

Examensarbete

Slutsteg för effektregulator

Casimir Skogberg

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Utbildningsprogram:	Elektroteknik
Identifikationsnummer:	3755
Författare:	Casimir Skogberg
Arbetets namn:	Slutsteg för effektregulator
Handledare (Arcada):	DI Kim Rancken
Experthandledare:	Ing. Harri Anukka
Uppdragsgivare:	Arcada
Sammandrag:	
<p>Syftet med detta examensarbete var att hitta en lämplig huvudkomponent som passar för en effektregulator. Effektregulatorn kopplas till elvärmerna i hus, såsom golvvärme och radiatorer. Effektregulatorns funktionsidé är att jämna ut strömtopparna mellan dag- och nattströmmen. I detta arbete kommer man att undersöka hur en IGBT-transistor lämpar sig för användning som huvudkomponent. Huvudkomponentens uppgift är att arbeta ihop med styrkretsens signaler som styr dess effekt. Man kommer att studera teorin bakom olika transistorer för att kunna framställa en fungerande lösning. Arbetet påbörjades med att bekanta sig med teorin för olika transistorer samt olika elvärmesystem. Olika kopplingsmetoder för växelströmskopplingar undersöktes också. Efter att man fått en tillräckligt god teoretisk kunskap för att utföra arbetet gjorde man en del mätningar. Under mätningarna matades transistorn med en styrsignal från en funktionsgenerator och man mätte transistorns värme-egenskaper och kylbehov. IGBT-transistorns höga temperatur var ett problem som måste lösas genom att utveckla ett tillräckligt effektivt kylelement. Även färdiga kylelement testades men de var otillräckliga. Efter att man hade ett fungerande kylelement gjorde man ett 20 minuters test där man körde en hel driftcykel på 20 minuter med maximal effekt för att försäkra sig om att kretsen fungerar stabilt. Alla mätningar utfördes i Arcadas automationslaboratorietrymmen och man använde mätutrustning såsom oscilloskop, multimetrar och en värmekamera.</p>	
Nyckelord:	Effektregulator, växelström, transistor, IGBT
Sidantal:	37
Språk:	Svenska
Datum för godkännande:	13.6.2012

DEGREE THESIS	
Arcada	
Degree Programme:	Electrical engineering
Identification number:	3755
Author:	Casimir Skogberg
Title:	Slutsteg för effektreulator
Supervisor (Arcada):	M.Sc. Kim Rancken
Expert advisor:	B.Sc. Harri Anukka
Commissioned by:	Arcada
<p>Abstract:</p> <p>The purpose of this thesis was to find a suitable main component for a power regulator. The power regulator will be connected to the electrical heating in households such as floor heating and radiators. The working principle of the power regulator is to smoothen the current peaks between day and night electricity. This thesis will focus on whether an IGBT-transistor will be suitable to use as the power regulators main component. The main components task is to function together with the control signals from the control circuit and to regulate its power. Theory about different kinds of transistors will be studied to be able to produce a working solution. The work began by studying the theory of different transistors and electrical heating systems. Different types of alternating current connections were also studied. Different kinds of measurements were done after a good enough understanding of the theory was established. A function generator produced the control signal to the transistor during the measurements. The measurements included temperature properties of the transistor and whether it was necessary to use a heat sink. The temperature of the IGBT-transistor was a problem that had to be solved by developing a heat sink that was efficient enough. Two commercial heat sinks were also ordered and tested but they were not efficient enough. After the temperature problem was solved a full 20-minute test of the circuit was made at full power. This was done to ensure that the circuit functioned properly and that it was stable. All measurements were done at Arcada's automation laboratory facilities and measuring equipment such as an oscilloscope, multimeters and a thermal camera were used.</p>	
Keywords:	Power regulator, alternating current, transistor, IGBT
Number of pages:	37
Language:	Swedish
Date of acceptance:	13.6.2012

OPINNÄYTE	
Arcada	
Koulutusohjelma:	Sähkötekniikka
Tunnistenumero:	3755
Tekijä:	Casimir Skogberg
Työn nimi:	Slutsteg för effekregulator
Työn ohjaaja (Arcada):	DI Kim Rancken
Asiantuntijaohjaaja:	Insinööri Harri Anukka
Toimeksiantaja:	Arcada
<p>Tiivistelmä:</p> <p>Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli löytää sopiva pääkomponentti jota voitaisiin käyttää tehonsäätimessä. Tehonsäädin kytketään kotitalouksien sähköiseen lämmitykseen kuten lattialämpöön tai lämpöpattereihin. Tehonsäätimen tehtävä on tasata virtahuippuja jotka esiintyvät päiväelektroniikan vaihtuessa yöelektroniikaksi. Tämän opinnäytetyön keskeisin tarkoitus on selvittää voidaanko IGBT-transistoria käyttää tehonsäätimen pääkomponenttina. Pääkomponentin tehtävä on toimia yhdessä ohjauspiirin kanssa sekä reguloida ohjauspiirin tehoa. Toimivan ratkaisun saavuttamiseksi eri transistorien toimintateoriaa tullaan selvittämään. Työ alkoi tutustumalla eri transistorien teoriaan ja käyttötoimintaan sekä erilaisien sähkölämmityksien toimintaan. Työn aikana selvitettiin myös erilaisia vaihtovirta-kytkentöjä. Hyvän teoreettisen tietämyksen saavuttamisen jälkeen suoritettiin eri mittauksia. Mittausten aikana ohjaussignaali syötettiin IGBT-transistorille käyttämällä funktiogeneraattoria. Mittauksien aikana selvitettiin IGBT-transistorin lämpöominaisuuksia sekä mahdollista tarvetta transistorin ulkoiseen jäähdytykseen. IGBT-transistorin korkea toimintalämpötila muodostui ongelmaksi joka ratkaistiin kehittämällä ulkoinen jäähdytyslementti. Mittausten aikana testattiin myös kahta valmista jäähdytyslementtiä joiden jäähdytysteho osoittautui riittämättömäksi. Kun lämpötilaongelma oli ratkaistu suoritettiin 20 minuutin pituinen käyttökoe täydellä teholla varmistaakseen että piiri toimi vakaasti. Kaikki mittaukset suoritettiin Arcada ammattikorkeakoulun automaatiolaboratorion mittaustiloissa. Mittauksissa käytettiin mittalaitteita kuten oskilloskooppia, yleismitareita sekä lämpökameraa.</p>	
Avainsanat:	Tehonsäädin, vaihtovirta, transistori, IGBT
Sivumäärä:	37
Kieli:	Ruotsi
Hyväksymispäivämäärä:	13.6.2012

FÖRORD

Jag önskar tacka alla som stött mig under denna process. Jag önskar rikta ett speciellt tack åt handledaren DI Kim Rancken och laboratorieingenjören Harri Anukka.

Helsingfors den 4.6.2012

Casimir Skogberg

Sammandrag

Abstract

Tiivistelmä

Förord

INNEHÅLL

Termer och beteckningar	8
Figurer	9
1 Inledning	10
1.1 Syfte och mål	11
2 Effektregulatorns funktionsprincip	12
2.1 Styrkretsen	12
2.2 Transistorn som huvudkomponent	13
2.2.1 Bipolär transistor	15
2.2.2 Fälteffekttransistorn	16
2.2.3 IGBT-transistorn	17
3 Växelströmskopplingar	19
3.1 Trefaskopplingar	20
4 Elvärmesystem	22
5 Val av huvudkomponent	25
6 Ny Styrkrets	26
7 Mätningar med huvudkomponenten	28
7.1 Använd mätutrustning	28
7.2 Testkoppling	29
7.3 Mätningar med IGBT-transistorn	30
7.3.1 Kylelement 1	32
7.3.2 Kylelement 2	32
7.3.3 Kylelement 3	33
7.3.4 20 minuters simulering med full belastning	34
7.4 Jämförelse och tolkning av mätresultat	35
8 Slutord	36

Källor	38
Figurkällor.....	40
Bilagor	41

TERMER OCH BETECKNINGAR

V_{AC}	Växelspänning
V_{DC}	Likspänning
IGBT	Insulated gate bipolar transistor (IGBT-transistor)
BJT	Bipolar junction transistor (Bipolär transistor)
MOSFET	Metal-oxide-semiconductor field-effect transistor (Fälteffekttransistor)
V_{CES}	Högsta spänningen mellan kollektor och emitter för en IGBT-transistor
V_{GE}	Spänningen mellan gate och emitter för en IGBT-transistor
I_C	Kontinuerlig ström över kollektorn för en IGBT-transistor

FIGURER

Figur 1. Styrkretsen.	13
Figur 2. Allmänt beteckningssätt för bipolära transistorer. /f1/	16
Figur 3. Allmänt beteckningssätt för MOSFET transistorer. /f2/	17
Figur 4. IGBT-transistorns tvärsnitt. /f3/	18
Figur 5. Symmetrisk trefassspänning med 120 graders fasförskjutning. /f4/	20
Figur 6. Stjärn- och triangelkoppling.	21
Figur 7. Devimat DTIF-100. /f5/.....	22
Figur 8. Funktionsprincipen för Jäspi Solar 300. /f6/	24
Figur 9. International Rectifier IRPG30B120KD-E.	25
Figur 10. Vågformer, uppifrån räknat: sinus-, fyrkant-, triangel- och sågtandsvåg. /f7/ 27	
Figur 11. Krettschema för chopperkopplingen.	30
Figur 12. Olika kylelement som användes, numrerade 1, 2 och 3.	31
Figur 13. Mätresultat för kylelement 1.	32
Figur 14. Mätresultat för kylelement 2.	33
Figur 15. Mätresultat för kylelement 3.	33
Figur 16. Mätresultat för 20 minuters simulering.	34
Figur 17. Värmekamerabild strax efter att simuleringen påbörjats.....	34
Figur 18. Utsignalen under 1 kW belastning.	35

