

# Examensarbete Chalmers Tekniska Högskola

## Analys av växelriktare

Examensarbete: Högskoleingenjör i Elektroteknik

Simon Söreke

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING

CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Gothenburg, Sweden 2023

[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)



EXAMENSARBETE 2023

## Analysering och testning av kraftelektronisk omvandlare

Växelriktare av typen modifierad sinus undersöks för att specificera effektivitet, mäta prestanda och upptäcka eventuella brister

Simon Söreke



**CHALMERS**

Department of Electrical Engineering

*Elektroteknik*

CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Gothenburg, Sweden 2023

Analys av kraftelektronisk omvandlare  
SIMON SÖREKE

© SIMON SÖREKE, 2023.

Handledare: Thomas Hammarström, Elkraft  
Examiner: Thomas Hammarström, Elkraft

Bachelor's Thesis 2023  
Department of Electrical Engineering  
Elektroteknik  
Chalmers University of Technology  
SE-412 96 Gothenburg  
Telephone +46 31 772 1000

Omslag: Teoretisk modell av enhetens uppbyggnad.

Typeset in L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X  
Printed by Chalmers Reproservice  
Gothenburg, Sweden 2023

## Förord

Detta arbete är det slutgiltiga momentet i högskoleingenjörsprogrammet i elektroteknik. Jag vill bringa ett stort tack till min handledare och examinator Thomas Hammarström, tekniklektor i elektroteknik på Chalmers tekniska högskola, som genom sitt engagemang och sin hjälpsamhet gjort detta arbete möjligt.

Vidare vill jag också tacka Robert Karlsson, forskningsingenjör i elektroteknik, som delat med sig av mycket kunskap inom området vilket kom till stor nytta.

# Sammanfattning

I detta projekt undersöks en växelriktare, komplett med spänningsomvandling, för att evaluera dess prestanda, effektivitet och funktion. Växelriktarens kretskort och komponenter studeras och kartläggs för att beskriva hur enheten är uppbyggd och fungerar. Genom att ta fram modeller för varje del av enheten blir det möjligt att beräkna vilka laster varje funktionskritisk komponent klarar av. Från denna analys presenteras slutsatser om vilka begränsningar och eventuella förbättringsmöjligheter som finns för enheten.

Arbetet utgör en del av ett större projekt där en prototyp för ett småskaligt vindkraftverk ska tillverkas. För att kunna utföra tester på vindkraftverkets prestanda behöver energin konverteras till 230V växelspänning, vilket görs genom en växelriktare. Syftet med arbetet är att undersöka växelriktaren som är ämnad för bruk i denna prototyp, vilket specificerar vilka typer av laster som kan nyttjas vid drift, samt vilka energiförluster som uppstår. Detta med målsättningen att vindkraftverkets verkliga prestanda kan beräknas. Genom att ta fram enhetens uppbyggnad på komponentnivå kan även eventuella modifieringar göras på dess design för att optimera växelriktaren för detta syfte.

Resultatet av undersökningen på konstruktionen visar på en design där en justering av temperaturbegränsningar enkelt kan öka enhetens märkeffekt med bibehållen funktion, utan att ha en negativ påverkan på enhetens effektivitet. Enhetens effektivitet, som ökar i korrelation med effektuttaget, är relativt låg. En ökning av växelfrekvensen i enhetens spänningsomvandlare kan potentiellt bidra till en ökning i både märkeffekt och effektivitet.

# Abstract

In this project, an inverter unit, complete with a voltage converter, will be analyzed in order to realize its performance, efficiency and function. The circuitboard is studied and mapped in order to understand the structure and inner workings of the unit. By creating theoretical models for each section of the unit, it is possible to calculate what loads each critical component can handle. From this analysis conclusions can be drawn about what limitations there are, and what possible improvements that could be made.

This thesis is part of a larger project, where a prototype of a small scale wind power turbine is to be built. In order to more easily conduct experiments and performance tests on this wind turbine, while also being able to utilize the turbine for other applications, the power generated is converted to 230V AC, which is done through an inverter. Thus, the aim of this thesis is to survey the inverter selected for this prototype, which specifies what kinds of loads that can be utilized, and how large the losses are, in order to properly calculate the wind turbines real world performance. By mapping the units circuitboard on a component level scope, modifications could possibly be made in order to optimize the unit towards its specific application.

The results from the survey of the unit shows a design with plenty of unutilized performance, where a simple adjustment of the temperature limit could increase the continuous max power limit. The efficiency, which increases in correlation to power output, is rather poor, and an increase in the switching frequency within the voltage converter could potentially contribute to both higher power capability and efficiency.



# Lista på förkortningar

Nedan står en lista på de förkortningar som använts i rapporten. Dessa är sortade i alfabetisk ordning:

AC	Växelström
DC	Likström
PWM	Pulsbreddsmodulering
RMS	Root mean square, eller kontinuerlig effekt
VAC	Spänning på en växelspanningskälla
VDC	Spänning på en likspänningskälla



# Innehåll

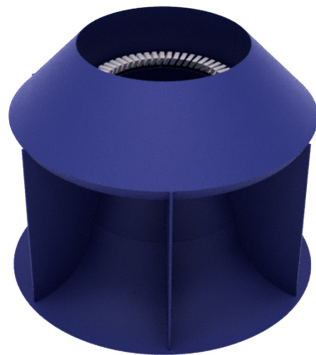
<b>Lista på förkortningar</b>	<b>ix</b>
<b>Figurer</b>	<b>1</b>
<b>Tabeller</b>	<b>1</b>
<b>1 Introduktion</b>	<b>1</b>
1.1 Bakgrund . . . . .	1
1.2 Syfte . . . . .	2
1.3 Avgränsningar . . . . .	2
1.4 Precisering av frågeställningen . . . . .	3
<b>2 Teori</b>	<b>5</b>
2.1 Modifierad sinus och styrteknik . . . . .	5
2.2 Kretsuppbyggnad . . . . .	6
2.2.1 Spänningsomvandlare . . . . .	8
2.2.2 Växelriktare . . . . .	10
2.3 Värmeutveckling för MOSFET . . . . .	12
2.3.1 Beräkning av belastningsförmåga för spänningsomvandlare vid 150 W . . . . .	12
2.3.2 Beräkning av belastningsförmåga för spänningsomvandlare vid 300 W . . . . .	15
2.3.3 Beräkning av belastningsförmåga för växelriktare . . . . .	16
2.3.4 Beräkning av effektivitet . . . . .	17
<b>3 Metod</b>	<b>19</b>
3.1 Avläsning och analys av enheten . . . . .	19
3.1.1 Oscilloskop . . . . .	19
3.1.2 Strömmätare . . . . .	19
3.1.3 Värmekamera . . . . .	20
3.2 Kartläggning och förenkling av enhetens funktion . . . . .	20
3.2.1 CircuitLab . . . . .	20
3.2.2 Uppritning av kraftomvandlare i CircuitLab . . . . .	20
3.3 Mätningar under drift . . . . .	20
3.3.1 Lastförhållanden för enheten . . . . .	21

3.3.1.1	Laster . . . . .	21
3.3.1.2	Mätpunkter vid last . . . . .	22
3.3.1.3	Mätningar . . . . .	22
3.3.2	Enhetens uppbyggnad . . . . .	23
3.3.3	Komponentmätning . . . . .	24
<b>4</b>	<b>Resultat</b>	<b>25</b>
4.1	Spänning och vågformer för spänningsomvandlare . . . . .	25
4.2	Mätningar och vågformer på växelriktare . . . . .	28
4.2.1	Vågformer . . . . .	29
4.2.2	Värmeutveckling . . . . .	30
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>31</b>
5.1	Värmeutveckling för Enheten . . . . .	31
5.2	Begränsningar i systemet . . . . .	32
5.3	Förbättringsmöjligheter på enheten . . . . .	32
5.4	Miljö och etik . . . . .	33
<b>6</b>	<b>Slutsats</b>	<b>35</b>
6.1	Enhetens funktion och prestanda . . . . .	35
6.2	Användandet av enheten för en prototyp av ett vindkraftverk . . . . .	36
6.3	Förbättringar och begränsningar . . . . .	36
	<b>Bibliografi</b>	<b>37</b>
<b>A</b>	<b>Appendix 1, Laboration och verktyg</b>	<b>I</b>
<b>B</b>	<b>Appendix 2, Bilder Värmeamera</b>	<b>V</b>
<b>C</b>	<b>Appendix 3, Bilder på kretskort</b>	<b>VII</b>

# 1

## Introduktion

### 1.1 Bakgrund



**Figur 1.1:** Prototyp av vindkraftverk

I ett projekt för att utveckla ett litet och konsumentvänligt vindkraftverk behöver en enklare prototyp först byggas för att utvärdera dess prestanda. För att vindkraftverket ska vara konsumentvänligt behöver det vara enkelt att installera och uppehålla, tystgående för att inte störa boende samt kostnadseffektivt för att vara en hållbar investering. Prototypens turbin är inkapslad i en ljuddämpande kåpa fig.1.1, och designad för ett högt varvtal. Vindkraftverkets design utgör en form av trutt som vägleder vinden till turbinen. Turbinen kopplas med drivrem till en vanlig 12 V generator för fordonsbruk. Generatoren har integrerad elektronik för att ladda ett blybatteri med likström, där batteriet i fråga är ett begagnat startbatteri från ett fordon. För att vindkraftverket ska kunna försörja ett hushåll med ström behöver en spänningsomvandling ske. En växelriktare används för att omvandla 12 V DC från batteriet till 230 V AC för bruk i hushållet.

För prototypen valdes en enkel och enhetlig lösning för att utföra denna omvandling. Denna enhet är en kombination av både en spänningsomvandlare och en växelriktare, med inbyggd nätseparation tack vare spänningsomvandlarens transformator. Enheten har en märkeffekt på 150 W och ska enligt specifikation kunna utveckla en effekt på 300 W under kortare perioder. Då vindkraftverket består av många

delar behöver varje komponent studeras för att kunna upptäcka vilka mekaniska och elektriska förluster som uppstår vid drift. Detta arbetet fokuserar på att mäta vilka förluster som växelriktaren medför.

### 1.2 Syfte

Det här arbetet går ut på att noggrant studera den valda växelriktaren för att få reda på dess verkningsgrad, samt vilken högsta kontinuerlig effekt enheten klarar av att belastas med i verkliga tester. Teoretiska formler ska tas fram för både spänningsomvandlare och växelriktare för att dra paralleller till enhetens design och funktion. Ytterligare teoretiska beräkningar gällande kapacitet och värmeutveckling görs för viktiga komponenter, vilket ger en uppfattning om vilken prestanda som kan förväntas av varje del. Genom mätresultaten är det möjligt att beräkna vindkraftverkets mekaniska effekt på ett mer exakt sätt. Vidare resultat gällande funktion och uppbyggnad innebär att eventuella ändringar kan göras på enheten för att förbättra dess prestanda och minimera förluster, vilket bidrar till att optimera prototypens design.

### 1.3 Avgränsningar

För att kartlägga enhetens kretskort och funktion, samt för att beräkna effekter och förluster användes enbart enklare figurer och formler för att få en övergripande förståelse kring dessa. Detta innebär att det finns en felmarginal mellan beräknade värden och uppmätta värden. En diskussion angående funktion mellan ideala och icke-ideala komponenter kommer därför behöva vidtas.

Lasten som användes vid mätningarna hade enbart specifika värden, därmed fanns det ingen möjlighet att bestämma den last som krävs för att uppnå en märkeffekt på 150 W. Det innebär även att det inte gick att testa mycket små överlasten för att se om enheten hade marginaler gällande kontinuerlig drift.

Vid komponentspecifika mätningar på kretsen kunde enheten enbart köras på tomgång då det inte fanns möjlighet att kyla värmeavgivande komponenter fig.C.6, detta begränsar möjligheten att analysera specifika komponenters beteenden under olika laster. Det var även bara möjligt att utföra mätningar på spänningsomvandlaren då kretsuppbyggnaden gjorde det för svårt att utföra mätningar på växelriktaren fig.C.2-C.3.

## 1.4 Precisering av frågeställningen

- Vilka eventuella brister finns det på enhetens uppbyggnad och funktion?
- Vad begränsar enhetens märkeffekt?
- Vilka för, och nackdelar har justeringar av enhetens uppbyggnad och drift på pris, märkeffekt, livslängd och effektivitet?



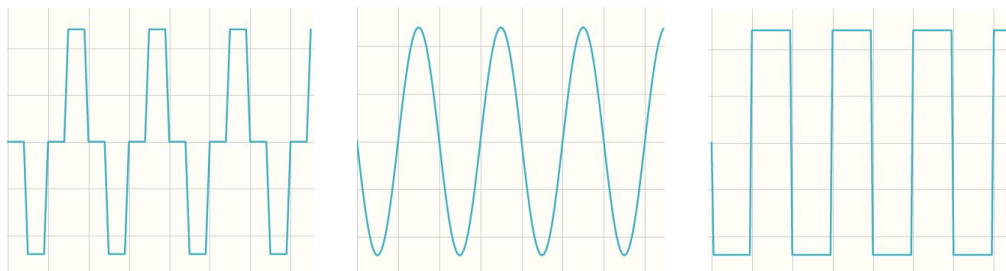
# 2

## Teori

### 2.1 Modifierad sinus och styrteknik

I allmänhet har växelriktare generellt sett två operationslägen, PWM och fyrkantsvåg. PWM innebär att växelriktaren kan imitera en ren sinusvåg, men det är en betydligt mer komplicerad design som kräver mer sofistikerad styrning och MOSFETs som klarar av höga frekvenser (många gånger högre än nätfrekvens). Fördelen med PWM-designen är att den avger en växelström som är mycket snarlik den som finns i svenska hushåll. Detta gör att alla elektriska apparater kommer fungera korrekt.

