdelsproblemet för huvudgeneratorerna.

Under projektet har jag även varit i kontakt med ABB Service. De kan ta emot en gammal generator och göra en fullständig genomgång på den. Eftersom de befintliga huvudgeneratorerna bygger på samma princip som dagens finns möjligheter att åtgärda i princip alla fel som eventuellt skulle hittas. Det blir bara en fråga om vad som är ekonomiskt försvarbart. Skulle det visa sig vara allvarliga fel på en generator finns alternativet att köpa in ytterligare en ny som ersättare. Då har man avsevärt förbättrat möjligheterna att göra förebyggande underhåll eftersom generatorerna kan gås igenom betydligt grundligare än vad som är möjligt idag.

Det här förslaget bygger dock på att nya matare och styrsystem kan användas till de gamla generatorerna men det är i dagsläget inget som är konstaterat. Förslaget har kommit fram genom diskussion mellan mig och min handledare på OKG där vi kom fram till att det här vore bästa alternativet. Men om det visar sig att styrsystemet och/eller matarna inte går att använda på de gamla generatorerna får man ta fram ett nytt förslag utifrån det.

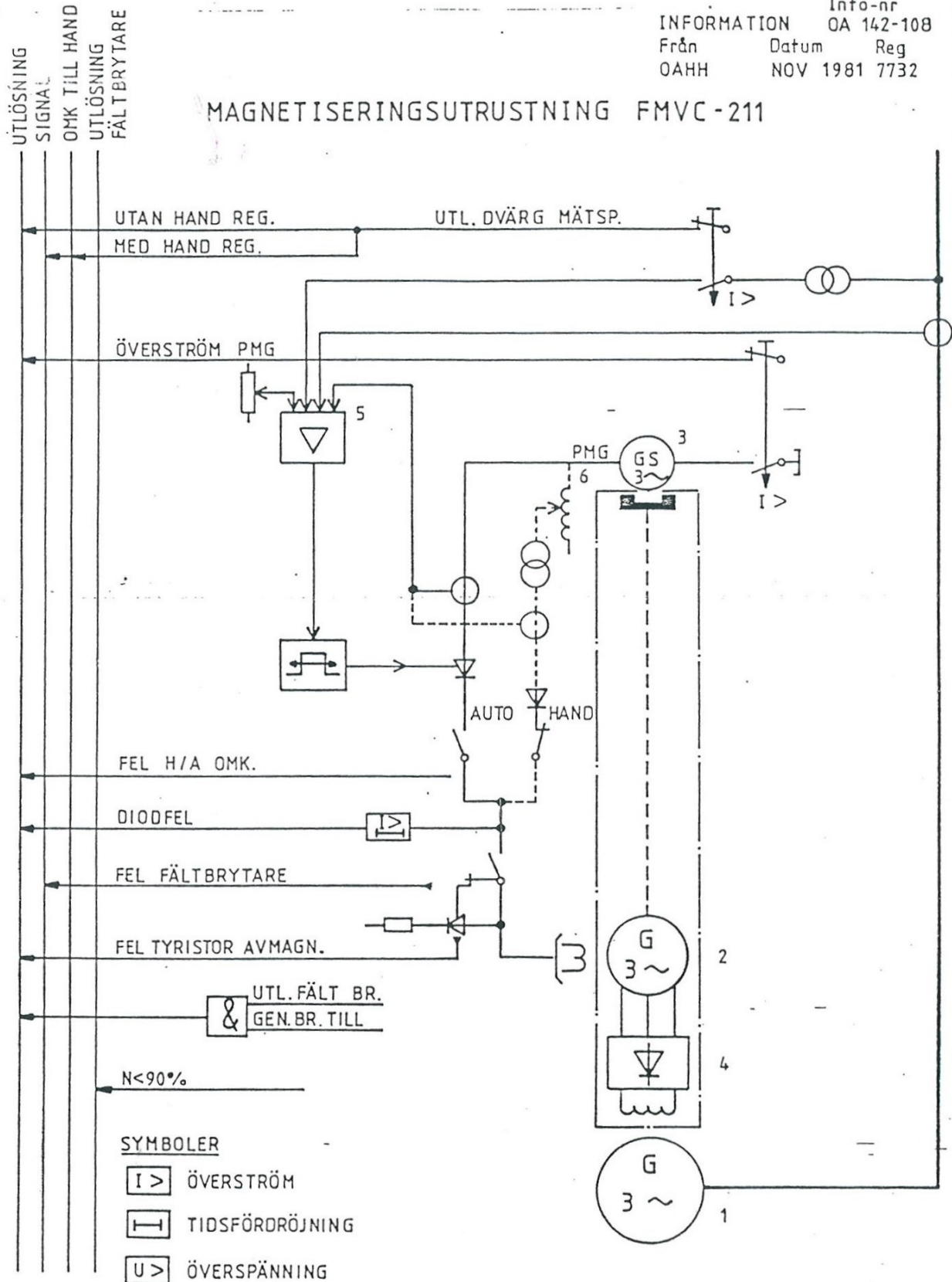
## 6 Referenser

- [1] S.Lungren & T.Franzén (2002). *Elkraftteknik*
- [2] K-E.Johansson (1997). *Driftsäkerhet och underhåll*
- [3] Föreläsningsblad från kursen MMME2104 ”*Design & Selection of Mining Equipment*” vid The University of Queensland
- [4] Underhållsinstruktion för dieselgenerator
- [5] Datablad för dieselgenerator
- [6] Tomas Malm, underhållsingenjör OKG
- [7] ASEA granskningsintyg för dieselgeneratorer

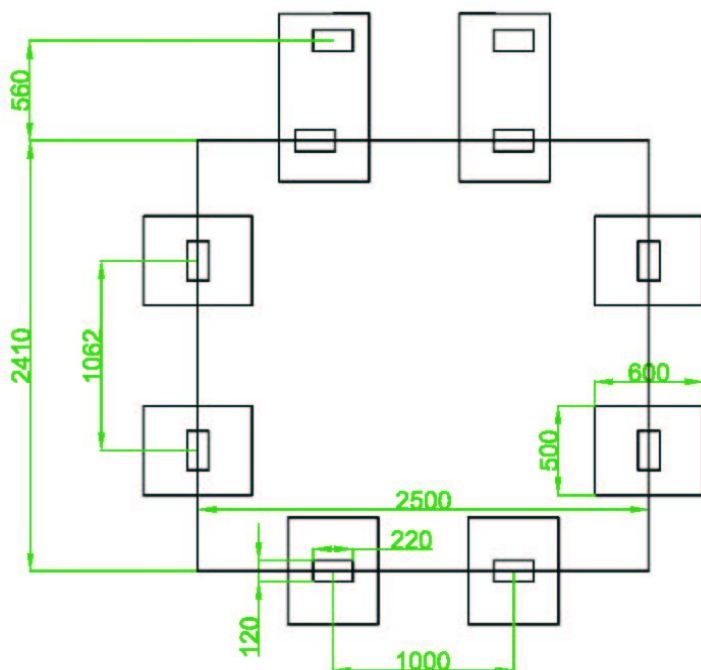
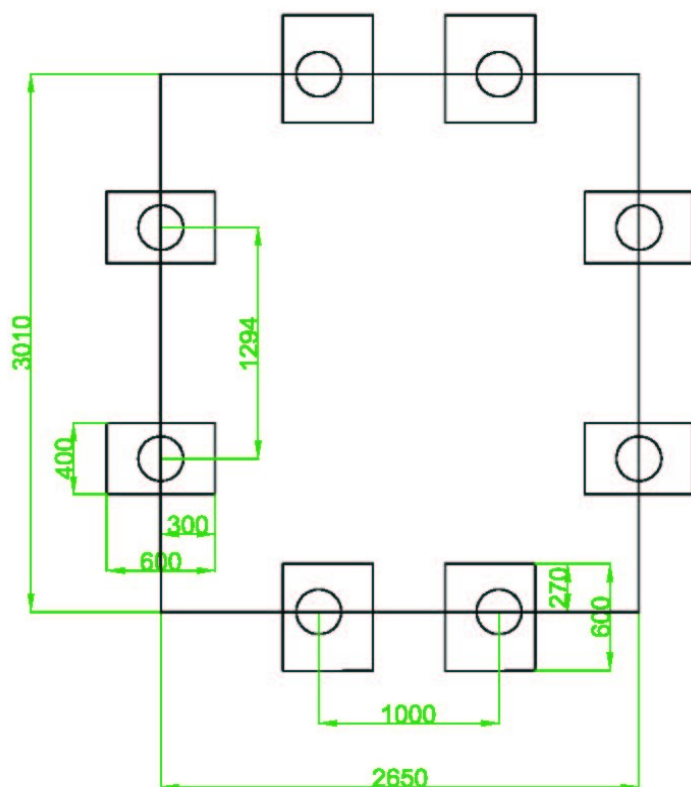
# 7 Bilagor