1 INLEDNING

Detta examensarbete är beställt av Arcada. Arbetet går ut på att vidare utveckla en effekregulator som initierats i tidigare examensarbeten av Jan Jokinen, Niklas Rouhiainen, Harri Pulkkinen, Kim Saares och Anders Colliander. Arbetets målsättning är att undersöka hur en effekthalvledare kan fungera som effekregulator för värme-element i bostäder. Detta arbete kommer att fokusera på att hitta en huvudkomponent som skulle fungera ihop med tidigare utvecklade styrkretsar. Som effekregulatorn är i sitt nuvarande läge fungerar den endast med styr signaler och kan därför inte kopplas rakt till 230 V AC nätspänning för att mata den slutliga effektbelastningen och på grund av detta kan den inte heller skapa en fördröjning i effekter. Utmaningen för detta arbete kommer att vara att kunna framställa en fungerande effekregulator som förlänger tiden för den klockstyrda omedelbara strömpiken mellan dag- och natttariffen till 20-30 minuter.

I arbetet gjordes försök med styrkretsar som byggts av tidigare studerande i olika versioner, men ingen sådan funktion kunde uppnås som den egentliga styrningen borde följa. Därför användes en manuellt styrd pulskrets med vilken man kunde styra effekt-komponenten med tillräcklig noggrannhet för att motsvara situationen såsom den är tänkt att fungera i det verkliga elnätet.

1.1 Syfte och mål

Syftet med detta arbete var att kunna vidareutveckla den nuvarande styrkretsen och att få dess styr signaler att fungera ihop med en lämplig huvudkomponent. Effektregulatorn kommer att användas endast i samband med olika sorters elvärmeutrustningar, såsom till exempel golvvärme och elektriska värme-element. För den slutliga produkten ställs vissa krav på ström-, spännings- och effekttålighet, fysiska mått samt monterbarhet. Detta innebär att effektregulatorn skall direkt kunna kopplas till 230-400 V AC nätspänning inne i elcentralen och kopplas vidare därifrån till värmeapparaturens fasledare. Man måste få den nuvarande styrkretsens signaler att fungera ihop med en huvudkomponent för att kretsen direkt skall kunna kopplas till nätspänning. Själva kretsen bör ha sådana fysiska mått att den kan kopplas in i de flesta av de idag använda elcentralerna. Effektregulatorns uppgift är att skapa en gradvis ökande spänning vilken leder till att den omedelbara och kraftiga strömpiken som uppstår vid omkoppling mellan dag- och natttariffen försvinner genom att effekten i värmeutrustningen stiger från 0 till 100 % under en tidsperiod mellan 20 och 30 minuter.

För att man skall kunna vara säker på att reglerkomponenten skall hålla var avsikten att skapa en belastningskrets som skulle matas med aktuell effekt tillräckligt lång tid för att man skulle vara säker på att kretsen kan fungera pålitligt i de tilltänkta applikationerna. I arbetet kontrolleras temperatur och förluster under en så lång tid att man kan bedöma lösningens användbarhet i praktiken.

2 EFFEKTREGULATORNS FUNKTIONSPRINCIP

Effektregulatorns uppgift är att skapa en reglering av inspänningen vilket ger upphov till att en stigande värmeeffekts ökningshastighet minskar. I detta fall är insignalen en sinusformad nätspänning på 230-400 V växelspänning med en frekvens på 50 Hz.

/1/

Effektregulatorn skapar en fyrkantvåg som startar vid den sinusformade insignalens topp, därefter börjar fyrkantsvågen att jämnt breda ut sig lika mycket åt båda hållen tills signalbredden har nått halva sinusvågens signalbredd. Detta ger upphov till förskjutningen som får effekten i värmeelementen att öka långsammare. /1/

Elbolagen kan ha praktisk nytta av effektregulatorn för att minska de strömtoppar som uppkommer vid skiftet mellan dag- och natttariffen. Då natttariffen slås på är det oftast en stor mängd med värmeapparatur som kopplas på samtidigt. Detta ger upphov till en mycket stor strömpik vilken är problematisk för elbolagen eftersom det belastar deras stamnät så mycket. Elbolagen vill ha en så jämn elkonsumention som möjligt för att kunna ha en jämnare elproduktion. /1/

2.1 Styrkretsen

Effektregulatorn som tidigare framställts är en styrkrets och fungerar med styrsignaler (se figur 1). Kretsen skapar en fyrkantvåg som gradvis breder sig åt båda hållen från sinusvågens topp och skapar en förskjutning i signalen. På grund av känsliga komponenter i styrkretsen kan den inte kopplas direkt till nätspänning och man måste därför välja en huvudkomponent som skulle kunna fungera ihop med de nuvarande styrsignalerna.



Figur 1. Styrkretsen.

2.2 Transistorn som huvudkomponent

Uppfinningen av transistorn efter andra världskriget anses vara en av 1900-talets viktigaste uppfinningar. Transistorn uppfanns år 1947 av två amerikanska forskare, John Bardeen och Walter Brattain. William Shockley kom med i forskningsgruppen ett år senare och utvecklade den bipolära transistorn. För deras uppfinning erhöll de Nobels pris i fysik år 1956. /2/

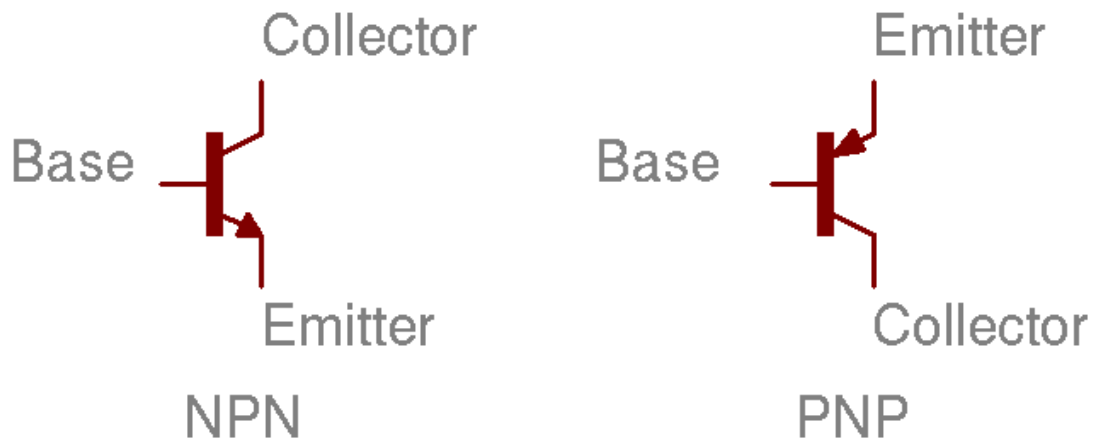
Transistorn är en aktiv komponent av så kallad halvledartyp. Sedan den uppfanns år 1947 har transistorn nästan helt ersatt elektronröret som användes inom signalmodifiering och förstärkning före transistorns tid. Transistorn kan ses som en elektrisk omkopplare. Med hjälp av transistorn kan man styra strömmängden i en krets, man kan också

stänga av och koppla på strömmar i en krets med hjälp av en transistor. Transistorn matas med en drivström, detta innebär i praktiken att man matar en tröskelspänning mellan transistorns bas och emitter. Då denna tröskelspänning överskrids börjar basen leda ström som i sin tur får ström att passera från kollektorn till emittent. Då kollektorn i en transistor matas med en spänning som är större än tröskelspänningen börjar transistorn leda. Denna spänning som krävs för att transistorn skall börja leda hittas i databladet för komponenten och bemärks ofta som V_{be} . Transistorer används inom alla fält där man använder informationsteknik. Transistorn har varit en förutsättning för att datorer och informationsteknik har kunnat utvecklas till dagens nivå. Dagens datorer är baserade på transistorer och kommer i även i framtiden att vara baserade på transistorer. Transistorer kan även användas som förstärkare, omkopplare samt som justerbara motstånd. Transistorer brukar delas in i två huvudtyper: bipolära transistorer och fälteffekttransistorer. /3/

För att kunna koppla den nuvarande styrkretsen till 230-400 V AC nätspänning måste man hitta en lämplig huvudkomponent. Från början var det ganska klart att denna huvudkomponent borde vara en IGBT-typs transistor. Det gäller att hitta en lämplig IGBT-transistor som skall kunna styras av mikrokontrollern i kretsen. Mikrokontrollern i styrkretsen är en 8-pin Picaxe-08M. IGBT-huvudkomponentens uppgift är att fungera ihop med de nuvarande styrsignalerna så att kretsen direkt kan kopplas till ett värme-element. IGBT-transistorn bör ha relativt specifika komponentvärden. Spänningsområdet bör ligga kring 1000 V och strömkapaciteten på ett minimum mellan 20 och 25 A.