En växelriktare som körs i fyrkantsvågsläge genererar enbart en ren fyrkantsvåg, och är en betydligt enklare design, där väldigt enkla styrkretsar går att använda på grund av den låga växelfrekvensen och enkla vågformen. En fyrkantsvåg är fortfarande en sorts växelström, men är väldigt olik den rena sinusvåg som används i svenska elnät. På grund av detta så finns det därför en risk att vissa apparater, särskilt elektroniska apparater, inte kommer fungera korrekt med en spänningskälla bestående av en fyrkantsvåg. Ett skäl till detta är den snabba omväxlingen som sker mellan negativ och positiv spänning, vilket orsakar övertoner och distortion.



(a) Modifierad Sinus

(b) Sinus

(c) Fyrkantsvåg

**Figur 2.1:** Exempel på vågformer

## 2.2 Kretsuppbyggnad

Enheten plockades isär för att studera uppbyggnaden av kretskortet. Två bilder togs på båda sidor för att noggrant kunna studera kretsen. Genom att börja från inmatning följs kopplingen till diverse komponenter. Komponenternas position och elektriska kontinuitet mellan andra komponenter ger en ledtråd till deras funktion. I figur fig.2.2 har viktiga ledningar och komponenter markerats för att ge en uppfattning av vad som studerats, där grönt markerar komponenter och ledningar som är relevanta för spänningsomvandlaren, röd för likriktaren, och gul för växelriktaren. Markerat i blått syns två komponenter som styr enhetens olika transistorer.

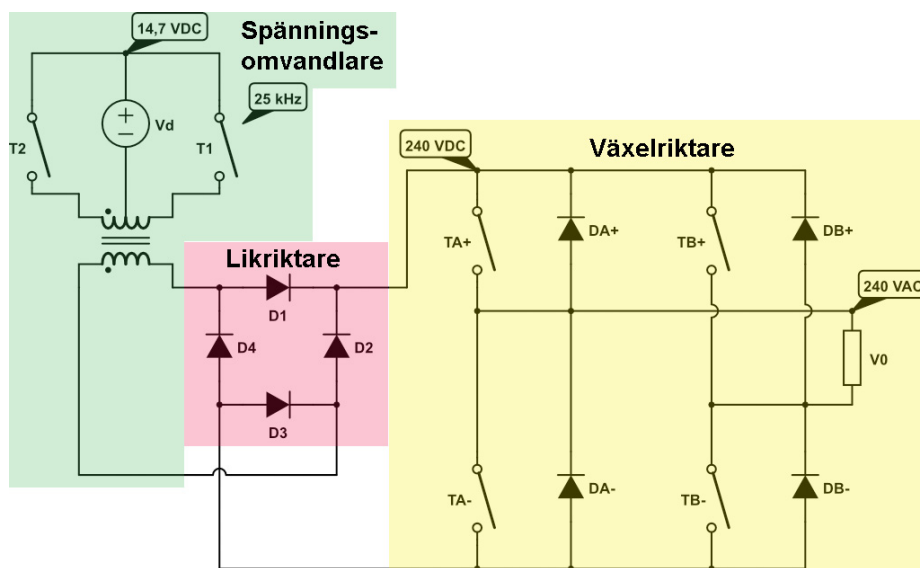
Genom att förstå enhetens funktion så kan man bilda en uppfattning om vilka komponenter och kraftomvandlare som bör finnas på kretskortet. Två huvudsakliga omvandlingar sker internt i den här enheten. Ingående likspänning ska omvandlas till växelspänning, och spänningsnivån ska omvandlas från 12 V till 230 V. För att omvandla spänningsnivån behövs en spänningsomvandlare, och för att omvandla likspänning till växelspänning används en växelriktare [kap 8 & 10 , [1]]. Dessa är två separata kraftomvandlare som kopplatsa man på ett och samma kretskort i enheten. Detta blir mycket tydligt då kretskortet studeras.

Kabeln för 12 VDC kopplas till kretskortet. Denna ledning följs till varsina ben på två transistorer. Dessa ben är transistorernas source. När transistorn öppnas flödar strömmen mellan source till drain, som därefter matas till transformatorns primärlindning. I transformatorn induceras en spänning till sekundärlindningen vilket medför en spänningsomvandling beroende på relationen i lindningsvarv mellan primärsidan och sekundärsidan. Detta innebär att den första kraftomvandlaren på kretskortet är spänningsomvandlaren.

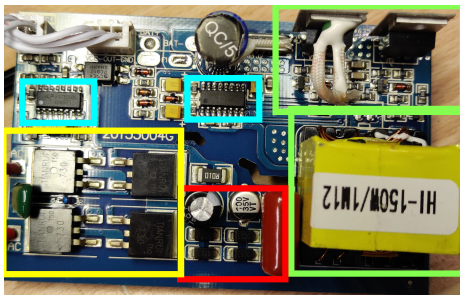
Från transformatorns sekundärlindning avges en växelspänning på 230 V. Denna växelspänning likriktas för att matas vidare till växelriktaren.

Växleriktarens arbete är att generera en växelström från likström. Fyra MOSFETs, uppdelade i två par, växlar med en 180 graders förskjutning från varandra. Varje par matar lasten med ström åt varsin riktning. Detta resulterar i en spänningssvåg som växlar mellan ett negativt och ett positivt värde.

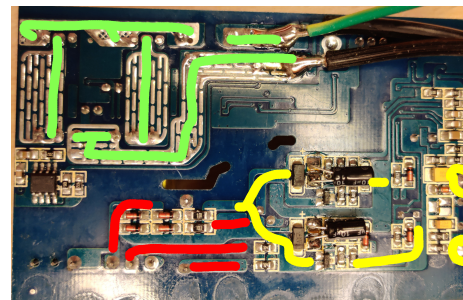
I fig.2.2a visas en modell av enhetens uppbyggnad, där tre viktiga sektioner är markerade i färg. Markerat i grönt är spänningsomvandlaren. Likriktaren är markerad i rött, och växleriktaren är markerad i gult. Markeringarna i blått på kretskortets ovansida fig.2.2b är styrkretsarna för de två kraftomvandlarna.



(a) Modell av enhetens uppbyggnad



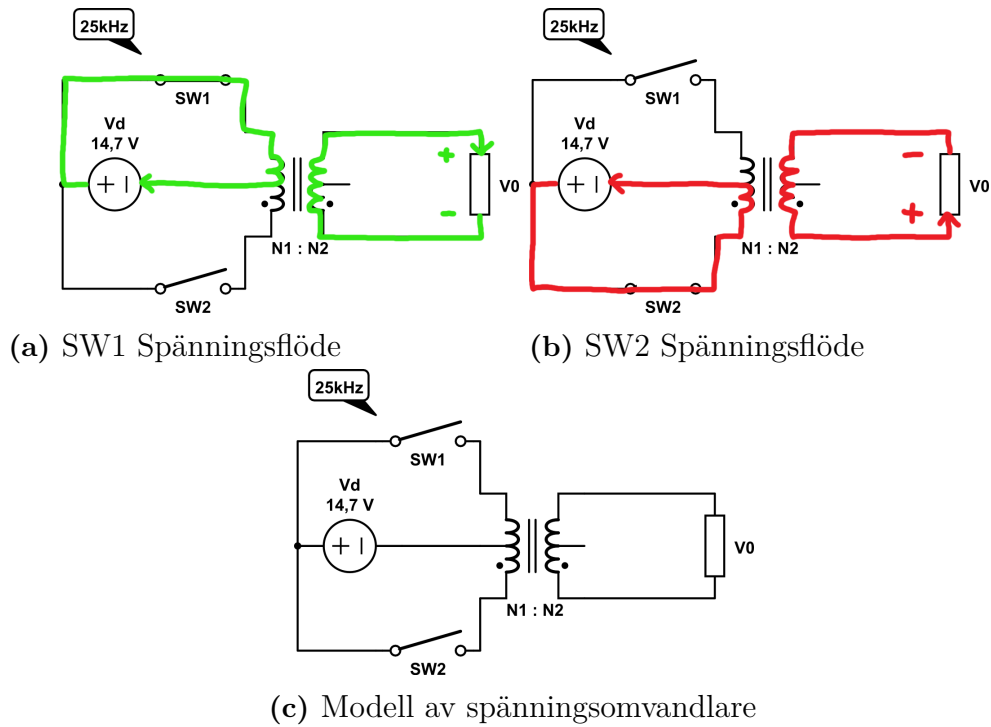
(b) Markering av kraftomvandlare på kretskort i matchande färg som i (a)



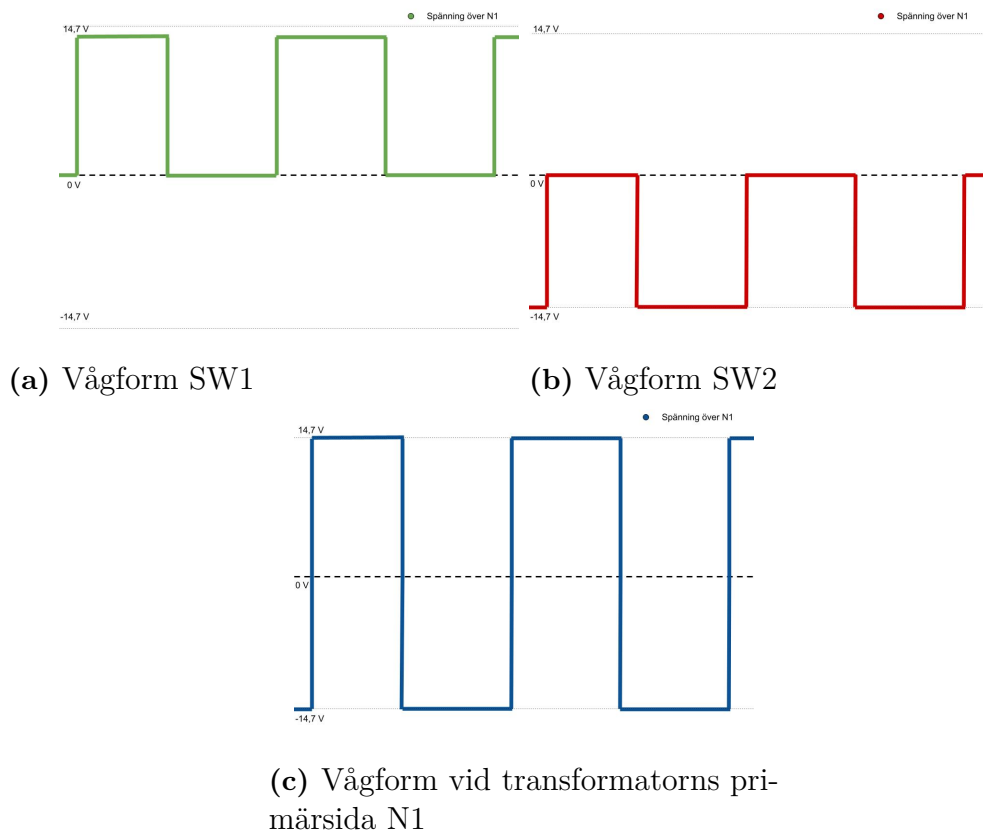
(c) Markering ledningar

**Figur 2.2:** Markering av viktiga sektioner, komponenter och ledningar

### 2.2.1 Spänningsomvandlare



Figur 2.3: Modell av spänningsomvandlare & spänningsflöden



Figur 2.4: Vågformer för configurationen

Den första kraftomvandlaren i enheten är nätdelen/spänningsomvandlaren. Dess uppgift är att konvertera 12 VDC till 240 VDC.

Spänningsomvandlarens huvudkomponent är transformatorn. Transformatorns uppgift är att förstärka spänningen från primärsidan ( $N_1$ ) till sekundärsidan ( $N_2$ ). I figur fig.2.3c ser man att två MOSFETs är kopplade på varsin sida av transformatorns lindning, och i mitten av denna lindning kopplas minuspolen på spänningskällan. Denna konfiguration kallas Push-Pull.

En transformator är en magnetisk krets som består av en järnkärna och två elektriska spolar. När ett elektriskt fält interagerar med ett magnetiskt ledande material uppstår ett magnetfält. På samma sätt kan ett varierande magnetfält som interagerar med ett elektriskt ledande material inducera en elektrisk ström i materialet. I transformatorn orsakar den första spolen (primärlindningen) ett tidsvariabelt magnetiskt fält i transformatorns järnkärna. Detta tidsvariabla magnetiska fält inducerar en elektrisk ström i sekundärlindningen. Relationen i spänning mellan primärsidan och sekundärsidan är densamma som relationen i lindningsvarv för dessa.

Eftersom att transformatorn kräver ett tidsvariabelt magnetfält för att inducera en ström till sekundärsidan behöver även primärsidans elektriska fält ha samma egenskap. Detta innebär att primärsidans likspänningsmatning måste omvandlas till växelspänning genom att använda transistorer.

