

Examensarbete

Värmeregulator

Henrik Strand

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Utbildningsprogram:	Elektroteknik
Identifikationsnummer:	4288
Författare:	Henrik Strand
Arbetets namn:	Värmeregulator
Handledare (Arcada):	Di Kim Rancken
Experthandledare:	ing. Harri Anukka
Uppdragsgivare:	ARCADA
<p>Sammandrag:</p> <p>Syftet med detta examensarbete var att planera, bygga och testa en värmeregulator. Regulatorn kopplas till elvärmen i hus, såsom magasinering av golvvärme, varmvattenberedare och elradiatorer. Värmeregulatorns funktionsidé är att jämna ut strömtopparna vid koppling mellan dag och nattströmmen. Som grund till detta arbete användes tidigare arbeten gjorda inom samma område. I detta arbete var huvudpunkten att koppla ihop en styrkrets med ett slutsteg. Styrkretsens uppgift är att mäta den inkommande matningsspänningen och genom att detektera nollgenomgångar synkronisera PWM-styrningen med matningsspänningen. Man har studerat teorin bakom IGBT-transistorer för att kunna framställa en fungerande lösning. Olika kopplingsmetoder för styrning av växelströmskopplingar undersöktes. Efter att man erhållit en tillräckligt god teoretisk kunskap för att utföra arbetet började man stegvis bygga upp den nya kretsen, en del mätningar och testande av olika lösningar gjordes under planeringen. Tekniken i värmeregulatorn bygger på en PIC-mikroprocessor. I arbetet kommer man fördjupa sig i teorin för mikroprocessorn och dess egenskaper och funktioner. När man valt passlig mikroprocessor och bestämt funktionsprincipen byggdes resten av kretsen. Vid test av värmeregulatorn fäste man uppmärksamhet vid att den fungerade enligt specifikationerna. Alla mätningar utfördes i Arcadas elkraftslaboratorieutrymmen och man använde mätutrustning såsom oscilloskop, multimeter och effektmätare.</p>	
Nyckelord:	Mikroprocessor, IGBT-transistor, effektstyrning, växelström
Sidantal:	43
Språk:	Svenska
Datum för godkännande:	

DEGREE THESIS	
Arcada	
Degree Programme:	Electrical engineering
Identification number:	4288
Author:	Henrik Strand
Title:	Värmeregulator
Supervisor (Arcada):	M.Sc. Kim Rancken
Expert advisor:	B.Sc. Harri Anukka
Commissioned by:	ARCADA
<p>Abstract:</p> <p>The aim of this thesis was to design, build and test a heating regulator. The regulator will be connected to the electrical heating in households such as floor heating, warm water boilers and radiators. The working principle of the regulator is to smoothen current peaks between day and night electricity. As a basis for this thesis was earlier work done in the same field. In this thesis the main point was to connect a control circuit with a power circuit. The control circuit is provided to measure the incoming supply voltage and by detecting the zero crossings synchronises the PWM control voltage to the supply voltage. Theory about IGBT-transistors will be studied to be able to produce a working solution and various connection methods for controlling AC power will be examined. After having obtained a sufficient theoretical knowledge the work began by gradually building the new circuit, some measurements and testing of various solutions were made in the planning. The technology in the heating controller is based on a PIC microcontroller and this work will immerse in the theory of the microprocessors and its features and functions. Having selected a suitable microprocessor the operation to build the rest of the circuit was done gradually. When testing the heating controller attention were drawn to that the regulator work according to the specifications. All measurements were performed in Arcada electric laboratory facilities and measuring equipment such as an oscilloscope, multimeter and a power meter were used.</p>	
Keywords:	Microprocessor, IGBT- transistor, power regulation, alternating current.
Number of pages:	43
Language:	Swedish
Date of acceptance:	

INNEHÅLL

Sammandrag

Abstract

Innehåll

Termer och beteckningar	5
Figurer	6
Förord.....	7
1 Inledning.....	8
1.1 Tidigare arbeten	8
1.2 Målsättning	10
2 Kretsen	11
2.1 Strömförsörjning	12
2.2 Mikroprocessor	14
2.2.1 Mikroprocessorns arkitektur	15
2.2.2 Programmerare	16
2.3 IGBT-driver	17
2.4 Zero Crossing Detector	20
2.5 Slutsteg.....	22
2.5.1 Insulated Gate Bipolar Transistor.....	23
2.5.2 IGBT-struktur.....	23
2.5.3 Blockeringsegenskaper	24
2.5.4 Styrning	24
2.5.5 Dubbelriktad brytare	25
2.6 Relästyrning.....	26
3 Effektreglering	28
3.1 Verkningsgrad	28
3.2 Fäsförskjutning	29
3.3 Distorsion.....	30
3.4 Effektfaktor	30
4 Programmering av mikrokontroller	31
4.1 Programmet för värmeregulatorn	31
4.2 Programkoden	32

5	Test	34
6	Slutord	36
	Källor	38
	Bilagor	

TERMER OCH BETECKNINGAR

VAC	Växelspänning
VDC	Likspänning
IGBT	Insulated gate bipolar transistor (IGBT-transistor)
BJT	Bipolar junction transistor (Bipolär transistor)
MOSFET	Metal-oxide-semiconductor field-effect transistor (Fälteffekttransistor)
PIC	Peripheral Interface Controller
PWM	Pulsbreddsmodulation
ZCD	Detektion av nollgenomgång
UART	Universal asynchronous receiver/transmitter
V_{gs}	Spänningen mellan gate och emitter på en IGBT-transistor
$V_{GS(th)}$	Tröskelspänningen för att tända en IGBT-transistor
$V_{ds(on)}$	Spänningsfall över IGBT-transistorn då den är tänd
V_{cc}	Jord eller noll stiftet på en IC-krets
V_{dd}	Matningsspänning till en IC-krets

FIGURER

Figur 1. Styrkrets byggd av Anders Colliander. /1/.....	9
Figur 2. Kretsschema för värmeregulatorn.....	11
Figur 3. Detaljerad bild av strömförsörjningskretsen.....	13
Figur 4. Olika storlekar av PIC-mikrokontroller.....	14
Figur 5. Beskrivning över arkitekturen i en PIC-mikrokontroller.....	15
Figur 6. PIC16F690 stift.....	16
Figur 7. HCPL-3120 IGBT-driver med optokopplare.....	18
Figur 8. Teoretisk krets för att driva en IGBT-transistor.....	19
Figur 9. Förenklad bild av mikroprocessorns ingång.....	21
Figur 10. Fyrkantvåg efter att mikroprocessorns ingång har klippt vågen.....	22
Figur 11. Lager strukturen i en IGBT-transistor./14/.....	23
Figur 12. Strömriktningen i de olika dubbelriktade brytarna./14/.....	25
Figur 13. Detaljerad beskrivning av reläkretsen.....	27
Figur 14. Exempel på kod för PIC-mikrokontroller.....	33
Figur 15. Uppmätning av styrningen till drivern med oscilloskop.....	34

Figur 4. http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4c/PIC_microcontrollers.jpg

Hämtad 31.7.2013.

Figur 6. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41262E.pdf>

Hämtad 3.8.2013.

Figur 5. http://www.microchip.com/_images/BaselineArch_large.jpg

Hämtad 31.7.2013.

Figur 7. <http://media.digikey.com/pdf/Catalog%20Drawings/Optoelectronics/HCPL-3120.jpg> Hämtad 31.7.2013.

Figur 8. <http://www.ixys.com/Documents/AppNotes/IXAN0010.pdf> Sida 3.

Hämtad 31.7.2013.

Figur 9. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00521c.pdf> Sida 1.

Hämtad 31.7.2013.

Figur 10. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00521c.pdf> Sida 2.

Hämtad 31.7.2013

FÖRORD

Jag vill tacka alla som stött mig under denna process att göra detta examensarbete. Ett speciellt tack till min handledare DI Kim Rancken som har gjort detta arbete till en intressant process.

Helsingfors den 5.9.2013

Henrik Strand

1 INLEDNING

Detta examensarbete är gjort för yrkeshögskolan Arcada. Projektet har sin bakgrund i ett samarbete mellan Borgå Energi och Arcada, idén är att bygga en regulator för värme-element som kunde användas för att begränsa piken i elnätet. Det har gjorts tidigare arbeten om detta i Arcada, bland annat arbetet ”Slutsteg för effekregulator” och ”Effektregulator för magasinering av elvärme”. I arbetet ”Slutsteg för effekregulator” undersöktes vilken huvudkomponent som passar för att användas i en regulator för detta ändamål och i arbetet ”Effektregulator för magasinering av elvärme” utvecklades en mikroprocessorbaserad styrkrets. Dessa två arbeten var en bra grund att bygga vidare på./1/ /2/

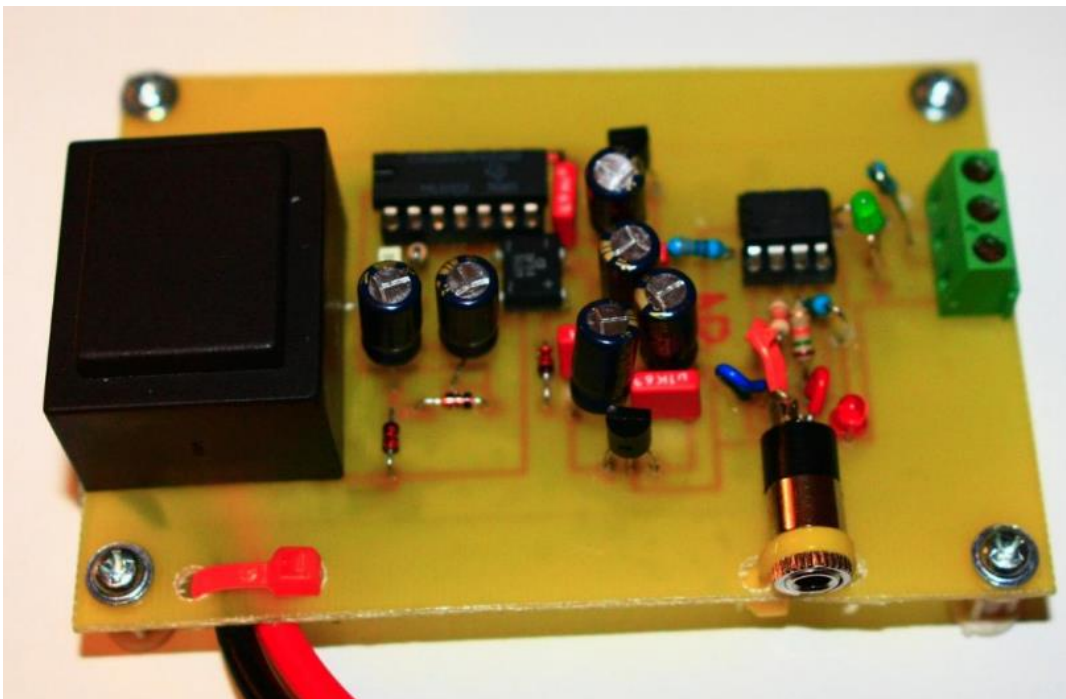
Målsättningen med detta arbete var att planera, bygga och testa en värmeregulator. Som grund används de tidigare arbetena inom samma område. Huvudidén med värmeregulatorn är att den skall fungera som mjukstart för att minska belastningspiken i elnätet, detta har elproducenterna nytta av genom att de får jämnare belastning av generatorerna och de piken, som uppstår vid byte till natt-tariff minskar och behöver inte kompenseras lika snabbt som nu. Eldistribueringsföretagen har också nytta av det genom att belastningen av transformatorer är jämnare och elkvaliteten förbättras./1/

1.1 Tidigare arbeten

Projektet började med ett arbete ”PWM-effektregulator för värmesystem”, i vilket man utvecklade en regulator som bevisade att idén med PWM styrning fungerar/3/. I arbetet ”Effektregulatorutveckling” förbättrades styrkretsen/4/. Båda kretsarna byggde på analog teknik och tanken var att bygga en så simpel regulator som möjligt. Nu hade man en styrkrets så man kunde börja utveckla slutsteget dvs. den krets som gör grovjobbet, kopplar på och av belastningen. Nästa arbete var att utveckla ett MOSFET-slutsteg där man planerade och testade olika komponenter för ett slutsteg. Det byggdes en version men den klarade endast av låga effekter på grund av att MOSFET-transistorer har rätt stora förluster vid större strömmar/5/.

