

Frekvensomriktare - med inriktning på framtagning av H-PFC för låg påverkan på det matande nätet enligt standard IEC 61000-3-2



Olle Jonasson
Felix Rödén

Division of Industrial Electrical Engineering and Automation
Faculty of Engineering, Lund University



LTH
LUNDS TEKNISKA
HÖGSKOLA

IEA

Examensarbete i Industriell elektroteknik och automation

VT21

Frekvensomriktare - med inriktning på framtagning av H-PFC för låg påverkan på det matande nätet enligt standard IEC 61000-3-2

Författare:

Olle Jonasson

Felix Rödén

Handledare:

Bengt Simonsson

Examinator:

Mats Lilja

© Copyright Felix Rödén, Olle Jonasson
LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Lunds universitet
Box 882
251 08 Helsingborg
LTH School of Engineering
Lund University
Box 882
SE-251 08 Helsingborg
Sweden
Tryckt i Sverige
Lunds universitet
Lund 2022

Förord

Detta examensarbete inom högskoleingenjörsutbildningen elektroteknik med automation utfördes av oss studenter på ASSA ABLOY Entrance Systems i Landskrona.

ASSA ABLOY har varit en fantastisk arbetsgivare som har gett oss möjligheten att utföra vårt examensarbete. Vi vill därför säga stort tack till vår handledare Anders Löfgren och även Stefan Paulsson som har väglett oss genom hela detta arbete med sådan positiv energi.

Tack även till vår handledare Bengt Simonsson och vår examinator Mats Lilja på Lunds Universitet för deras stöd och vägledning.

Sammanfattning

Detta examensarbete utfördes av två studenter från Lunds tekniska högskola på ASSA ABLOY Entrance Systems i Landskrona. ASSA ABLOY är ett globalt företag som utvecklar och producerar automatiska entrélösningar för alla typer byggnader, de gör även industriportar, snabbrullportar, megadoors och dockningsutrustning. Det här arbetet fokuserade på deras snabbrullportar (High-performance doors) i allmänhet och deras frekvensomriktare och dess övertoner i synnerhet. Bakgrunden till arbetet var att ASSA ABLOYs frekvensomriktare i området 0.7-2.0 kW köptes off-the-shelf från tredje parts leverantörer istället för att utvecklas själva av företaget. Av dessa skäl ville de konstruera en egen kostnadseffektiv frekvensomriktare inom samma effektintervall som klarar kraven för elektromagnetisk kompatibilitet via standarden IEC 61000-3-2. Slutsatsen av rapporten var att det var möjligt att använda sig av en och samma frekvensomriktare för effektspannet och samtidigt klara standarden med marginal.

Nyckelord:

H-PFC, THD, överton, IEC-61000-3-2, utvecklingskort, frekvensomriktare

Abstract

This bachelor thesis was conducted by two students from Lunds University at ASSA ABLOY Entrance Systems in Landskrona, a company that develops and produces automatic entrance doors. We focused on their High performance product which is a high speed roll-up door. The background for the thesis was that ASSA ABLOY had acquired several companies in different parts of the world and therefore also had different frequency converters. The power range of the frequency converters was between 0.7-2.0 kW which they bought off-the-shelf. This led to a need to merge the different technologies into one frequency converter that could be used for all different doors in that range. The conclusion of the thesis was that it was feasible to merge the technologies and we managed to conceive a frequency converter that matched the requirements specification from ASSA ABLOY and met the standards for Electromagnetic compatibility (EMC) - IEC 61000-3-2.

Keywords

H-PFC, THD, Harmonics, IEC-61000-3-2, Evaluation board, Frequency converter.

Innehållsförteckning

| | |
|--|-----------|
| 1. Inledning | 8 |
| 1.1 Bakgrund | 8 |
| 1.2 Syfte | 10 |
| 1.3 Målformulering | 10 |
| 1.4 Problemformulering | 10 |
| 1.5 Motivering av examensarbetet | 11 |
| 1.6 Avgränsningar | 11 |
| 1.7 Resurser | 11 |
| 1.8 Tidsplan | 12 |
| 1.9 Företaget ASSA ABLOY | 12 |
| 2. Teknisk bakgrund | 13 |
| 2.1 H-PFC-uppspänningsomvandlare | 17 |
| 2.2 Design av H-PFC CCM uppspänningsomvandlare | 31 |
| 2.2.1 Beräkningar av komponenter | 34 |
| 2.3 IEC 61000-3-2 | 40 |
| 2.4 Utvecklingskort | 40 |
| 2.5 Vridmoment | 46 |
| 2.6 MIO 1.0 och MIO 2.0 | 47 |
| 3. Metod | 48 |
| 3.1 Utvecklingskort | 49 |
| 3.1.1 Utvecklingskortets kretsschema | 49 |
| 3.2 Implementering av nya kretsen | 50 |
| 3.4 Övertonstester | 55 |
| 3.5 Fluke 41B | 55 |
| 3.6 Oscilloskop | 56 |
| 3.7 Yokogawa WT1800 | 56 |
| 3.9 Övertonstester MIO 2.0 | 60 |
| 3.10 RISE | 61 |
| 3.11 Källkritik | 63 |
| 4. Analys | 65 |
| 4.1 Vridmomentstest | 65 |
| 4.2 Kravspecifikation | 66 |
| 4.3 Analys av uppmätta värden | 67 |
| 4.4 MIO 1.0 | 68 |
| 4.5 MIO 2.0 | 68 |
| 4.5.1 MIO 2.0 utan H-PFC | 68 |
| 4.5.2 MIO 2.0 med H-PFC | 69 |
| 5. Resultat | 73 |

| | |
|-------------------------------------|-----------|
| 6. Slutsats & Diskussion | 88 |
| 6.1 Reflektion över etiska aspekter | 89 |
| 6.1.1 Sekretess | 89 |
| 6.1.2 Hederskodex | 89 |
| 6.2 Framtida utvecklingsmöjligheter | 90 |
| 7. Terminologi | 91 |
| 8. Källförteckning | 92 |

1. Inledning

Samhället går mot en allt mer elektrifierad vardag vilket leder till att förståelsen kring hur elektrifieringen påverkar elnätet och även dess omgivning blir av allt större vikt. Ineffektiva produkter påverkar kvaliteten på elnätet negativt vilket kan innebära att andra produkter på elnätet presterar sämre eller inte alls. En produkt som möjliggör en effektivare användning av energin då man eftersträvar en variabel frekvens är frekvensomriktare. Frekvensomriktare är en olinjär last vilket innebär att implementeringen av den medför ett problem, nämligen övertoner.

Examensarbetet har därför legat till grund för att utveckla en mer energieffektiv och EMC-kompatibel frekvensomriktare för att minska produktens påverkan på elnätet.

1.1 Bakgrund

ASSA ABLOY är en tillverkare av flertalet olika dörrlösningar inom både industrin och den privata marknaden. Examensarbetet kommer att fokusera på deras High performance doors som används på företag som kräver dörrar som klarar av hård belastning. Dessa dörrar används exempelvis vid frysrum där dörren behöver stängas och öppnas snabbt med hjälp av en elmotor som lastas med en duk-anordning som går upp och ned med en hastighet på 1.5 m/s.

För att styra olika eldrivna produkter krävs ofta olika typer av spänningsnivåer och strömnivåer. I Sverige är standardspänningen 400/230 V AC 50 Hz. För att ändra spänningen och strömmen finns olika typer av konverterare så som AC-DC, DC-AC, DC-DC och AC-AC kretsar. ASSA ABLOY använder sig idag av enfas till deras High och Low performance dörrar för att underlätta för deras kunder, eftersom trefas är ovanligare i de utrymmen produkten är designad för. Från enfasuttaget måste strömmen likriktas. Efter likriktningen finns olika lösningar för att höja och sänka spänningen i en DC-DC krets med hjälp av kraftelektronik där switchar används, även kallat uppspänningsomvandlare. Eftersom diodlikriktare är olinjära laster leder detta till att övertoner skapas. Dessa övertoner kan dämpas med hjälp av filterkomponenter, både passiva och aktiva. För att dämpa övertonerna genom aktiva komponenter används ofta en metod som kallas Harmonic Power Factor Correction (H-PFC) som beskrivs i teknisk bakgrund [2](#) och [2.1](#), denna teknik minimerar de störningar som annars hade kommit ut på nätet och stört kretsen internt.

I dag så köper ASSA ABLOY in både motorer och frekvensomriktare från tredjepartsbolag inom effektspannet 0.7 - 2 kW, vilket har fungerat men har varit kostsamt och tidskrävande för produktionen. Detta har resulterat i en separat låda innehållande en frekvensomriktare utanför motorns kåpa. De var därför intresserade att integrera frekvensomriktaren i motorns hölje så att hela produkten blir mer kompakt. Tidigare projekt, som bolaget har haft, har resulterat i att de har byggt en frekvensomriktare till deras produktserie Low performance doors vilket har dragit ned kostnaderna, produktionstiden och skapat en mer kompakt produkt där frekvensomriktaren har integrerats i motorns kåpa. I dagsläget anser ASSA ABLOY att det inte finns några

kommersiellt tillgängliga frekvensomriktare i den prisklass de söker som motsvarar de krav de ställer på sina High performance produkter. Det finns frekvensomriktare som kan hantera

rampningen, men då måste man ha en helt separat portstyrning och pulsgivare (encoder) vilket också blir dyrt. Med detta i åtanke har ASSA ABLOY gjort bedömningen att de ska göra en egen frekvensomriktare med hjälp av komponenter som redan finns på marknaden och implementera dem i den redan befintliga arkitekturen för deras Low performance doors. ASSA ABLOY bestämde sig därför att erbjuda ett examensarbete för att undersöka möjligheten att skapa en liknande frekvensomriktare till dessa High performance doors.

Lösningen företaget i första hand tänkte var att man via kraftelektronik kunna implementera varvtalsregleringen genom att använda en likriktarbrygga med en H-PFC(Harmonic Power Factor Correction) -uppspänningsomvandlare för att nå standardkraven för hushållsapparater och sedan en IGBT-brygga för styrningen via pwm (pulsbreddsmodulering). Tanken var att denna skulle fästas på motorkåpan eftersom det råder platsbrist inuti kåpan. Det var även meningen att filterkomponenter skulle designas till kretsen. Inspirationen till den nya frekvensomriktaren kom från Low performance doors-modellen som företaget tidigare tagit fram.

Gällande IGBT-modulen var tanken att en ny modul behövdes där den bäst lämpade kandidaten skulle väljas. IGBT-moduler på 400 V DC är standardiserade eftersom många luftvärmepumpar, tvättmaskiner och liknande produkter använder sig av liknande parametrar, vilket leder till lägre kostnader vid inköp. Därför skulle strömmen vara mer avgörande för att välja rätt modul.

Det företaget förberett var ett kretsschema med föreslagna kringkomponenter inklusive processorer för att hantera styrningen av porten. Denna kretskortsarkitektur följer deras Low performance doors-modell i alla väsentliga avseenden förutom när det gäller strömförsörjningsarkitekturen, så exempelvis pulsgivar- och säkerhetsarkitektur är densamma. I dagsläget har de processor-, lågspännings-, kommunikations- och pulsgivar-lösning färdigt. De har även en mellanledningsspänning på 300 V DC som är underdimensionerad för High performance-modellerna men är tillräcklig för Low performance. Arbetet kommer innefatta komponenter i mellanledet där vi ska ta fram en H-PFC uppspänningsomvandlare dels för att både uppfylla standarden IEC 61000-3-2 för hushållsapparater gällande övertoner och dels för att kunna förse en 230/400 V AC asynkronmotor med en tillräcklig spänning som ska köras Deltakopplad, det vill säga 230 V AC vid 50 Hz. En DC-DC krets är inbyggd i H-PFCn vilket möjliggör en spänning på 380-400 V DC.

I dagsläget har ASSA ABLOY en elektrisk effekt från deras DC-led på deras High performance på ungefär 2400 W för att driva motorer märkta 2000 W. Målet var därför att vi skulle leverera ett DC-mellanled på 380-400 V DC till IGBT-modulen (växelriktaren) via H-PFC:n som höjer upp spänningen från ett 230 V AC enfasuttag.

Bolaget använder asynkronmotorer som är märkta 230/400 V. I dagsläget har de en likriktarbrygga, drossel och kondensator och några filterkomponenter i DC ledet.

Vi skulle därför komplettera detta med H-PFC-kretsen. Sammanfattningsvis är alltså problemet att de idag inte har en integrerad frekvensomriktare som kan fungera inom det effektspannet, vilket leder till intresset för att göra en egen kostnadseffektiv modell.

1.2 Syfte

Syftet med vårt examensarbete var att välja lämpliga komponenter till en av de föreslagna IGBT-modulerna och designa strömförsörjning för H-PFC, med hjälp av arkitekturen från deras Low performance doors, som är kompatibel med flera olika motorer upp till 0.6 kW. H-PFC:n fyller flera funktioner då företaget dels vill dämpa övertonerna, öka $\cos(\varphi)$ och höja mellanledningsspänningen från 300 V DC från Low performance till 400 V DC för High performance. Ett mellanled på 400 V DC är positivt ur synpunkten att IGBT-moduler ofta är dimensionerade till att klara 400 V DC då de används flitigt i produktionen till luftvärmepumpar och kylskåp etcetera, detta gör komponenterna förhållandevis prisvärda. Mellanledningsspänningen på 400 V DC är dessutom fördelaktig gentemot företaget då det finns flera kompatibla asynkronmotorer på marknaden för denna spänning vilket medför billigare inköpspris för motorer. När spänningen växelriktas får vi $\frac{400}{\sqrt{2}} \approx 283 \text{ V AC}$ vilket innebär att man har marginaler uppåt om man vill öka frekvensen och varvtal för att kunna bibehålla momentet då märkfrekvensen vid 230 V AC är 50 Hz. Detta är bra då företaget vill kunna köra motorn på högre frekvenser. Detta kommer underlätta produktionen och sänka kostnaderna på deras "high performance doors" eftersom de kommer använda en och samma omvandlare för alla produkter inom effektområdet 0.7-2 kW.

1.3 Målformulering

Det konkreta målet med examensarbetet var att vi skulle kunna få en mellanledningsspänning på 400 V DC till IGBT-modulen som ska kunna försörja en trefas asynkronmotor med en effekt mellan 0.7-2 kW från ett enfasuttag 230 V (max 16 A). Produkten skulle även nå standardkraven för hushållsapparater enligt standarden IEC-61000-3-2, gällande påverkan av matningsnätet, med hjälp av en H-PFC-krets.

1.4 Problemformulering

Följande frågor skulle vi försöka besvara under tiden examensarbetet utfördes:

1. Hur fungerar nuvarande High performance doors i spannet 0.7- 2 kW ?
2. Vad för H-PFC-uppspänningsomvandlare behövs för att få prototypen att nå standardkraven för hushållsapparater?
3. Vilken typ av filter behöver vi?
4. Hur når vi en mellanledningsspänning på 400 V DC från ett 230 V AC enfasuttag?
5. Vilken IGBT-modul bör användas?

1.5 Motivering av examensarbetet

Vi valde detta examensarbetet hos ASSA ABLOY för att det låg i linje med vårt intresse för hårdvara i form av teori som ligger nära kurser som kraftelektronik och Elmaskiner och drivsystem. Att vi skulle få möjligheten att ta fram en frekvensomriktare och därav praktiskt, i verkligheten, få nyttja våra kunskaper inom ämnena gjorde valet enkelt.

1.6 Avgränsningar

Vid planeringsstadiet i vårt examensarbete gjordes en avgränsning i arbetet genom att exkludera framtagningen av en läsgaffel då detta var inom ramen för ett masterarbete. Läsgaffeln används för att återkoppla position, varvtal och riktning vilket är vitalt för att man ska kunna använda frekvensomriktaren i praktiken eftersom den återkopplar med ett reellt ärvärde. Framtagningen av läsgaffeln kommer ske i ett senare skede i företagets arbete då examensarbetet till en början var planerat för masterstudenter.

1.7 Resurser

De resurser som användes under examensarbetet är den hårdvara som behövs för att skapa den färdiga produkten det vill säga olika motorkort, asynkronmotorer samt den hjälputrustning och mätutrustning som krävdes, t.ex. Oscilloskop, lödmaskiner, testlokaler med mera.

ASSA ABLOY har personal med kompetens inom området för frekvensomriktare sedan tidigare. Stefan Paulsson har tidigare arbetat på Emotron där han jobbade med mjukstartare och frekvensomriktare och Jonas Johannesson är ansvarig elkonstruktör. Både Stefan och Jonas har väglett oss genom arbetets gång med deras expertis inom ämnet. Dessutom har även vår handledare Anders Löfgren hjälpt oss i många olika skeden i arbetet.

1.8 Tidsplan

| | v4 | v5 | V6 | v7 | v8 | v9 | v10 | v11 | v12 | v13 | v14 | v15 | v16 | v17 | v18 | v19 | v20 | v21 | v22 |
|----------------------|-------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|---------|---------|--------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|------|
| Initial beskrivning | Green | Green | Green | Green | | | | | | | | | | | | | | | |
| Research | | Red | Red | Red | Red | Red | Red | | Red | Red | | | | | | | | | |
| Strukturera rapport | | Cyan | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Val av komponenter | | | | | | | Blue | | Blue | Blue | | | Blue | | | | | | |
| Skrivning av rapport | | | Magenta | Magenta | Magenta | Magenta | Magenta | | Magenta | Magenta | | | Magenta | Magenta | Magenta | Magenta | Magenta | | |
| Inlämning rapport | | | | | | | | | | | | | | | | | Orange | | |
| Poster | | | | | | | | | | | | | | | | | | Black | |
| Tester | | | | | | | | | | | Purple | | Purple | Purple | Purple | | | | |
| Presentation | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Pink |
| Tentor | | | | | | | | Brown | | | | Brown | | | | | | | |

1.9 Företaget ASSA ABLOY

När de flesta tänker på ASSA ABLOY tänker de på hemnyckeln de bär med sig varje dag. Företaget har arbetat med olika typer av låsanordningar och dörrlösningar sedan 1994 när ASSA ABLOY grundades genom att ASSA och ABLOY gjorde en fusion. Båda bolagen arbetade med låsanordningar och konkurrerade med varandra på sina hemmamarknader vilket resulterade i fusionen för att slippa konkurrensen. I slutet av 90-talet och början av 00-talet började ASSA ABLOY köpa flera bolag inom det elektroniska låsegmentet vilket dubblade bolagets storlek och utökade deras sortiment på produkter. ASSA ABLOY har i dagsläget ungefär 50 000 anställda och omsätter ungefär 80 miljarder kronor där deras största marknad är Nordamerika och därefter Europa.

ASSA ABLOY i Landskrona var tidigare det svenska bolaget Besam som tillverkade automatiska karuselldörrar, skjutdörrar och slagdörrar för vårdsektorn. Besam köptes upp av ASSA ABLOY 2002 för att fortsätta denna verksamhet under ASSA ABLOY Entrance Systems. 2007 köptes även Albany som var först i Sverige med höghastighetsdörrar i tyg. Detta bolag drivs också under ASSA ABLOY Entrance Systems för att samla industridörrar under ett och samma varumärke.

2. Teknisk bakgrund

En frekvensomriktare är en nödvändig teknisk lösning som används för att kunna reglera en motors varvtal efter eget önskemål. Då motorerna drivs av elektricitet så innebär det att man måste kunna förse dem med motsvarande effekt i varje tidpunkt. Det gäller alltså att man genom frekvensomriktaren hela tiden producerar den effekt och den frekvens som motorn kräver för att man ska kunna tillhandahålla önskat moment och varvtal.

PF (Power factor) är en term som oftast används inom industrin och produktionen av elektriska varor. I industrin används oftast stora elektriska motorer som körs genom att överföra energi från stator till rotor via ett magnetfält och energin i magnetfältet kallas magnetiseringsenergi vilket är den reaktiva effekten. Denna reaktiva effekt är alltså livsviktig för att motorn ska kunna fungera. Däremot så kan den reaktiva effekten ur elnätets synvinkel ses som en "slaggprodukt" eftersom den kommer ut på elnätet igen och tar upp plats som inte kan utnyttjas, vilket elbolagen tar betalt för.

Producenterna av elmaskiner kan därför använda sig av PF för att redovisa hur stor reaktiv effekt deras maskiner skapar.

Något annat som påverkar PF är övertoner vilket är multiplar av den fundamentala frekvensen vilka skapas vid olinjära laster såsom likriktare och växelriktare. Dessa är skadliga då de förstör ansluten kringutrustning, överhettar motorer och transformatorer och försämrar nätkvalitén. Detta leder till att man måste dimensionera all utrustning utefter dem vilket leder till ytterligare kostnader.

Övertoner finns i alla elektriska system som har någon form av switch eller annan typ av olinjär last, även då detta är ett allmänt problem är det få som har koll på vad övertoner faktiskt är och vad nackdelarna är med att ha övertoner i ett system. Övertoner är ett resultat av en olinjär elektrisk last vilket leder till flertalet olika nackdelar på både nätet och även internt i kretsen. Några problem som kan orsakas av övertoner är att:

1. Överhettning av elektrisk distributionsutrustning, kablar, transformatorer med mera, kan ske.
2. Kommunikationssystem kan störas ut och även ta skada.
3. Givare blir av med förmågan att uppmäta värden.
4. Säkringar kan triggas vid ej nödvändiga tillfällen.
5. Komponenternas livslängd kan försämrans.

Detta visar att övertoner behöver tas hand om och detta kan göras på två olika sätt. Antingen genom att mäta de övertoner som produceras i systemet för att generera samma överton i realtid fast i motsatt fas, på detta sätt kan man störa ut de övertoner man har i ett system. Alternativt bygga en krets med aktiva och passiva filterkomponenter för att dämpa övertonerna. Det senare alternativet är lösningen som kommer implementeras i kretsen.

PF är egentligen ett mått på hur bra en elmaskin utnyttjar strömmen som den blir tilldelad. PF beskriver alltså hur stor del av den skenbara effekten som består av aktiv effekt. Förhållandet mellan aktiv effekt och skenbar effekt ser ut enligt följande:

$$PF = \frac{P(W)}{S(VA)} \quad (1)$$

Den Skenbara effekten S (VA) kan beskrivas som absolutbeloppet av en tredimensionell vektor enligt följande ekvation

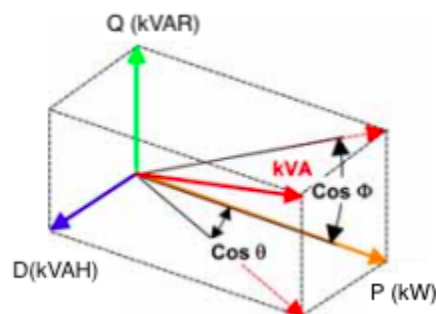
$$|S| = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2} \quad (2)$$

där P är effekten (W), Q är den reaktiva effekten (VAR) och D är distortionseffekten uttryckt i (VA_H) där H står för harmonic. Man kan se att ekvation 2 är relaterad till figur 1 längre ner. Den reaktiva effekten Q brukar definieras som förhållandet mellan sinuskurvan för strömmen och spänningen där fasförskjutningen beror på $\cos(\varphi)$ men detta gäller bara under förutsättning att vi en har sinusformad ström och spänning och distortionseffekten är försumbar. I fallen där det finns övertoner i kretsen måste man dela upp den reaktiva effekten i två delar. DPF (Displacement power factor) beskriver fasskillnaden mellan den fundamentala spänning och ström som finns i kretsen det vill säga

$$\cos(\varphi_1) = \frac{P_1}{S_1} = DPF \quad (3)$$

Indexen φ_1 , P_1 och S_1 indikerar att endast den fundamentala frekvensen ingår i uttrycket. När φ nämns så förutsätts det att endast den fundamentala frekvensen ingår men för förtydligande används φ_1 i vissa fall. I verkligheten existerar det en viss fasförskjutning mellan spänning och ström för varje överton men eftersom spänningen i princip är en sinus och strömmen är förvrängd så kan $\cos(\varphi_{n>1})$ försummas då spänningsövertonerna är så låga i amplitud. På grund av tidigare nämnda förklaring kan man säga att $\cos(\varphi) = \cos(\varphi_1)$.

HPF(Harmonic power factor)/Distortion power factor tar hänsyn till de övertoner som finns i kretsen och kallas för $\cos(\theta)$, se figur 1.



Figur 1, tagen från [1]. Här ser man hur den röda vektorn för skenbar effekt (kVA) spänns upp av en orange vektor P (kW), en grön vektor (kVAR) och en blå vektor D (kVAH).

I figur 1 ser man de olika vektorerna som spänner upp den totala skenbara effekten. Den gröna vektorn är den reaktiva effekten Q vilken baseras på fasförskjutningen mellan den fundamentala spänningen och strömmen och realiserar av $\sin(\varphi)$. Den blå vektorn D (kVAH) beskriver förhållandet mellan den fundamentala strömmen och spänningen och deras respektive övertoner och fås genom $\sin(\theta)$.

För att kunna beskriva HPF (Harmonic power factor) så behöver vi introducera ett begrepp som heter THD (Total harmonic distortion) vilket står för förhållandet mellan rms-värdet av den fundamentala frekvensen dividerat med rms-värdet av alla övertoner. Exempelvis så beräknas strömmens THD-värde enligt följande:

$$THD_i = \sqrt{\sum_{n=2}^N \left(\frac{I_n}{I_1}\right)^2} \quad (4)$$

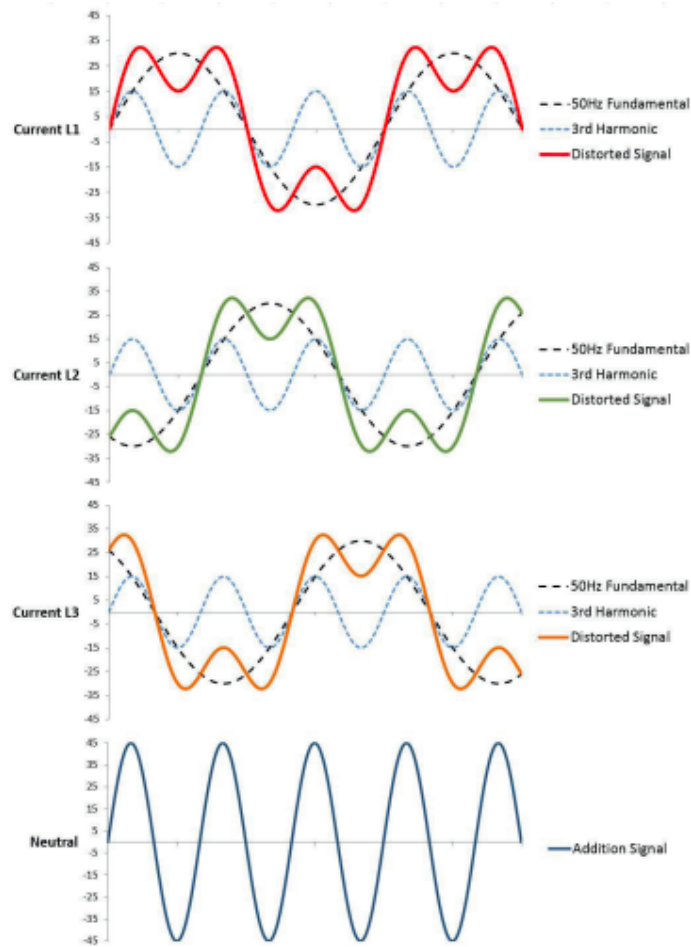
Detta brukar vanligtvis multipliceras med 100 för att få värdet i procent.

Om man vill uttrycka THD_i som en funktion av rms-strömmen vilket är

$$I_{rms} = \sqrt{\sum_{n=1}^N (I_n)^2} \quad (5)$$

Så kan man skriva att

$$THD_i = \sqrt{\left(\frac{I_{rms}}{I_1}\right)^2 - 1} \quad (6) \quad \text{där} \quad I_{rms} = I_1 \sqrt{1 + THD_i^2} \quad (7)$$



Figur 2 visar ett exempel på hur de olika faserna påverkas av övertonerna, det vill säga, hur förvrängda deras sinuskurvor blir, Figuren är tagen från [3]

Om man har ett system där THD:n för spänningen är försumbar medan distorsionen för strömmen är större och använder sig av I_{rms} som funktion av THD_i blir effekten P:

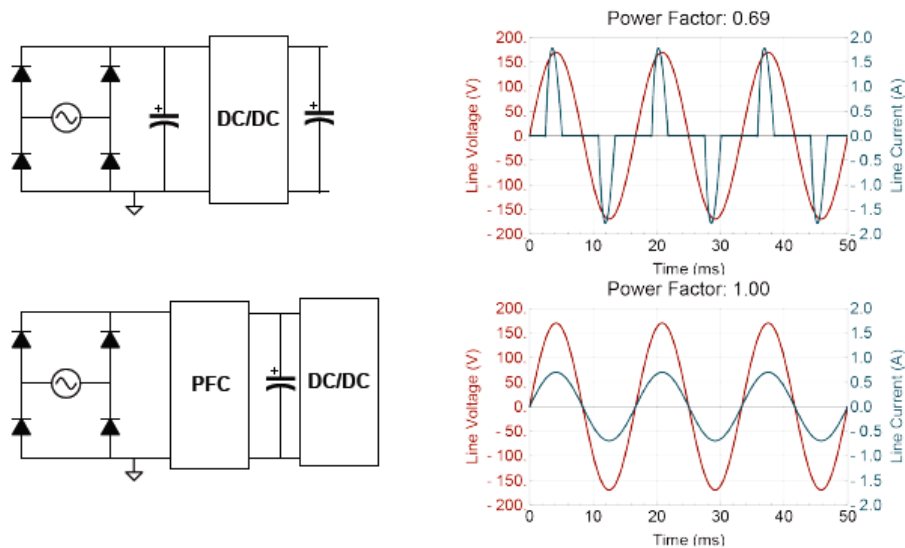
$$P \approx P_1 = U_1 I_1 \cos \phi_1 \quad (8)$$

Detta leder till att man kan skriva ett förhållande mellan THD_i och PF enligt:

$$PF \approx \frac{\cos \phi_1}{\sqrt{1+THD_i^2}} \quad (9)$$

Detta uttryck säger oss att PF beror av båda de reaktiva komponenterna DPF och HPF. Om THD:n är försumbar så beror PF endast på $\cos(\phi)$ men om det är större så kommer PF nödvändigtvis inte vara bra även om $\cos(\phi) = 1$, se figur 1 och figur 2 för förståelse.

En metod för att nå en DPF nära 1.0, och därav få så lite fasförskjutning som möjligt i kretsen, är att ladda upp kondensatorn under hela sinusvågen och inte bara på toppen av den vilket medför att lasten i högre grad beter sig som en resistiv last vilket genererar mindre reaktiv effekt, vilket kan ses i figur 3. Även då detta inte är ett krav för att uppfylla standarden anser ASSA ABLOY att en minskad producerad reaktiv effekt från deras tillverkade produkter är positiv, eftersom detta innebär mera effektiva produkter.



Figur 3 skillnad mellan H-PFC och utan, Figuren är tagen från [2]

2.1 H-PFC-uppspänningsomvandlare

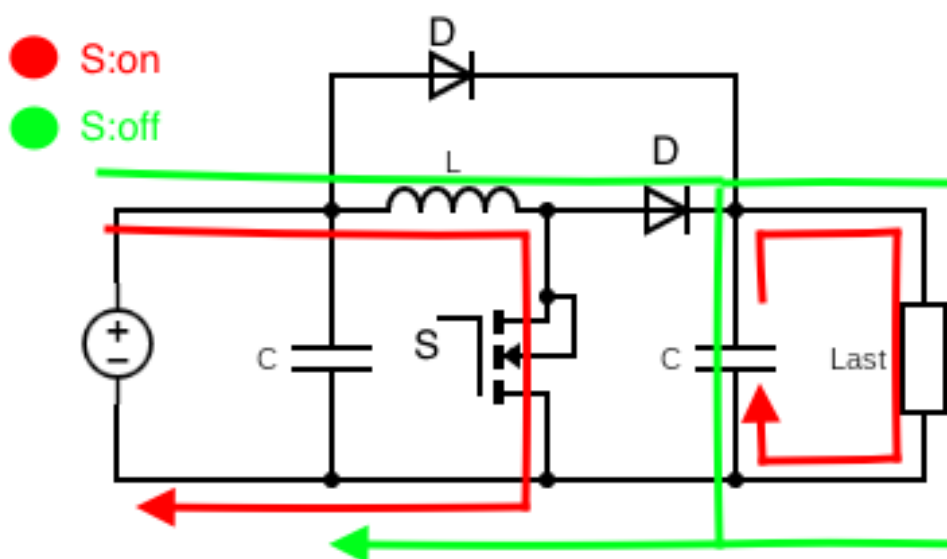
För att adressera problemet med övertoner och fasförskjutning kan en H-PFC krets mellan likriktarbryggan och kondensatorn användas. Det finns flertalet olika alternativ för att minimera övertonerna och få så liten fasförskjutning som möjligt via både passiva filter och med ett aktivt H-PFC-kort. H-PFC kortet brukar ofta användas med en uppspänningsomvandlare, där man switchar upp spänningen till omkring 400 V DC, som är det vanligaste tillvägagångssättet när man ska använda sig av H-PFC.

En H-PFC krets finns i olika utföranden som exempelvis Continuous Conduction Mode (CCM), Discontinuous Conduction Mode (DCM), Critical Conduction Mode (CrCM) och Frequency Clamped Critical Conduction Mode (FCCrM). Dessa olika topologier har olika användningsområden och väljs utefter effektkrav. De olika topologierna har sina för och nackdelar men eftersom ASSA ABLOY var ute efter en lasteffekt på 2 kW så var uppspänningsomvandlaren med CCM den topologin som var mest intressant. Argument för detta beskrivs senare i detta avsnitt.

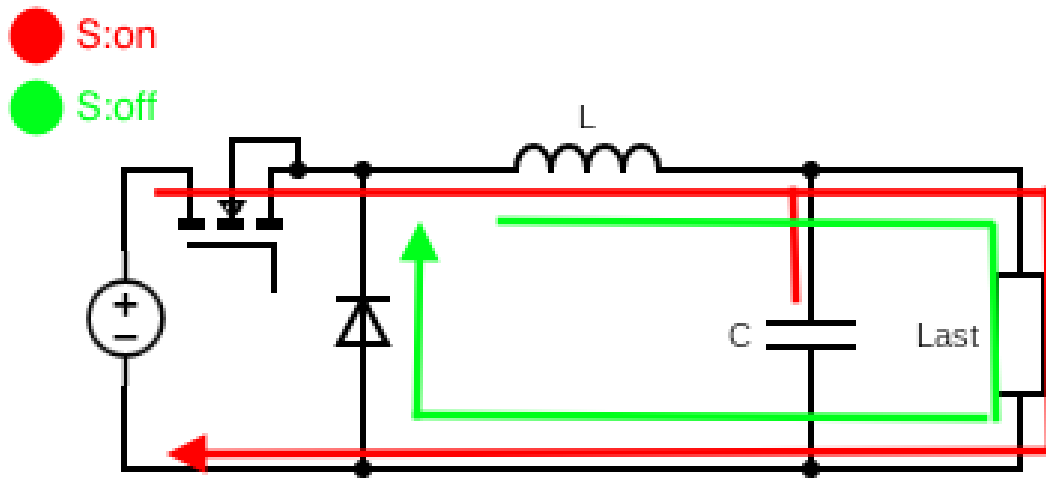
En H-PFC-uppspänningsomvandlars uppgift är att maximera den effekt som dras från elnätet. Detta görs genom kraftomvandling med hjälp av switchning för att forma inströmmen från strömförsörjningen (power supply) så att den blir synkroniserad med nätspänningen. I en ideal H-PFC-krets så följer strömmen spänningen likt en resistor utan att ge några upphov till övertoner. Ingången på H-PFC kretsen blir ofta elnätet och utgången blir DC-spänning.

Eftersom en uppspänningsomvandlare endast är kapabel till att öka inspänningen så kommer utspänningen alltid vara högre än peaken av AC spänningen vilket är 325 V AC i ett 230 V enfasuttag.

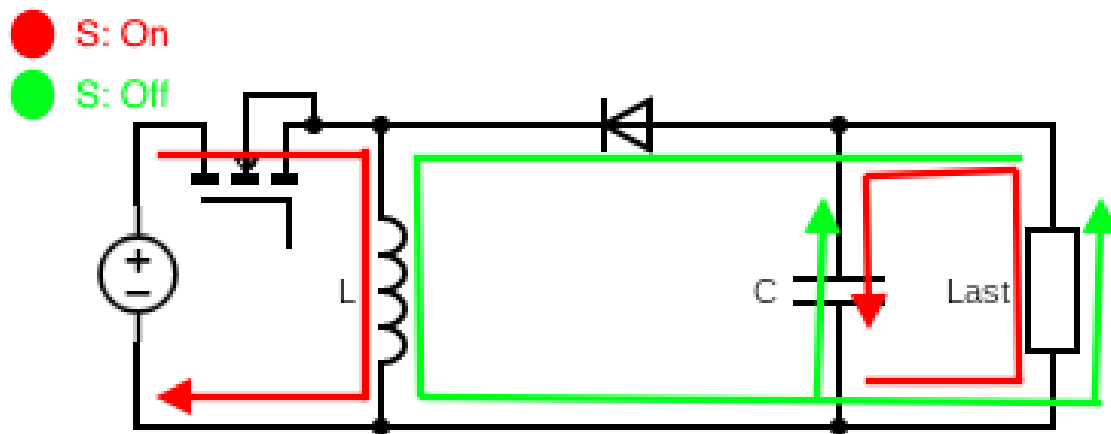
En H-PFC-uppspänningsomvandlare, se [figur 7](#), är en välkänd och användbar topologi som lämpar sig väl för ASSA ABLOYs projekt. Kravet på en mellanledningsspänning på 400 V indikerar att det inte räcker att endast likrikta och lagra energin i en kondensator. Nätspänningar i enfasnät varierar mellan 0 till ett maximalt toppvärde på 375 V, där den maximala nätspänningen är 265 V, vilket är mindre än den spänning företaget eftersträvar. Detta betyder att spänningen måste höjas mer än vad som direkt kan tillgås vilket leder till att implementeringen av uppspänningsomvandlaren är nödvändig. En annan fördel med uppspänningsomvandlaren som visas i figur 4 är att den ger en jämn och kontinuerlig inström tack vare H-PFC-induktorn (L) vilken jämnar ut strömmen. Denna kontinuerliga inström finns exempelvis inte i en nedspänningsomvandlare eller i en buck-boost (tvåkvadrant) omvandlare då inströmmen endast sker vid tillslag som kan ses nedan i [figur 5](#) och [figur 6](#). Denna jämna inström är enklare att filtrera jämfört med en diskontinuerlig inström vilket är till gagn då ett tillägg av flera filter till ingången av omvandlaren kommer att öka kostnaden och minska PF på grund av nätspänningens kapacitiva last.



