

**Inverkan på den lokala elkvalitén pga av ökad användning  
av kraftelektronisk styrda laster - Bakgrundsförklaring till  
Professor Teuvo Suntios arbete**

TORBJÖRN THIRINGER

*Department of Energy and Environment*  
CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY  
Göteborg, Sweden 2009



**Inverkan på den lokala elkvalitén pga av ökad  
användning av kraftelektronisk styrda laster -  
Bakgrundsförklaring till Professor Teuvo  
Suntios arbete**

TORBJÖRN THIRINGER

Department of Energy and Environment  
CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY  
Göteborg, Sweden 2009

**Inverkan på den lokala elkvalitén pga av ökad  
användning av kraftelektronisk styrda laster - Bak-  
grundsförklaring till Professor Teuvo Suntios arbete**

Torbjörn Thiringer

Department of Energy and Environment  
CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY  
SE-412 96 Göteborg  
Sweden  
Telephone + 46 (0)31 772 16 44



# Contents

<b>1</b>	<b>Sammanfattning</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Introduktion</b>	<b>3</b>
2.1	Tidigare arbete som är centrala för aktuell rapport . . . . .	3
2.2	Problembakgrund . . . . .	3
2.3	Syfte . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Lokalt elnät</b>	<b>5</b>
3.1	Högfrekvensoscillation . . . . .	5
3.2	Reglertekniskt betingad oscillation . . . . .	9
<b>4</b>	<b>Lasters elektriska interface</b>	<b>11</b>
4.1	Traditionella ”rena 50Hz-laster . . . . .	11
4.2	Traditionellt späningsaggregat (linjärt aggregat) . . . . .	11
4.3	Tyristorlikriktade laster . . . . .	12
4.4	Enkel likriktare . . . . .	12
4.5	Med PFC -krets . . . . .	18
4.6	Aktiv likriktare med transistorinterface . . . . .	19
<b>5</b>	<b>Slutsats</b>	<b>21</b>
	<b>References</b>	<b>23</b>

# Chapter 1

## Sammanfattning

Denna rapport förklarar bakgrunden till oscillationer som kan uppträda pga förekomst av laster matade av elektroniskt interface, med fokus på enfasinterface.

Två olika typer av oscillationer som nog kan betraktas som de huvudsakliga behandlas i denna rapport.

Det är dels fråga om resonanser som uppträder naturligt i systemet. Dessa orsakas av att naturliga resonanser formas av de induktanser och kapacitanser som finns i systemet. Dessa resonanser är av högre frekvens från några hundra Hz och uppåt till 100-talet kHz.

Den andra typen av oscillationer som kan uppträda är pga av att de elektroniskt matade lasterna kan kompensera för att spänningen sjunker via att dra extra ström under spänningsfallet så att lasten erhåller en konstant effekt, och detta innebär att de agerar som negativa resistanser.

Även om incidenter redan förekommit och material presenterat av professor Teuvo Suntio pekar på faran, finns ingen anledning att vara väldigt bekymrad, men att ta dessa fenomen i beaktande är förvisso klokt. Av de två fenomenen är fenomenet med högfrekventa svängningar pga de ingående krets-elementen förmodligen det mest förekommande problemet.

Idag så installeras mycket kommunikationsutrustning i elnätet, t.ex för att läsa ur mätvärden ur elmätare. Det är här vi har den största känsligheten för högfrekventa störningar eftersom de använder kommunikationsfrekvenser som ligger i närheten av de övertoner som modern kraftelektronik skapar. Däremot förefaller det som situationer där utrustning i elnätet går sönder pga av övertoner och oscillationer, är mycket ringa eller åtminstone få.

Nämnas kan att problemet med negativ resistans har funnits länge och inte förorsakat några större problem i elnätet hittills.





# Chapter 2

## Introduktion

### 2.1 Tidigare arbete som är centrala för aktuell rapport

Det finns mycket arbete utfört inom detta tema, men här används i huvudsak två arbeten som utgångspunkt:

Dels en presentation utförd av Professor Teuvo Suntio, Tammerfors Universitet, den 23 April 2008, [1]. samt ett examensarbete av Lari Nousiainen, handlett av Professor Teuvo Suntio med titeln "Single-phase electronic load interactions with the supply network", [2].

### 2.2 Problembakgrund

I dagsläget blir alltflera laster matade via ett kraftelektroniskt interface. Detta innebär bl.a. tre saker. Strömövertoner injiceras i elnätet, kondensatorer i EMI-filtrerna bidrar till resonansmöjligheter, samt det finns risk för mer lågfrekventa oscillationer pga av att de kraftelektronikmatade lasterna utgör negativa resistanser i systemet.

Samtidigt med denna kraftfulla expansion av användande av kraftelektronik vid matning av laster (2015 beräknas 80 % av lasterna vara kraftelektronikmatade [2]), så har elnätskommunikation börjat installeras i elnätet. De problem som hittills uppträtt är där elnätskommunikation har störts ut, t.ex. rapporteras från Skåne ett fall där en IKEA-Lampa lyckades störa ut elnätskommunikationen för ett helt bostadsområde.

## **2.3 Syfte**

Syftet med denna rapport är att ge en förklaring till innehållet i de ovan nämnda arbetena av professor Teuvo Suntios.

# Chapter 3

## Lokalt elnät

### 3.1 Högfrekvensoscillation

En liten skiss över ett lokalt elnät, kan tänkas vara nerspänningssidan på en 10/0.4 kV transformator kan se ut som i figur 3.1.