Ett annat arbete som delvis berörde detta projekt var ”Kretskortsutveckling”, där man planerade och byggde en ny och förbättrad version av styrkretsen/6/. Nästa steg i utvecklingen var att förutom att använda analogteknik också använda en mikrokontroller för att styra PWM-signalen och för att dessutom kunna bestämma en ramp för hur effektreulatorn skall reglera. Det var sedan arbetet ”Effektregulator för magasinering elvärme” som utgjorde en förbättring där man utvecklade en mikrokontrollerbaserad styrkrets/1/.

När det fanns en ny styrkrets var nästa steg att utveckla ett nytt slutsteg som kunde fungera ihop med den nya styrkretsen. Det var arbetet ”Slutsteg för effektregulator” som behandlade val av komponent för denna typ av regulator, i det arbetet kom man fram till att det var en IGBT-transistor som lämpade sig för detta ändamål/2/. Projektet hade nått detta skede då detta arbete inleddes. Teorin med PWM-styrning var testad, det fanns en styrkrets och en huvudkomponent till slutsteget var testad. Målet var att kombinera dessa till en fungerande helhet.



Figur 1. Styrkrets byggd av Anders Colliander. /1/

1.2 Målsättning

Målsättningen med detta examensarbete var att planera, bygga och testa en värmeregulator, som skulle fungera som en mjukstart för resistiva värme-element, till exempel varmvattenberedare eller magasinierande golvvärme. Regulatorn skall begränsa effekten då nattströmmen aktiveras och gradvis öka effekten, och efter ca 20 minuter då regulatorn nått sitt maxvärde kopplas PWM-styrningen bort och belastningen kopplas direkt till fasspänning från nätet. PWM-styrningen skall vara sådan att fasförskjutningen minimeras och effektfaktorn optimeras.

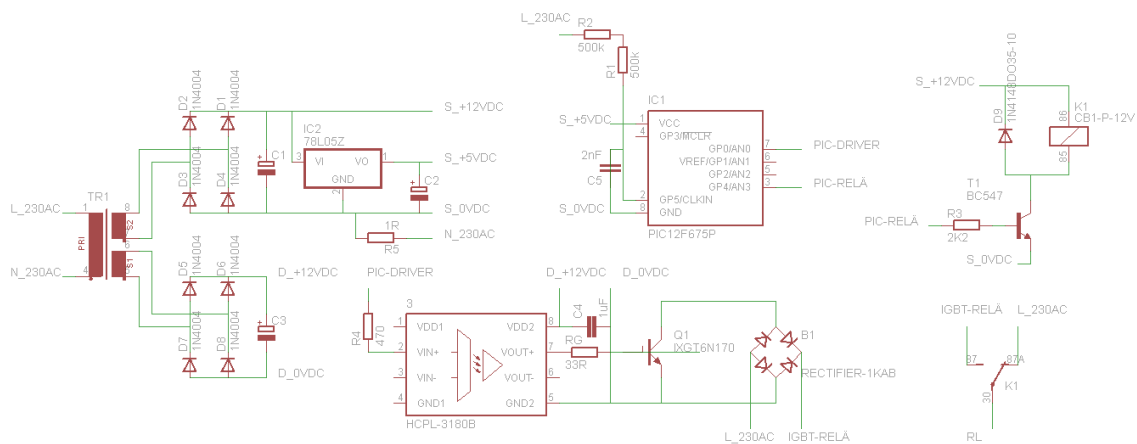
Värmeregulatorn skall klara av att reglera en 2 kW resistiv belastning, den skall vara en enfas regulator och arbeta med fasspänning 230 VAC. I planerandet av värmeregulatorn bör det fästas särskild uppmärksamhet vid att mängden komponenter skall minimeras för att underlätta att bygga in den i nuvarande elsystem. Regulatorn skall vara simpel och relativt billig att tillverka. Målet är att bygga en fungerande prototyp som kan testas i verkliga förhållanden. I samarbete med Borgå Energi är avsikten att installera regulatorn i en vanlig fastighet som använder nattström i uppvärmningssystemen. Detta förutsätter dock att fler regulatorer tillverkas, eftersom regulatorn byggs för reglering av endast en fas och en belastningsenhet.

2 KRETSEN

I planeringen av värmeregulatorn delades arbetet in i några olika delar, det som var klart var att styrkretsen skulle bygga på en PIC-mikrokontroller och att slutsteget skulle vara en IGBT-transistor. Planeringen av strömförsörjningen för värmeregulatorn visade sig vara en viktig del i arbetet, det var också klart att det behövdes olika spänningsnivåer för styrkretsen och slutsteget.

I planeringen har man som grund använt datablad för de olika komponenterna och applikationsanteckningar från olika komponenttillverkare. Man har testat att konceptet fungerar i praktiken, speciellt valet av transformator gjordes genom att testa några olika transformatorer i praktiken. I val av komponenter har det också beaktats att använda sådana komponenter som är lättillgängliga och går att byta ut mot motsvarande komponenter utan att behöva planera om hela kretsen (bilaga 2).

Kretsen har byggts på en ”proto”-kopplingsplatta där man kan pröva olika komponenter utan att behöva löda fast dem. Kretsen har hopbyggts del för del och testats att varje del fungerar för att sedan kombinera de olika delarna till en fungerande helhet.



Figur 2. Kretsschema för värmeregulatorn.

2.1 Strömförsörjning

I planeringen av regulatorm ställde de fysiska dimensionerna alltid ett krav på val av komponenter, värmeregulatorns slutliga storlek måste vara sådan att den enkelt kan installeras i befintliga elcentraler. Redan från början var det klart att det behövdes skilda strömförsörjningskretsar för de olika delarna av regulatorm: styrkretsen som består av PIC mikrokontroller matas med 5 VDC, drivern för IGBT transistorn kräver 12 VDC och reläet för omkoppling drivs med 12 VDC. En annan viktig sak var att nollnivån för de olika delarna i regulatorm var kopplade till matningsspänning för att styrkretsen och driverkretsen skall fungera på rätt sätt.

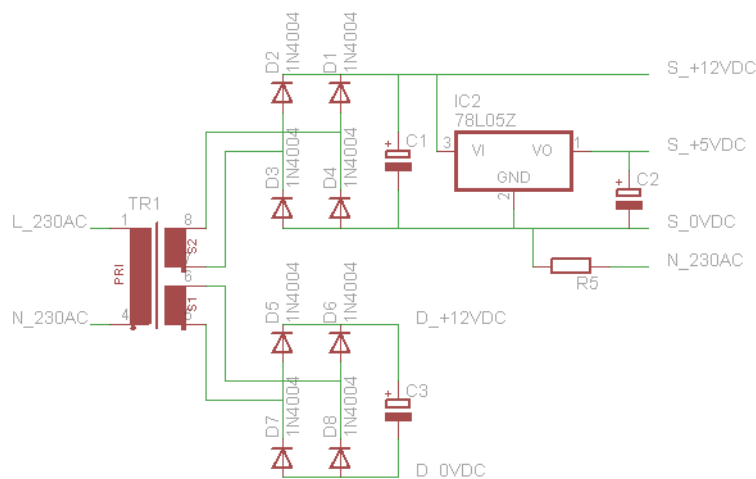
Kretskortstransformatorm är en komponent som transformerar matningsspänning 230 VAC till en lägre spänning som lämpar sig för elektronikkretsar. Dimensionerna för kretskortstransformatorm bestämdes man genom att räkna hur mycket ström de olika delarna i regulatorm konsumerar och vilken spänning de behöver för att fungera. En viktig sak att beakta vid planeringen är att tomgångsspänningen för en liten kretskortstransformatorm är ca 1,6 gånger större än märkspänningen, vid full belastning av transformatorn är sekundärspänningen samma som märkspänningen.

För att minimera antalet komponenter valdes en 5 V spänningsregulator för att reglera spänningen till mikroprocessorn och dimensionera transformatorn så att spänningsnivån passar till driverkretsen utan att använda en spänningsregulator. Vid valet av kretskortstransformatorm testades tre olika transformatorer: en 230 VAC/9 VAC, 230 VAC/12 VAC och en 230 VAC/15 VAC, för att klara sig med endast en spänningsregulator valdes transformatorn med sekundärspänningen 9 VAC, då var tomgångsspänningen inom specifikationerna för omkopplingsreläet och för driverkretsen.

Nollnivåerna för styrkretsen och driverkretsen är inte ihopkopplade, detta är ett måste för att driverkretsen skall kunna driva IGBT-transistorn, nollnivån måste vara kopplad till IGBT transistorns kollektor, styrkretsens nollnivå är samma som elnätets nolla för att kunna mäta huvudspänningens nollgenomgångar. För att lösa detta valdes det en kretskortstransformatorm med dubbla sekundärlindningar och på det sättet galvaniskt isolera styrkretsen från driverkretsen.

Styrkretsen får sin strömförsörjning från den första sekundärlindningen, vars växelspanning likriktas med en diodbrygga som består av fyra dioder. Efter diodbryggan används en elektrolyt kondensator för att jämna ut spänningen. Efter likriktningen är spänningen i tomgång 13 VDC och under belastning 11 VDC, den används för att driva omkopplingsrelä. En 5 V spänningsregulator sänker spänningen till rätt nivå för PIC-mikroprocessorn. Styrkretsens strömförsörjning har samma nollpotential som elnätet.

Driverkretsen och slutsteget får sin strömförsörjning från den andra sekundärlindningen, växelspanningen från kretskortstransformatorns sekundärlindning likriktas med en diodbrygga, efter likriktningen är spänningsnivån 12 VDC som är den som driverkretsen utnyttjar och nollnivån för denna del av strömförsörjningen är kopplad till IGBT-transistorns kollektor.