2.2.1 Bipolär transistor

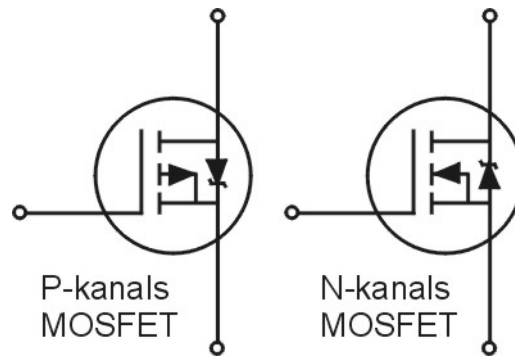
Den bipolära transistorens ström styrs av både hål och elektroner. Detta är orsaken till att den bipolära transistoren kallas bipolär. Den bipolära transistoren består av tre poler: kollektorn, emittorn och basen. I en bipolär transistor är den styrda strömmen alltid en likström. Det finns bipolära transistorer av två olika polariteter: NPN (Negative-Positive-Negative) och PNP (Positive-Negative-Positive) (se figur 2). I en PNP-transistor är strömmarnas och spänningarnas poler direkta motsatser till en NPN-transistor. I NPN-transistoren består skiktet av n-dopade halvledarmaterial och i PNP-transistoren består skiktet av p-dopade halvledarmaterial. I den bipolära transistoren består emittorn och kollektorn alltid av samma dopning och basen består av motsatt dopning. För att nå en hög förstärkningsnivå måste dopkoncentrationen i basen vara mycket lägre än dopkoncentrationen i emittorn. I den bipolära transistoren är strömriktningen mot hålen i regel en negativ spänning vilket betyder att en transistor av NPN-typ är snabbare än en transistor av PNP-typ. Bipolära transistorer kan ha olika driftlägen. Transistoren sägs vara i ett så kallat strykt läge då transistorens bas och emitter är sammankopplade via en resistor. Då transistoren är i det strypta läget leder transistoren ingen ström, bortsett från några mycket små läckströmmar som kan förekomma. Transistorens aktiva läge är det normala drifttillståndet. Då den bipolära transistoren är i det aktiva läget är bas och emitterövergången alltid framspänd och övergången mellan basen och kollektorn alltid backspänd. Dessa parametrar kan också svängas om till ett motsatt läge, då sägs transistoren vara i ett inverterat aktivt läge. Då övergångarna mellan basen och emittorn samt basen och kollektorn är båda framspända är transistoren i ett så kallat mättat läge. I det mättade läget är transistoren helt öppen och stora mängder elektrisk ström kan flöda igenom emittorn och kollektorn. /4/



Figur 2. Allmänt beteckningssätt för bipolära transistorer. /f1/

2.2.2 Fälteffekttransistorn

Fälteffekttransistorn eller FET-transistorn (Field Effect Transistor) är en annan typ av transistor. I en fälteffekttransistor styrs strömflödet mellan source och drain genom att mata en elektrisk spänning till gate-elektroden som är isolerad (se figur 3). Denna styrs spänning skapar ett elektriskt fält. Detta elektriska fält styr sedan bredden hos kanalen där den egentliga strömkretsens elektroner färdas. Det finns flera olika sorters fälteffekttransistorer varav MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) är den vanligaste. MOSFET-transistorn är också den mest använda transistorn idag. MOS-transistorns styre är isolerat genom ett lager kiseloxid. MOS-transistorns styre är oftast av poly-kisel men styret kan också tillverkas av en blandning av kisel och germanium. Styret har ingen läckström eftersom det är isolerat. MOS-transistorns ström består antingen av hål eller elektroner vilket innebär att MOS-transistorn är unipolar. MOS-transistorns kanal består av ett halvledarmaterial av antingen n-typ eller p-typ med motsvarande namn som NMOS och PMOS. I en PMOS-transistor styrs strömmen av hål och i en NMOS-transistor styrs strömmen av elektroner. /5/

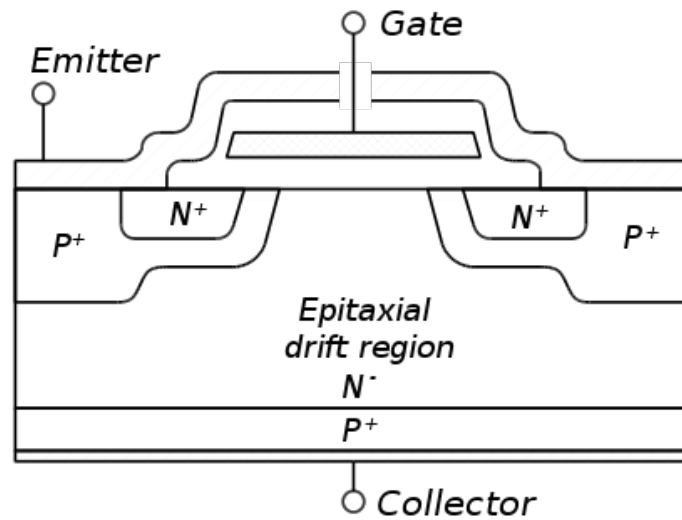


Figur 3. Allmänt beteckningssätt för MOSFET transistorer. /f2/

2.2.3 IGBT-transistorn

IGBT-transistorn (Insulated Gate Bipolar Transistor) är en transistor som används vanligen i kraftelektronik på ett användningsområde med höga strömmar och effekter. IGBT-transistorn är i praktiken en blandning av en fälteffekttransistor och en bipolär transistor. IGBT-transistorns gate är isolerad såsom på en MOSFET. Då man ser på IGBT-transistorns kollektor påminner IGBT-transistorn om en bipolär transistor men transistorns styre fungerar såsom på en MOSFET (se figur 4). IGBT-transistorn utvecklades för att användas som en strömbrytare eftersom dess egenskaper passar bra för detta ändamål. Transistorn tål stora spänningar då den är i så kallat öppet driftläge och stora strömmar då den är i slutet driftläge. IGBT-transistorn är långsam i det mättade och slutna driftläget. Då transistorn är i ett ledande driftläge är dess effektförluster och spänningsförluster små, vilket innebär att transistorn inte behöver ett stort kylelement. IGBT-transistorn är lätt att styra eftersom den styrs på samma sätt som en MOSFET och styreffekten är inte hög. IGBT-transistorn används mycket inom växelriktartekniken

samt inom frekvensomvandlartekniken. IGBT-transistorn lämpar sig inte för användning i D-klass förstärkare eftersom den är för långsam på dessa frekvensområden. /6/



Figur 4. IGBT-transistorns tvärsnitt. /f3/

3 VÄXELSTRÖMSKOPPLINGAR

All elektrisk värmeutrustning såsom golvvärme, radiatorer och varmvattenberedare som används i hushåll kopplas till nätet med olika växelströmskopplingar. I detta examensarbete används också en del olika växelströmskopplingar då man testar IGBT-transistorer och styrkretsen.

I Finland består stamnätet av en sinusformad växelström. Växelström betecknas med tecknet ”~” eller med bokstäverna AC (alternating current). I hushållen används det i Norden en sinusformad växelström med en spänning på 230 V och en frekvens på 50 Hz. Till motsats från likström där det finns en pluspol och en minuspol finns det två ledare i växelströmskretsar mellan vilka spänningen varierar mellan plus och minus ett visst antal gånger i sekunden beroende på frekvensen (50 svängningar på en sekund vid normal 50 Hz nätspänning). Dessa ledare kallas för fas eller fasledare, som betecknas L, samt en så kallad nolledare som betecknas N. Nolledaren är ”neutral” och kopplas till jord så att den verkar hållas konstant på ett mellanläge mittemellan plus och minus. I nätspänning är spänningens effektivvärde mellan fas- och nolledaren 230 V.

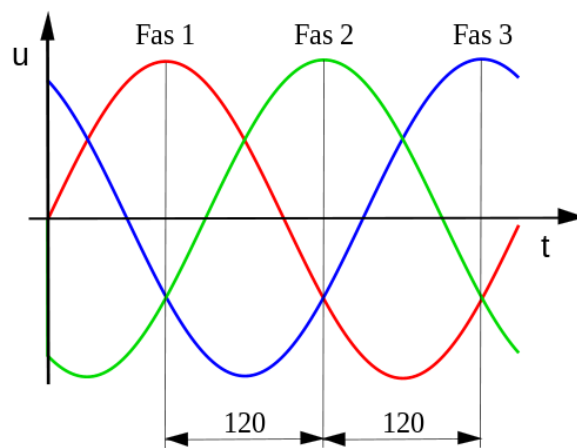
I den största delen av de växelströmskopplingar som görs i hushåll, såsom vägguttag, belysningar och värmeapparater används en L-N koppling där fasen kopplas mot nollan för att nå en driftspänning på 230 V. I dagens läge är de flesta kopplingarna också anslutna till skyddsjord. Vid elinstallationer i hushåll används det för det mesta så kallad MMJ-installationskabel. MMJ-installationskabeln har tre eller fem ledare beroende på om man gör en en- eller trefasinstallationer. Kabeln kan till exempel betecknas ”3*1,5” där 3 står för mängden ledare (fas, nolla och skyddsjord) och 1,5 står för ledarnas tjocklek i mm². Installationskabel med fem ledare påminner annars om den med tre ledare med det undantaget att kabeln har tre stycken fasledare. Ledarnas färg för installationskablar är standardiserade så att faserna går i ordning L1, L2 och L3 med respektive färger brun, svart och grå. Nolledaren är blå och skyddsjorden är gul-grönrandig.

