



# Kompensering av spänningsfall i elnätet inom processindustrin med effektkondensatorer

Compensation of voltage drops in the power grid in the process industry with power capacitors

Jerker Larsson  
Joakim Granath

|  |
|--|
| Fakulteten för hälsa, natur- och teknikvetenskap |
| Högskoleingenjörsprogrammet i elektroteknik      |
| C-nivå 22,5hp                                    |
| Extern handledare: Jan Lundberg (ÅF)             |
| Handledare: Jorge Solis (Karlstad universitet)   |
| Examinator: Magnus Mossberg                      |
| Datum  |
| Löpnummer  |

## Sammanfattning

Vi gör vårt exjobb på ÅF I Karlstad åt Nordic paper i Säffle. Nordic paper arbetar med smörpapper och har bland annat två stora pappersmaskiner i sin anläggning.

Nordicpaper har byggt en ny del i sin anläggning som består av 6st nya motorer. Dessa motorer har ett spänningsfall vid motorstart och vårt mål är att minska detta spänningsfall så mycket som möjligt. Detta ska minskas med hjälp av kondensatorer. Detta spänningsfall kan i sin tur leda till att de tar ut för mycket reaktiv effekt på nätet eftersom motorerna kräver mycket reaktiv effekt. Detta reaktiva effekttuttag kan i sin tur leda till straffavgifter från nätägaren. Spänningsfallet kan även ge komplikationer på utrustningen.

Vi har kommit fram till att det finns två bra kompenseringmetoder för att kompensera den reaktiva effekten dessa är med hjälp av effektkondensatorer som är igång hela tiden och startbatteri som är igång tills motorn har kommit igång i normalt arbetsområde.

En uträkning gjordes på kondensatorerna och placeringar till kondensatorerna togs fram för hand. Beräkningar skulle även göras i Neplan men det fattades en licens till programmet så beräkningar kunde inte tas fram.

Inkopplingen av effektkondensatorerna reducerade spänningsfallet inte så mycket som var önskvärt när simulering gjordes i Neplan

Beräkningar för alternativa startmetoder togs fram då resultatet inte blev det som vi hade hoppas på.

## Abstract

We do our thesis work on AF in the Karlstad at Nordic Paper in Säffle. Nordic Paper works with greaseproof paper and includes two large paper machines at its facility.

Nordic Paper has built a new section of its facility consisting of six new motors. These engines have a voltage drop at the motor starter and our goal is to reduce this voltage drop as much as possible. This is to be reduced by means of capacitors. This voltage drop can in turn lead to that they charge too much reactive power on the network because the engines require very reactive power. This reactive power outtake in turn can lead to penalties from the network owner. The voltage drop can cause complications to the equipment.

We have concluded that there are two good compensation methods to compensate the reactive power of these is by using power capacitors that are running all the time and starting battery which is running until the engine has started in the normal operating range.

A calculation was made to the capacitors and placements to the capacitors were produced by hand. We should do the same calculations in Neplan but a license to the program was missing so we couldn't do any calculations.

The connection of the output capacitors reduced the voltage drop is not as much as was desirable when the simulation was done in Neplan

Calculations for alternate starting methods were developed when the result was not what we had hoped for.

# Innehållsförteckning

|  |    |
|--|----|
| <b>Sammanfattning</b>                                    | 2  |
| <b>Abstract</b>  | 3  |
| <b>1. Inledning</b>                                      | 5  |
| 1.1 Bakgrund   |    |
| 1.2 Problembeskrivning                                   |    |
| 1.3 Mål och syfte  |    |
| <b>2. Teori</b>  | 7  |
| 2.1 Reaktiv effekt                                       |    |
| 2.1.1 Beskrivning av reaktiv effekt                      |    |
| 2.1.2 Producera reaktiv effekt                           |    |
| 2.1.3 överskridande av reaktiv effekt                    |    |
| 2.2 Kondensatorn   | 8  |
| 2.2.1 Kondensatorns uppbyggnad                           |    |
| 2.2.2 Kondensatorns placering                            | 9  |
| 2.2.3 Kompensering med kondensatorer                     |    |
| 2.2.4 Faskompensering                                    | 10 |
| 2.2.4.1 Fördelar med faskompensering                     |    |
| 2.2.4.2 nackdelar med faskompensering                    |    |
| 2.2.5 Fördelar med automatisk kompensering               | 11 |
| 2.2.6 Ekonomiska fördelar med reaktiv effektkompensering |    |
| 2.3 Asynkronmaskinen                                     | 12 |
| 2.3.1 Asynkronmaskinen                                   |    |
| 2.4 Spänningshöjningar/-sänkningar                       | 13 |
| 2.4.1 Spänningssänkningar                                |    |
| 2.4.1 Spänningshöjningar                                 |    |
| 2.5 Alternativa startmetoder                             | 14 |
| 2.5.1 Y/D Start  |    |
| 2.5.2 Transformatorstart                                 |    |
| <b>3. Material och metoder</b>                           | 15 |
| <b>4. Utförande</b>                                      | 16 |
| <b>5. Resultat</b>                                       | 17 |
| <b>6. Diskussion</b>                                     | 22 |
| <b>7. Slutsatser</b>                                     | 23 |
| <b>Referenslista</b>                                     | 24 |
| <b>Bilagor</b>   | 25 |
| Bilaga1 Tabeller   |    |
| Bilaga2 Kretsscheman                                     | 32 |

# 1. Inledning

## 1.1 Bakgrund

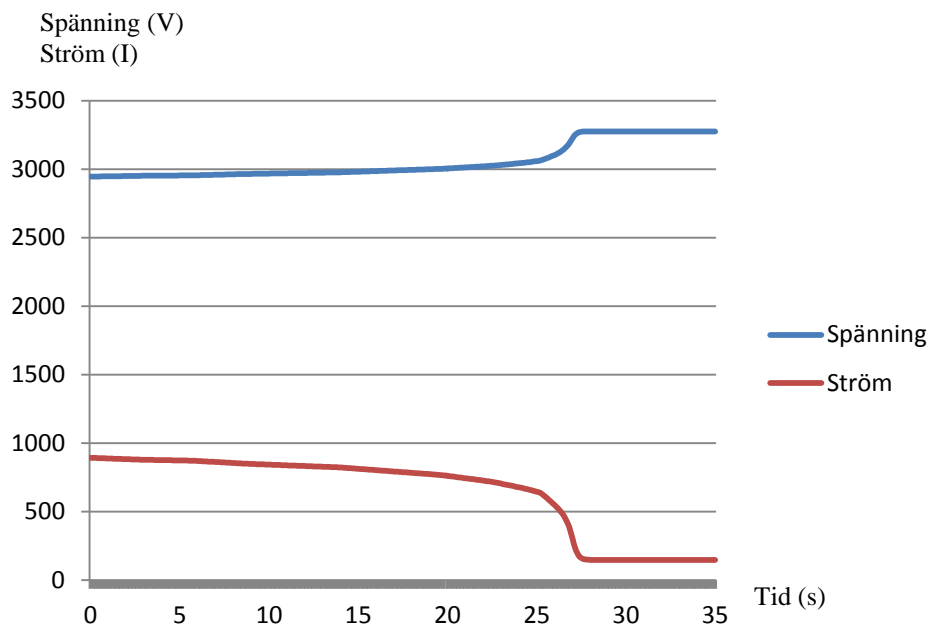
Nordic paper i Säffle är en av fabrikena i Nordic paper koncernen: De håller i huvudsak på med smörpapper. De har två stora maskiner med en total kapacitet på 30000ton papper och 50000ton massa.

## 1.2 Problembeskrivning

Nordic paper har investerat i en ny anläggning med sex motorer fördelat på två skenor. Med en motor på den ena skenan och fem motorer på den andra skenan. Dessa motorer har idag ett spänningsfall på ca 300V vid motorstart. Med detta problem uppkommer även ett annat problem på en väldigt hög startström vid motorstarten. Denna startström kan ge komplikationer på nätet i form av att säkringar löses ut och bränder uppstår. Men även spänningsfallet kan ge komplikationer om det överstiger 10 % av den nominella spänningen. Mer om detta tas upp i kap 2.4.

Motorerna behöver även reaktiv effekt för att fungera. Den reaktiva effekten tas från elnätet. Man får bara ta ut en viss del från elnätet annars så kan det ge en straffavgift som nätägaren bestämmer.

Så vårt problem som skall lösas är att minska spänningsfallet vid motorstart med hjälp av kondensatorer och då minskar även risken för andra komplikationer så som för hög startström och att de tar ut för mycket reaktiv effekt. Mer om startström går att läsa i kap 2.3.1 på sid 13  
Figur 1 visar hur strömmen och spänningen ser ut vid motorstart, här går det se att ett spänningsfall fås vid tiden 0-27s samtidigt som startströmmen är hög under samma period.



Figur 1. Spänningsfall och startström vid motorstart.

