

CHALMERS



Analys och förbättring av en mätenhet för laddning av elfordon

Examensarbete för högskoleingenjörsexamen i elkraftteknik

ADAM EINARSSON
JEAN-MARIE NYATANYI

Institutionen för energi och miljö
Avdelningen för elteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2012

Analys och förbättring av en måtenhet för laddning av elfordon

ADAM EINARSSON
JEAN-MARIE NYATANYI

Institutionen för energi och miljö
Avdelningen för elteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2012

Analys och förbättring av en mätenhet för laddning av elfordon

ADAM EINARSSON
JEAN-MARIE NYATANYI

© ADAM EINARSSON
JEAN-MARIE NYATANYI, 2012.

Institutionen för energi och miljö
Avdelningen för elteknik
Chalmers tekniska högskola
SE-412 96 Göteborg
Sverige
Telefon +46 (0)31-772 1000

Omslag:
ChargeAlyzer, enhet för mätning och analys av störningar på elnätet vid laddning
av anslutet elfordon.

Chalmers Bibliotek, Reproservice
Göteborg, Sverige 2012

ADAM EINARSSON

JEAN-MARIE NYATANYI

Institutionen för energi och miljö

Avdelningen för elteknik

Chalmers tekniska högskola

Sammanfattning

Ledningsbundna störningar i form av övertoner i frekvensintervallet 2-150 kHz har ökat kraftigt de senaste decennierna, främst på grund av den ökande mängden av kraftelektronik baserad på frekvenser i det området. Standarder gällande gränser för ledningsbunden emission i detta intervallet har dock inte följt med i samma takt. Test Site Sweden, TSS, vill som en följd av detta förbättra deras mätenhet ChargeAlyzer som används för mätning av konduktiv laddning av elfordon direkt anslutna till elnätet. ChargeAlyzer mäter idag elkvalitetsrelaterade parametrar upp till 2.5 kHz och TSS vill undersöka behovet och möjligheterna att mäta upp till 150 kHz.

Detta arbete visar genom mätningar på konduktiv laddning av 3 olika elbilar på 3 olika platser att det finns störningar intressanta att analysera från laddningsprocessen i frekvensområdet upp till 150 kHz. Detta vid jämförelse med övriga störningar i nätet registrerade i samma mätningar vid samma tidpunkt. Nämnas ska att inget så kallat LISN-filter, som spärrar för yttre störningar, använts, ej heller ett testnät utan ett vanligt stört elnät. Mätningar och analyser av störningarna har gjorts enligt föreslagen procedur och resultaten har jämförts mot förslag som finns på gränser för ledningsbunden emission i intervallet. Den starkaste uppmätta amplituden på 120 dB μ V, motsvarande 1 V, är ungefär 5 dB μ V under det föreslagna gränsvärdet vid 35 kHz som motsvarar ungefär 1.78 V. Detta värde uppmättes dock vid ett spänningsfall på ungefär 6 % från nominell spänning.

Arbetet visar även på vikten av att utföra referensmätningar vid analys av störningar från mätobjekt direkt anslutet till elnätet. Detta till skillnad från när mätningar enligt de flesta standarder utförs då dessa sker i speciella lokaler med LISN-filter. Slutligen presenteras hur dessa nya mätningar skulle kunna realiseras hos ChargeAlyzer samt ett fåtal punkter i vilka användarvänligheten skulle kunna förbättras.

Indexeringstermer: Konduktiv laddning, elbilar, övertoner, 2-150 kHz, ledningsbunden emission, elkvalitet, olinjära laster

Abstract

Conducted emission in the form of harmonics in the frequency range 2-150 kHz have increased rapidly the latest decades, mostly from the increasing amount of power electronics based on switching frequencies in the same range. Standards regarding limits on conducted emission have not developed in the same pace. Test Site Sweden, TSS, wants as a consequence of this to improve their measurement unit ChargeAlyzer which is used for measurement of conductive charging of electrical vehicles directly connected to the power grid. ChargeAlyzer measures power quality related parameters up to 2.5 kHz and TSS wants to investigate the need and possibilities for measuring up to 150 kHz.

This work shows through measurements on conductive charging on 3 different electrical vehicles at 3 different places that there are disturbances interesting to analyze from the charging process in the frequency range up to 150 kHz. This in comparison with other disturbances in the power grid registered from the same measurements at the same time. No so called LISN-filter, that blocks outer disturbances, was used, neither a test grid but a normal disturbed power grid. Measurements and analyses of the disturbances have been performed according to proposed methods and the results have also been compared against proposed limits for conducted emission in the interval. The strongest measured amplitude of 120 dB μ V, equivalent to 1 V, is approximately 5 dB μ V below the proposed limit at 35 kHz which is equivalent to approximately 1.78 V. This value was measured at a voltage drop of 6 % from nominal voltage level.

The work also shows the importance of performing reference measurements when analyzing disturbances from test objects directly connected to the power grid. This differing from measurements according to standards performed in special labs with LISN-filters. Also is presented how these new measurements could be realized in ChargeAlyzer and a few areas in which the user-friendliness could be improved.

Index Terms: Conductive charging, electric vehicles, harmonics, 2-150 kHz, conducted emission, power quality, non-linear loads

Förord

Vi vill tacka Mikael Kilter och Ulf Jakobsson hos Move About elbilspool, Hans-Olov Nilsson hos H-O Enterprise och Joachim Härsjö på elteknikavdelningen på Chalmers för lån av elbilar att utföra mätningar på. Vi vill även tacka alla övriga på elteknikavdelningen som på något sätt hjälpt till angående mätning; Johan Åström, Andreas Karvonen och speciellt Magnus Ellsen som vi stört vid flera tillfällen.

Vi vill förstås tacka Peter Lindgren och Robert Granström på Test Site Sweden som initierade arbetet och gav viktiga kontakter. En sådan kontakt var Bo Elm hos Consat Engineering som vi vill tacka för inledande vägledning i arbetet. Även Math Bollen som vi vill tacka för det arbete gällande störningar i intervallet 2-150 kHz som vi valt att basera våra mätningar och analys på.

Slutligen vill vi tacka vår handledare David Steen för bra synpunkter på rapporten och tips samt litteratur till arbetet och förstås vår examinator Torbjörn Thiringer som också givit bra synpunkter på rapporten och även hjälpt till med mätutrustning.

Adam Einarsson

Jean-Marie Nyatanyi

Göteborg, Sverige, 2012

Innehåll

Sammanfattning	iii
Abstract	v
Förord	vii
Innehåll	ix
1 Introduktion	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	2
1.3 Metod	2
1.4 Avgränsningar	2
1.5 Upplägg på rapport	2
2 Teori	3
2.1 Elkvalitet	3
2.1.1 Flimmer	3
2.1.2 Osymmetri	4
2.1.3 Olinjära laster	4
2.2 Mätmetoder	5
2.2.1 EMC-standarder	5
2.2.2 Mätning mot referensfilter	7
2.2.3 Mätning direkt på nätanslutning	8
2.3 Elbilsladdning	11
2.3.1 Laddningssystem	11
2.3.2 Batteri	13
3 Utförande	17
3.1 Mätning av störningar	17
3.1.1 Val av mätmetod	17
3.1.2 Testmätningar	18
3.1.3 Mätning på elbilar	18
3.2 Test av ChargeAlyzer	20
4 Analys	21
4.1 Analys av mätdata	21
4.1.1 Mätdata från test av utrustning	21

4.1.2	Mätdata från elbilar	23
4.2	Analys av ChargeAlyzer	37
4.2.1	Användning idag	37
4.2.2	Bristande punkter i användarvänlighet	38
5	Åtgärder	41
5.1	Mätning	41
5.1.1	Mätprocess	41
5.1.2	Mätutrustning	42
5.2	Åtgärder gällande användarvänlighet	44
6	Slutsatser	45
6.1	Resultat	45
6.2	Framtida arbete	46
	Referenser	47
A	MATLAB-kod	51

Kapitel 1

Introduktion

1.1 Bakgrund

Att störningar på elnätet länge varit ett växande problem, speciellt de senaste decennierna, är inget nytt. De energieffektiva energiomvandlarna, ofta refererade till ”*olinjära laster*”, drar högfrekventa strömövertoner genom utrustning i nätet vilket förkortar dess livslängd och även försämrar kvaliteten på elenergin till övriga laster. Något annat som inte heller är nytt är att en avsevärd ökning i antalet elbilar förväntas de kommande åren. Idag finns i de flesta hushåll den typ av olinjära laster som genererar störningar, oftast av låg effekt såsom laddare för mobiltelefoner och den mesta annan hemelektronik som inte heller är aktiva länge. Elbilen drar dock betydligt högre effekt än speciellt mobiltelefonladdare men även datorer och TV-apparater. Utöver det är den vanligen inkopplad under en lång tid, under natten, samtidigt som många andra elbilar är inkopplade. Ett högt, nära på, simultant effektuttag kan förstås även orsaka problem med långsamma spänningsvariationer. Elbilens inkoppling har alltså betydande bidrag till elkvaliteten i nätet.

Standarder finns gällande störningar som kan fortplanta sig på elnätet. Dessa är vanligen indelade i olika frekvensintervall där 2-150 kHz är ett som inte är lika reglerat som övriga frekvenser. Detta då området 2-150 kHz tidigare inte hade några betydande störningar. Störningar över 150 kHz kan störa radiokommunikation medan området under 2 kHz till exempel länge innehållit övertoner från vanlig passiv likriktning.

Idag finns mycket kraftelektronik som baserar sig på frekvenser i området 2-150kHz. Detta området används även för elnätskommunikation varför störningar i området bör undersökas [1].

Test Site Sweden, TSS, har som följd av den pågående och kommande expansionen av elbilsanvändandet beställt och fått fram en enhet som ansluts i serie mellan elnätet och elbilen för att primärt mäta de totala störningarna under laddning och sekundärt även ge realtidsinformation på laddningsförloppet. Enheten, kallad ChargeAlyzer, finns idag i ett fåtal exemplar och kan mäta övertoner upp till 2,5 kHz vilket är en vanlig gräns som mätinstrument omfattar. Även ytterligare elkvalitetsparametrar kan beräknas. Data sparas under laddningsförloppet och kan sedan analyseras för att se eventuella långsamma spänningsvariationer. TSS vill vidare-

utveckla ChargeAlyzer för att kunna mäta störningar i ett högre frekvensområde med sikte på ett breddinförande på svenska testanläggningar. Detta för att inhämta kunskap om hur framtidens normer för nätstörningar skall utformas. ChargeAlyzer har möjlighet att ladda elfordon anslutna med upp till 32 A.

1.2 Syfte

Detta arbete ska undersöka både behovet och möjligheten av att mäta störningar vid laddning av elfordon i området upp till 150 kHz som ChargeAlyzer idag inte täcker. Utöver detta ska även förslag ges på hur användarvänligheten kan förbättras i den befintliga ChargeAlyzer till den grad att enheten blir lätt att använda. Även ska en handledning författas gällande hur mätning utförs med enheten.

1.3 Metod

Mätningar ska göras på befintliga elbilar för att se om det finns störningar i form av övertoner intressanta att mäta i området upp till 150 kHz som ChargeAlyzer inte täcker. Utefter resultat ska marknaden för passande instrument undersökas för att förslag ska ges på passande utrustning till en uppdaterad ChargeAlyzer.

Enheten ska testas såsom den är utformad idag för att finna punkter i vilka användarvänligheten brister och för underlag till en handledning. Utefter detta ska förslag ges på hur dessa punkter skulle kunna åtgärdas.

1.4 Avgränsningar

Arbetet ska inte beröra det fysiska utseendet på ChargeAlyzer, inte heller ska den befintliga elektriska konstruktionen analyseras. Mätningar på elbilar ska utföras efter de förutsättningar som finns. Dels gällande åtkomst till passande mätutrustning men även övriga förberedelser gällande mätning som kan ge användbara resultat. Detta ska både begränsas efter kostnaden och den tid det tar att anskaffa nödvändiga förutsättningar för en viss typ av mätning.

Analysen av användarvänligheten ska göras på antingen befintlig enhet eller beroende på utfall av mätningar och tid tillgänglig en uppdaterad enhet.

1.5 Upplägg på rapport

Rapporten inleds i Kap. 2 med bakgrundsinformation till vad för typ av störningar som finns i elnätet, hur dessa kan mätas och speciellt angående hur elbilar genererar störningar. I Kap. 3 beskrivs vad för mätningar som har utförts och hur de gick till samt test av ChargeAlyzer. I Kap. 4 följer resultaten av mätningarna och analys av ChargeAlyzer. I Kap. 5 nämns förslag till åtgärder på framtidens ChargeAlyzer och i Kap. 6 följer resultat och diskussion.

Kapitel 2

Teori

2.1 Elkvalitet

Elkvalitet, eller spänningskvalitet, är ett begrepp som beskriver spänningens beteende och avvikelse från nominella eller accepterade värden. Då den elektriska energin överförs på elnätet i form av elektriska och magnetiska fält i samverkan kallas alla dessa typer av avvikelser för elektromagnetiska störningar [2].

IEC61000-4-30 [3] är en standard som nämner parametrar gällande elkvalitet. Det finns ett flertal olika parametrar som omfattar det mesta av vad som definierar en växelspanning och tillgång till den såsom frekvens, amplitud, snabba och långsamma spänningsvariationer, övertoner m.m. Nedan nämns några exempel på sådana parametrar och orsaker till dem.

2.1.1 Flimmer

Flimmer gäller variationer i spänningen sådana att de uppfattas av det mänskliga ögat via en ljuskälla [4] och anges i parametrarna P_{st} och P_{lt} . Exakt hur dessa parametrarna mäts och beräknas anges i IEC61000-4-15 [5]. Denna standarden beskriver konstruktionen och funktionen hos en mätare som bland annat har ett delblock som simulerar hjärnans respons på blinkandet hos en glödlampa uppfattat av det mänskliga ögat. Från mätaren fås korttidsvärdet P_{st} som sedan långtidsvärdet P_{lt} beräknas utifrån enligt Ekv. 2.1. Enligt IEC61000-3-3 [6], som gäller i lågspänningsnät under 16 A, ska P_{st} mätas över en period på 10 minuter och P_{lt} över 2 timmar, alltså $N = 12$ i

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_{st,i}^3} \quad (2.1)$$

P_{lt} beräknas just för att objektet som testas mycket väl kan ha högt flimmervärde inledningsvis som sedan avtar varför P_{st} då inte är jämförbart med ett annat objekt som genererar samma flimmervärde konstant [6]. Flimmer är vanligt i elnät där laster som speciellt kräver höga startströmmar kopplas in och ur ofta såsom hissar och ljusbågsugnar [4] då dessa laster sänker spänningen i nätet. IEC61000-4-15 och

IEC61000-3-3 som citeras i detta kapitel är två äldre versioner men vars citerade delar inte ändrats till aktuella versioner [7, 8].

2.1.2 Osymmetri

Osymmetri, eller obalans, i trefassystem definieras som kvoten mellan spänningens negativa och positiva fasföljdskomponenter [9] och anges i procent. Detta uppstår helt enkelt när belastningen på faserna är ojämn. Utöver uppenbara källor till problemet såsom högeffektkrävande en- eller tvåfaslaster, exempelvis vissa spisar och bastuaggregat, kan nämnas luftledningarna som med jämna mellanrum transponderas. Transpondering innebär att de enskilda ledarna byter plats med varandra. Detta är för att jämna ut effekten av induktans och kapacitans mellan faserna. Om denna transpondering är ofullständig blir förstörd impedansen och därmed belastningen ojämn. Ojämn belastning av strömriktare kan orsaka ytterligare övertoner än vad som idealt skulle genereras och andra apparater kan helt enkelt förstöras [10].

2.1.3 Olinjära laster

En olinjär last är helt enkelt en last vars belastningsström inte beror linjärt på den pålagda spänningen [4]. För en sinusformad växelspanning innebär detta helt enkelt att strömmen inte har samma form som en sinusvåg. Som exempel kan nämnas en vanlig diod vars strömgenomsläpp ökar exponentiellt till max över en viss tröskelspänning. Även den ideala dioden som börjar leda fullt direkt vid 0 V är olinjär i sammanhang med växelspanning. Just att strömmen är noll under en viss tid gör att det inte bara är en konstant som skiljer värdet på spänningen och strömmen åt under en period. Som praktiska exempel på olinjära laster kan nämnas de spänningsomvandlare som finns i den mesta moderna laddutrustning och hemelektronik, frekvensomriktare för styrning av motorutrustning och HF-don, som är en form av frekvensomriktare, som höjer verkningsgraden och minimerar flimmer hos lysrör. Alla dessa kretsar distorderar strömmen på något sätt för att åstadkomma önskade resultat. Laster som är olinjära skapar störningar på elnätet i och med de övertoner hos strömmen de belastar nätet med. Övertonerna kan orsaka stora problem på elnätet, exempelvis kan överspänningsskydd utlösas och det kan bli överhettning i transformatorer. Övertonerna behöver inte bara överföras konduktivt i ledningsnätet utan kan även samverka med systemet genom kapacitiv eller induktiv koppling i form av utstrålade elektromagnetiska vågor [11]. Fig. 2.1 visar hur en last kan påverkas av övrig aktivitet i elnätet.

De strömövertoner som de olinjära lasterna drar orsakar övertoner i spänningen på nätet i och med det spänningsfall de orsakar i sin väg fram till lasterna. I ett nät utan impedans blir det inget spänningsfall och alltså är den genererade spänningen odistorderad överallt. I verkligheten har dock generatorn en viss inre impedans och även luftledningarna, transformatorerna och övrig utrustning i nätet. Ju högre frekvens strömövertonen har desto större blir spänningsfallet för samma amplitud då elnätet i huvudsak är induktivt.

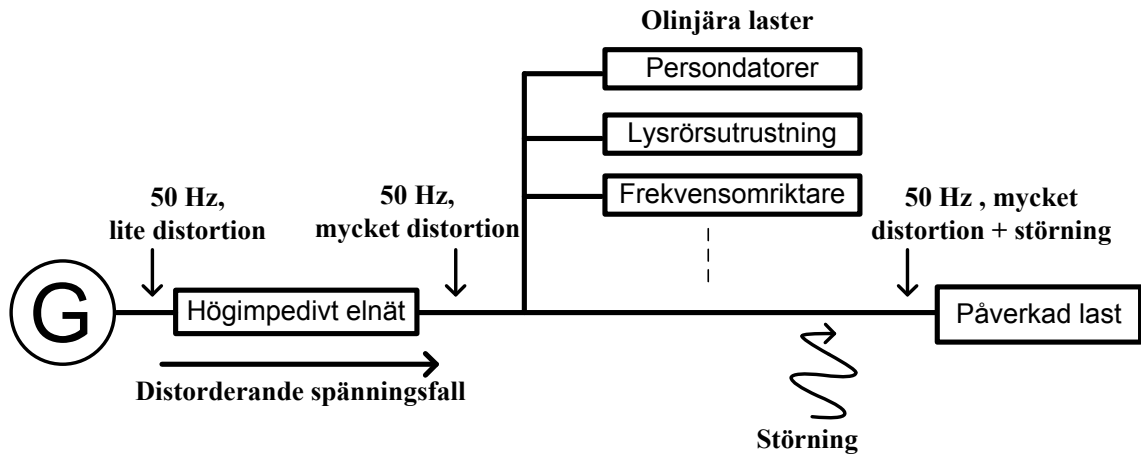


Fig. 2.1 Figur över hur spänningen kan påverkas i ett elnät fram till en last.

2.2 Mätmetoder

IEC61000-4-30 som nämns i Kap. 2.1 beskriver även hur de olika parametrarna för elkvalitet ska mätas direkt på elnätet. Instrument kan klassificeras enligt denna standard och får beteckning A, B eller S där enbart klass A kan användas som referensinstrument för jämförelse mellan olika instrument från olika tillverkare [12]. I detta arbete ska elektromagnetiska störningar i form av övertoner analyseras varför detta kapitel fokuserar på mätning av dessa.

2.2.1 EMC-standarder

Elektromagnetiska störningar och utrustnings kompatibilitet med dessa benämns EMI respektive EMC som står för *Electromagnetic Interference* och *Electromagnetic Compatibility*.