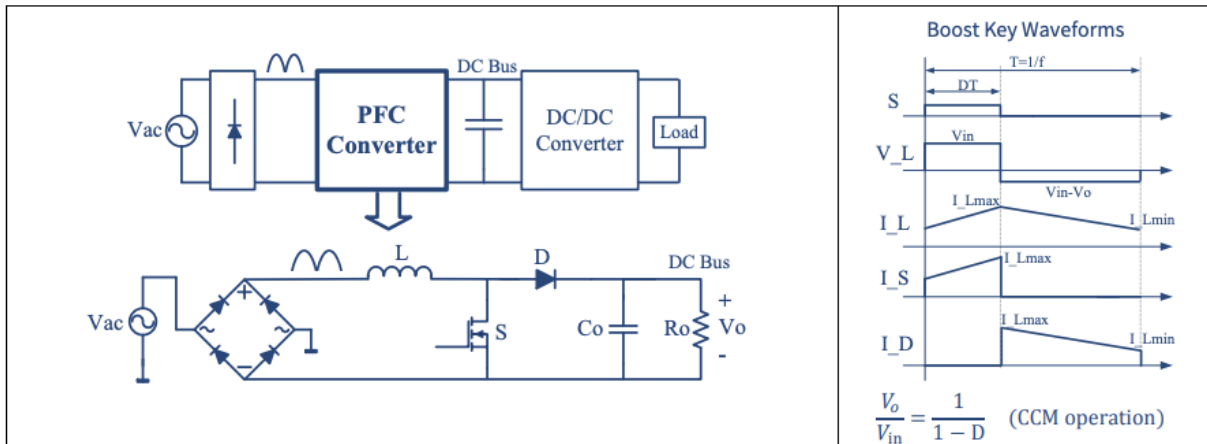
Figur 4 visar en uppspänningsomvandlars tillslag- (S-ON) och frånslagströmmar (S-OFF)



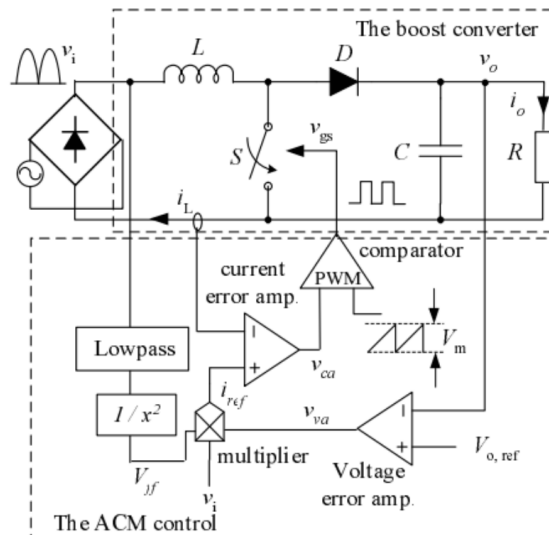
Figur 5 visar en nedspänningsomvandlares tillslag- och frånslagströmmar.



Figur 6 visar en tvåkvadrant(buck-boost)-omvandlares tillslag- och frånslagsströmmar.



Figur 7 beskriver H-PFC-omvandlare i dess enkelhet. Tagen från [4].



Figur 8 beskriver H-PFC-huvudkrets och ACM (Average current mode control) regulatorns funktion. Tagen från [6].

En H-PFC-krets består av två fundamentala delar, den ena är huvudkretsen och den andra är regulatorn som styr hur transistorn S ska bete sig. Som man ser på figur 8 så innefattar huvudkretsen en enfaslikriktare och en uppspänningsomvandlare. På regulatorn används referensspänningen ($V_{0,ref}$), spänningfelsförstärkaren (V_{va}), multipliceraren (M), strömfelsförstärkaren (V_{ca}) och pulsbreddsmodulatore (PWM). X är $V_{i,RMS}$ och används som en voltage feedforward-komponent.

För att H-PFCn ska fungera korrekt behöver flera av regulatorns funktioner samverka. Regulatorn börjar med att jämföra den utgående spänningen med referensspänningen ($V_{0,ref}$) för att sedan skicka resultatet till spänningfelsförstärkaren (V_{va}). Utgången från spänningfels-

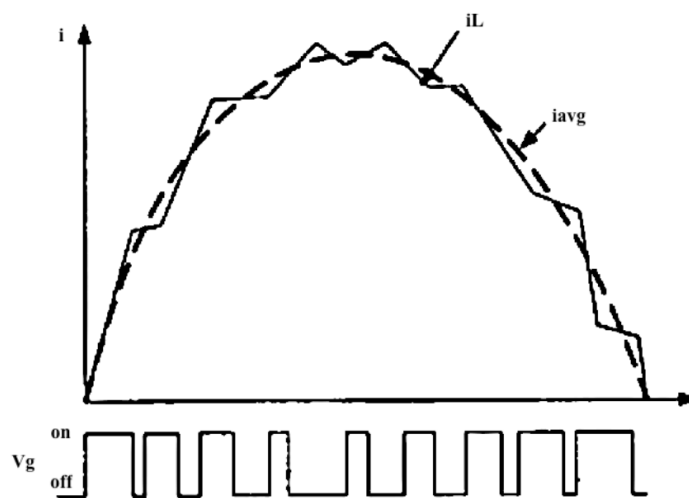
förstärkaren går sedan tillsammans med den likriktade ingångsspänningen till multipliseraren för att skapa strömreferensen (I_{ref}). Det är den lågpasfilterade $\frac{1}{X^2}$ från figur 8 som används för bestämma amplituden på I_{ref} så att ineffekten hålls kontinuerlig: Minskar V_i så ökar I_{ref} och vice versa så man kan säga att I_{ref} är omvänt proportionell mot inspänningen enligt ekvation 10, tagen från ekvation 3.23 i [6].

$$I_{ref} = \frac{\sqrt{2} \cdot k_m \cdot k_{in} \cdot V_v \cdot V_{i(rms)} \cdot |\sin(\omega t)|}{V_{ff}^2} \quad (10)$$

K_m är en strömloopskoefficient, K_{in} är samplingskoefficienten för inspänningen, V_v är utsignalen från spänningsfelsförstärkaren samma som V_a i figur 8 och V_{ff} är samma som x i figur 8 det vill säga en lågpasfilterad $V_{i,rms}$.

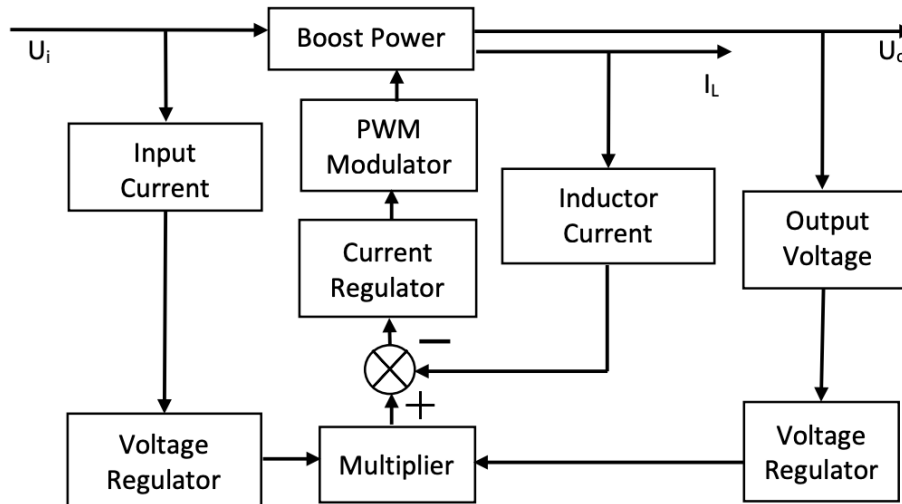
Efter jämförelsen mellan strömreferensen och induktorströmmen går resultatet (V_{Ca}) till strömfelsförstärkaren. Strömfelsförstärkaren använder dessutom en sågtandsvågform från oscillatoren för att jämföra dessa för att generera en pulskvot (duty cycle) som kontroll till transistorn S att antingen slå av eller på med hjälp av PWM. På detta sätt styr regulatören ingångsströmmen så att den efterliknar den likriktade spänningens fas. Detta bidrar till lägre övertoner, en ökad PF och en stabil utspänning.

ACM (Average current mode control) används för att reglera induktorns ström för att efterlikna inspänningens sinuskurva, se figur 9. Detta görs genom att använda både strömloopen och spänningsloopen i ACM regulatören. Induktorns ström är mätt genom spänningen över R_{shunt} och med hjälp av pin ICOMP beräknas medelvärdet som kan ses i figur 11. Därefter kan ICN kontrollera induktorströmmen efter inspänningen. Fördelarna med ACM är att det är den mest använda kontrollmetoden på H-PFC-kretsar och att switchningsfrekvensen är konstant och fungerar bra vid höga effekter. ACM kan både utnyttjas vid CCM och DCM.



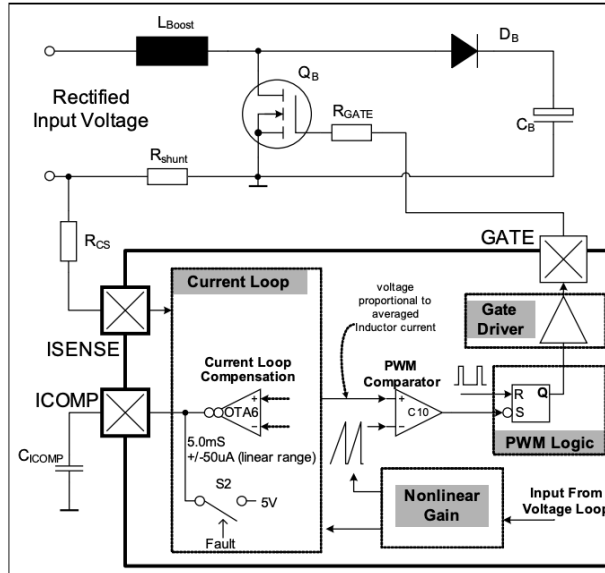
Figur 9, ACM för att styra induktorströmmen, tagen från [6].

H-PFC-regulatorn använder en yttre och inre loop där den yttre är spänningsloopen och den inre är strömloopen för att skapa ett dubbelt återkopplingsystem. Den yttre används till att hålla utspänningen stabil och den inre för att forma ingångsströmmen. Se kretsen i [figur 8](#) tillsammans med blockschemat i figur 10 för jämförelse.



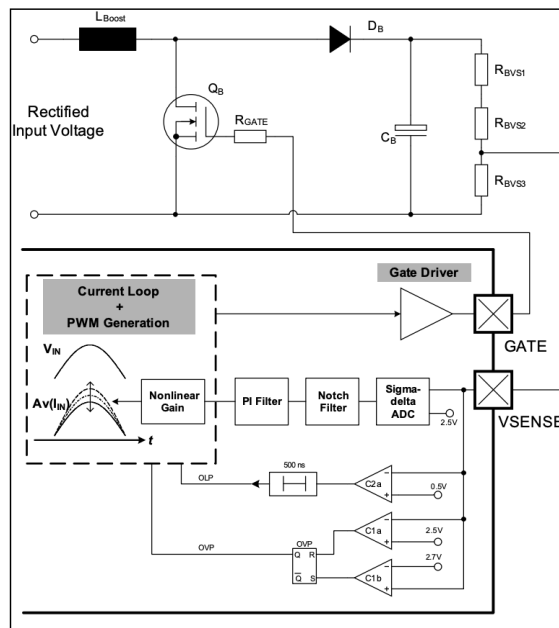
Figur 10, Återkopplingsystemet i en H-PFC. Observera att insignalen till spänningsregulatorn: "Input current" är spänningsfallet över en lågohmig resistor i serie med kretsen. Resistorn kallas R_{Shunt} i figur 11. Tagen från [\[6\]](#).

Strömloopen reglerar pulskvoten (duty cyclen) på transistorn S för att få inströmmen att efterlikna inspänningens vågform. Eftersom inspänningen är likriktad och innehåller övertoner, behöver strömloopen ha en tillräcklig bandbredd för att ta hand om dessa. Den genomsnittliga inströmmen kommer därför följa efter inspänningen så länge som enheten arbetar i CCM. I [figur 11](#) ser man strömloopen där den innehåller strömloops-blocket som tar medelvärdet av spänningen från ISENSE pin. Medelvärdets vågform blir därefter jämförd med rampgeneratoren (som producerar en sågtandsvåg) och PWMn. När sågtandsvågen korsar medelvärdets vågform, kommer komparatorn C10, se figur 11, slå på drivrutinssteget genom PWM-blocket. Det olinjära förstärknings-blocket bestämmer amplituden av induktorströmmen.



Figur 11, Strömloopen, tagen från [7]

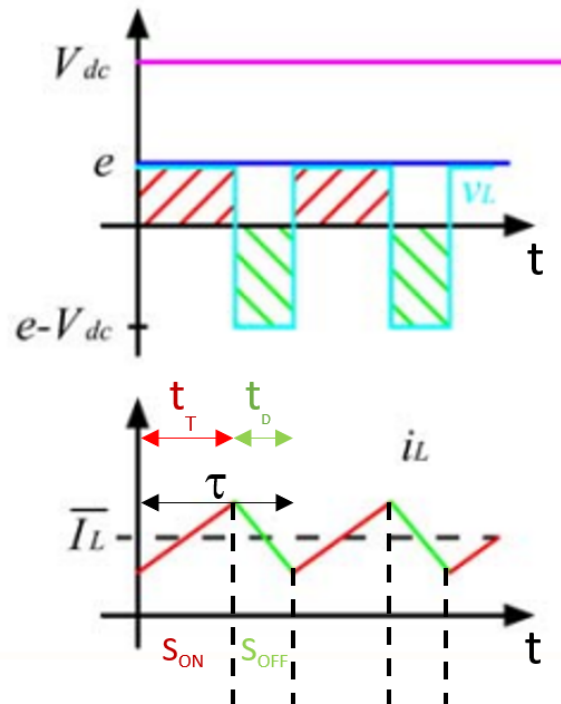
Spänningsloopen, se figur 12, styr den utgående induktorspänningen som ger en referensspänning till strömloopen och styr den utgående stabila DC-spänningen V_{OUT} som i figuren är given som spänningen över C_B . Loopen återkopplas med avläsningsspänningen från V_{SENSE} . V_{SENSE} är kopplad till bulk-spänningen via spänningsdelare från V_{OUT} .



Figur 12, Spänningsloop, tagen från [7].

En uppspänningsomvandlare kan operera i tre olika lägen: continuous conduction mode (CCM), discontinuous conduction mode (DCM) och critical conduction mode (CrCM).

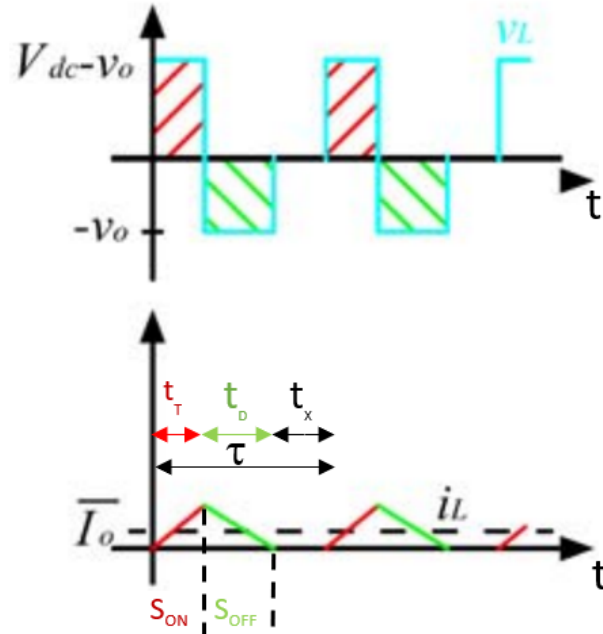
Då en omvandlare drivs i CCM så flödar induktorns energi kontinuerligt, vilket kan ses i figur 13. Ökningen av den lagrade energin i induktorn under S-ON är lika med energin som laddas ur under S-OFF för att säkerställa en drift i stabilt tillstånd (Steady-state operation). Detta innebär att under tiden S-OFF hinner inte induktorn ladda ur sin energi vilket innebär att det är en kontinuerlig ström i kretsen. I CCM är kraftöverföring en process i två steg. Under S-ON lagras energi i induktorn och under S-OFF överförs energin genom dioden.



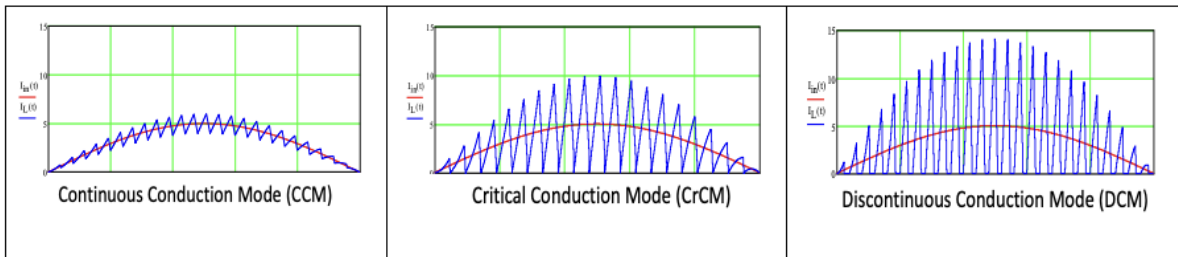
Figur 13 CCM, redigerad och tagen från [18]

I DCM är den lagrade energin i induktorn under S:ON lika med den energi som behövs för lasten under endast ett intervall, plus förluster. Energin i induktorn töms till noll inför varje switchningscykel, vilket resulterar i en period utan energiflöde, därav namnet diskontinuerlig.

I DCM består en switchningscykel av tre intervall, de första två är densamma som CCM, där energin är lagrad i induktorn vid S-ON och laddas ur till lasten vid S-OFF. Det tredje intervallet sker vid komplett urladdning av induktorn och avslutas vid nästa cykel, detta illustreras i figur 14. Eftersom hela induktorns energi laddas ur under de två första intervallen behöver samma energi under en kortare tid laddas ur vilket resulterar i högre peakströmmar än vid CCM.



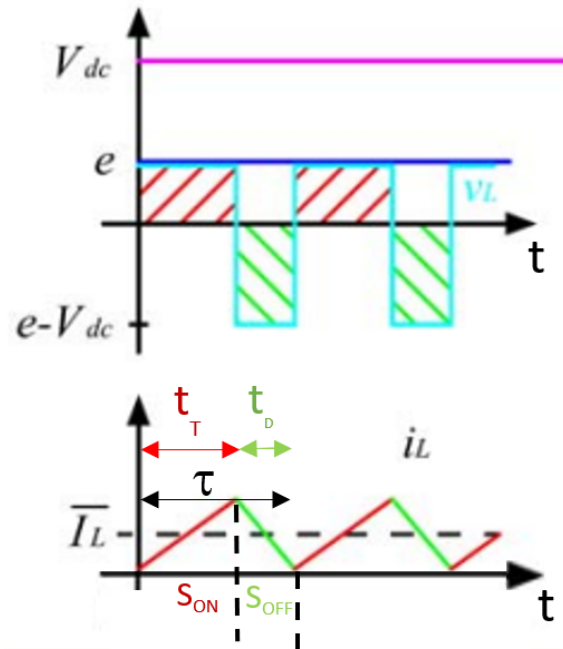
Figur 14 DCM, redigerad och tagen från [18]



Figur 15 visar vågformer vilka illustrerar induktor- och inströmmar för de tre olika lägena (CCM, CrCM och DCM) vid exakt samma spänning och effektförhållanden. Taget från [4]

Då DCM drivs i konstant frekvens kan det ge sken av det är enklare att implementera än CrCM men DCM har en nackdel jämfört med CrCM och CCM; den högsta peak-strömmen, som ses i figur 15 och förklaras via nackdelen av CrCM under figur 17, där nackdelen med hög rippelström beskrivs. Samtidigt har DCM ingen klar fördel sett till prestanda vid jämförelse med CrCM. Med detta i åtanke kan DCM uteslutas som alternativ.

CrCM verkar på gränsen mellan CCM och DCM och kan ses som ett specialfall av CCM. CrCM använder konstant ledningstidskontroll (on-time control); nätspänningen varierar över en 50 Hz linjecykel och återställningstiden (reset time) för H-PFC-induktorn varierar, likaså driftfrekvensen för att bibehålla att den håller sig i gränsläget. CrCM baseras på att H-PFC regulatorn ska känna av induktorns nollpassering (zero crossing) för att på så sätt kunna trigga nästa switch-cykel. Se figur 16 för induktorströmmen i CrCM.



Figur 16 CrCM, redigerad och tagen från [18]

Induktorns rippelström (peak-strömmen) i CrCm är dubbelt så hög som medelvärdet vilket kraftigt ökar MOSFET rms-strömmarna och strömmarna vid frånslag. Samtidigt startar varje switch-cykel vid 0 A och vanligtvis vid ZVS (zero volt switching eller nollvoltsswitchning) vilket leder till att förluster vid tillslag elimineras. ZVS är en tillämpning som "lurar" kapacitansen över transistorn, vilken är laddad med spänningen V_{ds} , att laddas ur innan gaten får sin triggersignal vilket leder till att det inte finns någon spänning över drain source (V_{ds}) vid tillslaget, se figur 17. Då uppspännings-likriktardioden stängs av vid nollström så elimineras även reverse recovery och brus i dioden vilket kan ses som en annan stor fördel med CrCM-läget.

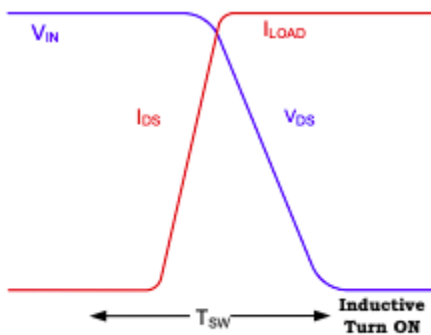


Fig. 1a. Inductive, hard switched turn on

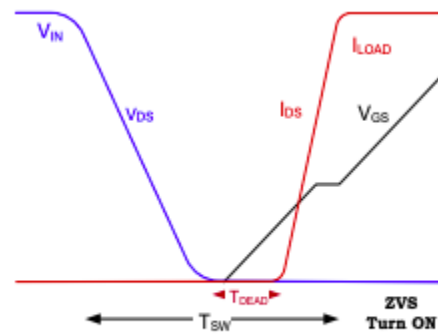
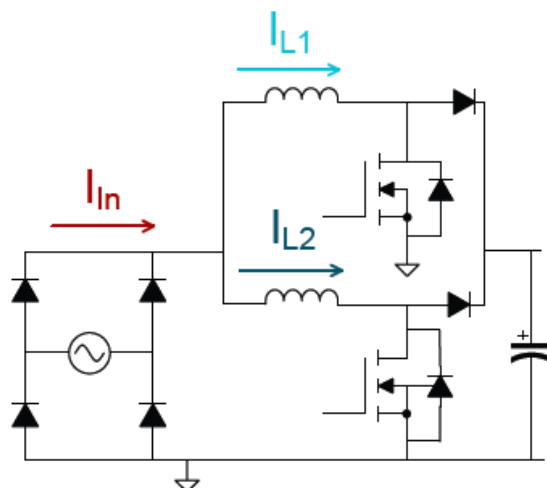


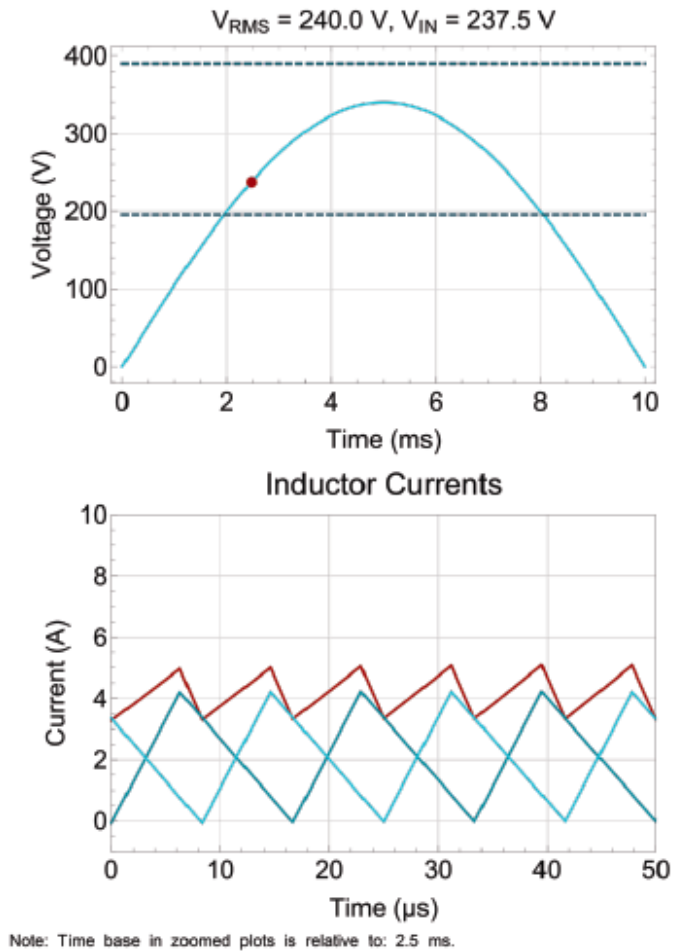
Fig. 1b. Inductive, ZVS turn on

Figur 17. Visar principen av ZVS (zero volt switching) där V_{ds} minskar innan tillslaget för att uppnå ett förlustfritt tillslag. Figuren är tagen från [8].

Det som talar emot CrCM är den höga inströmmens rippel och dess påverkan på EMI-filtarna vilket vanligtvis leder till en uteslutning av CrCM vid design för högre effekter såvida det inte kompenseras med en Interleaved topologi vilken kan reducera högfrekvent strömrippel. Interleaved topologin baseras på att två stycken omvandlare verkar samtidigt fasförskjutna 180 grader ifrån varandra vilket får strömmen att delas upp mellan dem, topologin ses i figur 18. Rippleströmmen blir mindre i denna lösningen eftersom summan av de två strömmarna ger den totala strömmen, se [figur 19](#). En sådan metod är dock betydligt dyrare vilket leder till att CrCM inte ses som ett lämpligt tillvägagångssätt för detta examensarbete.

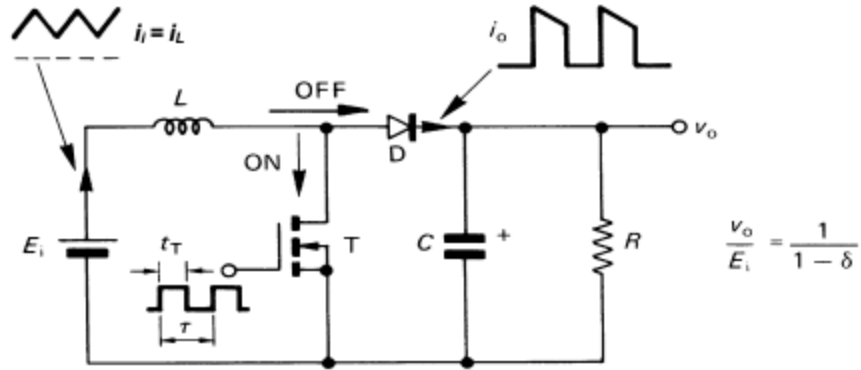


Figur 18 visar topologin för en Interleaved H-PFC-krets. Figuren är tagen från [\[2\]](#).



Figur 19, visar hur den totala strömmen (röd) vid en viss spänning ser ut där de två nyanserna av blått motsvarar strömmarna för varsin omvandlare i en interleaved topologi. Observera att de blå strömmarna representerar I_{L1} och I_{L2} medan den röda betecknar I_{in} från figur 18. Figuren är tagen från [2].

Eftersom CrCm är ett specialfall av CCM så är ekvationerna och överföringsfunktionerna för effektsteget samma för CCM och CrCM, se [ekvation 13](#). Det är strömriplen och switchningsfrekvensen som framförallt är de stora skillnaderna och dessa påverkar RMS-strömmen, switchningsförluster och filterdesignen.



Figur 20 visar en uppspänningsomvandlare med tillhörande överföringsfunktion. Figuren är tagen från [9].

Genom att beräkna induktorströmmen då transistorn är på och av så kan man få fram överföringsfunktionen för spänningen och strömmen för figur 20. Pulskvot (Duty cycle) $\delta = \frac{t_T}{t}$, t_T är tiden då transistorn är ledande. $P_{in} = P_{out}$ vilket innebär att $E_i \cdot I_L = V_o \cdot I_o$ antas.

$$T_{on}: E_i = L \cdot \frac{\Delta i_L}{\Delta t}, \Delta t = t_T \Leftrightarrow \Delta i_L = E_i \cdot \frac{t_T}{L} \quad (11)$$

$$T_{off}: V_o - E_i = L \cdot \frac{\Delta i_L}{\Delta t}, \Delta t = t - t_T \Leftrightarrow \Delta i_L = \frac{(V_o - E_i) \cdot (t - t_T)}{L} \quad (12)$$

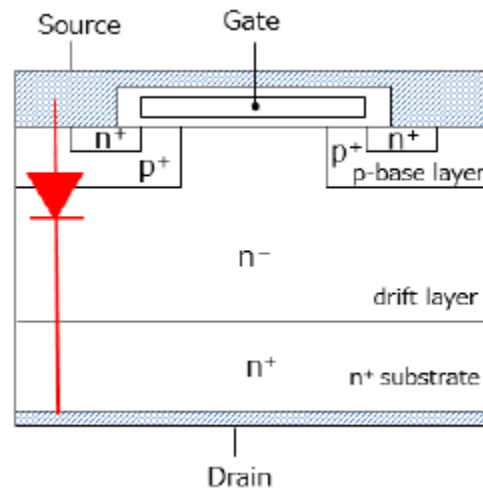
$$\Rightarrow \Delta i_L = \frac{(V_o - E_i) \cdot (t - t_T)}{L} = E_i \cdot \frac{t_T}{L} \Leftrightarrow \frac{V_o}{E_i} = \frac{t}{t - t_T} = \frac{1}{1 - \delta} \quad (13)$$

Vid CCM-drift krävs en större H-PFC-induktor än vid CrCM. För en CCM H-PFC så är strömrippeln vanligtvis designad för att vara 20-40 procent av den genomsnittliga inströmmen vilket har många fördelar:

- Peak strömmen är lägre och RMS-strömfaktorn reduceras kraftigt med en trapetsformad vågform jämfört med en triangelvåg vilket bidrar till minskade ledningsförluster.
- Förluster vid frånslag är lägre då det sker vid mycket lägre maxström.
- Den högfrekventa rippelströmmen som dämpas av EMI-filtret är mycket lägre i amplitud.

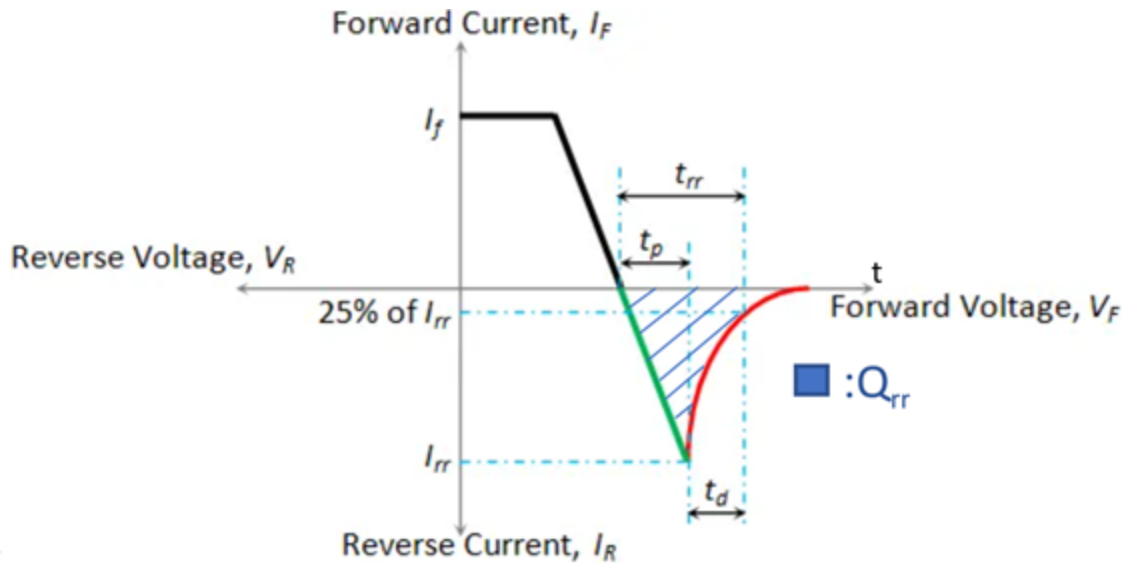
Samtidigt har CCM frånslagsförluster i H-PFC-MOSFET vilket kan förvärras av uppspännings-liktdiodens reverse recovery-förluster på grund av reverse recovery charge (Q_{rr}), se figur 17 och figur 22 för förklaring av Q_{rr} . Av den här anledningen så krävs det extremt snabba recovery dioder eller kiselkarbid Schottky-dioder med en exceptionellt låg Q_{rr} för att CCM ska kunna motiveras som ett lämpligt alternativ.

Reverse recovery är ett fenomen som dioder utsätts för vid frånslag, det vill säga, att vara i ett ledande tillstånd och övergå till ett icke-ledande tillstånd. I diodens framspända läge (då den är strömledande) kommer en stor mängd elektroner och hålbärare (positiva laddningsbärare) injiceras i driftskiktet. Då dioden är backspänd kommer hålbärare att svepas ut ur driftskiktet tills den positiva strömmen blir noll. Under denna process flyter en stor recovery-ström genom dioden i motsatt riktning. Denna strömmen orsakar en stor reverse-recovery-förlust.



Figur 21, en kroppsdiod i en MOSFET. Figuren är tagen från [\[10\]](#).

Vidare kan man säga att reverse recovery är en process under vilken appliceringen av en omvänd förspänning gör att en kroppsdiod i det framåtledande tillståndet växlar till det omvända blockerande tillståndet (Utsvepandet av hålbärarna) vilket gör att en reverse recovery-ström flyter. Denna process fortsätter tills reverse-recovery-strömmen blir noll. Se figur 21 för transistorns kroppsdiod och figur 22 för reverse-recovery strömmen.



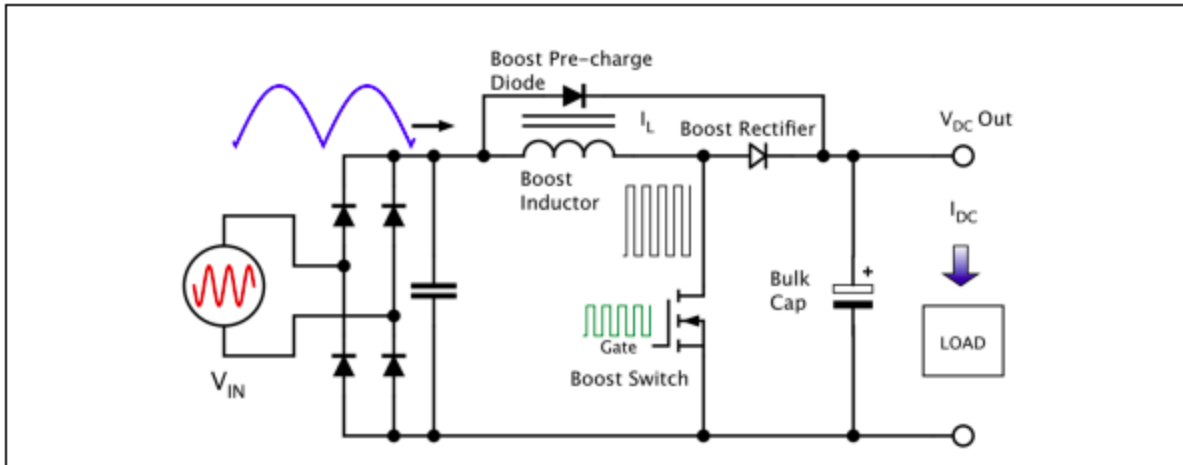
Figur 22, visar reverse recovery strömmen och den oönskade laddningen Q_{rr} vilket skapas som resultat av den strömmen. Figuren är redigerad och tagen från [17].

Sammanfattningsvis kan man konstatera att CrCM lämpar sig väl för lågeffektsapplikationer där man kan utnyttja fördelarna med effekttätheten och förmågan att spara energi. Denna fördel kan sträcka sig till mediumeffektsnivåer men där börjar den låga filtreringsförmågan och den höga peak-strömmen bli allt för stora nackdelar. Vid denna gräns tycks CCM-uppspänningsomvandlare vara ett bättre val och således bättre för applikationer med hög effekt.

[2.2 Design av H-PFC CCM uppspänningsomvandlare](#)

Då en H-PFC ska tas fram är det framförallt några komponenter som ska dimensioneras rätt för att resterande ska fungera som en helhet. Många av dessa visas i figur 23 vilka även är de som beräknas i [2.2.1](#).

De komponenter som genomsyrar en CCM H-PFC är H-PFC-induktorn, transistorn (switchen) vilket vanligtvis är en MOSFET, bulk-kondensatorn, likriktarbryggan, dioden, shunt-resistorn, H-PFC-regulatorn, och en rad andra kringkomponenter som filter och op-förstärkare av olika slag.



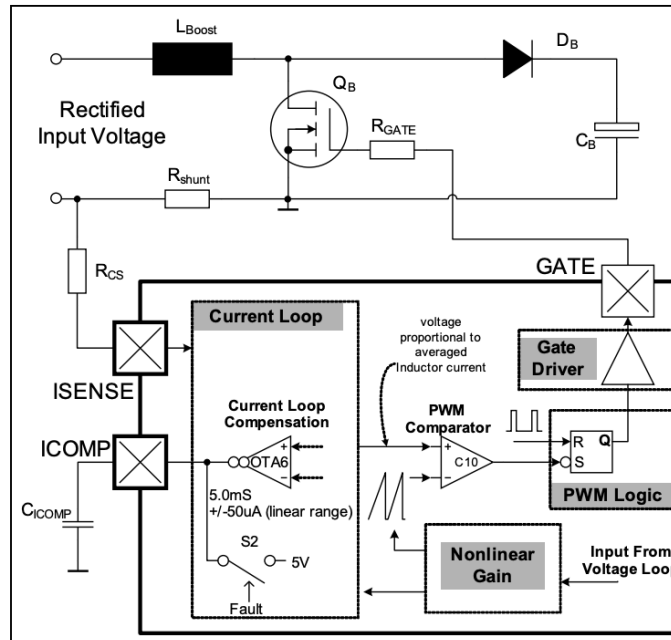
Figur 23, uppspänningsomvandlaren med de komponenter som beräknas i kommande stycken. Tagen från [4].