3.1 Trefaskopplingar

De flesta växelströmsapparater som drivs med höga effekter såsom bastu-ugnar, spisar, stora maskiner och vissa värmeapparater kopplas med tre faser. Kraftöverföringar och elmotordrifter genomförs också ofta med en trefaskoppling.

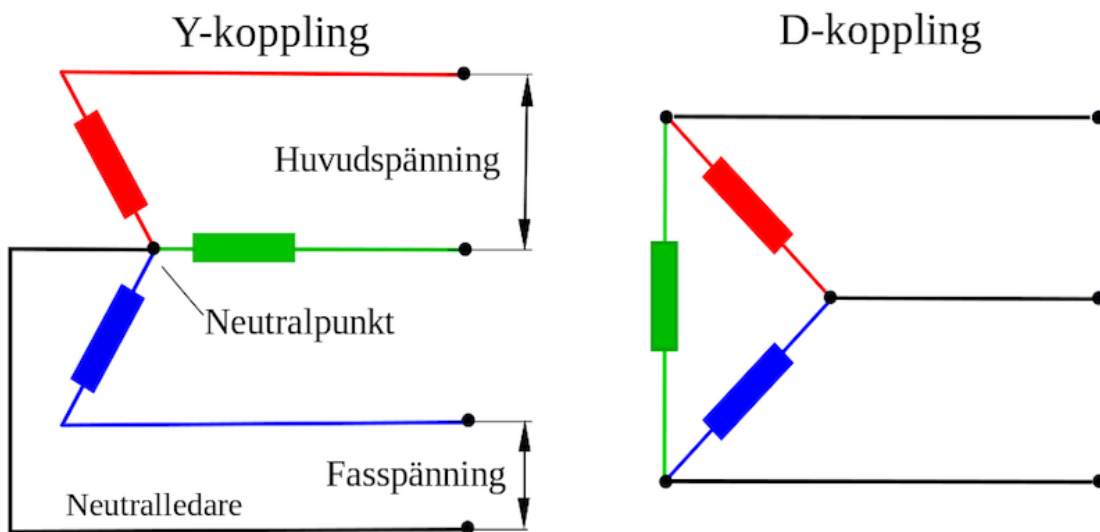
Trefasssystemet är en form av växelström och bildas av tre efter varandra kommande sinusformade växelspänningar med lika stor spänning och frekvens. Mellan spänningarna ligger en $1/3$ -periods, det vill säga 120 graders fasförskjutning. I trefasssystemet är spänningen mellan fas och nolla 230 V i Finland och kallas för fasspänning. Spänningen mellan faserna kallas för huvudspänning och är 400 V i Finland.

De tre olika faserna kallas för L1, L2 och L3 och betecknas med färgerna brun (L1), svart (L2) och grå (L3) vid kopplingar.



Figur 5. Symmetrisk trefasspänning med 120 graders fasförskjutning. /f4/

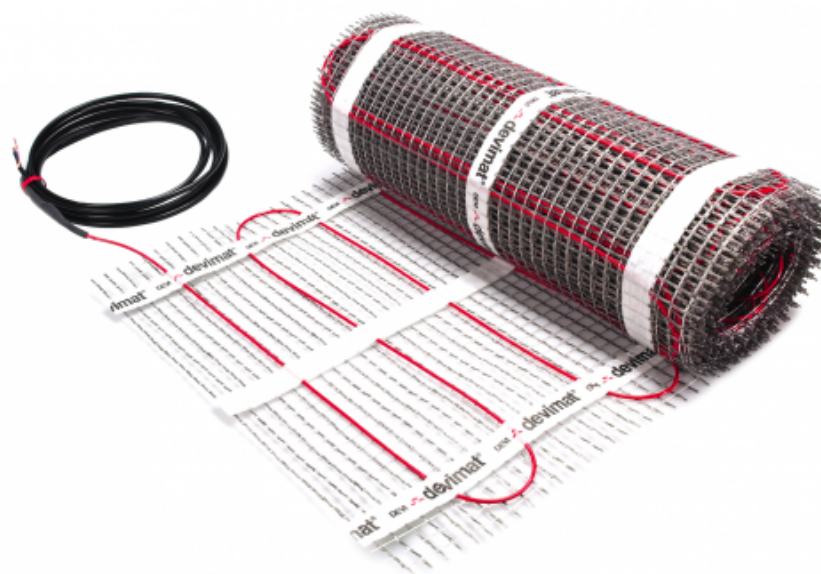
Trefaskopplingar kopplas typiskt i så kallad stjärnkoppling (Y-koppling) eller triangelkoppling (D-koppling)(se figur 6). I stjärnkoppling förenas trefasströmmens alla faser i mitten i en så kallad neutralpunkt. Från neutralpunkten kan strömmen flyta från en fas till en annan eller alternativt till nollan om en nolledare är kopplad till neutralpunkten. I triangelkopplingen är faserna förbundna sinsemellan i en triangelformad koppling. Eftersom faserna är förbundna är det frågan om en huvudspänning och då behövs det inte någon nolledare. /7/



Figur 6. Stjärn- och triangelkoppling.

4 ELVÄRMESYSTEM

De vanligaste elvärmesystem idag är golvvärmeslingor, radiatorer samt varmvattenberedare som värmer vattnet som sedan kan cirkuleras som bruksvatten. Till elektrisk golvvärme fördelar hör att den är energieffektiv, typiskt 100-150 W per kvadratmeter som utnyttjas över hela golvytan. Elektrisk golvvärme kan användas som rummets enda värmekälla eller användas tillsammans med radiatorer. En annan fördel för värmeslingorna är att de värmer hela golvet jämt. Elektriska golvvärmeslingor är enkla att installera eftersom slingorna levereras som färdigt ihoprullade mattor som man sedan bara rullar ut (se figur 7). De flesta tillverkare ger 10 års garanti på golvvärmeslingor men påstår att slingornas livstid är lika lång som på ett nybyggt hus. /8/



Figur 7. Devimat DTIF-100. /f5/

Värmekablarnas effekt i slingorna varierar typiskt kring 100-160 W per kvadratmeter. Värmeslingans totala effekt beror på kabelns längd och motståndets storlek. Som exempel kan nämnas att en matta som är 0,5 meter bred och 12 meter lång och har ett inre motstånd på 88,1 Ω har en total effekt på 600 W. Detta betyder att då mattan är monterad på golvet värmer den med en effekt på 100 W per kvadratmeter. Slingorna har för

det mesta två ledare vilka är kopplade till motståndet. Kopplingen är en så kallad L-N koppling där fasspänningen mellan fas- och nolledaren är 230 V AC. /9/

Golvvärmeslingorna kopplas till ett termostat varifrån man kan justera effekten för uppvärmningen för att på det sättet uppnå en önskad rumstemperatur. I dagens läge finns det intelligenta termostater som automatiskt håller rumstemperaturen konstant på en önskad nivå. Termostaten kan också justeras så att rumstemperaturen kan ökas och sänkas automatiskt under dag eller natt. För vissa golvmaterial såsom till exempel träparkett är det inte bra om temperaturen ökar och sjunker kraftigt med jämna intervall. Detta problem kan undvikas genom att man kan ställa in specifika minimi- och maximitemperaturer för att garantera golvmaterialens hållbarhet. /10/

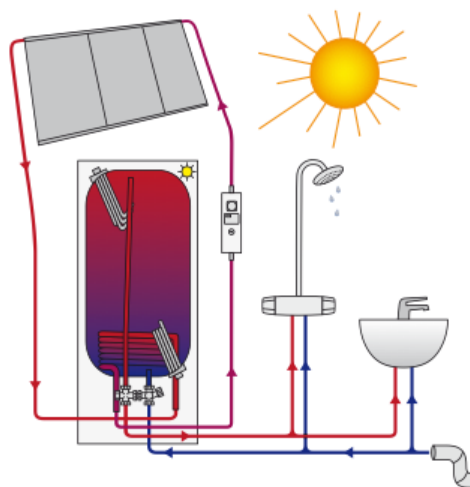
Frostskyddskablar är värmekablar som används utomhus för att förhindra frost i till exempel vattenrör och trottoarer. Frostskyddskablarnas effekt är större än golvvärmekablarnas och ett typiskt effektområde är kring 300 W per kvadratmeter. Kopplingen för frostskyddskablarna sker också med två ledare men istället för en L-N koppling används en L-L koppling där driftspänningen är en 400 V AC huvudspänning. /11/

Elektriska radiatorer används också mycket för uppvärmning av hushåll. Radiatorerna är väggmonterbara och det finns skilda modeller som är avsedda att monteras under fönster. I fuktiga utrymmen som badrum och tvättstugor används särskilda radiatorer med kapslingsklasser på IP24 eller IP44. I IP-kapslingsklass-systemet beskriver den första bokstaven apparatens beröringsskydd samt skydd för inträngande av främmande objekt i apparaten. Den andra siffran beskriver apparatens vattenskydd. Som exempel betyder IP24 att främmande föremål med en diameter som är större än 12,5 mm inte kan tränga in i apparaten och att apparaten är skyddad mot strilande vatten. /12/