Inom de olika EMC-standarderna nämns i huvudsak följande avsnitt:

Ledningsbundna störningar - Störningar från mätobjekt som konduktivt överförs till elnätet.

Strålade störningar - Störningar från mätobjekt som strålas ut till den omgivande atmosfären.

Ledningsbunden immunitet - Mätobjekts tålighet mot störningar som överförs konduktivt via elnätet.

Strålad immunitet - Mätobjekts tålighet mot störningar som strålas in från den omgivande atmosfären.

Flera olika standarder för kommersiella produkter finns idag ur vilka många olika avsnitt härstammar ur standarder för militären var intresset för och vikten av elektromagnetisk kompatibilitet först upptäcktes. År 1934 formades CISPR, en fransk organisation som på engelska utläses *Special international committee on radio interference*, för att utforma reglering utav radiokommunikation. Det var först på 70-talet som detta uppdagades vara ett problem för privatpersoner i och med den

ökade användningen av hemelektronik som skedde då. FCC, *The Federal Communications Commission*, författade då en standard gällande EMC-krav på hemdatorer och liknande apparater [13].

Fram till 1989 hade länder i Europa flera olika EMC-standarder, det året presenterades EMC-direktivet 89/336/EEC för att harmonisera standarderna i en övergång från år 1992 till år 1996 [14, 15]. Idag har det ersatts av direktivet 2004/108/EC [16] vilket alltså inte behandlar specifika testmetoder och gränser utan verkar för att produkter inom EU-området har gemensamma grundkrav gällande EMC. Produkter som bär CE-märket måste följa detta direktiv.

Emissionsnivåer anges vanligen i $\text{dB}\mu\text{V}$ och $\text{dB}\mu\text{A}$ som i båda fall beräknas enligt Ekv. 2.2 där X anger mätvärdet i V eller A . Gränserna visas sedan över en även logaritmisk x-axel som visar frekvensintervallet.

$$Emission = 20 \log \frac{X}{10^{-6}} \text{ dB}\mu\text{V}/\text{dB}\mu\text{A} \quad (2.2)$$

Gränsvärden för strömstyrka anges vanligen bara upp till kring 5-10 kHz. Vid högre frekvenser är enbart spänningen intressant eftersom impedansen, som i ett elnät vanligen är mer induktiv än kapacitiv, är av sådana värden att även lägre strömmar genererar betydande spänningsfall [11].

För vissa produkter, såsom fordon, finns specifika krav satta. Just för elfordon inom Europa är det bland annat IEC-61851-1, med ytterligare delstandarder, gällande konduktiv laddning av dessa som ska följas [17]. I IEC-61851-21 anges emissionsgränser för ledningsbundna störningar från elfordon i intervallet 150 kHz-30MHz [18].

Just för området från 2-150 kHz finns det varken för elfordon eller annan utrustning särskilt många standarder, främst för elnätskommunikation och belysningsutrustning, men förslag finns, se [1]. Som exempel på befintlig standard kan nämnas IEC61000-2-2 som behandlar störningar i intervallet 0 - 9kHz i allmänhet och upp till 148,5 kHz för kommunikation på elnät med nominell spänning på upp till 420 V enfase och 690 V trefas [2]. Här anges kompatibilitetsnivåer för gränsvärden i elnätets anslutningspunkter, alltså inte emissionsnivåer från enskild utrustning. Dessa kompatibilitetsnivåer är menade att vara stöd i planeringen av emissionsgränser. [1] föreslår att använda standarder som anger emissionsgränser för elnätskommunikation att gälla allmänt för utrustning i elnätet. [1] och [19] ger också förslag på hur mätningar kan utföras i intervallet 2-150 kHz, även det baserat på befintliga standarder. Gränser föreslås vara 134 $\text{dB}\mu\text{V}$, motsvarande ungefär 5 V, i intervallet 2-9 kHz och sedan avta logaritmiskt till 120 $\text{dB}\mu\text{V}$, motsvarande 1 V, vid 95 kHz. Gränserna är föreslagna utifrån två standarder vars gränser skiljer sig åt i den sista delen av intervallet upp till 150 kHz. Den övre gränsen ligger kring 124 $\text{dB}\mu\text{V}$, motsvarande ungefär 1.6 V. Den undre gränsen ligger kring 115 $\text{dB}\mu\text{V}$, motsvarande ungefär 0.56 V. Se Fig. 2.2.

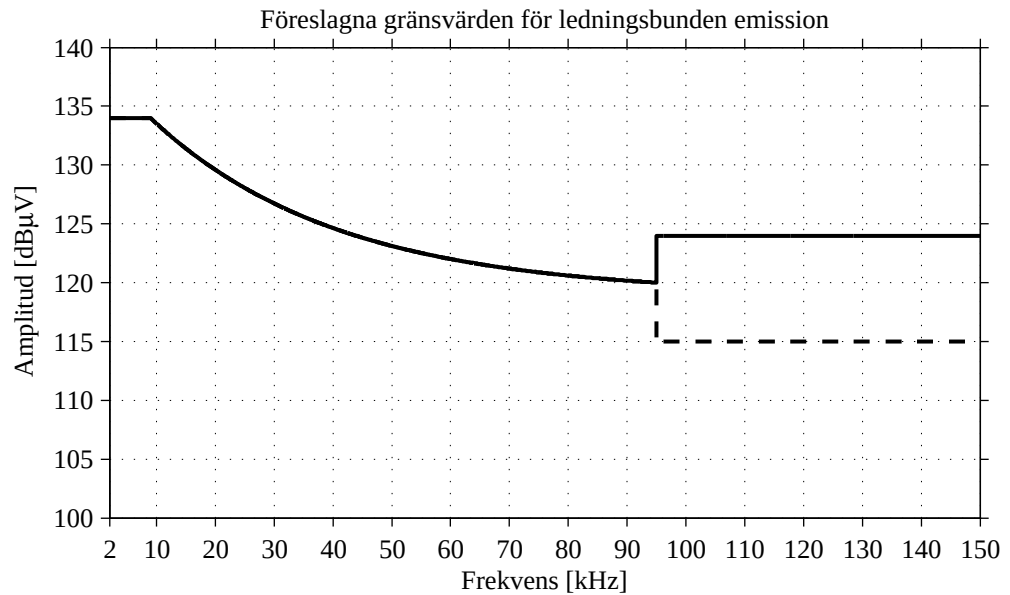


Fig. 2.2 Ungefärliga föreslagna gränsvärden för ledningsbunden i emission i intervallet 2-150 kHz.

2.2.2 Mätning mot referensfilter

Enligt de flesta kommersiella standarder för ledningsbunden emission ska störningar analyseras med mätobjekt kopplat via ett specifikt filter i serie med nätanslutningen som också mätinstrumentet är anslutet till. Detta filter som kallas LISN eller AMN som står för *Line Impedance Stabilization Network* och *Artificial Mains Network* respektive har tre huvudfunktioner [14]:

1. Ge känd impedans till mätobjektet på så sätt att resultat från mätningen är likvärdigt oavsett var det utförs.
2. Filtrera bort störningar på så sätt att enbart grundtonen överförs till mätobjektet från nätsidan och inte heller störningar generade av mätobjektet överförs till nätet.
3. Föra störningar från mätobjekt till mätinstrument.

Fig. 2.3 visar hur ett LISN-filter ska se ut enligt MIL-STD461F [20] som är en amerikansk militär standard gällande EMC och en av de mest tekniskt omfattande och använda överhuvudtaget [14]. Filtrets impedans måste även följa en viss toleranskurva över det frekvensintervall det ska användas att mäta på.

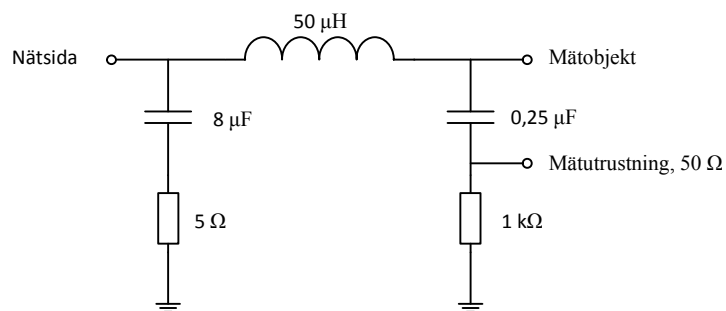


Fig. 2.3 Kretsschema för LISN-filter enligt MIL-STD461F [20].

I och med att de frekvenser från elnätet som filtreras bort kan vara av betydande amplitud är det förutom viktigt med jordningen så att en vanlig jordfelsbrytare inte kan vara kopplad på den ledningen LISN-filtret ansluts till. Ett av ovan nämnda filter används per ledare från nätet som mätobjektet ska anslutas till. På det filter som inte mätning utförs på ansluts istället för mätutrustning ett motstånd på 50 Ω .

Den anslutna mätutrustningen, kallad mätmottagare, har en bandbredd mycket mindre än det frekvensintervall mätningen utförs på. Mätningarna görs genom att svepa det begränsade frekvensfönstret genom hela intervallet. Som nämns i Kap. 2.2.1 mäts strömmen vanligen bara upp till 5-10 kHz, för detta används en spektrumanalysator som är ansluten via antingen en induktiv prob, se Kap. 2.2.3, över matande ledare eller över ett motstånd i mätobjektets strömförsörjningskrets [11].

Utöver att filtrera bort störningar som redan finns på elnätet är det förstås viktigt att inte strålade störningar påverkar testet. En jordad metallplatta ska vara placerad under hela testuppsättningen, om inte mätobjektet ska vara permanent installerad på icke-ledande underlag [20], och testet ska också utföras i ett avskärmat rum för att minimera påverkan från dessa.

Den ström som mätobjektet kräver kommer förstås att passera genom filtret. Då induktansen inför extra impedans i anslutningen till testobjektet är störningar starkare vid dessa test än vid test utan filter. Testobjekt kan alltså godkännas vid test utan filter men underkännas vid test med. Ett exempel på ett kommersiellt filter från ETS-Lindgren har ett spänningsfall på upp till 10 % [21].

2.2.3 Mätning direkt på nätanslutning

Alternativet till att filtrera respektive störningar är förstås att ansluta mätutrustning parallellt på mätobjektets anslutning till elnätet. Detta visar då de sammanlagrade störningarna när mätobjektet fungerar i samverkan med de störningar som redan finns på elnätet. Om objektet har dålig immunitet kan det rent av vara så att störningar genererade är kraftigare än vid testning enligt någon ovan nämnda eller andra EMC-standarder. Resultat med samma utrustning på samma mätobjekt kan variera på olika platser inte bara beroende på den varierande mängden störningar utan även på impedansen i nätet som förklaras i Kap. 2.1.3. Även för denna metod finns det olika typer av standarder såsom IEC61000-4-30 som nämns inledningsvis i detta kapitel. Vi beskriver här hur man kan mäta direkt på elnätets 400 V-nivå.

Mätinstrument

För att analysera uppmätta signaler krävs någon form av mätinstrument att samla in och visa data med. Dels finns det instrument som spektrumanalysatorer som visar mätresultat i frekvensdomänen men vanligast är oscilloskop. Ett oscilloskop är ett mätinstrument som visar hur en signal varierar över tiden. Med denna kan olika signaler, bland annat distorderade och odistorderade vågformer analyseras på olika sätt. En sinus-signal är den vanligaste tidsvarierande signalen och denna kan analyseras och dess parametrar beräknas. De två grundparametrar ett oscilloskop anger är spänning och tid. Moderna oscilloskop är digitala vilket gör att flera parametrar kan

beräknas. Ofta finns även möjlighet att spara mätdata för efteranalys i en dator. Speciellt viktiga egenskaper vid mätning av störningar på elnätet är upplösningen i både vertikal- och horisontalled. Med detta menas alltså hur små störningar som kan mätas samtidigt som elnätets grundton och hur höga frekvenser som kan analyseras. Oavsett hur bra oscilloskopet är behövs alltid någon form av prober för att anpassa mätvärdena till signaler lämpliga för oscilloskopet att behandla.

Spänningsmätning

Vanligaste sättet att mäta spänning på är med en volt-meter som ofta finns i handhållna, batteridrivna multimetrar. Denna kan användas för mätning på elnätet men farliga situationer kan lätt uppstå. En mycket viktig sak vid mätning på elnätet är jordning, både för skydd av den som hanterar utrustningen och utrustningen själv. För insamling av data används vanligen ett oscilloskop. Ofta har ett oscilloskop som försörjs från elnätet ena referenspunkten jordad [13] varför man inte kan ansluta fas- eller ens neutralledare direkt till den punkten. Detta skulle, om inte leda till att utrustningen går sönder, åtminstone till att en säkring eller brytare löser ut, som man kanske inte har åtkomst till på mätplatsen.

Detta kan lösas med en differentialprob. Denna prob fungerar så att den mäter två spänningar på flytande potential och ger en utsignal som antingen är differensen mellan, eller summan av dem, som sedan kan refereras till jordpunkten hos oscilloskopet [13], se Fig. 2.4. RC-nätverket som dämpar signalen och har en hög impedans till jord är konstruerat för frekvensoberoende spänningsdelning [22].

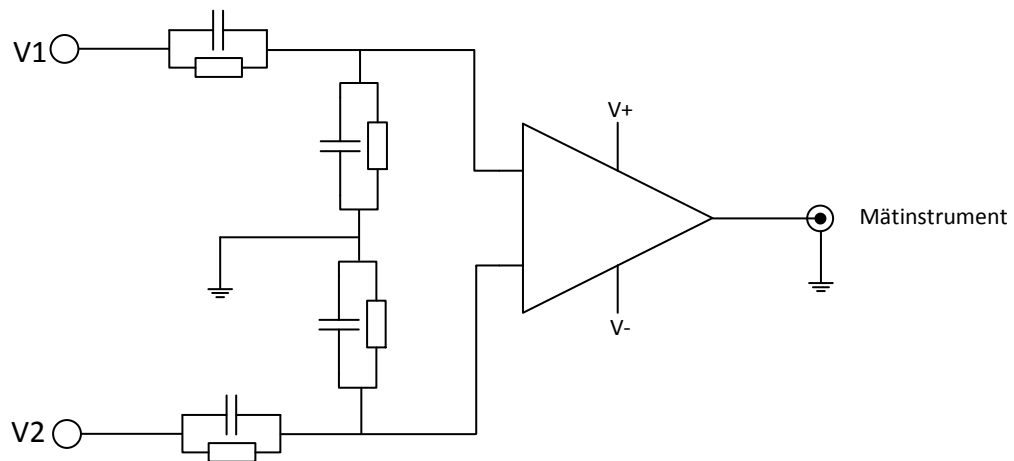


Fig. 2.4 Kretsschema på typisk differentialprob från LeCroy [23] för spänningsmätning mellan flytande potentialer.

Vanligen kan olika alternativ av spänningsdämpning väljas så att signalen kan anpassas till en nivå lämplig för oscilloskopet. Kretsen som utför summeringen eller differensberäkningen måste strömförsörjas vilket vanligen kan ske med batteri för minimalt med störningar gentemot om kopplad till elnätet via adapter vilket också kan vara möjligt.

Strömmätning

Strömmätning sker ofta genom att en ampere-meter placeras i serie med matning till testobjektet. En annan metod som kan användas är att helt enkelt mäta spänningen över en känd impedans i den matande kretsen vilket är just vad ampere-metern gör inbyggt. Två metoder som inte kräver ingrepp i den matande kretsen är användandet utav en induktiv strömprob eller Hall-effektsensor.

Den induktiva strömproben finns i flera olika varianter men själva grundprincipen är att en spänning induceras i en slinga sluten runt ledaren via det magnetfält strömmen ger upphov till [13]. Denna inducerade spänningen överförs sedan till en krets som transformerar värdet till någon lämplig signal att skicka ut till ett oscilloskop. Även finns strömtransformatorer som också utnyttjar induktion i en slinga men som strömmen mäts i direkt.

Hall-effektsensorn använder också magnetfältet men utnyttjar kraften som fältet verkar på laddningar i en strömförsörjd metall- eller halvledarplatta som är n- eller p-dopad. När det, av strömledningen, genererade magnetfält passerar denna platta drar sig laddningarna åt ena sidan och bygger alltså upp en potentialskillnad mellan sidorna som kan mätas av en volt-meter [24].

Den induktiva strömproben kan bara mäta varierande strömmar då det är just ändringen av magnetfältets styrka induktion bygger på. Hall-effektsensorn fungerar däremot även för likström då kraften som verkar på laddningarna är konstant så länge magnetfältet är det. Båda dessa typer av mätningar kräver extern strömförsörjning så som differentialproben för spänningsmätning. Se Fig. 2.5 för figurer på de två mätmetoderna.

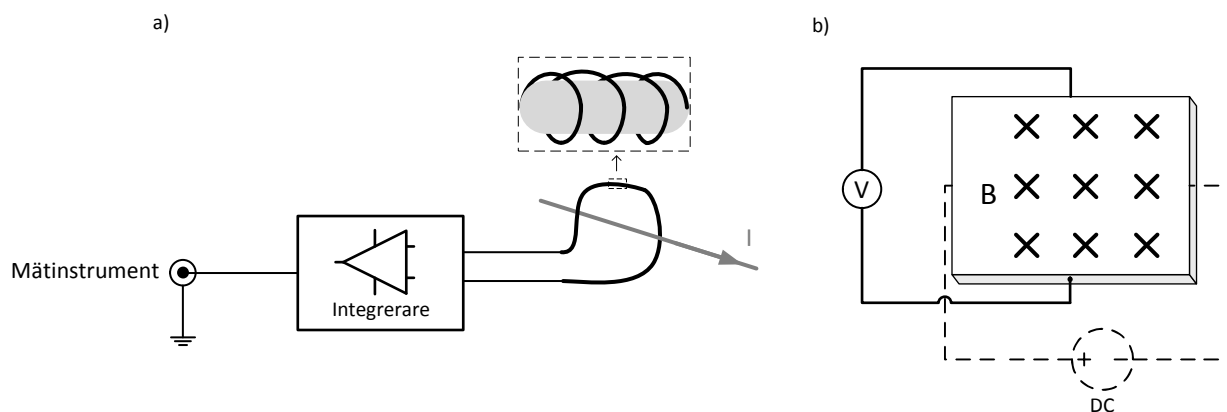


Fig. 2.5 Mätning av ström. a) Induktion: Schema över mätning med Rogowski-spole lindad runt icke-ledande material från PEM [25]. b) Hall-effekt: Figur över hur magnetfältet från en ledare kan utnyttjas för strömmätning.

Analys av mätdata

För analys av störningar från sparad data utförs vanligen en Fourier-transform så att analys kan utföras medelst ett amplitudspektrum i frekvensdomänen. Inte bara beroende på upplösningen hos mätinstrumentet som samplat datan utan också samplingsfrekvensen kan mer eller mindre tydliga amplitudspektra erhållas. Då oregelbundet brus alltid finns i de enskilda komponenterna i sig och också som kvantiseringsbrus från själva samplingen [22] är det viktigt med hög samplingsfrekvens

i förhållande till intressant signal för att få ner brusets påverkan i spektrumet och fördela det över hela frekvensintervallet. Hög samplingsfrekvens minskar också behovet av ett lågpassfilter för undvikning av aliasing, att höga frekvenser uppfattas som låga.

Ofta finns hos oscilloskop högupplöst läge där flera sampel används för beräkning av medelvärde. Genom att ta medelvärde av två sampel med angränsande amplitudnivåer kan även nivån dem emellan uppfattas. På detta sätt fås också bruset ned. Nackdel är att om N sampel används för beräkning av medelvärde så sänks också den effektiva samplingsfrekvensen med en faktor $1/N$.