Då uppspänningsomvandlaren ska beräknas är det viktigt att tänka på att effektförlusterna och påfrestningarna på kretsen kommer bli som störst när strömmen är så hög som möjligt, det vill säga vid den lägsta möjliga ratade nätspänningen ($V_{ac\ min}$) som den kan verka på. Därför konstrueras den utefter det extrema fallet.

Nyckelspecifikationerna måste definieras då de är dessa som ligger till grund för hur komponenterna ska designas.

Återkoppligssignalen V_{fb} (Feedback/shutdown) representerar utgångsspänningen V_{out} för att agera som referens till OVP (Over voltage protection) för att skydda kretsen från att ta skada från onormalt höga spänningar. Dessa gränser är givna i databladet för H-PFC-regulatorn där OVP aktiveras vid 108% av det dimensionerande värdet för V_{fb} .

R_{shunt} används för att mäta spänningsfallet (resultat av induktorströmmen) till ISENSE-pin på H-PFC-regulatorn. Det är detta som är signalen för medelströmsregleringen i strömåterkopplingen (strömloopen). R_{shunt} är även kopplad till toppströmsbegränsningsblocket. Vid uppstart så förekommer det stora strömmar vilket leder till ett stort negativt spänningsfall över R_{shunt} vilket drar ut strömmar ur pin 2 (ISENSE) som kan vara väl över det maximala tillåtna värdet. På grund av detta lägger man till R_{cs} som seriekopplas med ISENSE i kretsschemat, se figur 24, för att begränsa strömmen in i IC:n.



Figur 24, bild på strömmåterkopplingen i H-PFCn. Tagen från [7]

| | |
|--|-------------------|
| - Inspänning V_{in} (V_{acLL} - V_{acHL}) | - 85-265 V_{AC} |
| - Nätfrekvens (räkna med den lägsta) F_{LINE} | - 47-63 Hz |
| - Utspänning (V_{dc}) | - 400 V |
| - Maximal uteffekt (P_{out}) | - 2400 W |
| - Induktorns strömrippel vid V_{acLL} och P_{out} | - 25% |
| - Utspänningens 100 Hz rippel (vanligtvis $\pm 5\%$ av utspänningen) | - 20 V_{p-p} |
| - Hold-up time (uppehållstid) (vanligtvis en cykel av nätfrekvensen) $t_{hold-up}$ | - 20 ms |
| - Switchingsfrekvens f_{sw} | - 65 kHz |
| - Estimerad verkningsgrad (Svårt att estimeras innan) | - 0,93 |

Tabell 1, designkrav för H-PFC kretsen

2.2.1 Beräkningar av komponenter

De ekvationer som används är alla tagna från [4] "PFC boost converter design guide". Vissa ekvationer gällande den magnetiska kärnan kompletteras dock via ekvationer från MAGNETICS [14] och [15].

H-PFC-induktor

H-PFC-induktorn beräknas enligt formeln:

$$L = \frac{1}{\%ripple} \cdot \frac{V_{acLL}^2}{P_{out}} \left(1 - \frac{\sqrt{2} \cdot V_{acmin}}{V_{out}}\right) \cdot T = \frac{1}{0,25} \cdot \frac{(85V)^2}{2400W} \left(1 - \frac{\sqrt{2} \cdot 85V}{2400W}\right) \cdot \frac{1}{65 \cdot 10^3 Hz} = 175,98 \mu H \quad (14)$$

$$I_{L,max} = \frac{\sqrt{2} \cdot P_{out}}{V_{ac,min}} \cdot \left(1 + \frac{\%ripple}{2}\right) = \frac{\sqrt{2} \cdot 2400W}{85V} \left(1 + \frac{0,25}{2}\right) = 44,9 A \quad (15)$$

Detta säger att mättnings(saturation)-strömmen för H-PFC-induktorn måste vara högre än 44,9 A.

Vi antar att vi använder en 60 μ Kool M μ kärna från Magnetics Inc. Dessa består av två på varandra staplade "Kool M μ " 77083A7 toroid-kärnor med 64 varv av 1.15 mm koppartråd med en DC-resistans på 70 m Ω och induktansen sträcker sig från 680 μ H vid noll last som sjunker till 165 μ H vid V_{acLL} och full last, vilket ligger ganska nära det beräknade värdet.

Induktorns RMS-ström och kopparförluster kan beräknas enligt:

$$I_{L,rms} \cong I_{in,rms} = \frac{P_{out}}{V_{ac,min}} = \frac{2400W}{85V} = 28,235 A \quad (16)$$

$$P_{L,cond} = I_{L,rms}^2 \cdot DCR = (28,235 A)^2 \cdot 0,07 \Omega = 55,806 W \quad (17)$$

Beräkningarna för den magnetiska kärnan (60 μ "Kool M μ ") görs via en rad olika ekvationer där man behöver ta fram H- och B-fältets maximi- och minimivärden (magnetiska fältstyrkan och magnetiska flödestätheten) för att sedan kunna ta fram peak-effekten och medeleffekten för en period (line cycle).

För två på varandra staplade 60 μ "Kool M μ " toroider får man:

$$Path\ length\ l_e = 98,4\ mm$$

$$Cross\ section\ area\ A_e = 2 \cdot 107\ mm^2$$

$$Volume\ V_e = 2 \cdot 106,00\ mm^3$$

Genom att använda den maximala induktorströmmen, $I_{L,max}$, så kan den magnetiska fältstyrkan vid peaken av en period beräknas enligt:

$$H_{max} = \frac{0,4 \cdot \pi \cdot N \cdot I_{L,max}}{l_e(i\text{ cm})} = \frac{0,4 \cdot \pi \cdot 64 \cdot 44,9\text{ A}}{l_e(i\text{ cm})} = 366,97\text{ Oersteds} \quad (18)$$

Den minsta ström och magnetiska fältstyrka vid peaken av en period kan beräknas enligt följande ekvation och illustreras i [figur 13](#):

$$I_{L,min} = \frac{P_{out} \cdot \sqrt{2}}{V_{ac,min}} \left(1 - \frac{\%rippel}{2}\right) = \frac{2400\text{ W} \cdot \sqrt{2}}{85\text{ V}} \left(1 - \frac{25\%}{2}\right) = 34,94\text{ A} \quad (19)$$

$$H_{min} = \frac{0,4 \cdot \pi \cdot N \cdot I_{L,min}}{l_e(i\text{ cm})} = \frac{0,4 \cdot \pi \cdot 64 \cdot 34,94\text{ A}}{l_e(i\text{ cm})} = 285,57\text{ Oersteds} \quad (20)$$

Flödestätheten för 60 μ Koolu-material är enligt [16] sida 23:

$$B = \left(\frac{a + b \cdot H + c \cdot H^2}{a + d \cdot H + e \cdot H^2}\right)^x \quad (21)$$

där $a = 1,658 \cdot 10^{-2}$, $b = 1,831 \cdot 10^{-3}$, $c = 4,621 \cdot 10^{-3}$, $d = 4,700 \cdot 10^{-3}$ och $e = 3,833 \cdot 10^{-5}$, $x = 0,5$

Den största och minsta magnetiska flödestätheten vid peaken av en period är:

$$B_{max} = \left(\frac{a + b \cdot H_{max} + c \cdot H_{max}^2}{a + d \cdot H_{max} + e \cdot H_{max}^2}\right)^x = 9,4998\text{ Tesla} = 9,4998\text{ kGauss} \quad (22)$$

$$B_{min} = \left(\frac{a + b \cdot H_{min} + c \cdot H_{min}^2}{a + d \cdot H_{min} + e \cdot H_{min}^2}\right)^x = 9,1734\text{ Tesla} = 9,1734\text{ kGauss} \quad (23)$$

Växelströmmens flödessvängning (flux swing) vid peaken av en period är:

$$\Delta B = \frac{B_{max} - B_{min}}{2} = 0,1632\text{ kGauss} \quad (24)$$

Kärnans peak-förlust vid peaken av perioden är:

$$P_{core.pk} = PL \cdot V_e \quad (25)$$

där PL står för kärnförlust-densitet (Core loss density) och ser ut enligt följande:

$$PL = a \cdot \Delta B^b \cdot \left(\frac{f}{10^3}\right)^c \quad (26)$$

Konstanterna a, b, c är ej samma som de föregående i ekvation (21). De har istället värdena $a = 1$ $b = 2.00$ samt $c = 1.46$ för kärnförlusts-densitets-kurvor (core loss density curves) enligt [16] sida 30. Således kan vi få fram att $P_{core.pk}$ blir:

$$P_{core.pk} = 1 \cdot (0,1632)^2 \cdot \left(\frac{65 \cdot 10^3}{10^3}\right)^{1.46} \cdot 2 \cdot 10600 \cdot 10^{-6} = 0,2504 \text{ W} \quad (27)$$

Medelförlusten för kärnan längs med en period är:

$$P_{core.av} = P_{core.pk} \cdot \frac{2}{\pi} = 0,159 \text{ W} \quad (28)$$

Likriktarbrygga

Likriktarbryggans medelström beräknas genom att integrera över en halv period, där två dioder av likriktarbrygga är inblandade, vilket leder till att man får formeln:

$$I_{average} = \frac{2}{\pi} \frac{\sqrt{2} \cdot P_{out}}{V_{ac,min}} = \frac{2}{\pi} \frac{\sqrt{2} \cdot 2400 \text{ W}}{85 \text{ V}} = 25,421 \text{ A} \quad (29)$$

För att få effekten över en period måste man multiplicera med två eftersom det berör två stycken dioder för varje halvperiod:

$$P_{bridge} = I_{average} \cdot V_{f,bridge} = 2 \cdot 25,421 \text{ A} \cdot 1 \text{ V} = 50,841 \text{ W} \quad (30)$$

MOSFET

Viktigt är att ta med continuous diode forward current I_S :

$$I_{S,rms\ average} = \frac{P_{out}}{V_{ac,min}} \cdot \sqrt{1 - \frac{8 \cdot \sqrt{2} \cdot V_{ac,min}}{3 \cdot \pi \cdot V_{out}}} = \frac{2400 \text{ W}}{85 \text{ V}} \cdot \sqrt{1 - \frac{8 \cdot \sqrt{2} \cdot 85 \text{ V}}{3 \cdot \pi \cdot 400 \text{ V}}} = 24,369 \text{ A} \quad (31)$$

Då databladet för den MOSFET som används, och hittas i källförteckningen som [19], säger att $R_{DS(on),max} = 0,040 \Omega$

Med denna information given kan man beräkna att den effekten då transistorn är ledande borde vara:

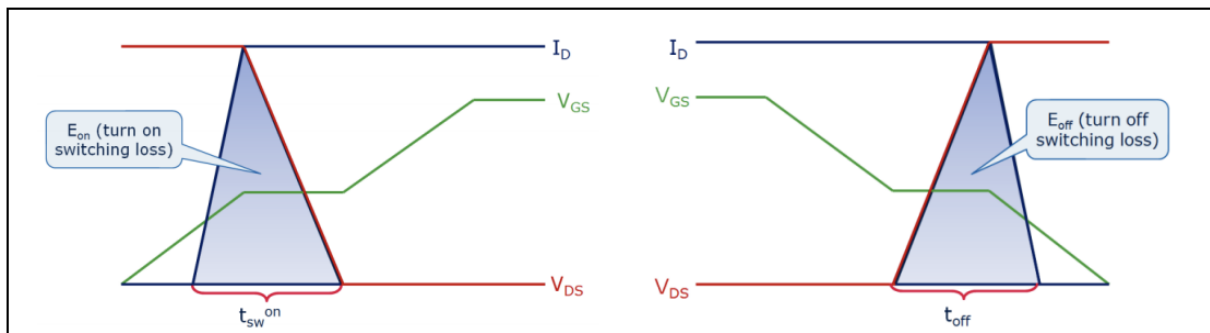
$$P_{S,cond} = I_{S,rms}^2 \cdot R_{on(100\text{ }^\circ\text{C})} = 24,369^2 \cdot (0,040 \cdot 1,8) = 42,759 \text{ W} \quad (32)$$

$$\text{(Om man antar att } R_{on(100\text{ }^\circ\text{C})} = 1,8 \cdot R_{on(25\text{ }^\circ\text{C})})$$

För att beräkna switch-förlusterna över en cykel så används den genomsnittliga inströmmen:

$$I_{in,rms} = \frac{P_{out}}{V_{ac,min}} = \frac{2400 \text{ W}}{85 \text{ V}} = 28,235 \text{ A} \quad (33)$$

Beräkningarna är baserade på switch-tid, där en triangulär area mellan ström- och spänningsförändringen bidrar till switch-förlusterna, se figur 25 för förtydligande.



Figur 25, en förenklad figur över vågformerna för tillslag och frånslag. Tagen från [4].

Tillslagstiden och förlusten blir:

$$\begin{aligned} t_{on} &= C_{iss} \cdot R_g \cdot \ln\left(\frac{V_g - V_{th}}{V_g - V_{pl}}\right) + C_{rss} \cdot R_g \cdot \left(\frac{V_{ds} - V_{pl}}{V_g - V_{pl}}\right) = \\ &= 4340 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot 1,8 \Omega \cdot \ln\left(\frac{12 \text{ V} - 3,5 \text{ V}}{12 \text{ V} - 5,4 \text{ V}}\right) + 75 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot 1,8 \Omega \cdot \left(\frac{400 \text{ V} - 5,4 \text{ V}}{12 \text{ V} - 5,4 \text{ V}}\right) = 10 \cdot 10^{-9} \text{ s} \end{aligned} \quad (34)$$

$$\left(V_{ds} = V_{out} = 400 \text{ V}, C_{rss} = \frac{Q_{gd}}{V_{ds}} = \frac{93 \cdot 10^{-9} \text{ nC}}{400} = 75 \cdot 10^{-12} \text{ F} \right) \quad (35)$$

$$\begin{aligned} P_{S,on} &= 0,5 \cdot I_{L,avg} \cdot V_{out} \cdot t_{on} \cdot f = 0,5 \cdot 28,235 \text{ A} \cdot 400 \text{ V} \cdot 10 \cdot 10^{-9} \text{ s} \cdot 65 \cdot 10^3 \text{ Hz} \\ &= 3,67 \text{ W} \end{aligned} \quad (36)$$

Frånslagstid och förlusten blir:

$$t_{off} = C_{rss} \cdot R_g \cdot \left(\frac{V_{ds} - V_{pl}}{V_{pl}} \right) + C_{iss} \cdot R_g \cdot \ln \left(\frac{V_{pl}}{V_{th}} \right) =$$

$$= 75 \cdot 10^{-12} F \cdot 1,8 \Omega \cdot \left(\frac{400 - 5,4}{5,4} \right) + 4340 \cdot 10^{-12} F \cdot 1,8 \Omega \cdot \ln \left(\frac{5,4}{3,5} \right) = 13,3 \cdot 10^{-9} s \quad (37)$$

$$P_{S.off} = 0,5 \cdot I_{L.avg} \cdot V_{out} \cdot t_{off} \cdot f = 0,5 \cdot 28,235 A \cdot 400 V \cdot 13,25 \cdot 10^{-9} s \cdot 65 \cdot 10^3 Hz$$

$$= 4,86 W \quad (38)$$

Utgångskapacitansens (C_{oss}) switchförluster blir:

$$P_{S.oss} = E_{oss} \cdot f = 11,7 \cdot 10^{-6} \text{ joule} \cdot 65 \cdot 10^3 Hz = 0,761 W \quad (39)$$

Förlusten för gate drive definieras som:

$$P_{S.gate} = V_g \cdot Q_g \cdot f = 12 V \cdot 93 \cdot 10^{-9} nC \cdot 65 \cdot 10^3 Hz = 0,0725 W \quad (40)$$

Den total förlusten i MOSFET definieras som:

$$P_{S.total} = P_{S.cond} + P_{S.on} + P_{S.off} + P_{S.oss} = (42,759 + 3,67 + 4,86 + 0,761) W = 52,1 W \quad (41)$$

Uppspänningsdiod (Boost rectifier diode)

Det är viktigt att dioden i [figur 20](#) (D) inte är feldimensionerad då det kan leda till att reverse recovery bidrar till stora effektförluster och även ge upphov till brus och höga strömspikar.

Kiselkarbid (SiC) Schottky dioder har en kapacitiv laddning Q_C istället för en reverse recovery charge Q_r vilket bidrar till att de har en switch-förlust och återhämtningstid (recovery time) som är mycket lägre jämfört med en extremt snabb Kiseldiod vilket bidrar till en bättre prestanda. Dessutom tillåter SiC-dioder en design av högre switch-frekvenser och därmed har man omvandlare med högre effekttäthet.

Då uppspänningsdioden är ledande så är medelströmmen och medelförlusterna:

$$I_{D,avg} = \frac{P_{out}}{V_{out}} = \frac{2400 W}{400 V} = 6 A \quad (42)$$

$$P_{D.cond} = I_{D,avg} \cdot V_{f,diode} = 6 A \cdot 1,5 V = 9 W \quad (43)$$

Switch-förlusterna för uppspänningsdioden (vilka utförs av MOSFET) är:

$$P_{D.switch} = 0,5 \cdot V_{out} \cdot Q_C \cdot f = 0,5 \cdot 400 \text{ V} \cdot 23 \cdot 10^{-9} \text{ nC} \cdot 65 \cdot 10^3 \text{ Hz} = 0,3 \text{ W} \quad (44)$$

Diodens totala förlust blir därmed:

$$P_{D.total} = P_{D.cond} + P_{D.switch} = 9 \text{ W} + 0,3 \text{ W} = 9,3 \text{ W} \quad (45)$$

Output Capacitor (Bulk)

Bulkkondensatorn måste dimensioneras så att den både klarar av Uppehållstid (hold-up time)(20 ms) och lågfrekvensripplet (20 V). Bulkkondensatorn väljs enligt det värde som blir störst av de ekvationerna nedan:

$$C_{out} \geq \frac{2 \cdot P_{out} \cdot t_{hold}}{V_{out}^2 - V_{out.min}^2} = \frac{2 \cdot 2400 \text{ W} \cdot 20 \text{ ms}}{400 \text{ V}^2 - 280 \text{ V}^2} = 1177 \text{ } \mu\text{F} \quad (46)$$

$$C_{out} \geq \frac{P_{out}}{2 \cdot \pi \cdot f_{line} \cdot \Delta V_{out} \cdot V_{out}} = \frac{2400 \text{ W}}{2 \cdot \pi \cdot 50 \text{ Hz} \cdot 20 \text{ V} \cdot 400 \text{ V}} = 954,9 \text{ } \mu\text{F} \quad (47)$$

Detta säger att C_{out} bör vara 1177 μF .

Detta leder till att man kan parallellkoppla två 680 μF , 400 V med en avledningsfaktor (dissipation factor, DF) på 0,15 vilket leder till att den ekvivalenta serieresistanses (ESR) kan beräknas:

$$ESR = \frac{DF}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_{out}} = \frac{0,15}{2 \cdot \pi \cdot 100 \text{ Hz} \cdot (2 \cdot 680 \text{ } \mu\text{F})} = 0,1755 \text{ } \Omega \quad (48)$$

Kondensatorns RMS-ström längs med 50 Hz cykeln kan beräknas enligt följande ekvation.

$$I_{C.out,rms} = \sqrt{\frac{8 \cdot \sqrt{2} \cdot P_{out}^2}{3 \cdot \pi \cdot V_{ac.min} \cdot V_{out}} - \frac{P_{out}^2}{V_{out}^2}} = \sqrt{\frac{8 \cdot \sqrt{2} \cdot (2400 \text{ W})^2}{3 \cdot \pi \cdot 85 \text{ W} \cdot 400 \text{ W}} - \frac{(2400 \text{ W})^2}{(400 \text{ V})^2}} = 12,937 \text{ A} \quad (49)$$

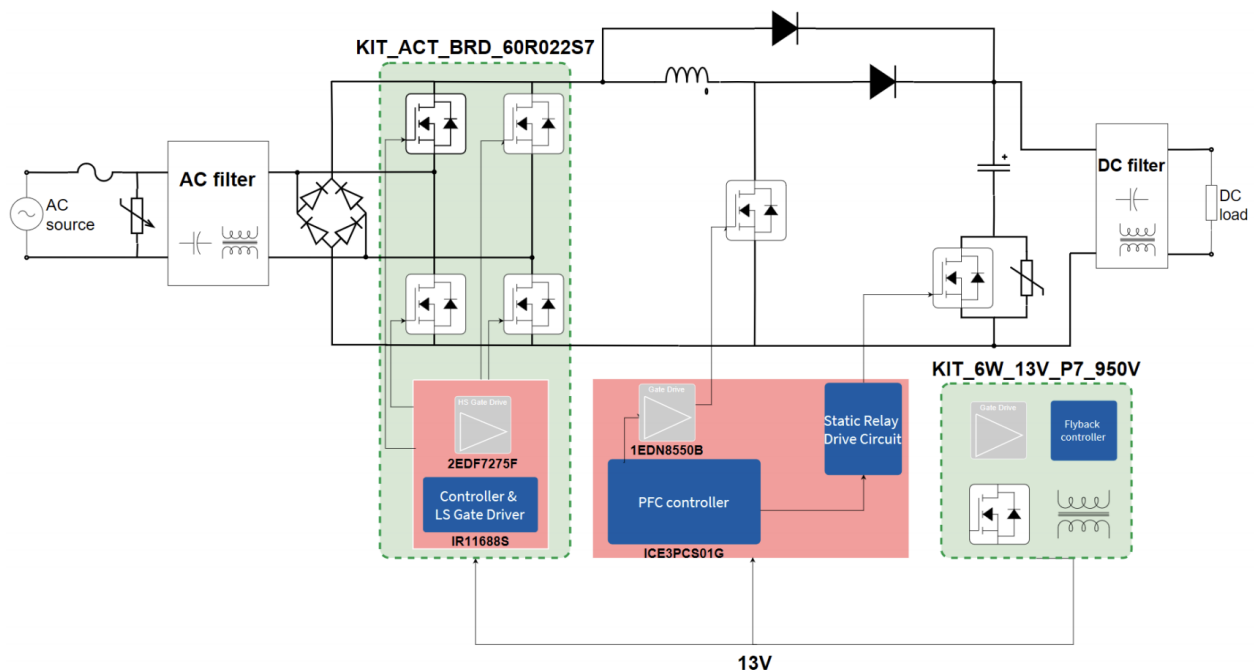
$$P_{C.out} = I_{C.out,rms}^2 \cdot ESR = (12,937 \text{ A})^2 \cdot 0,1755 = 29,279 \text{ W} \quad (50)$$

2.3 IEC 61000-3-2

Standarden IEC 61000-3-2 behandlar begränsningar av övertoner i ett system för att minimera systemets påverkan på elnätet. Standarden beskriver gränsvärden för de 40 stycken första övertonerna. Denna standard tillämpar elektriska system med en ingångsström upp till 16 A per fas avsedda att anslutas till distributionssystem för lågspänning.

2.4 Utvecklingskort

Ett utvecklingskort kan användas av företag när vissa tester behöver göras, dessa kretsar är designade med alla komponenter som är nödvändiga för att nå de krav som beställaren ställer. Företag väljer ibland att använda sig av utvecklingskort innan de börjar konstruera deras egna krets för att utföra tester med de in- och utparametrar de har för att se vad för typ av komponenter som är nödvändig för att lösa problemet. Detta görs oftast innan designing och konstruktion av kretsen då detta kan vara tidskrävande och kostsamt. Ett utvecklingskort kan både köpas och ges bort av bolag som Infineon och Texas Instruments, det senare görs ofta då dessa tillverkare vill få företag som ASSA ABLOY att använda deras komponenter i nya produkter. Därför kan detta fungera som en typ av marknadsföring av exempelvis Infineon. Vi använder oss av "CCM PFC demo board with 600 V CoolMOSTM S7 for activeline rectification and inrush current control" vilken är ett utvecklingskort framtaget av Infineon. Dess topologi för kretsen visas i figur 26.



Figur 26 tagen från [5]

De färglagda partierna i figur 26 markerar olika mindre kretsar med tillhörande styrkontroller för de viktiga MOSFET:arna i kretsen.

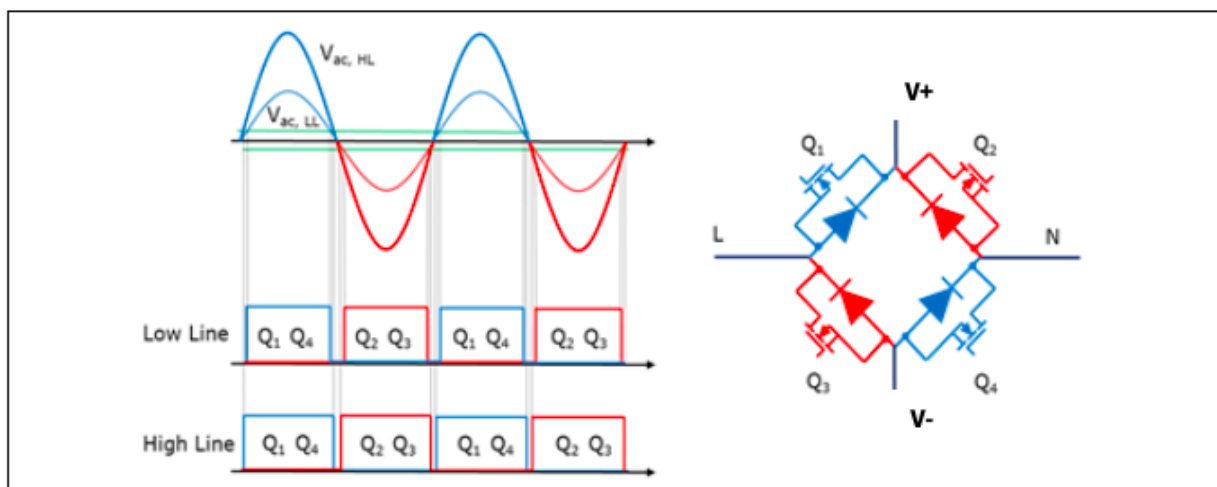
KIT_6W_12V_P7_950V - vilken man ser till höger i figur 26 är ett bias supply evaluation kit vilket förser H-PFC-regulatorn, drivsteget för H-PFC-switchen och halvledarrelät (solid-state relay) med 12-13 V. Det används även för att ge ström till den aktiva bryggans dotterkort, se [figur 34](#). (the active-bridge daughter card). Det ger alltså kraft till fläkt, gatedrivers och regulatorn och får kraft av mellanledet (400V DC) där breakdown voltage är 950 V.

H-PFC-regulatorn ICE3PCS01G används enligt [figur 27](#) (topologin), figur 26 och [figur 35](#) (huvudkretsen). Den har 14 st pins enligt tabell 2. Hur den typiskt appliceras i en krets ser man på figur 26. Vid jämförelse av den typiska applikationen på [figur 27](#) och utvecklingskortets huvudkrets på figur 26 ser man att mycket inspiration är tagen av databladet för ICE3PCS01G och således från [figur 27](#).

| Pin | Symbol | Function |
|-----|----------|-----------------------------|
| 1 | BOFO | Boost Follower Setting |
| 2 | ISENSE | Current Sense Input |
| 3 | SGND | Signal Ground |
| 4 | ICOMP | Current Loop Compensation |
| 5 | FREQ | Switching Frequency Setting |
| 6 | VB_OK | Bulk Voltage OK signal |
| 7 | VBTHL_EN | PFC Enable Function |
| 8 | VREF | Voltage Reference |
| 9 | BOP | Brownout Protection |
| 10 | OVP | Over Voltage Protection |
| 11 | VSENSE | Bulk Voltage Sense |
| 12 | VCC | IC Supply Voltage |
| 13 | GATE | Gate Drive |
| 14 | PGND | Power Ground |

Tabell 2, pin-uppsättning H-PFC-regulatorn. Tagen från [7]

Styrningen av en aktiv brygga för likriktning är intuitiv och ses i figur 29. Under den positiva halvcykeln av elnätet är det Q_1 och Q_4 som är påslagna medan de andra är avslagna. Under den negativa halvcykeln är det istället Q_3 och Q_2 leder medan de andra är avstängda.



Figur 29 visar konceptet för styrningen av en aktiv brygga. Tagen från [5].

Det finns två sätt att styra switcharna för den aktiva bryggan:

1. Genom att mäta inspänningen V_{AC}
2. Genom att känna av spänningsfallet över MOSFET V_{DS}

Infineon väljer att använda alternativ två i databladet.

Motiveringen för införandet av en aktiv brygga i kretsen kommer ifrån att Infineon vill höja klassificeringen av kretsen från en 80 PLUS Platinum till en 80 PLUS Titanium, se figur 30. I databladet understryker de tydligt att det inte räcker att höja effektiviteten på komponenterna och samtidigt behålla samma struktur i kretsen om man vill nå 80 PLUS Titanium. Att använda en MOSFET med lägre $R_{DS,ON}$ eller en induktor med lägre kärnförluster är inte tillräckligt för att det ska påverka verkningsgraden i hela spännings- och lastintervallet.

Table 1 80 PLUS Titanium efficiency requirements classification

| 80 PLUS efficiency requirement | 115 V internal non-redundant (percent) | | | | 230 V internal non-redundant (percent) | | | |
|--------------------------------|--|----|----|-----|--|----|----|-----|
| | 10 | 20 | 50 | 100 | 10 | 20 | 50 | 100 |
| 80 PLUS Platinum | | 90 | 92 | 89 | | 90 | 94 | 91 |
| 80 PLUS Titanium | 90 | 92 | 94 | 90 | 90 | 94 | 96 | 91 |

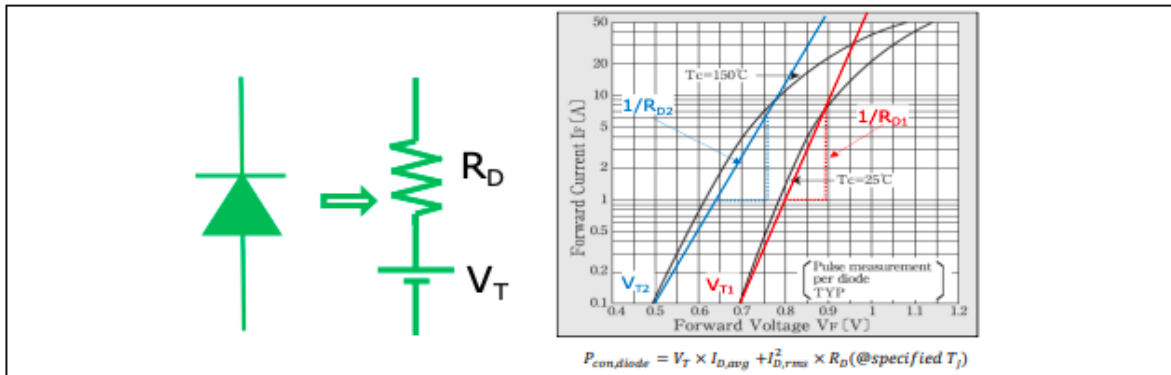
Figur 30, Beskriver de de olika klassificeringarna inom verkningsgrad: 80 PLUS Platinum och 80 PLUS Titanium. Tagen från [5].

De säger att en minskning av effektförlusterna i diodlikriktarbryggan är den enklaste och mest effektiva vägen för att nå en ökad verkningsgrad. Av detta skäl är införandet av en aktiv brygga en lämplig väg att ta.

Vidare är det viktigt att understryka att ledningsförlusterna i en MOSFET, se [figur 32](#), är lägre än vad de är i en diod och därför är en aktiv brygga således ett bättre alternativ för att höja verkningsgraden, se figur 33 för jämförelse. Den ekvivalenta kretsen för en diod realiseras som en DC-potential, V_T , i serie med en ekvivalent resistans R_D vilket kan ses i figur 31. Formeln för ledningsförlusten i en diod är:

$$P_{con} = V_T \cdot I_{D,avg} + I_{D,rms}^2 \cdot R_D (@specifierad T_j) \quad (51)$$

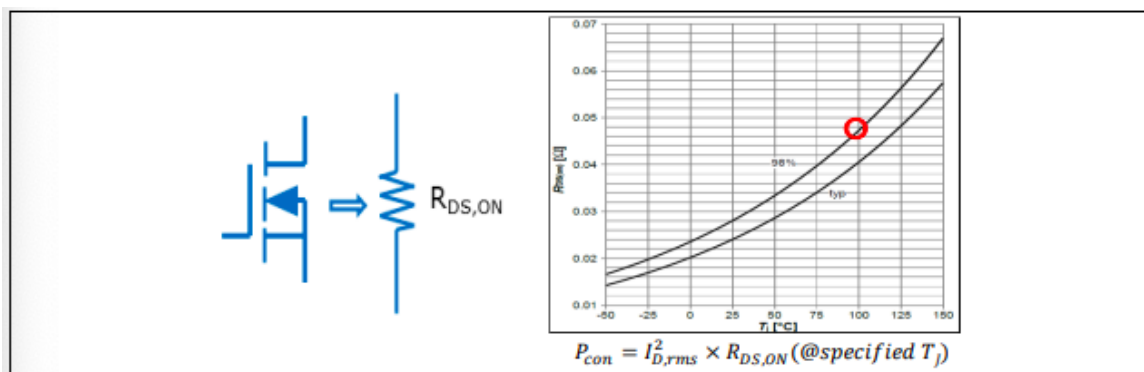
T_j är Thermal junction även kallad "virtual junction". Observera att $I_{D,avg}$ är definierad som medelströmmen över en ledningsperiod för en diod det vill säga maxströmmen dividerat på π . Eftersom ledningsspänningen för en diod är konstant så multipliceras V_T med $I_{D,avg}$.



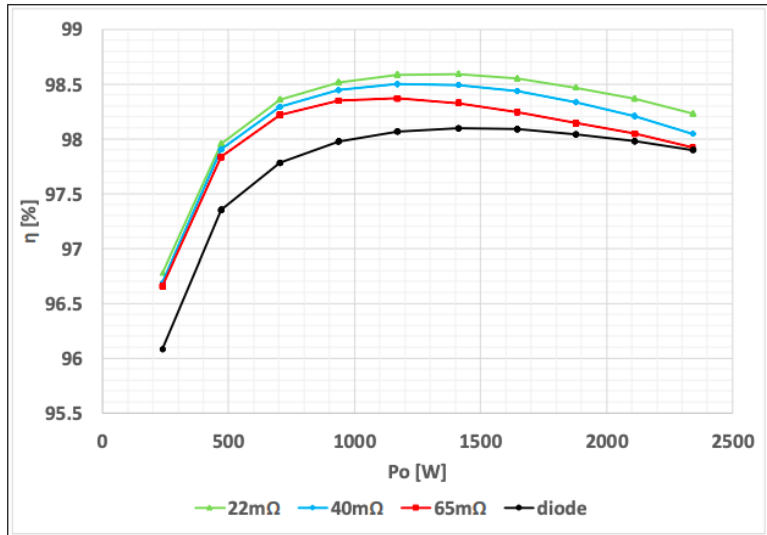
Figur 31, visar den ekvivalenta kretsen för en diod och dess förluster. Tagen från [\[5\]](#).

MOSFET:en kan modelleras som ett motstånd, vilket är $R_{DS,ON}$ vid en specificerad junction temperatur se figur 32. Ledningsförlusterna för en MOSFET beräknas enligt följande ekvation:

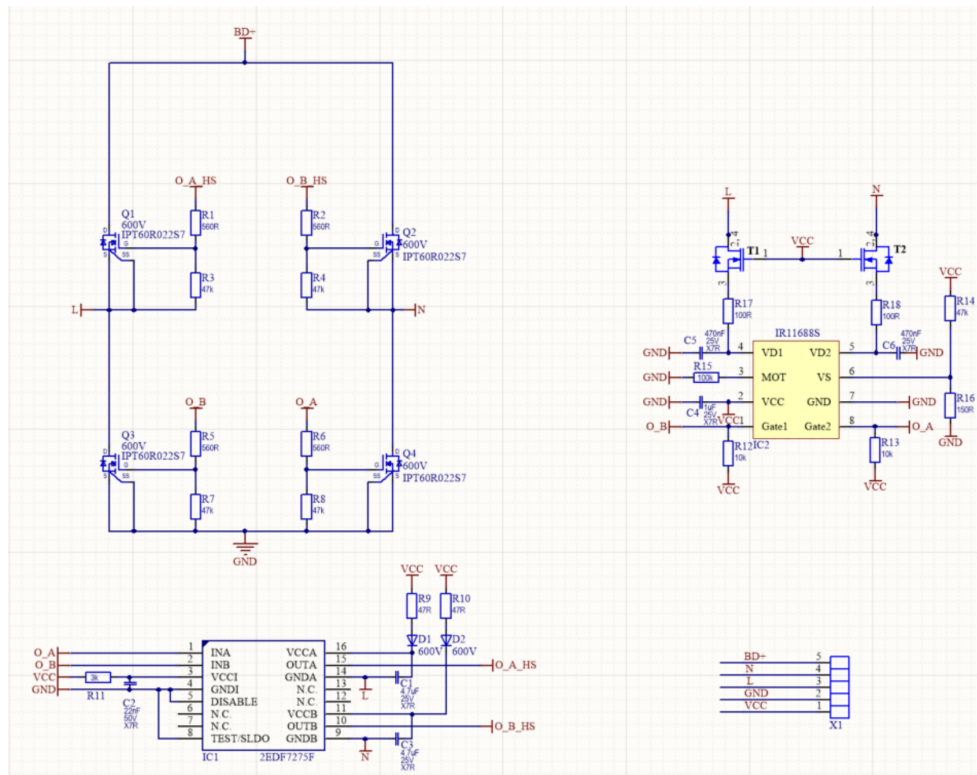
$$P_{con} = I_{D,rms}^2 \cdot R_{DS,ON} (@specifierad T_j) \quad (52)$$



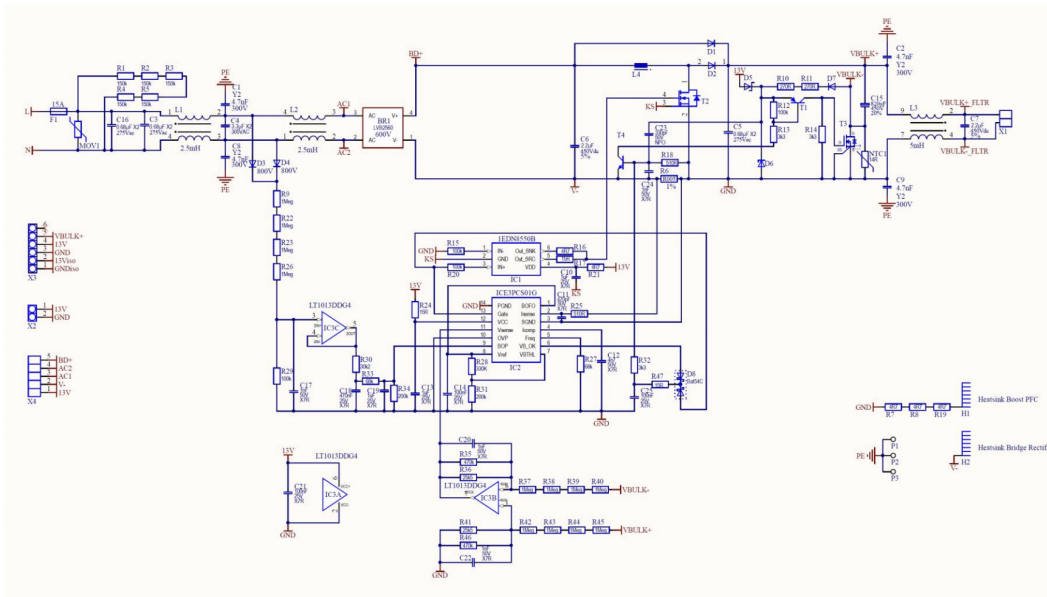
Figur 32, visar den ekvivalenta kretsen för en MOSFET och dess förluster. Tagen från [\[5\]](#).