## Bilaga 1 Huvudgeneratoren med kringutrustning

BILAGA  
 Info-nr  
 INFORMATION OA 142-108  
 Från Datum Reg  
 OAHH NOV 1981 7732

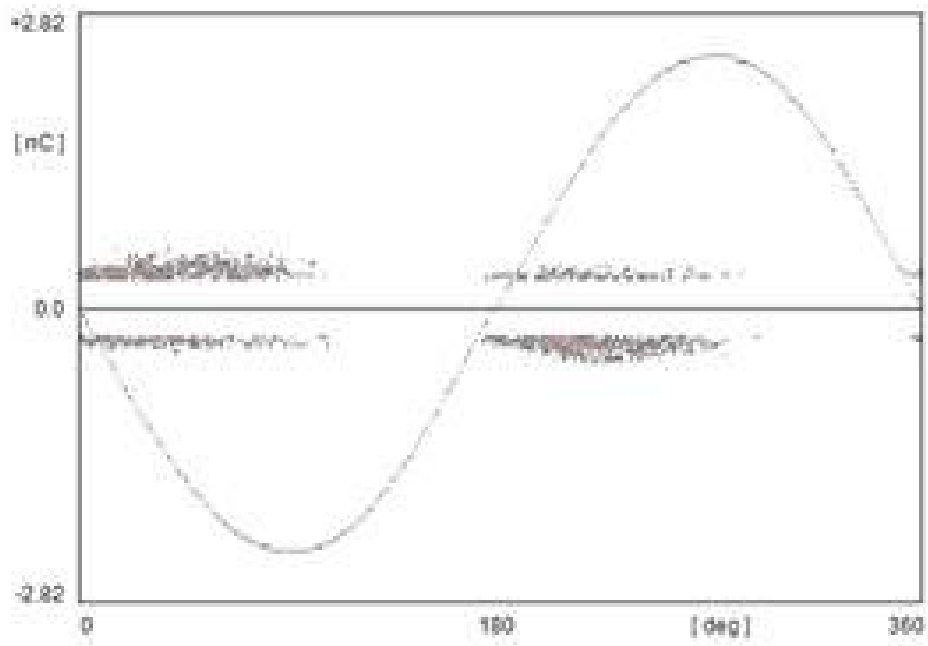


## Bilaga 2 Motorn och generatorernas fundament