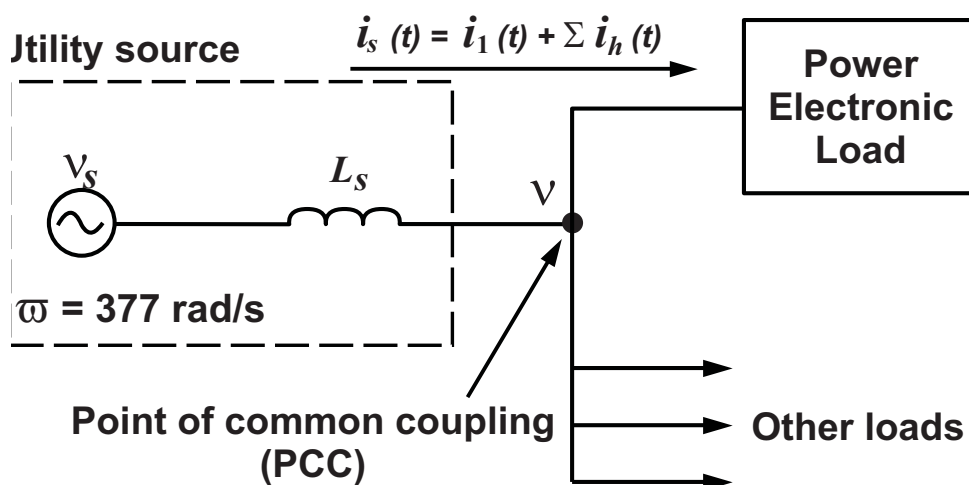


Figure 3.1: Lokalt elnät.

Till nätet är ett antal laster kopplade, varav ett flertal kraftelektroniskt drivna, anslutna. Dessa matar ut strömövertoner på elnätet pga av kraftelektroniken. Detta genererar genom impedansen i elnätet övertonsspänningar. Dessa spänningsövertoner genererar ytterligare övertonsströmmar när de propagerar ut till de kraftelektroniskt matade lasterna samt även från vanliga laster samt kablagen.

I figur 3.2 är ett fiktivt elnät med följande parametrar. Induktans och

resistans i tilliedningskablage och transformator är  $0.05mH$  samt  $0.16\ \Omega$ . Lastens EMIfilter har följande parmetrar,  $L = 8\mu H$ ,  $C = 1\mu F$  samt  $R = 0.2\Omega$

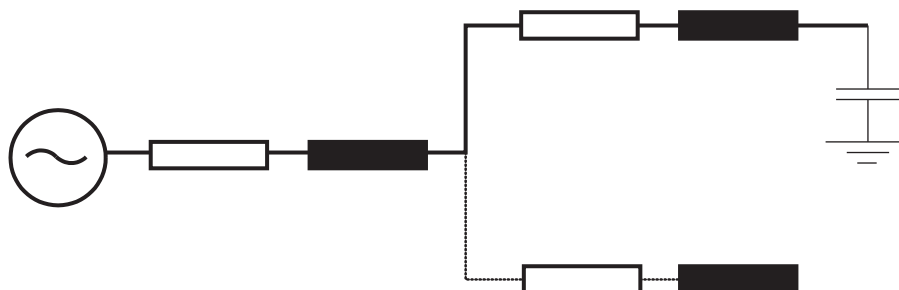


Figure 3.2: Förenklat nätverk för illustrationssimulering, EMI-filter mot tilliedningskablages impedans.

#### HFOsc

Efter 10 ms så kopplas en störande last in som orsakar en 1 % spänningsövertton i den matande spänningen som sammanfaller med en av elnätets resonansmoder, se figur 3.3.

Resultatet i lastspänning och laström blir kraftigt påverkat. Exemplet är förvisso överdrivet, men visar på problematiken.

Så, med andra ord, vill det sig illa finns det en resonans i systemet och vi kan få en kraftig förstärkning av vissa övertoner. Det finns exempel från Skåne där en IKEA-lampa lyckades störa ut ett helt villaområde på detta sätt.

Ett exempel på uppmätta strömmar där en 75 kHz komponent exiteras visas i figur 3.4, tagen ifrån [2].

