

## **Examensarbete**

# **Effektregulator för magasinering elvärme**

Anders Colliander

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Utbildningsprogram:	Elektroteknik
Identifikationsnummer:	3613
Författare:	
Arbetets namn:	Effektregulator för magasinering elvärme
Handledare (Arcada):	DI Kim Rancken
Experthandledare	Ing. Harri Anukka
Uppdragsgivare:	Nylands svenska yrkeshögskola - Arcada
<p>Sammandrag:</p> <p>Avhandlingens syfte är att framställa en kretsprototyp som skall reglera effekten till olika elvärmeapparat. Meningen är att effektregulatorn installeras i varje hushåll som har elvärme som primär uppvärmning. Effektregulatorn kommer att fördröja effektpiken som uppkommer vid skifte mellan dag- och natttariffen. Elbolagen kommer att ha nytta av denna krets och den skulle installeras i hushållen på deras begäran, på detta sätt skulle de kunna garantera en jämnare elproduktion.</p> <p>Arbetet påbörjades med att analysera ett tidigare arbete som byggde på en idé med samma funktionsprincip och gjordes av Kim Saares, och det handlar om kretskortutveckling.</p> <p>I detta arbete ser man hur ett kretskort planeras och framställs med hänsyn till den tidigare kretsens svagheter. I ett tidigt skede beslöts det att kretsen måste byggas på nytt och använda sig av en annan teknik.</p> <p>Den nya tekniken i effektregulatorn är en PIC-mikrokontrollerteknologi. I arbetet kommer man fördjupa sig i dess egenskaper och funktion hos denna krets.</p> <p>När man valt passlig mikrokontroller och bestämt funktionsprincipen, påbörjades kretskortsplaneringen med ett datorprogram var man valde de övriga komponenterna till kretsen som skall garantera dess funktion.</p> <p>Programmeringen av mikrokontrollern gjordes på en dator var man även simulerade PIC-kretsens funktion. I arbetets sista del etsade man ett kretskort och lödde fast komponenterna, sedan kördes programmeringskoden in i PIC-mikrokontrollern och kretsen testades.</p>	
Nyckelord:	PIC- mikro kontroller, PWM, PCB
Sidantal:	36
Språk:	Svenska
Datum för godkännande:	

DEGREE THESIS	
Arcada	
Degree Programme:	Elektroteknik
Identification number:	3613
Author:	Anders Colliander
Title:	Effektregulator för magasinering av elvärme
Supervisor (Arcada):	DI Kim Rancken
Expertsupervisor:	Ing. Harri Anukka
Commissioned by:	Nylandssvenska kyrkeshögskola - Arcada
<p>Abstract:</p> <p>The purpose of this thesis was to build a circuit prototype that will regulate the input power to electrical heating systems. The idea is to install the power regulator to every household which has electricity as the main heating source. The power regulator will make a delay to the power peak that occurs in the transition between day- and night electricity. The electricity companies would have the biggest benefits of this system and it would be for them to install it to every household, this could guarantee a smooth electricity production. The thesis begins with an analysis of an older thesis with the same purpose made by Kim Saares ("krets-kortsutveckling"). In this thesis is presented how a circuit is planned and produced by improving the old circuit's weaknesses. It was already in the early beginning decided that the circuit had to be redone, using a different technology.</p> <p>The new technology in the power regulator is using a PIC-microcontroller integrated circuit. The thesis will deepen into the microcontroller's features and function in the power regulator circuit. When the correct microcontroller was chosen for the circuit the circuit planning started with computer software where all the other components were chosen. The coding was done on a computer and even the simulation of the microcontroller function was to be done. The last part of the thesis was showing the manufacturing of the printed circuit board where all the components were soldered. The code was then downloaded into the microcontroller and the power regulator circuit was tested.</p>	
Keywords:	Micro controller, PWM, PCB
Number of pages:	36
Language:	Swedish
Date of acceptance:	