### 1.3 Mål och syfte

Målet är att minska spänningsfallet så mycket som möjligt vid motorstart och hitta en lämplig storlek och placering på effektkondensatorerna eller startbatterierna. Med ett minskat spänningsfall kommer även en minskad startström. En bra placering är där man får så lite förluster på nätet som möjligt (se kap 2.1.5) och stöleken bestäms av motorns specifikation, väljs en för stor kondensator så kan motorn skadas och väljs en för litet så fås inte det önskade reaktiva effektuttaget. Detta skall göras med hjälp av beräkningsprogrammet Neplan. Detta skall även beräknas för hand. Vi ska även ta fram en investeringskostnad på detta inköp.

Syftet är att ge oss en bättre förståelse om hur spänningsfall kan åtgärdas med hjälp av effektkondensatorer eller startbatterier.

## 2. Teori

Teorikapitlet är till för att ge oss och läsaren bättre förståelse för hur reaktiv effekt och kondensatorn fungerar samt hur man kan kompensera spänningsfallet med hjälp av kondensatorer.

### 2.1 Reaktiv effekt

#### 2.1.1 Beskrivning av reaktiv effekt

Skillnaden mellan reaktiv effekt och aktiv effekt är att aktiv effekt är verklig förbrukad energi medan reaktiv effekt inte är verklig förbrukad energi. Energin från den reaktiva effekten består av energi som har lagrats upp i form av magnetfält och elektriska fält. Reaktiv kan bara uppstå i växelströmsnät när det blir en fäsförskjutning mellan ström och spänning. Ett vanligt talesätt är att den reaktiva effekten är skummet på ölen medan den aktiva effekten är ölen.

Den reaktiva effekten finns i ledningar och överföringar. Detta leder till att den tar upp onödig plats så att nyttig energin får mindre plats. I vissa sammanhang så behövs reaktiv effekt, den behövs till bland annat industrier som använder stora motorer.

Kapacitiva laster producerar reaktiv effekt och induktiva laster konsumerar reaktiv effekt. En kondensator kan vara en kapacitiv last.

#### 2.1.2 Producera reaktiv effekt

Reaktiv effekt kan produceras med hjälp av kondensatorer, synkronmaskiner, och statiska omriktare. Kondensatorer kan både kopplas i serie och shunt(parallell) medan synkronmaskiner och statiska omriktare bara kan kopplas i shunt, [1].

#### 2.1.3 Överskridande av reaktiv effekt

Alla kunder hos Vattenfall har en fri uttagsrätt av reaktiv effekt. Hur mycket beror på vilken tariff kunden använder. Rätten till uttag av fri reaktiv effekt uttrycks som en procentsats av abonnerad årseffekt för uttag och är kopplad till respektive tariffnivå i normaltariffen.

Kunder som har: Tariff L1 och T13 har 15% fri uttagsrätt  
Tariff T1 och T12 har 25% fri uttagsrätt  
Tariff L2,T2 eller X har 50% fri uttagsrätt  
Tariff T1 med särskilt tillägg har 25% fri uttagsrätt  
Tariff T12 med särskilt tillägg har 25% fri uttagsrätt

Skulle denna utnyttjande grad överskridas så har vattenfall rätten att ge abonnenten en straffavgift för varje kVAR som kunden överskrider. Vad denna uppgår till är beroende av vad för tariff kunden använder.

Straffavgift för tariff: L1 och T13 uppgår till 40kr/kVAR  
T1, L2 och T12 uppgår till 60kr/kVAR  
T2 och X uppgår till 70kr/kVAR, [7]

## 2.2 Kondensatorn

### 2.2.1 Kondensatorn uppbyggnad

En kondensator är uppbyggd av två plattor som är elektriskt ledande. De här ledarna är elektroder som är isolerade ifrån varandra och materialet som isolerar dem kan bestå av plastfil, papper eller av bägge två. Den här isolationen kallas även för dielektrium. Kondensatorn blockerar likström men släpper igenom växelström och den lagrar även energi så att om kondensatorn kopplas bort från sin spänningskälla så behåller den sin energi.

En viktig egenskap som kondensatorn har är att den producerar reaktiv effekt och detta är mycket viktigt i elkraftsammanhang. En fördel med att använda en kondensator vid faskompensering är att kondensatorn kan placeras nästan vad som helst medan en synkronmaskin sitter fast på sin plats. Detta leder till att det blir mindre förluster om kondensatorn sitter nära förbrukningsstället,[8].

Ett startbatteri är en kondensator som är igång under en begränsad tid och används t.ex. till start av motorer. Tiden som startbatteriet är inkopplat bestäms på hur lång tid det tar för motorn att komma upp i sitt arbetsmoment. Om startbatteriet kopplas ut för sent så kan motorn skadas då batterierna har en hög reaktiv effekt och då blir spänningshöjningen för stor. Ett startbatteri har en mycket hög reaktiv effekt för att den ska avge hög spänning till objektet som den är inkopplad till.

Ekvation 2.1 används till för att beräkna storleken till ett startbatteri där ekvation 2.1 är märkströmmen för ett startbatteri. Storleken för en effektkondensator beräknas med ekvation 2.3 där ekvation 2.4 används för att beräkna  $I$  som finns i ekvation 2.3

$$Q_{\text{startbatteri}} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_{\text{startbatteri}} \quad (2.1)$$

$$I_{\text{startbatteri}} = I_{\text{start}} / 2 \quad (2.2)$$

$$Q_c = 0,9 \cdot U \cdot I \cdot \sqrt{3} \quad (2.3)$$

$$I = 2 \cdot I_r \cdot (1 - \cos \varphi \alpha) \quad (2.4)$$

Där:  $Q_{\text{startbatteri}}$  = Startbatteriets storlek

$U$  = Motorns märkspänning

$I_{\text{startbatteri}}$  = Startströmmen för ett startbatteri

$I_{\text{start}}$  = Startströmmen för en motor med startbatteri

$Q_c$  = Storleken på kondensator

$I_r$  = Märkström

$\cos \varphi$  = Fasvinkel



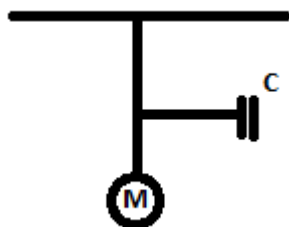
## 2.2.2 Kondensatorns placering

Shuntkondensatorer skall som regel placeras så nära belastningen som möjligt där den reaktiva belastningen ska förbrukas. Då uppnås största möjliga minskning av överföringsförluster och spänningsfall i systemet. Så varje apparat i anläggningen som förbrukar reaktiv effekt borde helst ha en koppling till en kondensator av en lämplig storlek. Vid en sådan koppling fås fördelarna att kondensatorn kan skyddas av belastningens skyddsanordningar samt att de kopplas in och ur med belastningens kopplingsorgan, [3,4].

## 2.2.3 Kompensering med kondensatorer

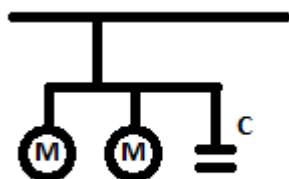
Det går att koppla in kondensatorerna på olika sätt, direktkompensering, gruppkompensering och centralkompensering.

Med direktkompensering kopplas t.ex en kondensator direkt till objektet som figur 2 visar. Fördelen med detta är att kompenseringen kopplas in och ur samtidigt som belastningen, vilket medför att kompenseringen alltid blir ideal. Nackdelen är att det blir dyrt att kompensera varje objekt, [3,4].



Figur 2. Motor *M* som är direktkompenserad med en kondensator *C*

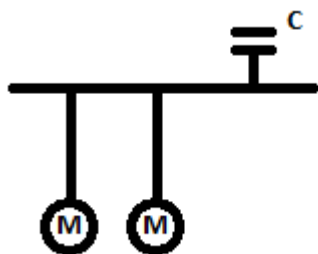
Gruppkompensering används vid större kretsar som förbrukar reaktiv effekt, t.ex i en fabrik där belysningen tänds samtidigt, ett exempel på detta med två motorer ses i figur 3. Fördelen med detta är att det blir mer ekonomisk att använda sig av gruppkompensering vid det här exemplet för då kopplas alla lampor in till en kondensator istället för att koppla en till varje enskild lampa. Nackdelen är att det uppstår förluster i ledningarna mellan kondensatorn och objekten, [3,4].



Figur.3 Två motorer som är gruppkompenserade med en kondensator

Centralkompensering innebär att kondensatorbatterier som används kopplas in och ur nätet allteftersom belastningen minskar. Detta används främst till små bruksföremål, t.ex. småmotorer och enstaka lysrörsarmaturer som inte är direktkompenserade eller centralkompenserade. Elleverantörer använder sig av detta, men även fabriker som förbrukar reaktiv effekt använder sig av detta. På så vis sparas pengar när den reaktiva strömmen inte behövs transporteras genom ledningarna som är en fördel med den här typen av kompensering. Nackdelen är att detta inte lämpar sig till fabriker som använder stora motorer

Figur 4 visar hur centralkompensering av motorer kan se ut, [3,4].



Figur 4. Centralkompensering.

## 2.2.4 Faskompensering

Faskompensering används för att minska belastningen på elkablarna. Det finns två typer av effekter i kablar, aktiv- och reaktiv effekt och det är den reaktiva effekten som vill minimeras i elkraftsledningarna. Den reaktiva effekten tar bara upp en massa onödig plats som gör att det kostar onödiga pengar. Faskompensering kan göras med hjälp av synkronmaskiner eller kondensatorbatterier.