För jämförelse av mätdata är det viktigt att behandlingen av den går till på ett standardiserat sätt. Då det inte finns många standarder överhuvudtaget gällande störningar i intervallet 2-150 kHz finns inte heller många standarder angående hur mätdata ska analyseras. I [1] och [19] presenteras och används en metod för hur data kan analyseras baserat på två befintliga standarder. Denna metod går ut på att sampla i ett 200 ms-intervall och utföra en diskret Fouriertransform, DFT, på denna. Rektangulärt fönster ska användas på den samplade data. Då beräkningen görs på ett 200 ms-intervall fås amplitudspektrumet i 5 Hz-komponenter. Det kvadratiske medelvärdet ska sedan beräknas över 40 sådana komponenter för gruppering till 200 Hz-band enligt

$$Y_{100Hz,x} = \sqrt{\sum_{i=1}^{40} Y_{5Hz,i}^2} \quad (2.3)$$

där $Y_{100Hz,x}$ är det 100 Hz-band som är en sammanslagning av amplitudkomponenterna från 100–95 till 100+100 Hz. Denna sammanslagning görs dels för att minska bruset i spektrumet men också för att enklare synliggöra smalbandiga störningar.

2.3 Elbilsladdning

2.3.1 Laddningssystem

Laddningseffekter

Flera olika effektnivåer finns för laddning av elbilar idag. Dessa är både anpassade efter vad för effekt som kan fås ut i uttag i vanliga hushåll och också vad batterierna klarar av [17]. Här beskrivs konduktiv laddning. Forskning görs även på induktiv laddning.

Långsamladdning

Denna nivå är den absolut vanligaste i dagens elbilar och motsvarar den effekt som finns i vanliga hushåll. I Sverige är detta 230 V fasspänning och 10 eller 16 A avsäkring för ungefär 2.3 eller 3.7 kW maximal överförd effekt. Den totala laddningstiden varierar förstås med batteriets storlek och kan vanligen vara ifrån 6 till 13 timmar för full uppladdning från tomt batteri. Då den vanligaste tiden att ladda

elbilen idag är över natten, åtminstone i Sverige, är det okej att laddningstiden är lång [17].

Semi-snabbladdning

Denna nivå innefattar 16 A trefasladdning och även 32 A enfas via trefasanslutning. Effekter på motsvarande ungefär 11 respektive 7 kW. Många elbilstillverkare anser dagens trefasladdare för dyra och skrymmande varför det senare systemet är vanligare [17]. Upp till och med denna nivå kan ChargeAlyzer användas.

Snabbladdning

Denna typ av laddning innefattar laddeffekter på upp till 250 kW. Det krävs stora och tunga laddare för att överföra så mycket effekt varför separata laddstationer utanför bilen används. Likström överförs direkt från laddstationen till batteriet i elbilen. Snabbladdning ställer större krav på elnätet och laddsystem och kräver batterier och kablar som klarar höga effekter [17].

En snabbladdningsmetod som idag är mycket utbredd är CHAdeMO med laddningseffekter på upp till 60 kW [26].

Laddmoder

Som nämns i Kap. 2.2.1 behandlar IEC 61851-1 tillsammans med delstandarder konduktiv laddning av elfordon. Det finns fyra olika typer av laddmoder för elbils-laddning som gäller olika standardiserade säkerhetsnivåer [17]. Dessa beskriver hur elbilen ansluts till elnätet via uttag som i alla fall har jordfelsbrytare.

Mode 1

Standarduttag med jordfelsbrytare för upp till 16 A en- eller trefas i 400 V-nät [17]. Då en jordad stickpropp ofta kan anslutas till ett ojordat uttag är det för denna typ av laddning viktigt att användaren själv vet vad för uttag som används och att jordfelsbrytare finns. Då detta inte kan garanteras och farliga situationer kan uppstå är det i USA helt förbjudet med laddning enligt mode 1 och i några övriga länder såsom Italien får sådan laddning inte ske på allmänna uttag på grund utav risken för vandalism [27]. Av samma anledning så blir det vanligare i elbilar att denna typ av laddning överhuvudtaget inte är möjlig.

Mode 2

Även denna mode fungerar för standarduttag men har en förhöjd säkerhetsnivå i och med den kontroll dosa som är monterad på laddsladden till elbilen. Detta kan fungera för både en- och trefasladdning upp till 32 A. Kontroll dosan inför ytterligare en ledning till bilen för kontinuerlig kommunikation och kan ge varningar till användaren eller bryta laddningsförloppet [17].

Mode 3

Denna mode kan beskrivas som mode 2 men med själva kontroll dosan integrerad i vägguttaget. Detta kräver då speciella eluttag och speciella passande anslutningar på laddsladden. Även denna metod fungerar för både en- och trefasanslutning [17].

Mode 4

Denna mode kan beskrivas som mode 3 men även med själva likriktningen som krävs för batteriuppladdningen som vanligen är placerad inne i bilen istället finns i en extern enhet. Denna mode används för snabbaddning [17].

2.3.2 Batteri

Kraven på batteri skiljer sig mellan de tre typer av elbilar som finns. HEV, *Hybrid Electric Vehicle*, kallas de bilar som har både elektrisk och konventionell gas- eller bränsle driven motor. Batteriet hos dessa kan bara laddas upp internt av förbränningsmotorn eller via elmotorn vid frirullning vilket ger en bromsande effekt. I ren eldrift kan batteriet bara användas en kort sträcka då dess syfte i huvudsak är att användas vid start och acceleration, alltså krävs hög effekt. Batteriet är aldrig riktigt urladdat eller fulladdat, vanligen kring 50 %, då det alltid ska kunna laddas upp eller ur.

PHEV, *Plug-in Hybrid Electric Vehicle*, är som en HEV men där batteriet även kan laddas genom att anslutas till elnätet. Batteriet är dock större för att tillåta en längre körsträcka på ren eldrift. Batteriet hos hybridbilarna måste alltså klara av många snabba upp- och urladdningar som kan ske då körningen innefattar mycket accelerering och inbromsning så som vid stadskörning.

Slutligen kräver då de bilar som bara benämns EV, (ibland BEV för *Battery... Electric Vehicle*), batterier som ger möjlighet till långa körsträckor, alltså mycket energi. Storleken på dessa batterier gör de väldigt dyra varför de brukar vara den största delen av kostnaden hos rena elbilar [27].

Batterityper

Nedan nämns de två batterityper som används av elbilarna i detta arbete, Li-ion och Zebra. Ytterligare tekniker såsom Ni-MH, Blysyra, Li-metall-polymer och Ni-Cd finns men är i många avseenden gällande energi och effekt sämre än dessa två förstnämnda och då specifikt Li-ion.

Grundkrav finns på batterierna i kommersiella elbilar. Livslängden bör vara åtminstone 10-15 år och elbilen måste kunna färdas åtminstone cirka 16 mil i givna förhållanden. Vanligen är spänningen 300-500 V hos batteriet i en vanlig elbil [27].

Li-ion

Denna batteriteknik används för alla de tre elbilstyperna och är den enda som används för PHEV:er främst för den höga energidensiteten som är betydligt högre än några av de andra använda teknikerna. Tekniken är på alla punkter gällande energimängd och effektuttag mot vikt och volym på samma nivå eller överlägsen de vanligaste konkurrenterna. Batterierna byggs upp i serie- och parallellnätverk av mindre celler på några få V [27].

Nackdelar är dels att batteriet måste skyddas mot överupp- och överurladdning och även att batteriet försämras vid lång tid i höga temperaturer. Lithiumet kan också brinna våldsamt, och kan leverera lägre effekt än Ni-Cd och Ni-MH vid låga temperaturer. Grundkostnaden för batteriet är även hög [28].

Zebra

Det mest speciella med Zebra-batteriet är den höga temperaturen batteriet måste arbeta i, kring 300 °C. När bilen inte används håller batteriet värmen uppe genom att passera ström genom resistiva värmeelement. Batteriet klarar enligt test flera ”nedkylningar” och uppvärmningar men detta används inte för enkelhetens skull [27].

Zebra-batteriet har, till skillnad från Li-ion, stor tålighet mot både överupp- och överurladdning vilket minskar behovet av kontrollkrets mot detta. Batteriet anses också säkrare [28]. Dock så ger Zebra-batteriet inte möjlighet till samma effektuttag som Li-ion [27].

Laddning av batteri

Ett batteri måste laddas med reglerad likström, från elnätet fås dock varierande växelspänning. Mellan elnätet och elbilens batteri måste alltså någon form av reglering finnas. En allmän översikt över ett typiskt reglersystem för uppladdning av ett elbilsbatteri syns i Fig. 2.6.

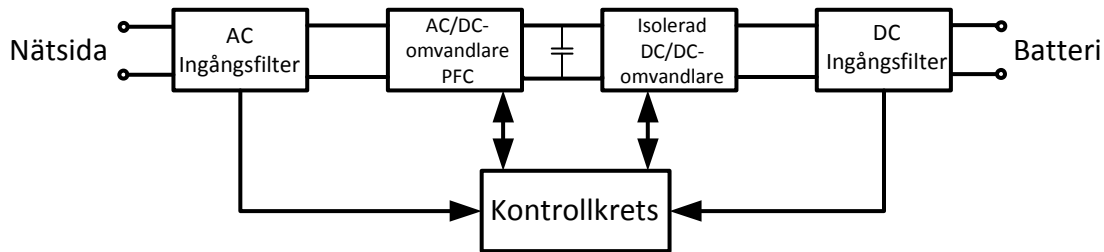


Fig. 2.6 Allmänt schema över hur laddningen till ett batteri regleras [29].

PFC, som syns i andra steget, står för *Power Factor Correction*, alltså kontroll av effektfaktorn. Då effektfaktorn beräknas på grundtonen enligt

$$PF = \frac{I_{s1,rms}}{I_{s,rms}} \cos\phi_1 \quad (2.4)$$

är både reglering av övertonshalten och fasförskjutningen mellan spänningen och strömmens grundton nödvändig. Effektfaktorn kan även beräknas med hjälp av THD-värdet som beräknas enligt

$$THD_i = \sqrt{\sum_{k=2}^N \left(\frac{I_{sk,rms}}{I_{s1,rms}}\right)^2} \quad (2.5)$$

vilket då ger

$$PF = \frac{1}{\sqrt{1 + THD_i^2}} \cos\phi_1 \quad (2.6)$$

De enklaste passiva PFC-kretsarna består helt enkelt av lågpasfilter för eliminering av övertoner medan aktiva består utav någon krets med styrda till- och frånslag,

s.k *switchad teknik*, för att forma strömmen efter inspänningen [30]. Båda dessa typer syns i Fig. 2.6 där kommunikation sker fram och tillbaka mellan kontrollkretsen och de aktiva PFC-kretsarna medan de passiva, AC- och DC-filtren, bara avläses. Laddningskretsen är uppbyggd i dessa två steg av effektfaktor- följt av DC-kontroll då dessa är enklare att kontrollera separat [30].

AC/DC-PFC-kretsarna och DC/DC-omvandlarna är de största källorna till de störningar som uppkommer på elnätet vid uppladdning av elbilsbatteri. Detta då det är just dem som huvuddelen av strömmen passerar igenom.

I passiv likriktning följer oftast en kondensator på en likriktande diodbryggas utgång [31], se Fig. 2.7. Då dioden bara leder ström när potentialskillnaden mellan anod och katod överstiger ett visst tröskelvärde är det bara kring inspänningens absoluta topp som ström passerar igenom. Detta då kondensatorn, beroende på kapacitans, håller uppe spänningsnivån på utgångssidan. Kondensatorns kapacitans är vanligen stor just för att motverka spänningsrippel. Detta leder då till en kraftigt distorderad kurvform, se Fig. 2.9.

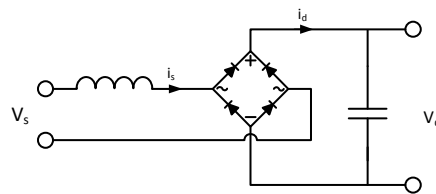


Fig. 2.7 Schema över standard passiv likriktning. Ingångsinduktansen visas här då den har stor del i hur högt strömmen stiger då dioden leder för att ladda upp kondensatorn.

Vanligen består AC/DC-PFC-kretsen av en likriktande diodbrygga direkt följt av någon DC-omvandlarkrets där Boostomvandlaren, även kallad Step up-omvandlare, är den vanligast förekommande både allmänt och för elbilar [29]. Även DC/DC-omvandlaren kan bestå utav en (isolerad variant av) Boost-omvandlare, eller annan krets, och styrs också med switchad teknik på frekvenser som kan variera från några tiotals kHz till flera MHz [30].

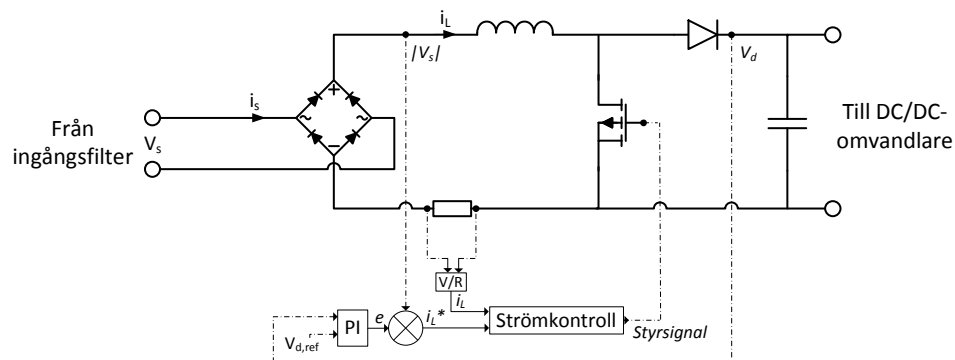


Fig. 2.8 Schema över Boost-omvandlare som PFC-krets med reglering.

I Fig. 2.8 visas en vanlig Boost-omvandlare med exempel på regulatorkrets just för strömformning, *current shaping*, som aktiv PFC-reglering även kallas. Detta då det som utförs i kretsen är just att forma inströmmen efter inspänningen. PI-delen används för att reglera utspänningen V_d och multiplikationen med $|V_s|$ ger refe-

rensströmmen i_L^* den korrekta formen. Den riktiga strömmen i_L beräknas genom att mäta spänningen över en känd resistans i återledarkretsen. När väl dessa två strömmar är kända kan flera olika typer av tekniker användas i delen *Strömkontroll*. Både fast och variabel switchfrekvens kan användas varav den fasta är den vanligast förekommande [31]. För den variabla switchfrekvensen blir förstuds amplitudspektrumet utspjutt över ett frekvensintervall.

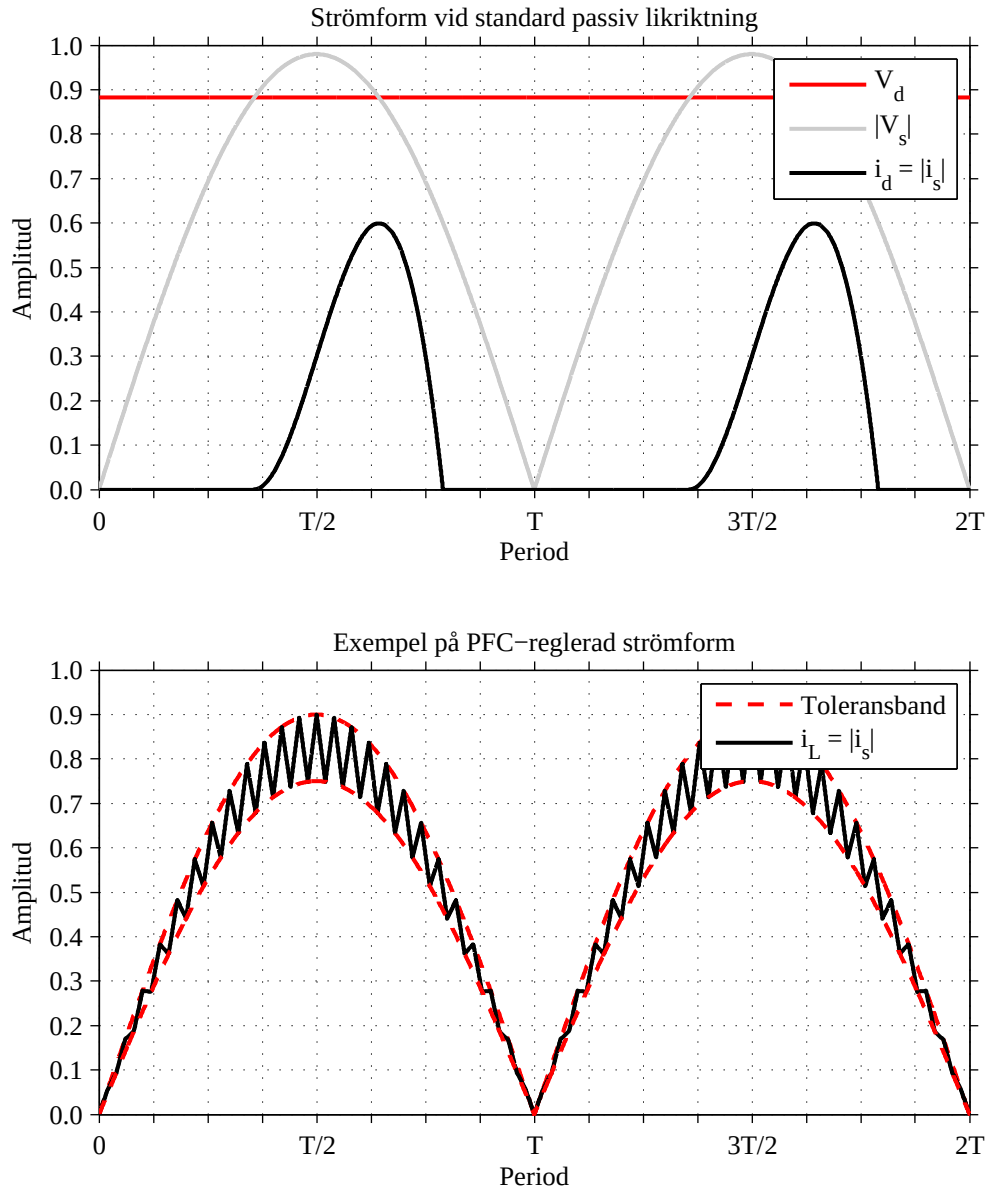


Fig. 2.9 Kurvform på ström vid vanlig passiv likriktning respektive exempel på PFC-reglerad strömform med variabla toleransband.

I Fig. 2.9 visas dels hur strömmen kan distorderas vid standard passiv likriktning och ett exempel på hur strömkurvan kan se ut vid PFC-reglering [32], här modellerad med variabla toleransband och fast frekvens och tillslagstid. Detta är en av många varianter som finns. PFC-regleringen formar alltså strömmen efter den likriktade inspänningen med visst övertonsinnehåll men som ändå vida förbättrar effektfaktorn från den passiva likriktningen. För de simulerade kurvorna i Fig. 2.9 blir effektfaktorn för den passiva likriktningen 0.7158 och för den PFC-reglerade kurvan 0.9986.

Kapitel 3

Utförande

3.1 Mätning av störningar

3.1.1 Val av mätmetod

Tillgängligt på Chalmers fanns all den elektriska apparatur som krävs för båda de två typer av mätningar som nämns i Kap. 2.2. För att utföra mätningar av filtrerade störningar enligt till exempel [20] krävs dock allt för omfattande förutsättningar. Bland annat tillgång avskärmat utrymme stort nog för elbil och instrument och en uppskattningsvis 32 m^2 jordningsplatta att placera hela mätuppsättningen på. Även skulle detta ställa höga krav gällande säkerhet såsom nämns angående jordning i Kap. 2.2.2.

Mätningar med mätutrustning inkopplad direkt på anslutningen till elbilen valdes. Detta dels för att kunna se resultat från elbilen i samverkan med elnätet, för att det är just så som ChargeAlyzer fungerar och även för att det troligen skulle underlätta att få låna elbilar att utföra mätningar på då de i så fall inte skulle behöva flyttas.

Följande utrustning lånades från Chalmers:

PicoScope 4423 - PC-Oscilloskop med 12 bitar A/D-omvandlare och möjlighet för upp till 16 bitar vertikal upplösning i högupplöst läge. Möjlighet för samplingshastighet upp till 80 MS/s. Med detta instrument kan samplad rådata sparas i vektorformat till filer som kan öppnas direkt i MATLAB.