# INNEHÅLL

## SAMMANDRAG

## ABSTRACT

## FÖRORD

<b>1</b>	<b>INLEDNING</b> .....	<b>7</b>
1.1	Idén med nattströms tariff.....	8
1.2	El kvaliteten .....	9
1.3	Effektregulatorn .....	9
1.4	Målsättning .....	11
<b>2</b>	<b>EFFEKTREGULATORNSFUNKTION</b> .....	<b>12</b>
2.1	Problematiken med en potentiometer .....	14
<b>3</b>	<b>MIKROKONTROLLER</b> .....	<b>15</b>
3.1	Mikokontrollern i Effektregulatorn .....	16
3.2	Picaxe Mikrokontroller .....	16
<b>4</b>	<b>STRÖMFÖRSÖRJNINGEN</b> .....	<b>18</b>
4.1	ZCD-kretsen .....	19
4.2	Likriktarkretsen .....	20
4.3	Spänningsregulator modell 78L05.....	21
4.4	Picaxe-08M.....	22
4.5	Effektregulatorkretsen i sin helhet .....	25
<b>5</b>	<b>PICAXE PROGRAMMER EDITOR</b> .....	<b>26</b>
5.1	Flödesschema i Picaxe-08M kretsen .....	29
5.2	Programmeringskoden i Picaxe-08M .....	31
<b>6</b>	<b>EAGLEPROGRAMMETFÖRPLANERINGAVKRETSKORT</b> .....	<b>33</b>
6.1	Etsning.....	34
6.2	Den färdiga kretsen .....	35
<b>7</b>	<b>SLUTORD</b> .....	<b>36</b>
	<b>KÄLLOR</b> .....	<b>38</b>

## Figurer

Figur 1. Nattströmmens påkoppling påverkar elförbrukningen klockan 22:00.....	8
Figur 2. Effektregleringens funktionsidé.....	10
Figur 3. Sinusvåg.....	12
Figur 4. Fyrkantvåg skapad av ZCD-kretsen. ....	13
Figur 5. En mikrokontroller med åtta ben. ....	15
Figur 6. Effektregulatorns kretskortstransformator.....	18
Figur 7. ZCD-kretsschema. ....	19
Figur 8. Likriktarkretsschema. ....	20
Figur 9. Spänningsregulator kretsschema. ....	21
Figur 10. Anslutningar till en mikrokontroller Picaxe-08M. ....	22
Figur 11. Picaxe-08M kretsschema.....	23
Figur 12. Effektregulatorns kretsschema i sin helhet. ....	25
Figur 13. Picaxe Programmer Editor.....	26
Figur 14. Programmerings kabel med integrerad drivrutin.....	27
Figur 15. Simulationsfunktionen i Picaxe Programmer Editor. ....	28
Figur 16. Flödesschema för arbetskoden i Picaxe-08M. ....	29
Figur 17. Första delen av programmeringskoden.....	31
Figur 18. Andra delen av programmeringskoden.....	32
Figur 19. Kretskorts modellen.....	33
Figur 20. Färdigt etsat kretskort. ....	34
Figur 21. Den färdiga effektregulatorn, audiouttaget syns till höger. ....	35

## FÖRORD

Detta examensarbete är initierat av Nylands svenska yrkeshögskola Arcada. Arbetet går ut på att vidareutveckla en steglös effektregulator utgående från tidigare examensarbeten gjorda av Jan Jokinen, Niklas Rouhianen, Harri Pulkkinen och Kim Saares. Detta arbete kommer att fortsätta utvecklingen av effektregulatorn med utgångspunkt från Kim Saares arbete. Jag kommer att granska den nuvarande effektregulatorns funktion och utgående från den förbättra dess funktion och bygga en ny.

Jag vill tacka alla nära och kära som stött mig i denna process samt tacka handledaren DI Kim Rancken och laboratorieingenjören Harri Anukka vid Arcada.