### 2.2.4.1 Fördelar med faskompensering

- Minskade förluster
- Säkrad produktion genom att avbrott undviks
- Avgifter på en bestämd nivå, innebär att tariffavgifterna slopas-mindre kostnad
- Effektivare utnyttjandegrad av anläggningen genom ekonomisk optimering
- Effektiv spänningsreglering genom att spänningen regleras så att spänningsförluster minskas, [5].

### 2.2.4.2 Nackdelar med faskompensering

- Kostnaden- utrustningen är dyr att köpa in.
- Kondensatorer är känsliga för övertoner
- Stor inkopplingstransient - När en kondensator kopplas in så bildas det en transient i nätet.

### **2.2.5 Fördelar med automatisk kompensering**

En av fördelarna med automatisk kompensering är att det går att kompensera direkt till skillnad från manuell reglering.

### **2.2.6 Ekonomiska fördelar med reaktiv effektkompensering**

- De reaktiva överuttagsavgifterna elimineras.
- Anläggningen får minskade förluster.
- Mindre störningar och produktionsstopp.
- Investeringar på elanläggningen kan göras senare, [6].

## 2.3 Asynkronmaskinen

### 2.3.1 Asynkronmaskinen

Asynkronmotorn är en elmotor som ofta förekommer i industrier. Den är billig att tillverka och är robust vilket gör att den är den vanligaste motortypen i industrin. Namnet asynkron kommer från att motorns varvtal går synkront med växeffektens frekvens. Asynkronmotorn kallas även för induktionsmotor då rotorn snurrar när det uppstår ett magnetfält som snurrar runt den. Det är reaktiv effekt som bygger detta magnetfält.

Asynkronmotorns huvudkomponenter är statorn och rotorn, på statorn sitter polerna som är inlindade med koppartråd. Rotorn sitter inuti statorn och det är rotorn som är den roterande delen. Rotorn består av ledningar som är elektriskt ledande, [12].

## 2.4 Spänningshöjningar/-Sänkningar

På industrinät och allmänna nät så förekommer både spänningshöjningar och spänningssänkningar som kan ge olika konsekvenser beroende på hur stort procentuellt tapp eller höjning nätet har.

Nedan finns olika beskrivningar på vad som kan hända vid de olika tillfällena.

### 2.4.1 Spänningssänkningar

Spänningssänkningar är spänningar som sjunker mer än 10% av den nominella spänningen och varar i minst 10ms och högst i 90s.

Orsaken till spänningsdipparna kan vara start av stora motorer, åska, jordfel mm. Konsekvenserna av detta kan ge störningar på utrustningen i fabriken så som elektronik, styrsystem och datorer, [9].

### 2.4.2 Spänningshöjningar

Det är kortvariga höjningar av spänningen som har en varaktighet som är längre än 20ms. För att det ska klassas som en spänningshöjning så ska spänningen överstiga 3% av den nominella spänningen.

Det finns olika saker som kan orsaka spänningshöjningar. Dessa kan vara felkompensering, dålig jordning mm.

Konsekvenserna av detta leder till utmattning av isolationsmaterial vilket i förlängningen kan medföra isolationsfel och haveri i apparater, [10]

## 2.5 Alternativa startmetoder

### 2.5.1 Y/D start

Y/D start används för att minska startströmmen och moment toppar. Maskinen startas först med y koppling för att få ner startströmmen med en 1/3. Efter det så kopplas maskinen in till en D koppling. Med den här metoden så reduceras startströmmen med 1/3

En nackdel med Metoden är att den bör användas när maskinen är obelastad. En annan nackdel är att den här metoden bör användas på nya maskiner. Att bygga om motorer för använda den här metoden kräver att omfattande arbete. [13,14]

### 2.5.2 Transformatorstart

En transformatorstartare använder en transformator som är kopplad emellan motorn och elnätet. Den används för att minska startströmmen hos motorn. Det sitter lindningar på transformatorn så att det går att starta på 50% 65% eller 80% av linjeströmmen. Detta gör så att det går att starta motorn på 50%, 65% eller 80% av startströmmen.

Med en transformatorstartare så är linjeströmmen lägre än strömmen i motorn vid starten. Detta gäller när lindningarna är lika, ex 65%. 65% av 65% är 42% så linjeströmmen blir 42% av startströmmen. [13,14]

## **3. Material och metoder**

### **3.1 Material**

Dator med beräkningsprogrammet NEPLAN samt olika litteraturer.

### **3.2 Metoder**

#### **3.2.1 Placering av kondensator**

Tanken var att vi skulle använda beräkningsprogrammet Neplan för att hitta den bästa placeringen för kondensatorerna i nätet. Dock så saknades en licens till programmet som krävdes för att hitta den bästa placeringen så vi kunde ej använda programmet för att hitta placeringen. Så vi fick istället läsa på om vilka placeringar som fanns för att kompensera spänningsfallet.

Det finns tre olika sätt att faskompensera, vilka faskompenseringsmetoder som finns kan ses i kap 2.2.3 sida 9. Vi har valt att direktkompensera motorerna för att motorerna inte startar samtidigt och för att motorerna inte har samma specifikationer. Genom att använda den här metoden så kan både kondensator och motor kopplas till samma brytare. Vi skulle även ha beräknat fram den optimala placeringen med beräkningsprogrammet Neplan men detta gick ej då dynamikmodulen fattades i programmet.

#### **3.2.2 Val av storlek på kondensator**

Tanken var också här att vi skulle använda Neplan för att beräkna storleken till kondensatorerna men detta gick inte här heller då licensen fattades. Så då fick vi hjälp av en på ÅF för att kontakta Rörval på ABB.

Storleken på kondensatorerna beror först och främst på motorn och även på vilken typ av kondensator som skall användas. Om ett startbatteri ska kopplas in så blir storleken mycket större än om en effektkondensator kopplas in. Detta har vi beräknat med hjälp av formlerna 2.1 och 2.3. Ekvationerna 2.1 och 2.3 fick vi från Håkan Rörvall från ABB i Ludvika. Dessa ekvationer är de man använder i dagens samhälle för att beräkna storleken på startbatteri och effektkondensatorer. Uträkningarna kan ses i kap 6 resultat.

## 4. Utförande

Vi började med att fördjupa våra kunskaper i reaktiv effekt och vilka kompenseringmetoder det finns med hjälp av effektkondensatorer.

Vi fortsatte med att studera kretsschemat över Nordic Papers anläggning som vi fick av ÅF för att bekanta oss med anläggningen samt få förståelse hur det hänger ihop.

Vi kollade sedan närmare på motorerna som ska kompenseras i anläggningen.

Efter att ha studerat kretsschemat började vi att bekanta oss beräkningsprogrammet neplan hur det används samt dess olika funktioner.

Vi förde sedan in kopplingsschemat i neplan för att beräkna vad spänningsfallet var vid motorstart. När beräkningen är gjorda på motorerna så får man upp tabeller i programmet så man ser hur stort spänningsfallet är vid motorstart. Vi studerade sedan tabellerna och kom fram till att samtliga motorer behövs kompenseras.

Vi förde även in dessa värden i excel för att få en graf över hur startspänningen ser ut på samtliga motorer (se figur 5).

Vi gick sedan med att testa den första kompenseringmetoden som var direktkompensering med hjälp av effektkondensatorer. Efter och ha kopplat om i schemat till direktkompensering (se figur 13) och beräknat storlekarna på kondensatorerna (se resultat) och fört in i neplan så gjorde vi ett nytt test för att se vad skillnaderna blev.

Efter att ha studerat dom nya tabellerna och lagt in värdena i excel för att se de nya kurvorna (se figur 6) så kom vi fram till att detta inte gav den effekt som vi hade hoppats på med effektkondensatorer, så vi fick tänka om.

Efter att ha samtalat med kunniga personer i området samt egna efterforskningar så kom vi fram till att pröva med startbatterier. Dessa skulle även direktkompenseras.

Vi beräknade storlekarna på startbatterierna och förde in i programmet.

Men detta kunde ej testas i programmet eftersom det saknades en licens för att kunna ställa in tider som behövdes för att använda startbatterier. Så vi fick nöja oss med slutresultatet från första testet.

Vi tog fram beräkningar för alternativa startmetoder med hjälp av fakta blad då resultatet inte blev det som vi hade hoppas på.



## 5. Resultat

Beräknade värden på effektkondensatorerna och startbatterierna som sedan har använts i Neplan för att få fram graferna. Dessa ekvationer har vi fått från Håkan Rörvall från ABB och kan även ses på sidan 8.

Värdena är från programmet Neplan och finns i bilaga 1 tabell 7

Motor 1,2 och 3 samt motor 4 och 5 har samma värde på kondensatorerna samt startbatterierna på grund av att det har samma specifikationer.