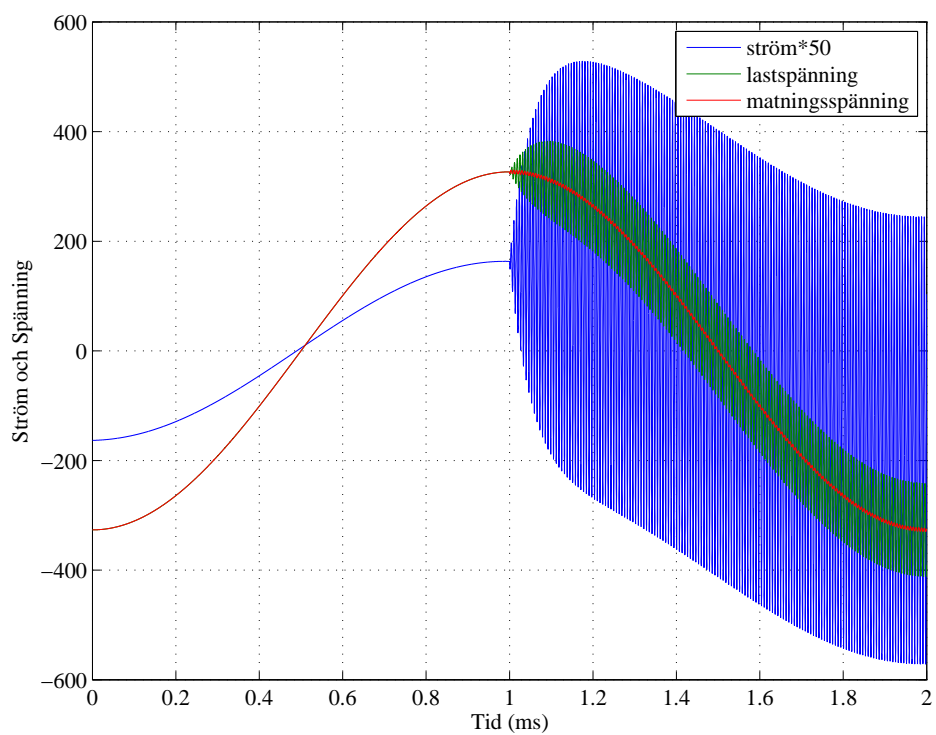


Figure 3.3: Matningsspänning, lastspänning samt lasström vid inkoppling av den störande lasten.

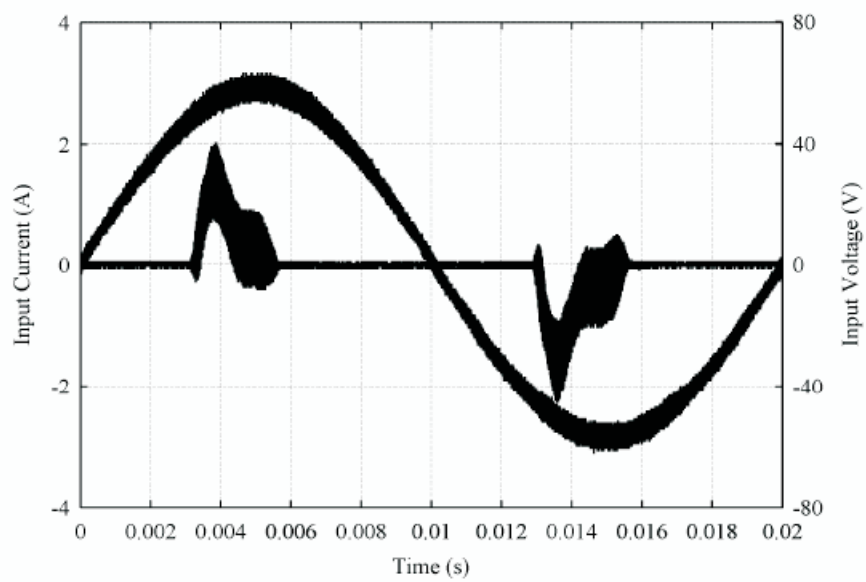


Figure 3.4: Distorderad nätström, med 75 kHz's oscillation, in till lågenergilampa, bild tagen från [2].

## 3.2 Reglertekniskt betingad oscillation

I elektriska system betyder resistans dämpning. Om man har en konstanteffektlast så kommer den att på en spänningsenkning svara med en ökad ström.

Man pratar om termen negativ resistans, men egentligen är det en fråga om differentiell resistans

$$\Delta R = \frac{\Delta U}{\Delta I} = > 0 \quad (3.1)$$

där  $\Delta U$  är spänningsförändringen och  $\Delta I$  den resulterande strömförändringen.

Denna resistans är typiskt frekvensberoende,  $R = R(j\omega)$ . Detta beroende kan i förenklade fall räknas ut matematiskt, men annars kan en empirisk metod användas:

$$\Delta U = U_{amp} \cos(\omega t) \quad (3.2)$$

appliceras på en last som svarar med

$$\Delta I = I_{amp} \cos(\omega t + \phi) \quad (3.3)$$

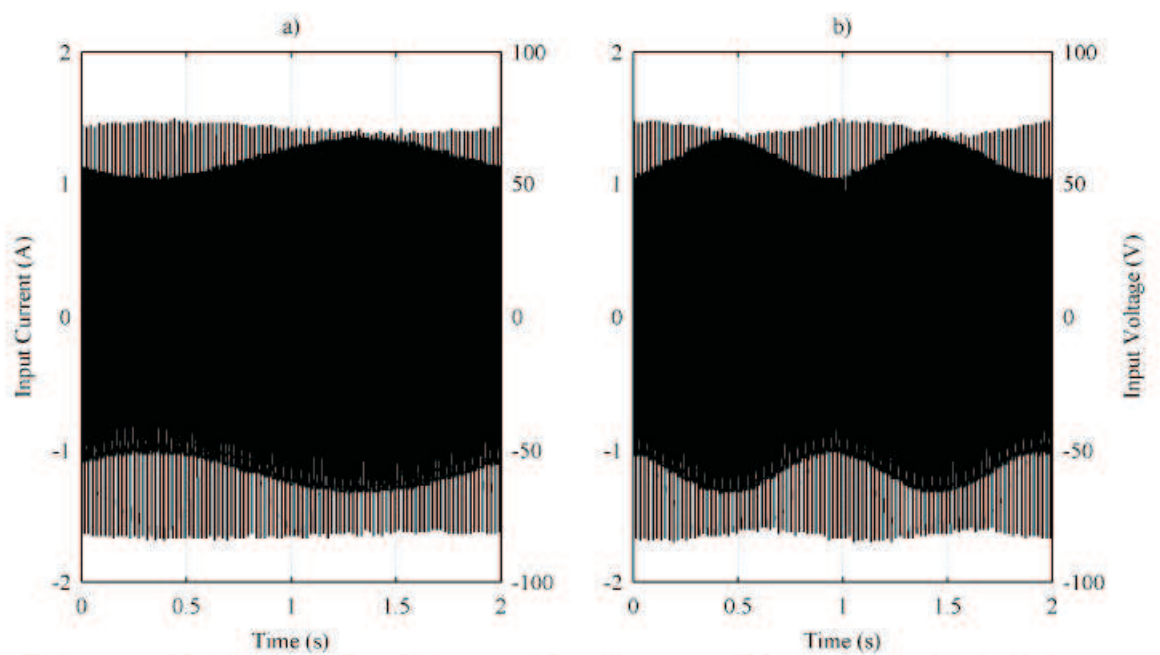
impedansen kan då bestämmas som

$$\Delta Z(j\omega) = \frac{\Delta U}{\Delta I} \quad (3.4)$$

Om  $\text{re}\{Z(j\omega)\} > 0$  för alla frekvenser pratar man om passivitet. Detta kan dock inte uppnås för de lägre frekvenserna i en PFC-matad last, där  $\text{re}\{Z(j\omega)\}$  helt enkelt måste vara negativ. I [2] ser man att det är just vid dessa låga frekvenser, runt 1 Hz och neråt som självinducerade oscillationer av lägre magnitud kan observeras.

Detta innebär dock inte att elsystemet kommer att självsvänga, detta beroende på att det finns andra resistiva krets-element i elnätet som är positiva.

Ett exempel tagit ur [2] visar på en sådan oscillation från en lågenergilampa gentemot elnätet är presenterat i figur 3.5 där en 0.5 och 1 Hz pulsation i spänningen resulterar i en strömvariation som ligger 180 grader förskjutet mot inspänningen.



*Figure 6.17. Amplitude modulation at a) 0.5Hz and b) 1Hz.*

Figure 3.5: Strömoscillation från lågenergilampa orssakad av påförd spänningsvariation. Exemplet taget ifrån [2].



# Chapter 4

## Lasters elektriska interface

### 4.1 Traditionella ”rena 50Hz-laster

Efter att växelspänningen gjort sitt intåg i eluttagen under 1900-talets första hälft (likströmsförsörjning fanns kvar på sina platser ända till 1974 i Göteborg) var det stora antalet laster direkt kopplade till denna matning. Det rör sig om glödlampor, asynkronmaskiner, seriemagnetiserade likströmsmaskiner (allströmsmotorer), radiatorer, etc.

### 4.2 Traditionellt spänningsaggregat (linjärt aggregat)

Än idag används de tidigare så vanliga traditionella spänningsaggregaten för mindre effekter. De fungerar som så att en 50-Hz transformator används för att transformera ner spänningen samt därefter likriktas den nertransformerade växelspänningen till en likspänning medelst en diodbrygga. För att finjustera spänningen kan en serieregulator användas.

I figur 4.1 finns ett översiktsschema av en dylik omriktare.

I figuren presenteras ett linjärt spänningsaggregat med reglering, men dessa spänningsaggregat finns även utan reglering. I fallet att reglering saknas innebär ett spänningsfall  $\Delta U$  att spänningen sjunker med  $\Delta I$ . Detta ger en lastresistansförändring

$$\Delta R = \frac{\Delta U}{\Delta I} = > 0 \quad (4.1)$$

som sett från elnätet som är positiv. Om kretsen är reglerad så innebär det att en spänningssänkning ger en minskad likriktad spänning. Detta innebär att spänningen över lasten sjunker. Regulatoren kommer då att höja

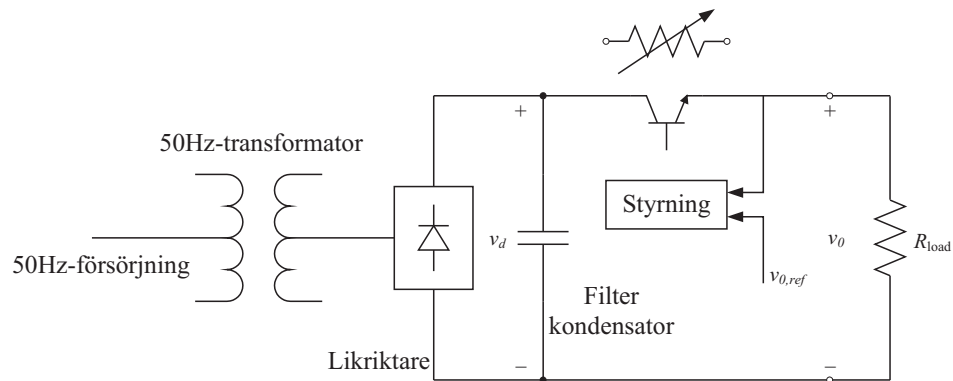


Figure 4.1: Traditionellt spänningsaggregat för likströmsförsörjning.

spänningen över lasten genom att släppa på mer ström. Detta innebär att strömmen stiger eftersom lasteffekten är konstant, och vi erhåller en minskad resistans, dvs vi har en negativ resistans, åtminstone för lägre frekvenser.

### 4.3 Tyristorlikriktade laster

Tyristorlikriktade laster förekommer framförallt för lite högre effekter (om vi ignorerar dimmrar). Nämnas bör dock att de är på utgående och ersätts av omriktare med transistormatning. Tyristoromriktaren kompenserar en sjunkande växelspänning med ökande ström för att hålla lasteffekten konstant. Detta sker utan någon större förändring av förlusteffekten. Vi erhåller då en minskad resistans för en spänningshöjning, dvs igen en negativ resistans.