Radiatorernas effektområde varierar i allmänhet mellan 200 och 1200 W. Radiatorerna har oftast ett inbyggd termostat där temperaturen kan justeras. Radiatorer som inte är fast monterade och används oregelbundet brukar ha en stickkontakt som kan kopplas till ett vägguttag medan radiatorer som monteras fast på väggen har en kopplingsdosa där radiatoren kopplas direkt till nätspänning. Kopplingen sker mellan fas och nolla som en L-N koppling med en fasspänning på 230 V AC. /13/

Varmvattenberedare används i hushåll för att värma upp bruksvatten såsom till exempel dusch- och tvättvatten. Varmvattenberedarna finns i olika modeller och volymer. De minsta varmvattenberedarna är väggmonterade modeller med en volym mellan 15 och 160 liter. Varmvattenberedare med en volym på 15-30 liter täcker närmast varmvattenbehovet på sommarstugor. Modeller med en volym på 60-100 liter täcker behovet för ett litet hushåll och modeller med en volym mellan 100 och 220 liter täcker behovet för ett normalt (3-5 personers) hushåll. Större varmvattenberedare med volymer på över 100 liter är oftast golvmonterade. 300 liters modeller är populära bland nattströmsanvändare och täcker varmvattenbehovet för ett normalt hushåll. Varmvattenberedaren värmer vattnet på natten varefter det reserverade varma vattnet kan användas på dagen. Vid stor förbrukning av varmt vatten kan man vid behov använda dagströmmen som tilläggsuppvärmning. Det finns också varmvattenberedare som använder solenergi som stöd för beredarens värmemotstånd (se figur 8).

Mindre väggmonterade varmvattenberedare kan oftast kopplas direkt i nätet med en stickkontakt. De allra minsta 15 och 30 liters modellerna kan kopplas in i köksskåpen på till exempel sommarstugan. Kopplingen är en normal L-N koppling där driftspänningen är 230 V AC och effekten kring 2 kW. Större golvmonterade varmvattenberedare kopplas vanligen i tre faser. I dessa fall kopplas också faserna mot nollan för att nå en fasspänning på 230 V AC och en driftspänning på 400 V AC huvudspänning. Effekten ligger kring 3 kW. /14/

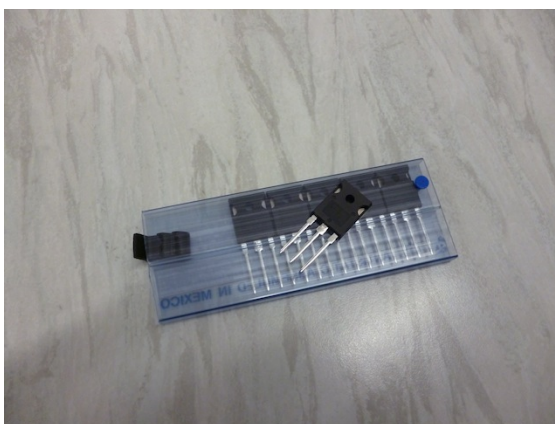


Figur 8. Funktionsprincipen för Jäspi Solar 300. /f6/

5 VAL AV HUVUDKOMPONENT

Som huvudkomponent för detta examensarbete valdes en N-kanals IGBT-transistor. Detta innebär att skiktet består av ett n-dopat halvledarmaterial. Transistorns dimensionering är viktig eftersom transistorn kommer att drivas med nätspänning på ett effektområde på cirka två kW. Detta innebär att spänningen mellan transistorns kollektor och emitter (V_{CES}) kommer att vara 230 V AC i normala driftlägen. Då transistorn belastas med cirka två kW kommer strömmen över kollektorn (I_C) att ligga på ett maximivärde på knappa 10 A. För att kunna ha transistorn stabilt i drift med dessa värden måste transistorns komponentvärden överskrida dessa driftvärden ordentligt. För detta arbete valdes en N-kanals IGBT-transistor av modell IRGP30B120KD-E. Komponenten är tillverkad av International Rectifier (IR), en amerikansk komponenttillverkare som är baserad i EL Segundo i Kalifornien. Företaget är specialiserat på att tillverka krafthalvledare av olika typer såsom MOSFET- och IGBT-transistorer samt integrerade kretsar.

IRPG30B120KD-E transistorn (se figur 9) har ett V_{CES} värde på 1200 V. V_{GE} värdet är 15 V och komponenten har ett I_C värde på 60 A vid 25 °C och 30 A vid 100 °C (se bilaga för en mera detaljerad komponentbeskrivning). Transistorn har tre stycken ben vilka från vänster sett är gate, kollektor och emitter. Kollektorn är ihopkopplad med transistorns ”rygg”, det vill säga basplattan som utgör baksidan av transistorn. Komponentvärdena för den valda komponenten täcker bra komponentkraven för detta arbete. Man valde just denna komponent på grund av dess höga strömtålighet.



Figur 9. International Rectifier IRGP30B120KD-E.

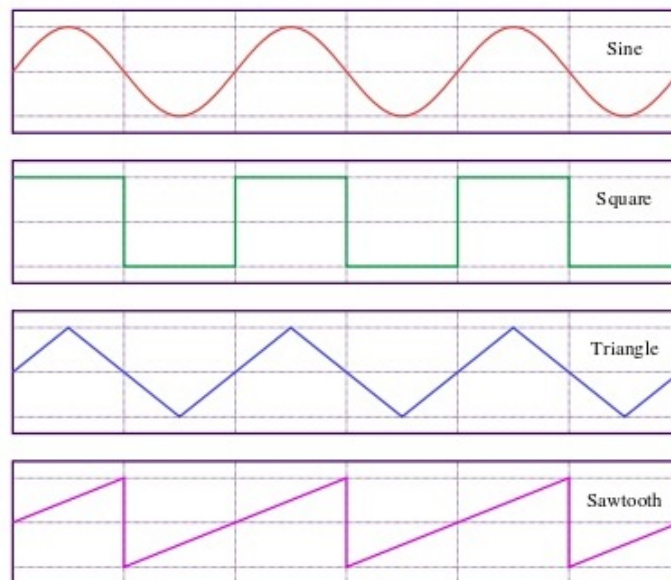
6 NY STYRKRETS

Från början var det meningen att man skulle använda den senaste versionen av styrkretsen som presenterades i början av detta arbete (se kapitel 2.1). Efter att man valt huvudkomponent och beställt ett antal av dem var det dags att testa styrkretsen men på grund av någon okänd orsak fick man inte styrkretsen längre att fungera. Styrkretsen matades med nätspänning och styrkretsen skulle skapa en gradvis bredande fyrkantvåg men ingen utsignal kunde mätas. Till en början misstänkte man att ZCD-kretsen hade brunnit men man fick inte kretsen att fungera genom att byta den integrerade kretsen. Efter att ett antal lösningar till problemet hade prövats utan resultat bestämde man sig för att byta till en äldre version av styrkretsen.

En äldre version av styrkretsen fanns tillgänglig och efter några korta test kontaterades det att den fortfarande fungerade. Styrkretsen är i stort sett lik den nyaste versionen men med vissa undantag. Båda styrkretsarna skapar en fyrkantvåg men i den äldre versionen måste vågbredden justeras manuellt med en potentiometer. I den nyare styrkretsen finns det en programmerbar PIC-logikkrets som får fyrkantvågen att automatiskt breda sig jämt åt båda hållen under en tidsperiod på 20 minuter. Den äldre styrkretsen hade problem med potentiometern, det var nästan omöjligt att noggrant kunna justera vågbredden med den logaritmiska potentiometern så man beslöt sig för att byta ut den till en $1\text{ M}\ \Omega$ linjär potentiometer. I en logaritmisk potentiometer ökar resistansen logaritmiskt vilket gör det svårt att finjustera signalen medan resistansen ökar linjärt i den linjära potentiometern. Efter att man gjort noggrannare tester med den modifierade styrkretsen konstaterade man att den ännu heller inte riktigt lämpade sig för att användas ihop med IGBT-transistorerna. Styrkretsen fungerade bara under varannan positiv halv våg och måste ha en nolla som 0 V. Kretsen reglerade inte heller under hela området mellan 0 och 100 %.

Eftersom detta arbetes huvudpunkt inte är att framställa en så bra styrkrets som möjligt utan att undersöka i hur man får en huvudkomponent och styra styrsignalens effekt och om IGBT-transistorerna lämpar sig för detta beslöts det att man i stället för en styrkrets använder en funktionsgenerator för att skicka styrsignalen till huvudkomponenten.

Det bästa alternativet för att utföra mätningarna är att skicka styrsignalen till IGBT-transistorn genom att använda en symmetrisk funktionsgenerator. Funktionsgeneratorn (eller signalgeneratorn) är en elektrisk apparat som skapar elektriska signaler. Med de flesta funktionsgeneratorer kan man justera den skapade signalens amplitud och frekvens. Funktionsgeneratorn kan skapa sinus-, fyrkant- eller triangelvågor (se figur 10). Ofta kan funktionsgeneratorns signaler också synkroniseras eller moduleras. Funktionsgeneratorn som används i detta arbete är en symmetrisk funktionsgeneratorkrets. Kretsen har en flytande nollpunkt och reglerar under så gott som hela området mellan 0 och 100 % och har emitterspänningen som ground. Frekvensen justeras med potentiometrar.