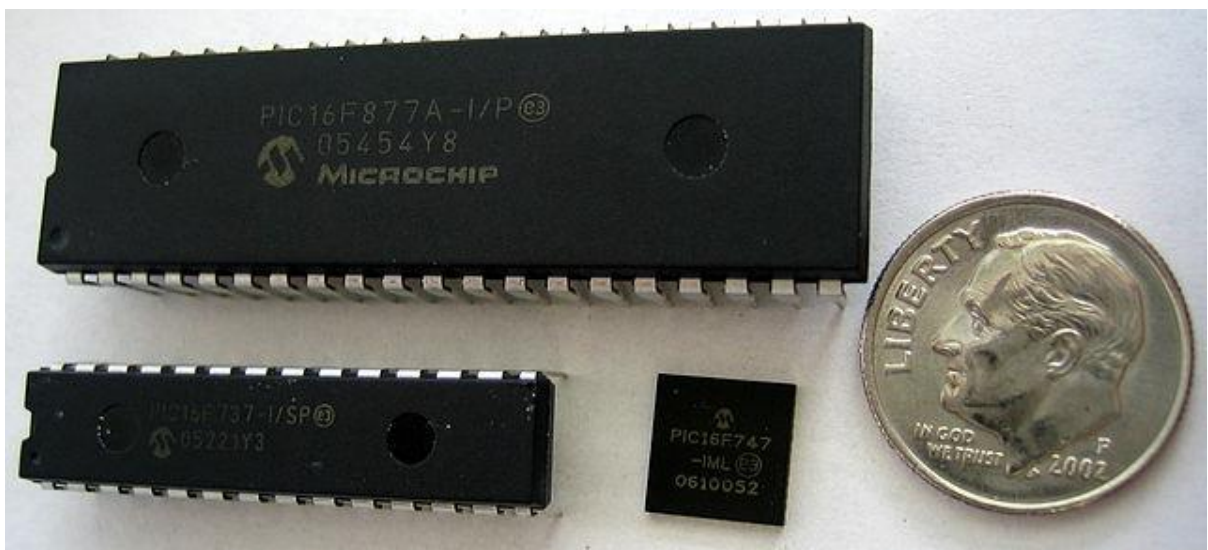


Figur 3. Detaljerad bild av strömförsörjningskretsen.

2.2 Mikroprocessor

Hjärnan i värmeregulatorn är en PIC-mikrokontroller, liknande mikrokontroller finns överallt i dagens värld, i bilar, tvättmaskiner m.m. Mikroprocessorn är även kallad en krets dator på grund av sin lilla fysiska storlek, allt är inbyggt på ett chip: processor, arbetsminne och programminne. Som mikrokontroller i detta arbete valdes en PIC, som är en mikrokontrollerfamilj som tillverkas av Microchip Technology. PIC-mikroprocessorer används mycket i industriella applikationer och den är också populär bland amatörer på grund av deras relativt låga priser, bred tillgänglighet, stor användarbas, omfattande applikations anteckningar, lätt tillgängliga utvecklingsverktyg och serieprogrammeringsmöjlighet. PIC-mikroprocessorn är också populär i skolor och används mycket inom undervisningen./7/

I yrkeshögskolan Arcada har man bekantat sig med PIC-mikroprocessorn när den använts i några kurser, under kurserna har det skrivits program och testats olika applikationer med PIC-mikrokontroller.

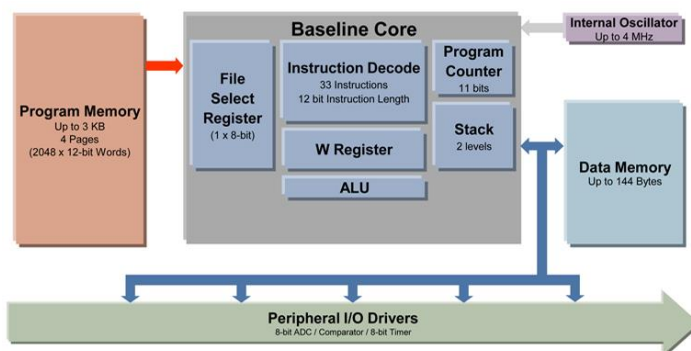


Figur 4. Olika storlekar av PIC-mikrokontroller.

2.2.1 Mikroprocessorns arkitektur

Arkitekturen i en PIC-mikrokontroller bygger på samma funktioner som de flesta RISC-mikrokontroller, till de viktigaste kan man räkna Harvard-arkitektur och RISC. Harvard arkitektur har programminne och dataminne som separata minnen och nås från två skilda bussar. Detta förbättrar bandbredden över traditionella von Neumann arkitektur där program och data hämtas från samma minne med samma buss. För att utföra en instruktion måste en von Neumann processor göra en eller flera kallelser över 8-bitars bussen för att hämta instruktionen. Då data kan behöva hämtas, köras och eventuellt sparas blir bussen en flaskhals. Medan en processor med Harvard arkitektur kan hämta en instruktion över en buss och medan programminnet avläses är dataminnet på en oberoende buss och kan läsas och skrivas till. Dessa separerade bussar tillåter en instruktion att exekvera medan nästa instruktion hämtas./8/

För att utföra en instruktion måste en von Neumann-maskin göra en eller flera kallelser över 8-bitars buss för att hämta instruktionen. Eftersom data måste hämtas, köras och möjligen skrivas tillbaka till minnet över samma buss leder detta till att bussen är den begränsande faktorn. Med en Harvard-arkitektur hämtas instruktionen i en enda instruktionscykel, medan programminnet avläses kan dataminnet läsas och skrivas eftersom den har en egen oberoende buss. Dessa separerade bussar tillåter att en instruktion kan köras medan nästa instruktion hämtas./8/



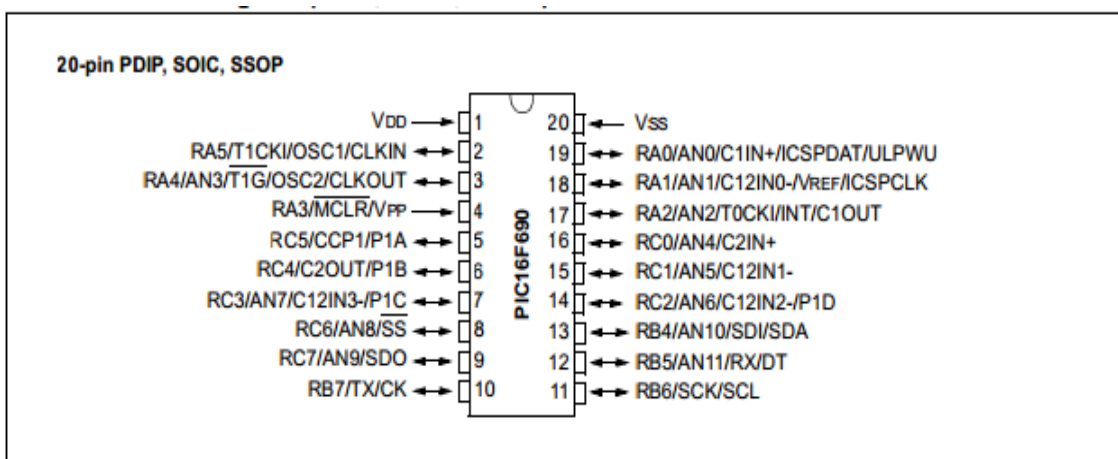
Figur 5. Beskrivning över arkitekturen i en PIC-mikrokontroller.

RISC är en akronym för ”Reduced Instruction Set Computer”, det är en processor arkitektur som bygger på att använda enkla instruktioner som körs regelbundet. En annan fördel med RISC arkitektur är att det är färre instruktioner att lära sig vilket i praktiken betyder att det är enklare att lära sig programmera./8/

2.2.2 Programmerare

För att kunna programmera en PIC-mikrokontroller används traditionellt en programmerare. Det finns flera olika typer på marknaden och man kan även bygga en själv. De flesta PIC-mikrokontroller som Microchip säljer har stöd för ICSP, även kallat serieprogrammering och LVP lågspännings programmering som gör det möjligt att programmera PIC-mikroprocessorer utan ta bort dem från kretsen där de är i användning./9/

Vid serieprogrammering utförs programmeringen genom att skicka klocksignalen och datasignalen över var sitt stift, medan en spänning på 12 V kopplas till Vpp/MCLR stiftet (figur 5), spänningsmatningen kommer från kretsen där mikrokontrollern är installerad i eller från programmeraren. Lågspänningsprogrammering använder ingen 12 V spänning men den kräver exklusiv användning av ett I/O stift. Vid serieprogrammering kan lågspänningsprogrammeringsfunktionen inaktiveras för att använda stiftet som in- eller utgång för andra ändamål./9/.



Figur 6. PIC16F690 stift.

Det finns många olika programmerare för PIC-mikrokontroller, allt från mycket enkla kretsar, som använder serieprogrammering för att direkt ladda koden från en värddator till intelligenta programmerare som kan programmera kretsar som använder flera olika matningsspänningar. Många av dessa intelligenta programmerare använder en förprogrammerad PIC-mikrokontroller för att sända programmeringskommandon till den PIC som skall programmeras. Den intelligenta typen av programmerare behövs för att programmera tidigare PIC-modeller som inte stöder serieprogrammering.

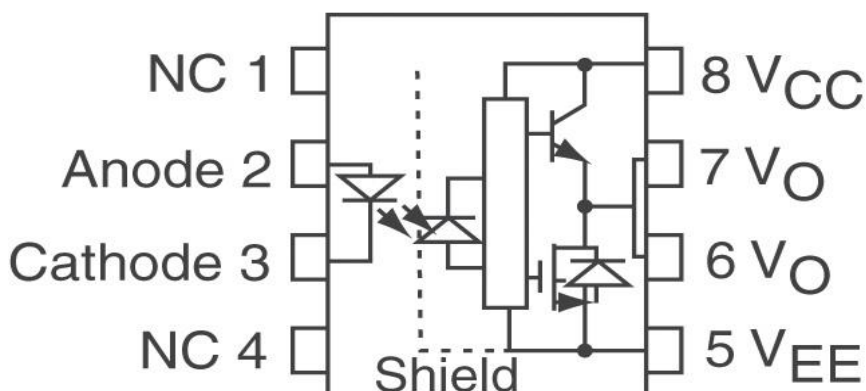
Microchip erbjuder en programmerare som heter PICKit, den finns i tre olika versioner. I detta arbete har det använts en PICKit2, det är en USB-programmerare som stöder alla PIC-mikrokontroller utom de nyaste modellerna av dspPIC-mikrokontrollerchippet. PICKit2 har en separat programmerings- och debuggerenhet som ansluts till kretsen där chipet som ska programmeras är, detta gör det möjligt att använda programmeraren med en anpassad serieprogrammeringsanslutning utan att flytta mikroprocessorn som skall programmeras. PICKit2 använder en intern PIC18F2550 med stöd för Fullspeed USB och efter den senaste uppdateringen kan man programmera och felsöka de flesta av de 8 och 16 bitars PIC-mikrokontroller som Microchip tillverkat./9/

PICKit2 har en PTG-funktion som gör att man kan ladda koden till programmeraren och spara den där för att senare utan PC kunna programmera en PIC. Förutom att kunna programmera PIC-mikrokontroller har PICKit2 en inbyggd 500 kHz tre-kanals logikanalysator och ett UART verktyg som kan användas för att analysera olika logikkretsar./9/

2.3 IGBT-driver

En optokopplare är en komponent som galvaniskt isolerar två kretsar från varandra, den hindrar elektriska störningar från att sprida sig mellan olika elektriska system. Galvanisk isolation åstadkoms genom att omvandla den elektriska signalen till en optisk signal och sedan tillbaka till en elektrisk signal. En vanlig typ av optokopplare består av en ljusemitterande diod och en fototransistor den elektriska signalen omvandlas till en infraröd signal av lysdioden och i fototransistorn mottas den optiska signalen och om-

vandlas till en elektrisk signal. Lysdioden och fototransistorn är inbyggda i ett kompakt paket. Optokopplaren har flera olika användningsområden, men den viktigaste är att isolera olika elektriska system från varandra, det vanligaste sättet är att använda olika jordpotentialer. Denna funktion har utnyttjats för att koppla samman styrkretsen och driverkretsen i detta projekt.