I denna design finns två stycken transistorer (SW1 och SW2) som växlar spänningen. I det här fallet är konfigurationen "push - pull" vilket betyder att varje transistor ger upphov till en spänning i varsin riktning i transformatorn. När SW1 sluts fig.2.3a, kommer en positiv spänning relativt sett till lasten vid  $V_0$  fig.2.3c uppstå. När SW2 öppnas fig.2.3b och SW1 stängs, kommer istället en negativ spänning relativt sett till lasten  $V_0$  uppstå.

Transformatorns funktion i det här fallet är att omvandla spänningen till ca 240 V. Denna spänning är peak-to-peak, och växlar mellan -120 V och +120 V.

Relationen mellan lindningsvarven på varje sida av transformatorn bestämmer hur mycket spänningen ökar. Denna relation beräknas genom följande ekvation.  $V_d$  är spänningen på primärsidan,  $V_0$  är spänningen på sekundärsidan,  $N_1$  är primärsidans lindningsvarv, och  $N_2$  är sekundärsidans lindningsvarv:

$$\frac{V_0}{V_d} = \frac{N_2}{N_1} \quad (2.1)$$

Vilket ger följande resultat:

$$N_2 = \frac{120V}{12V} * N_1 \quad (2.2)$$

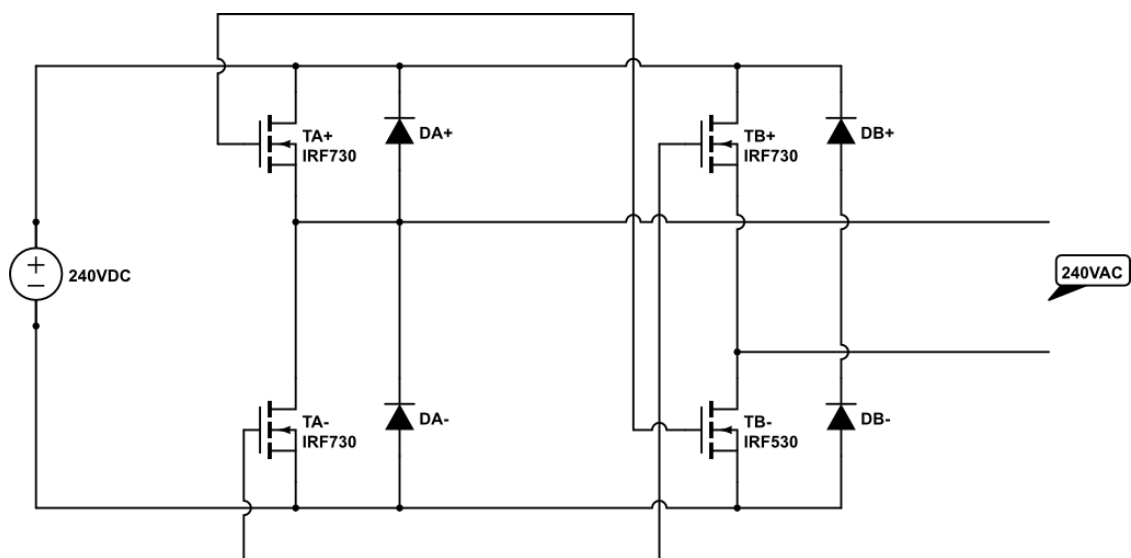
$$N_2 = 10 * N_1 \quad (2.3)$$

Detta innebär att sekundärsidans lindning har tio gånger fler lindningsvarv än primärsidans, vilket transformerar upp spänningen tiofalt.

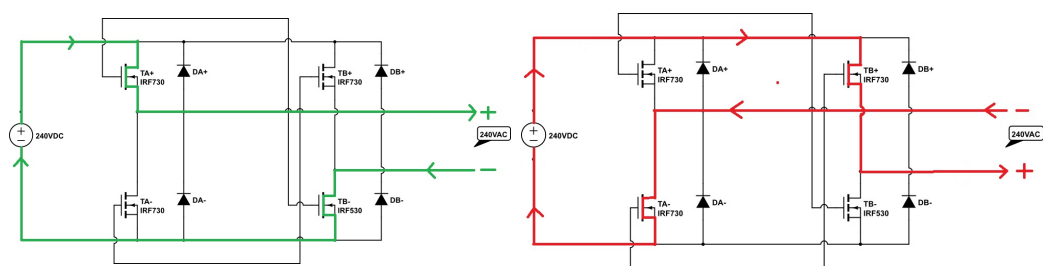
## 2. Teori

Växeriktaren i det här fallet skall matas av en likspänning. Detta innebär att utmatningen från spänningsomvandlaren likriktas, och en kondensator jämnar ut spänningsvariationer.

### 2.2.2 Växeriktare



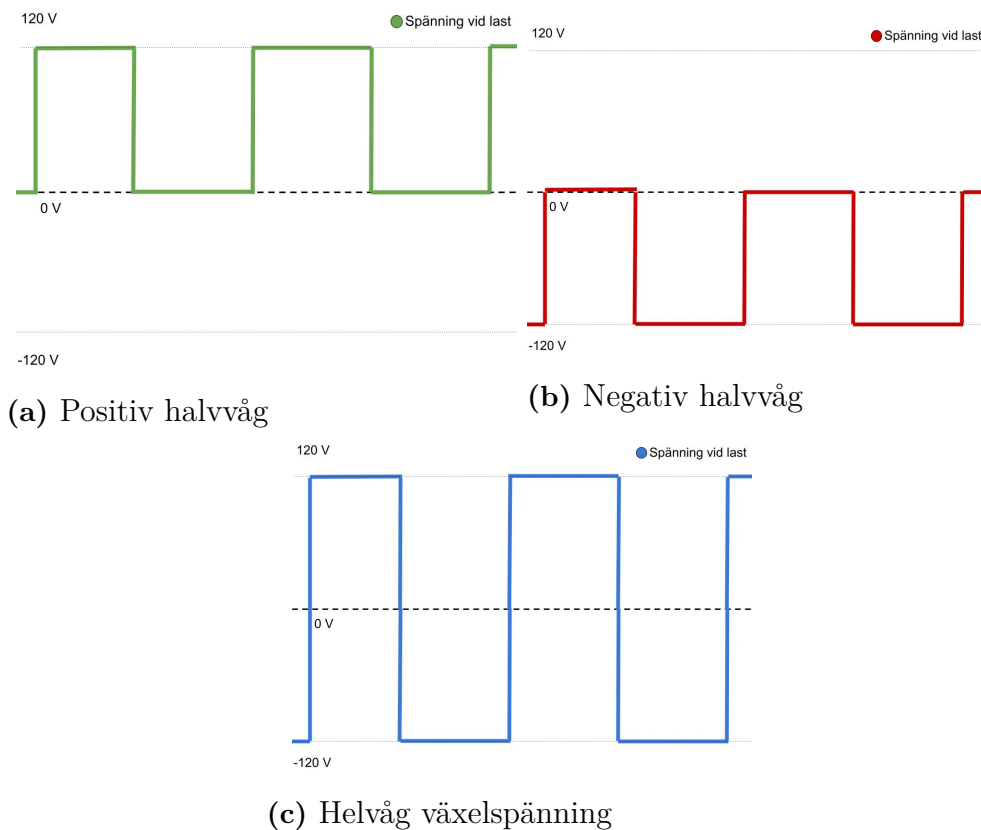
Figur 2.5: Modell av växeriktare



(a) Spänningsflöde positiv halvåg

(b) Spänningsflöde negativ halvåg

Figur 2.6: Modell av växeriktare & spänningsflöden



**Figur 2.7:** Vågformer för växelriktare

Efter spänningsomvandlaren kommer en växelriktare fig.2.2a. Dessa fyra MOSFETs, markerade TA+, TA-, TB+ samt TB- i figur 2.5 agerar som switchar. Dessa fyra switchar är kopplade i par, där TA+ och TB- aktiveras tillsammans, likaså med TA- och TB+. När det första paret aktiveras ges en halvvåg med positiv spänning i förhållande till lasten. Därefter aktiveras det andra paret istället, vilket får strömmen att flöda åt andra hållet. Detta ger då upphov till en halvvåg med negativ spänning i relation till lasten. Över en period sätts dessa två halvvågor ihop och bildar en växelström.

Växelriktaren i enheten genererar en modifierad sinusvåg fig.2.1a. Modifierad sinus kan sägas vara en kombination av en fyrkantsvåg fig.2.1c och PWM fig.2.1b. Genom att överlappa den positiva halvvågen med den negativa halvvågen av en fyrkantsvåg så tar de två ut vartandra, vilket resulterar i ett spänningslöst tillstånd. Genom denna metod fås en utsignal med en trappstegsliknande form, snarare än en ren fyrkantsvåg vilket resulterar i lägre distortion.

## 2.3 Värmeutveckling för MOSFET

### 2.3.1 Beräkning av belastningsförmåga för spänningsomvandlare vid 150 W

För att veta om en komponent är lämplig för ett visst ändamål måste komponenten ha sina specifikationer väl dokumenterade. Datablad för de mosfets som förekommer i detta arbete togs fram, och en konsoliderad version av de mest relevanta värdena ställdes upp i tabeller.

Spänningsomvandlaren använder sig av två MOSFET av typen IPS FTP16N06A, vars värden är uppställda i tabell tab.2.2 och tagna från tillverkarens datablad [2]. Två beräkningar är av intresse: värmeutveckling och effekttålighet.

För att beräkna genomsnittlig värmeutveckling används en formel för att få en uppfattning om vilken sorts kylning som kan behövas vid drift. Värmeutvecklingen i en MOSFET är beroende av den ström som MOSFETen utsätts för, samt den interna resistansen mellan drain och source. För dessa MOSFETs är denna resistansen på 16 mΩ, och på grund av spänningsomvandlaren design utsätts varje MOSFET för halva strömmen, och därmed halva effekten fig.2.4a-b. Vid en märkeffekt på 150 W blir detta 75 W per MOSFET.

Formeln för att beräkna medelvärmeeffektsutvecklingen  $P_0$  är följande, där  $I_D$  är den medelström som går genom mosfet, och  $R_{DS}$  är den interna resistansen.

$$P_0 = I_D^2 * R_{DS} \quad (2.4)$$

Med en spänning över MOSFET på 12 V, och en medeleffekt på 75 W, ger detta en medelström på 6,25A, vilket medför en medelvärmeeffektsutveckling på  $P_0 = 0,625W$ .

Med detta värde  $P_0$  kan värmeutvecklingen beräknas under två olika förhållanden; med och utan en kylfläns monterad. Konstanterna ”junction to ambient”:  $T_{\phi JA}$ , och ”junction to case”:  $T_{\phi JC}$  tab.2.2, beskriver vilken temperaturökning per watt som uppstår i enheten, vilket är ett resultat av vilken värmeledningsförmåga komponenten har i dessa fall.

Olika material och medier har olika ledningsförmågor, och då luft har en relativt dålig värmeledningsförmåga behövs det mycket area för att avleda värmen effektivt. Konstanten  $T_{\phi JA}$  bestämmer därmed hur mycket värme som kan avledas från enbart komponenten.

Transistorerna i enheten är små och har således en liten area. För att transistorerna ska klara högre effekt behöver en kylfläns monteras. Kylflänsen har betydligt större area, och är tillverkad i ett ledande material såsom aluminium för att leda bort värme från komponenten. Mängden värme som kan avledas är nu beroende av kylflänsens storlek, design och material, vilket gör att det är svårt att beräkna komponentens teoretiska effektkapacitet.

Lösningen till detta är att enbart räkna på värmeledningsförmågan mellan komponentens "junction" till kylflänsen:  $T_{\phi JC}$ . Kylflänsen antas då ha en oändlig kapacitet för att avleda värme från komponenten. Innebörden av denna konstant är att transistorn alltid har en högre intern temperatur än kylflänsen. Detta är viktigt att förstå då en transistors effektkapacitet är beroende på dess interna temperatur.

För att beräkna värmeutvecklingen i komponenten ( $T_{JA}$ ) utan kylfläns används följande ekvation, där  $P_0$  är den medelvärmeeffektsutveckling som beräknats tidigare och  $T_A$  är omgivningstemperaturen med ett värde på 25 °C:

$$T_{JA} = T_{A(25^\circ C)} + T_{\phi JA} * P_0 \quad (2.5)$$

Resultatet av denna beräkning ger en temperatur på 63,75 °C. I databladet för transistorn anges en maxtemperatur på 175 °C tab.2.2 vilket innebär att det inte finns någon skärskild risk för skada vid denna effektnivå.

För beräkning av komponentens temperatur med kylfläns monterad ( $T_{JC}$ ), används  $T_{\phi JC}$  istället för  $T_{\phi JA}$ , där  $T_A$  förblir 25 °C, vilket ger formeln:

$$T_{JC} = T_{A(25^\circ C)} + T_{\phi JC} * P_0 \quad (2.6)$$

Detta innebär att den lägsta temperatur som kan uppnås vid denna last är 25,55 °C, endast  $\Delta T_{JC} = 0,55$  °C över omgivningstemperatur.

Den maximala effektkapaciteten hos en MOSFET specificeras genom sin Power Dissipation [2], vilket i det här fallet är 170 W tab.2.2. Däremot begränsas den verkliga effektkapaciteten av komponentens verkliga drifttemperatur.

Beräkningen av värmeutveckling visar på att transistorns interna temperatur är 0,55 °C högre än temperaturen på kylflänsen, givet att ledningsförmågan mellan transistorns hölje och kylflänsen är perfekt.