Figur 10. Vågformer, uppifrån räknat: sinus-, fyrkant-, triangel- och sågtandsvåg. /f7/

7 MÄTNINGAR MED HUVUDKOMPONENTEN

För att ta reda på om IGBT-transistorn kan användas som huvudkomponent för effektregulatorn och styra dess effekt måste en del mätningar göras. Till dessa mätningar hör bland annat temperaturmätningar för att mäta transistorns temperatur då den är i drift med olika belastningar. Transistorn skall kopplas igenom ett belastningsmotstånd och styrsignalen matas med funktionsgeneratorn. Ur utsignalen borde man sedan kunna se om transistorn reglerar och ”hackar” styripulsen för att styra den inkommande effekten.

7.1 Använd mätutrustning

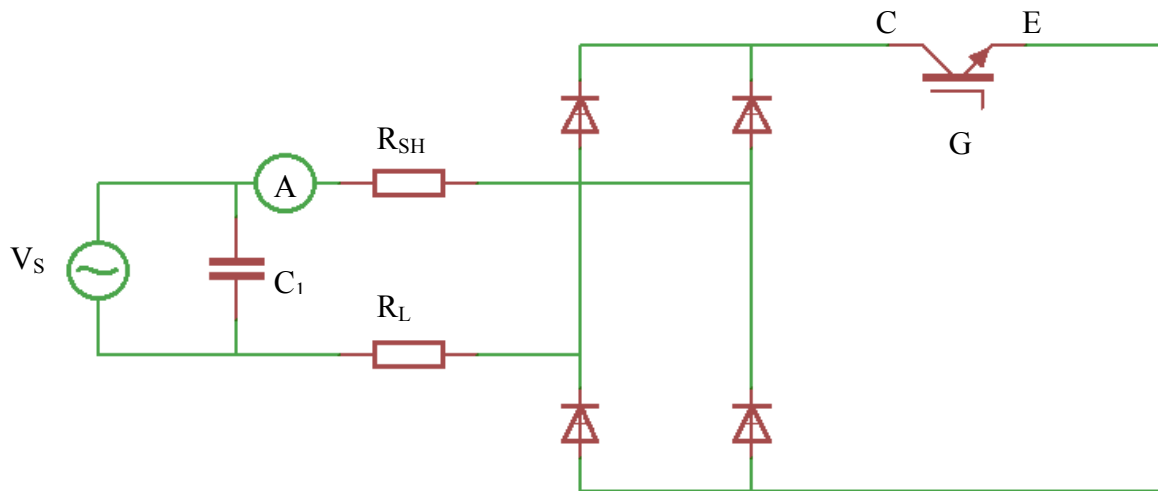
För att kunna utföra mätningarna måste en del mätapparater användas. Styrsignalen skickas med en funktionsgenerator (se kapitel 6). Belastningen matas med ett belastningsmotstånd. Belastningsmotståndet som används är ett äldre belastningsmotstånd med åtta stycken parallellkopplade motstånd från 0,75 A till 10 A (70-2000 W). Motstånden kan kombineras med varandra för att få olika belastningar. För att mäta utsignalerna används ett analogt oscilloskop av typ Tektronix 2252. Oscilloskopet är ett mätinstrument som används inom elektroniken och eltekniken. Oscilloskopet ritar ut grafen av en mätbar signal och framställer den visuellt på en skärm. För det mesta används oscilloskopet för att mäta en spänning som en funktion över tiden. Med lämpliga givare kan den mätbara enheten också vara till exempel elektrisk ström, ljud, kraft eller acceleration. Strömmen i kretsen mäts med en analog amperemeter och spänningen med en digital multimeter av typ ABB Metrahit16 TRMS. Multimetern är ett mätinstrument som används inom eltekniken för att mäta strömmar, spänningar och resistanser. De flesta mätarna har specialfunktioner över de vanliga mätenheterna. För att mäta IGBT-transistorns temperatur används en värmekamera av typ FLIR i50. Värmekameran är ett mätinstrument som skapar en bild av ett föremåls yttemperatur genom den infrarödstrålning som värmekameran skickar. Föremålets yttemperatur uttrycks i grader Celsius.

Funktionsprincipen är samma som för en traditionell kamera med den skillnaden att en traditionell kamera skapar bilden på basen av synligt ljus medan värmekameran skapar bilden genom infrarödstrålning.

7.2 Testkoppling

För att mäta IGBT-transistorns egenskaper kommer transistorn att kopplas till en sluten krets igenom belastningsmotståndet. Styrsignalen matas med en symmetrisk funktionsgenerator. Kopplingen är en enfas AC ”chopper”-koppling med IGBT-transistorn som huvudkomponent. AC-chopperkopplingar har använts allmänt för att styra effekter från fasta växelströmskällor. Vanliga applikationer för kopplingen är industriell uppvärmning, ljusreglering samt att styra hastigheter för växelströmsmotorer. Till chopperkopplingens fördelar hör enkel uppbyggnad, förmågan att styra stora effekter och hög effektivitet.

I figur 11 ser man hur växelströmsnätet matar belastningen via ett shuntmotstånd med vilken strömkurvformen mäts. En diodbrygga likriktar strömmen och IGBT-transistorn efter diodbryggan reglerar strömmen i kretsen. På detta sätt räcker en switchkomponent, eftersom den arbetar med enbart positiva växelspanningshalvvågor.



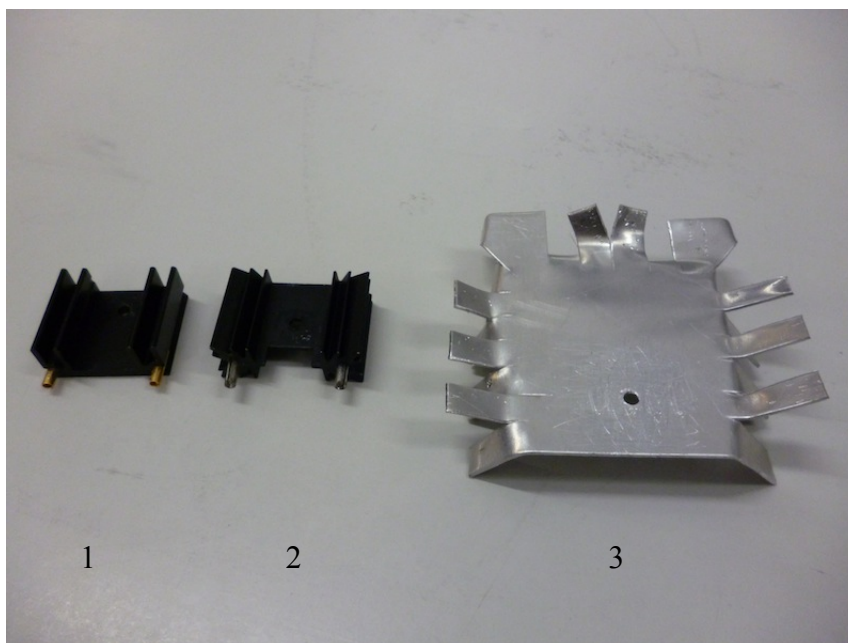
Figur 11. Krettschema för chopperkopplingen.

V_S i schemat står för växelströmskällan där matningen är vanlig nätspänning på 230 V AC med en frekvens på 50 Hz. Kondensatorn C_1 fungerar endast som ett filter och är inte med i den verkliga kopplingen. Motståndet R_{SH} är ett shuntmotstånd och motståndet R_L belastningsmotståndet där kretsen kan belastas med olika stora belastningar. A står för den analoga amperemätaren och IGBT-transistorn av typ IRGP30B120KD-E ligger efter diodbryggan med respektive ben gate, kollektor och emitter.

7.3 Mätningar med IGBT-transistorn

Meningen med dessa mätningar är att ta reda på hur huvudkomponentens temperatur ändras då den är i drift med olika belastningar samt att undersöka hur huvudkomponenten styr effekten under olika driftförhållanden. Kylbehovet för huvudkomponenten kommer också fram under mätningen då IGBT-transistorn blir varmare med större belastningar.