Uträkning av storleken för startbatterierna till motorerna:

$$Q_{\text{startbatteri}} = \sqrt{3} * (I_{st}/2) * U$$

$$\text{Motor 1 skena 1 blir } Q_{\text{startbatteri}} = \sqrt{3} * (893,1/2) * 3300 = 2,55 \text{MVA}r$$

$$\text{Motor 1,2 och 3 på skena 2 blir } Q_{\text{startbatteri}} = \sqrt{3} * (428/2) * 3300 = 1,22 \text{MVA}r$$

$$\text{Motor 4 och 5 på skena 2 blir } Q_{\text{startbatteri}} = \sqrt{3} * (295,88/2) * 3300 = 0,8466 \text{MVA}r$$

Uträkning av storleken för effektkondensatorerna till motorerna:

$$Q_c = 0,9 * U * I * \sqrt{3} \text{ där } I = 2 * I_r * (1 - \cos\alpha)$$

$$\text{Motor 1 skena 1 } I = 2 * 175,5 * (1 - 0,83) = 59,67 \text{A} \text{ och då blir } Q_c = 0,9 * 3300 * 59,67 * \sqrt{3} = 0,31 \text{MVA}r$$

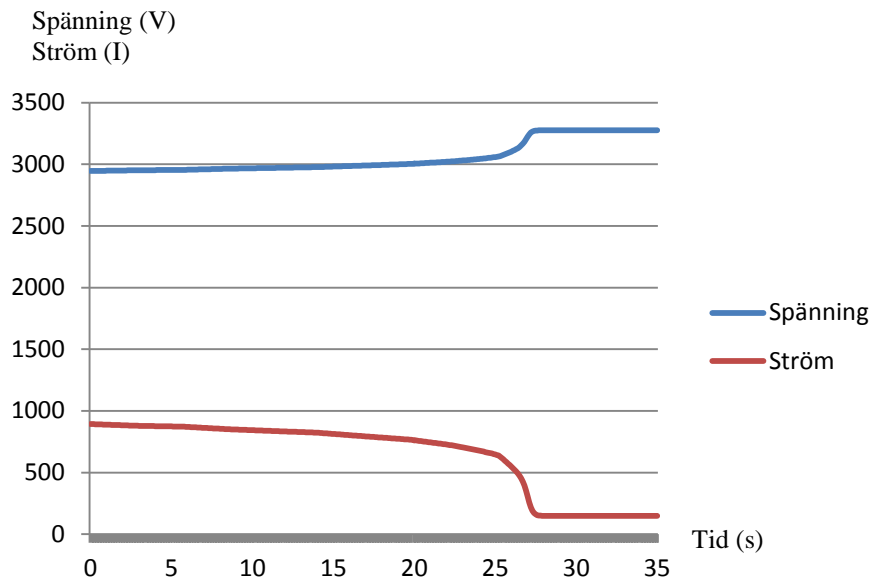
$$\text{Motor 1,2 och 3 skena 2 } I = 2 * 77,9 * (1 - 0,83) = 26,49 \text{A} \text{ då blir}$$

$$Q_c = 0,9 * 3300 * 26,49 * \sqrt{3} = 0,136 \text{MVA}r$$

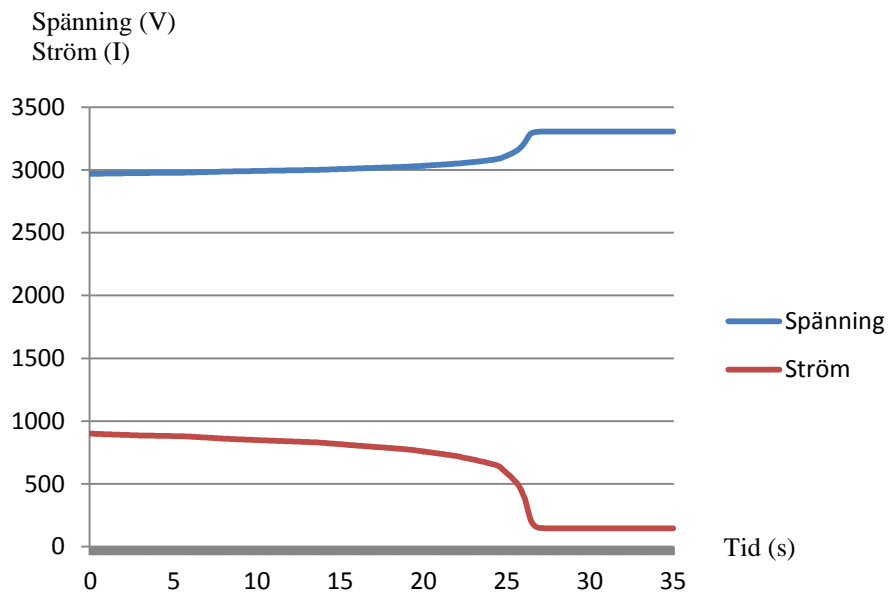
$$\text{Motor 4 och 5 skena 2 } I = 2 * 56,7 * (1 - 0,81) = 21,55 \text{A} \text{ då blir } Q_c = 0,9 * 3300 * 21,55 * \sqrt{3} = 0,111 \text{MVA}r$$

Motor Huggdrift som vi kallar den har egna specifikationer och därför hamnar den i en egen graf. Motorerna M1, M2 och M3 har samma specifikationer så de hamnar i samma graf. Motorerna M4 och M5 har samma specifikationer så de hamnar i samma graf. Data på motorerna vid motorstart kan ses i tabellerna i bilaga 1. I tabell 7 i bilaga 1 ser man märkdata för motorerna.

Tabell 1 i bilaga 1 visar värdena som vi fick innan kompensering för huggdrift och tabell 2 i bilaga 1 visar värdena efter kompensering. Figur 5 visar hur ström och spänning ser ut för huggdrift innan kompensering. Figur 6 visar hur ström och spänning ser ut efter kompensering.

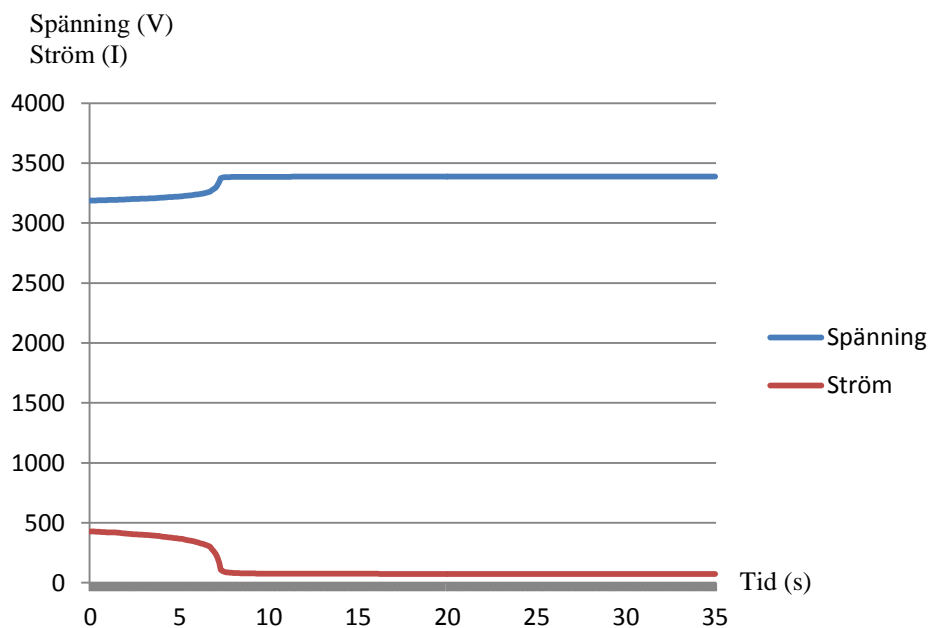


Figur 5. Ström och spänning innan kompensering.

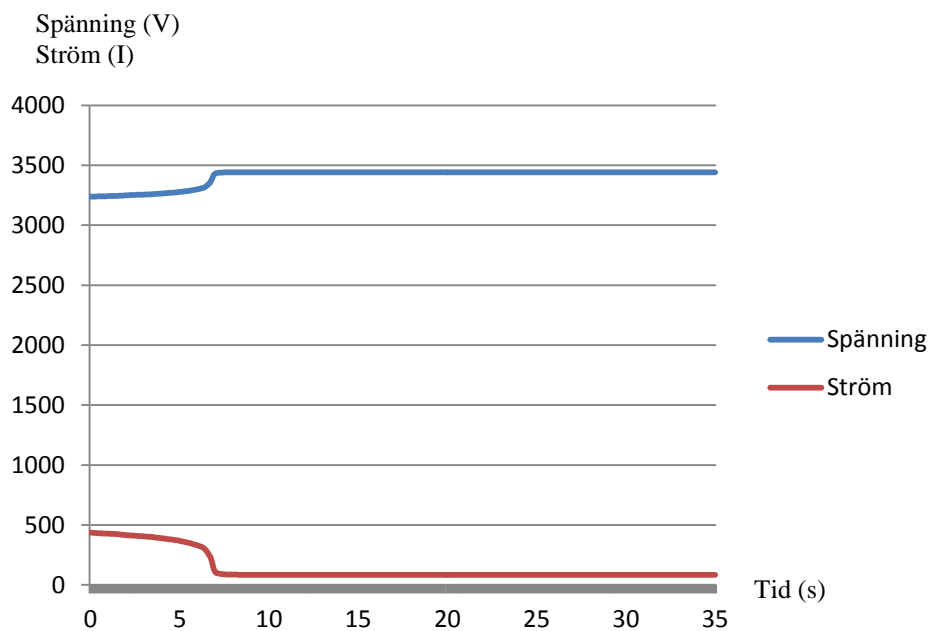


Figur 6. Ström och spänning efter kompensering.