Figur 33, visar verkningsgraden för olika lastfall för tre olika $R_{DS,ON}$ samt för diodlikriktarbyggen vid 230 V_{AC}. Mätningarna gjordes på EVAL_2K4W_ACT_BRD_S7-kortet. Tagen från [5].



Figur 34, kretsschema för dotterkortet. Tagen från [5].



Figur 35. Kretsschema för huvudkretsen. Tagen från [5].

2.5 Vridmoment

Vridmoment som mäts i enheten newtonmeter beror av kraften på hävarmen samt dess längd. Vridmoment beräknas genom följande formel: $\tau = F \cdot r$. F är kraften som verkar på hävarmen och r är längden på hävarmen. För att producera ett vridmoment i en asynkronmotor behöver rotorn snurra med en lägre frekvens än det roterande magnetiska fältets frekvens, $n_1 > n_2$. Differensen mellan n_1 och n_2 kallas eftersläpning där eftersläpningen är beroende av lasten och vanligtvis brukar ligga på några få procent.

När en asynkronmotor startas med en frekvensomriktare görs detta med låg frekvens och låg spänning för att därefter rampa upp successivt.

Asynkronmotorn arbetar bäst vid ett konstant magnetiskt flöde i statorn. Vid olika frekvenser måste därför spänningen ändras proportionellt med frekvensen för att nå det konstanta flödet i statorn.

Med drift av frekvensomriktare brukar man förhålla sig till att det approximativa förhållandet för en standardmotor med 230 V mellan spänningen och frekvensen är 4.6 V/Hz eftersom motorn är lindad 230V ($230/50 = 4.6$). Vilket innebär att vid en frekvens på 50 Hz behöver

frekvensomriktaren mata ut 230 V AC till motorn. Detta resonemang fungerar upp till spänningen frekvensomriktaren matas med.

2.6 MIO 1.0 och MIO 2.0

MIO 1.0 och MIO 2.0 är två olika asynkronmotorer som används av ASSA ABLOY där MIO 1.0 är lindad 230/400 V och MIO 2.0 är lindad 127/220 V.

3. Metod

I början av examensarbetet analyserades vilka olika möjligheter som var möjliga för att nå vårt slutmål. Denna analys innebar en djupare inblick i hur produkten beter sig idag och vilka krav ASSA ABLOY ställer på en slutgiltig produkt. Metoden som vi förhöll oss till bestod av olika faser och såg ut på följande vis:

1) Förhandsplanering och förstudier inom det givna ämnet.

Detta bestod av litteratur, muntlig kommunikation mellan student och handledare inom både företaget och institutionen samt andra värdefulla och trovärdiga källor. Gällande planering så fanns en preliminär tidsplan där det varje vecka fanns delmål för hur långt vi ska ha kommit och på så vis få en övergripande bild över hela processens olika tidssteg.

2) Informationssökning och databladsgranskningar för att ta fram ett antal olika lämpliga komponenter för omriktaren.

3) För att specificera vilka av dessa produkter som skulle passa in på deras sortiment av High performance doors skedde det praktiska tester för att se om databladerna stämde överens med verkligheten. Flertalet olika fysiska tester genomfördes för att se till att de nya komponenterna är kompatibla till det befintliga systemet.

4) Om vi hade lyckats med ovanstående så var målet att vi i nästa steg skulle utvärdera och framföra ett förslag, sett till vilka komponenter som kommer att behövas, till prototypen.

Inledningsvis utformades projektet så att studenterna själva skulle bestämma och designa kretsarna runt H-PFC kortet, beställa enskilda komponenter var för sig och sedan bygga ihop dessa. När undersökningen av komponenter som skulle stödja H-PFC-regulatorn gjordes ändrades uppfattningen om hur framtagningen av komponenterna skulle ske. Eftersom en H-PFC kräver många kringkomponenter var första tanken att göra beräkningar på komponenterna för att sedan rita och dimensionera kretsen. När undersökning av dessa komponenter och kretsar gjordes insågs en egen kompetensbrist i form av design av egna kretskort, även då dessa H-PFC kretsar är relativt standardiserade. Detta resulterade i en ändrad strategi, där ett utvecklingskort köptes in för att evaluera prestandan av en H-PFC krets kopplad till deras arkitektur, även då målsättningen skulle bli detsamma. Detta medförde att tester på produkten kunde få ett större fokus i arbetet.

Arbetet och ekvationerna som redan hade gjorts innan beslutet gällande ett utvecklingskort var inte förgäves, då detta hade givit oss en djupare inblick i hur kretsarna fungerade. Detta underlättade därför framtagningen av förslaget på kretsen och val av utvecklingskort.

Examensarbetet innefattar även val av IGBT-modul till frekvensomriktaren både för att det fanns en osäkerhet ifall IGBT-modulen som användes på Low performance arkitekturen skulle klara den högre strömmen och även för att ASSA ABLOY ville se över vilka alternativ som fanns på marknaden. Därför undersöktes modulen grundligare och vid analys av databladet kunde det konstateras att den teoretiskt sett skulle klara den högre strömmen. Detta medförde alltså att en ny IGBT-modul inte behövdes innan våra tester skulle utföras. Studenterna tog därför fram tre

stycken olika kandidater på IGBT-moduler för ASSA ABLOY att arbeta vidare med. Detta ledde till att studenterna kunde lägga mer fokus på övertonstesterna och H-PFCn istället.

3.1 Utvecklingskort

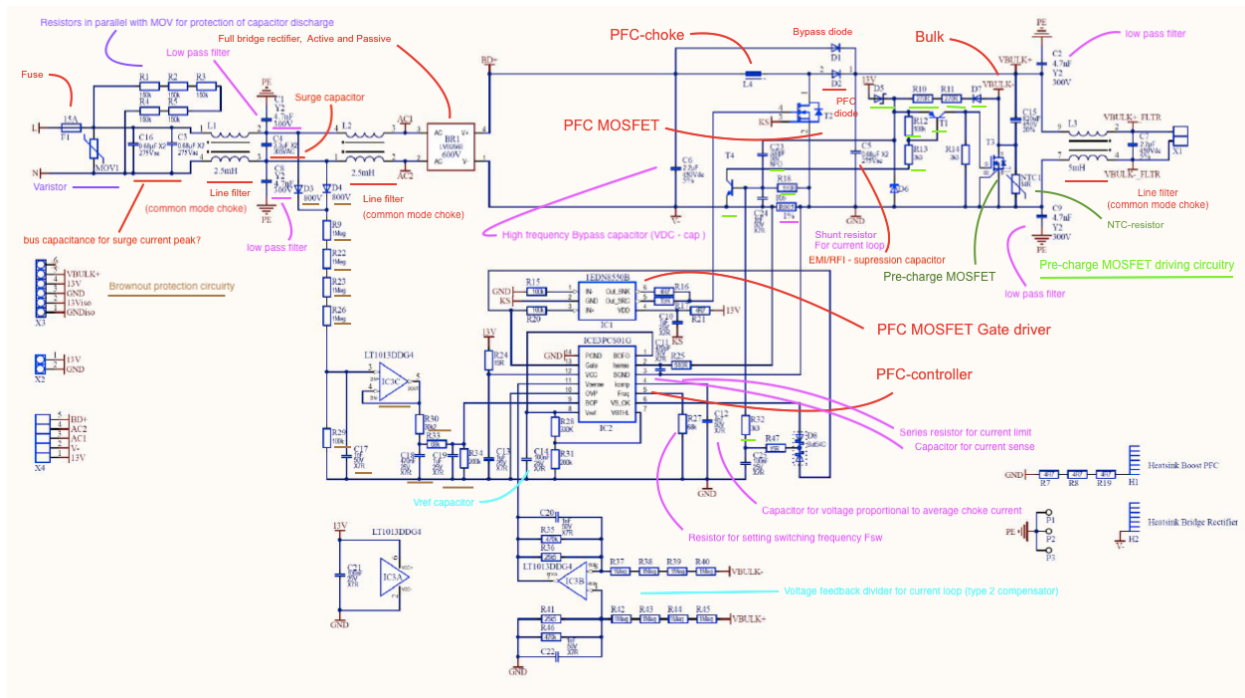
Då ASSA ABLOY var mer intresserade av att vi faktiskt skulle testa en lösning snarare än att den var dimensionerad helt efter deras önskemål ledde detta fram till att vi använde oss av ett utvecklingskort och testa (i form av övertonstester) hur kompatibelt det var med resterande del av ASSA ABLOYs arkitektur. Vi ersatte aldrig komponenterna i den redan färdiga lösningen. Dock hade det kunnat vara ett projekt för framtiden.

För att hitta rätt krets undersöktes olika typer av utvecklingskort från olika leverantörer. För att välja ett utvecklingskort fanns kriterier som behövde efterföljas för att se till så denna var kompatibel med det befintliga kretskortet. En utspänning från kortet skulle vara ungefär 400 V med hjälp av en uppspanningsomvandlare där en total elektrisk effekt på 2400 W skulle genereras.

De viktiga komponenterna så som H-PFC kortet, MOSFET-transistorn och kondensatorn behövde vara specade för en temperatur på 125 grader celsius, eftersom den komponent som är specad till lägst temperatur i motorkåpan är 125 grader celsius.

3.1.1 Utvecklingskortets kretsschema

För en bättre förståelse för huvudkretsens olika komponenter och dess funktioner har en översiktlig modell kartlagts vilken visas på figur 36.

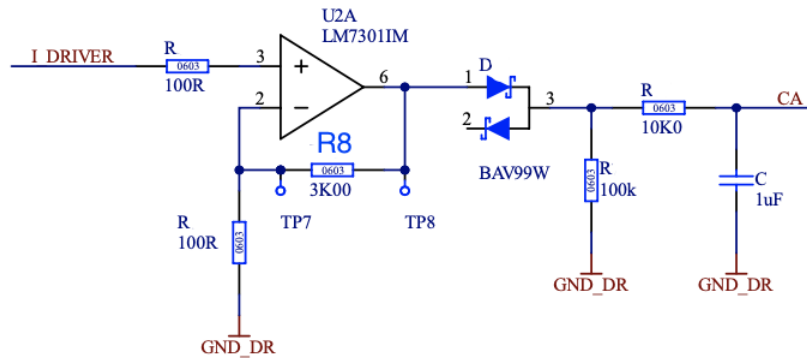


Figur 36. Tagen från [5] där kommentarer är inlagda.

Som tidigare nämnts, så var det framförallt ström-arkitekturen på den befintliga modellen som var otillräcklig, det vill säga att ASSA ABLOY hade lösningar och egen arkitektur för supply-kort, EMC-filter och andra nödvändiga lösningar som exempelvis för inrusningsströmmar (inrush currents) eller Brownout protection (BOP) med mera. Många av dessa komponenter från just detta kretsschemat kommer därför inte att vara relevanta att implementera för ASSA ABLOY för fortsättningen av detta projekt då de redan har lösningar för somliga delar av kretsen.

3.2 Implementering av nya kretsen

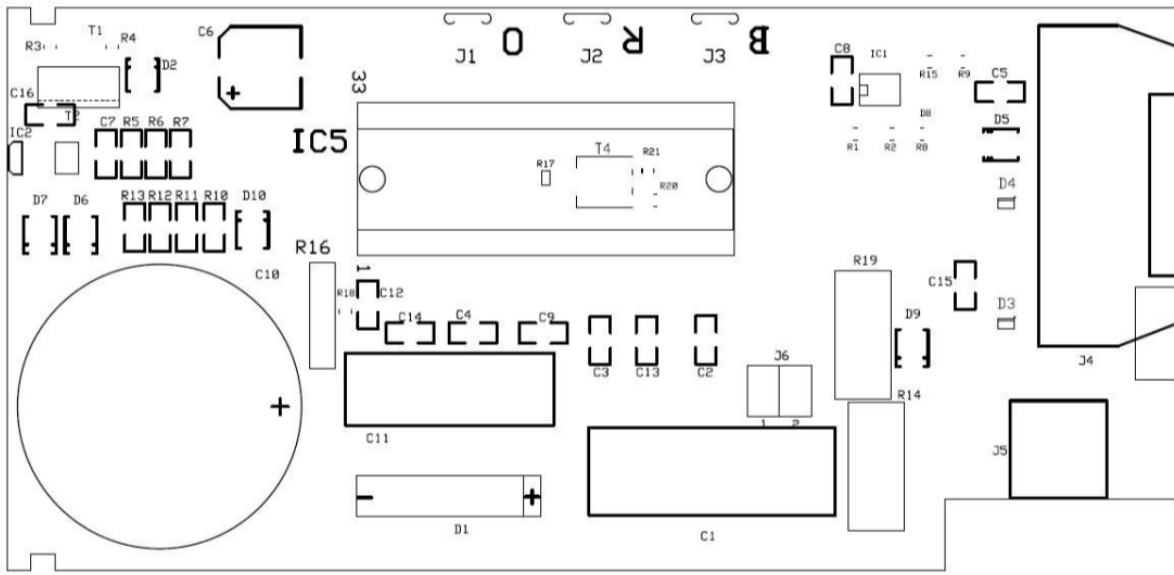
När utvecklingsarbetet var beställt så var det dags att löda bort mellanledet på det befintliga kraftkortet. Det innefattar komponenterna: D1, R14, C1, C11 och även C10. D1 är en diodlikriktarbygga. R14 är en NTC termistor som används för att se till så inte det sker några överbelastningsförhållanden i motorkåpan. C1 och C11 är två stycken film-kondensatorer som används som filter till de starka strömpulserna som uppkommer i kretsen och C10 är bulk-kondensatorn i kretsen. Dessa komponenter kan ses i figurerna 37 och 38.



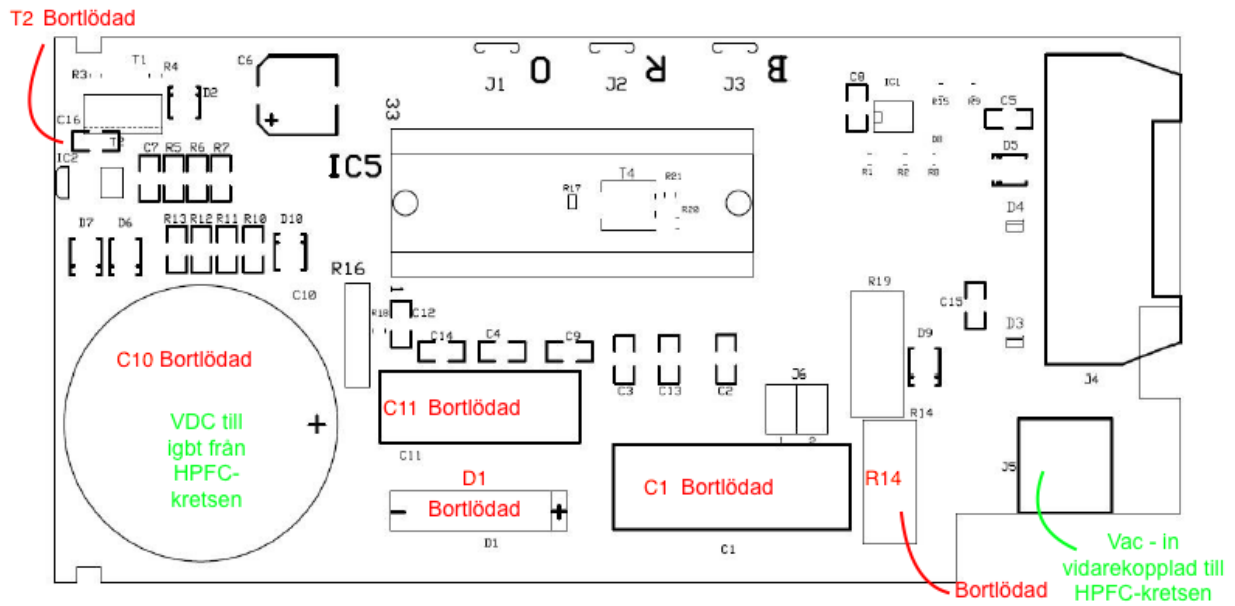
Figur 39, den icke-inverterande op-förstärkaren med resistansen R8. Tagen internt från ASSA ABLOY

Eftersom kretsen kommer att matas med högre ström och spänning, var R8 tvungen att bytas från $5\text{k}\ \Omega$ till $3\text{k}\ \Omega$ på MIO 1.0 och från $3\text{k}\ \Omega$ till $1.5\text{k}\ \Omega$ på MIO 2.0. R8 är en resistor som är kopplad till en icke-inverterande förstärkare som förstärker parallellmotståndet R16, detta kan ses i figur 38 och figur 39. R16 är en resistor som kopplar alla strömmar från IGBT-modulen till jord. Eftersom kretsen får en högre ström med utvecklingskortet bidrar detta till en högre spänning över R16. För att generera samma spänning till processorn måste därför förstärkningen sänkas genom att minska resistansen på R8.

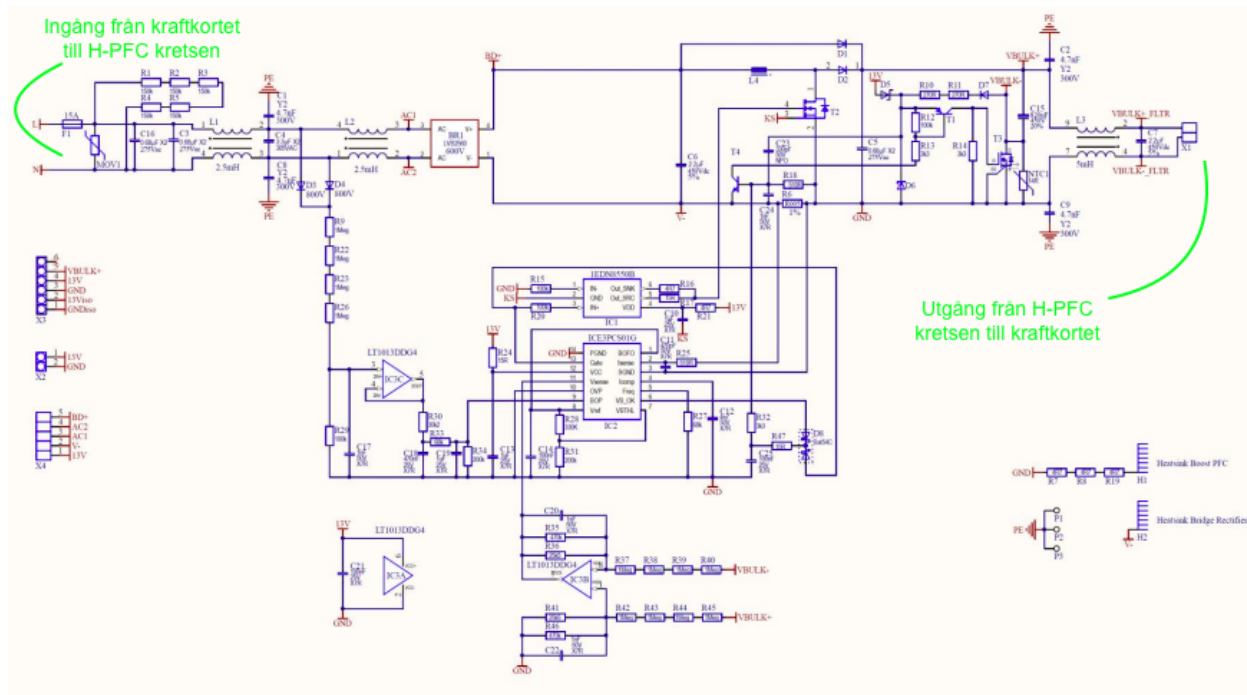
Dessa komponenter är helt avgörande för att driva motorn som den drevs tidigare. Vid implementation av det beställda utvecklingskortet så finns redan flertalet liknande komponenter inbyggda. I efterhand löddes även T2 bort från kraftkortet som kan ses i figur 40 och även i figur 41 där T2 tydligt visas, T2 är en MOSFET som medverkar i en urladdningskrets som används för att ladda ur kondensatorn.



Figur 40, kraftkortet, från ASSA ABLOY



Figur 41, bild på kraftkortet då H-PFC-kretsen är installerad. Tagen internt från ASSA ABLOY.



Figur 42, visar var H-PFC kretsens in- och utgång är kopplad till på kraftkortet. Tagen från [5] med egna kommentarer.

För att implementera den nya kretsen behövdes justeringar göras på motorkåpan då det nya kretskortet inte fick plats i motorkåpan. Detta ledde till att ett hål borrades i motorkåpan för att leda kablarna till och från utvecklingskortet. Därefter löddes inspänningen till kraftkortet till ingången på utvecklingskortet för att se till så att strömmen gick från A/B-kortet till utvecklingskortet enligt figur 42. Då A/B-kortet har flertalet säkerhetskretsar som bryter strömmen vid problem med mjukvaran eller andra komponenter i arkitekturen. Sladdar från utgången på utvecklingskort löddes fast över C10 där den gamla kondensatorn satt. Tidigare har ASSA ABLOY plockat ut en spänning på ungefär 325 V DC peak to peak över kondensatorn. Strömmen går sedan till IGBT-modulerna för att styra motorn.

För att den högre spänningen inte skulle påverka motorn negativt ändrades amplituden på IGBT-modulen eftersom mjukvaran inte var dimensionerad för spänningen.

3.3 Vridmomentstester

Det första testet som utfördes när utvecklingskortet var implementerat var en jämförelse mellan MIO 1.0 och MIO 1.0 med utvecklingskort. Detta test genomfördes för att se över hur motorn blev påverkad av olika laster vid olika frekvenser.

Testet utfördes med en vridmomentsbänk (torque bench) där en broms kopplats som last för att simulera hur mycket motorn klarade vid varje enskild frekvens. Detta gjordes med hjälp av en mjukvara där motorn gick på intermittent drift vid ett specifikt kraftsteg och frekvens som ställdes in på kontrollpanelen i motorstyrningens kåpa. Kraftsteg är en inställning som talar om för

motorn hur hög amplitud som ska styras ut samt hur hög överströmmen får vara. Första testet utfördes vid kraftsteg 5 vid 10 Hz, motorn kördes i intermitterent drift för att sedan öka spänningen på bromsen vilket ökade momentet i bromsen. När pulsgivaren (encodern) registrerade att motorn inte rörde sig längre så stängdes motorn av. Vid tidpunkten då motorn stängdes av avlästes värdet på motståndet för att se den maximala lasten på varje frekvens. Detta utfördes på tre olika kraftsteg 5, 9 och 15 (T5, T9 och T15) vid frekvenserna 10 till 160 Hz där varje totalt provades.

3.4 Övertonstester

ASSA ABLOY Entrance Systems testar sina produkter via RISE (Research Institutes of Sweden AB) för att se till så att deras produkter uppfyller standardkraven för hushållsapparater gällande övertoner. När RISE tittar på en produkt använder de sig av den internationella standarderna IEC 61000-3-2 och IEC 61000-4-7, dessa standarder ser över gränser för övertoner förorsakade av apparater med matningsström högst 16 A per fas. För att en produkt som är avsedd att arbeta i miljöer utanför industrin måste de klara av dessa krav. Vid test så mäts de 40 första övertonerna.

ASSA ABLOY har tidigare haft personal med kompetens inom övertoner där de använt sig av olika instrument för att göra liknande tester som RISE på R&D avdelningen i Landskrona. Då personalen med den kompetensen inte längre arbetar på ASSA ABLOY blev detta en möjlighet för studenterna att återskapa denna kompetens med hjälp av de instrument som fanns på plats.

För att kunna avgöra om värden från instrumenten var rimliga kopplades instrumenten över en motorprototyp kallad MIO 2.0 där motorlindning är lindad 127 V som tidigare under våren testats på RISE. RISE hade skickat en rapport från detta test där studenterna i detalj försökte återskapa testen med hjälp av rapporten och standarden.

3.5 Fluke 41B

När beslutet att studenterna skulle utföra testerna, var det primära och mer precisa instrumentet Yokogawa WT1800 G5 på kalibrering i Köpenhamn. Eftersom kalibrering av detta instrument vanligtvis tar en månad var alternativet en Fluke 41B Power Harmonics Analyzer. Instrumentet mäter övertonerna i ett system genom att mäta spänningen över fas och nolledaren, sedan strömmen med en hallgivare över fasen.

När hela anordningen var uppkopplad och databladen för instrumentet var genomarbetat påbörjades testerna även då en optisk sladd för att överföra värdena till en dator saknas. Testerna påbörjades där vi kunde se 40 stycken övertoner. Eftersom sladden för överföring av data saknades, utforskades möjligheten att beställa en ny sladd. Det visade sig att även om sladden hade funnits hade mjukvaran som endast var kompatibel med Windows 95 skapat problem. En dator med Windows 95 hade således behövts för att kunna överföra datan från

FLUKE 41B. ASSA ABLOY hade dessvärre inte en dator med operativsystemet Windows 95. Detta resulterade i att studenterna undersökte nya möjligheter för att genomföra testerna.

3.6 Oscilloskop

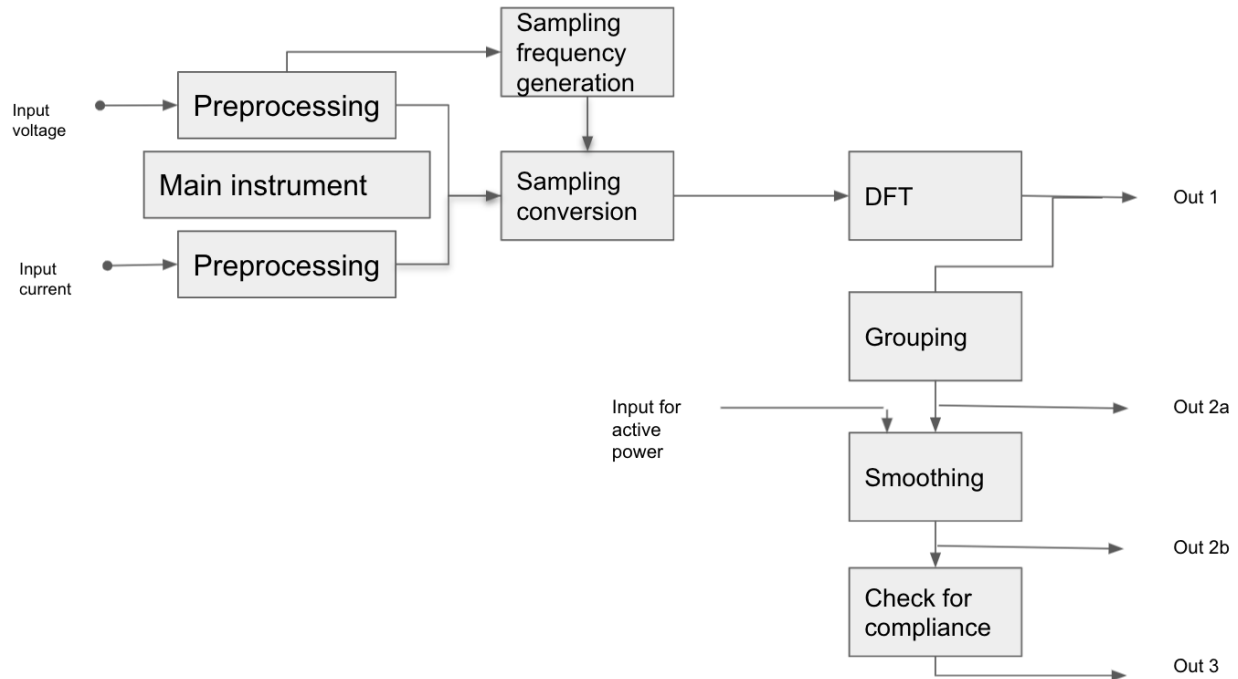
Detta medförde att Bengt Simonsson från LTH kontaktades för att rådfrågas om hur testerna skulle kunna gå tillväga på något annat sätt. Förslaget var att använda sig av ett snabbt oscilloskop med tillräckligt bra probar för att kunna läsa av de övertoner som skulle uppkomma med hjälp av FFT(Fast Fourier Transform). ASSA ABLOY har ett digitalt Rohde & Schwarz RTB2004 oscilloskop som var tillgängligt och även kunde avläsa de frekvenser som behövdes för att se upp till 40 övertoner. För att kunna avläsa dessa frekvenser brukar Nyquist-Shannons samplingsteorem användas för att ha en dubbelt så hög samplingsfrekvens som den högsta frekvensen man mäter. Vid den 40:e övertonen är frekvensen 2000 Hz där en faktor 10 användes för att minska felen vid mätning. För att koppla oscilloskopet användes inte spänningen som referens utan strömmen mättes endast med hjälp av en hallgivare som kopplades över fasen till oscilloskopet. Detta gav oss en bättre bild av övertonerna i systemet.

3.7 Yokogawa WT1800

Kalibreringen av Yokogawa WT1800 G5 blev klar tidigare än förväntat vilket medförde att testerna med oscilloskopet avslutades då detta instrument är tillverkat för ändamålet. För att förstå instrumentet användes Getting Started Guide, User's Manual, Features Guide och Communication Interface User's Manual.

Yokogawa WT1800 använder FFT för att mäta strömövertonerna.

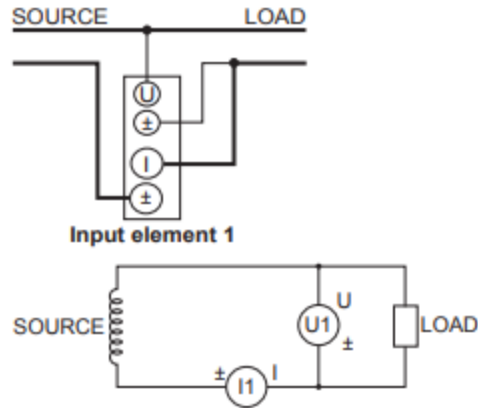
Enligt vad som framgår i databladen och manualen så behandlas de uppmätta värdena från Yokogawa WT 1800 med en DFT(Discrete Fourier Transform) medan RISE filtrerar de uppmätta värdena via en "smoothing" och "grouping" vilket kan ses i figur 43. Detta leder till en viss osäkerhet när man jämför datan då tillvägagångssättet skiljer sig till viss del. Smoothing, se [13] är digital återkopplingsmetod som används för att lågpasfiltrera de uppmätta värdena med en tidskonstant på 1,5 sekunder. Utan denna metod så kommer värdena som mäts även påverkas av högre frekvenser och därav inte vara fullt så precisa som de på RISE.



Figur 43. Hur uppmätta värden ska behandlas enligt IEC-61000-4-7. Egenproducerad figur.

För att utföra ett övertonstest med hjälp av Yokogawa WT1800 G5 behövs en powerbox, en elektrisk broms och en fläkt.

Vid skalningen av enfasladdan kopplades både fasen och nollan via en anslutningsklämma för att kunna leda strömmen in i mätinstrumentet enligt figur 44. I detta fall kopplades fasen och nollan genom Element 2 då Element 1 endast tillåter 5A. Element 1 och Element 2 är två olika ingångar på spektrumanalysatorn Yokogawa WT1800 och hittas på baksidan. Genom Element 2 kopplades fasen och nollan med hjälp av informationen i "Getting Started Guide" under Appendix 3 "When the measured current is relatively large" då vi har en ström som överstiger 5 A. Därför mäter vi strömmen innan spänningsmätningen. Strömmen mättes på minussidan närmast jord då strökapacitansen var mindre vid sådan koppling.



Figur 44. Kopplingsschema för Yokogawa 1800. Observera att Element 2 kopplas in på samma sätt som Element 1 gör enligt figuren. Tagen från [11].

Element-knappen behövde ändras till Element 2 för att kunna uppmäta värden. Därefter ändrades hur ofta värdena skulle uppdateras. Enligt standarden IEC 61000-3-2 ska värdena uppdateras med ett intervall på 200ms. Detta görs genom att trycka på "UPDATE RATE" och sedan "CURRENT RATE".

Därefter ändrades vilka värden som skulle sparas ned genom "SHIFT" "STORE SET" "ITEM SETTING" "ITEMS". Detta görs då mätinstrumentet kan läsa av 103 funktioner per update rate vilket bidrar till filer med upp till 103 stycken kolumner. Därför kan man minska filen genom att bocka av de funktioner som ej är nödvändiga enligt figur 45.

Normal Mode Peak Over Scaling Line Filter Time Integ: Reset YOKOGAWA
 0102 0102 AVG Freq Filter PLL Error

| Item Settings | | | | | | | |
|---------------|--|--|---------------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|
| Preset | All ON | All OFF | Preset1 | Preset2 | | | |
| Element | <input type="checkbox"/> Element1 | <input checked="" type="checkbox"/> Element2 | | | | | |
| | <input type="checkbox"/> Σ A | | | | | | |
| Function | <input checked="" type="checkbox"/> Urms | <input type="checkbox"/> Umn | <input type="checkbox"/> Udc | <input type="checkbox"/> Urms | <input type="checkbox"/> Uac | <input checked="" type="checkbox"/> FreqU | <input type="checkbox"/> CFU |
| | <input checked="" type="checkbox"/> Irms | <input type="checkbox"/> Imn | <input type="checkbox"/> ldc | <input type="checkbox"/> Irms | <input type="checkbox"/> lac | <input checked="" type="checkbox"/> FreqI | <input type="checkbox"/> CFI |
| | <input checked="" type="checkbox"/> P | <input checked="" type="checkbox"/> S | <input checked="" type="checkbox"/> Q | <input checked="" type="checkbox"/> λ | <input checked="" type="checkbox"/> φ | <input type="checkbox"/> Pc | |
| | <input type="checkbox"/> U+peak | <input type="checkbox"/> U-peak | <input type="checkbox"/> I+peak | <input type="checkbox"/> I-peak | <input type="checkbox"/> P+peak | <input type="checkbox"/> P-peak | |
| | <input type="checkbox"/> WP | <input type="checkbox"/> WP+ | <input type="checkbox"/> WP- | <input type="checkbox"/> q | <input type="checkbox"/> q+ | <input type="checkbox"/> q- | |
| | <input type="checkbox"/> Time | <input type="checkbox"/> WS | <input type="checkbox"/> WQ | | | | |
| | <input type="checkbox"/> ?1 | <input type="checkbox"/> ?2 | <input type="checkbox"/> ?3 | <input type="checkbox"/> ?4 | | | |
| | <input type="checkbox"/> F1 | <input type="checkbox"/> F2 | <input type="checkbox"/> F3 | <input type="checkbox"/> F4 | <input type="checkbox"/> F5 | <input type="checkbox"/> F6 | <input type="checkbox"/> F7 |
| | <input type="checkbox"/> F8 | <input type="checkbox"/> F9 | <input type="checkbox"/> F10 | <input type="checkbox"/> F11 | <input type="checkbox"/> F12 | <input type="checkbox"/> F13 | <input type="checkbox"/> F14 |
| | <input type="checkbox"/> F15 | <input type="checkbox"/> F16 | <input type="checkbox"/> F17 | <input type="checkbox"/> F18 | <input type="checkbox"/> F19 | <input type="checkbox"/> F20 | |
| | <input type="checkbox"/> Event1 | <input type="checkbox"/> Event2 | <input type="checkbox"/> Event3 | <input type="checkbox"/> Event4 | | | |
| | <input type="checkbox"/> Event5 | <input type="checkbox"/> Event6 | <input type="checkbox"/> Event7 | <input type="checkbox"/> Event8 | | | |
| | <input type="checkbox"/> FreqPLL1 | | | | | | |
| | <input checked="" type="checkbox"/> U(k) | <input checked="" type="checkbox"/> I(k) | <input type="checkbox"/> P(k) | <input type="checkbox"/> S(k) | <input type="checkbox"/> Q(k) | <input type="checkbox"/> λ(k) | <input type="checkbox"/> φ(k) |
| | <input type="checkbox"/> U(k) | <input type="checkbox"/> I(k) | <input type="checkbox"/> Z(k) | <input type="checkbox"/> Rs(k) | <input type="checkbox"/> Xs(k) | <input type="checkbox"/> Rp(k) | <input type="checkbox"/> Xp(k) |
| | <input checked="" type="checkbox"/> Uthd | <input checked="" type="checkbox"/> Ithd | <input type="checkbox"/> Pthd | <input checked="" type="checkbox"/> Uhd(k) | <input checked="" type="checkbox"/> Ihd(k) | <input type="checkbox"/> Phd(k) | |
| | <input checked="" type="checkbox"/> Uthf | <input checked="" type="checkbox"/> Ithf | <input type="checkbox"/> Uthf | <input type="checkbox"/> Ithf | <input type="checkbox"/> hvf | <input type="checkbox"/> hcf | <input type="checkbox"/> K-factor |
| | <input type="checkbox"/> U-Uj | <input type="checkbox"/> U-Uk | <input type="checkbox"/> U-Ui | <input type="checkbox"/> U-Uj | <input type="checkbox"/> U-Uk | | |

Update 4336 (200msec) 2021/05/25 13:22:19

Figur 45. Skärmbild från Yokogawa WT 1800

Sedan valdes antalet övertoner som skulle ingå i mätningen genom att trycka "HRM SET" där de första 40 strömövertonerna valdes enligt kravet från standarden IEC 61000-3-2.