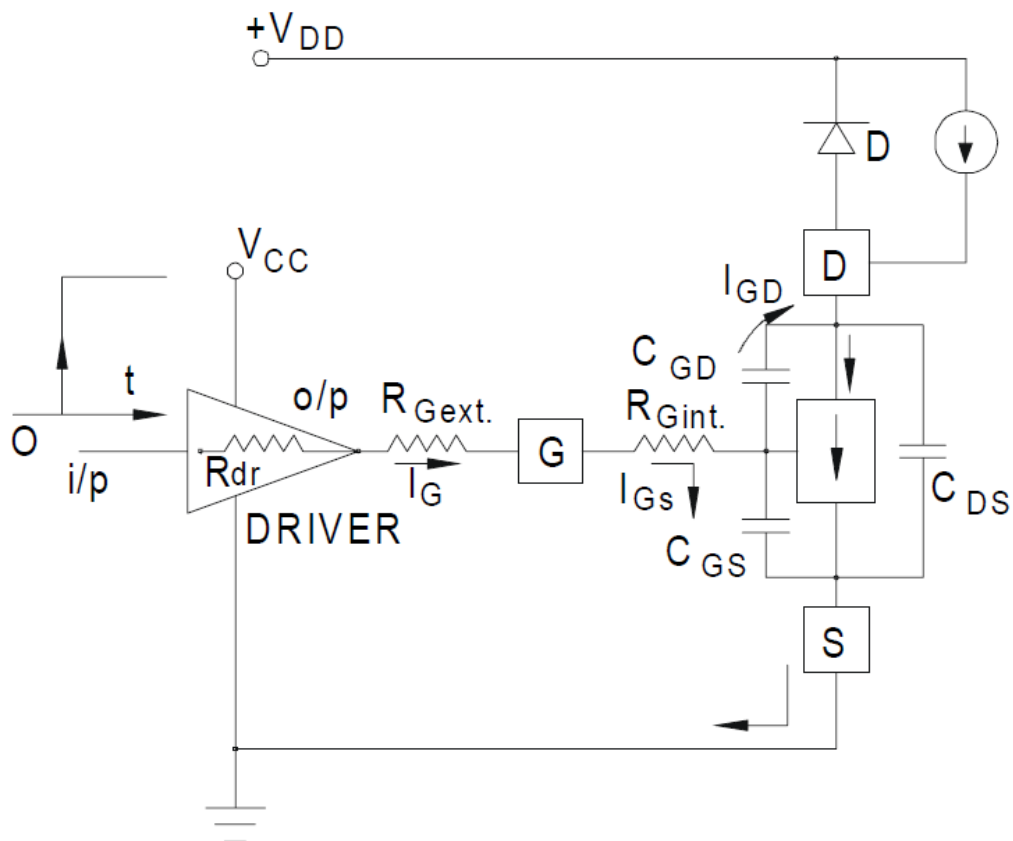


Figur 7. HCPL-3120 IGBT-driver med optokopplare.

Som tidigare nämnts har styrkretsens jord samma potential som elnätets jord och elförsörjningen för driverkretsen har jorden kopplad till IGBT-transistorns kollektor. För att styrkretsen skall kunna arbeta ihop med driverkretsen används en IGBT-driver med inbyggd optokopplare. Styrkretsens PIC-mikrokontroller styr lysdioden på optokopplarens ingång, när lysdioden tänds kopplar drivern på IGBT-transistorn.

För att styra en IGBT-transistor behövs en driverkrets, styrkretsen använder en spänning på 5 VDC och för att driva IGBT-transistorn krävs en spänning på 8 VDC – 15 VDC. Typiskt används en transistorkrets kopplad i halvbrygga för styra IGBT-transistorn. En IGBT-transistor är spänningsstyrd, och för att förklara hur man tänds och släcker den

används en modell med alla relevanta komponenter (figur 8). För att tända en IGBT-transistor bör gate- till emitterkapacitansen C_{GS} laddas upp till en kritisk spänningsnivå och då kan en ström flyta från kollektor till emitter. Lasten representeras av en ström-källa med en diod D ansluten antiparallellt. IGBT-transistorn har en inre gate-resistans som kallas R_{Gint} . V_{DD} är matningsspänningen till kollektorn som går genom lasten. Drivern matas med V_{CC} och jorden är ansluten till IGBT-transistorns emitter, utgången från drivern är ansluten till gaten på transistorn genom en yttre resistor R_{Gext} .



Figur 8. Teoretisk krets för att driva en IGBT-transistor.

När styrkretsen ger en positiv puls till driverns ingång förstärks den till en amplitud motsvarande V_{CC} , den förstärkta pulsen matas genom gate-resistorn till transistorns gate, spänningshöjningen över gate och emitter på transistorn begränsas av resistansen $R_{dr} + R_{Gext} + R_{Gint}$ och kapacitansen $C_{GS} + C_{GD}$, R_{dr} är driverns resistans på utgången och R_{Gext} är motståndet som anpassas efter styrfrekvensen och hastigheten hos IGBT-transistorn./10/

2.4 Zero Crossing Detector

Zero Crossing, på svenska nollgenomgång, är en term som används inom elektronik, audioteknik, bildbehandling och matematik. Inom matematiken är en nollgenomgång en punkt där funktionen byter tecken, till exempel från positiv till negativ, på en graf är denna punkt där kurvan för funktionen skär nollaxeln. Detektion av nollgenomgångar används inom röststyrning för att känna igen tal och inom bildbehandling för att detektera snabba variationer i pixelvärden som representerar en gräns i bilden./11/

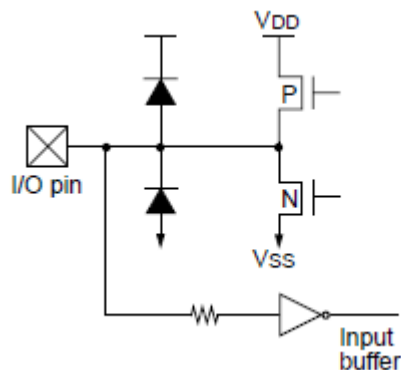
Inom elteknik används detektion av nollgenomgångar bland annat inom teknik som skickar högfrekventa signaler över elnätet, där använder man nollgenomgångar för att synkronisera styrsignalen med elnätets växelspanning. Växelspanningen är en sinusvåg och med 180 graders mellanrum sker det en nollgenomgång dvs. då spänningen är 0 volt./11/

I de tidigare regulatorerna har det använts en egen krets för att detektera dessa nollgenomgångar, men eftersom denna regulator bygger på en PIC-mikrokontroller behövs ingen skild krets. Med en PIC mikrokontroller kan en simpel nollgenomgångsdetektor byggas genom att använda PIC-mikroprocessorns ingång för externa avbrott och ett motstånd för att begränsa strömmen.

I Finland är fasspänningen 230 VAC, det betyder att effektivvärdet för spänningen är 230 V, effektivvärdet för en växelspanning definieras som kvadratroten av tidsmedelvärdet av spänningens kvadrerade värde. Effektivvärdet används för att förenkla effektberäkningar med växelspanningar, effektivvärdet motsvarar spänningen i likspänning. Toppvärdet för fasspänningen beräknas genom att multiplicera effektivvärdet med kvadratroten av två. För att beräkna värdet på motståndet som skall begränsa strömmen används ett toppvärde för spänningen på 325 V och den maximala strömmen på PIC-mikroprocessorns ingång är 100 μA . För att inte överstiga den maximala strömmen användes 30 μA vid beräkning av motståndet (figur 9).

Ett motstånd är en enkel komponent som är driftsäker, det kan egentligen bara uppstå två olika fel: att resistansen blir för hög och ingen ström kan gå igenom eller att resistansen sjunker för lågt och strömmen blir för stor och skadar mikroprocessorn. För att

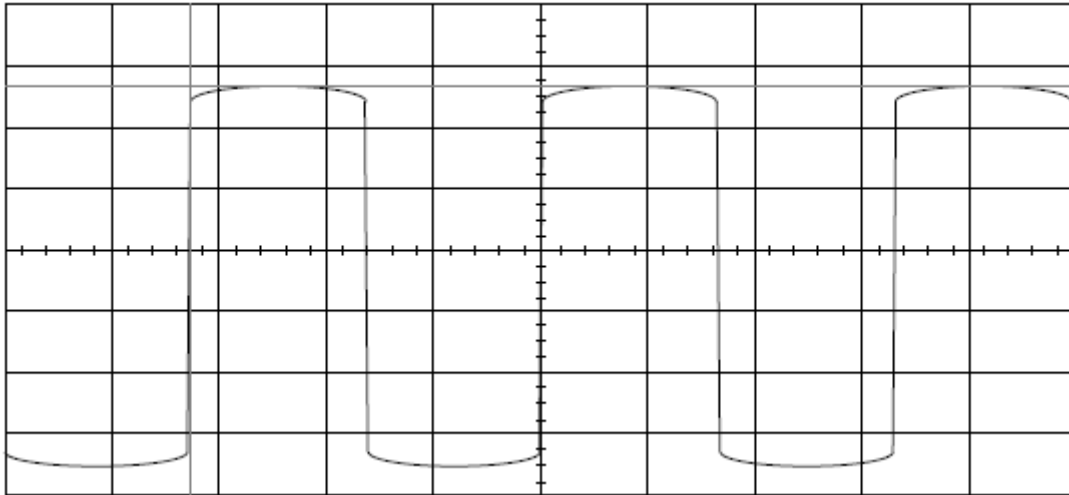
minska risken för att mikroprocessorn skall skadas kopplas två motstånd i serie och då om det ena motståndet kortsluts räcker resistansen i det andra till för att begränsa strömmen på ingången till PIC-mikroprocessorn så att strömmen inte stiger över den kritiska gränsen./12/



Figur 9. Förenklad bild av mikroprocessorns ingång.

Ingången på PIC-mikroprocessorn är en digital ingång där en etta representeras av +5 V och en nolla representeras av 0 V. Ingången som används för detektion av nollgenomgångar konfigureras för att fungera som en extern avbrottsfunktion och bufferten på ingången är då en schmitt-trigger. PIC-mikroprocessorn har ett inbyggt skydd för överspänningar på ingångarna, det är dioder som kortsluter alla spänningar över 5 V till spänningsmatningen och spänningar under 0 V kortsluts till jorden. Eftersom strömmen begränsas med de två seriekopplade motstånden kan mikroprocessorn klippa 230 VAC spänningen till en fyrkantvåg, där den positiva delen av växelspänningen representeras av en etta och den negativa delen av en nolla (figur 10)./13/

För att minimera risken att kretsen skall påverkas av störningar i matningsspänningen har ingången ett lågpas filter, som bildas av motståndet som fungerar som strömbe-
gränsare och en kondensator. Filtrets gränshfrekvens har valts till lite högre än elnätets frekvens och dämpar alla övertoner som kan finnas i elnätet.