Figur 7 visar hur ström och spänning ser innan kompensering för motorerna M1, M2 och M3 och Figur 8 visar hur ström och spänning ser ut efter kompensering. Tabell 3 i bilaga 1 visar värdena för motorerna M1, M2 och M3 före kompensering och tabell 4 i bilaga 1 visar värdena efter kompensering.

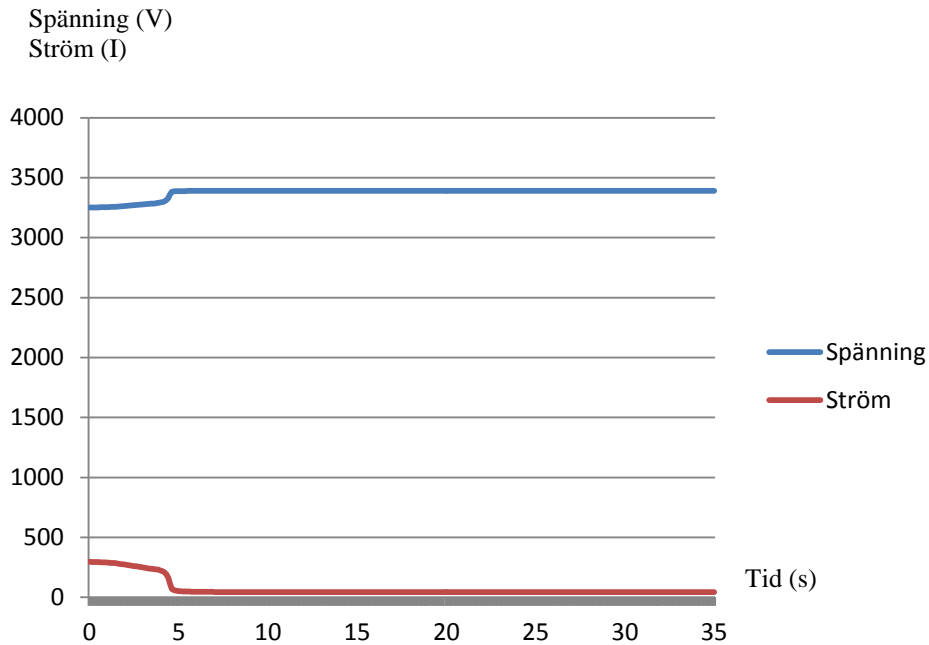


Figur 7. Ström och spänning innan kompensering för motor M1, M2 och M3.

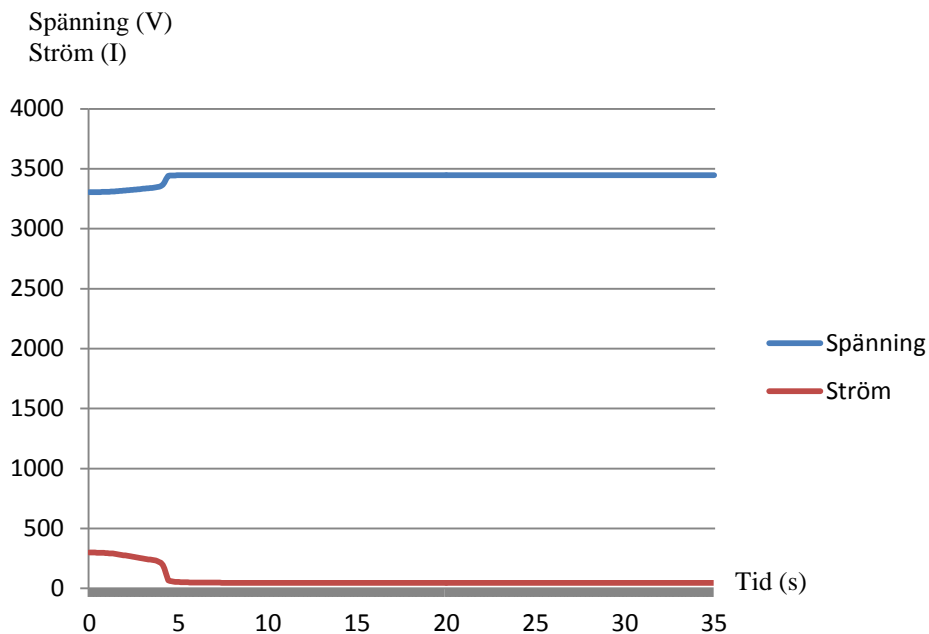


Figur 8. Ström och spänning efter kompensering för motor M1, M2 och M3.

Figur 9 visar hur ström och spänning ser innan kompensering för motorerna M4 och M5 och Figur 10 visar hur ström och spänning ser ut efter kompensering. Tabell 5 i bilaga 1 visar värdena för motorerna M4 och M5 före kompensering och tabell 6 i bilaga 1 visar värdena efter kompensering



Figur 9. Ström och spänning innan kompensering för motor M4 och M5.



Figur 10. Ström och spänning efter kompensering för motor M4 och M5.

Tittar man på figur 9 och figur 10 så ser man att motorerna M4 och M5 går snabbare upp i normalt arbetsläge än vad motor Huggdrift gör och detta beror på att märkström och märkspänning är lägre hos M4 och M5 än vad den är hos Huggdrift som kan ses på figur 17 i Bilaga 2

## Y/D koppling beräkning

Motor huggdrift.  $893.1 \cdot 0.666 = 549,8A$

Motorerna M1, M2 och M3  $428,866 \cdot 0,666 = 286,6A$

Motorerna M4 och M5  $295,881 \cdot 0,666 = 197,1A$

## Transformatorstart beräkning

Med den här metoden och om den används med 50% lindningen så skulle startströmmen reduceras med följande beräkningar:

Motor huggdrift.  $893.1 \cdot 0.5 = 446,6A$

Motorerna M1, M2 och M3  $428,866 \cdot 0,5 = 214,4A$

Motorerna M4 och M5  $295,881 \cdot 0,5 = 147.9A$

Med den här metoden och om den används med 65% lindningen så skulle startströmmen reduceras med följande beräkningar:

Motor huggdrift.  $893.1 \cdot 0.65 = 580,5A$

Motorerna M1, M2 och M3  $428,866 \cdot 0,65 = 278, A$

Motorerna M4 och M5  $295,881 \cdot 0,65 = 192,3A$

Med den här metoden och om den används med 80% lindningen så skulle startströmmen reduceras med följande beräkningar:

Motor huggdrift.  $893.1 \cdot 0.80 = 714,5A$

Motorerna M1, M2 och M3  $428,866 \cdot 0,80 = 343,1A$

Motorerna M4 och M5  $295,881 \cdot 0,80 = 236,7A$

## 6. Diskussion

Vårt mål var att minska spänningsfallet vid motorstart med hjälp av kondensatorer så mycket som möjligt. Resultatet som vi fick när vi simulerade motorstarter med och utan kondensatorer var inte det som vi hade hoppats på. I det bästa fallet fick vi en förbättring på 50v. Så målet och resultatet stämmer inte överens med varandra.

Vi vet inte varför resultatet och målet inte stämmer överens men vi misstänker att datorprogrammet har räknat fel. Vi tror att storleken och placeringen av kondensatorerna är rätta utifrån teorin.

Med det resultatet som vi fick så tror vi att det inte räcker för att avlasta nätet. Den reaktiva effektuttaget är något mindre nu då vi faskompenserar med effektkondensatorer eftersom att effektkondensatorerna producerar reaktiv effekt så behöver inte motorerna ta all reaktiv effekt som krävs från nätet. Den är nog troligen försumbar men den lilla spänningsökningen som vi fick i starten. Så det reaktiva effektuttaget ligger nog på nästan samma nivå.

Med de alternativa startmetoderna så blir resultatet mycket än metoden med kondensatorer. I det bästa fallet som var med transformatormetoden med 50% lindning så minskades startströmmen med 50%. Detta kommer att leda till att spänningsfallet kommer att minskas. Dock så är detta teoretiska beräkningar.