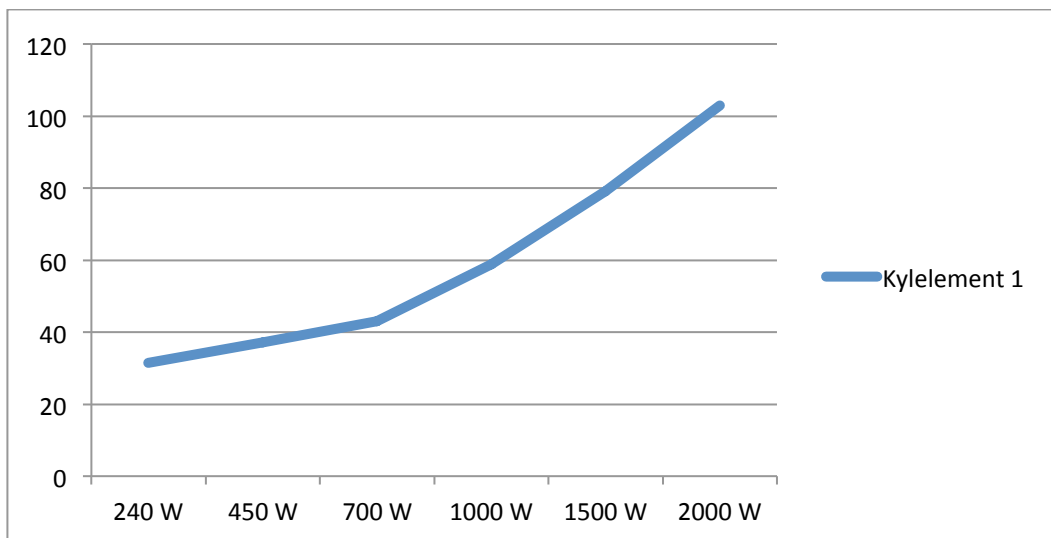
Till en början matades IGBT-transistorn med små belastningar utan något kylelement för att ta reda på när temperaturen stiger så högt att ett kylelement blir nödvändigt. Transistorn matades kortvarigt upp till 2,5 A utan kylelement men efter att belastningen ökade till mera än 2,5 A började transistorns temperatur öka kraftigt och användningen av kylelement blev nödvändig. Man beställde två stycken färdiga kylelement som är planerade för IGBT-transistorer och ett kylelement med betydligt större area konstruerades själv av plåt (se figur 12). Eftersom IGBT-transistorns kollektor är ihopkopplad med transistorryggen måste den isoleras elektriskt för att spänningen inte skulle komma i kylelementet. Detta problem löstes genom att beställa färdiga isoleringsplattor som är specialkonstruerade för IGBT-transistorer. Under mätningarna matades transistorn och belastningen med en helvågsl riktkad fyrkantvåg med en frekvens på 100 Hz.



Figur 12. Olika kylelement som användes, numrerade 1, 2 och 3.

7.3.1 Kylelement 1

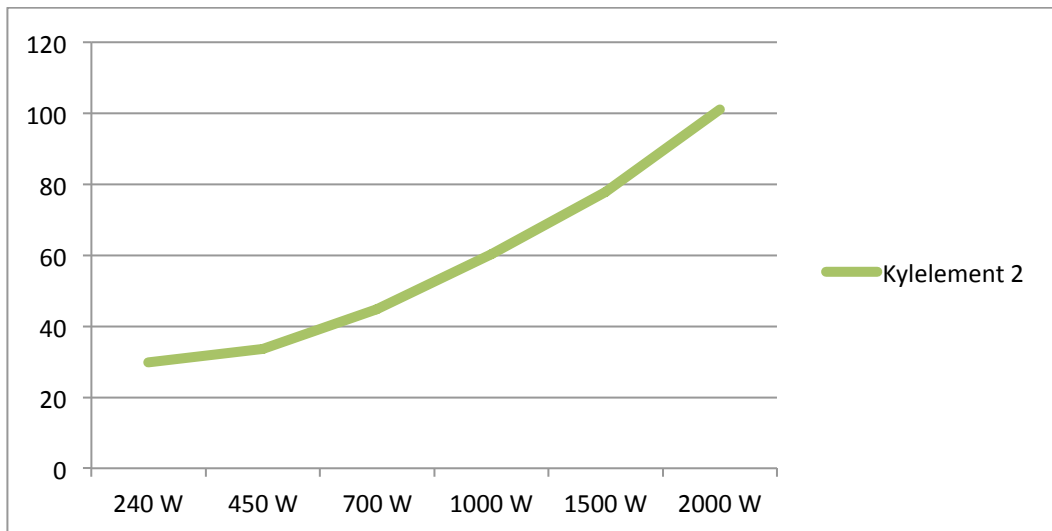
Under den första mätningen använde man kylelement 1 (se figur 12). Inspänningen V_S var 230 V AC. Kretsen hölls i drift i 180 sekunder för alla mätningar med varierande belastning. Efter varje mätning lät man transistorn svalna till ursprungstemperatur. X-axeln i koordinatsystemet beskriver belastningen i W och y-axeln beskriver temperaturen i grader Celsius.



Figur 13. Mätresultat för kylelement 1.

7.3.2 Kylelement 2

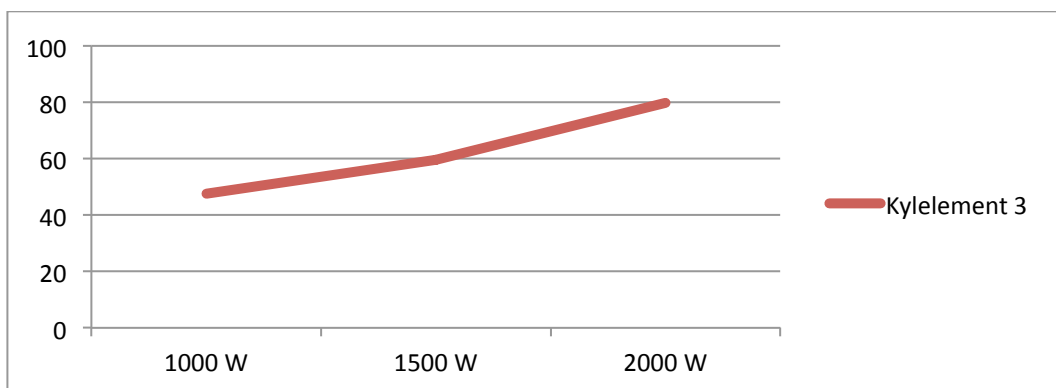
Under den andra mätningen använde man kylelement 2 (se figur 12). Mätningen utfördes exakt på samma sätt som med kylelement 1. X-axeln i koordinatsystemet beskriver belastningen i W och y-axeln beskriver temperaturen i grader Celsius.



Figur 14. Mätresultat för kylelement 2.

7.3.3 Kylelement 3

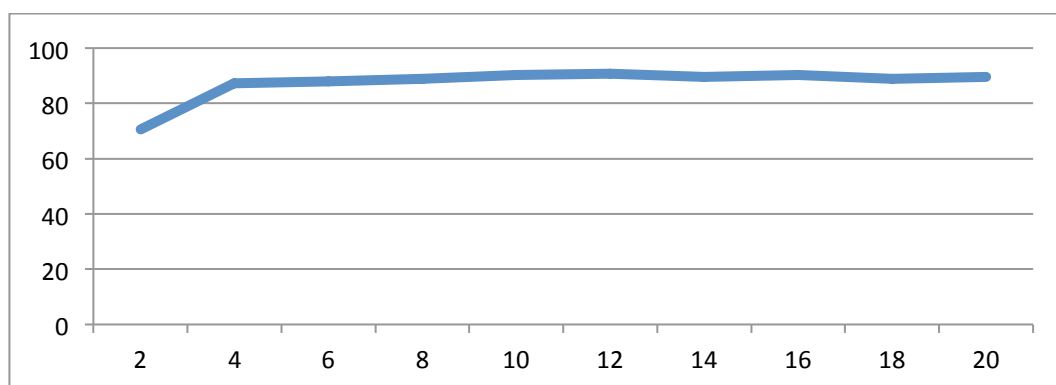
Den tredje mätningen utfördes med det självkonstruerade kylelementet. Eftersom kylelementets area är betydligt större förväntar man sig effektivare kylning och börjar därför mätningen direkt från 1000 W. Annars utförs denna mätning exakt på samma sätt som de tidigare mätningarna. X-axeln beskriver belastningen i W och y-axeln temperaturen i grader Celsius.



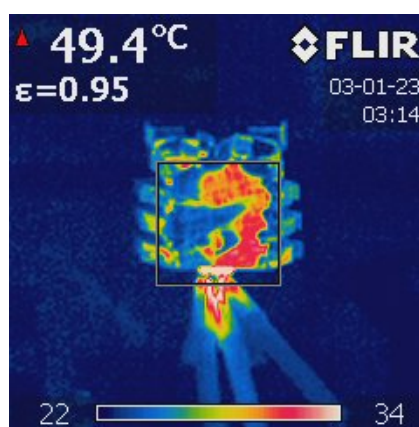
Figur 15. Mätresultat för kylelement 3.

7.3.4 20 minuters simulering med full belastning

Den sista mätningen är en så kallad 20 minuters driftsimulering där kretsen är 20 minuter i drift med full belastning på 2000 W. En enfas AC effektregulator kommer i verkligheten att vara i drift på ett effektområde på högst 2000 W. Tiden som effektregulatorn kommer att vara i drift i verkligheten är cirka 20 minuter. För att försäkra sig om att testkretsen och huvudkomponenten fungerar tillsammans en hel driftcykel kommer man att utföra en mätning på 20 minuter med maximal effekt. Eftersom det självkonstruerade kylelementet var effektivast är det ett naturligt val för den sista mätningen. Inmatningen sker igen med 230 V AC. Belastningen hålls konstant på 2000 W under hela mätningen och temperaturen mäts med 2 minuters intervall. X-axeln beskriver tiden med 2 minuters intervall från 0 till 20 minuter. Y-axeln beskriver temperaturen i grader Celsius.



Figur 16. Mätresultat för 20 minuters simulering.