Figur 10. Fyrkantvåg efter att mikroprocessorns ingång har klippt vågen.

Gränsen för att PIC-mikroprocessorn skall känna av en förändring från en nolla till en etta är att spänningen bör stiga över 4 V och för att känna av en förändring från en etta till en nolla krävs att spänningen sjunker under 0,8 V. Det betyder att fyrkantvågen som mikroprocessorn ser på ingången är i praktiken en etta då 230 VAC spänningen stigit över 4 V och tills den sjunker under 0,8 V, vilket betyder att när mikroprocessorn detekterar en nollgenomgång på stigande flank är det 39 μs för sent och vid detektion av sjunkande flank är det 10 μs för tidigt. Detta har ingen praktisk betydelse för denna applikation då det är frågan om så små tidsskillnader, eftersom tiden mellan nollgenomgångarna är 10 ms, dvs. omkring 1000 gånger längre.

2.5 Slutsteg

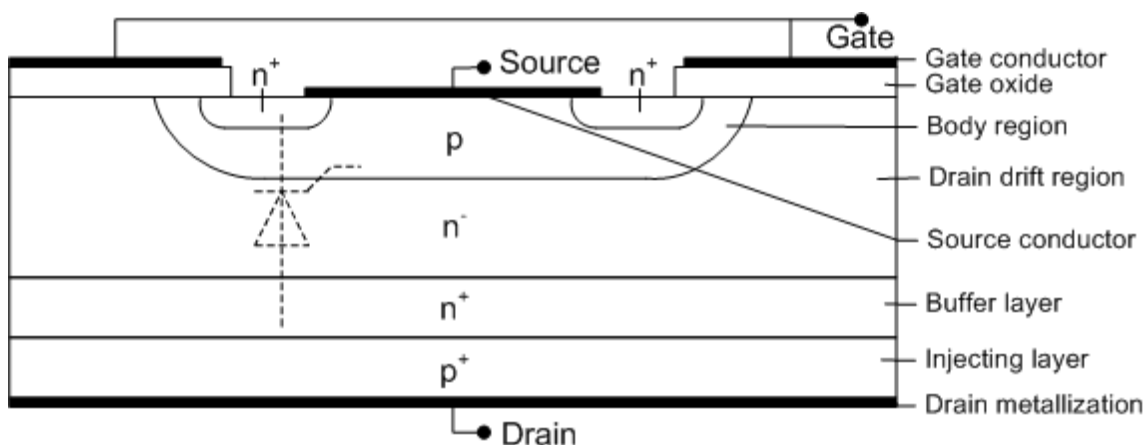
Slutsteget är den del av kretsen som omvandlar styrsignalen från styrkretsen till den ström som driver lasten genom att koppla av och på belastningen. Huvudkomponenten i slutsteget är en IGBT-transistor, slutsteget drivs av driverkretsen.

2.5.1 Insulated Gate Bipolar Transistor

IGBT-transistorn uppfinns genom att BJT-transistorn och MOSFET-transistorn kombinerades för att skapa en halvledare med bättre egenskaper. BJT-transistorn har låga ledningsförluster och MOSFET-transistorn har snabb brytarförmåga men höga förluster i ledande tillstånd. Genom att kombinera de två olika transistorerna skapade man en halvledare med låga förluster men ändå snabb brytarförmåga./14/

2.5.2 IGBT-struktur

IGBT-transistorn liknar mycket en MOSFET-transistor till strukturen, skillnaden är att den har ett extra lager. IGBT-transistorn har tre kopplingspunkter: kollektor, emitter och gate, i litteratur kan det även förekomma benämningarna *drain* för kollektor och *source* för emitter. En N-kanal MOSFET-transistor är uppbyggd i fyra lager P, P+ N+ och N+, i en N-kanals IGBT-transistor är det extra lagret ett P+ lager som formar kollektorkopplingspunkten (figur 11). Detta extra kisellager är dopat med ett element med tre valenselektroner så att atomerna lätt binder sig till kiselskivan och lämnar kvar lediga hål, N-lagren är dopade med element som har extra valenselektroner för att skapa fria elektroner. /14/



Figur 11. Lager strukturen i en IGBT-transistor./14/

P+ lagret skapar tillsammans med N+ lagret en övergång som inducerar hål i den så kallade *drift*-regionen. På bilden ser man ett buffertlager som inte är nödvändig för IGBT-transistorns huvudfunktion. En IGBT-transistor med buffertlager heter *punch-trough* (PT-IGBT) och en utan buffertlager heter *none-punch-trough* (NPT-IGBT). IGBT-transistorn har en parasitisk tyristor på grund av lagerstrukturen N+, P, N-, och N+ (figur 11). Denna tyristor får inte tändas under drift för den är svår att släcka. Detta problem har eliminerats genom att kortsluta emittern och *body*-regionen, i figuren ser man att metallen i emitter-kopplingspunkten (source conductor) har utvidgats till *body*-regionen (figur 11)./14/

2.5.3 Blockeringsegenskaper

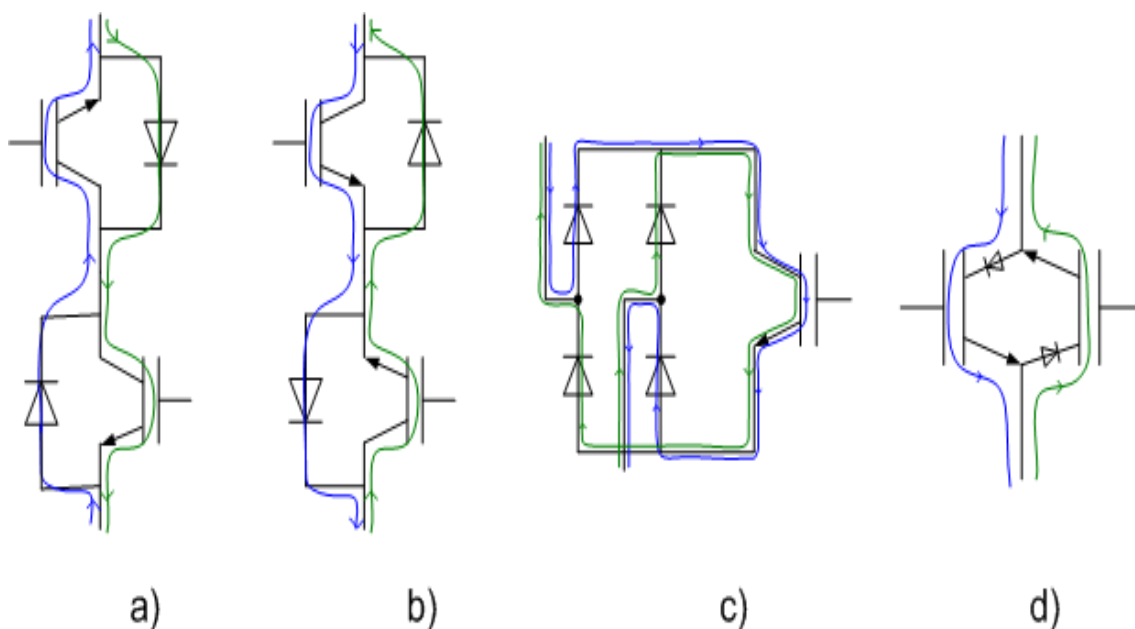
IGBT-transistorns huvudfunktion är att leda och blockera spänning och ström. När IGBT-transistorn är släckt är det övergången mellan *body*- och *drift*-regionen som blockerar framspänningar och övergången mellan P+ injektionslagret och N- som blockerar backspänning. PT-IGBT-transistorn är inte kapabel att blockera backspänningar på grund av den höga dopningen på båda sidorna om N+ och P+ föreningen. NPT-IGBT-transistorn borde i teorin kunna blockera backspänningar på samma sätt som framspänningar men på grund av produktionsmetoder är det inte så i praktiken och man använder en diod för att förhindra backspänningar. /14/

2.5.4 Styrning

IGBT-transistorn är spänningsstyrd, det betyder att när en styrsänning appliceras mellan gate och emitter och om spänningen är högre än tröskelspänningen tänds IGBT-transistorn och om spänningen som appliceras är lägre än tröskelspänningen släcks IGBT-transistorn. För att släcka IGBT-transistorn snabbare kan man applicera en negativ spänning mellan gate och emitter. Om en för hög spänning används kan man tända den parasitiska tyristor och därför är det specificerat i databladet ett maximi värde för styrsänningen. Även om IGBT-transistorn är tänd och leder ström finns det ett spänningsfall över transistorn. Spänningsfallet består av spänningsfallet över P+-N+ övergången, resistans i *drift*-regionen och spänningsfall på grund av resistans i kanalen. /14/

2.5.5 Dubbelriktad brytare

Då man använder växelspanningar kräver det att man kan hantera både positiva och negativa spänningar, det kräver dubbelriktad brytarförmåga. Som tidigare nämnts kan en IGBT-transistor endast hantera framspänningar, då kan man med hjälp av dioder bygga olika konfigurationer av dubbelriktade brytare. En konfiguration är med två IGBT-transistorer och två dioder antiparallellt, det finns två olika versioner av denna konfiguration: gemensam kollektor CC (figur 12 a) och gemensam emitter CE (figur 12 b), namnen beskriver hur IGBT-transistorerna är kopplade i förhållande till varandra.



Figur 12. Strömriktningen i de olika dubbelriktade brytarna./14/

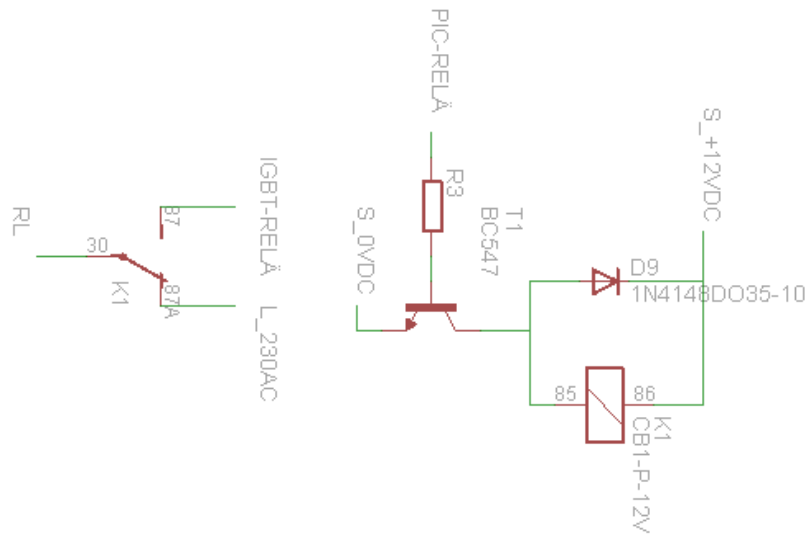
Den konfiguration som valts till detta projekt består av en IGBT-transistor och en diodbrygga (figur 12 c), fyra dioder i en så kallad bryggkoppling. Denna konfiguration har större förluster än de tidigare nämnda då det blir ett spänningsfall över två dioder i stället för en, men konfigurationen med en IGBT-transistor och en diodbrygga har mindre fysisk storlek och styrkretsen är enklare när det är endast en IGBT-transistor att styra i stället för två stycken.