## Referenslista

1. [http://www.elforsk.se/Global/Vindforsk/rapp\\_teknikbevakning\\_01\\_05/Info\\_5\\_01.pdf](http://www.elforsk.se/Global/Vindforsk/rapp_teknikbevakning_01_05/Info_5_01.pdf)  
20140206
2. [http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/ac0fc2fb6cf7dd63c1257ac3003a68f1/\\$file/MCR%20SE%20Brochure%2007092012\\_1TFC%20902038N3401.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/ac0fc2fb6cf7dd63c1257ac3003a68f1/$file/MCR%20SE%20Brochure%2007092012_1TFC%20902038N3401.pdf)  
20140207
3. Optimal nätkvalitet vid faskompensering, ABB Kraft.
- 4.A. Alfredsson, 2000 *Elkraft*
5. <http://www.abb.com/product/ap/seitp329/6C9C21B3E8449067C12578C600380F35.aspx>  
20140424
6. [http://www.alstom.com/PageFiles/124504/ALSTOM\\_PRODUCT%20GUIDE\\_Low%20voltage\\_SW\\_JOB.pdf](http://www.alstom.com/PageFiles/124504/ALSTOM_PRODUCT%20GUIDE_Low%20voltage_SW_JOB.pdf)  
20140501
7. [http://www.vattenfall.se/sv/file/tb\\_rn\\_2013\\_31922599.pdf](http://www.vattenfall.se/sv/file/tb_rn_2013_31922599.pdf)  
20140428
8. Optimal nätkvalitet vid faskompensering, ABB Kraft.
9. <http://www.unipower.se/om-elkvalitet/vad-ar-elkvalitet/spanningsdippar/>  
20140310
10. <http://www.unipower.se/om-elkvalitet/vad-ar-elkvalitet/spanningshojningar/>  
20140310
11. [http://sv.wikipedia.org/wiki/Effekt#mediaviewer/Fil:Aktiv\\_reaktiv\\_effekt.svg](http://sv.wikipedia.org/wiki/Effekt#mediaviewer/Fil:Aktiv_reaktiv_effekt.svg)  
20140519
12. <http://sv.wikipedia.org/wiki/Asynkronmotor>
13. Adam John Wigington, 2010, A Comparison of Induction Motor Starting Methods Being Powered by a Diesel-Generator Set
14. Reduced voltage starting of low voltage, three-phase squirrel-cage induction motors technical overview.



## Bilagor

### Bilaga 1 Tabeller, före och efter kompensering

Vilken tabell som hör till vilken motor kan ses i bilaga 2 figur 13. Tabellerna visar hur ström och spänning varierar med tiden. Motorerna startar vid tiden 0s. Det som är intressant med dom här tabellerna hur skillnaden på spänningen är vid motorstart och när motorn har kommit upp i sitt arbetsområde. Då går det att räkna ut spänningsfallet.

Tabell 1 *Innan kompensering för motor "Huggdrift"*

| t (s) | U (V)    | I (A)   |
|-------|----------|---------|
| 0     | 2945,391 | 893,1   |
| 5     | 2953,594 | 873,997 |
| 10    | 2967,451 | 843,443 |
| 15    | 2981,066 | 813,071 |
| 20    | 3004,67  | 761,442 |
| 25    | 3058,543 | 646,065 |
| 25,5  | 3076,458 | 606,742 |
| 26    | 3102,929 | 548,936 |
| 26,1  | 3109,051 | 536,334 |
| 26,2  | 3115,702 | 522,934 |
| 26,3  | 3123,064 | 508,412 |
| 26,4  | 3131,385 | 492,318 |
| 26,5  | 3141,008 | 474,004 |
| 26,7  | 3166,143 | 426,575 |
| 26,8  | 3182,827 | 394,388 |
| 26,9  | 3202,53  | 354,407 |
| 27    | 3223,769 | 307,255 |
| 27,1  | 3242,971 | 258,661 |
| 27,2  | 3256,856 | 217,672 |
| 27,3  | 3265,246 | 189,033 |
| 27,4  | 3269,906 | 171,267 |
| 27,5  | 3272,463 | 160,828 |
| 27,6  | 3273,836 | 154,945 |
| 27,7  | 3274,578 | 151,672 |
| 27,8  | 3274,982 | 149,862 |

|      |          |         |
|------|----------|---------|
| 27,9 | 3275,202 | 148,865 |
| 28   | 3275,323 | 148,315 |
| 28,1 | 3275,39  | 148,013 |
| 28,2 | 3275,426 | 147,847 |
| 28,3 | 3275,446 | 147,756 |
| 35   | 3275,47  | 147,645 |

Tabell 2 *Efter kompensering motor "Huggdrift"*

| <b>t (s)</b> | <b>U (V)</b> | <b>I (A)</b> |
|--------------|--------------|--------------|
| 0            | 2968,433     | 900,087      |
| 5            | 2976,902     | 880,558      |
| 10           | 2991,398     | 848,815      |
| 15           | 3006,381     | 815,687      |
| 20           | 3032,738     | 758,243      |
| 25           | 3112,669     | 586,985      |
| 25,5         | 3143,938     | 522,354      |
| 26           | 3201,095     | 414,271      |
| 26,1         | 3220,39      | 376,519      |
| 26,2         | 3242,385     | 330,194      |
| 26,3         | 3264,017     | 278,881      |
| 26,4         | 3280,972     | 231,954      |
| 26,5         | 3291,643     | 197,342      |
| 26,6         | 3297,565     | 175,453      |
| 26,7         | 3300,787     | 162,536      |
| 26,8         | 3302,487     | 155,302      |
| 26,9         | 3303,393     | 151,313      |
| 27           | 3303,879     | 149,129      |
| 35           | 3304,452     | 146,512      |

Tabell 3 *Innan kompensering för motorerna M1, M2 och M3*

| <b>t (s)</b> | <b>U (V)</b> | <b>I (A)</b> |
|--------------|--------------|--------------|
| 0            | 3187,319     | 428,866      |
| 2,5          | 3200,752     | 403,968      |
| 5            | 3221,664     | 367,275      |
| 6,7          | 3261,247     | 300,201      |
| 6,8          | 3271,727     | 280,93       |
| 6,9          | 3282,532     | 262,151      |
| 7            | 3295,196     | 241,517      |
| 7,1          | 3312,912     | 214,321      |
| 7,2          | 3342,565     | 168,221      |
| 7,3          | 3374,198     | 107,304      |
| 7,4          | 3378,891     | 95,764       |
| 7,5          | 3380,89      | 90,492       |
| 7,6          | 3382,047     | 87,316       |
| 7,7          | 3382,812     | 85,156       |
| 7,8          | 3383,359     | 83,577       |
| 7,9          | 3383,771     | 82,369       |
| 8            | 3384,093     | 81,41        |
| 8,1          | 3384,352     | 80,63        |
| 8,2          | 3384,566     | 79,982       |
| 8,3          | 3384,748     | 79,429       |
| 8,4          | 3384,904     | 78,957       |
| 8,5          | 3385,037     | 78,548       |
| 8,6          | 3385,153     | 78,191       |
| 8,7          | 3385,255     | 77,877       |
| 8,8          | 3385,345     | 77,598       |
| 8,9          | 3385,425     | 77,349       |
| 9            | 3385,496     | 77,125       |
| 11           | 3386,157     | 75,033       |
| 14           | 3386,406     | 74,23        |
| 21           | 3386,517     | 73,871       |
| 35           | 3386,531     | 73,823       |

Tabell 4 Efter kompensering för motorerna M1, M2 och M3

| t (s) | U (V)    | I (A)   |
|-------|----------|---------|
| 0     | 3237,887 | 435,67  |
| 3     | 3255,391 | 404,21  |
| 5     | 3276,796 | 367,397 |
| 6     | 3299,659 | 328,049 |
| 6,1   | 3302,845 | 322,801 |
| 6,2   | 3306,368 | 317,186 |
| 6,3   | 3310,435 | 310,945 |
| 6,4   | 3316,677 | 300,822 |
| 6,5   | 3328,277 | 280,143 |
| 6,6   | 3340,705 | 259,348 |
| 6,7   | 3356,367 | 234,922 |
| 6,8   | 3380,999 | 198,176 |
| 6,9   | 3420,853 | 131,205 |
| 7     | 3433,831 | 102,885 |
| 7,1   | 3436,497 | 96,272  |
| 7,2   | 3437,85  | 92,77   |
| 7,3   | 3438,678 | 90,568  |
| 7,4   | 3439,235 | 89,056  |
| 7,5   | 3439,632 | 87,961  |
| 7,6   | 3439,927 | 87,138  |
| 7,7   | 3440,152 | 86,503  |
| 7,8   | 3440,329 | 86,004  |
| 7,9   | 3440,468 | 85,605  |
| 8     | 3440,581 | 85,283  |
| 12    | 3441,132 | 83,684  |
| 35    | 3441,133 | 83,682  |

Tabell 5 *Innan kompensering för motorerna M4 och M5*

| <b>t (s)</b> | <b>U (V)</b> | <b>I (A)</b> |
|--------------|--------------|--------------|
| 0            | 3251,392     | 295,881      |
| 2,5          | 3270,415     | 260,854      |
| 4            | 3293,273     | 221,979      |
| 4,1          | 3296,904     | 216,213      |
| 4,2          | 3301,529     | 209,254      |
| 4,3          | 3311,611     | 192,832      |
| 4,4          | 3329,553     | 163,817      |
| 4,5          | 3357,456     | 119,062      |
| 4,6          | 3381,894     | 68,801       |
| 4,7          | 3384,811     | 60,8         |
| 4,8          | 3386,202     | 56,692       |
| 4,9          | 3387,037     | 54,117       |
| 5            | 3387,595     | 52,33        |
| 5,1          | 3387,996     | 51,008       |
| 5,2          | 3388,299     | 49,986       |
| 5,3          | 3388,536     | 49,172       |
| 9            | 3390,017     | 43,752       |
| 15           | 3390,101     | 43,426       |
| 35           | 3390,104     | 43,416       |