När inställningarna var klara kopplades ett USB-minne in i USB porten i Instrumentet för överföring av mätvärden inför analysen, porten är kompatibel med USB MSC 1.1. Filen konverterades till CSV som är kompatibelt med de flesta kalkylblad som Microsoft Excel och Google Spreadsheet. För att föra över en CSV-fil med mätvärden krävdes det att "NUMERIC" var inställt, vilket innebär att de 40 stycken övertoner syntes på skärmen.

När testet startades kopplades powerboxen in i bromsen med en ström på 0.13 A vilket motsvarar ungefär 10 NM i motstånd från bromsen för att efterlikna vikten och friktionen från porten. Detta uppmättes med hjälp av en momentmätare som sattes på axelns motor.

När motståndet var korrekt startades motorn som var inställt på intermittent drift och ett kraftsteg på 9. För att starta mätningen under den intermittenta driften startades mätningen genom att trycka på "STORE START" på Yokogawan. Testet pågick i 10 minuter där porten simulerades att öppnas och stängas. När mätningen var slut trycktes knappen "STORE STOP" sedan "SHIFT" och "STORE RESET". När konverteringen till en CSV-fil var klar överfördes mätvärdena till USB-minnet genom att trycka "FILE" sedan "FILE LIST" där man stegade sig till namnet på filen vilket i detta fall var 0000.csv för att trycka "SET" och sedan trycka på USB-0 alternativt USB-1 beroende på USB-minnets ingångsport. Figur 46 visar en bild på testuppsättningen.



Figur 46. Testuppsättning.

3.9 Övertonstester MIO 2.0

Eftersom övertonstesternas struktur och tillvägagångssätt arbetades fram genom att efterlikna RISE rapporten från MIO 1.0 utan utvecklingskort var tanken att MIO 1.0 endast skulle testats vid RISE. Eftersom MIO 1.0 klarade testerna på RISE utan utvecklingskort, dock vid små marginaler, förändrades strategin till att MIO 2.0 också skulle testas. Eftersom MIO 2.0 ej hade klarat testerna innan var det mer intressant att se om utvecklingskortet kunde dämpa övertonerna så att MIO 2.0 klarade RISE testerna. Detta beslutades några dagar innan testet skulle utföras på RISE. Därför genomfördes alla stegen från avsnitt 3.3 igen fast på en MIO 2.0 motor. Detta medförde även att amplituden minskades med en faktor på 0.75 för att få ned mellanledningsspänningen från 400 V till 300 V. Detta innebar att amplituden ändrades till 0.42 ($0.75 \cdot 0.56 = 0.42$). När prototypen skulle startas var Stefan Paulsson där för att övervaka testet. Strömmen slogs på och kontrollenheten startades, vid start av den intermittenta driften flög det ut en gnista från motorkåpan och säkringen i laborationssalen slog av all ström till rummet. När motorkåpan öppnades luktade det bränt, vilket bidrog till en osäkerhet om allt var kopplat rätt. Vid granskning av komponenter på kraftkortet kunde man se vilka komponenter som var brända vilket inte hade orsakats av felkoppling. Den krets som orsakat kortslutningen var urladdningskretsen som styrs av T2 som är en transistor som slås på när urladdning av kondensatorn behövs. Tidigare har ASSA ABLOY haft enstaka fall där urladdningskretsen orsakat kortslutning, detta har inte givit upphov till att plocka bort kretsen inför testet. Eftersom MIO 1.0 inte orsakade problem med T2 under test fanns inga direkta kopplingar till utvecklingskortet. Den teori som Stefan Paulsson hade var att urladdningskretsen blev utstörd av de höga strömmarna som gick in i motorn, detta skapade någon typ av spänningsdipp som triggade T2.

För att se över ifall utvecklingskortet klarade sig användes en multimeter för att mäta över några komponenter, exempelvis var det flera MOSFET transistorer som brändes. Eftersom det var flertalet komponenter som var trasiga var det enda alternativet att beställa ett nytt utvecklingskort från Farnell (återförsäljare till Infineon). Detta test utfördes under kristi himmelfärdsveckan vilket innebar längre leveranstid för kortet, därför behövdes RISE testet ombokas till vecka 22, vilket var den första lediga tiden.

När väl det nya utvecklingskortet levererades löddes urladdningskretsen bort från ett nytt kraftkort, eftersom utvecklingskortet redan har en urladdningskrets för att ladda ur sin egen kondensator orsakade detta inga risker med likströmmen på DC ledet. Därför löddes T2 bort för att bryta urladdningskretsen på kraftkortet.

När testet genomfördes med det nya utvecklingskortet och det uppdaterade kraftkortet ändrades även amplituden med en faktor 0.625 för att säkerställa att kretsen skulle klara av det, vilket resulterade i att amplituden sattes till 0.35 ($0.625 \cdot 0.56 = 0.35$). Motorn skapade dock en mekaniskt ljud vid start av den simulerade öppningen och stängningen av porten. Vid övertonstester såg man tydligt att det skedde strömspikar under tiden motorn lät annorlunda. Ett oscilloskop kopplades därför in på DC-ledet efter utvecklingskortet för att analysera frekvensen vid dessa spikar. Från Yokogawan sågs en frekvens på ca 700 Hz under ca två-tre uppdateringsfönster (update rates) på 200 ms vilket blir ca en halv sekund, på DC-ledet var

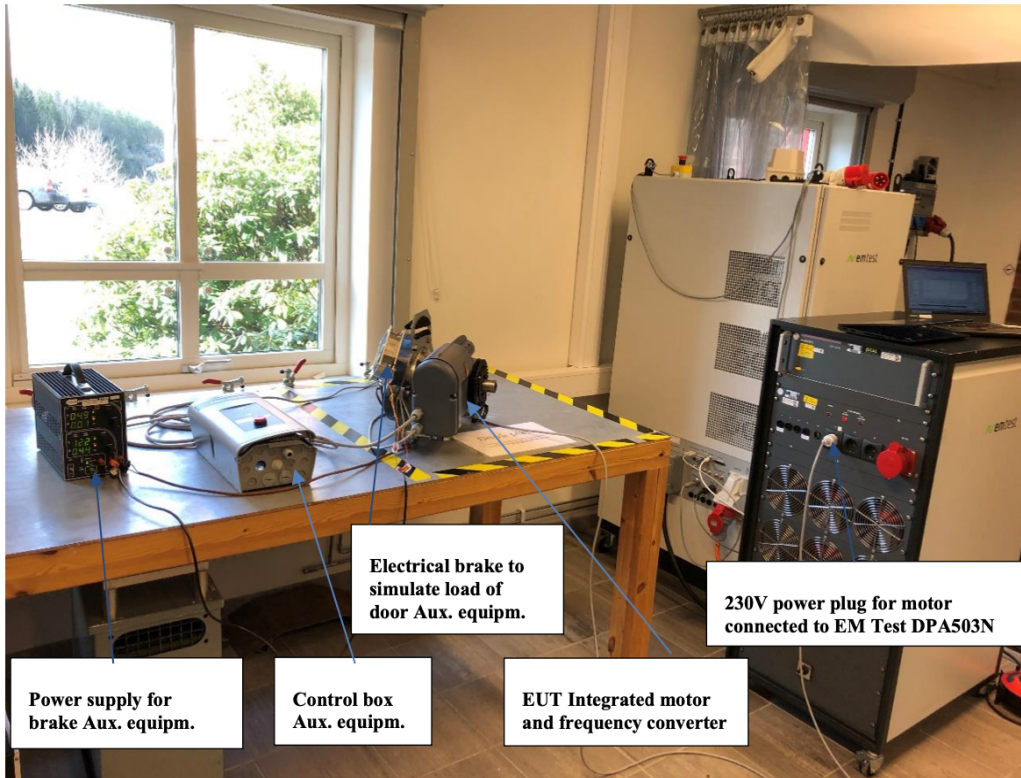
frekvensen MHz vilket innebar att teorin var att utvecklingskortet tonade ned störningarna med hjälp av filterkomponenterna. Efter diskussioner med Stefan och Anders insåg Stefan att problemet låg i en parameter i mjukvaran som inte hade faktoriserats med 0.35, denna parameter var det minimala amplitudvärdet som IGBT-modulerna verkade inom. Då motorn krävde en lägre amplitud vid start kunde inte processorn styra amplituden så pass lågt, vilket innebar att eftersläpning uppstod.

Vid start av motorn med den uppdaterade mjukvaran var problemet med de stora strömspikarna borta. Detta ledde till ett nytt övertonstest utfördes och efter analys av datan kunde stora förbättringar ses. Testet visade enligt beräkningarna att MIO 2.0 låg under gränserna för övertoner.

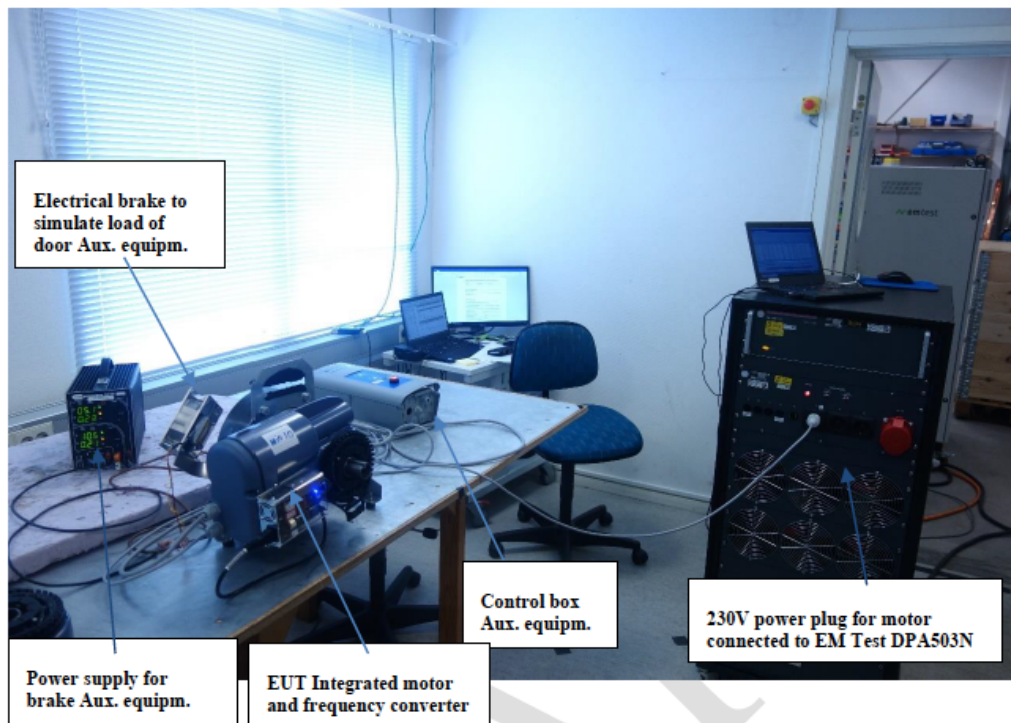
3.10 RISE

För att verifiera de tester som gjorts via Yokogawa WT 1800 var ett test inbokat på RISE för att testa övertoner. Eftersom data fanns från föregående test på RISE med samma motorer utan H-PFC inkopplad så var det intressant att se den direkta skillnaden genom att göra samma test som gjorts förut för att sedan analysera resultaten. Testet utfördes i Borås där studenterna lånade ASSA ABLOYs bil för att transportera motorerna och utrustningen för att utföra testerna. Vid ankomst till RISEs lokaler kopplades MIO 1.0 på bromsen för att simulera portöppning och stängning. Nätkontakten kopplades in i mätverktyget från RISE för att utföra testerna. Testerna pågick i 10 minuter för varje last, där 10, 20 och 30 Nm testades.

Sedan kopplades MIO 2.0 på bromsen för att utföra samma tester som MIO 1.0. Då båda motorerna hade genomgått samma tester utan utvecklingskortet, var det intressant att testa båda. Alla tester som gjordes på RISE var lyckade då mätvärdena hade stora marginaler från gränserna för övertoner. Figur 47, 48 och 49 visar på testuppsättningen och testparametrarna på RISE.



Figur 47. Uppkoppling på RISE utan H-PFC. Tagen från RISE testrapport.



Figur 48. Uppkoppling på RISE med H-PFC. Tagen från RISE testrapport.

Test set-up and procedure

Test voltage and frequency: 230 V AC/ 50 Hz.

The harmonic measurement was started 10 seconds after the power to the EUT was turned on.

Observation period: 10 minutes.

Equipment classification: class A

The test was performed in normal operation mode with a current consumption of max 6A at the 230 V AC input.

Normal operation mode: The motor is in acceleration mode.

Figur 49. RISE testparametrar, tagen från RISE testrapport.

3.11 Källkritik

Källorna som använts under arbetets gång har noga valts ut baserat på deras bidrag till uppsatsens syfte. Sammanfattningsvis har källorna bidragit till en ökad förståelse för ämnet samt möjliggjort för en djupare analys. I forskningsprocessen har flertalet källor ställts mot varandra för att säkerställa trovärdigheten. Författarna har källkritiskt granskat innehållet och använt sig av informationen som presenterats med sunt förnuft för att säkerställa uppsatsens kredibilitet.

[1] anses vara trovärdig eftersom det är ett tyskt etablerat bolag som startades 1925 som levererar produkter över hela världen.

[2] anses trovärdig eftersom informationen är skriven av Ben Lough och Brent McDonald vilka arbetat på Texas Instruments som publicerat seminariet på deras hemsida.

[3] Salicru är ett av de världsledande företagen gällande UPS (Uninterruptible Power Supply) och arbetat med detta sedan 1965 vilket gör dem till en trovärdig källa.

[4], [5], [7], [19] är pålitliga då Infineon är ett globalt företag som är bland de främsta inom halvledarbranschen.

[6] är en masteruppsats publicerad av Worcester Polytechnic Institute och kan därför anses vara pålitlig.

[8] VISHAY SILICONIX är bland de större företagen globalt gällande halvledarkomponenter vilket får dem att framstå som ett lämpligt alternativ vid val av källa. 6

[9] är skriven av Professor Barry Wayne Williams på universitetet Strathclyde. Källan används dessutom som kurslitteratur i kursen Krafterlektronik på IEA.

[10] är publicerad av TOSHIBA vilket är ett välkänt företag inom halvledarbranschen.

[11], [13] manualen för spektrumanalysatorn från YOKOGAWA.

[12] anses vara trovärdig då författarna: Jin Hui, Honggeng Yang, Wilsu Xu och Yamei Liu är doktorer i elektroteknik.

[14], [15], [16] är trovärdiga då företaget Magnetics inc är ett världsledande företag inom magnetiska komponenter, Infineon använder även komponenter till utvecklingskortet från Magnetics inc.

[17] Electrical4U är en hemsida som lär ut alla delar av elektrotekniken. Det är en hemsida där över 5000 studenter och andra professionella inom området hjälper till att formatera och se över informationen som publiceras. Figuren från Electrical4U överensstämmer med teorin från mer rigorösa källor.

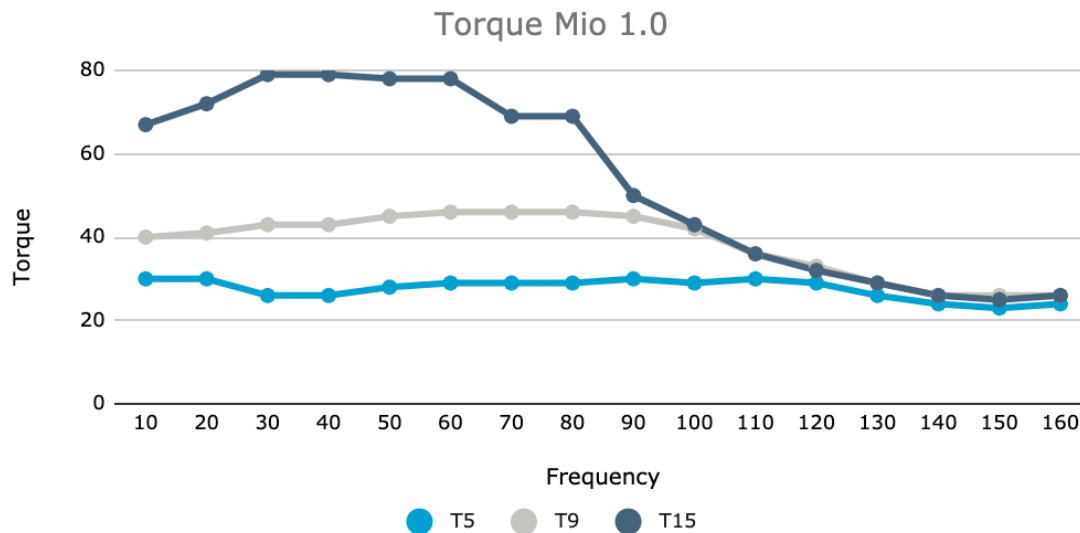
[18] Materialet är trovärdigt då Bengt Simonsson använder materialet till kursen Krafterlektronik på LTH.

4. Analys

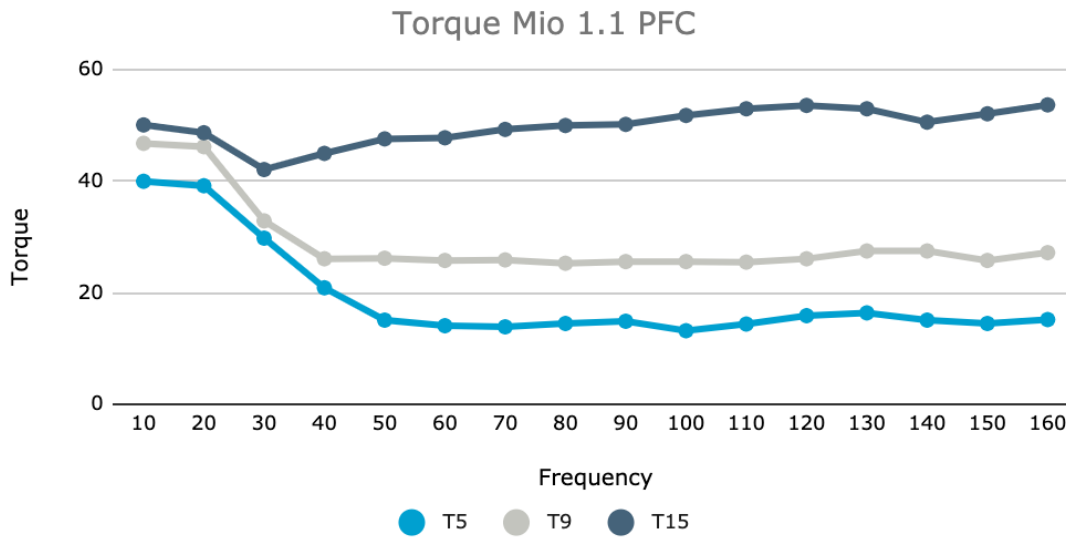
I detta kapitel presenteras specifikationen för mätstandarden IEC-61000-3-2 samt en analys av vridmoment och övertoner baserad på mätdata som uppmäts av egen utrustning på ASSA ABLOY. Mätdata som redogörs åskådliggör skillnaden H-PFC-kretsen medför.

4.1 Vridmomentstest

Vid normal drift med en frekvensomriktare startas motorn med låg spänning och låg frekvens för att sedan rampa upp både spänningen och frekvensen. ASSA ABLOYs mjukvara gör samma sak där motorn körs med lägre frekvens vid start för att undvika en hög startström. Eftersom motorn med implementerad H-PFC-krets har mer spänning att tillgå kan vridmomentet i en större utsträckning bibehållas vid ökning av frekvensen. Detta kan man se i vridmomentstesterna vid de tre olika lastfallen nedan i figur 50 och 51.



Figur 50 Vridmomentstest MIO 1.0, den vertikala skalan är Nm och den horisontella är i Hz. T5, T9 och T15 motsvarar kraftsteg 5, 9 och 15.



Figur 51 Vridmomentstest för MIO 1.0 med H-PFC, den vertikala skalan är Nm och den horisontella är i Hz. T5, T9 och T15 motsvarar kraftsteg 5, 9 och 15.

4.2 Kravspecifikation

Kravet för arbetet är att designa en frekvensomriktare som följer standarden IEC 61000-3-2 *Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-2: Limits for harmonic current emissions (equipment input ≤ 16 A per phase)* vilken är en internationell standard som begränsar nätspänningens distorsion genom att ålägga ett maximalt värde för strömövertoner från och med andra övertonen till och med den fjortionde. Denna standard gäller för hushållsapparater och utrustning med märkström upp till 16 A.

Table 1 – Limits for Class A equipment

| Harmonic order <i>n</i> | Maximum permissible harmonic current A |
|----------------------------|--|
| Odd harmonics | |
| 3 | 2,30 |
| 5 | 1,14 |
| 7 | 0,77 |
| 9 | 0,40 |
| 11 | 0,33 |
| 13 | 0,21 |
| $15 \leq n \leq 39$ | $0,15 \frac{15}{n}$ |
| Even harmonics | |
| 2 | 1,08 |
| 4 | 0,43 |
| 6 | 0,30 |
| $8 \leq n \leq 40$ | $0,23 \frac{8}{n}$ |

Tabell 3, värden för maximal ström per överton, Tagen från RISE testrapport.

4.3 Analys av uppmätta värden

Vid mätning med hjälp av Yokogawa WT1800 kan strömövertonerna mätas. De mäts enligt tidigare nämnt tillvägagångssätt i [3.7](#). Mätvärdena överförs via USB och öppnas i en excelfil. För att få fram jämförbara värden som direkt kan jämföras med tabell 3 så tar vi medelvärdet av respektive uppmätt värde för varje enskild överton och får därav direkt en indikation på om vi ligger under eller över gränsen för vad som är en acceptabel strömnivå.

Enligt standarden IEC 61000-3-2 ska även maxströmmen per överton inte överstiga ett bestämt värde enligt [tabell 20](#), den som beskriver maxvärdet per överton. Den maximala uppmätta strömmen tas fram från samma fil som medelvärdet beräknas ur.

När testerna utfördes uppmättes det fortfarande övertoner över de gränsvärden som finns i standarden. För att minska övertonerna så sänktes amplituden i olika steg i testerna nedan.

Testerna utfördes med olika laster för att simulera olika typer av portar som används till dessa motorer, då de större portarna kräver ett högre vridmoment.

För att få en anvisning som enkelt redogör huruvida en uppmätt strömöverton klarar kravet så har tre färger valts för att redovisa detta - Grön, gul och röd. Grönt resultat betyder att gränsen klarats med god marginal, gul markering indikerar att den specifika övertonen har en marginal mindre än tio procent från gränsen och röd färg anger att den uppmätta övertonen överstiger det värde som angetts som acceptabelt enligt IEC 61000-3-2.

Kraftsteg 6, 30 Nm, MIO 2.0 200 ms 5 cyklar

| Hn | (Hn/60) | 0 (DC) | 1 (Fund) 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | | | |
|-----------|---------|--------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|--|--|
| medel | 2,2795 | 0,0007 | 1,4795 | 0,3104 | 1,1825 | 0,1005 | 0,7864 | 0,0728 | 0,4583 | 0,0487 | 0,3101 | 0,0427 | 0,2390 | 0,0397 | 0,2181 | 0,0316 | 0,1202 | 0,0273 | 0,0772 | 0,0228 | 0,0667 | 0,0214 | 0,0399 | 0,0182 | 0,0508 | 0,0176 | 0,0399 | 0,0150 | 0,0319 | 0,0130 | 0,0280 | 0,0116 | 0,0204 | 0,0124 | 0,0200 | 0,0107 | 0,0287 | 0,0106 | 0,0113 | 0,0102 | 0,0114 | 0,0089 | | |
| % of fnd | | | 0,094799 | 0,154116 | 0,138444 | 0,089869 | 0,124211 | 0,092129 | 0,111510 | 0,075168 | 0,119222 | 0,099328 | 0,099951 | 0,042222 | 0,042386 | 0,030020 | 0,048469 | 0,022226 | 0,055112 | 0,023535 | 0,097276 | 0,018988 | 0,017866 | 0,028816 | 0,044154 | 0,018410 | 0,046151 | 0,012643 | 0,036008 | 0,019545 | 0,020290 | 0,021371 | 0,024286 | 0,019666 | 0,048923 | 0,020707 | 0,048500 | 0,021190 | 0,016115 | 0,019105 | | | | |
| lim(A) | | | 1,08 | 2,3 | 0,43 | 1,14 | 0,3 | 0,27 | 0,23 | 0,4 | 0,184 | 0,33 | 0,153 | 0,21 | 0,131 | 0,15 | 0,115 | 0,132 | 0,102 | 0,118 | 0,092 | 0,107 | 0,084 | 0,098 | 0,077 | 0,09 | 0,071 | 0,083 | 0,066 | 0,078 | 0,061 | 0,073 | 0,058 | 0,068 | 0,054 | 0,064 | 0,051 | 0,061 | 0,048 | 0,058 | 0,046 | | | |
| pass/fall | | | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | | |
| max | 5,9971 | 0,4310 | 4,3207 | 3,1329 | 1,9817 | 2,0264 | 1,8956 | 3,1300 | 2,5553 | 0,7166 | 0,8003 | 0,8009 | 3,0976 | 0,8812 | 0,6774 | 0,7625 | 0,6049 | 0,6832 | 0,6151 | 0,5294 | 0,8608 | 0,4778 | 0,6917 | 0,6103 | 0,4281 | 0,5979 | 0,6959 | 0,2943 | 0,2128 | 0,2197 | 0,2908 | 0,4155 | 0,3913 | 0,8009 | 0,2227 | 0,4662 | 0,2190 | 0,1945 | 0,2117 | 0,1387 | 0,1346 | | | |
| % of fnd | | | 1,039880 | 0,102121 | 1,427517 | 1,080900 | 1,202444 | 2,122565 | 2,072127 | 1,333783 | 2,901719 | 2,127713 | 1,879201 | 2,149587 | 1,874006 | 1,688366 | 1,676300 | 1,096180 | 3,109934 | 2,077003 | 1,302117 | 2,499279 | 1,60201 | 3,171564 | 1,724895 | 2,651037 | 1,451509 | 2,06656 | 1,201167 | 2,011463 | 1,169206 | 2,893036 | 1,292612 | 1,960784 | 2,149876 | 1,480795 | 1,330219 | 1,137582 | 1,174381 | 1,034662 | 1,294806 | | | |
| lim(A) | | | 1,62 | 3,45 | 0,645 | 1,71 | 0,45 | 0,335 | 0,345 | 0,6 | 0,276 | 0,495 | 0,23 | 0,315 | 0,197 | 0,225 | 0,173 | 0,189 | 0,151 | 0,178 | 0,138 | 0,161 | 0,125 | 0,147 | 0,115 | 0,135 | 0,106 | 0,125 | 0,099 | 0,118 | 0,092 | 0,109 | 0,086 | 0,107 | 0,081 | 0,096 | 0,077 | 0,091 | 0,073 | 0,087 | 0,069 | | | |
| pass/fall | | | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | | |

Tabell 7 visar en mätning på MIO 2.0 utan H-PFC-krets (17/5 2021)

Kraftsteg 9, 30 Nm, MIO 2.0 200 ms 5 cyklar

| Hn | (Hn/60) | 0 (DC) | 1 (Fund) 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | | |
|-----------|---------|---------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| medel | 2,5374 | -0,0071 | 1,6508 | 0,2051 | 1,2940 | 0,1420 | 0,7788 | 0,1008 | 0,4455 | 0,1033 | 0,3371 | 0,0692 | 0,2808 | 0,0688 | 0,1791 | 0,0479 | 0,0991 | 0,0425 | 0,0734 | 0,0244 | 0,0562 | 0,0228 | 0,0678 | 0,0200 | 0,0619 | 0,0237 | 0,0381 | 0,0207 | 0,0302 | 0,0196 | 0,0262 | 0,0185 | 0,0206 | 0,0186 | 0,0206 | 0,0147 | 0,0149 | 0,0195 | 0,0161 | 0,0177 | 0,0177 | 0,0141 | 0,0141 |
| % of fnd | | | 0,189808 | 0,002020 | 0,200100 | 0,081522 | 0,306000 | 0,076020 | 0,446040 | 0,062630 | 0,378160 | 0,019505 | 0,050040 | 0,018200 | 0,046270 | 0,015221 | 0,030471 | 0,013435 | 0,017601 | 0,007826 | 0,034202 | 0,014509 | 0,011311 | 0,027886 | 0,012405 | 0,017916 | 0,003402 | 0,009654 | 0,013030 | 0,013221 | 0,004566 | 0,008677 | 0,007107 | 0,011444 | 0,011444 | 0,009100 | 0,009485 | 0,009485 | 0,007410 | 0,007410 | 0,005632 | 0,005632 | |
| lim(A) | | | 1,08 | 2,3 | 0,43 | 1,14 | 0,3 | 0,27 | 0,23 | 0,4 | 0,184 | 0,33 | 0,153 | 0,21 | 0,131 | 0,15 | 0,115 | 0,132 | 0,102 | 0,118 | 0,092 | 0,107 | 0,084 | 0,098 | 0,077 | 0,09 | 0,071 | 0,083 | 0,066 | 0,078 | 0,061 | 0,073 | 0,058 | 0,068 | 0,054 | 0,064 | 0,051 | 0,061 | 0,048 | 0,058 | 0,046 | | |
| pass/fall | | | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | | |
| max | 7,1438 | 0,7867 | 5,4384 | 3,3841 | 1,8937 | 2,0000 | 2,1486 | 2,0384 | 2,1512 | 1,9332 | 0,9403 | 1,0128 | 0,8615 | 0,4620 | 0,3652 | 0,6532 | 0,5319 | 0,4273 | 0,5538 | 0,6592 | 0,5778 | 1,2751 | 1,5421 | 0,5867 | 0,3025 | 0,2467 | 0,6485 | 0,5991 | 0,3821 | 0,4161 | 0,4727 | 0,2861 | 0,3214 | 0,1678 | 0,2287 | 0,4108 | 0,7628 | 1,0019 | 0,4536 | 0,2418 | | | |
| % of fnd | | | 2,08995 | 1,28800 | 3,57915 | 1,25849 | 1,560347 | 1,567169 | 1,669561 | 1,74466 | 1,36251 | 2,00809 | 1,62111 | 1,83441 | 2,07236 | 2,76294 | 3,11404 | 1,78181 | 1,58000 | 2,02008 | 1,4904 | 4,32782 | 2,24088 | 2,32735 | 1,9732 | 0,01511 | 0,03055 | 1,60930 | 4,33678 | 1,00093 | 1,00098 | 2,07449 | 2,36130 | 1,53532 | 1,83826 | 1,72468 | 1,21944 | 1,30482 | | | | | |
| lim(A) | | | 1,62 | 3,45 | 0,645 | 1,71 | 0,45 | 0,335 | 0,345 | 0,6 | 0,276 | 0,495 | 0,23 | 0,315 | 0,197 | 0,225 | 0,173 | 0,189 | 0,151 | 0,178 | 0,138 | 0,161 | 0,125 | 0,147 | 0,115 | 0,135 | 0,106 | 0,125 | 0,099 | 0,118 | 0,092 | 0,109 | 0,086 | 0,107 | 0,081 | 0,096 | 0,077 | 0,091 | 0,073 | 0,087 | 0,069 | | |
| pass/fall | | | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | | |

Tabell 8 visar en mätning på MIO 2.0 utan H-PFC-krets (17/5 2021)

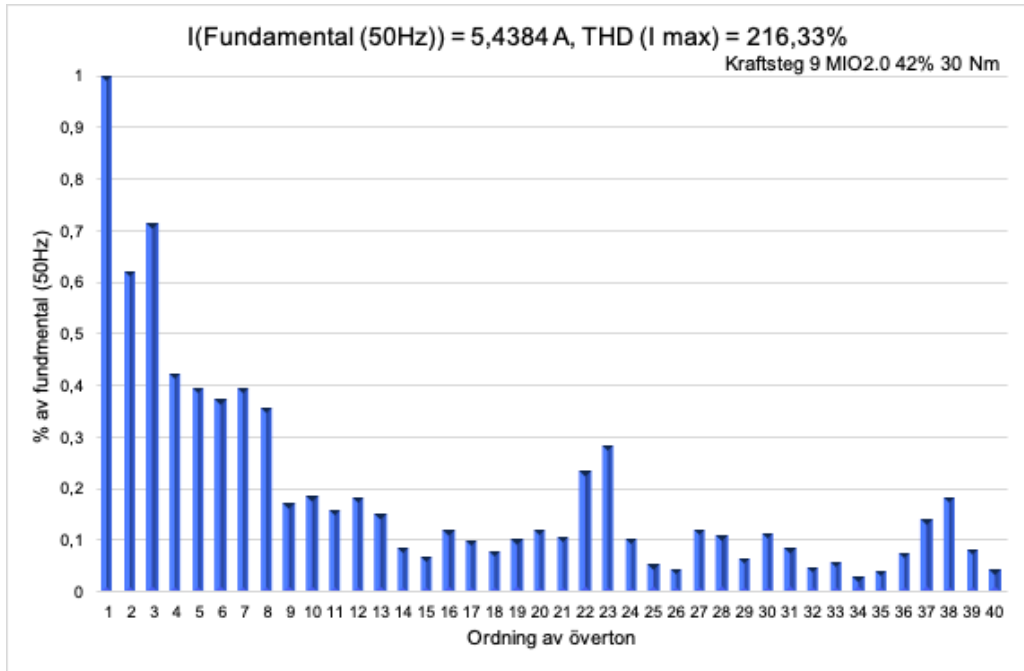


Diagram 1, visar THD_i för MIO 2.0 utan H-PFC-krets och är kopplad till värdena I_{RMS max} för tabell 8

Kraftsteg 12, 30 Nm, MIO 2.0 200 ms 5 cyklar

| Hn | (Hn/60) | 0 (DC) | 1 (Fund) 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | | |
|-----------|---------|--------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
| medel | 2,9593 | 0,0242 | 1,6183 | 0,2869 | 1,2790 | 0,1871 | 0,7837 | 0,1381 | 0,4488 | 0,1274 | 0,3272 | 0,0839 | 0,2818 | 0,0918 | 0,1873 | 0,0587 | 0,0860 | 0,0519 | 0,0784 | 0,0462 | 0,0614 | 0,0403 | 0,0875 | 0,0388 | 0,0586 | 0,0316 | 0,0391 | 0,0271 | 0,0289 | 0,0251 | 0,0287 | 0,0236 | 0,0302 | 0,0223 | 0,0282 | 0,0184 | 0,0217 | 0,0168 | 0,0180 | 0,0165 | 0,0180 | 0,0141 | |
| % of fnd | | | 0,2462 | 0,5544 | 0,4351 | 0,6812 | 0,4603 | 0,5802 | 0,5290 | 0,8431 | 0,4560 | 0,8844 | 0,5999 | 0,8904 | 0,4488 | 0,6636 | 0,4153 | 0,5938 | 0,4530 | 0,2025 | 0,4385 | 0,6312 | 0,4240 | 0,5978 | 0,4101 | 0,4342 | 0,3818 | 0,3604 | 0,3810 | 0,3686 | 0,3861 | 0,4139 | 0,3446 | 0,4287 | 0,3427 | 0,3330 | 0,3247 | 0,3098 | 0,3230 | 0,3260 | 0,3062 | | |
| lim(A) | | | 1,8000 | 2,3000 | 0,4300 | 1,1400 | 0,3000 | 0,7900 | 0,2300 | 0,4000 | 0,1840 | 0,3300 | 0,1530 | 0,2100 | 0,1310 | 0,1500 | 0,1130 | 0,1300 | 0,1020 | 0,1180 | 0,0920 | 0,1070 | 0,0840 | 0,0980 | 0,0770 | 0,0900 | 0,0710 | 0,0830 | 0,0660 | 0,0780 | 0,0610 | 0,0730 | 0,0580 | 0,0680 | 0,0540 | 0,0640 | 0,0510 | 0,0610 | 0,0480 | 0,0580 | 0,0460 | | |
| pass/fall | | | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | | |
| max | 6,9758 | 1,3746 | 5,1747 | 3,2758 | 3,8796 | 2,3405 | 2,3330 | 3,7122 | 0,9884 | 0,9342 | 1,820 | 3,7609 | 1,3794 | 1,1894 | 0,6018 | 0,7778 | 0,6118 | 0,5892 | 0,6487 | 1,9041 | 0,8628 | 0,9939 | 1,9939 | 1,6297 | 1,6297 | 0,4589 | 0,4233 | 0,7529 | 0,8550 | 0,5008 | 0,7140 | 0,3478 | 0,4543 | 0,3074 | 0,5044 | 0,3866 | 0,7170 | 0,5043 | 0,2288 | 0,3970 | | | |
| % of fnd | | | 2,0219 | 1,0666 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

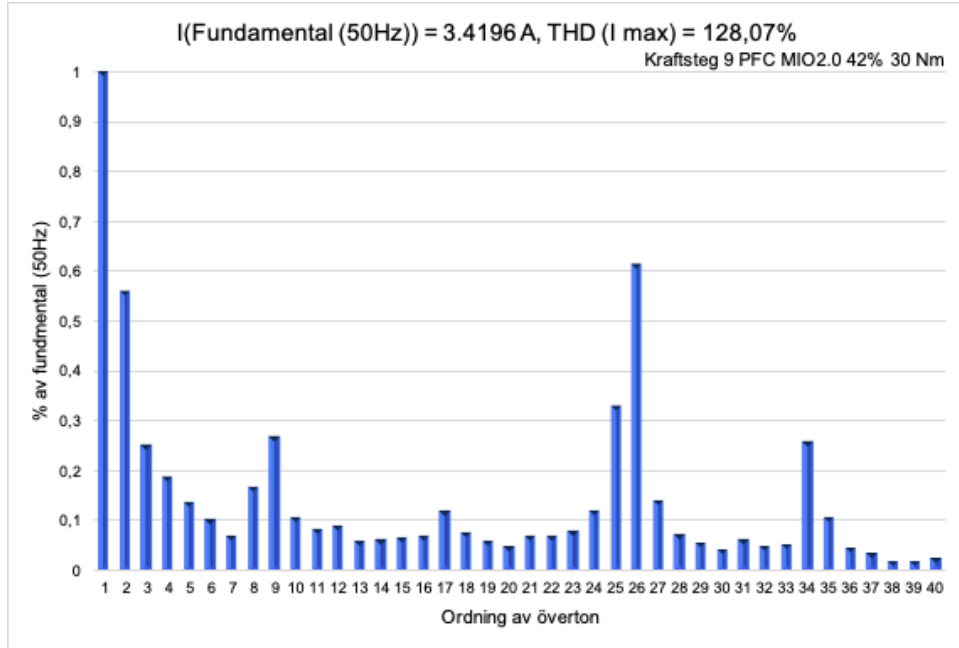


Diagram 2, visar THD_i för MIO 2.0 med H-PFC-krets och är kopplad till I_{RMS max} för tabell 10.