De ovan nämnda konfigurationerna är de konventionella sätten att använda IGBT-transistorer men de senaste åren har det kommit en ny typ av IGBT-transistor ut på marknaden: en IGBT-transistor som kan blockera backspänningar, RB-IGBT. En dubbelriktad brytare kan byggas med två stycken RB-IGBT-transistorer utan några dioder (figur 12 d) och på detta sätt eliminera de förluster som annars uppstår vid spänningsfall över dioderna i de konventionella konfigurationerna. Denna nya typ av IGBT-transistor är ännu inte allmänt tillgänglig på marknaden. /14/

2.6 Relästyrning

När effektregeringen är färdig skall slutsteget med IGBT-transistorn förbikopplas och nätets 230 VAC skall kopplas direkt till värme-elementet. Detta sker genom att använda ett relä som kopplar strömmen förbi slutsteget (figur 13).

Reläet är en elektromagnetisk komponent som är elektriskt styrt och kopplar genom att mekaniskt koppla ihop ledaren för strömmen att gå igenom. Reläet i värmeregulatorn är ett växlande relä som växlar mellan två lägen. När värmeregulatorn kopplas på av styr-signalen från klockan som styr nattströmspåkopplingen, skickar mikroprocessorn en styrsignal till NPN-transistorn som gör att reläet drar. Så länge värmeregulatorn kör igenom sin uppvärmningsramp hålls reläet draget och belastningen får sin spänningsmatning från värmeregulatorn. När värmeregulatorn kört igenom hela uppvärmningsrampen kopplas strömmen bort från lindningen i reläspolen, då körs belastningen med 230 VAC direkt från elnätet.



Figur 13. Detaljerad beskrivning av reläkretsen.

Idén med att använda ett relä är att styra en belastning med en låg styrsänning eller ström. Styrsignalen till reläet kommer från PIC-mikroprocessorn, signalen är 5 VDC och förstärks till 12 VDC med en transistorkrets. Eftersom reläets dragpole är en induktiv belastning krävs det en diod för att kortsluta den tillbakarusande strömmen från lindningen då strömmen kopplas bort från reläet.

3 EFFEKTRGLERING

Värmeregulatorns uppgift är att reglera värmen som produceras av ett värme-element, elementet kan vara en varmvattenberedare, golvvärmeslinga i ett magasinande golvvärmesystem eller ett vanligt konvekterande värme-element som värmer luften direkt. Att reglera den värme som produceras av ett elektriskt värme-element sker genom att begränsa strömmen som matar elementet och på det sättet minskas effekten som omvandlas till värme.

Den metod som använts i detta arbete bygger på att klippa strömmen och bygger på PWM-teknik, där man hackar upp den inkommande strömmen och på det sättet begränsar strömmen. Det betyder att värme-elementet kopplas på och av med en viss hastighet och genom att koppla på och av kan man reglera effekten. På- och avkopplingen sker så snabbt att den styrda apparaten inte urskiljer det utan uppfattar det som ett medelvärde.

I denna värmeregulator är pulsbreddsmoduleringen utförd så att växelströmmens sinusvåg belastas symmetriskt, det betyder att belastningen kopplas på och av på varsin sida om sinusvågens topp. Tiden hur länge belastningen är kopplad bestämmer hur mycket effekt som matas till värme-elementet. Med denna regulator kan effekten ställas mellan 10 % och 90 %.

3.1 Verkningsgrad

Med verkningsgrad menar man förhållandet mellan den energi som ett system producerar och den energi systemet förbrukar, där den optimala verkningsgraden är 1. I praktiken är en verkningsgrad på 1 omöjlig att uppnå. Regulatorn har konstruerats med utgångspunkt i att verkningsgraden är så hög som möjligt. Därför används bara en IGBT-transistor, men en 4-dioders diodbrygga är då nödvändig för att likrikta strömmen till transistorerna. Dock har dioder små förluster jämfört med IGBT-transistorerna, och därför påverkas verkningsgraden inte särskilt mycket av användning av likriktardioder.

Eftersom regulatorn dock arbetar bara en kort tid varje gång nattströmmen kopplas på har dess verkningsgrad inte någon väsentlig betydelse i praktiken. Viktigare är att den

håller ström och spänning så bra i samma fasläge som möjligt. Detta minskar störningar i elnätet och optimerar energiförbrukning, detta beskrivs närmare i nästa kapitel.

3.2 Fasförskjutning

I växelströms kretsar använder man termen effektfaktor som är ett mått på hur mycket strömmen och spänningen i en fas är fasförskjutna sinsemellan samt förhållande mellan den aktiva effekten och skenbara effekten. Detta är en annan sak än verkningsgrad men ur nätets synvinkel minimeras strömmen i ledarna om fasförskjutning inte förekommer.

Fasförskjutningen definieras som vinkeln \cos som representerar fasförskjutningen mellan ström och spänning eller som effektfaktorn som är ett förhållande mellan den aktiva effekten och reaktiva effekten. Effektfaktorn kan variera mellan 0 och 1 och kan vara antingen induktiv eller kapacitiv. När strömmen och spänningen är i fas, är effektfaktorn 1, \cos för 0° är 1 och denna definition av effektfaktorn gäller endast när ström och spänning är ideala sinusformade vågor./10/

Induktiv fasförskjutning orsakas av bland annat växelströmsmotorer och drosslar i lysrörsarmaturer. För att minska en induktiv fasförskjutning kan kondensatorer användas för att kompensera fasförskjutningen.

Idén med att kompensera fasförskjutningen är att skapa en belastning som ser rent resistiv ut från elnätets synvinkel, det betyder att den induktiva reaktiva effekten är lika stor som den kapacitiva reaktiva effekten. De flesta apparater kopplade till elnätet förbrukar förutom aktiv effekt (P) också reaktiv effekt (Q), sådana apparater är bland annat motorer, urladdningslampor och transformatorer. Den skenbara totaleffekt som behövs kan tas från det matande elnätet eller så kan man använda lokal kompenseringsutrustning för att minska behovet av skenbar effekt. Den skenbara effekt som tas från elnätet produceras av generatorerna i kraftverken och medför större ström i elnätets ledare./11/

Den skenbara effekten orsakar förluster i elnätets överföringslinjer och transformatorer samt minskar kapaciteten att överföra aktiv effekt. Kompensering av skenbar effekt är därför mest kostnadseffektivt att göra hos kunden som orsakar den.

Den reaktiva effekten kan inte jämföras med den aktiva effekten i energihandeln. Avgiften för att förbruka reaktiv effekt är av typ vite, som används för att styra kunden att använda utrustning för att kompensera fasförskjutningen och minimera den reaktiva belastningen av elnätet./16/

3.3 Distorsion

Distorsion är inom elteknik en typ av störning i signaler som orsakas av olika skäl. Det betyder att den ursprungliga vågformen ändras och detta leder till störningar. Inom kraftelektronik är det vanligtvis övertoner som avses med distorsion, övertoner som sprider sig i elnätet orsakar störningar och förluster. Apparater som inte direkt använder rent sinusformad spänning och ström är typiska källor för distorsion. Särskilt då nätspänningen regleras med hackande brytare uppstår betydande distorsion.

3.4 Effektfaktor

I dagens läge har de flesta apparater ett nätaggat som försör apparaten med den spänning och ström den behöver för att fungera. I nätaggatet finns oftast en likriktare eller frekvensomvandlare som klipper den inkommande strömmen för att reglera den till rätt nivå. När man klipper strömmen uppstår det distorsion av vågformen och detta påverkar effektfaktorn./15/

När spänningen är sinusformad och strömmen inte är det består effektfaktorn av två faktorer: fasförskjutningen av strömmen och distorsionen av strömmens sinusvåg. När effektfaktorn inte är 1 är vågformen för strömmen olik vågformen för spänningen, detta leder inte bara till effektförluster utan det kan också uppstå harmoniska övertoner som sprider sig i elnätet och kan orsaka störningar i andra apparater kopplade till samma elnät. Ju närmare 1 effektfaktorn är desto lägre är effekten i övertonerna och de orsakar mindre störningar.

Effektförlusterna som uppstår är i form av värme och då man styr ett värme-element är det inte ett problem eftersom man vill omvandla all energi till värme. De är endast de övertoner som sprider sig i elnätet som kan orsaka problem, i ett resistivt värme-element förvandlas övertonerna endast till värme./17/

4 PROGRAMMERING AV MIKROKONTROLLER

Microchip erbjuder en programmeringsmiljö i vilken det går att skriva kod till PIC-mikrokontrollers. Programmeringsmiljön heter MPLAB X IDE och är det nyaste programmeringsprogram som Microchip erbjuder. Det fungerar i Windows pc-datorer som har operativsystemet XP eller nyare, programmet körs i 32-bit-mode. Microchip erbjuder MPLAB X IDE-programmet gratis och går lätt att ladda ner från Microchips hemsida.

Programmeringsmiljön är avsedd att användas för att skriva program till PIC-mikrokontrollers, programmet kan skrivas i C-kod eller också i assemblerkod för PIC-mikroprocessorer. När programmet skall skrivas till mikroprocessorn måste det först omvandlas till HEX-kod och detta görs med hjälp av en kompilare.

En kompilare är ett verktyg som omvandlar programmet till HEX-kod som sedan med hjälp av programmeraren skrivs till PIC-mikroprocessorn. Det finns olika kompilare beroende på i vilket språk programmet har skrivits. Programmet till värmeregulatorn är skrivet i C-kod, och Microchip erbjuder en gratisversion av en C-kompilare. När man kompilerar sin kod berättar programmet om det finns något fel i koden och i så fall var felet är. Då är det lätt att korrigera felen i stället för att köra koden till mikroprocessorn och först då upptäcka eventuella fel i programmet.

4.1 Programmet för värmeregulatorn

Programmet är gjort så att när strömmen kopplas till värmeregulatorn är den i vänteläge och känner av när första nollgenomgången sker. Då startar programmet och börjar räkna nollgenomgångar. Programmet har ingen klocka som håller reda på hur länge värmeregulatorn skall köra igenom sin uppvärmningsramp, utan mikroprocessorn räknar enbart nollgenomgångar. Då värmeregulatorn matas med 230 VAC med en frekvens på 50 Hz betyder det att det sker en nollgenomgång med 10 ms mellanrum. Det betyder att efter 120 000 nollgenomgångar har det gått 20 minuter och värmeregulatorn kan koppla om reläet. Ramptiden kan ställas genom att ändra parametern som håller reda på nollgenomgångarna.

PWM-signalen styrs av en variabel som ökar med antalet nollgenomgångar, det betyder att i början av uppvärmningsrampen kopplas värme-elementet på endast en kort tid och värmeeffekten är liten. Tiden för vilken värme-elementet är påkopplat ökar när parametern som räknar nollgenomgångar blir större och då ökar värmeeffekten i elementet. Efter 20 minuter när uppvärmningsrampen nått sin topp är programmet färdigt, nästa gång värmeregulatorn kopplas på upprepas samma procedur.

4.2 Programkoden

Koden är skriven i C-kod som är ett programmeringsspråk, koden är indelad i fem delar. Första delen är den där parametrar som vilken frekvens mikroprocessorn skall arbeta med och vilka stift som är utgångar och vilka som är ingångar bestäms. Här definieras också några globala variabler som används för att räkna nollgenomgångar (bilaga 3).