### 4.4 Enkel likriktare

Problemet med det linjära spänningsaggregatet var att det erfordrades en stor tung 50 Hz-transformator samt att mycket effekt gick förlorad i serieregulatorn. För att komma undan transformatorn kan man diodlikrikta direkt från elnätet. I figur 4.2 visas en diodbrygga som driver en rent induktiv last.

På likspänningssidan har vi en likström och denna likström föredrar att komma från den växelspänningsspunkt som har högst potential. Under växelspänningens positiva halvperiod går strömmen in genom diod 1 och ut genom diod 2 och under den negativa halvperioden går strömmen genom diod 3 och 4.

Resultatet blir att en fyrkantsström dras från elnätet vilken innehåller

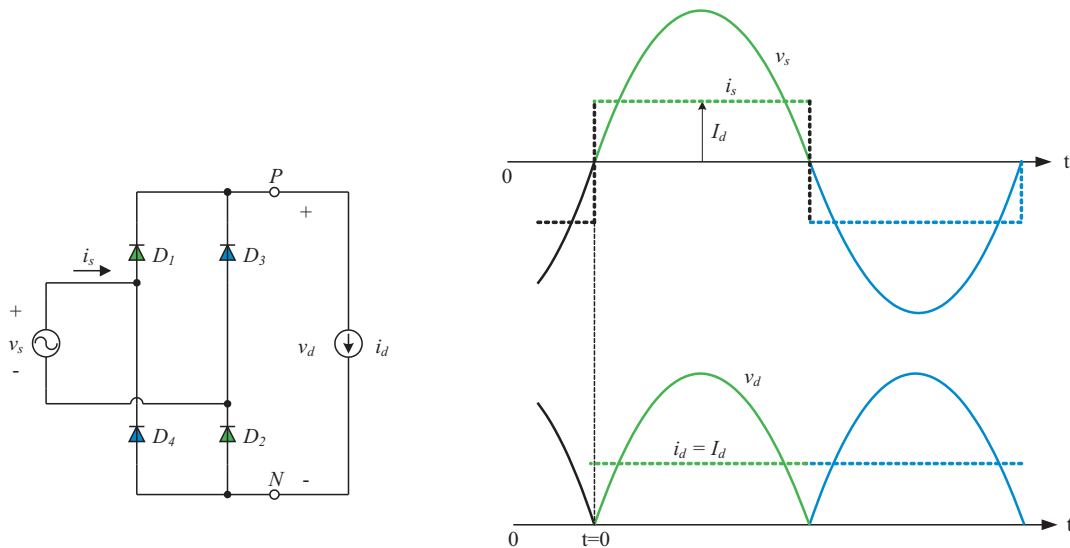


Figure 4.2: Enfas diodlikriktare med konstant-strömlast.

an avsevärd mängd lågfrekventa strömövertoner, se figur 4.3. Nackdelen med dessa lågfrekventa övertoner är att de är svåra att filtrera bort eftersom de erfordrar stor induktans och kapacitans.

Denna typ av diodmatning är tämligen ovanlig i enfasutförande medans det är oerhört vanligt att mata en likledskondensator enligt fig. 4.4.

Denna krets drar en mindre önskvärd ström från elnätet eftersom den endast drar ström då växelspaningens amplitud överstiger kondensatorspänningen, enligt figur 4.5. Att strömmen blir något förskjuten gentemot spänningstopparna beror på induktansen som fördröjer strömpulsen.

Strömmen på växelsidan ser då ut enligt figur 4.6. Förutom att denna kurvform innehåller lågfrekventa övertoner innebär den även att omriktaren erfordrar reaktiv grundtonseffekt.

Exempel på en strömmätning på en last matad med enkelt diodlikriktarinterface är presenterad i figur 4.7, i detta fallet med en trefas diodlikriktare på ingången.

För att förbättra situationen så kan ett passivt filter läggas framför diodlikriktaren enligt figur 4.8. Förutom en bättre övertonshalt erhålles nu även en bättre effektfaktor.

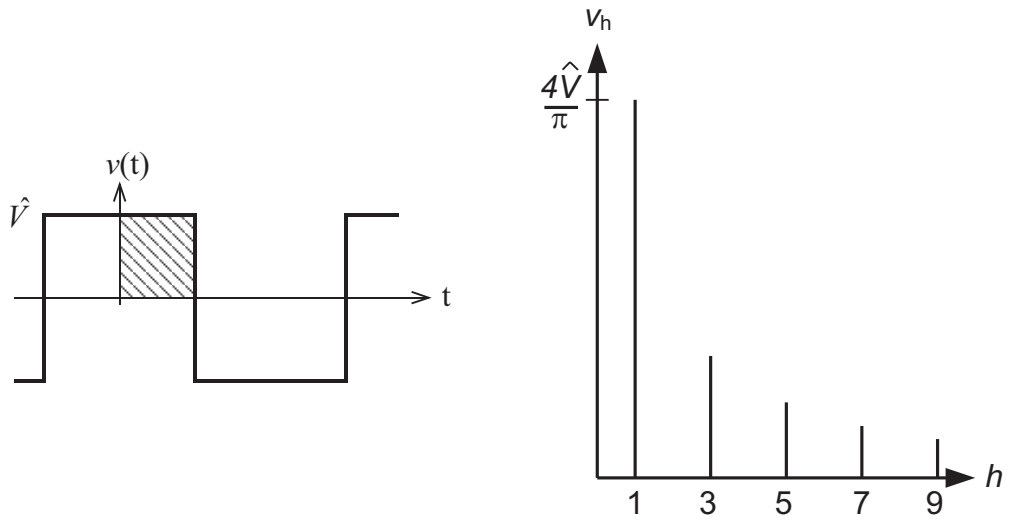


Figure 4.3: Fyrkantsströmvåg med tillhörande övertonsspektrum.