För att beräkna den verkliga effektkapaciteten vid drift ( $P_{Max}$ ), och för att säkerställa att en kylfläns håller måttet används konstanterna  $P_{Drating}$ , och  $P_{Dpower}$  tab.2.2. Konstanten  $P_{Drating}$  beskrivs i effektkapacitet förlorad per grad över  $T_A$  (=25 °C), eller förenklat W/°C, och konstanten  $P_{Dpower}$  anges i W. Konstanten  $P_{Drating}$  innebär att en maximal temperatur på kylflänsen kan specificeras för en given effekt. För att beräkna vilken den maximala temperaturen °C på kylflänsen ( $T_{HS}$ ) får vara vid en effekt på  $P_{Max} = 75$  W, används följande formel:

$$T_{HS} = T_A + \frac{(P_{Dpower} - P_{Max})}{P_{Drating}} \quad (2.7)$$

Som tidigare nämnt är värmeöverföringen mellan transistorns halvledare och kylflänsen inte perfekt, och vid 75 W är transistorns interna temperatur 0,55 °C högre än kylflänsens temperatur. Detta måste därmed räknas med för att beräkna kylflänsens högsta temperatur för att bibehålla en effektkapacitet på 75 W. Resultatet av föregående formel är  $T_{HS} = 108,3$  °C, vilket ger en korrigerad högsta temperatur på  $T_{HS_{korr}} = 107,75$  °C.

### 2.3.2 Beräkning av belastningsförmåga för spänningsomvandlare vid 300 W

Enheten ska enligt specifikation klara av en toppeffekt på 300 W under en kort period. Hur väl transistorerna klarar av denna effekt är viktigt att räkna ut för att förstå om det finns några marginaler för att uppnå en högre kontinuerlig effektkapacitet än 150 W. Resultaten av beräkningarna vid 300 W ställs upp i tabell tab.2.1, där även beräkningarna vid 150 W inkluderats.

**Tabell 2.1:** Effektkapacitetsberäkningar: IPS FTP16N06A

Symbol	Parameter	150 W	300 W	Enhet
$P_0$	Värmeeffektsutveckling	0,625	2,5	W
$T_{JA}@25(^{\circ}C)$	Temperatur utan kylning	63,75	155	$^{\circ}C$
$T_{JC}@25(^{\circ}C)$	Temperatur med kylning	25,55	27,2	$^{\circ}C$
$\Delta T_{JC}$	Temperaturdifferens	0,55	2,2	$^{\circ}C$
$T_{HS_{korr}}$	Maximal temperatur för kylfläns	107,75	40,34	$^{\circ}C$

**Tabell 2.2:** Mosfet spänningsomvandlare/nättdel: IPS FTP16N06A

Symbol	Parameter	Maxvärde	Enhet
$V_{DS}$	Drain-to-Source Voltage	55	V
$I_D@25(^{\circ}C)$	Continuous Drain Current	65	A
$I_D@100(^{\circ}C)$	Continuous Drain Current	46	A
$V_{GS(TH)}$	Gate Threshold Voltage	2,0- 4,0	V
$P_{D_{power}}$	Power Dissipation	170	W
$P_{D_{rating}}$	Derating factor above 25 $^{\circ}C$	1.14	W/ $^{\circ}C$
$R_{DS(ON)}$	Drain-to-Source On-Resistance	16	m $\Omega$
$R_{\phi JC}$	Junction-to-Case	0,88	$^{\circ}C/W$
$R_{\phi JA}$	Junction-to-Ambient	62	$^{\circ}C/W$
$T_J$	Max Operating Junction Temperature Range	175	$^{\circ}C$

### 2.3.3 Beräkning av belastningsförmåga för växelriktare

För beräkning av belastningsförmågan hos växelriktarens MOSFETs används samma formler, men konstanterna är olika då en annan sorts MOSFET har använts (IFR730). Specifikationerna för denna MOSFET står i tabell tab.2.4, och är tagna från tillverkarens datablad [3]. Beräkningen av värmeutvecklingen sker på samma sätt som i förra kapitlet. För räkneexemplet uppskattas spänningen till 240 V, vilket ger en medelström på  $I_D = 312,5$  mA per transistor vid 150 W. Det finns fyra transistorer uppdelade i par, där varje par är kopplade i serie, vilket ger en medeleffekt på 37,5 W per transistor med en spänning på 120 V:

$$P_0 = I_D^2 * R_{DS} \quad (2.8)$$

Detta ger en värmeeffektsutveckling på 97,6 mW. Resultatet av beräkningarna ställs upp i tabell tab.2.3:

**Tabell 2.3:** Effektkapacitetsberäkningar IFR730

Symbol	Parameter	150 W	300 W	Enhet
$P_0$	Värmeeffektsutveckling	97,6	390	mW
$T_{JA}@25(^{\circ}C)$	Temperatur utan kylning	31,05	49,22	$^{\circ}C$
$T_{JC}@25(^{\circ}C)$	Temperatur med kylning	25,166	25,664	$^{\circ}C$
$\Delta T_{JC}$	Temperaturdifferens	0,166	0,664	$^{\circ}C$
$T_{HS_{korr}}$	Maximal temperatur för kylfläns	86,7	24,3	$^{\circ}C$

Den sorts mosfet som används i växelriktaren har en ”maximum power dissipation” på 74 W. Vid 300 W belastas varje transistor med 75 W, vilket egentligen är överlast, och definitivt inte hållbart under kontinuerlig drift. Vid 74 W på denna mosfet krävs en maximal intern temperatur på 25  $^{\circ}C$ , vilket betyder att kylflänsen måste ha en lägre temperatur än så. Den låga värmeeffektsutvecklingen, även vid höga effekter, innebär däremot att kraven på kylning är låg.

**Tabell 2.4:** Mosfet växelriktare: IFR730

Symbol	Parameter	Maxvärde	Enhet
$V_{DS}$	Drain-to-Source Voltage	400	V
$I_D@25(^{\circ}C)$	Continuous Drain Current	5,5	A
$I_D@100(^{\circ}C)$	Continuous Drain Current	3,5	A
$V_{GS(TH)}$	Gate Threshold Voltage	2,0- 4,0	V
$P_D$	Power Dissipation	74	W
$P_{D_{rating}}$	Derating factor above 25 $^{\circ}C$	1.14	W/ $^{\circ}C$
$R_{DS(ON)}$	Drain-to-Source On-Resistance	1	$\Omega$
$R_{\phi JC}$	Junction-to-Case	1,7	C/W
$R_{\phi JA}$	Junction-to-Ambient	62	C/W
$T_J$	Max Operating Junction Temperature Range	150	$^{\circ}C$

### 2.3.4 Beräkning av effektivitet

Enhetens effektivitet beräknas efter att alla mätningar under drift har gjorts. För att beräkna effektiviteten på enheten används följande formel, där  $P_{out}$  är utgående effekt från enheten, och  $P_{in}$  är ingående effekt:

$$\frac{P_{out}}{P_{in}} = \eta \quad (2.9)$$

Enhetens effektivitet är beroende på hur mycket förluster som uppstår i enhetens olika kraftomvandlare och styrkretsar. Under detta avsnitt har främst värmeutveckling betraktats i mån av tid, men även andra förluster i transformator (magnetiseringsförluster och kopparförluster) samt switchförluster i mosfets berör enhetens totala effektivitet. En teoretisk beräkning av enhetens effektivitet har således inte tagits fram eftersom att denna hade varit mycket missvisande.



# 3

## Metod

Begränsningarna hos en kraftomvandlare kan vanligtvis identifieras under extremfall, där kraftomvandlaren utsätts för hög last, låg ingångsspänning eller hög omgivningstemperatur. En kraftomvandlares prestanda bestäms primärt av dess interna komponenter. Tester under dessa förhållanden kan därmed ge en uppfattning om vilken sorts komponent som begränsar kapaciteten. Ett exempel på detta kan vara följande: om effektkapaciteten sjunker avsevärt när omgivningstemperaturen ökar så kan detta innebära bristfällig kylning.

I detta arbetet utförs tester främst under olika lastförhållande och spänningsnivåer. Värmeutveckling mäts i rumstemperatur då det inte förväntas att enheten ska utsättas för onormalt höga omgivningstemperaturer under drift.

Enheten i fråga är en enkel växelriktare (Biltema Spänningsomvandlare 150 W 12 V - 230 V) som approximerar en sinus genom en modulerad fyrkantsvåg.

### 3.1 Avläsning och analys av enheten

För att analysera enhetens prestanda och karaktäristik under drift användes följande instrument som listats i respektive delsektion:

#### 3.1.1 Oscilloskop

Oscilloskop används för att avläsa vågformer. En mycket viktig del för att analysera enhetens funktion. Det oscilloskop som användes var en Tektronix TDS 2004B. Tektronix är en stor producent av oscilloskop och andra elektroniska mätinstrument.

#### 3.1.2 Strömmätare

För att avläsa utgående effekt, rms-spänning och ström användes en FLUKE 39 power meter fig.A.8. Denna kopplas till en Tektronix A622 strömprob. FLUKE är en stor producent av professionella mätverktyg såsom multimätare och strömmätare.

#### 3.1.3 Värmekamera

Vid mätning av värmeutveckling användes en FLIR i7 värmekamera fig.A.7. Med hjälp av denna går det att avläsa värmespridning och temperatur på specifika punkter. FLIR är ett mycket populärt företag inom värmekameror.

## 3.2 Kartläggning och förenkling av enhetens funktion

Enheten plockades isär för att studera kretskortet. Då enheten sköter två stycken uppgifter, spänningsomvandling samt växelriktning, bör det gå att upptäcka två distinkta sektioner på kretskortet, som då fyller varsin funktion.

Med likströmsmatningen som utgångspunkt mättes kontinuitet mellan komponenter för att kartlägga hur komponenter är kopplade. Datablad från diverse komponenter användes för att förstå deras funktion och kapacitet.

#### 3.2.1 CircuitLab

Circuitlab är ett nätbaserat program för att skapa elschema [4]. I Circuitlab finns även möjligheter att utföra enklare simulationer på kretsar vid behov. I detta arbete användes Circuitlab främst för att rita upp förenklade elscheman som representerar de kraftomvandlare som förekommer i enheten.

#### 3.2.2 Uppritning av kraftomvandlare i CircuitLab

Enhetens kretskort består av två distinkta kraftomvandlare, där en förenklad figur skapades i Circuitlab för respektive kraftomvandlare. Dessa användes för att dra paralleller med de teoretiska modeller som beskrivs i boken "Power electronic" [1]. Med hjälp av denna metod blev det lättare att förstå varje komponents funktion och påverkan på enhetens prestanda. Figurernas enkla uppbyggnad gör även att de ämnar sig väl som en visuell representation av varje kraftomvandlare för denna rapport. För att ytterligare underlätta förståelsen om hela enhetens uppbyggnad skapades en komplett figur som består av båda två kraftomvandlare i serie. Denna figur fig.2.2a används för analysunderlag i detta arbete.

## 3.3 Mätningar under drift

Enhetens funktion testades genom att mäta in- & uteffekt, samt avläsa vågformer på AC- sidan. Ett likströmsaggregat matar enheten, och ett apparatuttag kopplades till kablar med labbkontakter för att kunna koppla enheten till en labbpanel med resistanser fig.A.6.

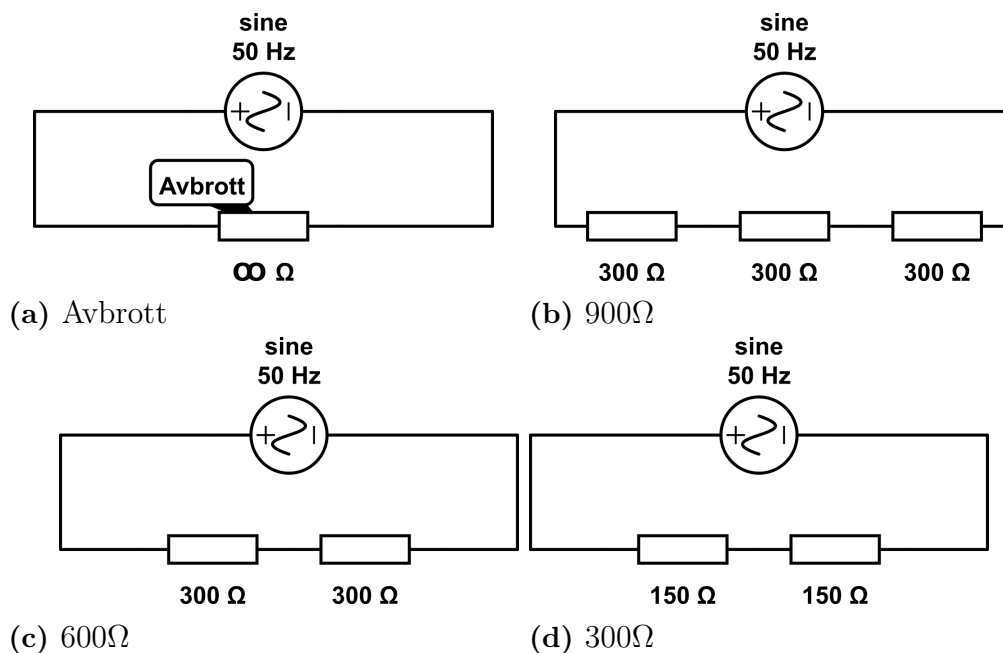
Mätinstrument som användes vid detta test var följande: värmekamera (3.1.3), strömmätare (3.1.2) och oscilloskop (3.1.1).