Andra delen i koden är den del som detekterar nollgenomgångarna. Till detta används en avbrottsfunktion, som känner av när stiftet som används för att detektera nollgenomgångar ändrar från låg till hög eller tvärtom. Varje gång stiftet för detektion av nollgenomgång byter tillstånd avbryter programmet allt annat och kör processen för en detekterad nollgenomgång. I det ingår också att göra sig redo för nästa nollgenomgång och efter det återgå till huvudfunktionen.

Huvudfunktionen i koden är uppdelad i två delar, en del för att ställa in alla funktioner för mikroprocessorn där man definierar hur avbrottsfunktionen styrs och vilka variabler som används inom huvudfunktion och den andra delen är själva huvuddelen. Till första delen hör också en fördröjnings funktion som tillåter resten av kretsen att starta före uppvärmningsrampen körs.

Andra delen av huvudfunktionen är den där koden kör en loop och väntar på en att en nollgenomgång skall ske. När avbrottsfunktionen för detektion av en nollgenomgång har signalerat att en nollgenomgång ägt rum kör huvudfunktionen igenom sin rutin som räknar nollgenomgångar och ställer värdet för PWM-styrningen. Huvudfunktionen styr också reläet som kopplar bort värmeregulatorn och matar värme-elementet direkt med 230 VAC.

Den sista delen i koden är en del där PWM-styrningen skrivs till utgången som styr drevkretsen och slutsteget. Detta är en funktion som påkallas av huvudfunktionen. Detta sker efter att huvudfunktion har bestämt i vilket skede av uppvärmningsrampen regulatorn befinner sig. Ett utdrag ur kan se ut på följande sätt.

```

OPTION_REGbits.INTEDG = 0; // RA2 interrupts on rising edge

LEDflag = 0; // Nollställ flagga för nollgenomgångar
RC4 = 1; //Koppla relät till värmeregulator styrning
_delay(50); //Vänta att reläet kopplat

while(1)
{
    if (LEDflag) //Vänta på nästa nollgenomgång
    {
        y1 = 43 - Switch_Count2; //Räkanr ut bredden på PWM signalen
        y2 = 47 + Switch_Count2; //Räkanr ut bredden på PWM signalen
        Output(); //Hoppa till funktion som kör utgången
        Switch_Count1 ++; //Öka på variabel som räknar hur många gånger ett steg körts
        if (Switch_Count1 == 4800) //Varje steg i rampen körs igen ett visst antal gånger
        {
            Switch_Count1 = 0; //Nollställer variabeln
            Switch_Count2 ++; //Ökar variabeln för att flytta till nästa steg i rampen
        }
        if (Switch_Count2 == 25) //När värmrampen är färdig
        {
            RC4 = 0; //Kopplar reläet till direkt drift
            INTCONbits.GIE = 0; // Global Interrupt Enable
        }
        LEDflag = 0; //Nollställer flaggan för nollgenomgång
    }
}

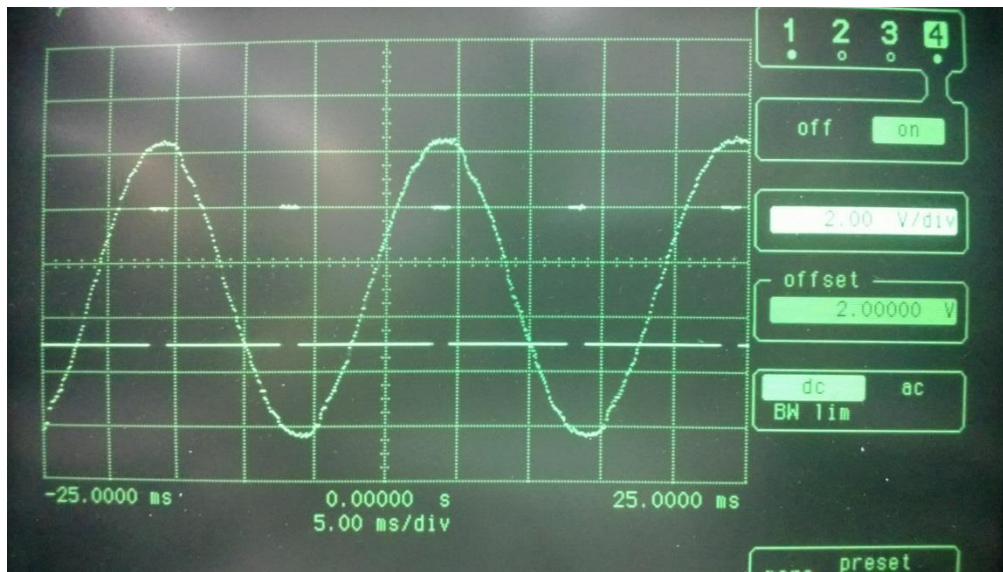
```

Figur 14. Exempel på kod för PIC-mikrokontroller.

5 TEST

Testning av värmeregulatorn utfördes i Arcadas elkraftslaboratorietrymmen. Målet med testkörningen var att se om värmeregulatorn fungerade enligt specifikationerna. Värmeregulatorn skall klara av 230 VAC och en belastning på 10 A. Regulatorn kördes med en stigande ramp börjande från 10 % upp till 90 % med en ramptid på 20 minuter (bilaga 1).

Som belastning vid testet användes ett ställbart motstånd, som är rent resistivt och motsvarar elektriskt sett ett värme-element. Belastningsmotståndet kan ställas enligt önskad belastning vid 230 VAC med en halv ampères steg. Strömmen genom belastningsmotståndet mättes med ett seriekopplat shuntmotstånd och ett oscilloskop, med vilket man också kunde undersöka vågformen och om belastningen kopplades på och av i fas med elnätets sinusformade matningsspänning (figur 15).



Figur 15. Uppmätning av styrningen till drivern med oscilloskop.

Värmeregulatorn klarade testet, men ledningsförluster som uppstår i IGBT-transistorer och i likriktarbryggan orsakar värme som kräver att man har tillräcklig kylning, detta kan eventuellt orsaka problem då regulatorn är tänkt att byggas in i elcentraler. Övertoner som orsakas av att regulatorn klipper strömmen kan orsaka resonanser i belastningen, speciellt vid full belastning kan detta orsaka ljudstörningar om värme-elementen är placerade i bebodda utrymmen. Däremot torde detta inte vara något problem i varmvattenberedare och magasinierande elvärmesystem där värme-elementen befinner sig i vatten eller ingjutna i golvytorna.

Kylningen kan förbättras om konstruktionen görs så att värmen kan avledas till stomkonstruktionen, t.ex. den DIN-skena som regulatorn är tänkt att monteras fast i. Ett annat alternativ är att förses regulatorn med en egen tillräckligt stor kylfläns, men då förutsätts att monteringsutrymmet är tillräckligt stort, vilket kan vara ett problem om elcentralsskåpet inte har extra utrymme. Om regulatorutrustningen måste placeras separat behövs extra kablage och monteringen blir mer komplicerad, vilket är kostsamt och opraktiskt.

6 SLUTORD

Detta examensarbete har varit ett mycket givande, lärorikt och intressant projekt att arbeta med. Arbetet började med att bekanta sig med de tidigare arbeten som gjorts inom samma projekt. Eftersom det gjorts flera arbeten var det mycket material att studera för att inte behöva göra något som redan testats. Nästa steg var att studera det som gjorts inom samma område på annat håll men inget relevant hittades.

Andra skedet var att bestämma vad av de tidigare arbetena som kunde användas och vad som skulle planeras på nytt. Idén med projektet var att kombinera tidigare arbeten för att bygga en fungerande helhet men det visade sig att det inte var den bästa lösningen, utan det fanns orsak att planera en ny och förenklad styrkrets. Planering av slutsteget var också en sak som måste göras för att bygga en fungerande helhet. Ett problem med den tidigare styrkretsen var strömförsörjningen. Det var en bra utgångspunkt för resten av projektet, några olika lösningar testades tills en fungerande lösning hittades.

Nästa steg var bekanta sig med programmering av mikroprocessorn. Eftersom processorn var av annan tillverkare än de som prövats i tidigare arbeten började programmeringen från noll. Programmeringen var en stor del av projektet, programmet byggdes stegvis i små steg. Allt eftersom programmeringen framskred planerades följande del av projektet. Programmet som styr mikroprocessorn är en del där det finns utrymme för vidare utveckling och optimering.

Nästa steg i utvecklingen var att koppla ihop den nya styrkretsen med en driverkrets och slutsteg vilket var huvudmålsättningen med detta arbete. Val av komponenter visade sig var tidskrävande och flera olika lösningar testades för att finna bra lösningar.

I början av projektet var det meningen att en färdig värmeregulator skulle testas i en elcentral men prototypen är byggd på en kopplingsplatta och har endast testats i laboratorieförhållande. Värmeregulatorn fungerar enligt specifikationerna i laboratorieförhållanden men, för att testas i en elcentral bör ett kretskort byggas och en lämplig låda väljas med utrymme för kylelementet som IGBT-transistorn behöver för att kunna arbeta med full belastning.

Vid test av regulatoren visade det sig att värmeförluster i IGBT-transistorer och i likriktar bryggan eventuellt kan orsaka problem om regulatoren skall installeras i trånga utrymmen. Ett annat problem som kan uppstå är resonansljud i belastningen som uppstår av övertonernas varierande magnetfält.

Detta arbete har byggts och testats i Arcadas elkraftslaboratorieutrymmen. I arbetet och under testkörning har det använts oscilloskop för att mäta olika vågformer och strömmar med hjälp av shuntmotstånd, olika multimetrar för mätning av spänningar och strömmar. Ett annat viktigt instrument vid mätningarna var effektmätaren i laboriebordet.

Vidareutveckling av värmeregulatoren skulle vara att planera och bygga ett kretskort och en låda för att kunna installera den i en elcentral. Jämfört med de tidigare versionerna har den här regulatoren färre komponenter och det finns möjlighet att bygga ett så kompakt kretskort och låda att den skulle gå att installera på en DIN-skena i en el central. Därmed har projektet nått sitt mål ur funktionell synvinkel, men en riktig kommersiell version kräver ännu ett visst utvecklingsarbete.

KÄLLOR

- /1/ Effektregulator för magasinering av elvärme, Colliander Anders. Examensarbete 3613 Arcada. 2011.
- /2/ Slutsteg för effektregulator, Casimir Skogberg. Examensarbete 3755 Arcada. 2012.
- /3/ PWM effektregulator för värmesystem, Niklas Rouhiainen. Examensarbete Arcada. 2006.
- /4/ Effektregulatorutveckling, Jan Jokinen. Examensarbete 1957 Arcada. 2007.
- /5/ Effektreglering av värme-element, Harri Pulkkinen. Examensarbete 2028 Arcada. 2008.
- /6/ Kretskortsutveckling, Kim Saares. Examensarbete 2317 Arcada. 2011.