Amplitud 42% kraftsteg 5, 13 Nm 200 ms

| Hz | U _{max} | U _{DC} | 1. U _{fund} | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | | | | | | | |
|------------------------|------------------|-----------------|----------------------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|----------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|----------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| model | 1.99267 | -0.08972 | 1.22849 | 0.07196 | 0.04846 | 0.02434 | 0.00896 | 0.00300 | 0.00104 | 0.00037 | 0.00013 | 0.00005 | 0.00002 | 0.00001 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | | | | | | |
| % of I _{fund} | 1.00 | 2.3 | 0.43 | 0.14 | 0.3 | 0.17 | 0.23 | 0.4 | 0.184 | 0.33 | 0.153 | 0.21 | 0.133 | 0.15 | 0.115 | 0.132 | 0.102 | 0.114 | 0.092 | 0.107 | 0.084 | 0.091 | 0.077 | 0.09 | 0.074 | 0.083 | 0.068 | 0.078 | 0.061 | 0.073 | 0.058 | 0.068 | 0.054 | 0.064 | 0.051 | 0.061 | 0.048 | 0.054 | 0.046 | 0.054 | 0.046 | | | | | | | | |
| max | 11190 | 5794 | 3580 | 3345 | 3877 | 4918 | 6333 | 8267 | 9269 | 9308 | 8320 | 6316 | 4176 | 3094 | 2327 | 1848 | 1361 | 1062 | 8194 | 6246 | 4346 | 3079 | 2090 | 1417 | 9381 | 5951 | 4014 | 3107 | 2149 | 1427 | 1145 | 8146 | 5034 | 3444 | 2391 | 1636 | 1090 | 7120 | 4079 | 2736 | 1636 | 1036 | | | | | | | |
| % of I _{fund} | 0.84722 | 0.17048 | 0.76231 | 0.21246 | 0.62370 | 0.24283 | 1.039478 | 0.335 | 1.27840 | 0.30747 | 1.27321 | 0.484825 | 1.247115 | 0.562444 | 0.414034 | 0.78053 | 1.48825 | 1.38879 | 1.66233 | 1.093187 | 1.62088 | 1.644227 | 2.073447 | 4.408 | 3.881415 | 0.8132 | 1.369090 | 2.262 | 1.461739 | 1.056642 | 1.919837 | 3.27292 | 5.121111 | 1.052304 | 1.368831 | 1.033480 | 1.847673 | 0.511988 | 1.501448 | 0.643466 | 1.121410 | 0.169021 | 0.168902 | 0.10201 | 0.10661 | 0.07277 | 0.05811 | 0.07023 | 0.04901 |
| I _{fund} | 1.62 | 3.45 | 0.645 | 1.71 | 0.45 | 1.165 | 0.345 | 0.6 | 0.276 | 0.485 | 0.23 | 0.315 | 0.197 | 0.225 | 0.173 | 0.160 | 0.153 | 0.178 | 0.138 | 0.161 | 0.125 | 0.147 | 0.115 | 0.135 | 0.106 | 0.125 | 0.099 | 0.116 | 0.092 | 0.109 | 0.088 | 0.102 | 0.081 | 0.096 | 0.077 | 0.091 | 0.073 | 0.087 | 0.069 | 0.085 | 0.065 | 0.082 | 0.065 | | | | | | |
| I _{max} | 1.62 | 3.45 | 0.645 | 1.71 | 0.45 | 1.165 | 0.345 | 0.6 | 0.276 | 0.485 | 0.23 | 0.315 | 0.197 | 0.225 | 0.173 | 0.160 | 0.153 | 0.178 | 0.138 | 0.161 | 0.125 | 0.147 | 0.115 | 0.135 | 0.106 | 0.125 | 0.099 | 0.116 | 0.092 | 0.109 | 0.088 | 0.102 | 0.081 | 0.096 | 0.077 | 0.091 | 0.073 | 0.087 | 0.069 | 0.085 | 0.065 | 0.082 | 0.065 | | | | | | |

Tabell 11 visar en mätning på MIO 2.0 med H-PFC-krets (21/5 2021)

De övre två testerna gjordes med MIO 2.0 där H-PFC kortet var implementerat och amplituden var 42%, dessa tester visar fortfarande på att kretsen genererar övertoner som är över gränsen enligt standarden. Detta resulterade i att amplituden ändrades till 35% i testerna nedan.

4.5.3 MIO 2.0 med H-PFC och 35 % amplitud

Kraftsteg 9, 13 Nm 200ms 5 cyklar

| Hz | U _{max} | U _{DC} | 1. U _{fund} | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | | | | | | | |
|------------------------|------------------|-----------------|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| model | 1.3535 | -0.0113 | 1.3308 | 0.0581 | 0.0410 | 0.0208 | 0.0085 | 0.0175 | 0.0098 | 0.0158 | 0.0453 | 0.0139 | 0.0255 | 0.0122 | 0.0457 | 0.0085 | 0.0232 | 0.0084 | 0.0331 | 0.0073 | 0.0108 | 0.0203 | 0.0084 | 0.0062 | 0.0151 | 0.0059 | 0.0116 | 0.0057 | 0.0162 | 0.0055 | 0.0111 | 0.0052 | 0.0099 | 0.0050 | 0.0070 | 0.0050 | 0.0088 | 0.0048 | 0.0091 | 0.0044 | 0.0065 | 0.0043 | | | | | | | |
| % of I _{fund} | 1.00 | 2.3 | 0.43 | 1.14 | 0.3 | 0.17 | 0.23 | 0.4 | 0.184 | 0.33 | 0.153 | 0.21 | 0.133 | 0.15 | 0.115 | 0.132 | 0.102 | 0.114 | 0.092 | 0.107 | 0.084 | 0.091 | 0.077 | 0.09 | 0.074 | 0.083 | 0.068 | 0.078 | 0.061 | 0.073 | 0.058 | 0.068 | 0.054 | 0.064 | 0.051 | 0.061 | 0.048 | 0.054 | 0.046 | 0.054 | 0.046 | | | | | | | | |
| max | 58215 | 14842 | 47714 | 11789 | 60907 | 63862 | 80677 | 84544 | 83737 | 82842 | 62229 | 41213 | 32219 | 21629 | 15827 | 11999 | 9154 | 67105 | 51129 | 35119 | 24142 | 16112 | 10968 | 71004 | 45112 | 30929 | 20803 | 14000 | 9188 | 60841 | 37793 | 25734 | 17274 | 10734 | 70734 | 40730 | 26967 | 16968 | 10968 | 70730 | 40730 | | | | | | | | |
| % of I _{fund} | 0.7287 | 0.3486 | 0.83446 | 0.28815 | 1.00962 | 0.32350 | 0.70791 | 0.37079 | 0.77284 | 0.44838 | 0.79396 | 0.48 | 0.882430 | 0.67737 | 0.39643 | 0.72716 | 1.09718 | 0.88268 | 0.80597 | 0.61336 | 0.80352 | 0.75 | 0.80782 | 0.949410 | 0.74842 | 0.90516 | 0.85234 | 0.68333 | 0.79744 | 0.69178 | 0.85376 | 0.77484 | 0.81116 | 0.61254 | 0.83364 | 0.76640 | 0.60171 | 0.84878 | 0.74057 | 0.643466 | 1.121410 | 0.169021 | 0.168902 | 0.10201 | 0.10661 | 0.07277 | 0.05811 | 0.07023 | 0.04901 |
| I _{fund} | 1.62 | 3.45 | 0.645 | 1.71 | 0.45 | 1.165 | 0.345 | 0.6 | 0.276 | 0.485 | 0.23 | 0.315 | 0.197 | 0.225 | 0.173 | 0.160 | 0.153 | 0.178 | 0.138 | 0.161 | 0.125 | 0.147 | 0.115 | 0.135 | 0.106 | 0.125 | 0.099 | 0.116 | 0.092 | 0.109 | 0.088 | 0.102 | 0.081 | 0.096 | 0.077 | 0.091 | 0.073 | 0.087 | 0.069 | 0.085 | 0.065 | 0.082 | 0.065 | | | | | | |
| I _{max} | 1.62 | 3.45 | 0.645 | 1.71 | 0.45 | 1.165 | 0.345 | 0.6 | 0.276 | 0.485 | 0.23 | 0.315 | 0.197 | 0.225 | 0.173 | 0.160 | 0.153 | 0.178 | 0.138 | 0.161 | 0.125 | 0.147 | 0.115 | 0.135 | 0.106 | 0.125 | 0.099 | 0.116 | 0.092 | 0.109 | 0.088 | 0.102 | 0.081 | 0.096 | 0.077 | 0.091 | 0.073 | 0.087 | 0.069 | 0.085 | 0.065 | 0.082 | 0.065 | | | | | | |

Tabell 12 visar en mätning på MIO 2.0 med H-PFC-krets och 35% amplitud (Mjukvaran ej faktoriserad med 0.35) (25/5 2021)

Kraftsteg 9, 13 Nm 200ms 5 cyklar

| Hz | U _{max} | U _{DC} | 1. U _{fund} | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | | |
|------------------------|------------------|-----------------|----------------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| model | 1.2568 | -0.0096 | 1.2363 | 0.0389 | 0.0545 | 0.0151 | 0.0332 | 0.0123 | 0.0483 | 0.0109 | 0.0551 | 0.0108 | 0.0213 | 0.0091 | 0.0505 | 0.0263 | 0.054 | 0.0067 | 0.0284 | 0.0090 | 0.0115 | 0.0252 | 0.0090 | 0.0060 | 0.0112 | 0.0249 | 0.0085 | 0.0045 | 0.0115 | 0.0044 | 0.0112 | 0.0044 | 0.0113 | 0.0043 | 0.0074 | 0.0044 | 0.0081 | 0.0042 | 0.0097 | 0.0039 | 0.0068 | 0.0037 | | |
| % of I _{fund} | 1.00 | 2.3 | 0.43 | 1.14 | 0.3 | 0.17 | 0.23 | 0.4 | 0.184 | 0.33 | 0.153 | 0.21 | 0.133 | 0.15 | 0.115 | 0.132 | 0.102 | 0.114 | 0.092 | 0.107 | 0.084 | 0.091 | 0.077 | 0.09 | 0.074 | 0.083 | 0.068 | 0.078 | 0.061 | 0.073 | 0.058 | 0.068 | 0.054 | 0.064 | 0.051 | 0.061 | 0.048 | 0.054 | 0.046 | 0.054 | 0.046 | | | |
| max | 4.9727 | 0.9779 | 4.9410 | 1.0586 | 0.4359 | 0.9398 | 0.2889 | 0.2328 | 0.2471 | 0.1856 | 0.1489 | 0.1258 | 0.1115 | 0.1038 | 0.1059 | 0.0894 | 0.0696 | 0.0742 | 0.0625 | 0.0698 | 0.0584 | 0.0531 | 0.0541 | 0.0487 | 0.0431 | 0.0499 | 0.0389 | 0.0523 | 0.0430 | 0.0429 | 0.0389 | 0.0408 | 0.0347 | 0.0370 | 0.0435 | 0.0394 | 0.0289 | 0.0391 | 0.0289 | 0.0391 | | | | |
| % of I _{fund} | 0.64346 | 0.121410 | 0.169021 | 0.168902 | 0.10201 | 0.10661 | 0.07277 | 0.05811 | 0.07023 | 0.04901 | 0.07023 | 0.04901 | 0.07023 | 0.04901 | 0.07023 | 0.04901 | 0.07023 | 0.04901 | 0.07023 | 0.04901 | 0.07023 | 0.04901 | 0.07023 | 0.04901 | 0.07023 | 0.04901 | 0.07023 | 0.04901 | 0.07023 | 0.04901 | 0.07023 | 0.04901 | 0.07023 | 0.04901 | 0.07023 | 0.04901 | 0.07023 | 0.04901 | 0.07023 | 0.04901 | 0.07023 | 0.04901 | 0.07023 | 0.04901 |
| I _{fund} | 1.62 | 3.45 | 0.645 | 1.71 | 0.45 | 1.165 | 0.345 | 0.6 | 0.276 | 0.485 | 0.23 | 0.315 | 0.197 | 0.225 | 0.173 | 0.160 | 0.153 | 0.178 | 0.138 | 0.161 | 0.125 | 0.147 | 0.115 | 0.135 | 0.106 | 0.125 | 0.099 | 0.116 | 0.092 | 0.109 | 0.088 | 0.102 | 0.081 | 0.096 | 0.077 | 0.091 | 0.073 | 0.087 | 0.069 | 0.085 | 0.065 | 0.082 | 0.065 | |
| I _{max} | 1.62 | 3.45 | 0.645 | 1.71 | 0.45 | 1.165 | 0.345 | 0.6 | 0.276 | 0.485 | 0.23 | 0.315 | 0.197 | 0.225 | 0.173 | 0.160 | 0.153 | 0.178 | 0.138 | 0.161 | 0.125 | 0.147 | 0.115 | 0.135 | 0.106 | 0.125 | 0.099 | 0.116 | 0.092 | 0.109 | 0.088 | 0.102 | 0.081 | 0.096 | 0.077 | 0.091 | 0.073 | 0.087 | 0.069 | 0.085 | 0.065 | 0.082 | 0.065 | |

Tabell 13 visar en mätning på MIO 2.0 med H-PFC-krets och 35% amplitud (28/5 2021)

Kraftsteg 12, 13 Nm 5 cyklar

| Hn | U(nsd) | 0 (DC) | 1 (fund) | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | |
|------------|--------|---------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| medel | 1,1077 | -0,0111 | 1,6910 | 0,0550 | 0,0759 | 0,1185 | 0,0235 | 0,0441 | 0,0473 | 0,0117 | 0,0543 | 0,0515 | 0,0244 | 0,0085 | 0,0498 | 0,0068 | 0,0146 | 0,0067 | 0,0277 | 0,0064 | 0,0117 | 0,0055 | 0,0093 | 0,0053 | 0,0115 | 0,0050 | 0,0089 | 0,0047 | 0,0113 | 0,0046 | 0,0111 | 0,0045 | 0,0111 | 0,0043 | 0,0073 | 0,0040 | 0,0074 | 0,0039 | 0,0086 | 0,0038 | 0,0062 | 0,0037 | |
| % av medel | | | | 0,0050 | 0,0059 | 0,0083 | 0,0021 | 0,0030 | 0,0031 | 0,0011 | 0,0045 | 0,0043 | 0,0019 | 0,0007 | 0,0031 | 0,0007 | 0,0014 | 0,0007 | 0,0027 | 0,0007 | 0,0011 | 0,0005 | 0,0009 | 0,0005 | 0,0011 | 0,0005 | 0,0009 | 0,0005 | 0,0011 | 0,0004 | 0,0011 | 0,0004 | 0,0011 | 0,0004 | 0,0011 | 0,0004 | 0,0011 | 0,0004 | 0,0011 | 0,0004 | 0,0011 | 0,0004 | 0,0011 |
| max | 3,3718 | 0,3148 | 3,3650 | 0,9812 | 0,4052 | 0,2061 | 0,1958 | 0,1120 | 0,1448 | 0,0971 | 0,1505 | 0,0909 | 0,0060 | 0,0059 | 0,0951 | 0,0655 | 0,0511 | 0,0443 | 0,0712 | 0,0770 | 0,0469 | 0,0408 | 0,0360 | 0,0399 | 0,0391 | 0,0342 | 0,0274 | 0,0390 | 0,0377 | 0,0377 | 0,0338 | 0,0270 | 0,0344 | 0,0263 | 0,0344 | 0,0221 | 0,0273 | 0,0296 | 0,0209 | 0,0242 | 0,0171 | | |
| % av max | | | | 0,0029 | 0,0126 | 0,0061 | 0,0059 | 0,0034 | 0,0042 | 0,0031 | 0,0044 | 0,0026 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0031 | 0,0021 | 0,0017 | 0,0016 | 0,0025 | 0,0026 | 0,0016 | 0,0015 | 0,0014 | 0,0015 | 0,0014 | 0,0013 | 0,0012 | 0,0015 | 0,0014 | 0,0013 | 0,0012 | 0,0013 | 0,0012 | 0,0013 | 0,0012 | 0,0013 | 0,0012 | 0,0013 | 0,0012 | 0,0013 | 0,0012 | 0,0013 |
| min | 0,0064 | 0,1831 | 0,1983 | 0,0974 | 0,2481 | 0,1238 | 0,1342 | 0,1774 | 0,2921 | 0,1737 | 0,2419 | 0,2701 | 0,3349 | 0,2293 | 0,2568 | 0,3078 | 0,1833 | 0,2634 | 0,2921 | 0,2283 | 0,3116 | 0,2675 | 0,2977 | 0,2821 | 0,3604 | 0,2694 | 0,3296 | 0,2913 | 0,3035 | 0,3158 | 0,3053 | 0,3741 | 0,2872 | 0,3477 | 0,3522 | 0,3254 | 0,2864 | 0,2787 | 0,2478 | | | | |
| % av min | | | | 0,0148 | 0,0454 | 0,0215 | 0,0232 | 0,0304 | 0,0443 | 0,0257 | 0,0333 | 0,0362 | 0,0443 | 0,0533 | 0,0362 | 0,0413 | 0,0473 | 0,0261 | 0,0373 | 0,0413 | 0,0311 | 0,0353 | 0,0333 | 0,0333 | 0,0333 | 0,0333 | 0,0333 | 0,0333 | 0,0333 | 0,0333 | 0,0333 | 0,0333 | 0,0333 | 0,0333 | 0,0333 | 0,0333 | 0,0333 | 0,0333 | 0,0333 | 0,0333 | 0,0333 | | |
| pass/fail | | | | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | | | |

Tabell 14 visar en mätning på MIO 2.0 med H-PFC-krets och 35% amplitud (28/5 2021)

Kraftsteg 12, 20 Nm 200ms 5 cyklar

| Hn | U(nsd) | 0 (DC) | 1 (fund) | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 |
|------------|--------|--------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----|----|
| medel | 1,2787 | 0,0090 | 1,2618 | 0,0671 | 0,0221 | 0,0250 | 0,0157 | 0,0486 | 0,0131 | 0,0541 | 0,0116 | 0,0207 | 0,0104 | 0,0473 | 0,0079 | 0,0184 | 0,0079 | 0,0270 | 0,0079 | 0,0106 | 0,0062 | 0,0100 | 0,0099 | 0,0110 | 0,0054 | 0,0087 | 0,0095 | 0,0117 | 0,0054 | 0,0108 | 0,0052 | 0,0115 | 0,0048 | 0,0104 | 0,0088 | 0,0096 | 0,0095 | 0,0042 | 0,0064 | 0,0040 | | |
| % av medel | | | | 0,0052 | 0,0017 | 0,0019 | 0,0012 | 0,0038 | 0,0010 | 0,0043 | 0,0009 | 0,0017 | 0,0008 | 0,0017 | 0,0008 | 0,0011 | 0,0008 | 0,0008 | 0,0011 | 0,0008 | 0,0008 | 0,0008 | 0,0008 | 0,0008 | 0,0008 | 0,0008 | 0,0008 | 0,0008 | 0,0008 | 0,0008 | 0,0008 | 0,0008 | 0,0008 | 0,0008 | 0,0008 | 0,0008 | 0,0008 | 0,0008 | 0,0008 | 0,0008 | | |
| max | 3,8212 | 0,8384 | 3,7719 | 0,9202 | 0,5775 | 0,4584 | 0,3260 | 0,1959 | 0,2222 | 0,1552 | 0,2294 | 0,1328 | 0,1451 | 0,1513 | 0,1427 | 0,1149 | 0,1037 | 0,1155 | 0,1095 | 0,0988 | 0,0883 | 0,0729 | 0,0919 | 0,0921 | 0,0921 | 0,0921 | 0,0921 | 0,0921 | 0,0921 | 0,0921 | 0,0921 | 0,0921 | 0,0921 | 0,0921 | 0,0921 | 0,0921 | 0,0921 | 0,0921 | 0,0921 | 0,0921 | | |
| % av max | | | | 0,0242 | 0,0787 | 0,1278 | 0,0835 | 0,0463 | 0,0543 | 0,0347 | 0,0483 | 0,0333 | 0,0278 | 0,0255 | 0,0278 | 0,0255 | 0,0211 | 0,0199 | 0,0211 | 0,0199 | 0,0199 | 0,0199 | 0,0199 | 0,0199 | 0,0199 | 0,0199 | 0,0199 | 0,0199 | 0,0199 | 0,0199 | 0,0199 | 0,0199 | 0,0199 | 0,0199 | 0,0199 | 0,0199 | 0,0199 | 0,0199 | 0,0199 | 0,0199 | | |
| min | 1,62 | 3,45 | 0,645 | 1,71 | 0,45 | 1,155 | 0,345 | 0,6 | 0,278 | 0,495 | 0,23 | 0,315 | 0,197 | 0,225 | 0,173 | 0,199 | 0,153 | 0,178 | 0,138 | 0,161 | 0,125 | 0,147 | 0,115 | 0,135 | 0,108 | 0,125 | 0,099 | 0,116 | 0,092 | 0,109 | 0,088 | 0,102 | 0,081 | 0,096 | 0,077 | 0,091 | 0,073 | 0,087 | | | | |
| % av min | | | | 0,0345 | 0,0215 | 0,0345 | 0,0215 | 0,0345 | 0,0215 | 0,0345 | 0,0215 | 0,0345 | 0,0215 | 0,0345 | 0,0215 | 0,0345 | 0,0215 | 0,0345 | 0,0215 | 0,0345 | 0,0215 | 0,0345 | 0,0215 | 0,0345 | 0,0215 | 0,0345 | 0,0215 | 0,0345 | 0,0215 | 0,0345 | 0,0215 | 0,0345 | 0,0215 | 0,0345 | 0,0215 | 0,0345 | 0,0215 | 0,0345 | | | | |
| pass/fail | | | | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | | | | |

Tabell 15 visar en mätning på MIO 2.0 med H-PFC-krets och 35% amplitud (28/5 2021)

Kraftsteg 12, 30 Nm 200ms 5 cyklar

| Hn | U(nsd) | 0 (DC) | 1 (fund) | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 |
|------------|--------|---------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----|----|
| medel | 1,3173 | -0,0108 | 1,3027 | 0,0402 | 0,0542 | 0,0144 | 0,0335 | 0,0140 | 0,0112 | 0,0268 | 0,0100 | 0,0223 | 0,0044 | 0,0512 | 0,0062 | 0,0168 | 0,0061 | 0,0240 | 0,0061 | 0,0095 | 0,0095 | 0,0095 | 0,0095 | 0,0095 | 0,0095 | 0,0095 | 0,0095 | 0,0095 | 0,0095 | 0,0095 | 0,0095 | 0,0095 | 0,0095 | 0,0095 | 0,0095 | 0,0095 | 0,0095 | 0,0095 | 0,0095 | 0,0095 | | |
| % av medel | | | | 0,0030 | 0,0041 | 0,0011 | 0,0026 | 0,0011 | 0,0011 | 0,0026 | 0,0011 | 0,0022 | 0,0003 | 0,0054 | 0,0005 | 0,0016 | 0,0005 | 0,0007 | 0,0011 | 0,0005 | 0,0007 | 0,0007 | 0,0007 | 0,0007 | 0,0007 | 0,0007 | 0,0007 | 0,0007 | 0,0007 | 0,0007 | 0,0007 | 0,0007 | 0,0007 | 0,0007 | 0,0007 | 0,0007 | 0,0007 | 0,0007 | 0,0007 | | | |
| max | 3,8242 | 0,4876 | 3,8175 | 1,218 | 0,3000 | 0,1842 | 0,1197 | 0,1267 | 0,084 | 0,0908 | 0,0882 | 0,0827 | 0,0600 | 0,0800 | 0,0799 | 0,0701 | 0,054 | 0,031 | 0,0449 | 0,0547 | 0,0392 | 0,0243 | 0,0213 | 0,0207 | 0,0207 | 0,0207 | 0,0207 | 0,0207 | 0,0207 | 0,0207 | 0,0207 | 0,0207 | 0,0207 | 0,0207 | 0,0207 | 0,0207 | 0,0207 | 0,0207 | 0,0207 | | | |
| % av max | | | | 0,0316 | 0,0116 | 0,0148 | 0,0092 | 0,0054 | 0,0044 | 0,0044 | 0,0044 | 0,0044 | 0,0044 | 0,0044 | 0,0044 | 0,0044 | 0,0044 | 0,0044 | 0,0044 | 0,0044 | 0,0044 | 0,0044 | 0,0044 | 0,0044 | 0,0044 | 0,0044 | 0,0044 | 0,0044 | 0,0044 | 0,0044 | 0,0044 | 0,0044 | 0,0044 | 0,0044 | 0,0044 | 0,0044 | 0,0044 | 0,0044 | | | | |
| min | 1,62 | 3,45 | 0,645 | 1,71 | 0,45 | 1,155 | 0,345 | 0,6 | 0,278 | 0,495 | 0,23 | 0,315 | 0,197 | 0,225 | 0,173 | 0,199 | 0,153 | 0,178 | 0,138 | 0,161 | 0,125 | 0,147 | 0,115 | 0,135 | 0,108 | 0,125 | 0,099 | 0,116 | 0,092 | 0,109 | 0,088 | 0,102 | 0,081 | 0,096 | 0,077 | 0,091 | 0,073 | 0,087 | | | | |
| % av min | | | | 0,0345 | 0,0215 | 0,0345 | 0,0215 | 0,0345 | 0,0215 | 0,0345 | 0,0215 | 0,0345 | 0,0215 | 0,0345 | 0,0215 | 0,0345 | 0,0215 | 0,0345 | 0,0215 | 0,0345 | 0,0215 | 0,0345 | 0,0215 | 0,0345 | 0,0215 | 0,0345 | 0,0215 | 0,0345 | 0,0215 | 0,0345 | 0,0215 | 0,0345 | 0,0215 | 0,0345 | 0,0215 | 0,0345 | | | | | | |
| pass/fail | | | | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | pass | | | | |

Tabell 16 visar en mätning på MIO 2.0 med H-PFC-krets och 35% amplitud (28/5 2021)

Vid det första testet (tabell 12) som gjordes med den ändrade amplituden uppstod fortfarande övertoner. Som nämns i 3.9 var det en parameter i mjukvaran som inte hade faktorerats med 0.35 och orsakade därför fortfarande övertoner med för höga värden. Då mjukvaran var uppdaterad klarade MIO 2.0 kraven, detta innebar att man nu kunde göra tester som i tid och vidmoment efterliknade de tester som gjordes på RISE. Med detta i åtanke så gjordes de sista mätningarna inför RISE vilkas resultat blev enligt följande:

Övertonestest kraftsteg 12, 10 Nm MIO 2.0 2s H-PFC 10 min (35%)

| Hn | U(nsd) | 0 (DC) | 1 (fund) | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 |
|------------|--------|---------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----|
| medel | 1,1092 | -0,0135 | 1,0984 | 0,0179 | 0,0418 | 0,0083 | 0,0251 | 0,0058 | 0,0370 | 0,0065 | 0,0508 | 0,0071 | 0,0107 | 0,0057 | 0,0471 | 0,0039 | 0,0183 | 0,0039 | 0,0278 | 0,0027 | 0,0147 | 0,0020 | 0,0048 | 0,0021 | 0,0171 | 0,0019 | 0,0148 | 0,0017 | 0,0128 | 0,0017 | 0,0102 | 0,0018 | 0,0108 | 0,0017 | 0,0083 | 0,0018 | 0,0078 | 0,0015 | 0,0044 | 0,0040 | 0,0013 | |
| % av medel | | | | 0,0016 | 0,0046 | 0,0007 | 0,0023 | 0,0007 | 0,0029 | 0,0008 | 0,0034 | 0,0009 | 0,0013 | 0,0008 | 0,0011 | 0,0007 | 0,0004 | 0,0016 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

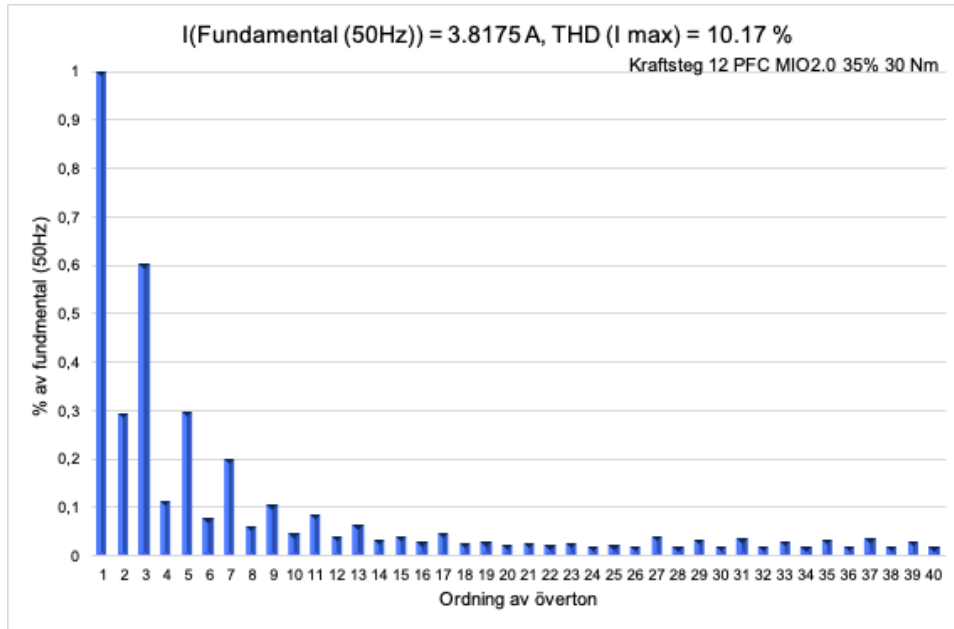


Diagram 3, visar THD_i för MIO 2.0 med H-PFC-krets och är kopplad till I_{RMS max} för tabell 16.

5. Resultat

Efter att ha fått tillbaka rapporten från RISE, vilken bekräftade att frekvensomriktaren dämpade övertonerna på MIO 2.0 till en avsevärt mycket lägre nivå än tidigare och därav klarade IEC 61000-3-2 standardens krav med god marginal, kunde vi konstatera att H-PFC-kretsen fungerade enligt de mätningar vi gjort med Yokogawa WT 1800.

Vi kunde alltså använda Yokogawa WT 1800 för att förutse och ge en god indikation på hur frekvensomriktaren klarar att efterfölja IEC 61000-3-2.

Då utrustningen på RISE behandlade fler steg av de uppmätta värdena från FFT (grouping och smoothing) gällande övertoner än Yokogawa WT 1800 så tyder det på att om man får godkända resultat på Yokogawa WT 1800 så kommer man även ha en god chans att klara av standardkraven för övertoner.

Vidare kan vi fastslå att det utvecklingskort från Infineon var kompatibel med ASSA ABLOYS övriga krets-arkitektur och en H-PFC-krets flyttade resultatet från att inte klara IEC 61000-3-2 standardens krav till att ha god marginal.

THD_i dämpades avsevärt efter implementeringen av H-PFC-kretsen vilket kan ses i tabellerna och diagrammen nedan.

Current Test Result

| Average and Maximum harmonic current results | | | | | | | | | |
|--|----------------------|--------------|-----------|--------|----------------------|--------------|-----------|--------|-----------------|
| Hn | Average | | | | Maximum | | | | Harmonic Result |
| | I _{eff} [A] | of Limit [%] | Limit [A] | Result | I _{eff} [A] | of Limit [%] | Limit [A] | Result | |
| 1 | 1,195 | | | | 2,262 | | | | |
| 2 | 0,121 | 11,184 | 1,080 | PASS | 0,380 | 23,472 | 1,620 | PASS | PASS |
| 3 | 1,134 | 49,320 | 2,300 | PASS | 2,096 | 60,767 | 3,450 | PASS | PASS |
| 4 | 0,163 | 37,984 | 0,430 | PASS | 0,508 | 78,807 | 0,645 | PASS | PASS |
| 5 | 0,931 | 81,704 | 1,140 | PASS | 1,670 | 97,679 | 1,710 | PASS | PASS |
| 6 | 0,140 | 46,758 | 0,300 | PASS | 0,429 | 95,254 | 0,450 | PASS | PASS |
| 7 | 0,705 | 91,565 | 0,770 | PASS | 1,202 | 104,078 | 1,155 | FAIL | FAIL |
| 8 | 0,115 | 49,988 | 0,230 | PASS | 0,347 | 100,511 | 0,345 | FAIL | FAIL |
| 9 | 0,507 | 126,854 | 0,400 | FAIL | 0,842 | 140,267 | 0,600 | FAIL | FAIL |
| 10 | 0,094 | 51,135 | 0,184 | PASS | 0,283 | 102,697 | 0,276 | FAIL | FAIL |
| 11 | 0,357 | 108,105 | 0,330 | FAIL | 0,592 | 119,679 | 0,495 | FAIL | FAIL |
| 12 | 0,078 | 50,946 | 0,153 | PASS | 0,237 | 102,977 | 0,230 | FAIL | FAIL |
| 13 | 0,240 | 114,286 | 0,210 | FAIL | 0,378 | 120,131 | 0,315 | FAIL | FAIL |
| 14 | 0,065 | 49,605 | 0,131 | PASS | 0,193 | 97,894 | 0,197 | PASS | PASS |
| 15 | 0,159 | 105,673 | 0,150 | FAIL | 0,248 | 110,390 | 0,225 | FAIL | FAIL |
| 16 | 0,055 | 47,571 | 0,115 | PASS | 0,156 | 90,621 | 0,173 | PASS | PASS |
| 17 | 0,113 | 85,599 | 0,132 | PASS | 0,184 | 92,802 | 0,199 | PASS | PASS |
| 18 | 0,045 | 44,319 | 0,102 | PASS | 0,121 | 79,111 | 0,153 | PASS | PASS |
| 19 | 0,093 | 78,277 | 0,118 | PASS | 0,150 | 84,319 | 0,178 | PASS | PASS |
| 20 | 0,037 | 40,663 | 0,092 | PASS | 0,097 | 70,346 | 0,138 | PASS | PASS |
| 21 | 0,079 | 73,993 | 0,107 | PASS | 0,136 | 84,829 | 0,161 | PASS | PASS |
| 22 | 0,032 | 38,236 | 0,084 | PASS | 0,080 | 63,734 | 0,125 | PASS | PASS |
| 23 | 0,066 | 67,328 | 0,098 | PASS | 0,115 | 78,646 | 0,147 | PASS | PASS |
| 24 | 0,028 | 36,169 | 0,077 | PASS | 0,067 | 58,302 | 0,115 | PASS | PASS |
| 25 | 0,052 | 57,561 | 0,090 | PASS | 0,085 | 62,784 | 0,135 | PASS | PASS |
| 26 | 0,023 | 32,871 | 0,071 | PASS | 0,053 | 50,232 | 0,106 | PASS | PASS |
| 27 | 0,040 | 48,078 | 0,083 | PASS | 0,064 | 50,890 | 0,125 | PASS | PASS |
| 28 | 0,020 | 30,280 | 0,066 | PASS | 0,044 | 45,026 | 0,099 | PASS | PASS |
| 29 | 0,034 | 43,230 | 0,078 | PASS | 0,052 | 44,958 | 0,116 | PASS | PASS |
| 30 | 0,017 | 28,478 | 0,061 | PASS | 0,039 | 42,277 | 0,092 | PASS | PASS |
| 31 | 0,031 | 42,483 | 0,073 | PASS | 0,049 | 44,880 | 0,109 | PASS | PASS |
| 32 | 0,016 | 26,990 | 0,058 | PASS | 0,034 | 39,067 | 0,086 | PASS | PASS |
| 33 | 0,028 | 40,536 | 0,068 | PASS | 0,047 | 46,217 | 0,102 | PASS | PASS |
| 34 | 0,014 | 25,387 | 0,054 | PASS | 0,029 | 36,106 | 0,081 | PASS | PASS |
| 35 | 0,024 | 36,716 | 0,064 | PASS | 0,041 | 42,725 | 0,096 | PASS | PASS |
| 36 | 0,012 | 24,356 | 0,051 | n/a | 0,026 | 33,898 | 0,077 | PASS | PASS |
| 37 | 0,019 | 31,465 | 0,061 | PASS | 0,031 | 34,039 | 0,091 | PASS | PASS |
| 38 | 0,011 | 22,807 | 0,048 | n/a | 0,024 | 33,146 | 0,073 | PASS | PASS |
| 39 | 0,015 | 26,083 | 0,058 | PASS | 0,025 | 28,879 | 0,087 | PASS | PASS |
| 40 | 0,010 | 21,919 | 0,046 | n/a | 0,022 | 32,337 | 0,069 | PASS | PASS |

Note: Harmonic currents less than 0.6 % of the input current measured under the test conditions, or less than 5 mA, whichever is greater, are disregarded.

Tabell 20, MIO 2.0 10 NM utan H-PFC

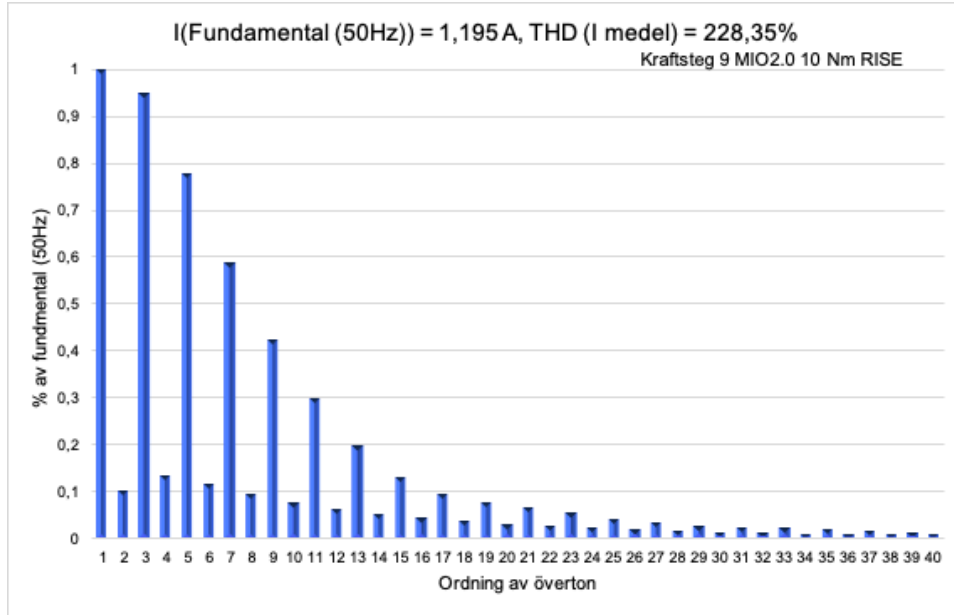


Diagram 4, visar THD_i för MIO 2.0 utan H-PFC-krets och är kopplad till I_{RMS medel} för tabell 20.