### 3.3.1 Lastförhållanden för enheten

På labbpanelen fig.A.6 där testerna utfördes finns resistiva effektmotstånd för att kunna testa enheten under olika lastförhållanden. Det finns tre stycken effektmotstånd som genom ett reglage kan ställas till en resistans på:  $\infty\Omega$ ,  $300\Omega$ ,  $150\Omega$ ,  $100\Omega$ ,  $75\Omega$ ,  $60\Omega$ ,  $50\Omega$ , eller  $43\Omega$ . Två till tre motstånd kopplades i serie för att uppnå önskad last.

#### 3.3.1.1 Laster

Fyra driftlägen användes under testets gång. Dessa representeras av följande kretsscheman fig.3.1a-d:



**Figur 3.1:** Uppställning av motstånd

Dessa fyra driftlägen representerar fyra olika scenarion: tomgång, låg last, märkeffekt samt överlast. Desto lägre resistans, desto högre är effektutvecklingen i motstånden, vilket innebär att belastningen på enheten ökar. Vid en märkeffekt på  $150\text{ W}$ , och växelspanning på  $240\text{ V}$ , uppstår en ström på:

$$150\text{W}/240\text{V} = 625\text{mA} \quad (3.1)$$

Med hjälp av Ohms lag går det nu att beräkna vilken last som resulterar i en ungefär lika hög ström som den beräknad vid märkeffekt:

$$150\text{W}/0,625\text{A} = 384\Omega \quad (3.2)$$

Därefter beräknas vilken effektutveckling som uppstår vid dessa specifika resistansvärden. Dessa värden ställs upp i tabell tab.3.1

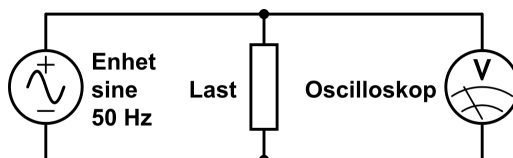
**Tabell 3.1:** Effektutveckling i motstånd

Last [ $\Omega$ ]	Effekt- utveckling [W]	Ström [mA]
Avbrott	0	0
900	64	267
600	96	400
300	192	800

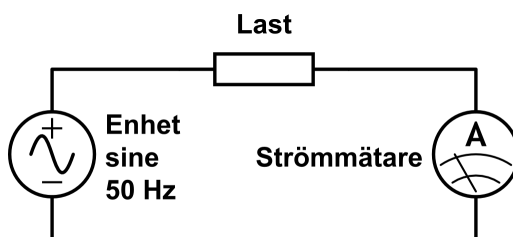
I det här fallet är lasten på 600  $\Omega$  den last som belastar enheten mest utan att överskrida den specificerade märkeffekten, och kommer därmed specificeras som den last som ska representera drift vid märkeffekt.

### 3.3.1.2 Mätpunkter vid last

Ett oscilloskop (3.1.1) kopplades parallellt mot lasten.

**Figur 3.2:** Oscilloskop

Strömmätaren (3.1.2) kopplades på en fasledare från enheten.

**Figur 3.3:** Strömmätare

Nät delen som matar enheten har inbyggda displayer vilket användes för avläsning av spänningsnivån fig.A.4.

### 3.3.1.3 Mätningar

Mätningarna från oscilloskopet i avsnitt 3.1.1 visade vågform under olika lastförhållanden. Duty cycle kunde lätt avläsas tack vare att växelriktaren skapar en sorts fyrkantsvåg, eller ”modifierad sinus” istället för en faktisk PWM-modulerad sinusvåg. Andra värden som avlästes var amplitud, frekvens och rippel.

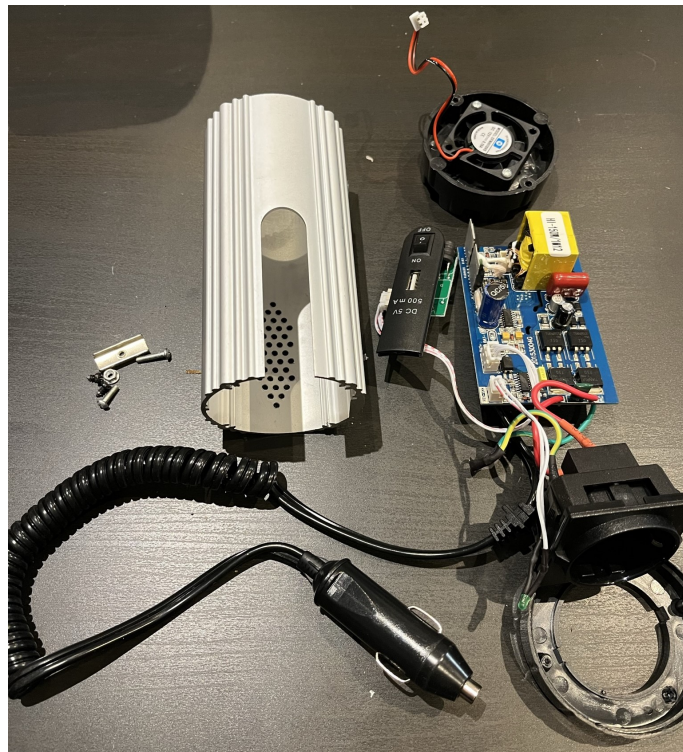
Vissa storheter mättes då av både oscilloskop och strömmätare (3.1.2), på så sätt kunde eventuella mätfel upptäckas.

Displayen på nätaggregatet visade också ström, vilket användes för att beräkna ingående effekt på enheten.

Uteffekt från strömmätaren (3.1.2) jämfördes mot ingående ström från nätdelen för att beräkna effektivitet och effektkonsumtion av enheten.

### 3.3.2 Enhetens uppbyggnad

För att utföra mätningar på komponenterna behövde enheten tas isär. Enheten består av ett cylinderformat aluminiumchassi. Två skåror på insidan av cylindern håller kretskortet i rätt höjd, samtidigt som en skruv fäster kretskortet på plats. Denna skruv gängas fast i ett metallbläck som placeras på framsidan av spänningsomvandlarens MOSFETs. Detta gör att skruven både agerar som en del av kretskortets kylning, och som en fästpunkt för kretskortet. Därefter fästs ett litet kretskort i en utskärning på cylinderns framsida. Detta kretskort innehåller en strömbrytare för själva enheten, samt ett usb-uttag. Slutligen inkapslas allt med hjälp av två plastdetaljer på varje öppning av cylindern, där varje detalj fästs med två skruvar som skruvas direkt i aluminiumchassit. Den ena plastdetaljen består av ett schuko-uttag med en rund ram, den andra är en perforerad del med en integrerad kylfläkt som tillför aktiv kylning för enheten.



Figur 3.4: Enhetens uppbyggnad

### 3.3.3 Komponentmätning

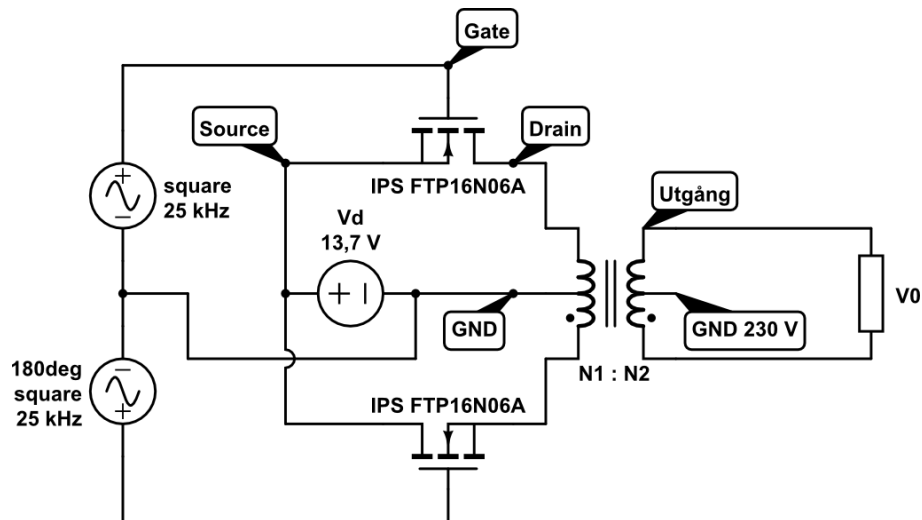
Enhetens utgång lämnades öppen, vilket innebär att enheten kördes på tomgång, för att undvika värmeutveckling och därmed eventuell skada på komponenterna. Mätningar på amplitud och frekvens, samt avläsning av vågform gjordes på ett flertal punkter med hjälp av oscilloskop (3.1.1). Detta hjälper med kartläggningen av enhetens kretskort och funktion. Gate på MOSFET mättes mot jord, vilket visade vilken amplitud och frekvens styrsignalen för MOSFET hade, vilket i sig visar vilken frekvens som spänningsomvandlaren växlar med. Därefter mättes MOSFETens drain, source, samt sekundärlindningen på transformatorn mot jord.

Eftersom att enheten enbart kunde undersökas på komponentnivå under tomgång så begränsas möjligheterna att göra en utvärdering av varje komponents prestanda och kapacitet under last. Detta gör i sin tur att slutsatsen kring maximal belastning blir något mer osäker. Om målet är att maximera den effekt som enheten kan leverera behöver fler mätningar göras under drift.

# 4

## Resultat

### 4.1 Spänning och vågformer för spänningsomvandlare



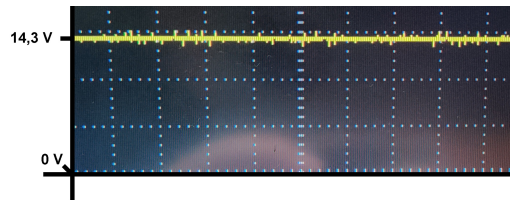
**Figur 4.1:** Mätpunkter spänning & vågform

Med hjälp av oscilloskop (3.1.1) mättes fem olika punkter mot jord (GND), dessa punkter visas i figur 4.1. Vid mätningarna sattes ingångsspänningen till 13,7 V.

## 4. Resultat

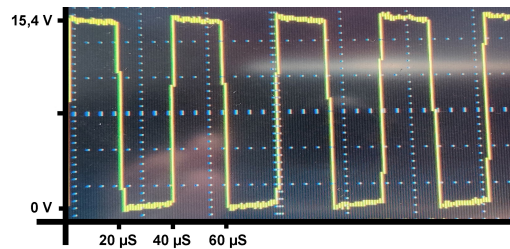
---

Vid mätpunkt "Source", mättes den ingående spänningen för att se om det finns någon avvikelse mellan mätinstrument och nätdel. Oscilloskopet visar då en spänning på 14,3 V fig.4.2, en avvikelse på 0,6 V från vad nätdelen visar. Vad det här beror på är oklart, men avvikelsen medför inga större konsekvenser för detta arbetet.



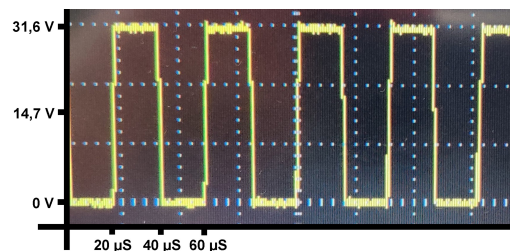
**Figur 4.2:** Source

Mät punkt "Gate", som mäter signalen från transistorernas styrenhet till transistorens gate, resulterar i en fyrkantsvåg med en amplitud på 15,4 V, och en frekvens på 25,69 kHz. Enligt databladet [2] rekommenderas en spänning på minst 10 V för att böttna transistorer vilket uppnås med god marginal.



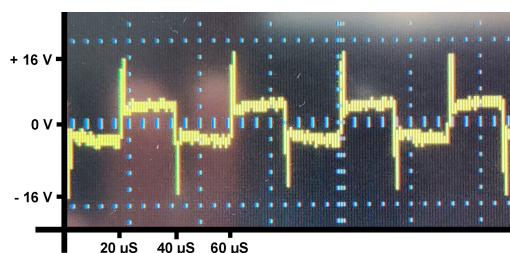
**Figur 4.3:** Gate

Mät punkt "Drain", som mäter signalen från transistorens drain till jord, ger en fyrkantsvåg med en spänning på 31,6 V, och en spänning på 25,7 kHz. Frekvensen är den samma för gate och drain då dessa är beroende av varandra, men spänningen är högre än matningsspänningen. Detta är ett resultat av "push-pull konfigurationen", där transistorerna aktiveras med en 180°fasförskjutning, och spänningssätter transformatorns primärlindning åt varsitt håll.



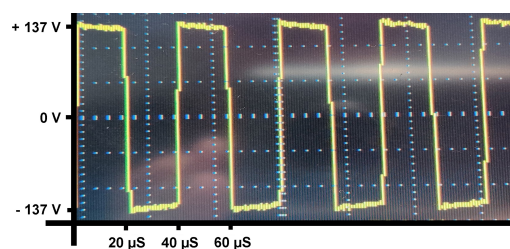
**Figur 4.4:** Drain

Mät punkt "GND 230 V", mäter signalen från högspänningssidans "nolla", och bör då ha samma potential som lågspänningssidans nolla, här kan man dock se en vågform, vilket med största sannolikhet är resultatet av transformatorns läckinduktans.