- /7/ PIC microcontroller, Wikipedia. Hämtad 13.5.2013.
http://en.wikipedia.org/wiki/PIC_microcontroller

- /8/ PICmicro™ Mid-Range MCU Family Reference Manual. Microchip Technology Inc. 1997. Hämtad 10.6.2013.
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/33023a.pdf>

- /9/ PICkit, Wikipedia. Hämtad 13.5.2013
<http://en.wikipedia.org/wiki/PICKit>

- /10/ MOSFET/IGBT DRIVERS THEORY AND APPLICATIONS. Abhijit D. Pathak. 2001. Hämtad 20.5.2013.
<http://www.ixys.com/Documents/AppNotes/IXAN0010.pdf>

- /11/ Zero crossing, Wikipedia. Hämtad 20.5.2013
http://en.wikipedia.org/wiki/Zero_crossing

- /12/ Interfacing to ac power lines. Microchip Technology Inc. 2002. Hämtad 20.5.2013.
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00521c.pdf>

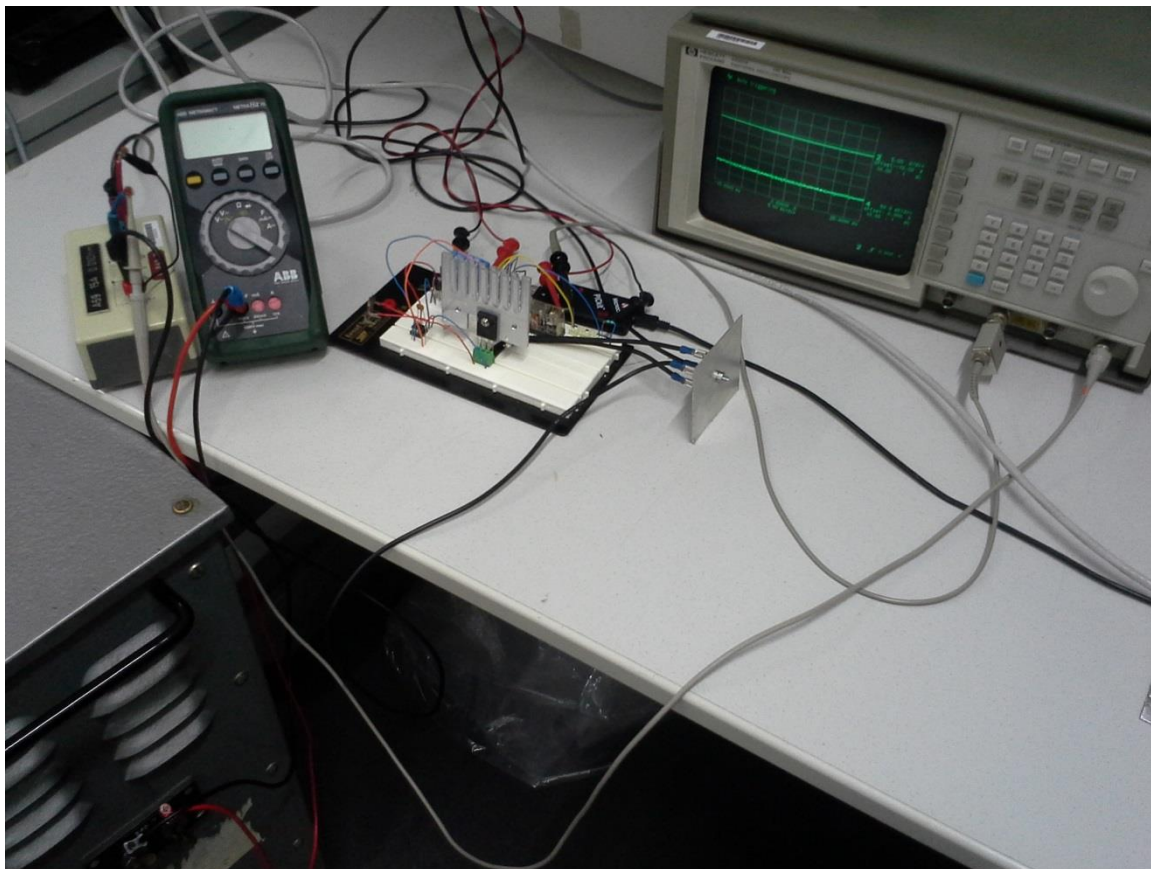
- /13/ X-10® Home Automation Using the PIC16F877A. Microchip Technology Inc. 2010. Hämtad 20.5.2013.
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/appnotes/00236a.pdf>

- /14/ New switching pattern for AC/AC converters with RB-IGBTs for offshore wind parks. Anne Berit Mogstad. 2008. Hämtad 20.5.2013.
<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:348660/FULLTEXT01.pdf>
- /15/ Power Factor Correction (PFC) Basics. Fairchild Semiconductor Corporation. 2004. Hämtad 29.6.2013.
<http://www.fairchildsemi.com/an/AN/AN-42047.pdf>
- /16/ Loistehon hinnoittelu- ja kompensointiohje. Tampereen Sähköverkko Oy. 2012. Hämtad 2.7.2013.
https://www.tampereensahkolaitos.fi/sahkoverkkopalvelut/sahkoverkkoonliittymien/TSV-urakoitsijalle/Documents/Loistehon%20hinnoittelu-%20ja%20kompensointiohje%20TSV_01-12-2012_internet.pdf
- /17/ Power Electronics: Devices and Circuits, V. Jagannathan. PHI Learning Pvt. Ltd., 2011. Sida 171.

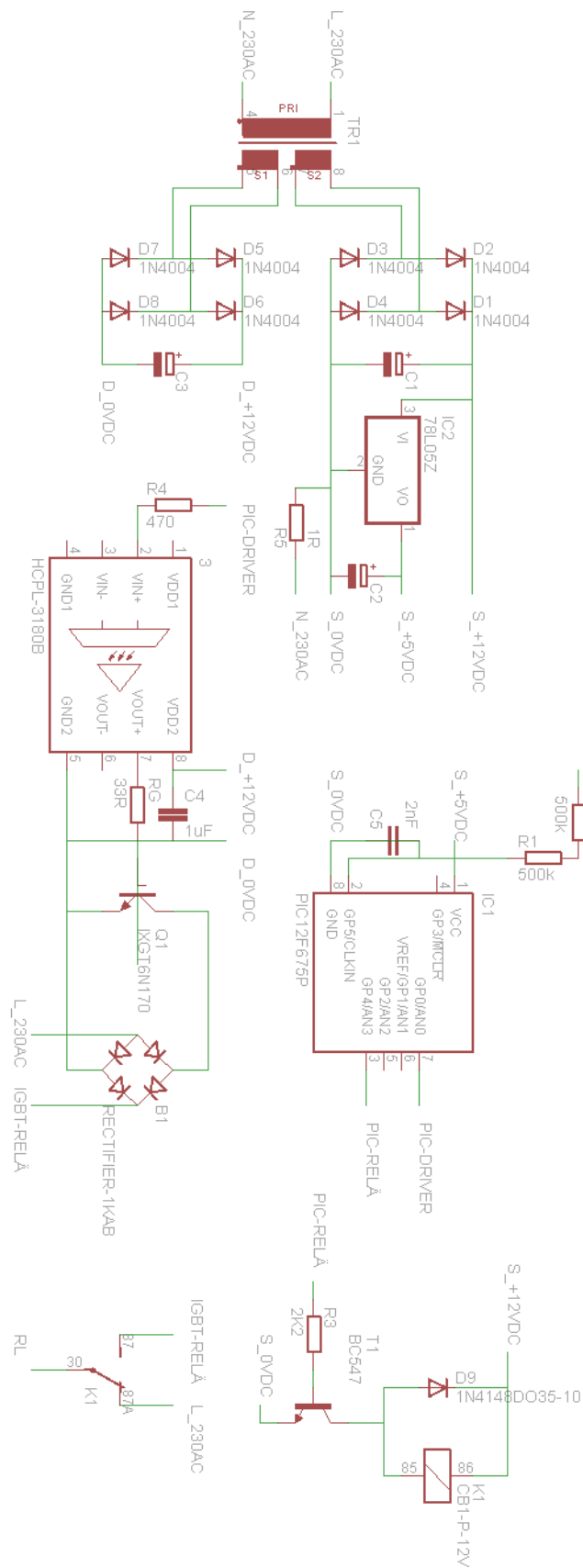
Bilagor

Bilaga 1.

Testmiljö.



Krettschema.



Programkoden för PIC-mikrokontrollern.

```

#include <xc.h>
#pragma config WDTE = OFF      //Watchdog timern är avstängd
#define _XTAL_FREQ (4000000)
#define UT      PORTCbits.RC0 //RC0 är utgång

char volatile LEDflag;        // Flagga för detektion av nollgenomgång
int Switch_Count1 = 0;        // Variabel för att räkna längden på rampen
char Switch_Count2 = 0;        // Variabel för att räkna PWM bredden
char x = 0;                   // Variabel för uträkning av PWM bredd
char y1 = 0;                   // Variabel för värdet då belastning kopplas på
char y2 = 0;                   // Variabel för värdet då belastning kopplas av

void Output (void);           // Utgången

void interrupt ISR (void)     // Avbrottsfunktion för detektion av nollgenomgångar
{
    if (INTCONbits.INTE && INTCONbits.INTF) // Om en nollgenomgång detekterats
    {
        {
            INTCONbits.INTF=0; // Nollställ flagg bitten för ZCD
            OPTION_REGbits.INTEDG = ~OPTION_REGbits.INTEDG; // Byter mellan
detektion på stigande och sjunkande flank
            LEDflag = 1; // Flaggan för detekterad nollgenomgång aktiveras
            return; // Återgå till huvudfunktionen
        }
    }
}

void main (void) // Huvudfunktionen
{
    OSCCON = 0b011000010; // Fosc = 4MHz
    ANSEL = 0x0; // Allt är digitalt I/O
    TRISA = 0x04; // Alla är utgångar förutom RA2
    PORTC = 0x00; // Tömmer PortC
    TRISC = 0x00; // Alla är utgångar
    INTCONbits.GIE = 1; // Global Interrupt Enable
    INTCONbits.INTE = 1; // RA2 external interrupt enable
    INTCONbits.INTF = 0; // RA2 external interrupt flag
    OPTION_REGbits.INTEDG = 0; // RA2 interrupts on rising edge

    LEDflag = 0; // Nollställ flagga för nollgenomgångar
    RC4 = 1; //Koppla relät till värmeregulator styrning
    _delay(50); //Vänta att reläet kopplat

while(1)
{

```

```

if (LEDflag)          //Vänta på nästa nollgenomgång
{
    y1 = 43 - Switch_Count2;    //Räknar ut bredden på PWM signalen
    y2 = 47 + Switch_Count2;    //Räknar ut bredden på PWM signalen
    Output();                  //Hoppa till funktion som kör utgången
    Switch_Count1 ++;          //Öka på variabel som räknar hur många gånger ett
    steg körts
    if (Switch_Count1 == 4800)   //Varje steg i rampen körs igen ett visst antal
    gånger
    {
        Switch_Count1 = 0;      //Nollställer variabel
        Switch_Count2 ++;       //Ökar variabeln för att flytta till nästa steg i rampen
    }
    if (Switch_Count2 == 25)     //När väremerampen är färdig
    {
        RC4 = 0;                //Kopplar reläet till direkt drift
        INTCONbits.GIE = 0;     // Global Interrupt Enable
    }
    LEDflag = 0;                //Nollställer flaggan för nollgenomgång
}
}

```

```

void Output (void)    //funktion för att skriva till utgången
{
    do
    {
        if (x == y1)    // Kopplar på belastningen
            UT = 1;

        if (x == y2)    // Kopplar av belastningen
            UT = 0;
        x++;
    } while (x < 90);    // En halv vågs längd
    x = 0;
}

```