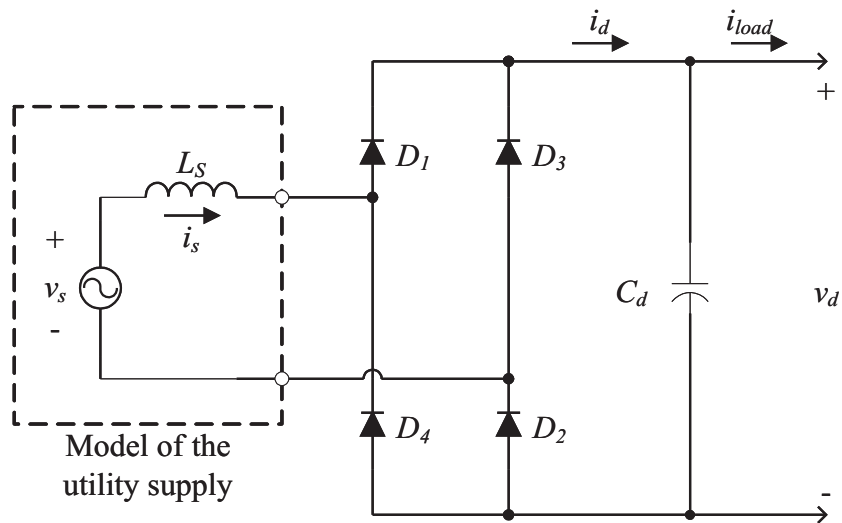


Figure 4.4: Diodlikriktare med spänningsstyvt likled.

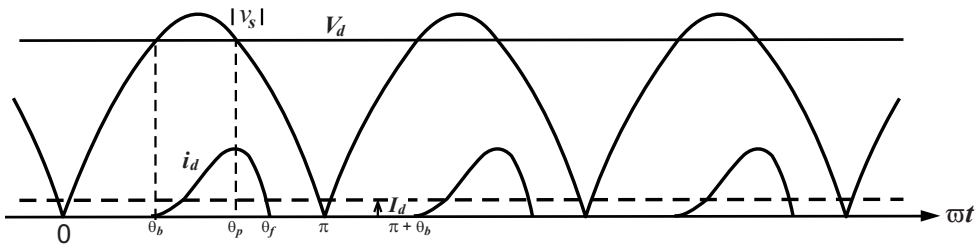


Figure 4.5: Strömkurvform på licsidan vid spänningsstyvt likled.

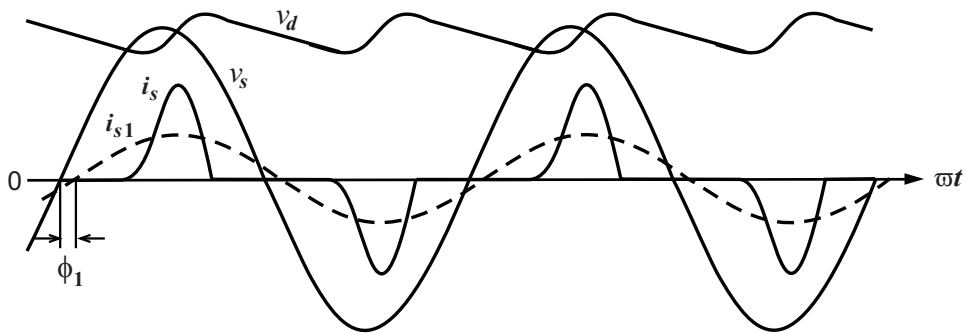


Figure 4.6: Resultande strömkurvformer på växelspänningsidan vid likriktning till styvt likled.

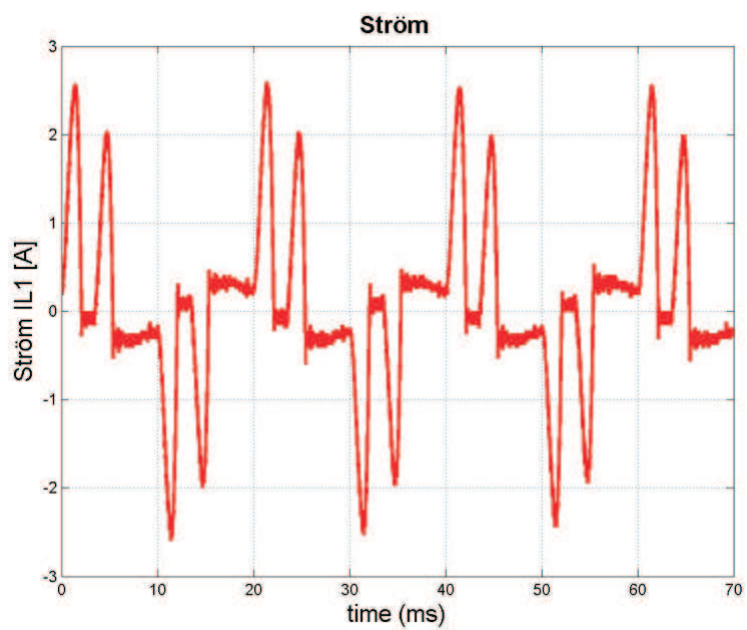


Figure 4.7: Uppmätt ström kurvformer på växelspänningssidan vid likriktning till styvt likled.  $v_s$  är matningsspänninge,  $v_d$  är likspänningen,  $i_s$  är nätströmmen samt  $i_{s1}$  är grundtonen i nätströmmen.