LeCroy AP032 - Differentialprob med bandbredd på 25 MHz och möjlighet att mäta upp till 1000 V RMS.

Rogowski CWT 1B UM - Induktiv strömprob, Rogowski-spole, med bandbredd mellan 9 Hz och 20 MHz och möjlighet att mäta upp till 300 A toppvärde.

Både spännings- och strömproben har i datablad angivet möjliga brusnivåer som ytterligare egentligen sänker den effektiva upplösningen. Detta löses dock med att sampla över en för de intressanta frekvenserna lång period. När FFT beräknas på denna tid minimeras påverkan från det oregelbundna bruset såsom nämns i Kap. 2.2.3.

Felmarginalerna på de uppmätta värdena är enligt datablad, hos PC-oscilloskopet 1 % och hos proberna 2 % vilket ger ett möjligt fel på det uppmätta värdet på totalt

ungefär $\pm 3\%$. Detta har dock inte så stor betydelse då de absoluta värdena inte är det intressanta utan skillnaderna mellan referensmätningar och de på laddningsprocessen vilket förklaras i Kap. 3.1.3. Data presenteras på logaritmisk skala med sådana amplituder att skillnader på $\pm 3\%$ är svåra att upptäcka.

3.1.2 Testmätningar

Mätutrustningen testades på elkraftlaboratoriet på Chalmers. Mätningar gjordes dels på linjär last bestående av en resistor och spole och dels på en frekvensomriktare som styrde en asynkronmaskin. Mätningar gjordes både med 12 bitar standard vertikal upplösning och 16 bitar i högupplöst läge. Olika samplingshastigheter testades. Senare testades även störningar genererade av utrustningen.

3.1.3 Mätning på elbilar

Först utfördes mätning på spänningen på det obelastade uttaget som elbilen senare skulle laddas ifrån. En ca 2 kW vattenkokare anslöts sedan och både spänning och ström mättes då den var igång. Vattenkokaren är en linjär last som alltså inte ger upphov till några extra störningar på nätet. Dessa två mätningar användes som referens mot när elbilen laddades för att kunna se på skillnader.

Mätning på elbil utfördes för både ström och spänning direkt vid start och sedan i 10-minutersperioder under varierande längd, se respektive avsnitt. Mätningarna gjordes under minst 30 minuter, detta baserat på data på THD-halten från tidigare mätningar med ChargeAlyzer. I alla fall, för olika batterinivåer, var THD-värdet högt inledningsvis, sjönk gradvis och stabiliserade sig efter 20 till 25 minuter [33], se Fig. 3.1.

Mätning på Bil 1

Denna bil laddades med ungefär 10 A RMS enfas. Batteriet var av typ Zebra. En kontroll dosa var placerad på laddsladden till denna bil, alltså laddning enligt mode 2 (se Kap. 2.3.1). Det fanns också möjlighet att ladda batteriet med högre ström via knapp på kontroll dosan om den var ansluten till uttag för 16 A enfas. På platsen för mätningarna fanns två elbilar parkerade, Bil 1:1 och Bil 1:2. 4 mätningar utfördes på Bil 1:1 och en mätning på Bil 1:2 med annan kontroll dosa.

Mätning 1 på Bil 1:1

Denna mätning utfördes med Bil 1:2 parkerad bredvid och ansluten till ladduttaget, dock fulladdad. Mätningar utfördes på både fulladdat batteri och på en 40-minutersuppladdning från kring 85 till 90 %. 90 minuter passerade mellan referensmätningar och mätningar på elbilen på grund av problem med urladdning av elbilens batteri. Mätningen utfördes så att 30- och 40-minutersmätningarna utfördes efter 18:00 och de tidigare mätningarna före 18:00.

Mätning 2,3,4 på Bil 1:1 och mätning på Bil 1:2

Mätning 2,3 och 4 och mätning på Bil 1:2 utfördes en vecka efter mätning 1, på exakt samma plats men med Bil 1:2 bortkopplad. Direkt efter detta utfördes mätning

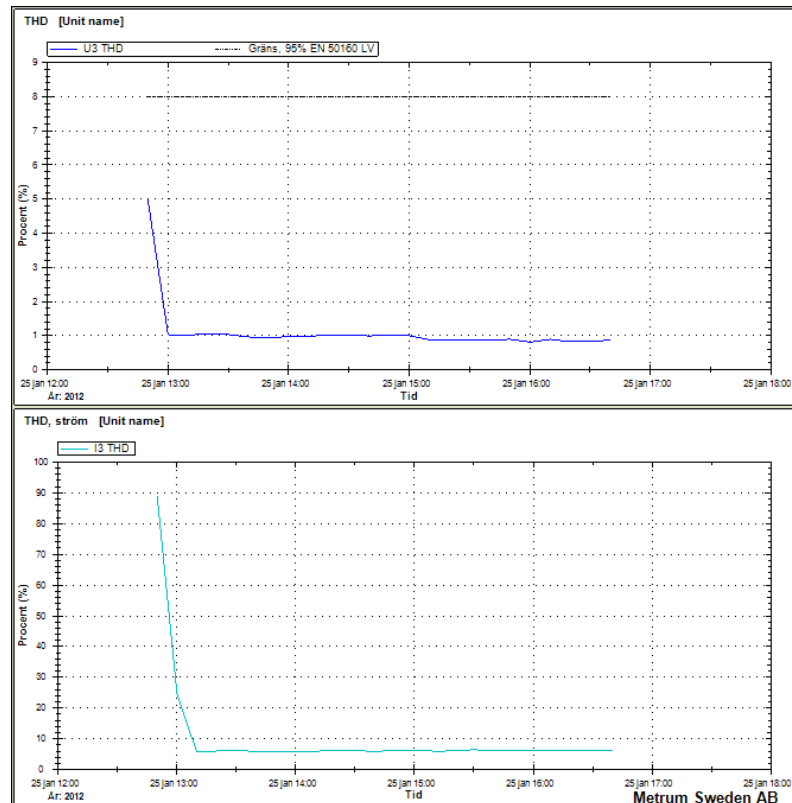


Fig. 3.1 THD-värden över tiden från mätning vid uppladdning av elbilsbatteri i [33].

på Bil 1:2 med Bil 1:1 urkopplad. Mätning på tomgångsspänning och vattenkokare utfördes med max 10 minuters mellanrum innan och efter var mätning. Mätning 2 och 3 utfördes under 40 minuter innan 18:00. Mätning 4 och mätning på Bil 1:2 utfördes under 30 minuter var efter 18:00.

Mätning på Bil 2

Bil 2 laddades med ungefär 10 A RMS enfas. Batteriet var av typ Li-ion. Denna bil hade också en kontrolldosa på laddsladden. Möjlighet fanns att ansluta bil till 32 A trefasuttag för snabbare laddning. Bilen skulle då ändå bara belasta en fas. Mätningar gjordes på tomgångsspänning och vattenkokare. På grund av problem med att få igång laddningen hos bilen togs första mätningen på elbilen 40 minuter efter det att mätningarna på tomgångsspänningen och vattenkokaren utförts. Mätningar gjordes i 10-minutersintervall under en 60-minutersperiod.

Mätning på Bil 3

Denna bil hade tre olika laddningslägen varav de två snabbaste utnyttjades i totalt 3 mätningar. Batteriet var av typ Li-ion. Möjlighet fanns att ladda med 10 och 16 A enfas samt 125 A snabbladdning med likström från fristående station, mode 4 (se Kap. 2.3.1). Mätning på tomgångsspänning och vattenkokare utfördes med max 10 minuters mellanrum innan och efter var mätning.

Efter tomgångs- och vattenkokarmätning gjordes en 35-minutersmätning när batteriet laddades från kring strax under till strax över 90 %. Det var svårt att avläsa

exakt batterinivå. Batteriet laddades sedan ur till i alla fall under 6 % och laddades sedan under en 40-minutersperiod till kring 30 %.

Från 30 % utfördes mätningar på växelspänningssidan av en snabbladdstation av typen CHAdeMO på 50 kW max under en 15-minutersperiod då batteriet laddades upp till 80 %. Snabbladdstationen var fast installerad till ett elskåp på tre faser. Då snabbladdningen pågår under en kortare period utfördes mätningarna i 5-minutersintervall. Det fanns ingen möjlighet att koppla in vattenkokare direkt på anslutning till laddstationen. Detta också då det inte fanns möjlighet att stänga av stationen som belastade nätet även då bil inte laddades. Mätning på vattenkokare gjordes på uttag i elskåp som också stationen var ansluten till, inte säkert till gemensam fas. Referensmätningar gjordes på tomgångsspänning och -ström då stationen var igång men ej laddade bil. Spänningen mätes mellan L1 och L2 och strömmen mättes genom L1.

3.2 Test av ChargeAlyzer

Enheten testades genom att mätningar utfördes med vattenkokare ansluten till en av enfasuttagen. Detta helt enkelt för att se hur ChargeAlyzer var att använda. Mätningar gjordes också just med vattenkokare för att jämföra med resultat från då ChargeAlyzer testades på elbilar i [33]. Enheten testades så som den är menad att användas idag.

Kapitel 4

Analys

4.1 Analys av mätdata

Signalerna samplades över ett intervall på 200 ms som sedan FFT-analys utfördes på i MATLAB. På detta sätt fås alltså amplitudspektrumet i 5 Hz-komponenter. Dessa komponenter slogs sedan ihop till 200 Hz-komponenter såsom beskrivet i Kap. 2.2.3. Läckage då frekvenser som ej är multiplar av 5 Hz kan förstås uppstå men reduceras i och med sammanslagningen. Om ett fönster såsom Flat Top window, för bra amplitudnoggrannhet men dålig frekvensupplösning [34], används skulle amplituden i flera fall överstiga den ursprungliga efter sammanslagningen.

4.1.1 Mätdata från test av utrustning

Det första viktiga arbetet som utfördes var att få tag i mätutrustning med tillräckligt hög upplösning för att kunna se störningar på mV-nivå överlagrade på 325 V-amplituder. Det oscilloskop, PicoScope 4423, som valdes hade 12 bitar standard upplösning med möjlighet till 16 bitar i högupplöst läge. Såsom beskrivet i Kap. 2.2.3 sänks den effektiva samplingsfrekvensen, $f_{s,eff}$, i detta högupplösta läge. PicoScope 4423 kan sampla i maximalt 80 MS/s men med inställt på 16 bitar upplösning blir samplingsfrekvensen 10 MS/s. För detta läge används $N = 256$ sampel för medelvärdesberäkning [35] vilket ger en effektiv samplingsfrekvens enligt

$$f_{s,eff} = \frac{f_s}{N} = \frac{10 * 10^6}{256} \approx 39 \text{ kHz} \quad (4.1)$$

vilket visas i Fig. 4.1.

De första mätningarna som utfördes med utrustningen, inomhus i laboratorie, visade inga betydande störningar. Efter några inledande mätningar på elbilar, utomhus, syntes flera störningar vara återkommande varför utrustningen troddes vara defekt. Något som nämns i datablad till all använd utrustning är temperaturintervall i vilket utrustningen är lämplig där all utrustning med marginal borde klarat av förhållandena de utsatts för. Just för PC-oscilloskopet missades dock att den optimala temperaturen återfanns i området 20-30 °C. I Fig. 4.2 visas skillnader i

tomgångs- och kortslutningsmätning i varma samt kalla förhållanden vilket motsvarar i eller nära samt betydligt under 20-30 °C-intervallet, inte under 5 °C. Då störningarna även skiftade i frekvens men ofta hade samma utseende togs från och med mätning 2 på Bil 1:1 alltid kontrollmätningar. Detta för att se om störningar varierade under tiden mätningarna pågick och om något som troddes vara från el-bilen som ej syntes på referensmätningarna egentligen var från mätutrustningen. Motsvarande tester även gjordes med strömproben.

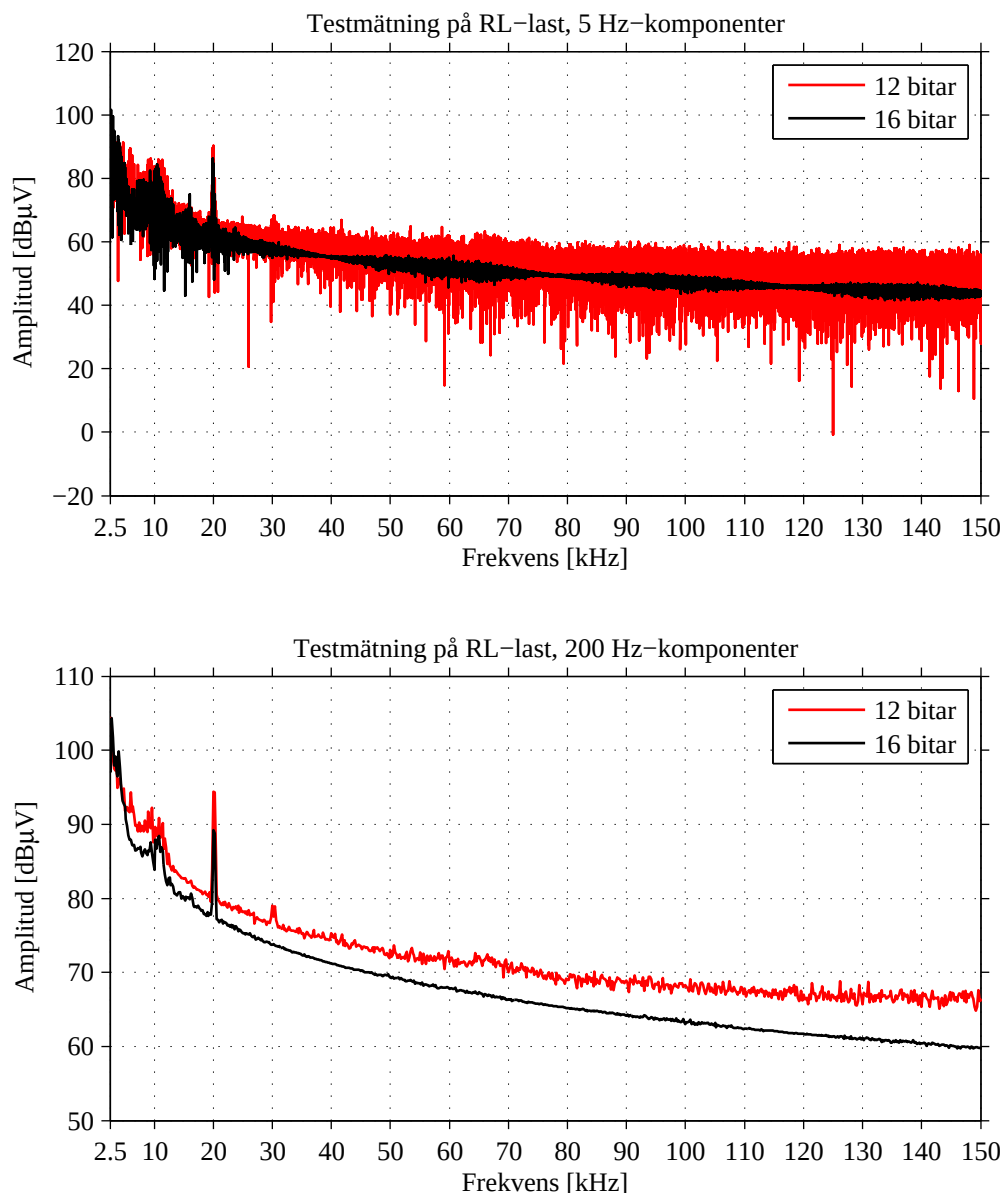


Fig. 4.1 Jämförelse över hur bandbredden påverkas då oscilloskopet används i standardläge, 12 bitar, och i högupplöst läge, 16 bitar.

I Fig. 4.1 visas samma spektrum överst i 5 Hz-komponenter och underst i 200 Hz-komponenter vid test på en linjär last. Det är svårare att se informationsförlusten bland de högre frekvenserna med 200 Hz-komponenterna men enklare med jämförelse mot referenskurva, speciellt då bruset minskat.

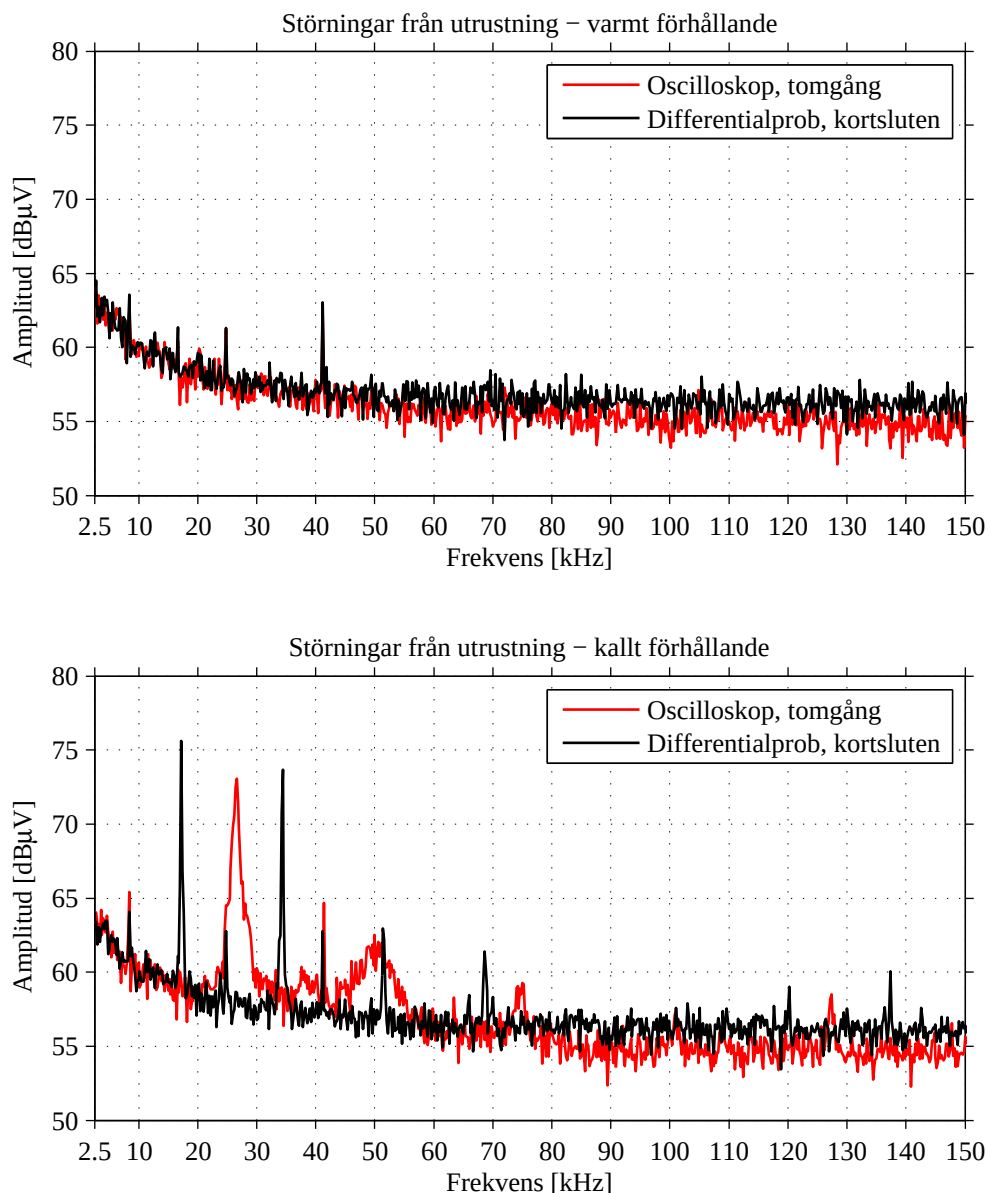


Fig. 4.2 Här visas testmätningar med mätutrustningen vid olika temperaturförhållanden.