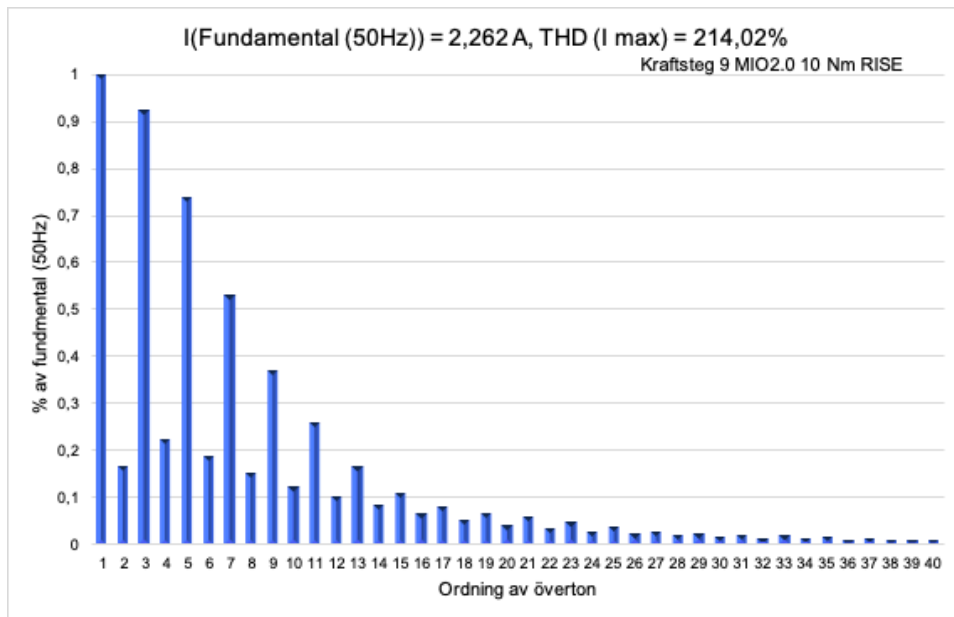


Diagram 5, visar THD_i för MIO 2.0 utan H-PFC-krets och är kopplad till I_{RMS max} för tabell 20.

Current Test Result

| Average and Maximum harmonic current results | | | | | | | | | |
|--|----------------------|--------------|-----------|--------|----------------------|--------------|-----------|--------|-----------------|
| Hn | Average | | | | Maximum | | | | Harmonic Result |
| | I _{eff} [A] | of Limit [%] | Limit [A] | Result | I _{eff} [A] | of Limit [%] | Limit [A] | Result | |
| 1 | 1,379 | | | | 2,707 | | | | |
| 2 | 0,120 | 11,081 | 1,080 | PASS | 0,350 | 21,593 | 1,620 | PASS | PASS |
| 3 | 1,297 | 56,392 | 2,300 | PASS | 2,479 | 71,846 | 3,450 | PASS | PASS |
| 4 | 0,162 | 37,740 | 0,430 | PASS | 0,481 | 74,547 | 0,645 | PASS | PASS |
| 5 | 1,064 | 93,304 | 1,140 | PASS | 1,974 | 115,419 | 1,710 | FAIL | FAIL |
| 6 | 0,140 | 46,513 | 0,300 | PASS | 0,405 | 90,108 | 0,450 | PASS | PASS |
| 7 | 0,800 | 103,922 | 0,770 | FAIL | 1,408 | 121,888 | 1,155 | FAIL | FAIL |
| 8 | 0,115 | 50,201 | 0,230 | PASS | 0,331 | 95,929 | 0,345 | PASS | PASS |
| 9 | 0,565 | 141,373 | 0,400 | FAIL | 0,958 | 159,634 | 0,600 | FAIL | FAIL |
| 10 | 0,096 | 52,256 | 0,184 | PASS | 0,280 | 101,370 | 0,276 | FAIL | FAIL |
| 11 | 0,387 | 117,210 | 0,330 | FAIL | 0,629 | 127,115 | 0,495 | FAIL | FAIL |
| 12 | 0,082 | 53,355 | 0,153 | PASS | 0,239 | 104,037 | 0,230 | FAIL | FAIL |
| 13 | 0,258 | 122,867 | 0,210 | FAIL | 0,394 | 124,947 | 0,315 | FAIL | FAIL |
| 14 | 0,070 | 52,978 | 0,131 | PASS | 0,194 | 98,482 | 0,197 | PASS | PASS |
| 15 | 0,175 | 116,802 | 0,150 | FAIL | 0,284 | 126,403 | 0,225 | FAIL | FAIL |
| 16 | 0,059 | 51,123 | 0,115 | PASS | 0,157 | 91,060 | 0,173 | PASS | PASS |
| 17 | 0,130 | 98,532 | 0,132 | PASS | 0,234 | 118,105 | 0,199 | FAIL | FAIL |
| 18 | 0,049 | 48,073 | 0,102 | PASS | 0,128 | 83,217 | 0,153 | PASS | PASS |
| 19 | 0,106 | 89,436 | 0,118 | PASS | 0,187 | 105,264 | 0,178 | FAIL | FAIL |
| 20 | 0,041 | 44,759 | 0,092 | PASS | 0,105 | 75,812 | 0,138 | PASS | PASS |
| 21 | 0,089 | 82,993 | 0,107 | PASS | 0,156 | 97,263 | 0,161 | PASS | PASS |
| 22 | 0,035 | 41,954 | 0,084 | PASS | 0,087 | 69,271 | 0,125 | PASS | PASS |
| 23 | 0,073 | 74,709 | 0,098 | PASS | 0,118 | 80,437 | 0,147 | PASS | PASS |
| 24 | 0,030 | 39,336 | 0,077 | PASS | 0,071 | 61,920 | 0,115 | PASS | PASS |
| 25 | 0,057 | 63,522 | 0,090 | PASS | 0,089 | 65,897 | 0,135 | PASS | PASS |
| 26 | 0,026 | 36,169 | 0,071 | PASS | 0,059 | 55,163 | 0,106 | PASS | PASS |
| 27 | 0,046 | 54,616 | 0,083 | PASS | 0,073 | 58,624 | 0,125 | PASS | PASS |
| 28 | 0,022 | 33,826 | 0,066 | PASS | 0,051 | 51,273 | 0,099 | PASS | PASS |
| 29 | 0,039 | 49,896 | 0,078 | PASS | 0,065 | 55,428 | 0,116 | PASS | PASS |
| 30 | 0,019 | 31,687 | 0,061 | PASS | 0,042 | 45,901 | 0,092 | PASS | PASS |
| 31 | 0,034 | 46,641 | 0,073 | PASS | 0,058 | 53,248 | 0,109 | PASS | PASS |
| 32 | 0,017 | 29,506 | 0,058 | PASS | 0,036 | 41,390 | 0,086 | PASS | PASS |
| 33 | 0,028 | 41,786 | 0,068 | PASS | 0,046 | 45,353 | 0,102 | PASS | PASS |
| 34 | 0,015 | 27,535 | 0,054 | n/a | 0,031 | 38,527 | 0,081 | PASS | PASS |
| 35 | 0,024 | 36,785 | 0,064 | PASS | 0,042 | 43,854 | 0,096 | PASS | PASS |
| 36 | 0,014 | 26,571 | 0,051 | n/a | 0,028 | 36,953 | 0,077 | PASS | PASS |
| 37 | 0,020 | 33,582 | 0,061 | PASS | 0,033 | 36,145 | 0,091 | PASS | PASS |
| 38 | 0,012 | 25,076 | 0,048 | n/a | 0,025 | 33,822 | 0,073 | PASS | PASS |
| 39 | 0,018 | 31,047 | 0,058 | PASS | 0,029 | 32,994 | 0,087 | PASS | PASS |
| 40 | 0,011 | 23,852 | 0,046 | n/a | 0,022 | 32,230 | 0,069 | PASS | PASS |

Note: Harmonic currents less than 0.6 % of the input current measured under the test conditions, or less than 5 mA, whichever is greater, are disregarded.

Tabell 21, MIO 2.0 20 NM utan H-PFC

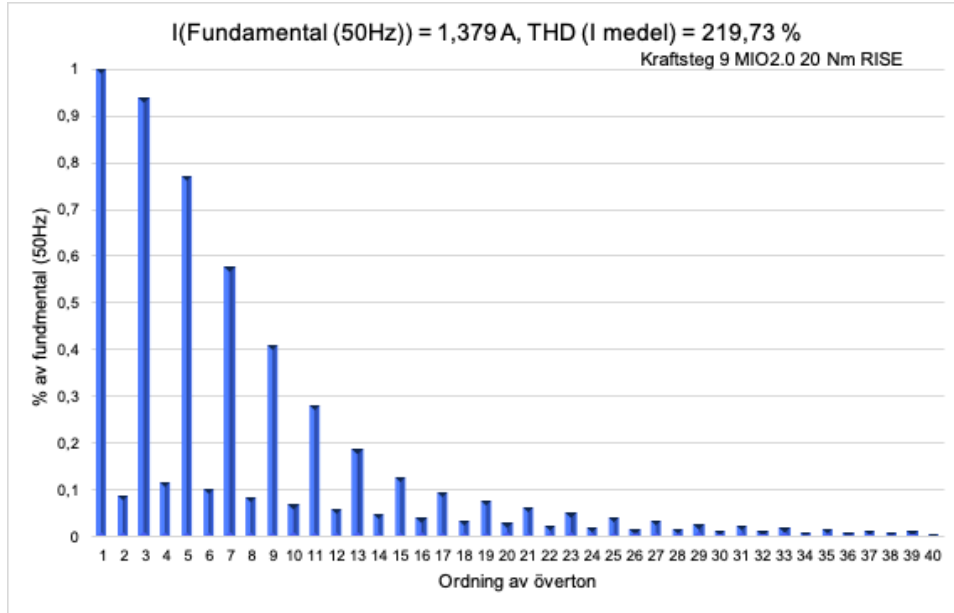


Diagram 6, visar THD_i för MIO 2.0 utan H-PFC-krets och är kopplad till I_{RMS medel} för tabell 21.

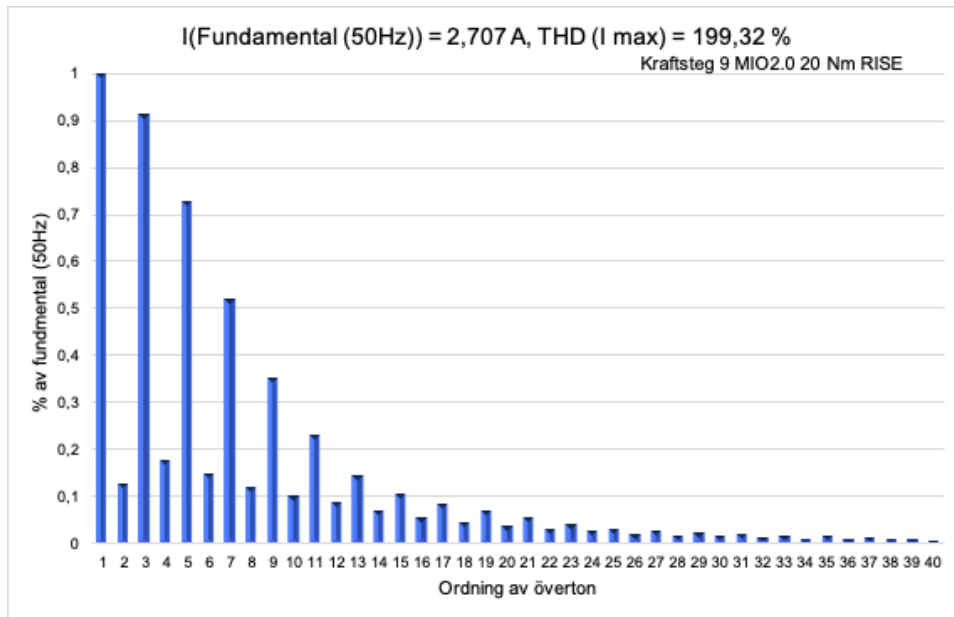


Diagram 7, visar THD_i för MIO 2.0 utan H-PFC-krets och är kopplad till I_{RMS max} för tabell 21.

Current Test Result

| Average and Maximum harmonic current results | | | | | | | | | |
|--|----------------------|--------------|-----------|--------|----------------------|--------------|-----------|--------|-----------------|
| Hn | Average | | | | Maximum | | | | Harmonic Result |
| | I _{eff} [A] | of Limit [%] | Limit [A] | Result | I _{eff} [A] | of Limit [%] | Limit [A] | Result | |
| 1 | 1,552 | | | | 3,263 | | | | |
| 2 | 0,106 | 9,790 | 1,080 | PASS | 0,295 | 18,232 | 1,620 | PASS | PASS |
| 3 | 1,445 | 62,831 | 2,300 | PASS | 2,927 | 84,841 | 3,450 | PASS | PASS |
| 4 | 0,144 | 33,412 | 0,430 | PASS | 0,390 | 60,525 | 0,645 | PASS | PASS |
| 5 | 1,180 | 103,541 | 1,140 | FAIL | 2,267 | 132,590 | 1,710 | FAIL | FAIL |
| 6 | 0,124 | 41,319 | 0,300 | PASS | 0,335 | 74,400 | 0,450 | PASS | PASS |
| 7 | 0,880 | 114,314 | 0,770 | FAIL | 1,569 | 135,877 | 1,155 | FAIL | FAIL |
| 8 | 0,103 | 44,815 | 0,230 | PASS | 0,279 | 80,787 | 0,345 | PASS | PASS |
| 9 | 0,611 | 152,873 | 0,400 | FAIL | 1,035 | 172,565 | 0,600 | FAIL | FAIL |
| 10 | 0,087 | 47,017 | 0,184 | PASS | 0,236 | 85,529 | 0,276 | PASS | PASS |
| 11 | 0,410 | 124,353 | 0,330 | FAIL | 0,658 | 132,970 | 0,495 | FAIL | FAIL |
| 12 | 0,075 | 48,617 | 0,153 | PASS | 0,204 | 88,775 | 0,230 | PASS | PASS |
| 13 | 0,275 | 131,052 | 0,210 | FAIL | 0,429 | 136,044 | 0,315 | FAIL | FAIL |
| 14 | 0,064 | 48,862 | 0,131 | PASS | 0,173 | 87,607 | 0,197 | PASS | PASS |
| 15 | 0,194 | 129,168 | 0,150 | FAIL | 0,358 | 159,184 | 0,225 | FAIL | FAIL |
| 16 | 0,055 | 47,491 | 0,115 | PASS | 0,144 | 83,495 | 0,173 | PASS | PASS |
| 17 | 0,147 | 111,196 | 0,132 | FAIL | 0,281 | 141,294 | 0,199 | FAIL | FAIL |
| 18 | 0,046 | 44,984 | 0,102 | PASS | 0,123 | 80,009 | 0,153 | PASS | PASS |
| 19 | 0,118 | 100,018 | 0,118 | FAIL | 0,219 | 123,045 | 0,178 | FAIL | FAIL |
| 20 | 0,039 | 42,293 | 0,092 | PASS | 0,101 | 73,455 | 0,138 | PASS | PASS |
| 21 | 0,099 | 92,368 | 0,107 | PASS | 0,172 | 106,861 | 0,161 | FAIL | FAIL |
| 22 | 0,033 | 40,047 | 0,084 | PASS | 0,084 | 67,265 | 0,125 | PASS | PASS |
| 23 | 0,082 | 83,313 | 0,098 | PASS | 0,127 | 86,822 | 0,147 | PASS | PASS |
| 24 | 0,029 | 38,022 | 0,077 | PASS | 0,071 | 62,029 | 0,115 | PASS | PASS |
| 25 | 0,065 | 71,902 | 0,090 | PASS | 0,106 | 78,725 | 0,135 | PASS | PASS |
| 26 | 0,025 | 35,094 | 0,071 | PASS | 0,061 | 57,422 | 0,106 | PASS | PASS |
| 27 | 0,052 | 61,984 | 0,083 | PASS | 0,085 | 68,044 | 0,125 | PASS | PASS |
| 28 | 0,021 | 32,616 | 0,066 | PASS | 0,051 | 51,439 | 0,099 | PASS | PASS |
| 29 | 0,042 | 54,029 | 0,078 | PASS | 0,076 | 65,650 | 0,116 | PASS | PASS |
| 30 | 0,019 | 30,616 | 0,061 | n/a | 0,044 | 47,708 | 0,092 | PASS | PASS |

| | | | | | | | | | |
|----|-------|--------|-------|------|-------|--------|-------|------|------|
| 31 | 0,035 | 48,490 | 0,073 | PASS | 0,064 | 58,814 | 0,109 | PASS | PASS |
| 32 | 0,017 | 28,800 | 0,058 | n/a | 0,037 | 42,546 | 0,086 | PASS | PASS |
| 33 | 0,030 | 43,770 | 0,068 | PASS | 0,048 | 47,216 | 0,102 | PASS | PASS |
| 34 | 0,015 | 26,859 | 0,054 | n/a | 0,031 | 38,769 | 0,081 | PASS | PASS |
| 35 | 0,026 | 40,483 | 0,064 | PASS | 0,042 | 43,938 | 0,096 | PASS | PASS |
| 36 | 0,013 | 25,781 | 0,051 | n/a | 0,028 | 36,984 | 0,077 | PASS | PASS |
| 37 | 0,024 | 39,119 | 0,061 | PASS | 0,038 | 41,170 | 0,091 | PASS | PASS |
| 38 | 0,012 | 24,325 | 0,048 | n/a | 0,025 | 34,928 | 0,073 | PASS | PASS |
| 39 | 0,021 | 35,870 | 0,058 | PASS | 0,036 | 41,172 | 0,087 | PASS | PASS |
| 40 | 0,011 | 23,375 | 0,046 | n/a | 0,022 | 31,712 | 0,069 | PASS | PASS |

Note: Harmonic currents less than 0.6 % of the input current measured under the test conditions, or less than 5 mA, whichever is greater, are disregarded.

Tabell 22, MIO 2.0 30 NM utan H-PFC

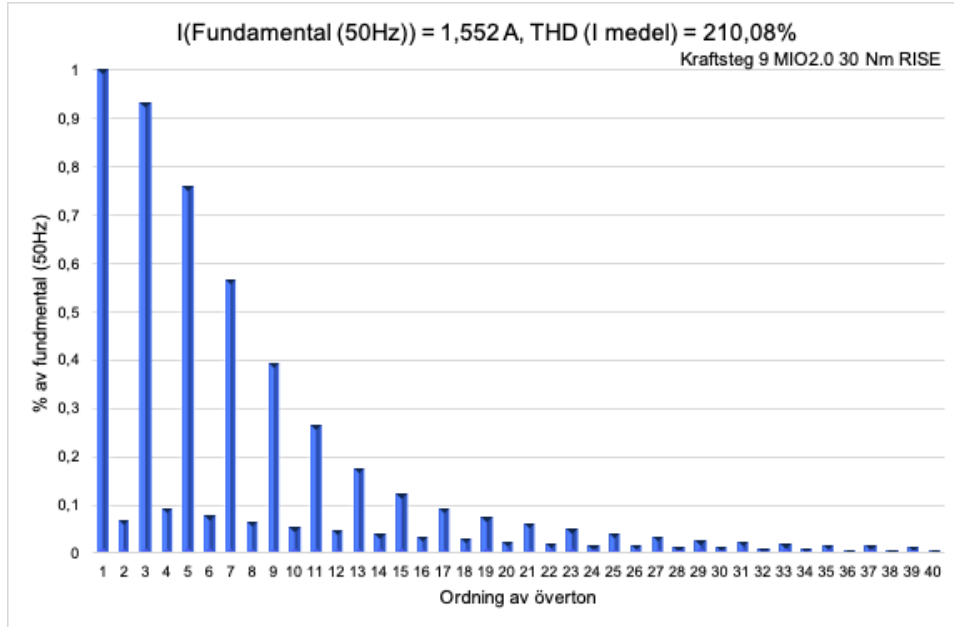


Diagram 8, visar THD_i för MIO 2.0 utan H-PFC-krets och är kopplad till I_{RMS medel} för tabell 22

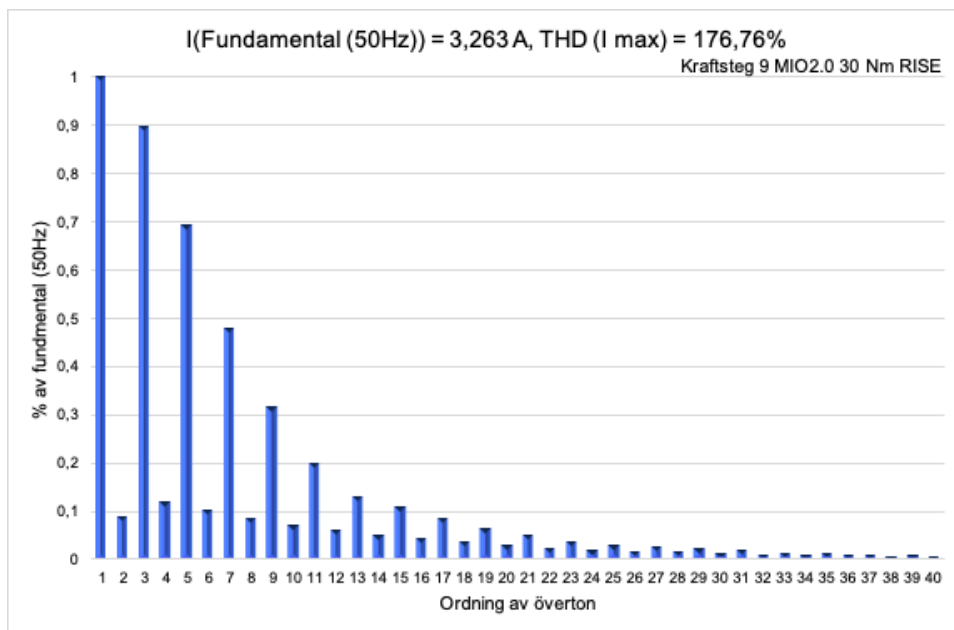


Diagram 9, visar THD_i för MIO 2.0 utan H-PFC-krets och är kopplad till I_{RMS max} för tabell 22.

Current Test Result

| Average and Maximum harmonic current results | | | | | | | | | |
|--|----------------------|--------------|-----------|--------|----------------------|--------------|-----------|--------|-----------------|
| Hn | Average | | | | Maximum | | | | Harmonic Result |
| | I _{eff} [A] | of Limit [%] | Limit [A] | Result | I _{eff} [A] | of Limit [%] | Limit [A] | Result | |
| 1 | 0,990 | | | | 2,383 | | | | |
| 2 | 0,032 | 2,955 | 1,080 | PASS | 0,098 | 6,062 | 1,620 | PASS | PASS |
| 3 | 0,063 | 2,757 | 2,300 | PASS | 0,123 | 3,567 | 3,450 | PASS | PASS |
| 4 | 0,021 | 4,829 | 0,430 | PASS | 0,071 | 10,983 | 0,645 | PASS | PASS |
| 5 | 0,036 | 3,139 | 1,140 | PASS | 0,069 | 4,031 | 1,710 | PASS | PASS |
| 6 | 0,012 | 4,154 | 0,300 | n/a | 0,038 | 8,403 | 0,450 | PASS | PASS |
| 7 | 0,019 | 2,427 | 0,770 | PASS | 0,040 | 3,485 | 1,155 | PASS | PASS |
| 8 | 0,010 | 4,477 | 0,230 | n/a | 0,032 | 9,370 | 0,345 | PASS | PASS |
| 9 | 0,012 | 3,092 | 0,400 | n/a | 0,029 | 4,874 | 0,600 | PASS | PASS |
| 10 | 0,009 | 4,750 | 0,184 | n/a | 0,025 | 9,088 | 0,276 | PASS | PASS |
| 11 | 0,010 | 2,962 | 0,330 | n/a | 0,024 | 4,877 | 0,495 | PASS | PASS |
| 12 | 0,008 | 4,987 | 0,153 | n/a | 0,022 | 9,425 | 0,230 | PASS | PASS |
| 13 | 0,009 | 4,260 | 0,210 | n/a | 0,021 | 6,623 | 0,315 | PASS | PASS |
| 14 | 0,007 | 5,110 | 0,131 | n/a | 0,017 | 8,792 | 0,197 | PASS | PASS |
| 15 | 0,008 | 5,391 | 0,150 | n/a | 0,019 | 8,556 | 0,225 | PASS | PASS |
| 16 | 0,007 | 5,728 | 0,115 | n/a | 0,017 | 9,775 | 0,173 | PASS | PASS |
| 17 | 0,008 | 5,800 | 0,132 | n/a | 0,017 | 8,765 | 0,199 | PASS | PASS |
| 18 | 0,006 | 6,164 | 0,102 | n/a | 0,017 | 10,864 | 0,153 | PASS | PASS |
| 19 | 0,007 | 6,273 | 0,118 | n/a | 0,016 | 8,867 | 0,178 | PASS | PASS |
| 20 | 0,006 | 6,009 | 0,092 | n/a | 0,014 | 10,375 | 0,138 | PASS | PASS |
| 21 | 0,007 | 6,566 | 0,107 | n/a | 0,015 | 9,174 | 0,161 | PASS | PASS |
| 22 | 0,006 | 6,605 | 0,084 | n/a | 0,013 | 10,527 | 0,125 | n/a | n/a |
| 23 | 0,007 | 7,116 | 0,098 | n/a | 0,014 | 9,721 | 0,147 | n/a | n/a |
| 24 | 0,005 | 6,752 | 0,077 | n/a | 0,011 | 9,720 | 0,115 | n/a | n/a |
| 25 | 0,007 | 7,614 | 0,090 | n/a | 0,014 | 10,535 | 0,135 | n/a | n/a |
| 26 | 0,005 | 7,202 | 0,071 | n/a | 0,011 | 10,192 | 0,106 | n/a | n/a |
| 27 | 0,007 | 8,070 | 0,083 | n/a | 0,014 | 10,816 | 0,125 | n/a | n/a |
| 28 | 0,005 | 7,364 | 0,066 | n/a | 0,010 | 10,240 | 0,099 | n/a | n/a |
| 29 | 0,007 | 8,535 | 0,078 | n/a | 0,013 | 11,109 | 0,116 | n/a | n/a |
| 30 | 0,005 | 8,117 | 0,061 | n/a | 0,010 | 11,073 | 0,092 | n/a | n/a |
| 31 | 0,007 | 8,981 | 0,073 | n/a | 0,013 | 11,816 | 0,109 | n/a | n/a |
| 32 | 0,005 | 8,182 | 0,058 | n/a | 0,010 | 11,054 | 0,086 | n/a | n/a |
| 33 | 0,006 | 9,311 | 0,068 | n/a | 0,012 | 12,125 | 0,102 | n/a | n/a |
| 34 | 0,005 | 8,811 | 0,054 | n/a | 0,010 | 12,141 | 0,081 | n/a | n/a |
| 35 | 0,006 | 9,526 | 0,064 | n/a | 0,012 | 12,513 | 0,096 | n/a | n/a |
| 36 | 0,005 | 8,841 | 0,051 | n/a | 0,009 | 11,801 | 0,077 | n/a | n/a |
| 37 | 0,006 | 9,684 | 0,061 | n/a | 0,011 | 12,463 | 0,091 | n/a | n/a |
| 38 | 0,004 | 9,037 | 0,048 | n/a | 0,009 | 12,870 | 0,073 | n/a | n/a |
| 39 | 0,006 | 9,957 | 0,058 | n/a | 0,012 | 13,538 | 0,087 | n/a | n/a |
| 40 | 0,004 | 8,758 | 0,046 | n/a | 0,008 | 12,138 | 0,069 | n/a | n/a |

Note: Harmonic currents less than 0.6 % of the input current measured under the test conditions, or less than 5 mA, whichever is greater, are disregarded.

Tabell 23, MIO 2.0 10 NM med H-PFC

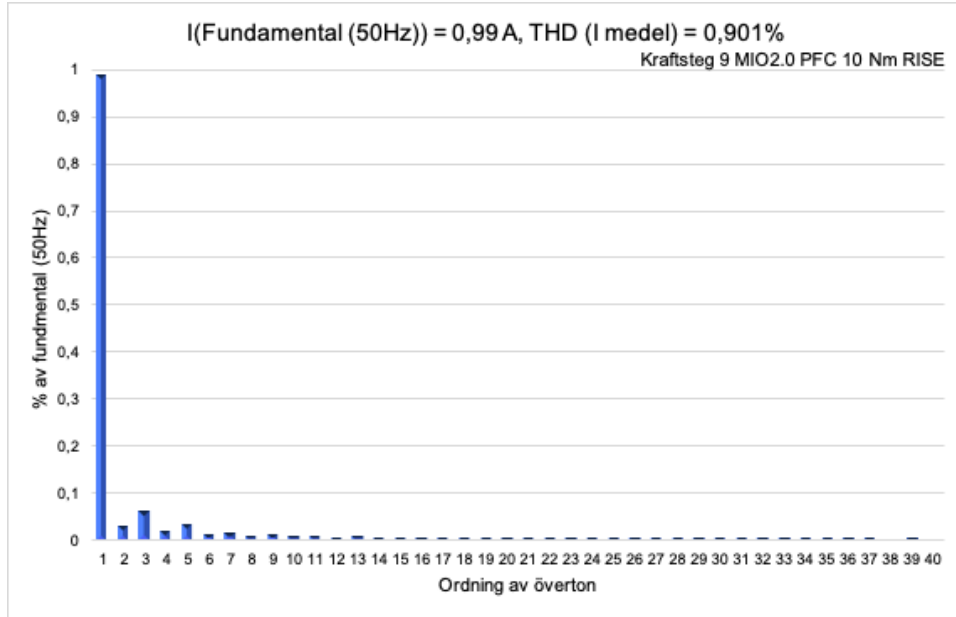


Diagram 10, visar THD_i för MIO 2.0 med H-PFC-krets och är kopplad till I_{RMS medel} för tabell 23.

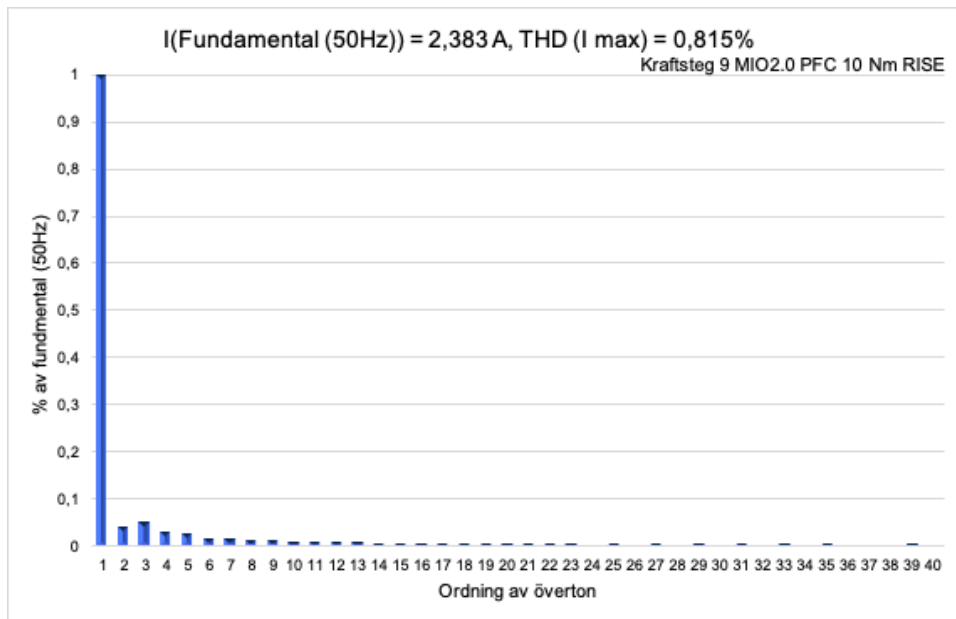


Diagram 11, visar THD_i för MIO 2.0 med H-PFC-krets och är kopplad till I_{RMS max} för tabell 23.

Current Test Result

| Average and Maximum harmonic current results | | | | | | | | | |
|--|----------------------|--------------|-----------|--------|----------------------|--------------|-----------|--------|-----------------|
| Hn | Average | | | | Maximum | | | | Harmonic Result |
| | I _{eff} [A] | of Limit [%] | Limit [A] | Result | I _{eff} [A] | of Limit [%] | Limit [A] | Result | |
| 1 | 1,164 | | | | 2,671 | | | | |
| 2 | 0,031 | 2,916 | 1,080 | PASS | 0,097 | 5,980 | 1,620 | PASS | PASS |
| 3 | 0,061 | 2,668 | 2,300 | PASS | 0,121 | 3,493 | 3,450 | PASS | PASS |
| 4 | 0,021 | 4,778 | 0,430 | PASS | 0,070 | 10,812 | 0,645 | PASS | PASS |
| 5 | 0,034 | 2,999 | 1,140 | PASS | 0,067 | 3,914 | 1,710 | PASS | PASS |
| 6 | 0,012 | 4,068 | 0,300 | n/a | 0,036 | 8,079 | 0,450 | PASS | PASS |
| 7 | 0,018 | 2,349 | 0,770 | PASS | 0,037 | 3,237 | 1,155 | PASS | PASS |
| 8 | 0,010 | 4,473 | 0,230 | n/a | 0,031 | 8,859 | 0,345 | PASS | PASS |
| 9 | 0,012 | 2,989 | 0,400 | n/a | 0,029 | 4,806 | 0,600 | PASS | PASS |
| 10 | 0,009 | 4,742 | 0,184 | n/a | 0,024 | 8,745 | 0,276 | PASS | PASS |
| 11 | 0,009 | 2,790 | 0,330 | n/a | 0,022 | 4,519 | 0,495 | PASS | PASS |
| 12 | 0,008 | 5,022 | 0,153 | n/a | 0,021 | 9,296 | 0,230 | PASS | PASS |
| 13 | 0,009 | 4,082 | 0,210 | n/a | 0,020 | 6,245 | 0,315 | PASS | PASS |
| 14 | 0,007 | 5,175 | 0,131 | n/a | 0,018 | 9,155 | 0,197 | PASS | PASS |
| 15 | 0,008 | 5,447 | 0,150 | n/a | 0,016 | 7,251 | 0,225 | PASS | PASS |
| 16 | 0,007 | 6,053 | 0,115 | n/a | 0,016 | 9,358 | 0,173 | PASS | PASS |
| 17 | 0,008 | 5,924 | 0,132 | n/a | 0,016 | 8,094 | 0,199 | PASS | PASS |
| 18 | 0,007 | 6,517 | 0,102 | n/a | 0,015 | 9,996 | 0,153 | n/a | n/a |
| 19 | 0,007 | 6,269 | 0,118 | n/a | 0,015 | 8,401 | 0,178 | n/a | n/a |
| 20 | 0,006 | 6,217 | 0,092 | n/a | 0,014 | 10,042 | 0,138 | n/a | n/a |
| 21 | 0,007 | 6,710 | 0,107 | n/a | 0,015 | 9,028 | 0,161 | n/a | n/a |
| 22 | 0,006 | 6,975 | 0,084 | n/a | 0,013 | 10,629 | 0,125 | n/a | n/a |
| 23 | 0,007 | 7,223 | 0,098 | n/a | 0,014 | 9,318 | 0,147 | n/a | n/a |
| 24 | 0,006 | 7,175 | 0,077 | n/a | 0,012 | 10,050 | 0,115 | n/a | n/a |
| 25 | 0,007 | 7,824 | 0,090 | n/a | 0,013 | 9,908 | 0,135 | n/a | n/a |
| 26 | 0,005 | 7,634 | 0,071 | n/a | 0,011 | 10,592 | 0,106 | n/a | n/a |
| 27 | 0,007 | 8,345 | 0,083 | n/a | 0,014 | 10,825 | 0,125 | n/a | n/a |
| 28 | 0,005 | 7,801 | 0,066 | n/a | 0,010 | 10,134 | 0,099 | n/a | n/a |
| 29 | 0,007 | 9,037 | 0,078 | n/a | 0,013 | 11,576 | 0,116 | n/a | n/a |
| 30 | 0,005 | 8,430 | 0,061 | n/a | 0,010 | 10,951 | 0,092 | n/a | n/a |
| 31 | 0,007 | 9,413 | 0,073 | n/a | 0,013 | 12,317 | 0,109 | n/a | n/a |
| 32 | 0,005 | 8,473 | 0,058 | n/a | 0,009 | 10,814 | 0,086 | n/a | n/a |
| 33 | 0,007 | 9,832 | 0,068 | n/a | 0,013 | 12,656 | 0,102 | n/a | n/a |
| 34 | 0,005 | 9,202 | 0,054 | n/a | 0,010 | 12,546 | 0,081 | n/a | n/a |
| 35 | 0,006 | 9,902 | 0,064 | n/a | 0,012 | 12,417 | 0,096 | n/a | n/a |
| 36 | 0,005 | 9,398 | 0,051 | n/a | 0,010 | 13,222 | 0,077 | n/a | n/a |
| 37 | 0,006 | 10,259 | 0,061 | n/a | 0,012 | 13,159 | 0,091 | n/a | n/a |
| 38 | 0,005 | 9,358 | 0,048 | n/a | 0,010 | 13,189 | 0,073 | n/a | n/a |
| 39 | 0,006 | 10,558 | 0,058 | n/a | 0,013 | 14,496 | 0,087 | n/a | n/a |
| 40 | 0,004 | 9,139 | 0,046 | n/a | 0,008 | 11,510 | 0,069 | n/a | n/a |

Note: Harmonic currents less than 0.6 % of the input current measured under the test conditions, or less than 5 mA, whichever is greater, are disregarded.