**Figur 4.5:** GND 230 V

Mät punkt "Utgång", mäter signalen från högspänningssidans utgång, och har en sammanlagd spänning på 274 V. Denna vågform växlar mellan -137 V och +137 V, vilket sammanlagt ger en potential på 274 V peak-to-peak.



**Figur 4.6:** Utgång

**Tabell 4.1:** Spänningsomvandlare

Mät punkt	Amplitud Peak-Peak [V]
Source	14,3
Gate	15,4
Drain	31,6
GND 230 V	34,4
Utgång	274

## 4.2 Mätningar och vågformer på växelriktare

Mätningarna som gjordes på enheten under drift har summerats i tabellerna tab.4.2, tab.4.3, och tab.4.4.

I tabell tab.4.2 visas värdena av viktiga amplituder i vågformen från enhetens utgående spänning. Det kan då observeras att amplituden på vågformen minskar med högre laster, samt att tiden som växelriktaren befinner sig i strömlöst tillstånd minskar successivt i samband med detta. Denna period har representerats med duty-cycle i tabellen och anges i procent för att lättare visa när enheten nått sitt maximum.

**Tabell 4.2:** Mätresultat Oscilloskop Lastförhållande

Last [ $\Omega$ ]	Amplitud [V]	Duty- cycle [%]
<b>No Load</b>	242	61,0
<b>900</b>	224	69,5
<b>600</b>	216	76,7
<b>300</b>	196	91,5

I tabell 4.3 visas vilka strömmar som uppstår på ingångs- och utgångssidan av enheten. Spänningen på utgången mäts även upp här, och här ser man att spänningen skiljer sig åt jämfört med den uppmätt med oscilloskopet (3.1.1) från förra tabellen. Skillnaden i mätvärde har att göra med hur dessa två verktyg mäter spänning vid växelström. Strömmätaren (3.1.2) representerar bättre vad verkliga laster uppfattar för spänning då den beräknar effektivvärdet av spänningen istället för summan av vågformens högsta och lägsta spänning. Spänningen från en växelspanning är inte konstant under hela perioden, men beräkningen av effekt görs utan en tidsaspekt. För att kunna beräkna enhetens effektutveckling måste således effektivvärdet användas då detta representerar det värde en likspänning har vid samma effekt. Detta gör att resultaten från strömmätaren är bättre för ändamålet.

Frekvensen mättes även för att se till att växelriktaren inte gick ned i frekvens under höga laster.

Med hjälp av dessa strömmätningar kan effekten beräknas både för matningen och för lasten.

**Tabell 4.3:** Lastförhållande, FLUKE 39 power meter

Last [ $\Omega$ ]	Ingångsström [A]	Utgångsström [mA]	Spänning [V]	Frekvens [Hz]
<b>No Load</b>	0,2	0	240	N/A
<b>900</b>	5,3	231	239	52,7
<b>600</b>	8,1	366	238	52,8
<b>300</b>	17,7	812	238	52,7

Slutligen i tabell tab.4.4 har effekt in, effekt ut, effektivitet och förbrukning ställts upp. Denna tabell visar att enheten har relativt hög effektförbrukning under drift, vilket leder till en uppmätt effektivitet på mellan 76% och 80%

**Tabell 4.4:** Effektmätningar, FLUKE 39 power meter

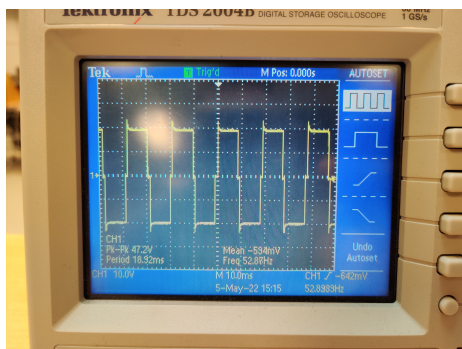
Last [ $\Omega$ ]	Effekt- in [W]	Effekt- ut [W]	Effektivitet [%]	Förbrukning [W]
No Load	2,74	0,0	0	2,74
900	72,6	55,2	76,0	17,4
600	110,9	87,1	78,5	23,8
300	242,5	193,3	79,7	49,2

### 4.2.1 Vågformer

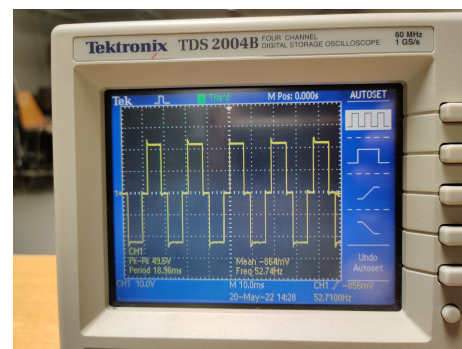
Testerna avslöjade hur enheten hanterar olika laster genom att reglera duty cycle mellan transistorerna i växelriktaren. Vid full last ser spänningstågen ut som en ren fyrkantståg, där spänningen direkt växlar mellan ett positivt och negativt värde fig.4.7a.

Under lägre laster uppkommer istället en period där spänningen är noll, och vågen får då formen av en tre-nivå PWM fig.4.7b.

Relationen mellan spänningsslöst tillstånd och aktiv tid (positiv eller negativ spänning) representeras av Duty-cycle i tab.4.2 där det tydligt går att se att denna ökar med högre laster. Skillnaden i vågform mellan fullast fig.4.7a och tomgång fig.4.7b kan ses i respektive figur nedan.



(a) Vågform vid full last



(b) Vågform vid låg last

**Figur 4.7:** Jämförelse vågform

### 4.2.2 Värmeutveckling

Under märkeffekt mättes och undersöktes enhetens värmeutveckling med hjälp av en värmekamera (3.1.3). Omgivningstemperaturen mättes aldrig specifikt, men genom bilden från värmekameran fig.B.1 kan det observeras att rumstemperaturen är mellan 21 och 22 °C. Enhetens aluminiumchassi uppnådde en maximal temperatur på 34.5°C vid en ingående effekt på 193,3 W fig.B.2. Värmespridningen var relativt bra, vilket kan observeras från samma bild, där den varmaste punkten är det område precis över transistorerna. Sladden för 12 V-sidan blev nämnvärt varm, och uppnådde en temperatur på 42.9°C fig.B.4.

Vid en lägre effektnivå, där ingående effekt var 87,1 W, sjönk temperaturen på chassit till 30,5 °C fig.B.1. Temperaturen på sladden var då 34,9 °C fig.B.3.

# 5

## Diskussion

### 5.1 Värmeutveckling för Enheten

Resultatet från temperaturmätningen på chassit visar på att kylningen hanterar värmeutvecklingen relativt väl, och klarar av att avleda en värmeenergi på nära  $2 * 2,5W = 5W$ . Då testet enbart resulterade i en ingående effekt på ca 240 W innebär det att värmeeffektsutvecklingen är något lägre än den beräknad för 300 W, samtidigt som den lägre effekten betyder att transistorernas interna temperatur kan hållas något högre. Då en effekt på 300 W kräver att chassit bibehåller en temperatur som är lägre än 40,34 °C (tabell tab.2.1 "Maximal temperatur för kylfläns"), och då chassit enbart når 34,5 °C vid en last på 300Ω med en effekt på 240 W fig.B.2, betyder detta att det finns en hel del marginal gällande kylning för laster över 150 W.

Vid en ingående effekt på 240 W fås en utgående effekt på 193 W, nästan 30% högre än märkeffekten på 150 W. Den maximalt tillåtna temperaturen på chassit kan då beräknas på samma sätt som i sektion (2.3.1), vilket ger en maximal temperatur 67,45 °C. Den uppmätta temperaturen på 34,5 °C är betydligt lägre än detta maximum, och spänningsomvandlaren bör därmed klara av denna högre effekt utan större risk för skada.

Då det inte var möjligt att mäta temperaturen på transistorerna i växelriktaren så är det svårt att veta om det finns risk för överhettning vid högre effekter. Då högre effekter innebär att enheten stängs av efter en stund, enbart med hjälp av en temperaturprob monterad på spänningsomvandlaren ena MOSFET, pekar det mot att det finns låg risk för överhettning vid växelriktaren. Beräkningarna av värmeeffektsutvecklingen, vilket visar på att en mycket liten mängd värme produceras av dessa transistorer, stärker antagandet för att risken för överhettning är mycket låg, även vid högre effekter. Dessa transistorer kyls både genom direktkontakt med kretskortet, och genom aktiv luftkylning. Denna kylning bör vara mer än tillräcklig då transistorerna som mest avger ca 0,4 W i värme vardera vid 300 W.

Något som inte är lika lovande är temperaturen på kabeln för enhetens matning. Vid en ingående effekt på 240 W blev kabeln hela 42,9 °C fig.B.4. Detta är inte tillräckligt varmt för att orsaka skada, men det tyder på en hög inre resistans vilket resulterar i

förlorad energi. Att förbättra kabeln skulle därmed kunna förbättra enhetens totala effektivitet, även om det inte nödvändigtvis är ett krav för att kunna driva enheten på högre effektnivåer. Dessvärre gjordes inga mätningar av resistansen i kabeln.

För ändamålet är det mycket möjligt att öka effektuttaget från enheten marginellt då enheten kommer vara monterad inomhus, där en maximal temperatur på  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$  kan uppnås under ett fåtal mycket varma somrardagar. Då omgivningstemperatur har en direkt korrelation med enhetens temperatur, och då mätningarna utfördes vid en temperatur på ca  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ , innebär detta att temperaturer på  $\max 13^{\circ}\text{C} + 34,5^{\circ}\text{C} = 47,5^{\circ}\text{C}$  kommer uppnås för chassit. Sladden kommer ha en temperatur på max  $55,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Dessa temperaturer bör fortfarande hålla sig inom ramen för vad komponenterna klarar av vid kontinuerlig drift.

## 5.2 Begränsningar i systemet

- Kabelarean på 12V sidan av enheten är för liten, vilket resulterar i att kabeln blir väldigt varm under drift.
- Växelfrekvens på spänningsomvandlaren är relativt låg i jämförelse med många andra switchade nätdelar som tillverkas, vilket i sig innebär att du inte kan få ut lika mycket effekt ur transformatorn.

## 5.3 Förbättringsmöjligheter på enheten

- En kabel med större ledararea hade klarat av mer effekt utan att bli för varm. Den nuvarande höga temperaturen vid märkdrift innebär även i sig en viss effektförlust. Därmed kan effektiviteten förbättras genom att öka ledararean på kabeln.
- Att öka växelfrekvensen på spänningsomvandlaren, vilket i sig kräver att transformatorn lindats annorlunda på grund av olika karaktärsticker gällande induktans, hade kunnat öka uteffekten för spänningsomvandlaren utan att beröra materialkostnader markant. Detta kräver att transistorerna drivs hårdare, men enligt specifikation och med tanke på den värmeutveckling som observerats så finns det möjlighet att få ut mer effekt samtidigt som vågformen för en modifierad sinus behålls. Transistorerna i spänningsomvandlaren har sina växelkaraktärsticker specificerade i databladet [2]. Sammanlagd tid för att slutföra en komplett period är  $162\text{ ns}$ , vilket ger en frekvens på  $6\text{ Mhz}$ . Då växelfrekvensen för denna enhet enbart är  $25\text{ kHz}$  innebär detta att det går att ha betydligt högre växelfrekvens utan att byta mosfet.

## 5.4 Miljö och etik

Växelriktare fyller en mycket viktig funktion i övergången till förnyelsebara energikällor, och innovationer inom området möjliggör högre verkningsgrad för befintlig teknik, eller nya möjligheter för energiproduktion. För vindkraftverk kan nya avancerade växelriktare innebära en övergång från turbiner med fast rotorvarvtal till turbiner med variabelt rotorvarvtal, vilket i sig gör vindkraftverket användbart under fler vindhastigheter och med högre effektivitet [5]. För solkraft innebär kostnadseffektiva växelriktare att solpaneler kan placeras på fler byggnader vilket minskar byggnadens totala energibehov från elnätet [6].

Prototypen av vindkraftverket som utgör underlaget till detta arbete är ett exempel på en energikälla som drar stor nytta av kostnadseffektiva växelriktare. Växelriktaren gör att turbinen kan ha en enklare form av generator som inte kräver ett fast rotorvarvtal, och med energilagring i form av batterier kan vindkraftverkets alstrade energi tillföra byggnaden med elektricitet under timmar med hög efterfrågan för att minska belastningen på elnätet.



# 6

## Slutsats

Slutsatsen av det hela visar på att enheten, genom sin väldigt enkla konstruktion har höga förluster, och stor potential till förbättring genom justering av styrkretsar eller byte av enskilda komponenter. Enheten begränsas av några få komponenter och delar som borde gå att förbättras genom relativt enkla modifikationer. Enheten verkar kapabel till att drivas vid 300W uteffekt om temperaturskyddet eller kylningen justeras. För projektet i fråga ämnar sig denna växelriktare väl då mestadels resistiva laster kommer nyttjas. Effektiviteten är i sig inte heller det viktigaste för den prototyp som ska byggas, däremot var det viktigt att kartlägga vilken effektkonsumtion och därmed effektivitet enheten har vid olika lastförhållanden för att kunna räkna bort dessa förluster mot vindkraftverket. Detta underlättar utvärderingen av vindkraftsverkets prestanda i längden då effekten kan mätas vid lasten istället för generatören.