I Fig. 4.2 visas mätningar med oscilloskop jordat via anslutning för differentialprob både på- och avslagen. Mätningarna med differentialprob gjordes med de två mätkontakterna kortslutna. Här visas störningar från mätinstrumenten i både varm och kallt förhållande. Noteras ska att det är den svarta som är den slutligt viktiga då differentialproben förstås är påslagen vid mätning. Ytterligare saker som visade sig införa störningar var den ordinarie USB-kabeln mellan PC-oscilloskopet och den bärbara dator som användes samt oscilloskopets avstånd till datorn. Detta löstes enkelt med en ny USB-anslutning och datorn inte nära oscilloskopet. Datorn försörjdes via batteri under alla mätningarna.

4.1.2 Mätdata från elbilar

Vissa amplitudspektrum visar ett brusgolv som planar ut på en högre nivå och jämnare än andra mätningar. För dessa spektra förloras då de lägsta frekvensdetaljerna under brusgolvet vilket gör att enbart de starkare störningarna kan analyseras.

De bäst jämförbara mätningarna visas mot varandra. Alla spektra för spänning visar även det övre av de föreslagna gränsvärdena presenterade i Kap. 2.2.1.

Mätdata från Bil 1

Mätning 1: Utfördes på Bil 1:1 med 90 minuters mellanrum från referensmätning till mätning på elbil. Mätning pågick i 40 minuter. Batteriet laddades från kring 85 % till kring 90 %.

För alla nedan mätningar en vecka efter mätning 1 utfördes referensmätningar med max 10 minuters mellanrum till mätning på elbilsladdning.

Mätning 2: Utfördes på Bil 1:1 under 40 minuter innan 18:00. Batteriet laddades från kring 85 % till strax över 90 %.

Mätning 3: Utfördes på Bil 1:1 under 40 minuter efter 18:00 direkt efter mätning 2. Batteriet laddades från strax över 90 % till kring 95 %.

Mätning 4: Utfördes på Bil 1:2 under 40 minuter efter 18:00 direkt efter mätning 3. Batteriet laddades från kring 85 % till kring 90 %.

Batteri: Zebra.

Laddning: 10 A RMS enfas.

Dessa mätningar visade bara störningar på spänningen när batteriets nivå passerat 90 %. Några störningar som upphör vid 18:00 troddes vid mätning 1 härröra från elbilen vilket bekräftades vara felaktigt vid andra tillfället då mätning 2, 3 och 4 utfördes. Ett kontorsområde och en hamn med fast förankrade båtar låg nära laddningsstolparna. Det är rimligt att till exempel ventilationsutrustning och belysning som kan ha bidragit till de störningarna var inställda att stängas av vid just 18:00.

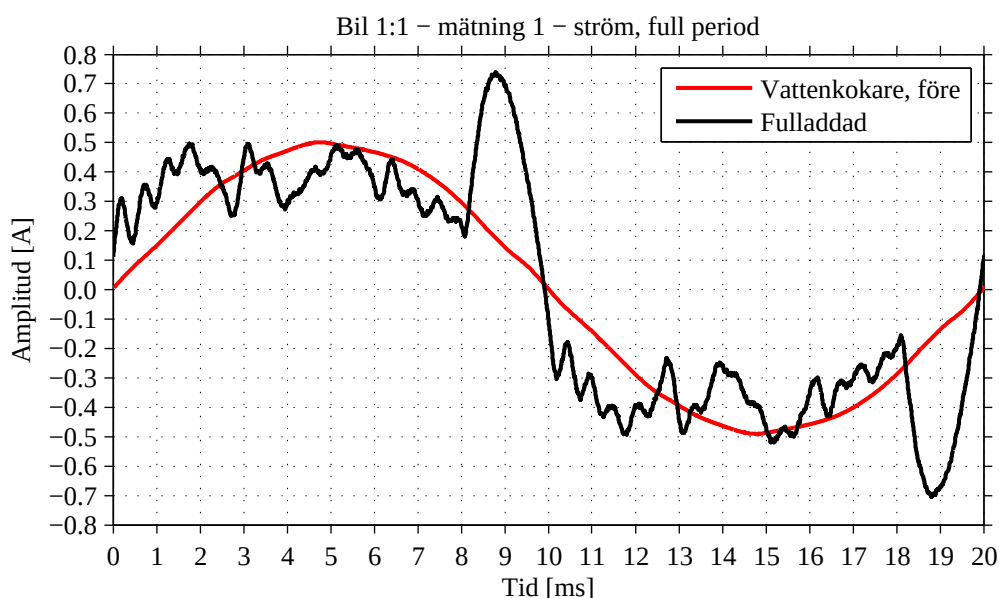


Fig. 4.3 Här visas strömmätning på fulladdat batteri. Referenskurvan för vattenkokaren är dämpad för enklare jämförelse.

Fig. 4.3 visar kurvformen till elbilen då batteriet var fulladdat, troligen den ström som försörjde kontrollidosan som förbrukade upp till 6 W. Olinjäriteten är tydlig, fel inställningar på oscilloskopet gjorde dock korrekt frekvensanalys omöjlig.

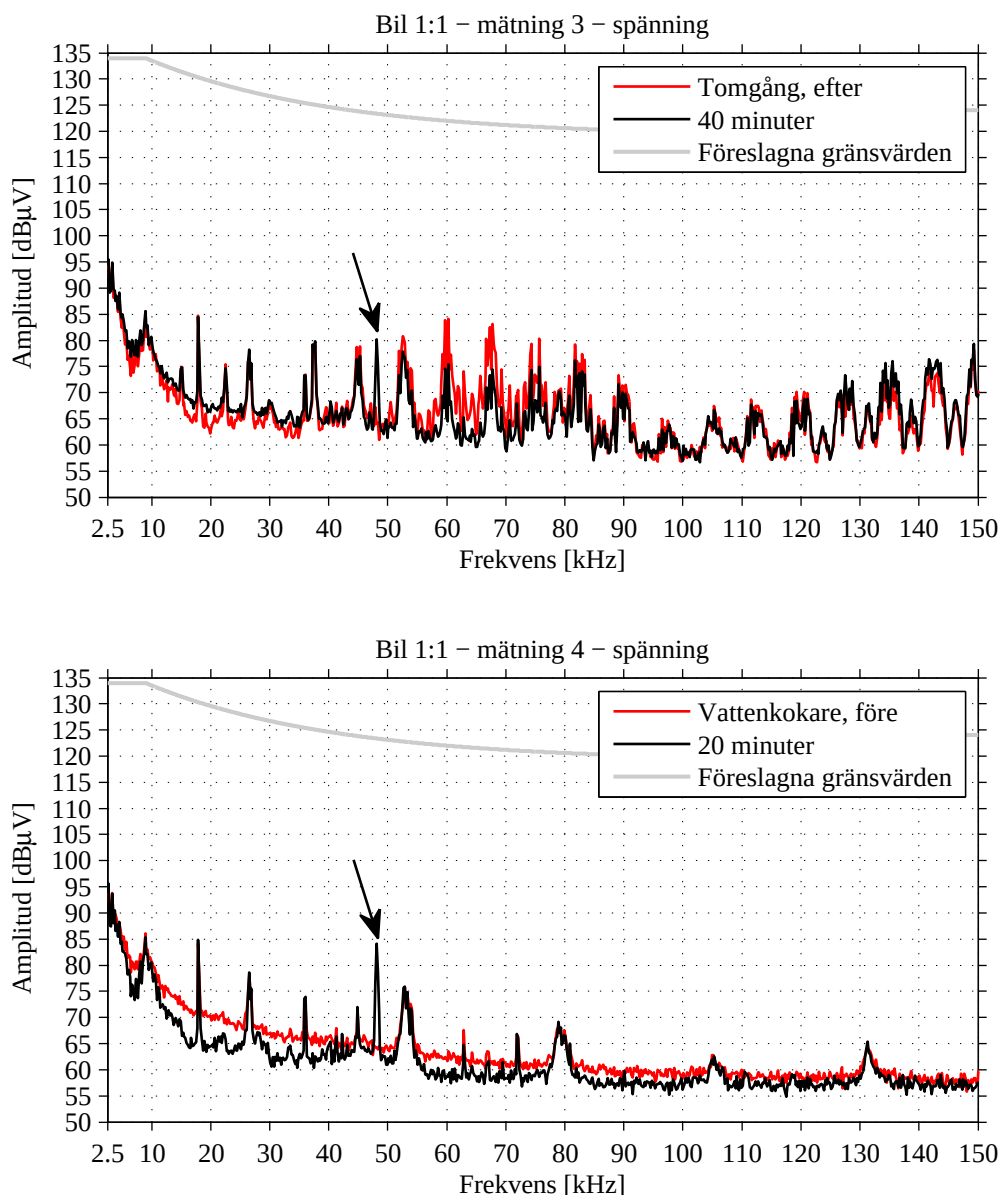


Fig. 4.4 Här syns de första och enda tydliga störningarna i spänningen markerade med pil strax under 50 kHz. Även ses övriga störningar som upphör i nätet mellan mätningarna.

Fig. 4.4 visar resultat från mätning 3, utförd innan 18:00, och mätning 4, utförd efter 18:00. 40-minutersmätningen på mätning 3 är den första som tydligt visar den utpekade störningen. Detta tros vara en komponent från antingen PFC-regleringen eller DC/DC-omvandlingen, se Kap. 2.3.2. Störningen är inte mer än ungefär en faktor 0.011 av gränsvärdet vid samma frekvens. Batteriet tros ha passerat 90 % just mellan 30- och 40-minutersmätningen. I den efterföljande mätning 4 syns störningen med varierande amplitud vid varje mätpunkt. Flera störningar som även bekräftades vid mätning 1 upphör i nätet vid 18:00 som kan ses här.

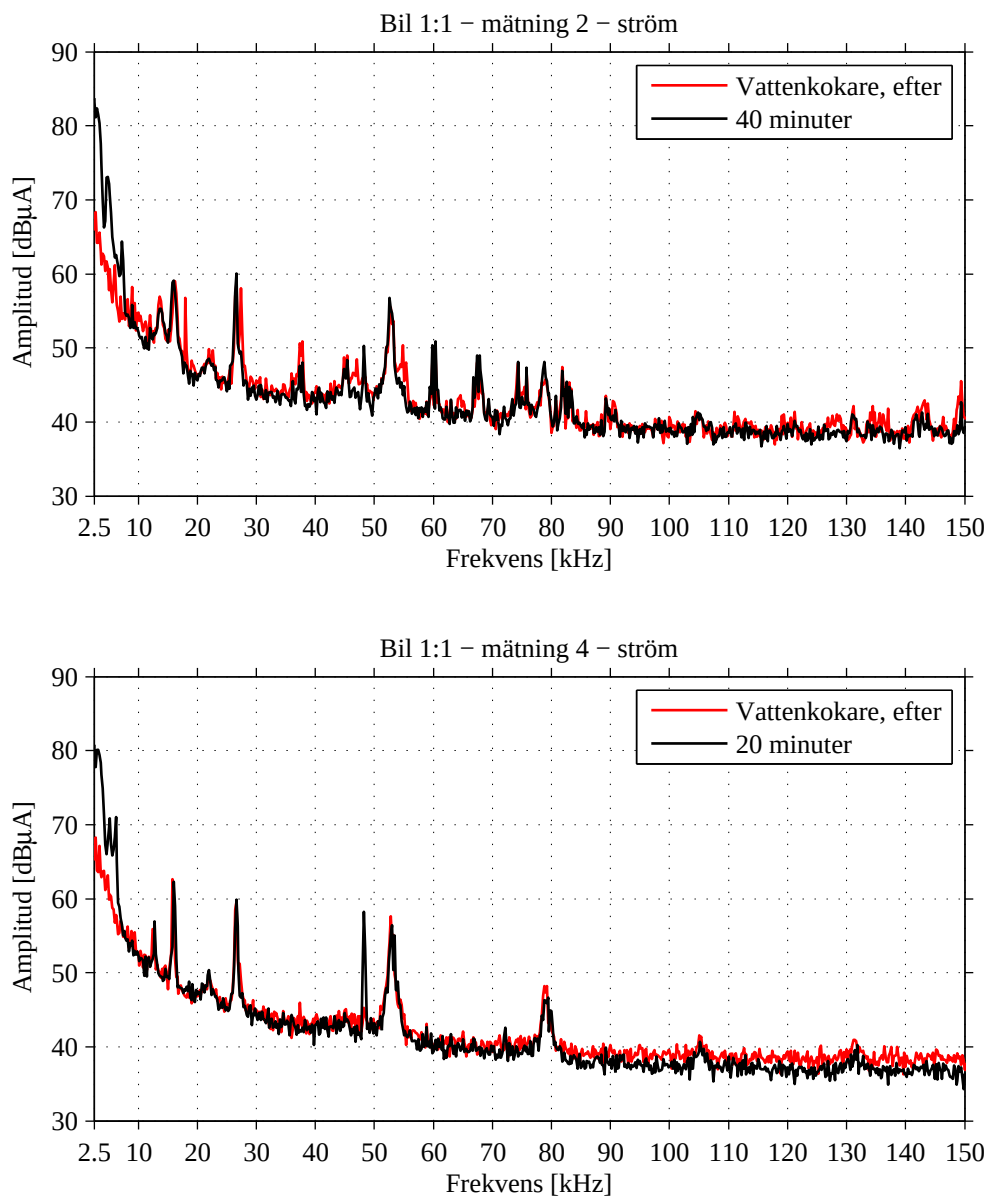


Fig. 4.5 Störningar hos strömmen före och efter 18:00 med störningen strax under 50 kHz från föregående figur synlig.

Fig. 4.5 visar att störningarna hos strömmen från laddningsprocessen är tydliga upp till strax under 50 kHz. Störningen strax under 50 kHz syns här svagt redan i mätning 2. Även här ses de övriga störningarna i nätet minska efter 18:00.

Mätdata från Bil 2

Mätning: Utfördes på med 45 minuters mellanrum från referensmätning till mätning på elbil. Batteriet laddades kring 50 %.

Batteri: Li-ion.

Laddning: 10 A RMS enfas.

Inga störningar registrerades för spänningen som ej fanns med på någon referensmätning. För strömmen var skillnaderna kraftiga upp till kring 15 kHz mot den enda referensmätning som utfördes på vattenkokaren. Inga motsvarande störningar syntes i någon spänningsmätning.

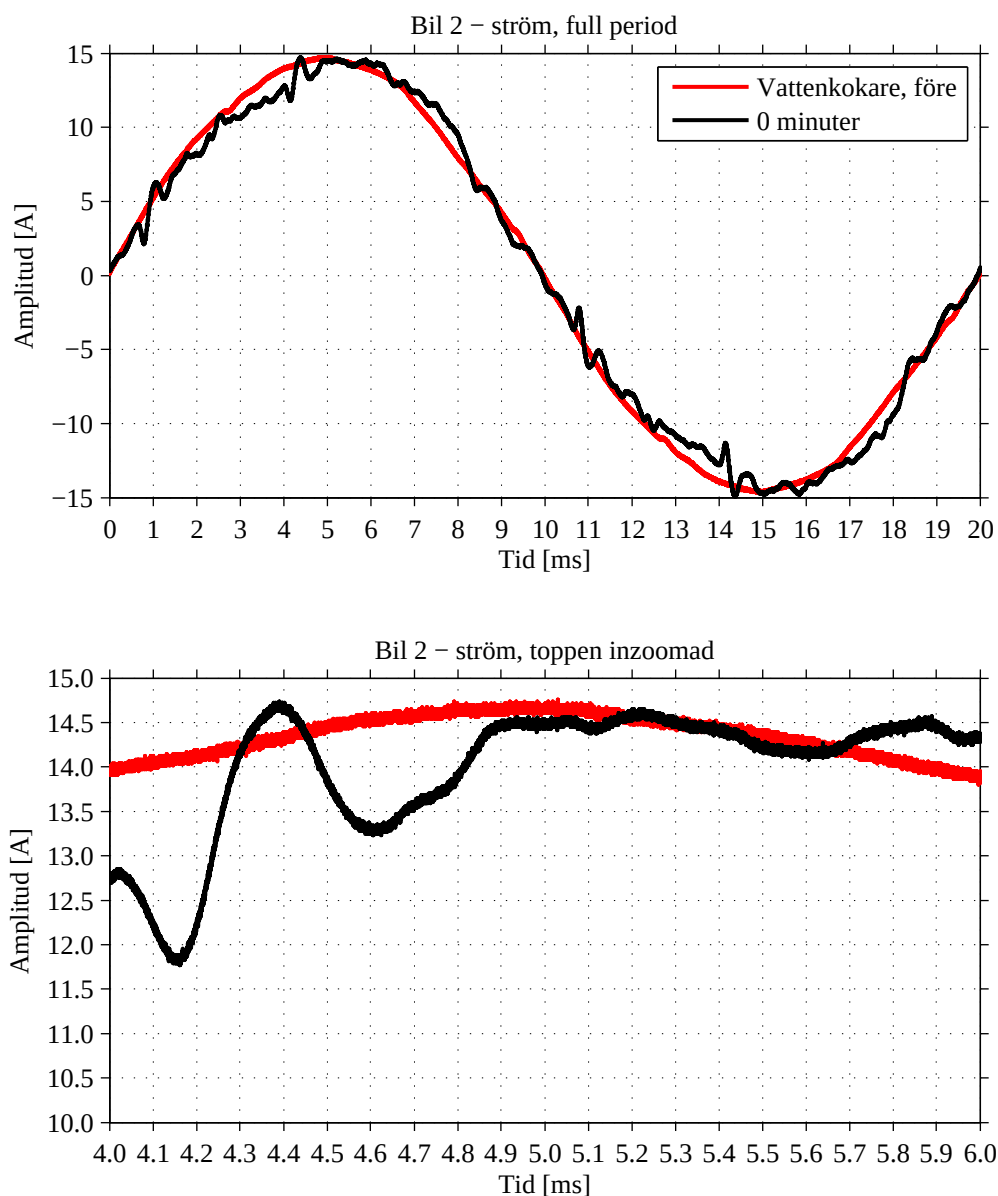


Fig. 4.6 Här visas kurvformen på strömmen då elbilen var ansluten till nätet under uppladdning. Strömamplituden till vattenkokaren är förstärkt för enklare jämförelse.

Fig. 4.6 visar den väldigt varierande strömformen till elbilen under laddning. Formen kan ändå ses vara halvvågssymmetrisk, alltså troligen en reglerad kurvform.

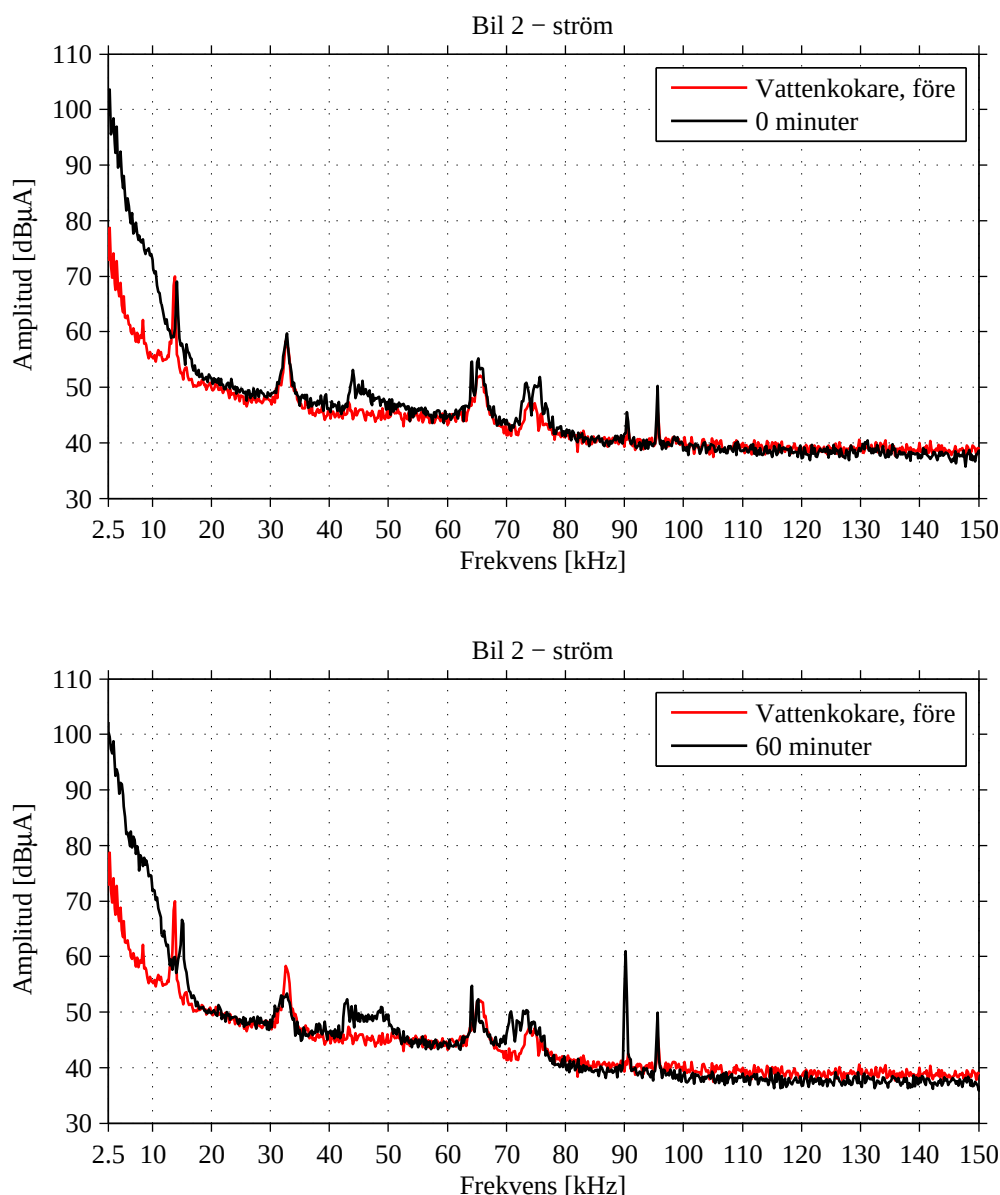


Fig. 4.7 Störningar hos strömmen, både vid start och slut av mätning.