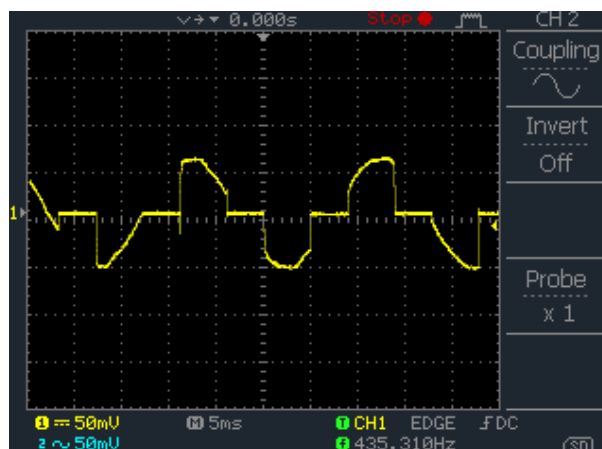


Figur 17. Värmekamerabild strax efter att simuleringen påbörjats.

7.4 Jämförelse och tolkning av mätresultat

Från mätresultaten kan tolkas att ett kylelement är ett absolut måste på de effektnivåer som effektregulatorn kommer att arbeta på. De två färdiga kylelementen var inte tillräckligt effektiva då temperaturen steg med båda till cirka 100 °C vid 2 kW belastning under 180 sekunder. Även om IGBT-transistorn kan vara i drift ännu i över 125 °C skulle det vara en säkerhetsrisk att installera en så het komponent i en elcentral. Det kan också konstateras att båda de färdiga kylelementen presterade nästan identiskt med obetydliga skillnader. Det tredje självkonstruerade kylelementet presterade mycket bättre då temperaturen efter 180 sekunder i drift på 2 kW steg endast till 80 °C. Denna temperatur kunde vidare sänkas genom att försöka optimera kylelementet och kombinera kylelementet som ett hölje för en styrkrets. Detta var dock inte nu möjligt eftersom en funktionsgenerator fungerade som styrkrets. Man kunde förvänta sig att det självkonstruerade kylelementet skulle prestera bäst eftersom den hade betydligt större area än de färdiga kylelementen.

Under 20 minuters simuleringen steg temperaturen endast under de fyra första minuterna och hölls därefter konstant på cirka 90 grader under de sista 16 minuterna. Huvudkomponenten presterade jämt och stabilt under hela mätningen. Även om temperaturen fortfarande var en aning för hög är detta mätresultat troligen det mest betydelsefulla eftersom det bevisar att IGBT-transistorn kan fungera som huvudkomponent och styra effekten för en effektregulator.



Figur 18. Utsignalen under 1 kW belastning.

8 SLUTORD

Detta examensarbete har varit ett mycket givande och lärorikt projekt att arbeta med. För att komma i gång med projektet började man med att läsa igenom tidigare examensarbeten som hade behandlat samma ämne och problem. Eftersom skribenten i början av projektet endast hade en relativt ytligt kunskap om transistorer inleddes projektet med att noggrannare studera transistorer. Det första skedet av arbetet gick ut på att undersöka och läsa om teorin för olika typers transistorer samt deras bruksändamål. Efter att en bra kunskap om transistorer erhållits började man undersöka olika elvärmelösningar samt hur de kopplas. Detta innebar att man måste bekanta sig även med olika växelströmskopplingar samt teorin bakom växelströmskopplingar.

Det andra skedet av arbetet gick ut på att köra olika tester med styrkretsen och huvudkomponenten. Under detta skede av arbetet möttes de största problemen då den nyaste versionen av styrkretsen inte längre fungerade. En äldre version av styrkretsen fanns tillgänglig men den lämpade sig inte riktigt för ändamålet eftersom den inte reglerade under hela området mellan 0 och 100 %. Dessutom fungerade kretsen bara under varannan positiv halv våg och krävde att nollan var 0 V. Att det inte fanns en fungerande styrkrets var inte ett så stort problem eftersom huvudpunkten i detta arbete inte var att optimera en så bra styrkrets som möjligt, utan att undersöka om en IGBT-transistor kunde användas som huvudkomponent för en effektregulator. På grund av detta valdes det att använda en symmetrisk funktionsgenerator som styrkrets. I början av arbetet presenterades det som ett mål med arbetet att kunna fysiskt framställa en fungerande effektregulator som styr effekten. Detta var dock inte nu möjligt med funktionsgeneratorm som styrkrets, men med den använda testkopplingen lyckades man bevisa att det är möjligt att få en IGBT-transistor att arbeta ihop med styrkretsens signaler och styra dess effekt.

Under det sista skedet av arbetet gjordes alla mätningar som behövdes för att undersöka om huvudkomponenten kan användas. Under mätningarna användes olika mätinstrument och utrustning såsom oscilloskop, en funktionsgenerator, en analog amperemeter,

ett belastningsmotstånd, en digital multimeter och en värmekamera. Alla mätningarna utfördes i Arcadas automationslaboratorieutrymmen.

Detta arbete ger en bra grund för vidare utveckling. I fortsättningen kan man kombinera IGBT-transistorn med en fungerande styrkrets. IGBT-transistorns temperatur var ännu i detta skede en aning för hög men då transistorn kombineras med en styrkrets kan man använda ett större kylelement som ram för kretsen och vika kylelementets kant ner under transistorn. På detta sätt skulle man få ett kylelement med en mycket större area och som samtidigt skulle fungera som ram för kretsen. Kretsen borde också förses med en omkoppling som automatiskt skulle hoppa över effektregulatorn efter 20 minuter. Detta problem kan initiera ytterligare examensarbeten.

KÄLLOR

/1/ Effektregulator för magasinering elvärme. Colliander Anders. Examensarbete Arcada 2011

/2/ The Transistor in a Century of Electronics. Haviland David. Hämtad 21.3.2012
<http://www.nobelprize.org/educational/physics/transistor/history/>

/3/ Transistorit. Väyrynen Mika. Hämtad 9.4.2012
<http://www.hutasu.net/ele/transistorit.htm>

/4/ Electronics Tutorial about Bipolar Junction Transistors. Storr Wayne. Hämtad 10.4.2012. http://www.electronics-tutorials.ws/transistor/tran_1.html

/5/ MOS-transistorin. Grahn Kaj 2011. Föreläsningsmaterial.

/6/ Transistoreiden Merkinnät. Esala Mikko. Hämtad 21.4.2012.
<http://www.kolumbus.fi/mikko.esala/transistorit.pdf>

/7/ Kolmivaihejärjestelmä. Hämtad 12.5.2012
<http://homes.jamk.fi/~huksi/Yhteinen/Piirianalyysi2008/3vaihejarjestelma.pdf>

/8/ Ihanaa, miten miellyttävän lämmin lattia. DEVI. Hämtad 12.5.2012.
<http://devi.danfoss.com/Finland/Consumer/FloorHeatingForHome/Postings+Why+Floor+Heating/Optimal+Comfort.htm>

/9/ Devimat DTIF-100. DEVI. Hämtad 12.5.2012
http://devi.danfoss.com/Finland/Professional/Products/Collection+Indoor+Mats/iframe_Devimat_DTIF_100.htm

/10/ Devireg 535 ajastintermostaatti. DEVI. Hämtad 12.5.2012

http://devi.danfoss.com/Finland/Professional/Products/Collection+Floor+Heating+Thermostats/iframe_Devireg_535.htm

/11/ Deviflex ulkoalueiden sulanapitojärjestelmä. DEVI. Hämtad 13.5.2012

http://fi.fheprod.danfoss.com/PCMPDF/Outdoor_XX00299_VIFSV220.pdf

/12/ IP-klassning. Friedhelm LOH group. Hämtad 13.5.2012

<http://www.rittal.se/C125719C0048663E/tmt.view/3CEADC321C0FEB40C1256DD3003511D3>

/13/ Sähkölämmitysratkaisut. Ensto Electric OY. Hämtad 13.5.2012

http://www.ensto.com/www/library/attachments/pdf/5tnv3sho0/Ensto.Downloads.SubCategoryFile_4/Files/CurrentFile/Sahkolammitysratkaisut.pdf

/14/ Jäspi-Vedenlämmittimet. Jäspi lämpötekniikka. Hämtad 17.5.2012

http://www.kaukora.fi/sites/default/files/kaukorafiles/esitteet/Jaspi_Vedenlammitimet_0910_web.pdf

FIGURKÄLLOR

/f1/ http://www.ehobbycorner.com/images/trn_sym.gif Hämtad 10.4.2012.

/f2/ <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/db/MOSFET.jpg>
Hämtad 10.4.2012

/f3/
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/8/8b/IGBT_cross_section.svg/500px-IGBT_cross_section.svg. Hämtad 21.4.2012

/f4/ <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/0c/3-fas-spänningar.svg/371px-3-fas-spänningar.svg.png> Hämtad 12.5.2012

/f5/ <http://assets.selector.com/assets/images/51/32270/620x330.png> Hämtad 12.5.2012

/f6/
http://www.kaukora.fi/sites/default/files/kaukorafiles/esitteet/Jaspi_Vedenlammittimet_0910_web.pdf Hämtad 17.5.2012

/f7/ <http://shahrulnizam.com/gambar/waveform.jpg> Hämtad 3.6.2012

BILAGOR