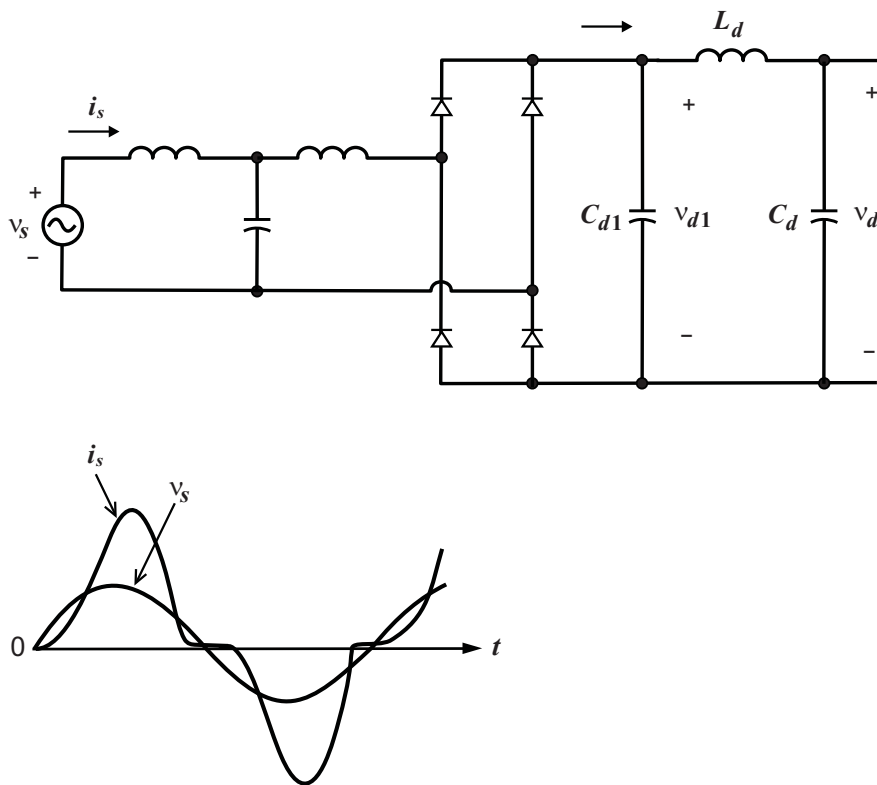


Figure 4.8: Resultande strömkurvformer på växelspänningssidan vid likriktning till styvt likled samt ett passivt faskompenserings- och övertonsfilter.

## 4.5 Med PFC -krets

För att helt komma tillrätta med fasförskjutningen mellan ström och spänning samt med det lågfrekventa övertonsinnehållet börjar idag alltmer s.k. ”PFC-likriktare” användas, PFC står för Power Factor Corrector. Konfigurationen av en sådan finns presenterad i figur 4.9.

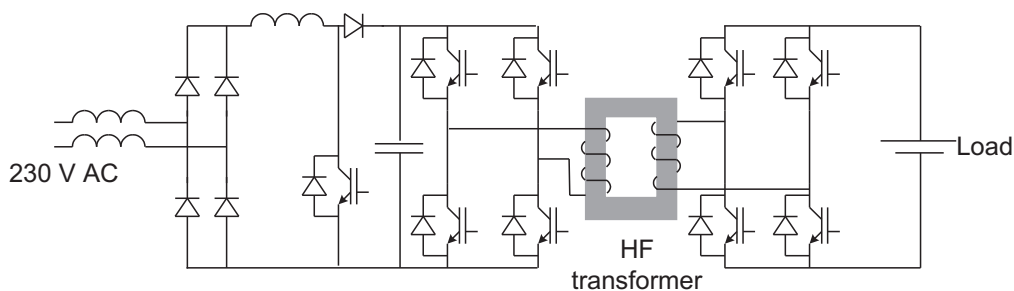


Figure 4.9: Aktiv PFC-krets (PowerFactorCorrector-krets)

Strömmen genom denna krets har utséendet enligt figur 4.10. Vi har inget reaktivt effektbyte med elnätet och därför kallas den PowerFactotCorrector-krest. Det är med hjälp av transistorn som strömmen på likledet styrs i ”bubbelform” och denna bubbelform synkroniseras med elnätets spänning och därmed erhålles en sinusformat strömtagning från elnätet.

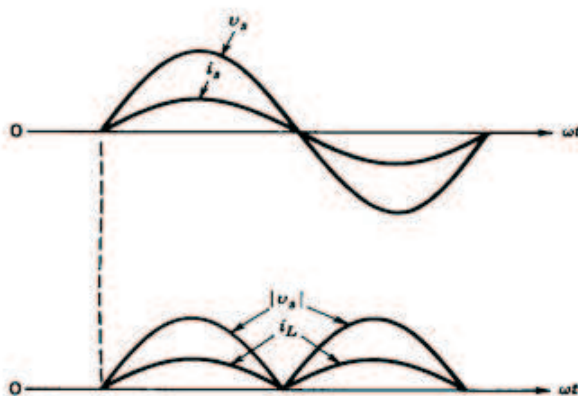


Figure 4.10: Teoretiska trömkurvformer på likspänningssidan, nedre bilden, och växelspanningssidan, övre bilden.

I figur 4.11 presenteras en uppmätt ström och spänningskurvform från en PFC-krets.