I Fig. 4.7 ses mycket tydligare och kraftigare störningar, även till högre frekvens, jämfört med mätningarna på Bil 1. Samma referensmätning används från den enda mätningen som utfördes med vattenkokaren. Tydliga skillnader syns upp mot kring 15 kHz. Då detta resultat också är att förvänta, såsom resultaten från Bil 1, hänförs detta till elbilens laddningsprocess. Mellan 40 och 50 kHz syns störning som ej syns i någon mätning på spänning. Störningar varierade så kraftigt i nätet i övrigt och tiden var så lång mellan referensmätning och mätning på elbil att det inte säkert kan hänföras till just laddningsprocessen. Spiken vid 90 kHz syns även i referenskurvan men svagare.

Mätdata från Bil 3

För alla mätningar utfördes referensmätningar med max 10 minuters avstånd till mätning på elbilsladdning.

Mätning 1: Utfördes under 35 minuter. Mätningar gjordes efter 0, 10, 25 och 35 minuter. Batteriet laddades från kring strax under till strax över 90 %.

Mätning 2: Utfördes under 40 minuter några timmar efter mätning 1. Batteriet laddades från under 6 % till kring 30 %.

Mätning 3: Utfördes under cirka 17 minuter 1 timma efter mätning 2. Batteriet laddades från kring 30 % till 80 %.

Batteri: Li-ion.

Laddning: 16 A RMS enfas för mätning 1 och 2. 50 kW snabbbladdning med likström via snabbbladdstation för mätning 3.

Dessa mätningar var de första som visade flera tydliga resultat även för spänningen. För laddningen med 16 A enfas syns genomgående två tydliga toppar vid kring 35 kHz och dubbla frekvensen kring 70 kHz. I varierande amplitud syns även en tredje multipel av den störningen kring 105 till 110 kHz.

Vid enfasladdningen noterades en stor spänningssänkning vid laddning av batteriet vilket kan ses i Fig. 4.8. Nämnas ska att lång förlängningskabel användes från ett garage till där bilen stod parkerad. Spänningsfallet vid laddningsprocessen var ungefär 6 %. Som nämns i Kap. 2.2.2 har även LISN-filter stora spänningsfall vid användning som kan vara så stora som 10 %.

För mätning 3, snabbbladdningen, mättes det med vattenkokaren anslutet till annat uttag utan lång förlängningskabel. Mätning före visade en spänningstopp på ungefär 317 V medan mätning efter visade en spänningstopp på ungefär 324 V, tomgångsmätning gjordes tyvärr ej på samma uttag. Enbart förlängningskabeln verkar alltså inte vara orsaken till spänningsvariationerna. Motsvarande spänningsfall har ej noterats vid någon annan mätning.

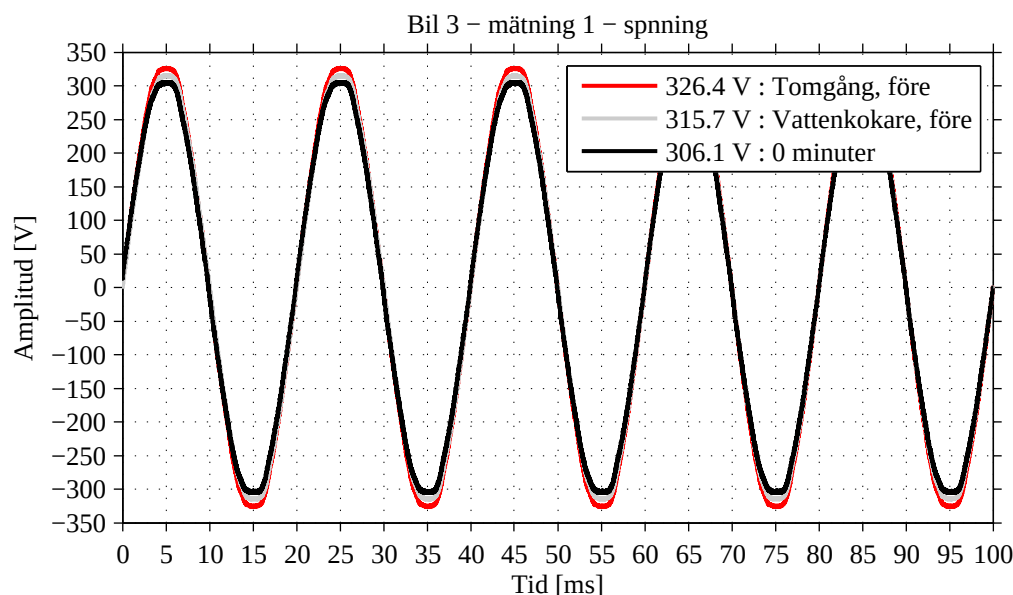


Fig. 4.8 Spänningssänkning i och med inkoppling av elbil för laddning med 16 A RMS.

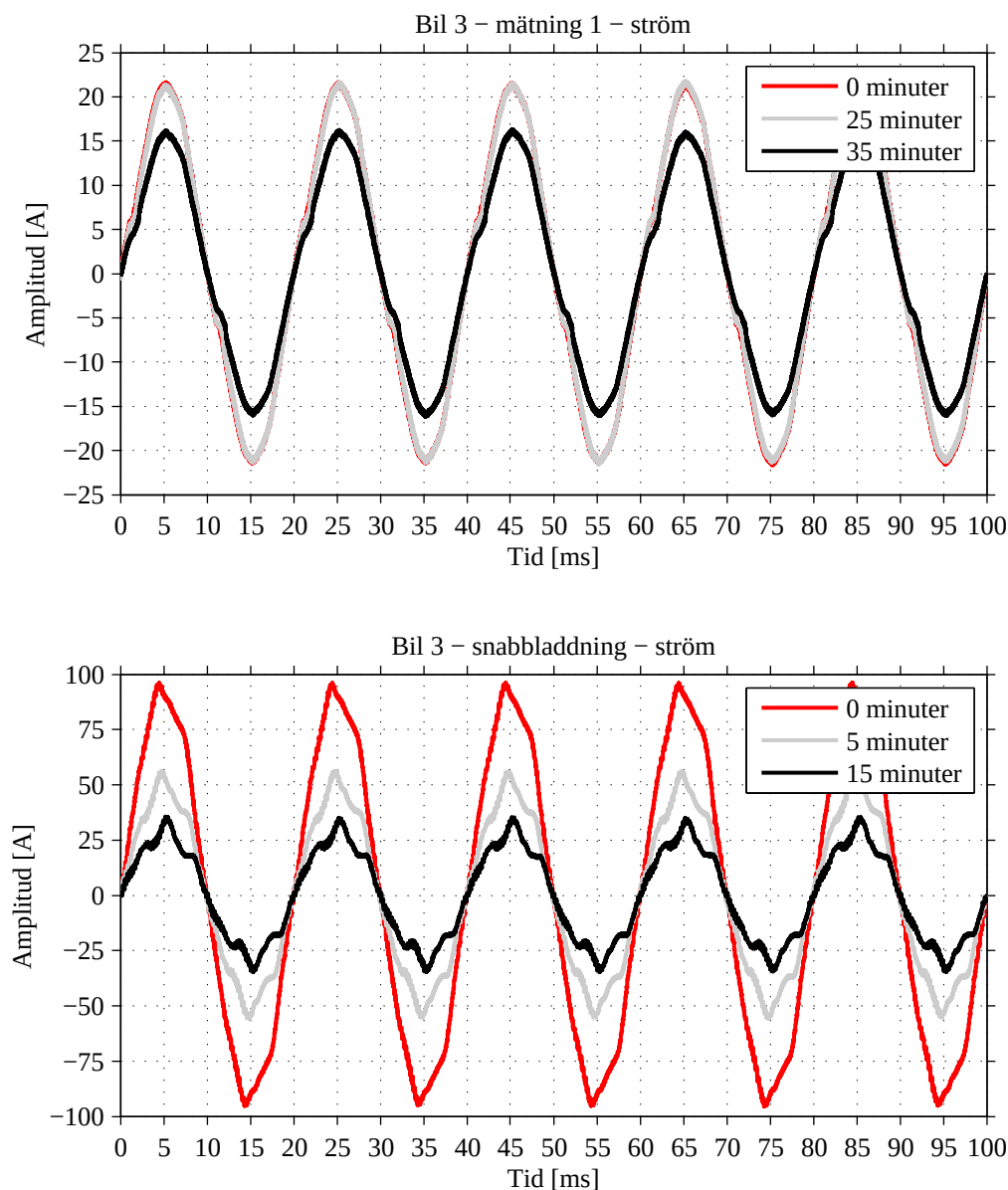


Fig. 4.9 Strömsänkning i och med laddningstid hos både långsam- och snabbladdningen.

I Fig. 4.9 visas hur strömstyrkan beror av laddningstiden. Enbart den sista mätningen på den högsta batterinivån under mätningarna visade en lägre amplitud vid långsamladdningen. Detta var under mätning 1 där batterinivån passerade 90 % någon gång under mätintervall. Mätning 2 visade genom hela 40-minutersintervallet ungefär samma amplituder som för 0 och 25 minuter vid mätning 1. Nämnas ska dock att mätningen avbröts och återupptogs mellan 30 minuters- och 40 minutersmätningen vid mätning 2.

I Fig. 4.9 visas även strömändringen under snabbladdningen från kring 30 till 80 %. Här ses att strömmen i slutet av mätningen har en amplitud inte högre än att den skulle klassificeras till semi-snabbladdning, se Kap. 2.3.1. Detta gör alltså mätningen intressant även för ChargeAlyzers del.

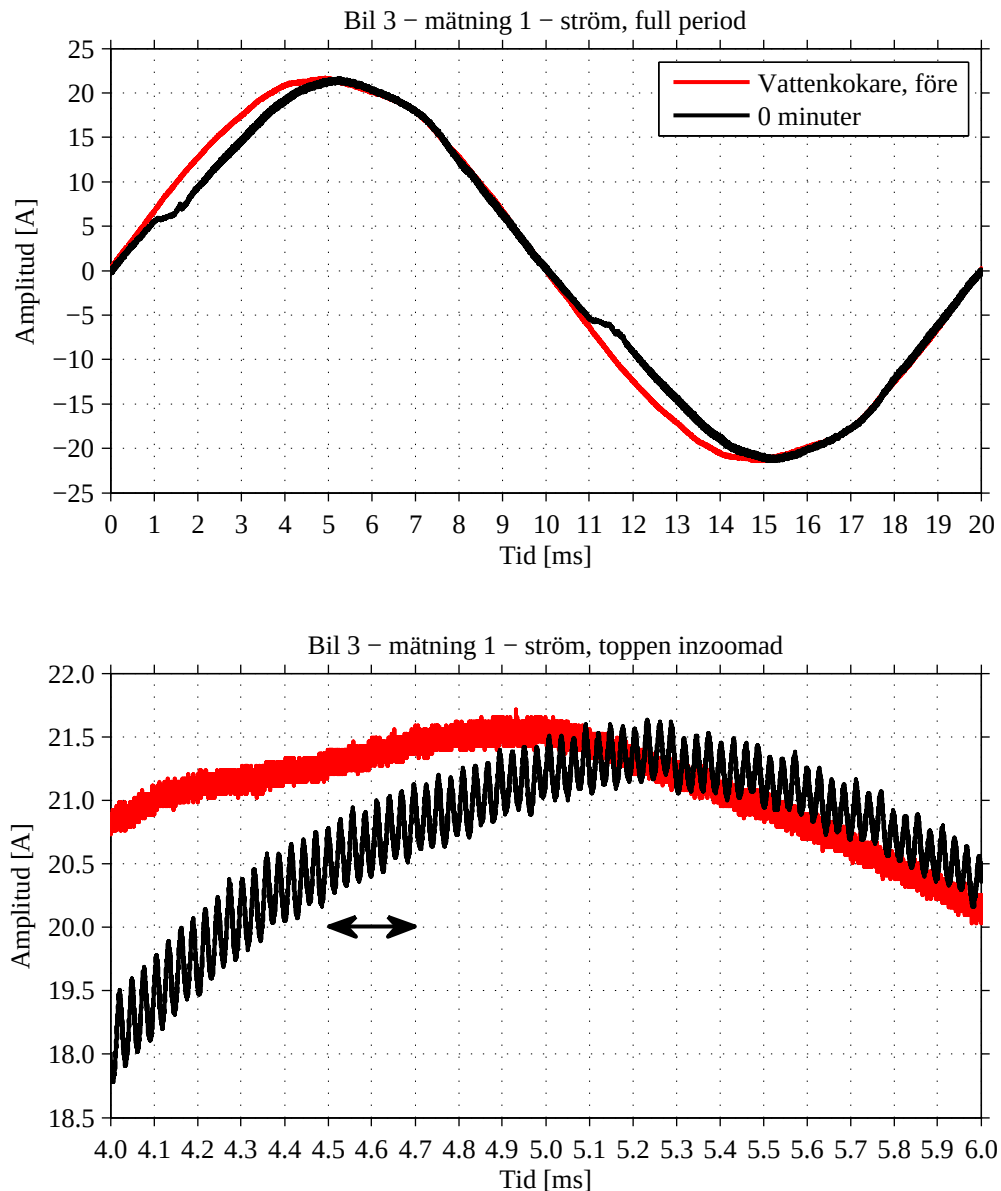


Fig. 4.10 Här visas kurvformen på strömmen då elbilen var ansluten till nätet under uppladdning. Strömamplituden till vattenkokaren är förstärkt för enklare jämförelse.

Fig. 4.10 visar hur kurvformen hos strömmen ändras då elbilen ansluts för uppladdning. Den triangelformade strömmen till elbilen härrör troligen från kurvformningen i PFC-kretsen, se Kap. 2.3.2. Pilen visar sju perioder över cirka 0.2 ms vilket ger en frekvens på 35 kHz. Amplituden är kring 0.25 A vilket motsvarar ungefär 108 dB μ A. Som kan ses i Fig. 4.12 är amplituden på 35 kHz-komponenten kring 105 dB μ A. Detta kommer av att amplituden avtar till nära noll, som kan ses överst, vid ± 5 A vilket alltså sänker medelvärdet. Kurvformen under snabbbladdningen var lik men med mer varierande amplitud.

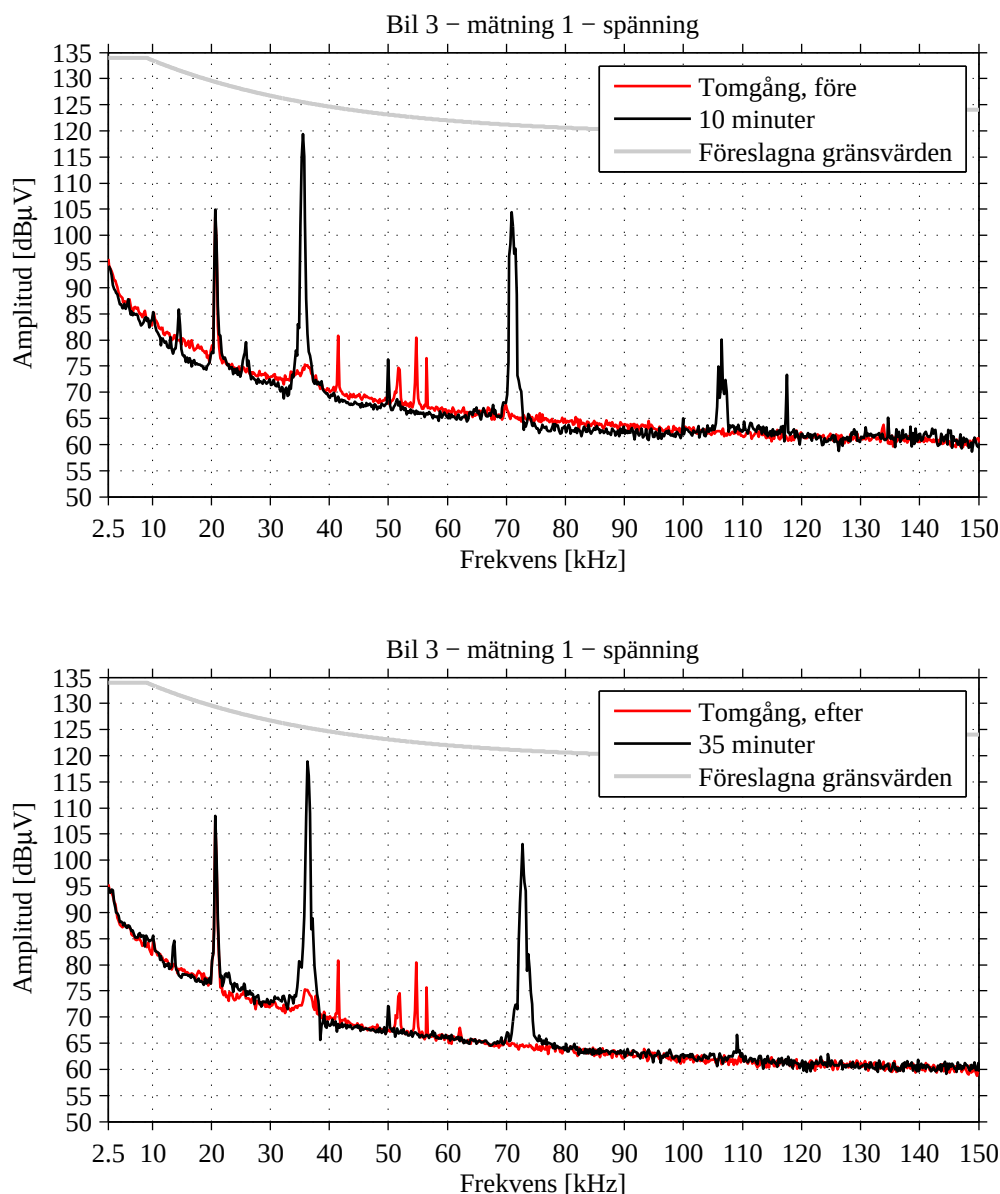


Fig. 4.11 Tydliga störningar i spänningen visas här i början och slutet av mätning 1.