Tabell 24, MIO 2.0 20 NM med H-PFC

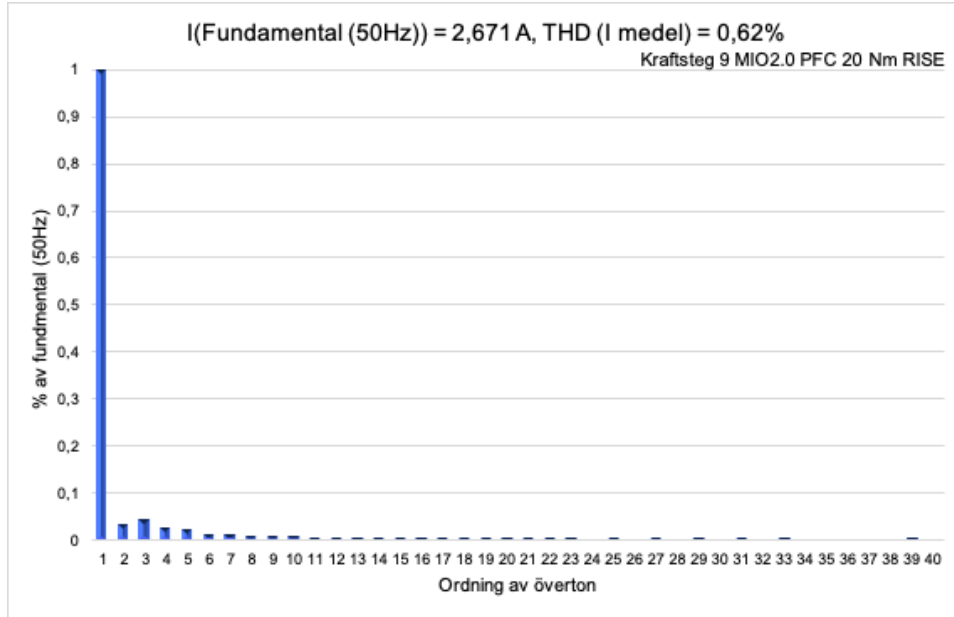


Diagram 12, visar THD_i för MIO 2.0 med H-PFC-krets och är kopplad till $I_{RMS\ medel}$ för tabell 24

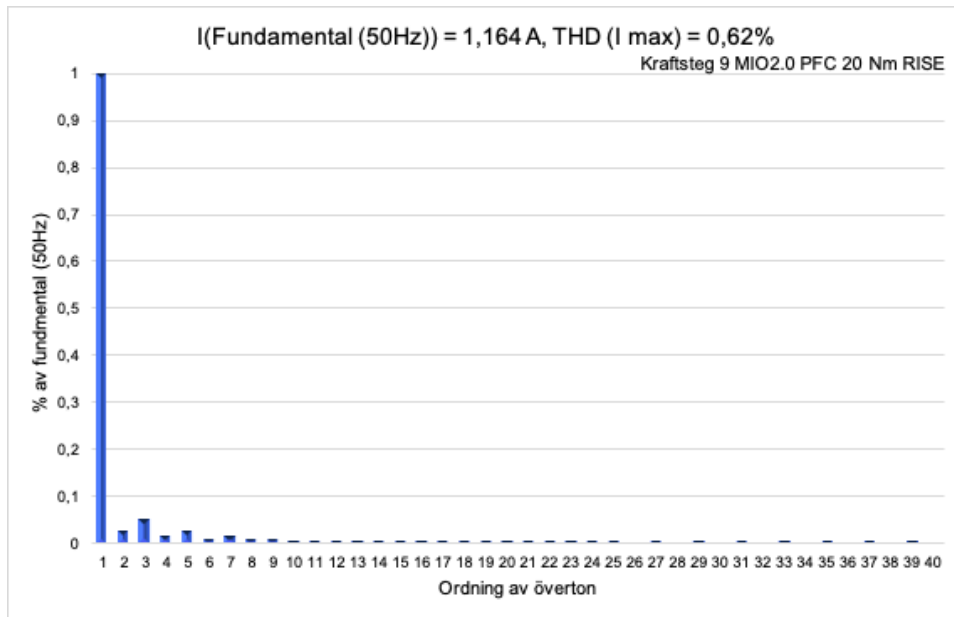


Diagram 13, visar THD_i för MIO 2.0 med H-PFC-krets och är kopplad till $I_{RMS\ max}$ för tabell 24

Current Test Result

| Average and Maximum harmonic current results | | | | | | | | | |
|--|----------------------|--------------|-----------|--------|----------------------|--------------|-----------|--------|-----------------|
| Hn | Average | | | | Maximum | | | | Harmonic Result |
| | I _{eff} [A] | of Limit [%] | Limit [A] | Result | I _{eff} [A] | of Limit [%] | Limit [A] | Result | |
| 1 | 1,240 | | | | 2,519 | | | | |
| 2 | 0,024 | 2,259 | 1,080 | PASS | 0,084 | 5,174 | 1,620 | PASS | PASS |
| 3 | 0,058 | 2,535 | 2,300 | PASS | 0,119 | 3,438 | 3,450 | PASS | PASS |
| 4 | 0,016 | 3,804 | 0,430 | PASS | 0,055 | 8,479 | 0,645 | PASS | PASS |
| 5 | 0,038 | 3,349 | 1,140 | PASS | 0,072 | 4,186 | 1,710 | PASS | PASS |
| 6 | 0,010 | 3,283 | 0,300 | n/a | 0,033 | 7,223 | 0,450 | PASS | PASS |
| 7 | 0,019 | 2,509 | 0,770 | PASS | 0,039 | 3,372 | 1,155 | PASS | PASS |
| 8 | 0,008 | 3,642 | 0,230 | n/a | 0,026 | 7,584 | 0,345 | PASS | PASS |
| 9 | 0,011 | 2,682 | 0,400 | n/a | 0,027 | 4,495 | 0,600 | PASS | PASS |
| 10 | 0,007 | 4,038 | 0,184 | n/a | 0,020 | 7,085 | 0,276 | PASS | PASS |
| 11 | 0,010 | 2,908 | 0,330 | n/a | 0,021 | 4,270 | 0,495 | PASS | PASS |
| 12 | 0,007 | 4,365 | 0,153 | n/a | 0,017 | 7,397 | 0,230 | PASS | PASS |
| 13 | 0,009 | 4,113 | 0,210 | n/a | 0,019 | 5,906 | 0,315 | PASS | PASS |
| 14 | 0,006 | 4,593 | 0,131 | n/a | 0,014 | 7,330 | 0,197 | n/a | n/a |
| 15 | 0,008 | 5,278 | 0,150 | n/a | 0,018 | 8,133 | 0,225 | PASS | PASS |
| 16 | 0,006 | 5,540 | 0,115 | n/a | 0,014 | 8,087 | 0,173 | n/a | n/a |
| 17 | 0,007 | 5,637 | 0,132 | n/a | 0,016 | 8,262 | 0,199 | PASS | PASS |
| 18 | 0,006 | 6,109 | 0,102 | n/a | 0,013 | 8,572 | 0,153 | n/a | n/a |
| 19 | 0,007 | 6,165 | 0,118 | n/a | 0,016 | 8,739 | 0,178 | PASS | PASS |
| 20 | 0,005 | 5,771 | 0,092 | n/a | 0,011 | 8,236 | 0,138 | n/a | n/a |
| 21 | 0,007 | 6,515 | 0,107 | n/a | 0,015 | 9,029 | 0,161 | n/a | n/a |
| 22 | 0,005 | 6,510 | 0,084 | n/a | 0,011 | 8,908 | 0,125 | n/a | n/a |
| 23 | 0,007 | 6,953 | 0,098 | n/a | 0,014 | 9,432 | 0,147 | n/a | n/a |
| 24 | 0,005 | 6,786 | 0,077 | n/a | 0,010 | 8,704 | 0,115 | n/a | n/a |
| 25 | 0,007 | 7,607 | 0,090 | n/a | 0,013 | 9,810 | 0,135 | n/a | n/a |
| 26 | 0,005 | 7,264 | 0,071 | n/a | 0,011 | 10,472 | 0,106 | n/a | n/a |
| 27 | 0,007 | 8,313 | 0,083 | n/a | 0,012 | 9,837 | 0,125 | n/a | n/a |
| 28 | 0,005 | 7,556 | 0,066 | n/a | 0,011 | 10,674 | 0,099 | n/a | n/a |
| 29 | 0,007 | 9,216 | 0,078 | n/a | 0,013 | 11,005 | 0,116 | n/a | n/a |
| 30 | 0,005 | 8,162 | 0,061 | n/a | 0,010 | 10,532 | 0,092 | n/a | n/a |
| 31 | 0,007 | 9,812 | 0,073 | n/a | 0,013 | 11,535 | 0,109 | n/a | n/a |
| 32 | 0,005 | 8,324 | 0,058 | n/a | 0,009 | 10,465 | 0,086 | n/a | n/a |
| 33 | 0,007 | 10,201 | 0,068 | n/a | 0,013 | 12,267 | 0,102 | n/a | n/a |
| 34 | 0,005 | 9,240 | 0,054 | n/a | 0,010 | 11,804 | 0,081 | n/a | n/a |
| 35 | 0,007 | 10,153 | 0,064 | n/a | 0,012 | 12,028 | 0,096 | n/a | n/a |
| 36 | 0,005 | 9,495 | 0,051 | n/a | 0,009 | 12,098 | 0,077 | n/a | n/a |
| 37 | 0,007 | 11,051 | 0,061 | n/a | 0,012 | 12,925 | 0,091 | n/a | n/a |
| 38 | 0,004 | 9,113 | 0,048 | n/a | 0,009 | 11,972 | 0,073 | n/a | n/a |
| 39 | 0,006 | 11,259 | 0,058 | n/a | 0,012 | 13,457 | 0,087 | n/a | n/a |
| 40 | 0,004 | 8,874 | 0,046 | n/a | 0,008 | 11,176 | 0,069 | n/a | n/a |

Note: Harmonic currents less than 0.6 % of the input current measured under the test conditions, or less than 5 mA, whichever is greater, are disregarded.

[Tabell 25](#), MIO 2.0 30NM med H-PFC

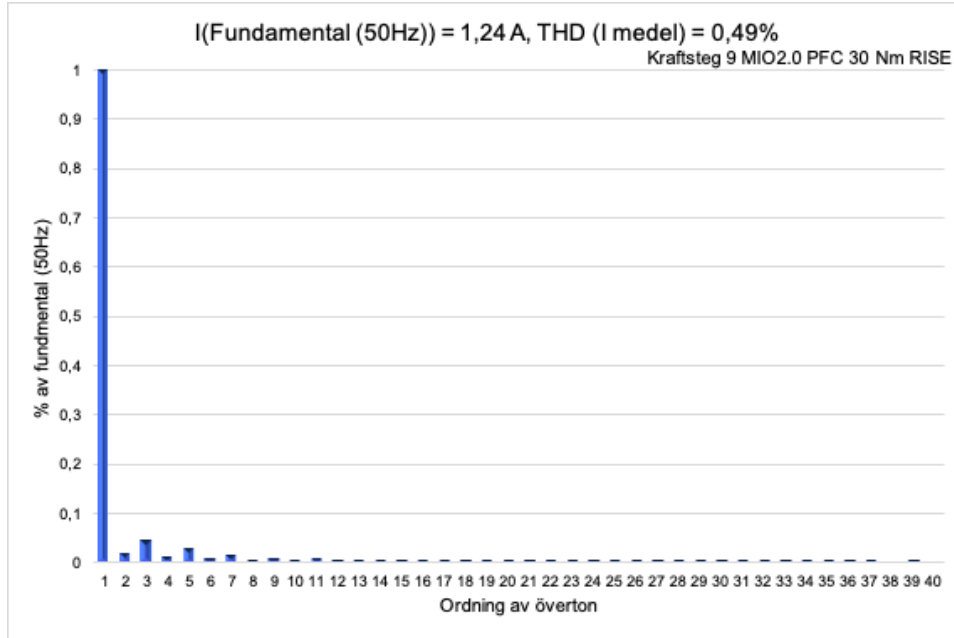


Diagram 14, visar THD_i för MIO 2.0 med H-PFC-krets och är kopplad till I_{RMS medel} för tabell 25.

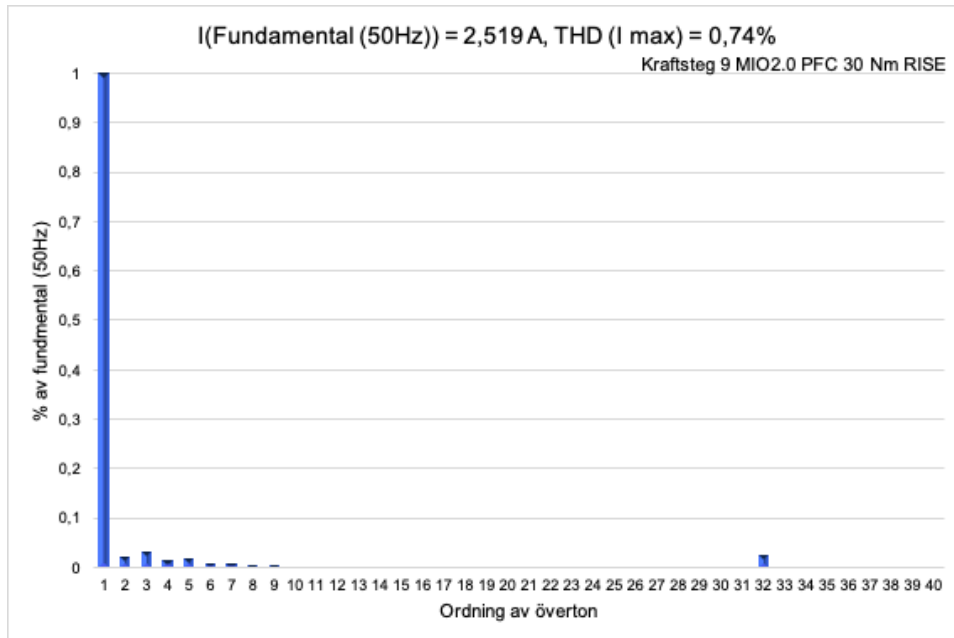


Diagram 15 visar THD_i för MIO 2.0 med H-PFC-krets och är kopplad till I_{RMS max} för tabell 25.

I tabellerna ovan kan man se hur mycket H-PFCn dämpar övertonerna som tidigare fanns i MIO 2.0. Resultaten som visas men "n/a" är värden som motsvarar lägre än 0.6% av den uppmätta ingångsströmmen, alternativt lägre än 5 mA. Mätningen som gjordes hos RISE liknar de mätningar som gjordes med hjälp av Yokogawa WT 1800 men med ytterligare marginaler från standardens krav. Detta visar på att om produkterna testas med Yokogawan och ligger under kraven så kommer de även klara testerna på RISE.

Current Test Result

| Average and Maximum harmonic current results | | | | | | | | | |
|--|----------------------|--------------|-----------|--------|----------------------|--------------|-----------|--------|-----------------|
| Hn | Average | | | | Maximum | | | | Harmonic Result |
| | I _{eff} [A] | of Limit [%] | Limit [A] | Result | I _{eff} [A] | of Limit [%] | Limit [A] | Result | |
| 1 | 0,735 | | | | 1,550 | | | | |
| 2 | 0,046 | 4,239 | 1,080 | PASS | 0,087 | 5,345 | 1,620 | PASS | PASS |
| 3 | 0,669 | 29,068 | 2,300 | PASS | 1,406 | 40,750 | 3,450 | PASS | PASS |
| 4 | 0,062 | 14,306 | 0,430 | PASS | 0,115 | 17,836 | 0,645 | PASS | PASS |
| 5 | 0,570 | 49,976 | 1,140 | PASS | 1,154 | 67,508 | 1,710 | PASS | PASS |
| 6 | 0,052 | 17,489 | 0,300 | PASS | 0,100 | 22,222 | 0,450 | PASS | PASS |
| 7 | 0,448 | 58,206 | 0,770 | PASS | 0,848 | 73,418 | 1,155 | PASS | PASS |
| 8 | 0,042 | 18,427 | 0,230 | PASS | 0,079 | 23,013 | 0,345 | PASS | PASS |
| 9 | 0,322 | 80,472 | 0,400 | PASS | 0,540 | 90,016 | 0,600 | PASS | PASS |
| 10 | 0,033 | 18,057 | 0,184 | PASS | 0,058 | 21,162 | 0,276 | PASS | PASS |
| 11 | 0,210 | 63,600 | 0,330 | PASS | 0,309 | 62,368 | 0,495 | PASS | PASS |
| 12 | 0,026 | 17,117 | 0,153 | PASS | 0,045 | 19,685 | 0,230 | PASS | PASS |
| 13 | 0,126 | 59,965 | 0,210 | PASS | 0,196 | 62,143 | 0,315 | PASS | PASS |
| 14 | 0,022 | 16,381 | 0,131 | PASS | 0,036 | 18,098 | 0,197 | PASS | PASS |
| 15 | 0,080 | 53,458 | 0,150 | PASS | 0,129 | 57,182 | 0,225 | PASS | PASS |
| 16 | 0,018 | 15,884 | 0,115 | PASS | 0,031 | 17,687 | 0,173 | PASS | PASS |
| 17 | 0,059 | 44,646 | 0,132 | PASS | 0,123 | 61,913 | 0,199 | PASS | PASS |
| 18 | 0,016 | 15,576 | 0,102 | PASS | 0,028 | 18,006 | 0,153 | PASS | PASS |
| 19 | 0,050 | 42,095 | 0,118 | PASS | 0,097 | 54,796 | 0,178 | PASS | PASS |
| 20 | 0,014 | 15,129 | 0,092 | PASS | 0,025 | 18,010 | 0,138 | PASS | PASS |
| 21 | 0,043 | 40,567 | 0,107 | PASS | 0,073 | 45,718 | 0,161 | PASS | PASS |
| 22 | 0,012 | 14,827 | 0,084 | PASS | 0,022 | 17,224 | 0,125 | PASS | PASS |
| 23 | 0,037 | 37,738 | 0,098 | PASS | 0,058 | 39,822 | 0,147 | PASS | PASS |
| 24 | 0,011 | 14,651 | 0,077 | PASS | 0,019 | 16,292 | 0,115 | PASS | PASS |
| 25 | 0,031 | 34,972 | 0,090 | PASS | 0,051 | 37,923 | 0,135 | PASS | PASS |
| 26 | 0,010 | 14,238 | 0,071 | PASS | 0,016 | 15,351 | 0,106 | PASS | PASS |
| 27 | 0,026 | 31,422 | 0,083 | PASS | 0,045 | 35,717 | 0,125 | PASS | PASS |
| 28 | 0,009 | 13,864 | 0,066 | n/a | 0,014 | 14,439 | 0,099 | PASS | PASS |
| 29 | 0,021 | 27,069 | 0,078 | PASS | 0,034 | 28,870 | 0,116 | PASS | PASS |
| 30 | 0,008 | 13,295 | 0,061 | n/a | 0,013 | 14,412 | 0,092 | PASS | PASS |
| 31 | 0,017 | 23,476 | 0,073 | PASS | 0,027 | 25,239 | 0,109 | PASS | PASS |
| 32 | 0,008 | 13,101 | 0,058 | n/a | 0,012 | 14,377 | 0,086 | PASS | PASS |
| 33 | 0,015 | 22,257 | 0,068 | PASS | 0,026 | 25,281 | 0,102 | PASS | PASS |
| 34 | 0,007 | 12,898 | 0,054 | n/a | 0,012 | 14,355 | 0,081 | PASS | PASS |
| 35 | 0,014 | 22,453 | 0,064 | PASS | 0,025 | 25,903 | 0,096 | PASS | PASS |
| 36 | 0,006 | 12,640 | 0,051 | n/a | 0,011 | 13,781 | 0,077 | PASS | PASS |
| 37 | 0,013 | 21,722 | 0,061 | PASS | 0,021 | 22,876 | 0,091 | PASS | PASS |
| 38 | 0,006 | 12,404 | 0,048 | n/a | 0,010 | 14,227 | 0,073 | PASS | PASS |
| 39 | 0,012 | 19,995 | 0,058 | PASS | 0,017 | 19,485 | 0,087 | PASS | PASS |
| 40 | 0,006 | 12,356 | 0,046 | n/a | 0,010 | 14,114 | 0,069 | PASS | PASS |

Note: Harmonic currents less than 0,6 % of the input current measured under the test conditions, or less than 5 mA, whichever is greater, are disregarded.

Tabell 26, MIO 1.0 utan H-PFC

Current Test Result

| Average and Maximum harmonic current results | | | | | | | | | |
|--|----------------------|--------------|-----------|--------|----------------------|--------------|-----------|--------|-----------------|
| Hn | Average | | | | Maximum | | | | Harmonic Result |
| | I _{eff} [A] | of Limit [%] | Limit [A] | Result | I _{eff} [A] | of Limit [%] | Limit [A] | Result | |
| 1 | 1,210 | | | | 2,779 | | | | |
| 2 | 0,031 | 2,874 | 1,080 | PASS | 0,122 | 7,508 | 1,620 | PASS | PASS |
| 3 | 0,064 | 2,784 | 2,300 | PASS | 0,154 | 4,465 | 3,450 | PASS | PASS |
| 4 | 0,020 | 4,620 | 0,430 | PASS | 0,077 | 12,012 | 0,645 | PASS | PASS |
| 5 | 0,040 | 3,542 | 1,140 | PASS | 0,084 | 4,907 | 1,710 | PASS | PASS |
| 6 | 0,013 | 4,181 | 0,300 | n/a | 0,041 | 9,085 | 0,450 | PASS | PASS |
| 7 | 0,020 | 2,621 | 0,770 | PASS | 0,048 | 4,163 | 1,155 | PASS | PASS |
| 8 | 0,010 | 4,430 | 0,230 | n/a | 0,034 | 9,971 | 0,345 | PASS | PASS |
| 9 | 0,013 | 3,209 | 0,400 | n/a | 0,035 | 5,836 | 0,600 | PASS | PASS |
| 10 | 0,008 | 4,440 | 0,184 | n/a | 0,026 | 9,476 | 0,276 | PASS | PASS |
| 11 | 0,011 | 3,211 | 0,330 | n/a | 0,029 | 5,784 | 0,495 | PASS | PASS |
| 12 | 0,007 | 4,792 | 0,153 | n/a | 0,024 | 10,496 | 0,230 | PASS | PASS |
| 13 | 0,009 | 4,367 | 0,210 | n/a | 0,024 | 7,776 | 0,315 | PASS | PASS |
| 14 | 0,007 | 5,104 | 0,131 | n/a | 0,021 | 10,645 | 0,197 | PASS | PASS |
| 15 | 0,009 | 6,150 | 0,150 | n/a | 0,023 | 10,112 | 0,225 | PASS | PASS |
| 16 | 0,007 | 5,705 | 0,115 | n/a | 0,020 | 11,352 | 0,173 | PASS | PASS |
| 17 | 0,009 | 6,622 | 0,132 | n/a | 0,021 | 10,431 | 0,199 | PASS | PASS |
| 18 | 0,006 | 6,282 | 0,102 | n/a | 0,018 | 11,651 | 0,153 | PASS | PASS |
| 19 | 0,008 | 7,119 | 0,118 | n/a | 0,020 | 11,371 | 0,178 | PASS | PASS |
| 20 | 0,006 | 6,442 | 0,092 | n/a | 0,016 | 11,561 | 0,138 | n/a | n/a |
| 21 | 0,008 | 7,408 | 0,107 | n/a | 0,020 | 12,295 | 0,161 | PASS | PASS |
| 22 | 0,006 | 6,945 | 0,084 | n/a | 0,015 | 11,850 | 0,125 | n/a | n/a |
| 23 | 0,008 | 7,839 | 0,098 | n/a | 0,018 | 12,335 | 0,147 | PASS | PASS |
| 24 | 0,006 | 7,318 | 0,077 | n/a | 0,014 | 12,169 | 0,115 | n/a | n/a |
| 25 | 0,007 | 8,110 | 0,090 | n/a | 0,016 | 12,208 | 0,135 | n/a | n/a |
| 26 | 0,006 | 7,915 | 0,071 | n/a | 0,014 | 12,724 | 0,106 | n/a | n/a |
| 27 | 0,007 | 8,579 | 0,083 | n/a | 0,016 | 13,110 | 0,125 | n/a | n/a |
| 28 | 0,005 | 8,202 | 0,066 | n/a | 0,012 | 12,404 | 0,099 | n/a | n/a |
| 29 | 0,007 | 9,338 | 0,078 | n/a | 0,016 | 13,347 | 0,116 | n/a | n/a |
| 30 | 0,005 | 8,684 | 0,061 | n/a | 0,013 | 14,240 | 0,092 | n/a | n/a |
| 31 | 0,007 | 9,730 | 0,073 | n/a | 0,015 | 13,540 | 0,109 | n/a | n/a |
| 32 | 0,005 | 8,877 | 0,058 | n/a | 0,013 | 14,984 | 0,086 | n/a | n/a |
| 33 | 0,007 | 10,231 | 0,068 | n/a | 0,014 | 13,458 | 0,102 | n/a | n/a |
| 34 | 0,005 | 9,488 | 0,054 | n/a | 0,013 | 15,882 | 0,081 | n/a | n/a |
| 35 | 0,007 | 10,260 | 0,064 | n/a | 0,014 | 14,170 | 0,096 | n/a | n/a |
| 36 | 0,005 | 9,745 | 0,051 | n/a | 0,011 | 14,921 | 0,077 | n/a | n/a |
| 37 | 0,007 | 10,778 | 0,061 | n/a | 0,013 | 14,131 | 0,091 | n/a | n/a |
| 38 | 0,005 | 9,733 | 0,048 | n/a | 0,011 | 15,307 | 0,073 | n/a | n/a |
| 39 | 0,006 | 10,881 | 0,058 | n/a | 0,013 | 15,113 | 0,087 | n/a | n/a |
| 40 | 0,004 | 9,588 | 0,046 | n/a | 0,011 | 15,243 | 0,069 | n/a | n/a |

Note: Harmonic currents less than 0.6 % of the input current measured under the test conditions, or less than 5 mA, whichever is greater, are disregarded.

Tabell 27, MIO 1.0 med H-PFC

6. Slutsats & Diskussion

Examensarbetets mål var att ta fram en frekvensomriktare som verkar på effektspannet 0.7 till 2.0 kW och klarar av gränserna för EMC-standarden IEC-61000-3-2. Detta skulle lägga en grund för framtida utvecklingsmöjligheter.

För att besvara om målen uppfyllts presenteras frågeställningarna med svar nedan.

1. Hur fungerar nuvarande High performance doors i spannet 0.7-2 kW?
2. Vad för H-PFC uppspänningsomvandlare behövs för att få prototypen att nå standardkraven för hushållsapparater?
3. Vilken typ av filter behöver vi?
4. Hur når vi en mellanledningsspänning på 400 V DC från ett 230 V AC enfasuttag?
5. Vilken IGBT-modul bör användas?

När arbetet påbörjades behövdes en djupare förståelse kring ASSA ABLOYS båda produkter High performance doors och Low performance doors eftersom tanken var att arkitekturen från Low performance doors skulle användas till prototypen. Detta skapade frågetecken gällande vissa komponenter på kraftkortet, vilket utmynnade i att en del teori behövde repeteras från kraftelektronikkursen samt kursen elmaskiner drivsystem på LTH.

När undersökningen av vilken typ av H-PFC som skulle användas till prototypen fanns det både flertalet olika topologier och även olika tillverkare. Vid närmare undersökning blev valet en H-PFC CCM uppspänningsomvandlare eftersom det var topologin som fungerade bäst vid effektspannet produkten skulle verka inom. Valet gällande tillverkare berodde på att Infineon hade ett utvecklingskort som uppfyllde de krav som ställdes.

Då ASSA ABLOY var mer intresserade av att vi faktiskt skulle testa en lösning snarare än att den var dimensionerad helt efter deras önskemål ledde detta fram till att vi använde oss av utvecklingskortet som vi beställt. Vi ersatte aldrig komponenterna i den redan färdiga lösningen. Dock hade det kunnat vara ett projekt för framtiden.

Eftersom strategin ändrades till att välja utvecklingskort var filterkomponenterna redan implementerade på kortet.

Mellanledningsspänningen i Low performance doors var ej tillräcklig för att driva motorerna i High performance segmentet, detta ledde till undersökande av olika tekniker för att öka spänningen. När förståelsen för H-PFC kretsar ökade upptäcktes de olika topologierna, en av topologierna switchade upp spänningen till 380-400V vilket var målet. Därför användes just denna topologi till produkten.

Eftersom den befintliga IGBT-modulen klarar de strömmar som kommer uppstå behövdes ingen ny modul tas fram.

För att avgöra om prototypen var innanför standardens gränser var grundtanken att i projektets slutfas testa prototypen på RISE. Eftersom ASSA ABLOY var intresserade av hur dessa tester genomfördes ändrades planen till att utföra liknande tester i ASSA ABLOYs lokaler innan de skulle utföras på RISE. Studenterna påbörjade därför efterforskning kring hur dessa tester behövde utföras och vilken typ av utrustning som krävdes. Eftersom RISE inte kunde redogöra vilka parametrar som var nödvändiga för ett konkret test var detta något som resulterade i mycket efterforskning kring ämnet. Eftersom tidigare testresultat utförda på RISE var tillgängliga kunde därför studenterna bearbeta dessa och även försöka efterlikna dessa eftersom de hade samma testobjekt (motorerna). Detta medförde att analysen av övertonerna innebar mycket arbete med olika typer av mätverktyg. Efter flertalet olika mätverktyg var det Yokogawan som både var smidigast och även mest exakt när det gällde de 40 stycken strömövertoner som skulle uppmätas. Detta resulterade i att vi kunde hjälpa ASSA ABLOY att utnyttja en resurs som de inte längre behärskade i och med att personalen med kompetensen ej längre arbetade där.

Med dessa nya kunskaper kommer ASSA ABLOY kunna analysera produkters övertoner i ett mycket tidigare skede än de har gjort idag. Detta kommer underlätta design av kretsar för medarbetarna i framtiden och skapa bättre förståelse kring övertoner i system de arbetar med. Tidsplanen som var satt inför projektet var bra för att få en överblick över hur arbetet skulle struktureras. Eftersom tidsplanen behövde ändras efter beslutet gällande utvecklingskortet hade studenterna veckomål för att se till att den ändrade strategin inte påverkade arbetet negativt. Några dagar innan RISE testerna skulle genomföras skedde kortslutningen i kretsen som innebar att examensarbetets redovisningstillfälle i juni behövde flyttas fram. Examensarbetet på ASSA ABLOY var vid kortslutningen nästintill klart, eftersom RISE-testet behövde flyttas fram och även beställning av nya komponenter behövde göras saknades resultaten från RISE för att färdigställa rapporten.

6.1 Reflektion över etiska aspekter

I detta delkapitel presenteras en reflektion över de etiska aspekter som berört examensarbetet. Flera av punkterna som finns i ingenjörernas hederskodex har använts under arbetets gång, där de två punkter i 6.1.2 har vägt tyngst.

6.1.1 Sekretess

Av sekretessskäl har standarderna IEC 61000-3-2 och IEC 61000-4-7 som ASSA ABLOY har köpt exkluderats i rapporten. Utöver detta har ingenting exkluderats.

6.1.2 Hederskodex

Ingenjörer har ett stort ansvar i samhället att alltid se till att arbetet utförs enligt Sveriges ingenjörers hederskodex. Som ingenjör ansvarar du för att se till att människan och samhället gagnas genom ditt arbete. Hederskodexen består av tio stycken punkter som har följts under arbetets gång. Två stycken punkter har varit betydande för detta arbete:

- Ingenjören bör sträva efter att förbättra tekniken och det tekniska kunnandet i riktning mot ett effektivare resursutnyttjande utan skadeverkningar.
- Ingenjören bör i sin yrkesutövning känna ett personligt ansvar för att tekniken används på ett sätt som gagnar människa, miljö och samhälle.

6.2 Framtida utvecklingsmöjligheter

Examensarbetet som studenterna utförde har skapat en grund för framtida utvecklingsmöjligheter gällande H-PFC kretsar i olika produkter inom ASSA ABLOY Entrance Systems. Med hjälp av detta utvecklingskort kan nu företaget analysera och även ta beslut över de komponenter som är nödvändiga för att skapa en egen frekvensomriktare som klarar de krav som ställs i standarden. Detta kan även leda till lägre kostnader gentemot hur High performance produkterna idag tillverkas. En djupare förståelse för standarden IEC 61000-4-7 (vilken beskriver hur mätningarna ska ske) och en djupare insikt i hur man ska implementera det digitala lågpåpassfiltret för smoothing samt införa grouping skulle göra resultaten mer lika IEC 61000-3-2 och därav även RISE:s resultat. ASSA ABLOY strävar efter att alltid lansera effektiva produkter för att kunna vara världsledande på marknaden. Med djupare kunskaper inom power factor correction kan dessa produkter bli ännu mer effektiva.

7. Terminologi

MIO 1.0 - trefas asynkronmotor lindad 400/230 V

MIO 2.0 - trefas asynkronmotor lindad 127/220 V

H-PFC - Harmonic power factor correction

Yokogawa WT 1800 - Power analyzer - mätinstrument

Kraftsteg - Kraftsteg är en inställning som talar om för motorn hur hög amplitud som ska styras ut samt hur hög överströmmen får vara

Powerkort - AC till DC-kretskortet

CCM - Continuous conduction mode

CRCM - Critical conduction mode

DCM - Discontinuous conduction mode

FCCRM - Frequency clamp critical conduction mode

THD - Total harmonic distortion

PF - Power factor

Q_{rr} - Reverse recovery charge

Choke - Induktor

Bulk kondensator - DC-lagringskondensator

FB - Feedback

OVP - Overvoltage protection

UVP - Undervoltage protection

DFT - Discrete fourier transform

FFT - Fast fourier transform

High performance doors - Snabbrullportar

Low performance doors - Snabbrullsportar med lägre effekt

8. Källförteckning

- [1] REO Inductive components AG, **Power Factor Correction and Harmonics**, [<https://inverterdrive.com/file/Understanding-effects-of-Power-Factor-Harmonics>], [hämtad 2021-02-09]
- [2] Brent McDonald, **Power Factor Correction (PFC) Circuit Basics** [https://www.tij.co.jp/jp/lit/ml/zhcp224/zhcp224.pdf?ts=1638196402143&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F], [hämtad 2021-02-23]
- [3] Ramon Pinyol, **HARMONICS: CAUSES, EFFECTS AND MINIMIZATION** [[https://www.salicru.com/files/pagina/72/278/jn004a01_whitepaper-armonics_\(1\).pdf](https://www.salicru.com/files/pagina/72/278/jn004a01_whitepaper-armonics_(1).pdf)], [hämtad 2021-03-31]
- [4], Infineon - Sam Abdel-Rahman, Franz Stückler, Ken Siu, **PFC boost converter design guide** [https://www.infineon.com/dgdl/InfineonApplicationNote_PFCCCMBoostConverterDesignGuide-AN-v02_00-EN.pdf?fileId=5546d4624a56eed8014a62c75a923b05], [2021-08-18]
- [5] Infineon - Matteo-Alessandro Kutschak, Alessandro Pevere, Franz Stueckler, **CCM PFC demo board with 600 V CoolMOS™ S7 for active-line rectification and inrush current control**, [https://www.mouser.se/datasheet/2/196/Infineon-Evaluation_board_EVAL_2K4W_ACT_BRD_S7-App-1852867.pdf?fbclid=IwAR0jadFiaQPPzN7qKpQcN6VXJVbtti6tMrSdABeHYsbMHw9HD893ksfBBEs], [Hämtad 2021-08-19]
- [6] Worcester Polytechnic Institute - Ziyong Liu, **Design of single phase boost power factor correction circuit and controller applied in electric vehicle charging system** [<https://web.wpi.edu/Pubs/ETD/Available/etd-071416-063806/unrestricted/zliu.pdf>], [Hämtad 2021-08-20]
- [7] Infineon - **Standalone Power Factor Correction (PFC) Controller in Continuous Conduction Mode (CCM), ICE3PCS01G** , [https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-ICE3PCS01-DS-v03_00-EN.pdf?fileId=db3a304329a0f6ee0129a67ae8c02b46], [Hämtad 2021-11-08]
- [8] Vishay Siliconix - Sanjay Havanur, **Beware of Zero Voltage Switching**, [https://www.mouser.com/pdfdocs/Vishay_Zero_Voltage_Switching.pdf], [Hämtad 2021-11-08]
- [9] The University of Strathclyde - Prof Barry Wayne Williams, **Chapter 19 DC to DC converters - Switched mode** [<http://personal.strath.ac.uk/barry.williams/Book/Chapter%2019X.pdf>], [Hämtad 2021-11-08]

- [10] Toshiba, **Reverse Recovery Operation and Destruction of MOSFET Body Diode** [<https://toshiba.semicon-storage.com › info › docget>], [Hämtad 2021-11-08]
- [11] Yokogawa, **WT1800 Precision Power Analyzer Getting Started Guide** [<https://cdn.tmi.yokogawa.com/IMWT1801-03EN.pdf>], [Hämtad 2021-11-08]
- [12] Jin Hui, Honggeng Yang, *Member, IEEE*, Wilsun Xu, *Fellow, IEEE*, and Yamei Liu **A Method to Improve the Interharmonic Grouping Scheme Adopted by IEC Standard 61000-4-7** [http://www.ece.ualberta.ca/~apic/papers/Power_Quality/2012-A%20Method%20to%20Improve%20the%20Interharmonic%20Grouping%20Scheme%20Adopted%20by%20IEC%20Standard%2061000-4-7.pdf], [hämtad 2021-12-07]
- [13] Yokogawa Test & Measurement Corporation **Harmonic Current International Standards and Measurement Techniques: Measurement Techniques** [https://cdn.tmi.yokogawa.com/1/9106/files/Harmonic_Current_International_Standards_and_Measurement_Techniques_-_Measurement_Techniques.pdf], [hämtad 2021-12-07]
- [14] MAGNETICS **Kool M μ ® Material Curves** [https://www.mag-inc.com/products/powder-cores/kool-mu-cores/kool-mu-material-curves#kmdc_magnet], [hämtad 2022-05-05]
- [15] MAGNETICS, **Powder core loss calculations** [<https://www.mag-inc.com/getattachment/Design/Design-Guides/Powder-Core-Loss-Calculation/Powder-Core-Loss-Calculation.pdf?lang=en-US>], [hämtad 2022-05-05]
- [16] MAGNETICS, **Powder Cores** [https://www.ee.bgu.ac.il/~dcdc/notes/Additional_2012/MAGNETICS_Powder_Core_Catalog.pdf], [hämtad 2022-24-05]
- [17] Electrical4U, **Reverse Recovery Time of Diode** [[Reverse Recovery Time of Diode | Electrical4U](#)], [hämtad 2022-06-10]
- [18] Bengt Simonsson, **F3: DC-DC-Spänningsomvandlare** [[Microsoft PowerPoint - F3.ppt \(lth.se\)](#)], [hämtad 2022-06-10]
- [19] Infineon, **Mosfet - Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor** [https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-IPZ60R040C7-DS-v02_00-EN.pdf?fileId=5546d4624cb7f111014d4c9376864008], [Hämtad 2021-08-18]