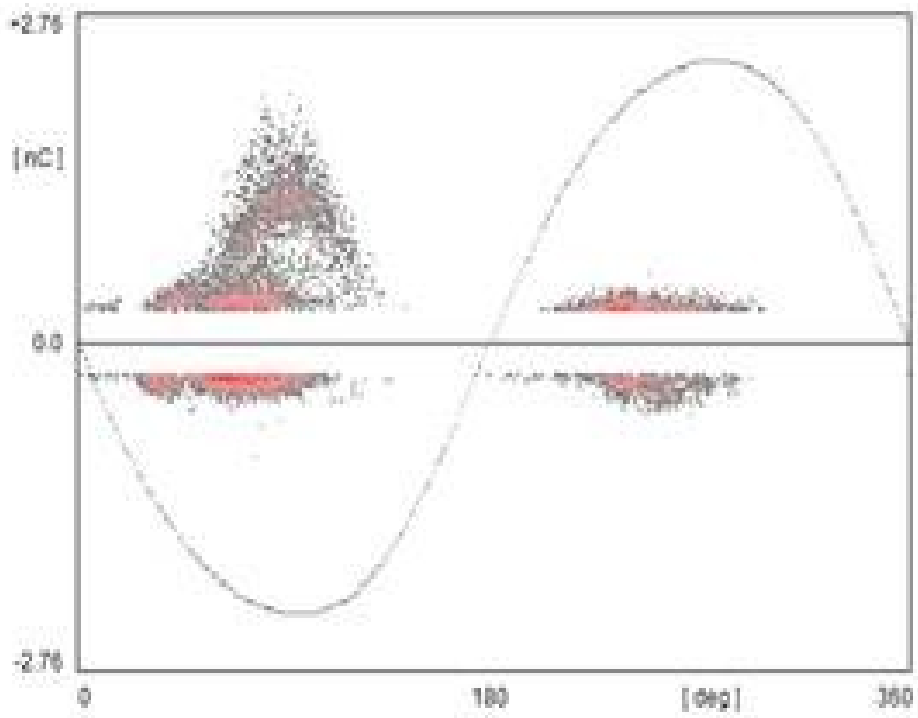


Motorns fundament överst och generatorernas underst (enhet mm)

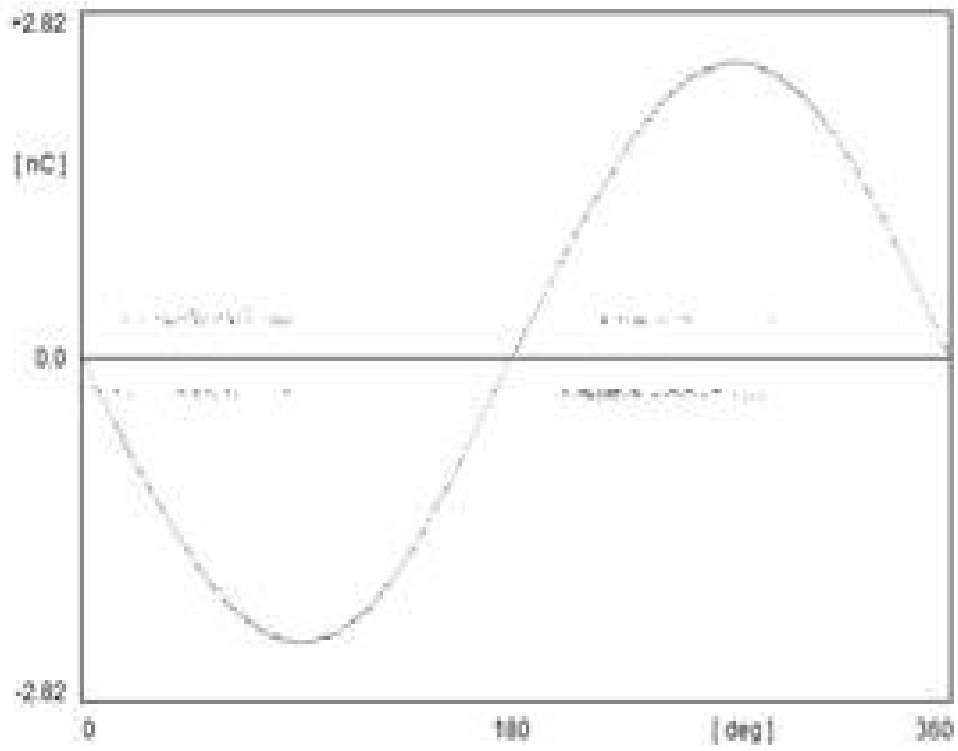
### Bilaga 3 Resultat av PD-mätning



Fas L1



Fas L2



**Fas L3**