Fig. 4.11 visar tydliga störningar hos spänningen vid kring 35 kHz och 70 kHz. För 10-minutersmätningen visas även vad som verkar vara den tredje multipeln av 35 kHz-störningen kraftigare än vid den senare mätpunkten. Amplituden vid 35 kHz ligger ungefär 6 dB μ V under det föreslagna gränsvärdet. Detta kan tyckas vara lite men motsvarar ungefär hälften av gränsvärdet. Även vid 15 och vid 50 kHz syns något som verkar komma från elbilsaddningen. Störningar mellan 40 och 60 kHz ses här upphöra från referensmätningarna, både före och efter, mot när batteriet laddas. Fig. 4.12 ger information om anledningen och en möjlig förklaring presenteras på nästa sida.

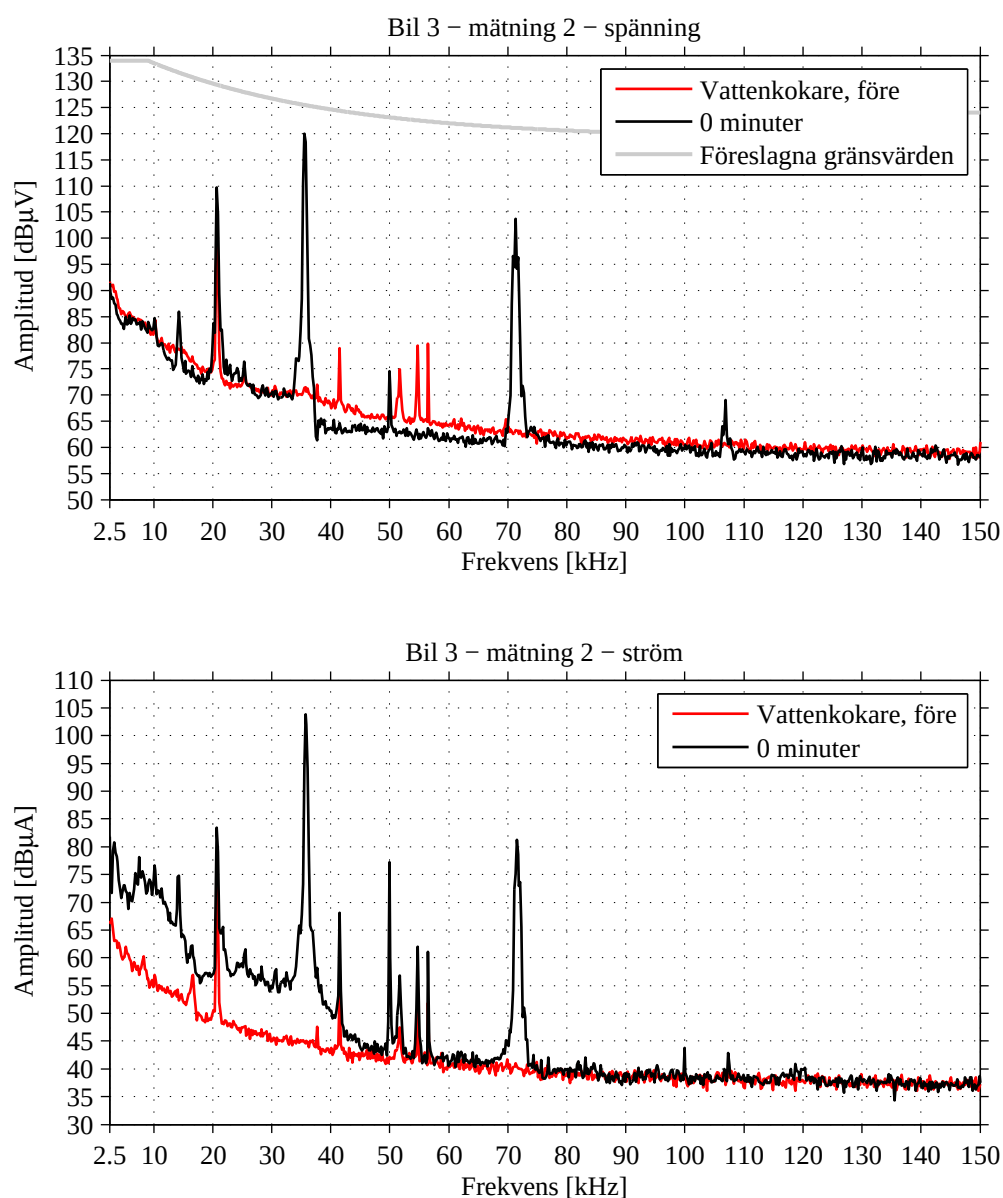


Fig. 4.12 Här visas liknande resultat som i föregående figur för spänningen i mätning 2 överst, motsvarande amplitudspektrum för strömmen visas här även underst.

Fig. 4.12 visar både spänning och ström mätta vid samma tillfälle under mätning 2 som startade då batteriet var urladdat till under 6%. Amplitudspektrumet hos spänningen verkar här inte skilja sig stort mot mätning 1 som utfördes när batteriet passerade 90%. Störningen vid 35 kHz registrerades här vara ungefär 5 dB μ V under gränsvärdet, motsvarande en faktor 0.56. Denna är den störning i arbetet som kom närmast föreslagen gräns.

Störningar som syns mellan 40 och 60 kHz upphör även här mellan referensspänning och då batteriet laddades. En anledning kan vara störningar från elbilens på samma frekvens som ligger i motfas. Detta är dock inte troligt som ensam förklaring då störningarna är i så smala band och enbart en svag störning ses under elbilsaddningen i det intervallet. I amplitudspektrumet för strömmen underst syns

dock samma komponenter. Vid jämförelse mellan strömmen och spänningens amplitudspektra framstår det som att filterverkan dämpar frekvenserna i intervallet 40 till 60 eller 70 kHz och förstärker de utanför. Notera även strömmens kraftiga avvikelse från referensen ända upp mot 35 kHz gentemot för Bil 1, strax under 10 kHz, och Bil 2, strax under 20 kHz.

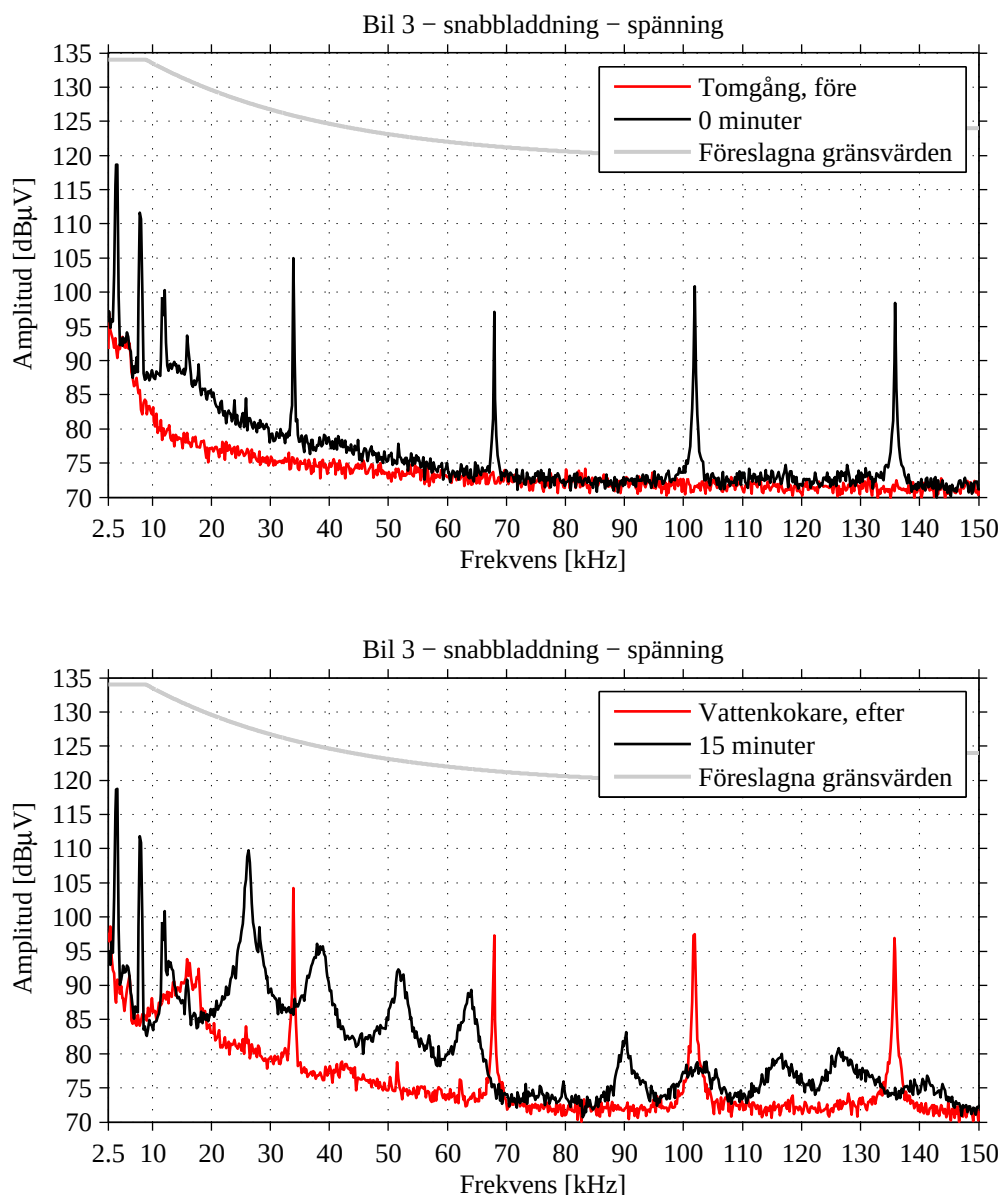


Fig. 4.13 Resultat från mätningarna på snabbbladdstationen där huvudspänning och en fasström mättes förutom för vattenkokaren som anslöts med fasspänning.

Resultaten som visas i Fig. 4.13 visar tydligt vikten av att flera referensmätningar utförs. Två tomgångsmätningar togs före laddning varav den ena visas här utan några störningar alls. De störningar som syns vid 0 minuter tros då komma från laddningsprocessen men finns även vid mätning på vattenkokaren efteråt då snabbbladdstationen var fränkopplad. Dessa upphör och återkommer sedan, ingen idé finns om källan till dessa. Tomgångsmätning innebär här mätning på snabbbladdstationen

påslagen men utan elbil ansluten. Mätningen efter 5 minuter visade likadant spektrum som det för 0 minuter. Mätningen vid 10 minuter visade likadant spektrum som det för 15 minuter.

I denna figur också flera tydliga störningar i slutskedet av laddningen. Som tidigare tros dessa komma från PFC-regleringen eller DC/DC-omvandlingen. Vid 15-minutersmätningen har som kan ses i Fig. 4.9 strömmen en amplitud strax över 30 A varför mätningen är intressant även för ChargeAlyzers del då den kan leverera upp till 32 A RMS.

Sammanfattning

Anledningen till att mätningarna utfördes i minst 30 minuter, förutom för snabb-laddningen där det inte var möjligt, var att THD-halten troddes vara hög inledningsvis baserat på [33] som nämns i Kap. 3.1.3. Inga varierande THD-halter noterades i mätningarna som presenterats i detta kapitel utöver mätningarna på Bil 1:1 som visade resultat först i slutet av laddningsprocessen. Inte ens mellan mätningarna som utfördes på Bil 3 på nästan fullt respektive nästan tomt batteri noterades någon skillnad. Av denna anledning har inga grafer för THD presenterats. Mätningar utfördes dock inte i den absoluta startfasen utan efter att laddare eller kontroll dosa signalerat att laddning var igång korrekt.

För att kontrollera THD-grafens utseende från Fig. 3.1 gjordes mätning med vattenkokare ansluten till ChargeAlyzer, resultat syns i Fig. 4.14.

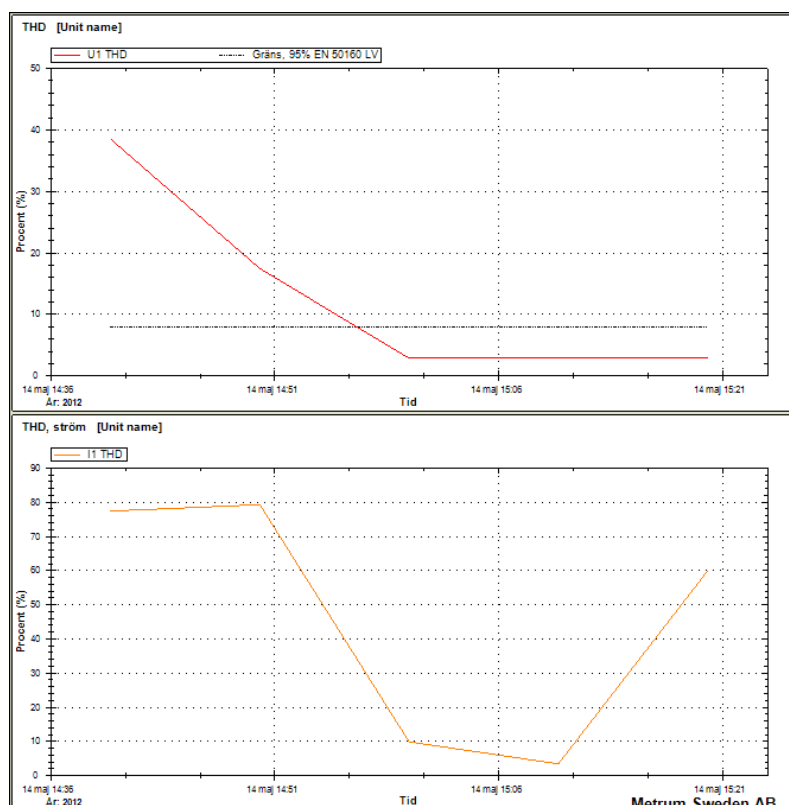


Fig. 4.14 THD-graf för mätning med ChargeAlyzer på vattenkokare.

Vattenkokare var ansluten 14:49-15:12 med några mindre avbrott. Mätdata från intervallet 14:40-15:20 hämtades in för att säkert få med resultaten från mätningarna

på vattenkokaren. I instrumentet som används i ChargeAlyzer idag finns inte någon möjlighet att mäta tomgångsspänning, inte heller fanns det någon ström att mäta innan vattenkokaren anslöts. Detta förklarar THD-värdena i början av grafen. THD-värdena presenteras i 10-minutersintervall med linjer dragna mellan varje mätvärde. Ur detta kan det då ses varför THD-värdena ses vara höga inledningsvis och avta ju längre tid vattenkokaren är ansluten. Instrumentet är troligen inte menat att utföra kortare mätningar som dessa.

En viktig sak att betona är att mätningarna utförts på olika platser vid olika tidpunkter. Detta har medfört varierande grad av övriga störningar på nätet vid mättillfällena och även varierande impedans. Inga störningar syns från mätningarna som överstiger gränserna föreslagna i [1] som nämns i Kap. 2.2.1.

4.2 Analys av ChargeAlyzer

4.2.1 Användning idag

ChargeAlyzer är monterad i ett cirka 1.5 meter högt skåp med pekskärm och uttag på framsidan som kan ses i Fig. 4.15.



Fig. 4.15 Bild på ChargeAlyzer aktiverad.

Omkopplaren som syns nere till höger används för att koppla om spänningen mellan de övre enfas- och de undre trefasuttagen. Pekskrmen är ansluten till en dator med Windows 7 där två program används för att styra mätningarna. Det ena programmet som är skapat just för ChargeAlyzer används för att aktivera spänningen på respektive uttag, detta kan ses i Fig. 4.16. Via denna mjukvara kan också graf på överförd energi över tid fås.



Fig. 4.16 Bild på två fönster från den ChargeAlyzer-specifika mjukvara som dels används för att aktivera respektive uttag och dels för att ge användaren en graf på överförd energi.

Denna mjukvara är menad att vara det huvudsakliga gränssnittet mot användaren. För inhämtning av mer information än överförd energi används energianalysatorn Metrum SC med tillhörande realtidsgränssnitt som kan ses i Fig. 4.17.

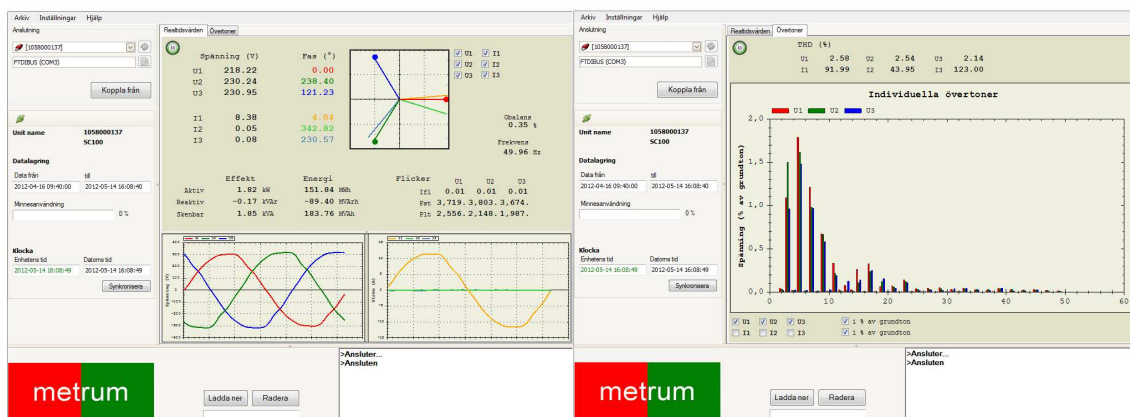


Fig. 4.17 Bild på två fönster från Metrum SC Controller som styr datainhämtning från energianalysatorn Metrum SC i ChargeAlyzer.

Instrumentet kan anslutas och kopplas ifrån datorn uppe till vänster. För start av datainhämtning trycks en start-knapp in uppe till vänster i rutan med realtidsvärden. Data lagras sedan på mätinstrumentet och när mätningen är över kan data laddas ner från mätinstrumentet från det tidsintervall användaren själv skriver in.

Efteranalys av datan från Metrum SC Controller sker i Metrum PQ Viewer. Här kan flera olika grafer över olika parametrar väljas och mätdata kan också jämföras mot olika standarder.

4.2.2 Bristande punkter i användarvänlighet

Nedan är några punkter vi anser bör åtgärdas för att göra användandet av ChargeAlyzer enklare.

1. Då ChargeAlyzer är cirka 1.5 meter hög behöver användaren, vanligen, antingen böja sig ner eller sitta på en stol vid manövrering via pekskärmen.

2. Pekskärmen som används idag passar bra för att trycka ner större knappar såsom i den ChargeAlyzer-specifika mjukvaran som syns i Fig. 4.16. För övriga mindre knappar och för att skriva in text, som görs via ett skärmtangentbord, som krävs vid lagring av data från Metrum SC Controller, Fig. 4.17, blir det däremot svårare. Att överhuvudtaget skriva på skärmtangentbordet, som fungerar för en tangent i taget då skärmen är resistiv, är omständigt då skärmen är i vertikalläge vilket fysiska tangentbord sällan är.
3. USB-ingångar finns på framsidan av ChargeAlyzer till vilka användaren kan ansluta både mus och tangentbord istället för att använda pekskärmen, detta är förstås bra. Dessa får då dock placeras antingen ovanpå ChargeAlyzer eller på ett extra bord e.d.
4. Då en elbil vid uppladdningen vanligen är ansluten i flera timmar bör användaren kunna stänga ner all onödig energikonsumtion. I detta fall är det enbart skärmen som är aktuell. Något som ser ut som en knapp sitter snett nedan skärmen som kan ses i Fig. 4.15, detta är dock ett dolt USB-uttag. För att stänga av skärmen måste användaren slå ifrån den säkring som sitter bland många andra säkringar i en liten elcentral på högra delen av ChargeAlyzer som skärmen är ansluten till.

Kapitel 5

Åtgärder

5.1 Mätning

Här presenteras förslag på hur mätningar på elbilar med ChargeAlyzer bör utformas i framtiden. Dels för att ge användbara resultat och dels för att innefatta det intressanta frekvensintervallet 2-150 kHz. En viktig punkt är förstås det att enheten ska vara lätt att använda.