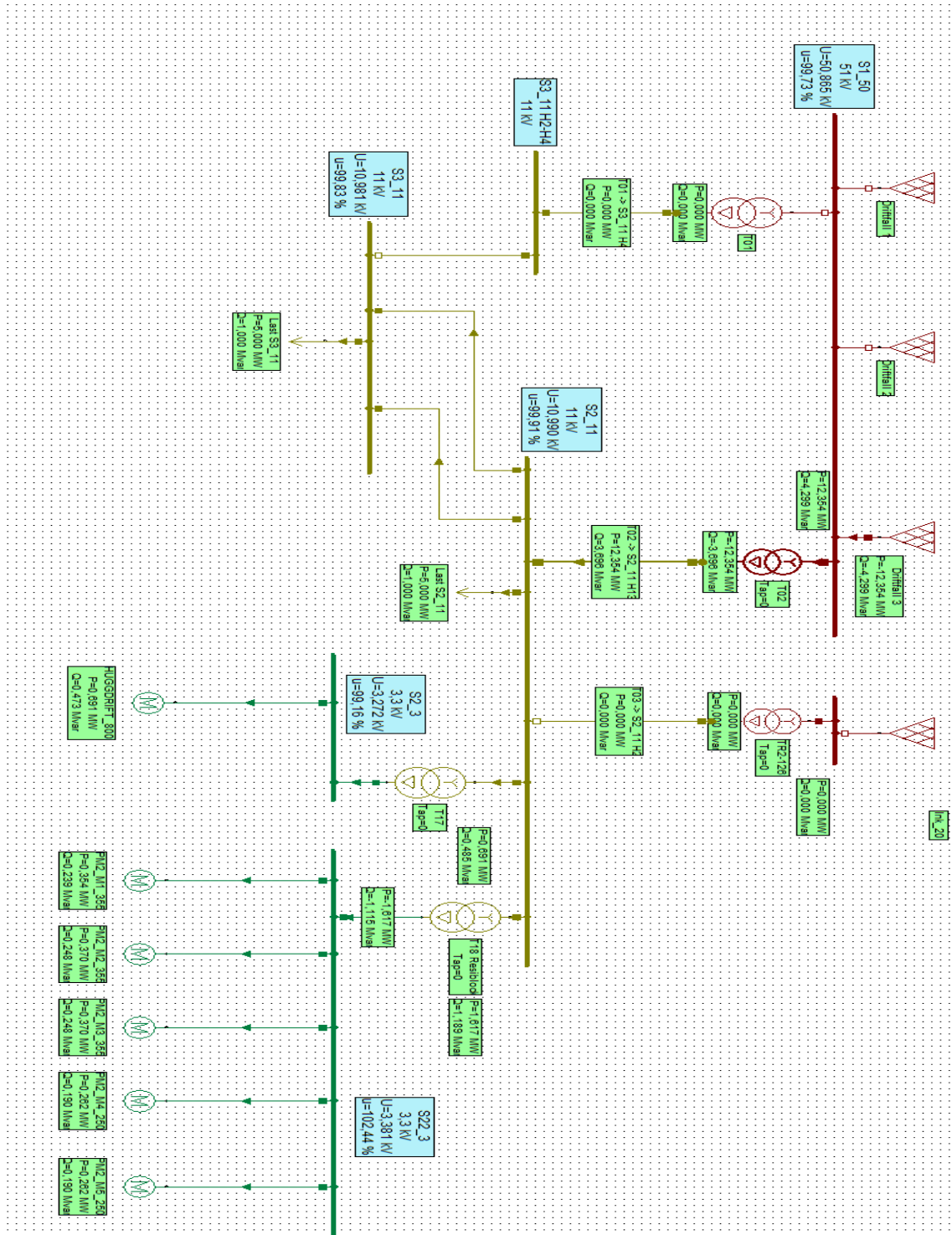
Tabell 6 Efter kompensering för motorerna M4 och M5

| <b>t (s)</b> | <b>U (V)</b> | <b>I (A)</b> |
|--------------|--------------|--------------|
| 0            | 3304,286     | 300,694      |
| 2,5          | 3325,478     | 262,629      |
| 4            | 3355,802     | 213,31       |
| 4,1          | 3366,353     | 196,508      |
| 4,2          | 3386,106     | 165,155      |
| 4,3          | 3417,641     | 114,91       |
| 4,4          | 3440,176     | 67,826       |
| 4,5          | 3442,383     | 61,828       |
| 4,6          | 3443,542     | 58,488       |
| 4,7          | 3444,273     | 56,314       |
| 4,8          | 3444,775     | 54,774       |
| 4,9          | 3445,141     | 53,618       |
| 5            | 3445,422     | 52,715       |
| 5,1          | 3445,645     | 51,988       |
| 5,2          | 3445,826     | 51,388       |
| 5,3          | 3445,976     | 50,886       |
| 5,4          | 3446,103     | 50,458       |
| 5,5          | 3446,211     | 50,089       |
| 5,6          | 3446,305     | 49,768       |
| 5,7          | 3446,387     | 49,485       |
| 5,8          | 3446,459     | 49,235       |
| 5,9          | 3446,524     | 49,012       |
| 6            | 3446,581     | 48,812       |
| 7            | 3446,933     | 47,565       |
| 9            | 3447,19      | 46,636       |
| 17           | 3447,35      | 46,051       |
| 35           | 3447,359     | 46,018       |

Tabell 7 Värden för motorer

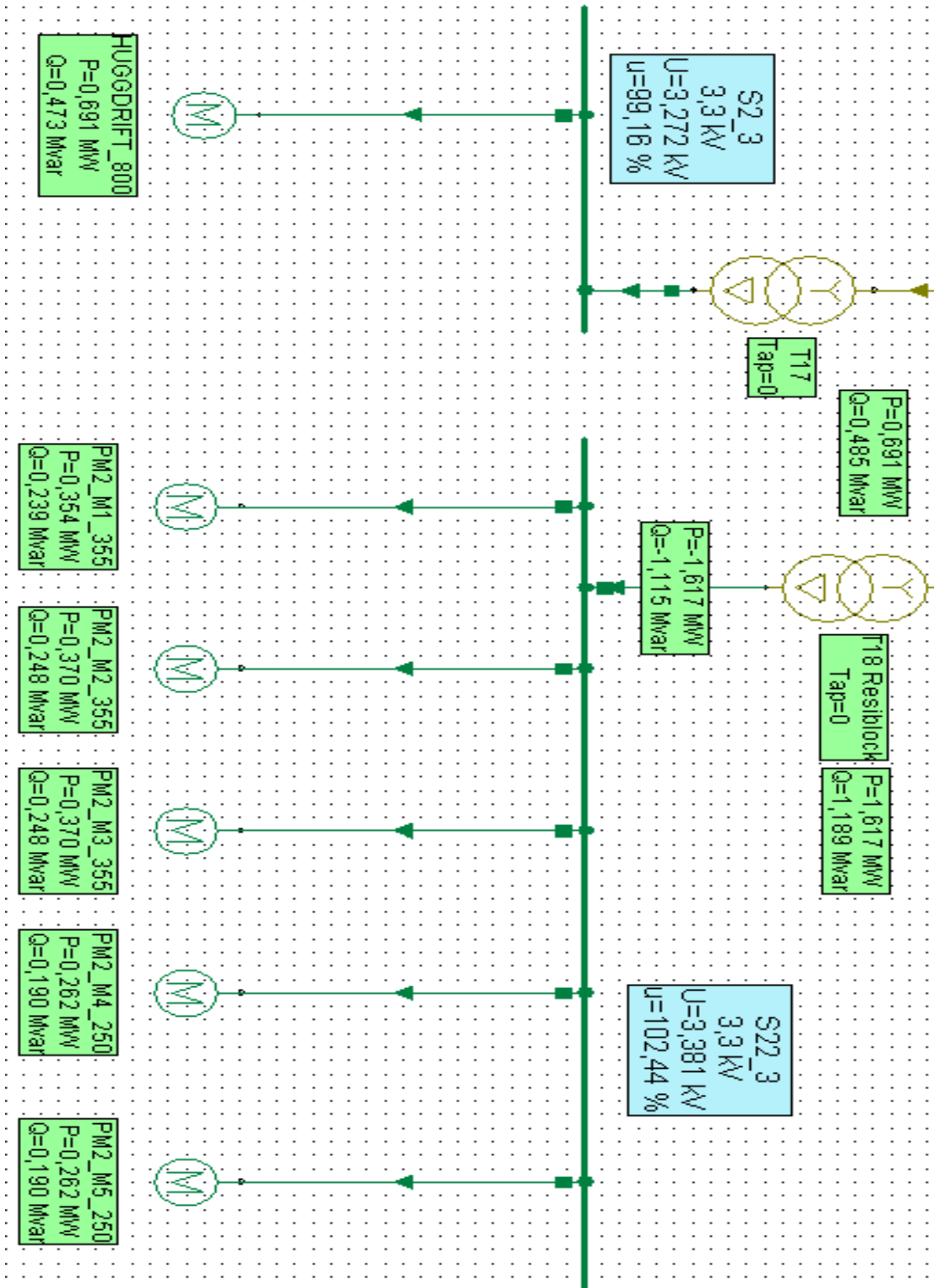
| Motor                                   | Huggdrift | M1    | M2    | M3    | M4     | M5     |
|---|-----------|-------|-------|-------|--------|--------|
| <b>Startström [A]</b>                   | 893,1     | 428   | 428   | 428   | 295,88 | 295,88 |
| <b>Spänning [kV]</b>                    | 3,3       | 3,3   | 3,3   | 3,3   | 3,3    | 3,3    |
| <b>I<sub>r</sub> [A]</b>                | 175,5     | 77,9  | 77,9  | 77,9  | 56,7   | 56,7   |
| <b>Cosφ</b>                             | 0,83      | 0,83  | 0,83  | 0,83  | 0,81   | 0,81   |
| <b>Q<sub>SB</sub> [MVA<sub>r</sub>]</b> | 2,55      | 1,22  | 1,22  | 1,22  | 0,486  | 0,486  |
| <b>Q<sub>c</sub> [MVA<sub>r</sub>]</b>  | 0,31      | 0,136 | 0,136 | 0,136 | 0,111  | 0,111  |