### 6.1 Enhetens funktion och prestanda

Enheten är relativt väl balanserad, med en matchande uppsättning komponenter för effektnivåerna som angivits. Tillverkaren specificerar att enheten klarar av en ut-effekt på 300 W under en mycket kort period, detta är däremot 4 W över vad transistorerna i växelriktaren klarar av tab.2.4. 300 W är även mycket nära gränsen för vad transistorerna i spänningsomvandlaren klarar av, särskilt när man tar enhetens interna effektförlust i åtanke. Gissningsvis klarar enheten enbart av denna effekt under mycket korta perioder vid t.ex uppstart.

Beräkningar på vad transistorerna för båda kraftomvandlare klarar av vid olika effektnivåer och för vilka temperaturer dessa effekter är möjliga visar att det finns spelrum för hur hög effekt enheten kan leverera vid kontinuerlig last genom relativt enkla modifikationer. Andra modifikationer på val av komponenter och programmering av styrkretsar skulle kunna förbättra enhetens prestanda gällande vågform vid högre last. Huruvida dessa ändringar är ekonomiskt försvarbart i det här fallet, och vilka konsekvenser de skulle ha gällande effektivitet är frågor som kräver mer invecklade beräkningar och tas ej hänsyn till i detta arbete.

Målet med arbetet var att kartlägga enhetens prestanda och effektivitet, något som

åstadkommit och presenterats i detta arbete.

### 6.2 Användandet av enheten för en prototyp av ett vindkraftverk

Vindkraftverket i fråga kommer vara mycket litet, och förväntas generera en relativt låg mängd energi överlag. Energiproduktionen varierar stort beroende på vindhastighet, och målet för prototypen är att uppnå en kontinuerlig effekt på 100-150 W. För ändamålet bör denna enhet som består av spänningsomvandlare och växelriktare i serie kunna hantera denna effekt kontinuerligt utan att överhettas. I det fall då vindkraftverket i snitt producerar mer än 150 W finns det eventuellt möjlighet för enheten att överskrida sin märkeffekt något. Vid ett effektuttag på ca 190 W överskrider inte enhetens temperatur skadliga nivåer, och en modifikation av överhettningsskyddet skulle kunna tillåta enheten att belastas till denna nivå kontinuerligt, vilket är en ökning på ca 30% av märkeffekten.

Den last som kommer användas är en resistiv last i form av en värmeslinga. Detta innebär att en icke sinusoidal vågform på växelströmmen inte kommer orsaka några störningar, tillskillnad från om känslig elektronisk utrustning hade används som last. Eftersom att vågformen inte spelar någon roll i det här fallet så behöver denna inte tas i åtanke om effekten skulle ökas.

Målet med denna prototyp är att se om designen på vindkraftverket är funktionell eller ej. Den växelriktare som behövs för att ansluta en vanlig 230 V- last ska främst vara kostnadseffektiv för att hålla nere kostnaden för hela projektet. I helhet uppfyller enheten de krav som ställs på den.

### 6.3 Förbättringar och begränsningar

Detta arbete gjorde en grundläggande analys av enhetens effektkapacitet, styrlogik, effektivitet, uppbyggnad och komponentval. Inga modifikationer gjordes på själva enheten för att utföra ytterligare mätningar eller för att utföra tester med alternativa komponenter. Temperaturmätningar gjordes enbart på enhetens kylfläns vid drift. Ytterligare temperaturmätningar på kritiska komponenter bör göras vid drift för att upptäcka andra eventuella brister i kylning. Som last användes enbart effektmotstånd med specifika värden, vilket gjorde att den specificerade märkeffekten på 150 W inte kunde verifieras med tillräckligt hög noggrannhet. Enbart en sorts last användes, men andra laster, såsom induktiva laster kan användas för att testa enhetens prestanda för andra ändamål. Resistansen i kabeln för 12 V-ingången mättes aldrig, och i ett arbete för att förbättra enhetens totala effektivitet bör denna resistans mätas för att kunna kvantifiera den potentiella förbättringen i effektivitet som detta bör medföra.

# Litteratur

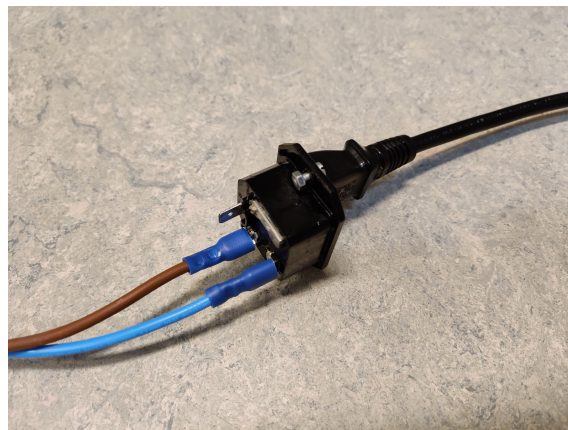
- [1] M. N. U. T. R. P., *Power Electronics, Converters, Applications, and Design*, ser. Converters, Applications, and Design. JOHN WILEY & SONS, INC., 2003.
- [2] IPS. (2010). "FTP16N06A Datasheet," URL: <https://datasheetspdf.com/pdf-file/1306040/IPS/FTP16N06A/1>.
- [3] V. Siliconix. (). "IRF730 Datasheet," URL: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/250792/VISHAY/IRF730.html>.
- [4] I. CircuitLab. (2023). "CircuitLab circuit schematic capture and circuit simulation tool," URL: <https://www.circuitlab.com/about/>.
- [5] P. W. Carlin, A. S. Laxson och E. B. Muljadi, "The History and State of the Art of Variable-Speed Wind Turbine Technology," *Wind Energy*, årg. 6, nr 2, s. 129–159, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1002/we.77>. eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/we.77>. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/we.77>.
- [6] N. R. E. Laboratory. (2006). "A Review of PC Inverter Technology Cost and Performance Projections," URL: <https://www.nrel.gov/docs/fy06osti/38771.pdf>.

# A

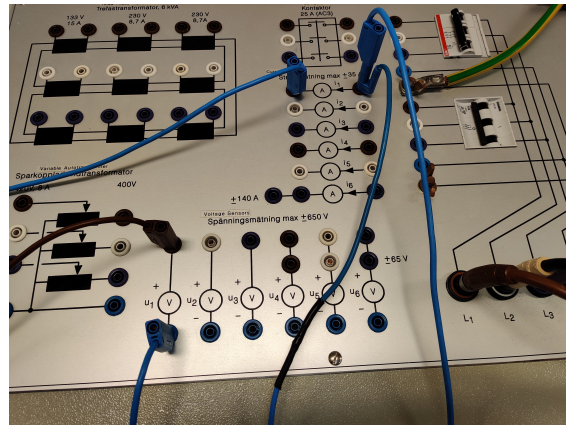
## Appendix 1, Laboration och verktyg



Figur A.1: Växleriktare Biltema



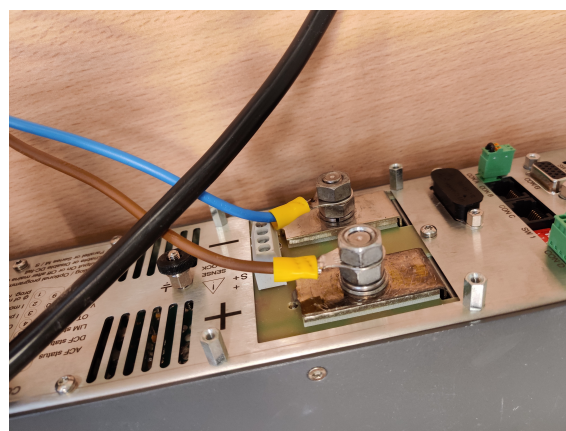
Figur A.2: Koppling 240V



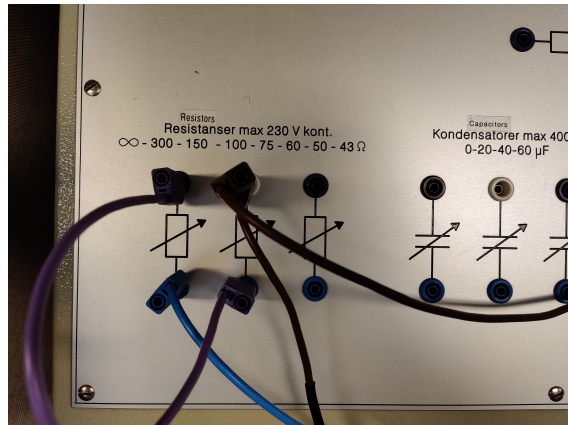
Figur A.3: Mätare Labbpanel



Figur A.4: Variabelt Nätaggregat



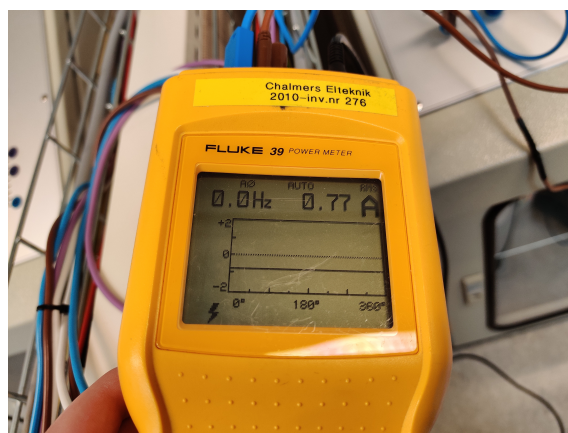
Figur A.5: Koppling matningsström



Figur A.6: Resistorer



Figur A.7: Värmekamera

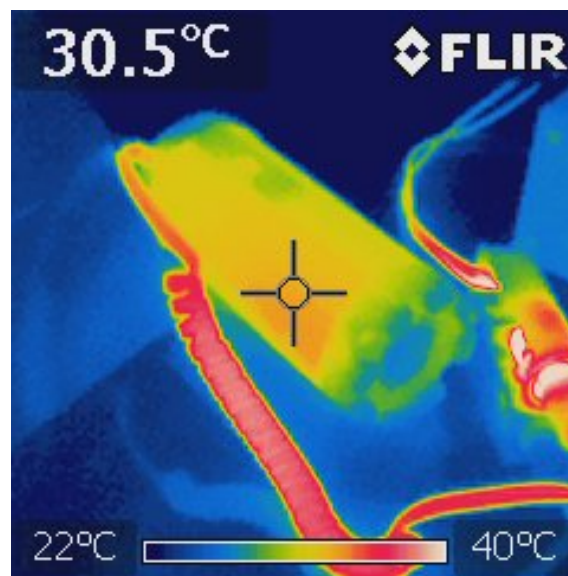


Figur A.8: Fluke strömmätare

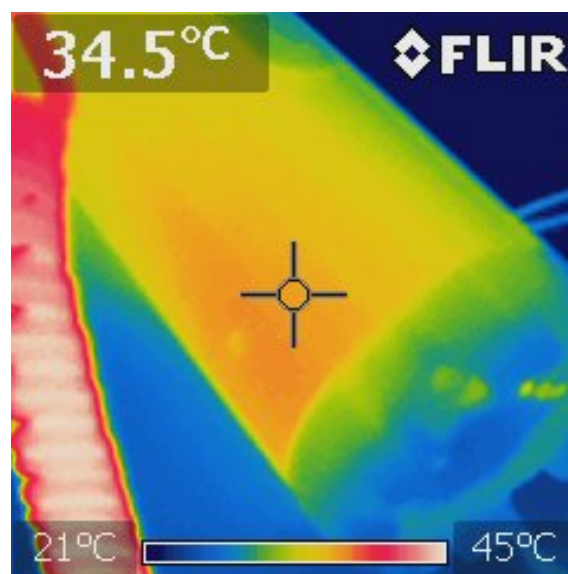


# B

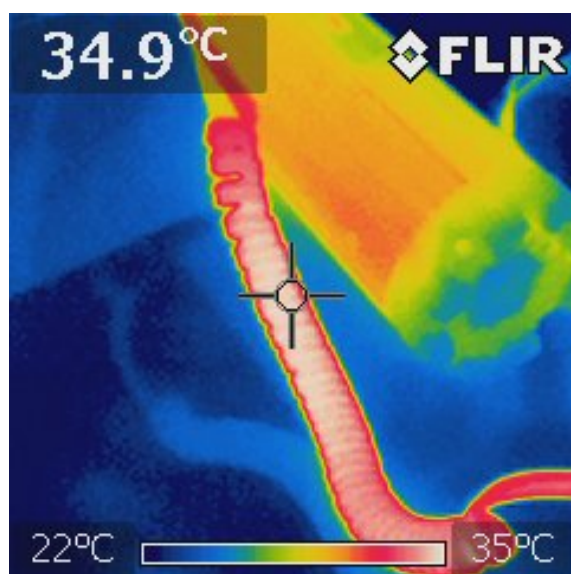
## Appendix 2, Bilder Värmekamera



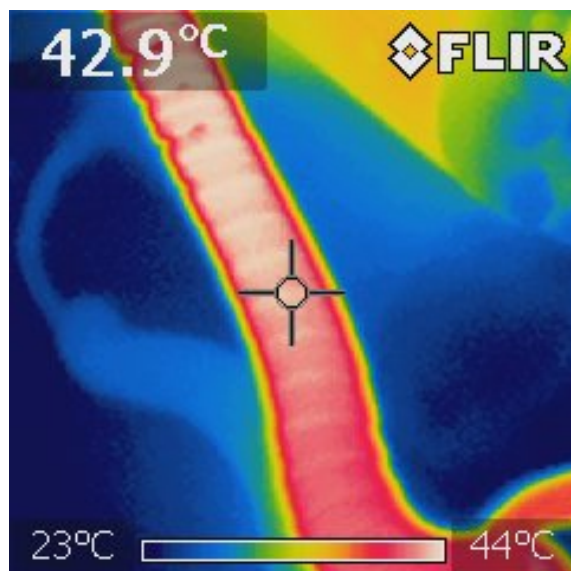
**Figur B.1:** Värmeutveckling chassi vid märkeffekt