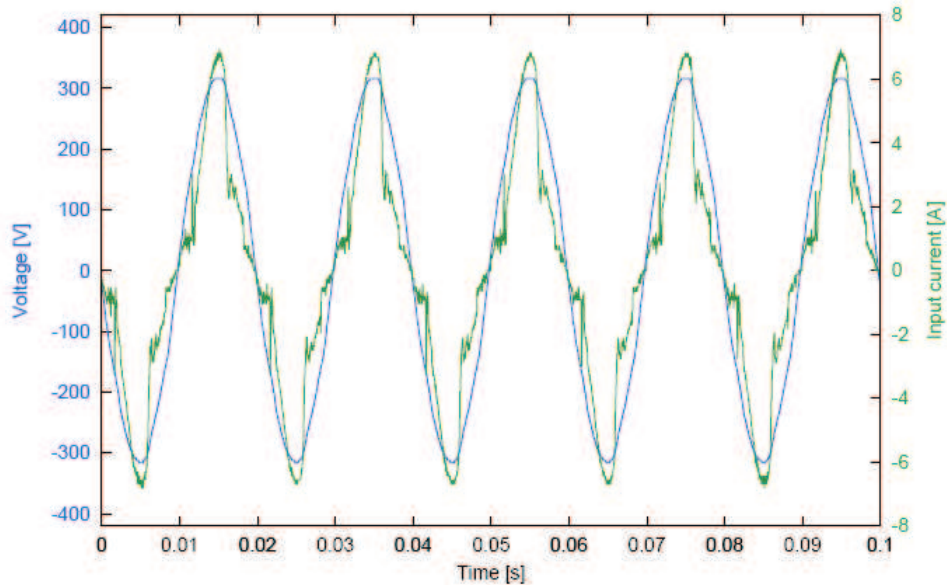


Figure 4.11: Uppmätt ström- och spänningskurvform för PFC-krets.

De övertoner som kommer ut är av högfrekvent natur och kan reduceras med ett EMI-filter vars komponenter är mindre än filtret för den rena diodlikriktaren för samma effekt och samma ström kvalitet.

## 4.6 Aktiv likriktare med transistorinterface

Aktiva likriktare kan även utformas med transistorer och en sådan krets presenteras i fig. 4.12.

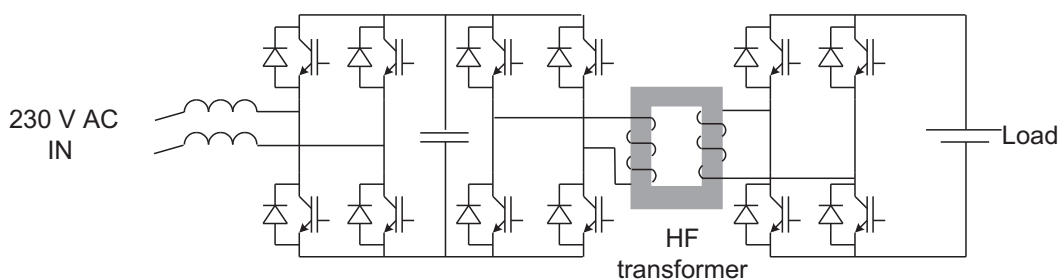


Figure 4.12: Aktiv likriktare med förmåga att även skicka aktiv effekt in i elnätet.

Denna krets har även förmågan att mata ut effekt till elnätet. Även

denna switchar med en mycket hög frekvens och det filter som erfordras för att ta bort övertonerna kan vara relativt litet. En inte helt orimlig spekulation är att elnätet om 30 år kommer att vara ordentligt bestyckad med dessa kretsar som på lastsidan kommer att vara anslutna till el- och elhybridfordon kopplade till elnätet. Förutom att ladda fordonen från elnätet kan fordonsbatterier utnyttjas för elnätsdriften, t.ex som spinning reserve.

# Chapter 5

## Slutsats

I rapporten beskrevs bakgrunden till några arbeten utförda på Tammerfors Tekniska Högskola, under ledning av professor Teuvo Suntio. I dessa arbeten utförs undersökningar på stabiliteten för kraftelektroniska omvandlare som drar konstant effekt från elnätet. Inom arbetet lyckas man också återskapa mindre oscillationer för lågenergiljus.

Två fenomen undersöks: Det är dels fråga om resonanser som uppträder naturligt i systemet. Dessa orsakas av att naturliga resonanser formas av de induktanser och kapacitanser som finns i systemet.

Den andra typen av oscillationer som kan uppträda är pga av att de elektroniskt matade lasterna kan kompensera för att spänningen sjunker via att dra extra ström under spänningsfallet så att lasten erhåller en konstant effekt, och detta innebär att de agerar som negativa resistanser.

Även om incidenter redan förekommit och material presenterat av professor Teuvo Suntio pekar på faran, finns ingen anledning att vara väldigt bekymrad, men att ta dessa fenomen i beaktande är förvisso klokt. Av de två fenomenen är fenomenet med högfrekventa svängningar pga de ingående krets-elementen förmodligen det mest förekommande problemet.

Idag så installeras mycket kommunikationsutrustning i elnätet, t.ex för att läsa ur elmätare. Det är här vi har den största känsligheten för högfrekventa störningar som kan slås ut eftersom de använder kommunikationsfrekvenser som ligger i närheten av de övertoner som modern kraftelektronik skapar. Däremot har det inte inrapporterats situationer där utrustning i elnätet går sönder pga av övertoner och oscillationer.

Nämnas kan att problemet med negativ resistans har funnits länge och inte förorsakat några större problem i elnätet hittills.



# References

- [1] Suntio, T. *Electronic Loads and Interconnected Systems*. Presentation gjord 23 April 2008
- [2] Nousiainen, L. *DSingle-phase eöectronic load interactions with the supply network*.