## Bilaga 2 Kretsscheman

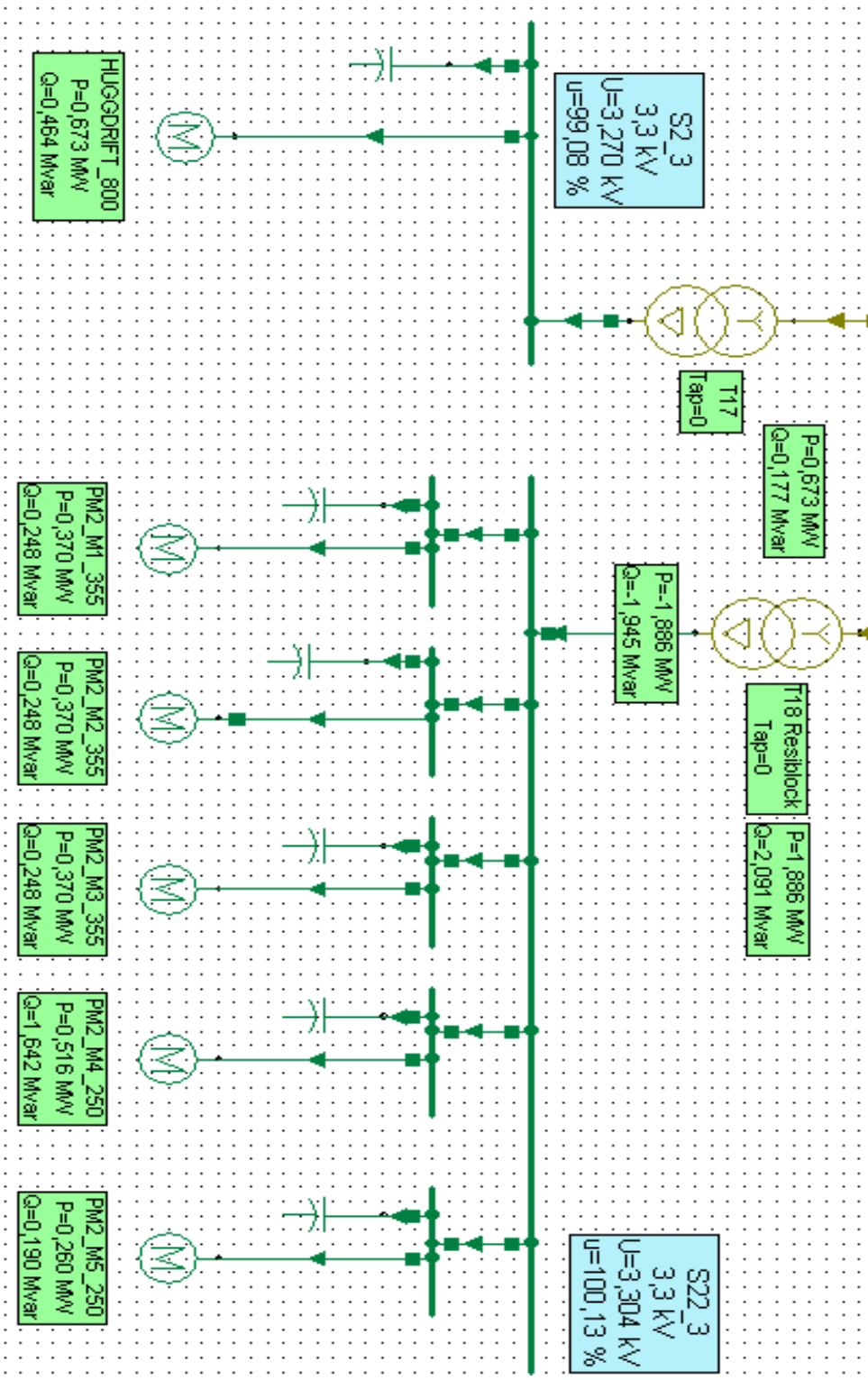


Figur 11. Schema över anläggningen

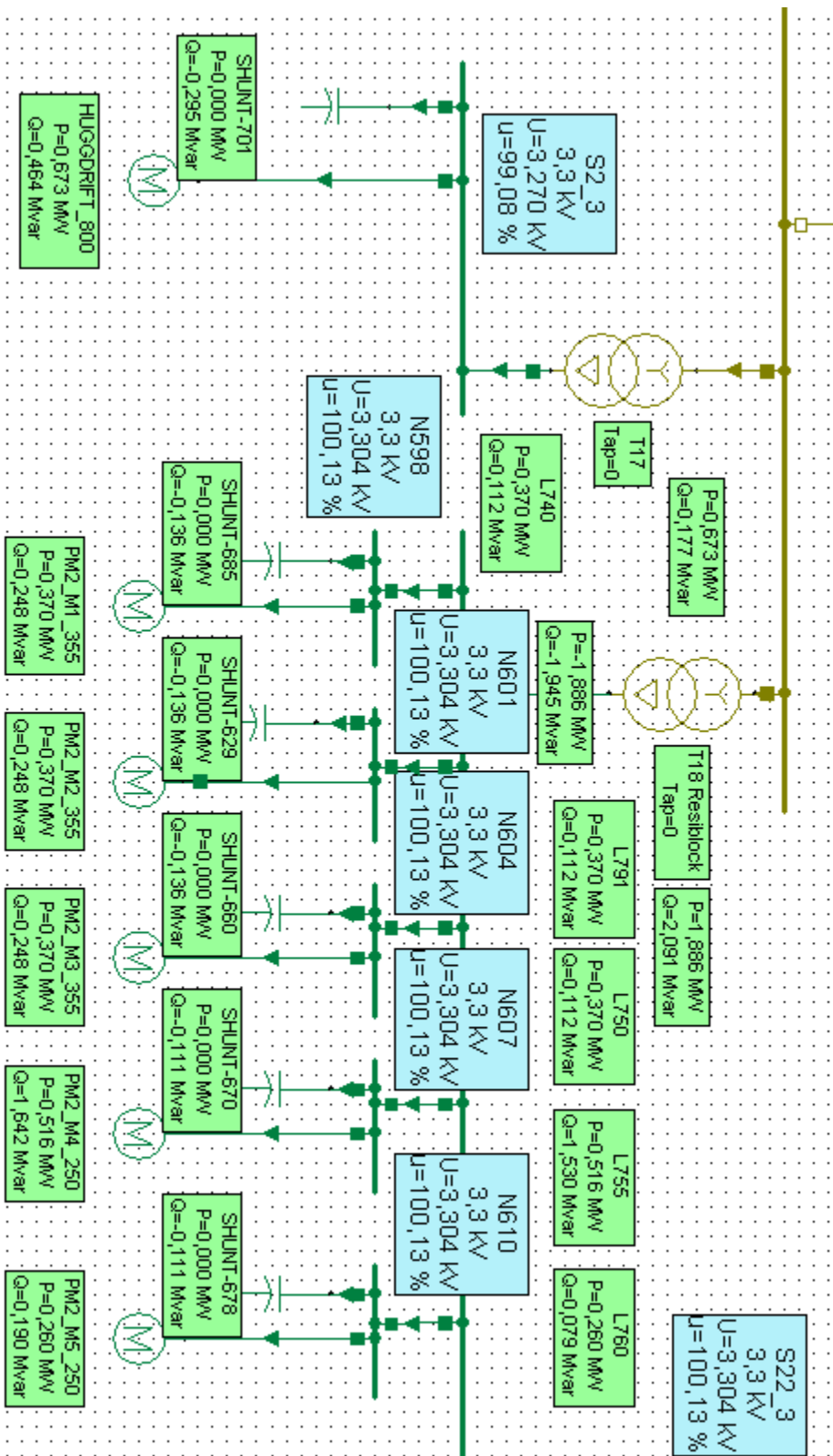




Figur 12. Motorer som ska faskompenseras



Figur 13. Direktkompenserade motorer



Figur 14. Direktkompenserade motorer med värden