**Figur B.2:** Värmeutveckling chassi vid överlast



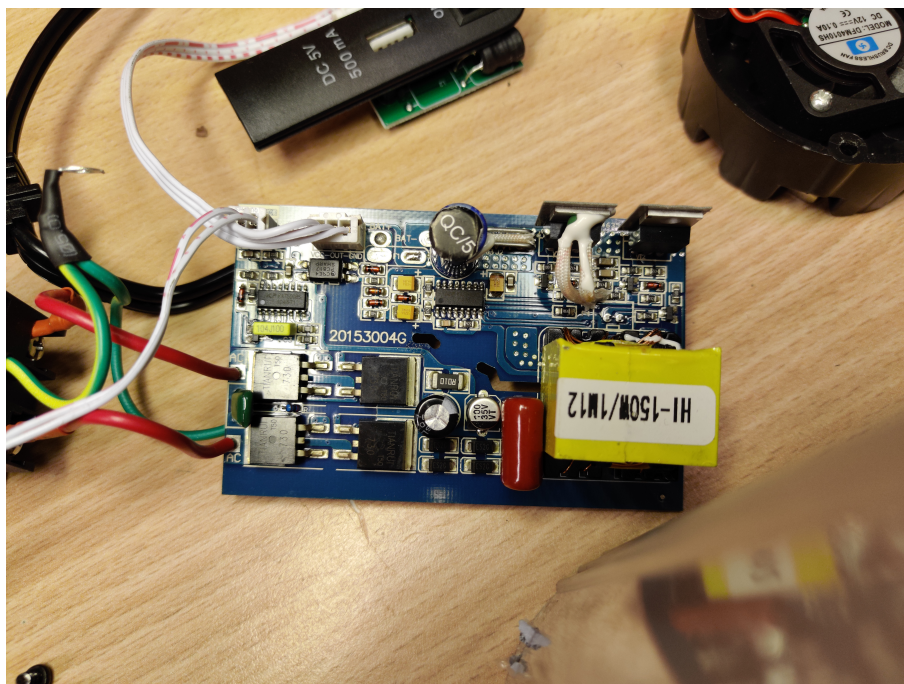
**Figur B.3:** Värmeutveckling sladd vid märkeffekt



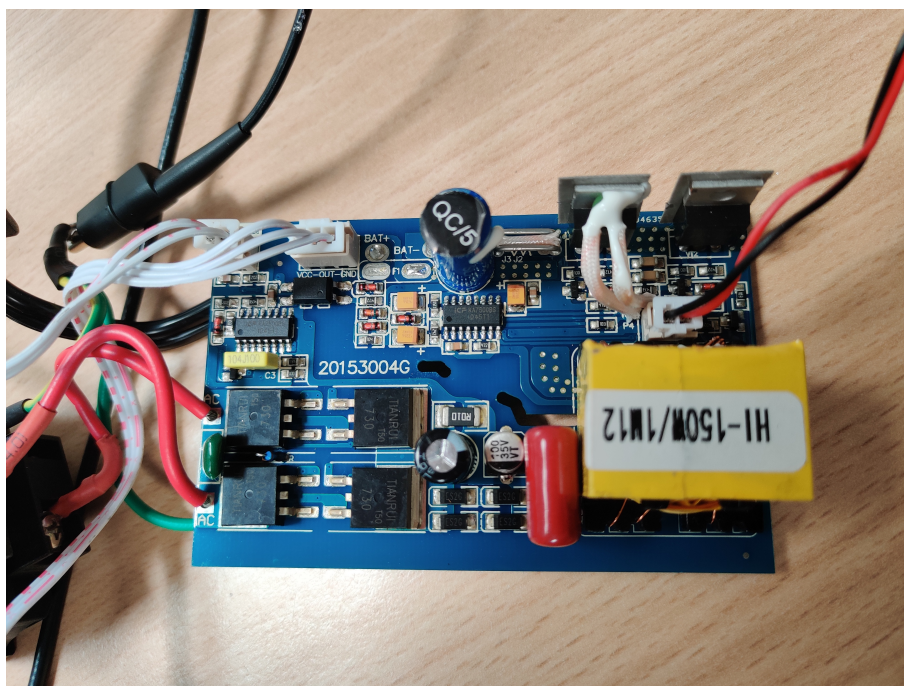
**Figur B.4:** Värmeutveckling sladd vid överlast

# C

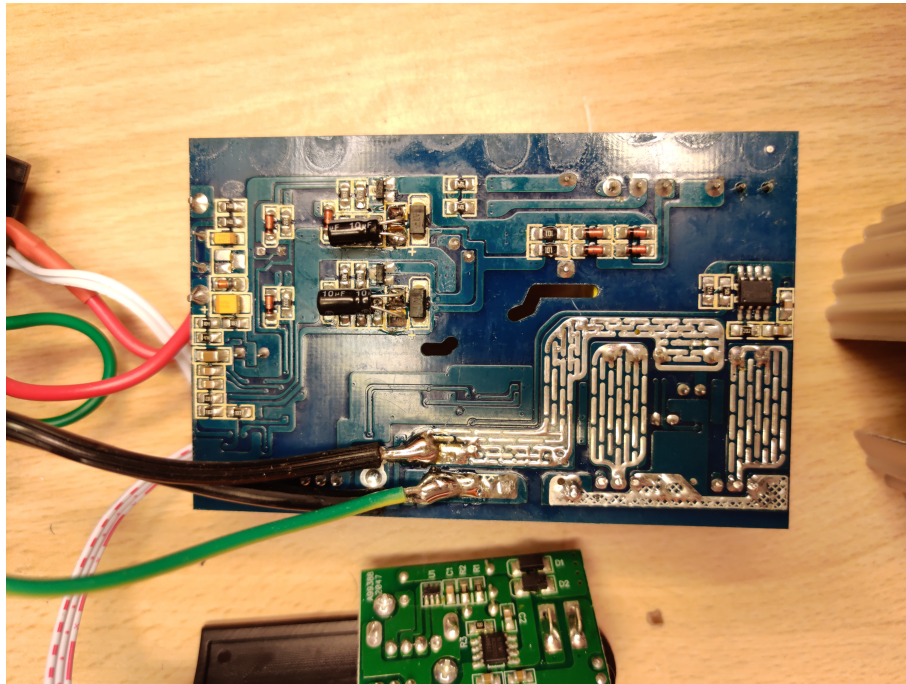
## Appendix 3, Bilder på kretskort



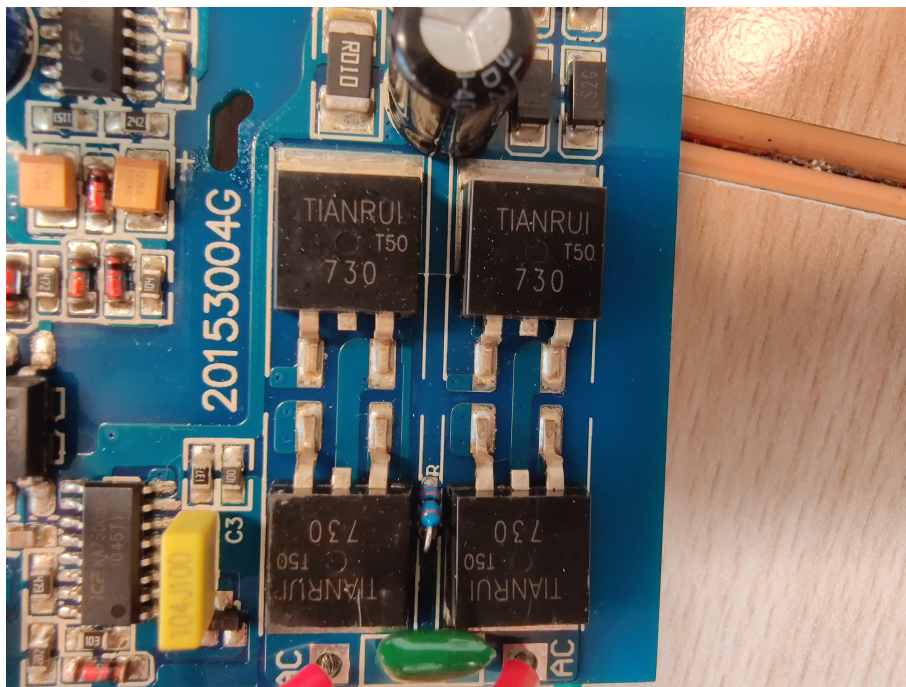
Figur C.1: Kretskort Ovansida



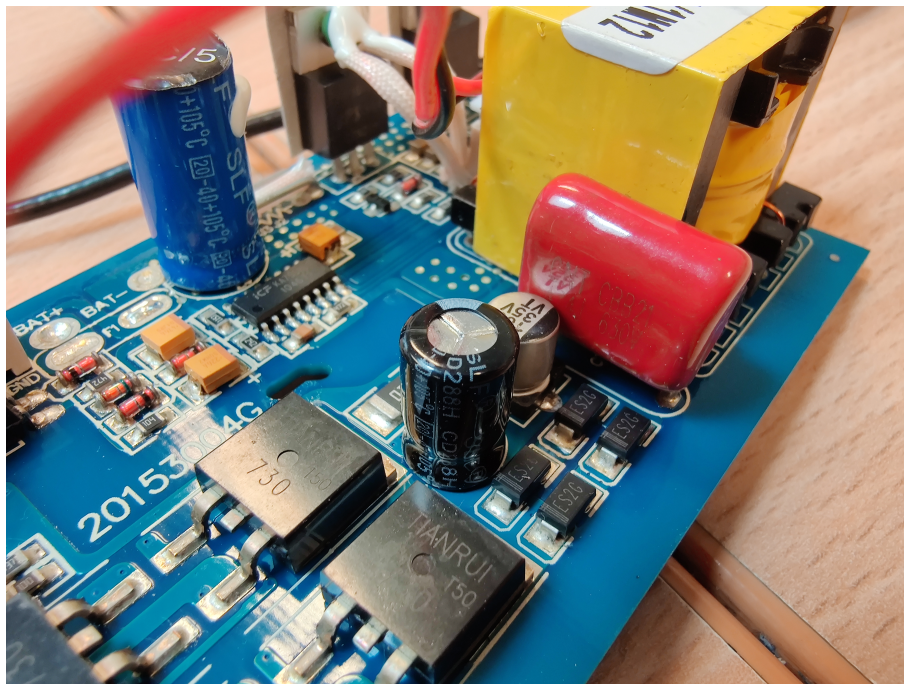
Figur C.2: Kretskort Ovansida 2



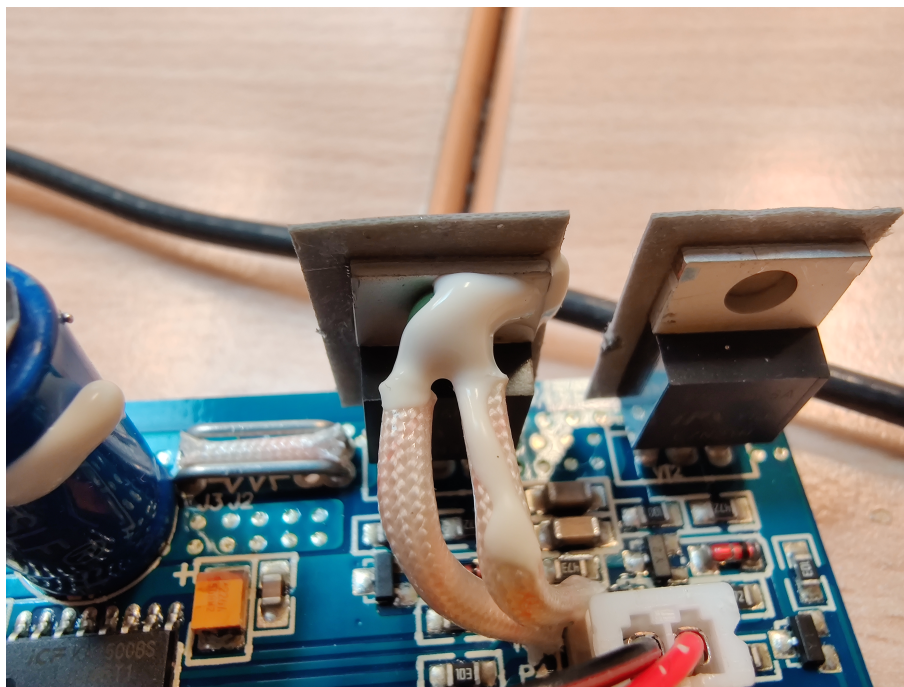
Figur C.3: Kretskort Undersida



Figur C.4: Kretskort Inverter



Figur C.5: Kretskort Likriktare



Figur C.6: Spänningsomvandlare MOSFET och temperaturprob

DEPARTMENT OF SOME SUBJECT OR TECHNOLOGY  
CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY  
Gothenburg, Sweden  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)



**CHALMERS**