5.1.1 Mätprocess

Idag utförs mätningarna i ChargeAlyzer så att mätinstrument påbörjar sampling av spänning och ström då användaren aktiverar den via den styrande mjukvaran, vanligen vid start av elbilsladdning. När elbilsladdningen är färdig avslutas sedan mätningen också kontrollerat av användaren. Ingen fast rutin för processen finns.

Förslag till ny mätprocess

Något som noterats speciellt under detta arbete är den varierande mängden av andra störningar i nätet som försvårat analysen av störningar just från elbilsladdningen. Vad som därför är viktigt är att till så hög grad som möjligt ha kontroll och vetskap om övrig aktivitet i nätet vid dessa typer av mätningar, detta är ofta dock inte möjligt.

Ett ytterligare moment som bör införas i processen av mätning på elbilar med ChargeAlyzer är referensmätningar. Tomgångsspänning kan alltid mätas för att användas som spänningsreferens men för strömreferens måste någon linjär last, såsom vattenkokare som utnyttjas i detta arbete, användas. Alternativt kan en last installeras permanent i ChargeAlyzer så att omkoppling kan ske till denna. Lasten bör anpassas så att impedansen medger samma strömamplitud som aktuell elbil belastar uttaget med. Viktigt är då att samma fas eller faser utnyttjas. Även med linjär last kan förstås spänningen mätas. Mätning på tomgångsspänning kan ändå utföras för bekräftelse av den linjära lasten linjäritet men behövs inte utföras i samband med elbilsladdningen.

Referensmätningarna bör ske vid så kort tid som möjligt före och efter laddning och helst även i vissa intervall vid avbruten laddning om laddningen ska pågå en längre tid. Vad som är ”*en längre tid*” bör anpassas till hur ofta övriga störningar varierar i nätet där ChargeAlyzer används. Mätningarna på Bil 1:1 och Bil 1:2 visade

tydliga störningar som upphörde 18:00, verifierat vid två olika tillfällen, och andra mätningar visade störningar som varierade fram och tillbaka på några minuter. Rimligt är att referensmätningar behöver göras mer sällan över natten än under dagen då nätkิจกรรมen oftast är mer varierande dagtid.

I detta arbete har intervall på 10 minuter använts för mätningar på elbilsaddningen i 40-minutersintervall med referensmätningar utförda så tätt inpå före och efter elbilsaddningen som praktiskt möjligt vid mättillfället, i bästa fall mindre än 30 sekunder och i värsta fall 10 minuter. De första mätningarna innefattade dock bara referensmätningar före laddning som av olika anledningar inträffade 40 till 90 minuter före mätning på elbilsaddning vilket gjorde analysen svår. Resultat har kunnat verifieras då referensmätningar före och efter laddning har överensstämmt och mätningar från laddningen avvikit.

En viktig punkt att ta hänsyn till är förstas det att elbilens batteri ska laddas varför inte avbrott bör ske för ofta så att inte det totala laddningsförloppet blir för långt. Ju mindre tid som avbrotten för referensmätningar tar desto oftare kan då avbrott ske. Hur detta i övrigt påverkar laddningen eller batteriet är inget detta arbete undersökt men skiljer sig troligen från batteri till batteri och också beroende på kontrollsystelet som reglerar laddningen.

Sammanfattning: Referensmätningar med linjär last bör göras så tätt inpå före och efter mätning på elbilsaddningen som praktiskt möjligt. Detta bör automatiseras i ChargeAlyzer. Referensmätningar bör även utföras åtminstone i 60-minutersintervall eller oftare baserat på övrig aktivitet i elnätet och med hänseende på hur detta påverkar laddningen och batteriet i övrigt. Mätningar på elbilen bör göras i åtminstone 10-minutersintervall men annars beroende på önskad upplösning.

5.1.2 Mätutrustning



Fig. 5.1 Energianalysatorn Metrum SC som används i dagens ChargeAlyzer.

Idag används energianalysatorn Metrum SC som är kopplad till PC-mjukvara för analys från elbilsaddningen. Även vanliga energimätare kopplade till ChargeAlyzer-specifik mjukvara för att ge användaren en graf över laddningsförloppet finns. Metrum SC är klassificerad enligt IEC-6100-4-30, se Kap. 2.2.3, till klass A. I realtids-

gränssnittet ges dels standardinformation såsom frekvens, amplitud och fasskillnader men även elkvalitetsspecifika parametrar såsom spänningstoppar- och dalar samt flimmer och obalans, se Kap. 2.1. Efteranalys av datan kan sedan ske i ett annat program, Metrum PQ Viewer, och där presenteras i som minst 1-minutersintervall beroende på mätparameter vilket kan korrigeras ned till sekundnivå med ny mjukvara [33].

Förslag till ny mätutrustning

Metrum har instrument även för frekvensanalys upp till 195 kHz för felsökning av elnätssamfund. Denna enhet är dock inte avsedd för längre mätningar. Den skulle även införa ytterligare ett användargränssnitt och har en kostnad mycket högre än Metrum SC. Inga av de övriga instrument Metrum har för elkvalitetsanalys kan ge data så att amplitudspektrum upp till 150 kHz kan presenteras. Så, oavsett val av ny mätutrustning kommer även ett nytt användargränssnitt behövas. Detta kan bli ett tredje eller nytt användargränssnitt som ersätter de befintliga.

Inga motsvarande energianalysatorer som den som används i dagens ChargeAlyzer som även kan ge data för amplitudspektrum upp till 150 kHz har hittats. En lösning för detta kan vara att ersätta energianalysatorn med något mätinstrument som kan anslutas och skicka rådata till både ett realtidsgränssnitt och även sparas för övrig efteranalys. Alternativt att behålla befintlig energianalysator för befintlig analys och tillsätta ytterligare ett instrument enbart för mätning av övertoner upp till 150 kHz.

PicoScope som använts i detta arbete kan skicka rådata till ansluten dator via USB. Datan kan visas i det ordinarie användargränssnittet från PicoScope eller i ett skräddarsytt gränssnitt och även spara rådata för efteranalys. PicoScopes medföljande mjukvara kan i de flesta fall även presentera amplitudspektrum direkt. Nackdelen är dock felmarginalen som för de flesta PicoScope är 1 %. Även temperaturen som oscilloskopet visat sig vara känslig för, se Kap. 4.1.1, kan vara en nackdel beroende på var ChargeAlyzer är menad att användas. Versioner med angiven noggrannhet i intervallet 15-40° finns. Till de flesta PicoScope behövs också mätprobar anslutas som ytterligare inför felmarginaler samt kostnader. Detta åtminstone om aktiva prober behövs. Om PicoScope, som måste vara jordat, är ansluten till dator isolerad med transformator och jordad kan billigare spänningsprob enbart för att dela ner spänningen användas. PicoScope med inbyggd funktion för differentielmätning finns dock.

Sammanfattning: Inget mätinstrument med samma låga felmarginal, som kan beräkna samma parametrar som befintligt mätinstrument och även ge data för amplitudspektrum upp till 150 kHz har hittats. Speciellt inte heller för samma kostnad. Allt utom densamma felmarginalen kan dock åstadkommas med ett PC-oscilloskop av typ PicoScope med tillbehör till en kring samma kostnad. Denna skulle kunna ersätta befintlig energianalysator eller komplettera för att behålla befintlig elkvalitetsanalys men även införa registrering av övertoner upp till 150 kHz hos ChargeAlyzer. Vissa problem med känslighet hos PicoScope kan finnas. Fördelen med denna konfiguration är dock att rådata kan hanteras. Om oscilloskopet inte ska användas

för annat än att spara rådatan för efteranalys behövs inget nytt användargränssnitt göras. Detta skulle dock troligen krävas om oscilloskopet skulle ersätta befintlig energianalysator.

5.2 Åtgärder gällande användarvänlighet

De punkter i användarvänligheten vi anser bör förbättras som nämns i Kap. 4.2.2 har alla enkla lösningar för så som ChargeAlyzer är uppbyggd idag.

1. Den skärm som används bör kunna vinklas så att användaren alltid kan titta vinkelrätt mot den i stående läge oavsett längd.
2. Som nämnts fungerar pekskärmen bra för den ChargeAlyzer-specifika mjukvaran med stora knappar. Om pekskärm ska fortsätta användas bör helt enkelt bero på vad för mjukvarukonfiguration som ska användas i den framtida versionen av ChargeAlyzer. Med dagens mjukvarukonfiguration kan den lika gärna ersättas av en troligen billigare vanlig skärm och fast installerad mus och tangentbord, se nästa punkt.
3. Om inte mjukvarukonfigurationen ändras så att pekskärmen blir enklare att användas bör fast installerad mus och tangentbord användas. Liten plattform till litet tangentbord med inbyggd eller extern musplatta eller styrkula bör kunna få plats på ChargeAlyzers front. Denna plattform bör enbart kunna vara infälld eller i läge vinkelrätt mot ChargeAlyzers front.
4. Någon knapp bör vara monterad på framsidan av ChargeAlyzer så att skärmen, och eventuell annan i viloläge onödig utrustning, kan stängas av när mätning pågår men användaren ej är närvarande. Användaren bör inte ha åtkomst till säkringarna i ChargeAlyzers elskåp.

Kapitel 6

Slutsatser

6.1 Resultat

Mätningarna utförda på de 3 olika men totalt 4 elbilarna visar att störningar i intervallet 2.5-150 kHz intressanta att mäta från konduktiv laddning av elfordon finns. Den starkaste amplitud som uppmättes på 120 dB μ V är på en nivå motsvarande ungefär en faktor 0.56 av det föreslagna gränsvärdet på samma frekvens, 35 kHz. Spänningsfall på ungefär 6 % uppmättes vid denna störning. Vid användning av LISN-filter kan dock spänningsfall på 10 % uppstå. Spänningsfallet vid denna mätning har troligen inte orsakat större störningar än vad som annars skulle kunna ha uppmätts. Överhuvudtaget skulle troligen flera störningar uppmätts starkare vid användning av LISN-filter på grund utav den extra impedansen som filtret inför i anslutningen, se Kap. 2.2.2. Denna störning på 120 dB μ V och många andra registrerade störningar från elbils-laddningen sticker dock tydligt ut från övriga störningar i nätet uppmätta vid samma tillfällen.

Resultaten från mätningarna varierar kraftigt mellan de olika elbilar som testats. Detta beror troligen inte bara på de olika elbilarna i sig utan även av att mätningarna utfördes på olika platser vid olika tidpunkter. Dock kan skillnader ses i PFC-regleringen, åtminstone mellan Bil 2 och Bil 3. Vad som visas är dock att någon elbil på någon plats ger betydande störningar vid jämförelse med de referensmätningar som utförts. Just vikten av att utföra referensmätningar har också visats.

En ny mätkonfiguration till ChargeAlyzer har inte definitivt hittats. Åtminstone ingen enskild enhet som kan utföra den analys som dagens energianalysator gör och även ge data för amplitudspektrum upp till 150 kHz. Förslag har presenterats om att använda PC-anslutet oscilloskop för uppbyggnaden av ett nytt användargränssnitt som då också skulle kunna anpassas så att pekskärmen skulle kunna användas fullt ut. Alternativt behövs inte detta om oscilloskopet enbart ska användas för att i bakgrunden spara rådata. Två konkreta mätinstrument har presenterats för TSS.

Inga bristande punkter gällande användarvänligheten i mjukvaran i sig har noterats. Dock har synpunkter gällande befintlig mjukvara i kombination med det fysiska gränssnittet presenterats. En handledning har författats gällande hur enheten används för att utföra mätningar.

6.2 Framtida arbete

Test Site Sweden bör ta reda på vilka parametrar från laddningsförloppet på elbilsaddningen som är de intressanta att mäta. Speciellt vad som bör synas för användaren i realtid och dels vad som kan analyseras i efterhand. Utifrån detta kan sedan ställning tas om investering överhuvudtaget ska göras i en ny mätkonfiguration och om denna ska komplettera eller ersätta befintligt system. Gällande detta är också vikten av noggrannheten i mätningarna viktig. I varje fall bör en metod med referensmätningar införas för att säkerställa att uppmätta störningar är från laddningsprocessen och inte övrig aktivitet i elnätet.

Referenser

- [1] E. O. A. Larsson och M. H. J. Bollen, "Emission and immunity of equipment in the frequency range 2 to 150 khz," *PowerTech, 2009 IEEE Bucharest*, 2009.
- [2] Elsäkerhetsverket, "Spänningskvalitet i lagstiftning och myndighetstillsyn." <http://www.elsakerhetsverket.se/> (2012-03-26), 2009.
- [3] International Electrotechnical Commission, *IEC61000-4-30 :2008 - Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-30: Testing and measurement techniques - Power quality measurement methods*, 2008. <http://www.cenelec.eu/> (2012-05-15).
- [4] C. Sankaran, *Power Quality*. CRC Press, 2002.
- [5] International Electrotechnical Commission, *IEC61000-4-15:1998 Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-15: Testing and measurement techniques - Flickermeter - Functional and design specifications*, 1998.
- [6] International Electrotechnical Commission, *IEC61000-3-3:1995 Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-3: Limits - Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage supply systems, for equipment with rated current ≤ 16 A per phase and not subject to conditional connection*, 1995.
- [7] International Electrotechnical Commission, *IEC61000-4-15:2011 - Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-15: Testing and measurement techniques - Flickermeter - Functional and design specifications*, 2011. <http://www.cenelec.eu/> (2012-05-15).
- [8] International Electrotechnical Commission, *IEC61000-3-3:2008 - Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-3: Limits - Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage supply systems, for equipment with rated current ≤ 16 A per phase and not subject to conditional connection*, 2008. <http://www.cenelec.eu/> (2012-05-15).
- [9] Svenska Kraftnät, "Tekniska riktlinjer för elkvalitet - Del 1: Spänningens egenskaper i stamnätet." <http://www.svk.se/> (2012-04-16), 2006.
- [10] ABB Kraft, "Nya lösningar för bättre elkvalitet." <http://www02.abb.com/> (2012-04-16), 2003.
- [11] L.-O. Boström och L. Gustavsson, *EMC-handboken*. Studentlitteratur, 2004.

- [12] A. E. Legarreta, J.A. Bortolin and J.H. Figueroa, "An IEC 61000-4-30 class a - Power quality monitor : Development and performance analysis ," *Electrical Power Quality and Utilisation (EPQU)*, 2011 11th International Conference on, 2011.
- [13] M. I. Montrose and E. M. Nakauchi, *TESTING FOR EMC COMPLIANCE Approaches and Techniques*. Wiley-IEEE Press, 2004.
- [14] D. Morgan, *A Handbook for EMC Testing and Measurement*. Institution Of Engineering And Technology, 1994.
- [15] European Economic Community, *Directive 89/336/EEC*, 1989.
- [16] European Community, *Directive 2004/108/EC*, 2004.
- [17] Svensk Energi, "Laddinfrastruktur för elfordon." <http://www.vattenfall.se/> (2012-05-15), 2010.
- [18] A. Di Napoli and A. Ndokaj, "Emc and safety in vehicle drives," *Power Electronics and Applications (EPE 2011)*, *Proceedings of the 2011-14th European Conference on*, 2011.
- [19] E. O. A. Larsson och M. H. J. Bollen, "Measurement result from 1 to 48 fluorescent lamps in the frequency range 2 to 150 khz," *Harmonics and Quality of Power (ICHQP)*, 2010 14th International Conference on, 2010.
- [20] Department of defense, *MIL-STD-461F : Requirements for the control of electromagnetic interference characteristis of subsystems and equipment*, 2007.
- [21] ETS-Lindgren, "3925-2 lisn." <http://www.ets-lindgren.com/> (2012-05-31), 2012.
- [22] L. Bengtsson, *Elektriska mätsystem och mätmetoder*. Studentlitteratur, 2012.
- [23] LeCroy, *AP031/AP032 Differential Probe Operating Instructions*, 1996.
- [24] L. Bergström och L. Nordlund, *Ellära : Kretsteknik och fältteori*. Natura läromedel, 2002.
- [25] W. F. Ray and C. R. Hewson, "High performance rogowski current transducers." <http://www.pemuk.com/> (2012-05-01), 2000.
- [26] CHAdeMO Association, "Chademo chargers." <http://www.chademo.com/> (2012-05-17).
- [27] G. Pistoia, *Electric and hybrid vehicles : PowerSources, Models, Sustainability, Infrastructure and the Market*. Elsevier, 2010.
- [28] G. Pistoia., *Battery Operated Devices and Systems*. Elsevier, 2009.
- [29] F. Musavi, W. Eberle, and W. G. Dunford, "A high-performance single-phase ac-dc power factor corrected boost converter for plug in hybrid electric vehicle battery chargers," *Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, 2010 *IEEE*, 2010.

- [30] M. H. Rashid, *Power Electronics Handbook - Devices, Circuits, and Applications (3rd Edition)*. Elsevier, 2011.
- [31] N. Mohan, T. M. Undeland, and W. P. Robbins,, *Power Electronics - Converters, Applications and Design*. John Wiley & Sons, 2003.
- [32] K. C. Wu., *Switch Mode Power Converters*. Elsevier, 2006.
- [33] B. Elm, “Some tests performed with the chargelyser at some electrical vehicles.” 2012.
- [34] National Instruments, “The fundamentals of fft-based signal analysis and measurement in labview and labwindows/cvi.” <http://www.NI.com/> (2012-05-20), 2009.
- [35] PicoScope, *PicoScope 6 : PIC Oscilloscope Software : User’s Guide*, 2007.

Bilaga A

MATLAB-kod

Nedan är kod för hur amplitudspektrum genererades och visades utifrån mätdata.

```
% Tidsintervall över sparad data: 200 ms
% Använda variabler generade av Picoscope:
% X: vektor med alla samplade värden
% Tinterval: Tid mellan varje sampel.

ymin = Y-Värde1; % Anger vertikala gränser till graf för enkel visuell jämförelse...
ymax = Y-Värde2; % ...
xmin = X-Värde1; % Anger horisontella gränser till graf för frekvensintervall...
xmax = X-Värde2; % ...

load MÄTDATAFIL.mat %Inladdning av mätvärden, vektor X
Fs = 1/Tinterval; % Samplingsfrekvensen
N = Fs/5; % Anger antal sampel över 200 ms
if mod(N,2)  $\neq$  0 % Om N är ett ojämnt tal (för jämnt N till division)..
    N = N - mod(N,2); % ... dra bort restprodukten vid division med 2
end

% FFT på vektor X
Y1 = fft(X,N)/N; % Tar fram vektor med respektive fourierkomponent
Y1 = 2*abs(Y(1:N/2)); % Beräknar respektives frekvenskomponents amplitud upp till Fs/2

%Nedflyttning av komponenter så att Y(1) är 5 Hz-komponenten, inte 0 Hz.
for k=1:1:N/2-1
    Y(k) = Y(k+1);
end

% Kvadratisk medelvärde av 5 Hz-komponenter till 200 Hz-band
for w=1:1:(Fs/(2*200)) % Antal värden = antal 200 Hz-band upp till Fs/2
    Y2(w) = 0; % Ger ett start-värde till den inre for-loopen
    for k=(1+(w-1)*40):1:40*w % Summerar 40 5 Hz-komponenter per 200 Hz
        Y2(w) = Y2(w)+Y1(k)^2;
    end
    Y2(w) = sqrt(Y2(w));
end

Y = 20*log10(Y2/(1e-6)); % Transformerar värden till (dB\muV)/(dB\muA)

.
.
X = ....
.
.

% Bildar linjär x-vektor i antal 200 Hz-band som ingår i intervallet
f = linspace(100,Fs/2-100,(N/(2*40)));
```

```
figure
subplot(2,1,1)
plot(f,Yu,'red',f,Xu,'black');
title('Mätdataförklaring')
legend('Referensspektrum','Spektrum från elbilsaddning')
set(gca,'XTick',[synliga x-värden])
set(gca,'XTickLabel',{synliga x-värdens beteckning})
set(gca,'YTick',[synliga y-värden])
set(gca,'YTickLabel',{synliga y-värdens beteckning})
xlabel('Frekvens (kHz)')
ylabel('Amplitud (dB\muV)/(dB\muA)')
ylim([ymin ymax])
xlim([xmin xmax])

.
.
.
```