Helsingfors den 12.12.2011

---

Anders Colliander

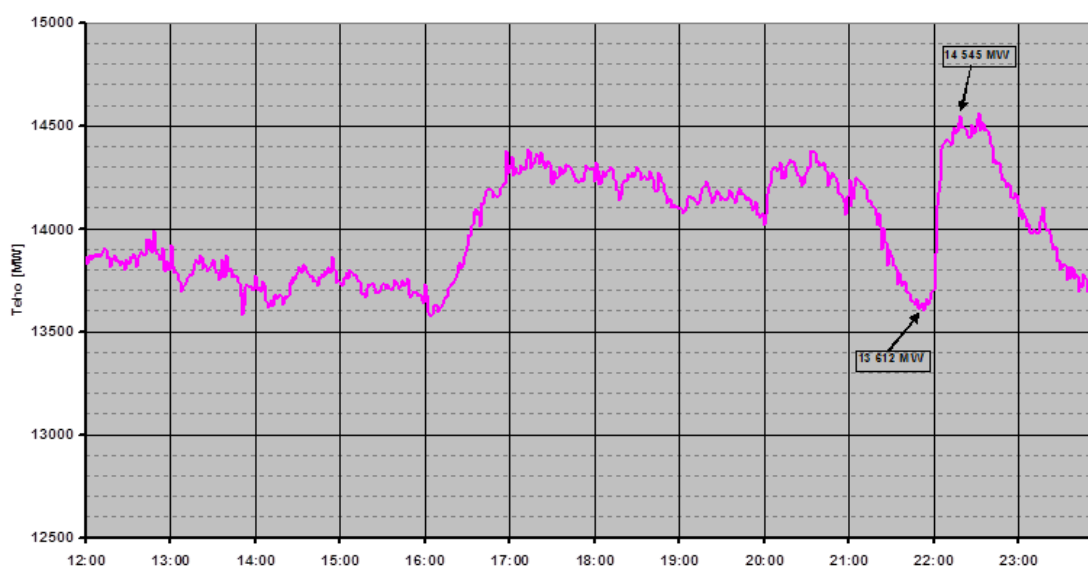
# 1 INLEDNING

Detta examensarbete går ut på att vidareutveckla tidigare examensprojekt som haft som målsättning att utjämna effektförbrukningen vid skiftet mellan dag- och natttariffen. När natttariffen slår på är det en stor mängd hushålls- och värmeapparater som slås på samtidigt. Detta ger upphov till en mycket starkt ökad strömförbrukning inom ett mycket kort tidsintervall som orsakar en stor belastning för stamelnätverket samt elkraftverken. Den plötsliga ökningen av elkonsumtionen är den kritiska delen som detta arbete skall minimera och utjämna.

De tidigare arbetena har fungerat teoretiskt och har fysiska mått som gör det lätt att installera i elskåp hos privathushåll. Arbetena har dock haft stora nackdelar som gjort att de inte går att användas i normalt bruk. Detta arbete kommer att analysera den tidigare kretsen och förbättra dens svagheter.

## 1.1 Idénmednattströmstariff

Elföretagen lockar användare av el nattetid med hjälp av sänkta priser på kW-timmar även kallad nattström. Problemet med nattströmstariffen är speciellt utmaningarna vintertid i glesbygdsområden. I glesbygdsområden använder sig majoriteten av invånarna av elvärme som den primära uppvärmningen av hushållen. Elbolagen vill utjämna elkonsumtionen så mycket som möjligt under dygnet för att upprätthålla en jämnare elproduktion. Natttariffen slår på oftast klockan 22:00 vilket har lett till att konsumenterna kopplar värmen på samtidigt. Eluppvärmda hus använder sig till stor del av magansinerande elvärme av olika slag, t.ex. golv- och takvärmare samt varmvattensberedare. Dessa är samtidigt de största elförbrukarna i ett privathushåll vilket gör att konsumenten vill använda dem endast när eltariffen är som billigast. Många fastigheter har fjärrstyrda reläer som aktiveras av en högfrekvent signal som skickas av elproducenterna. Magansinerande elvärme element har även följande gemensamma egenskaper, de ansluts direkt med full effekt. När ovannämnda faktorer multipliceras med många tusen, leder det till att belastningen blir mycket stor på nätverket i stamnätverket som visas i figur 1. /1/



Figur 1. Nattströmmens påkoppling påverkar elförbrukningen klockan 22:00.



## 1.2 Elkvaliteten

I Finland, Europa och störstadeln av Asien är hushållsspänningen 230 volt med en frekvens på 50Hz. All hemelektronik är byggd och optimerad för att fungera med denna inmatningsspänning. Elkvaliteten fastställs i allmänhet av distributionsspänningens egenskaper, vilka är spänningen, frekvensen, signalens kvalitet och symmetrin i trefasströmmen. Alla dessa egenskaper bör hållas inom toleransnivåerna, i annat fall ökar risken för störningar inom finelektronik, exempelvis sjukvårdsapparaturen, vilket kan leda till fatala resultat. Effektpiken som uppstår vid överföringen till natttariffen påverkar alla dessa egenskaper, vilket gör denna pik till ett kännbart problem för eldistributörerna. Generatoren i kraftverket skall köras med ett exakt varvtal för att upprätthålla nätfrekvensen. Motståndet i generatoren beror direkt på hur mycket ström det konsumeras och när den plötsliga ökningen uppstår blir det väsentligt mycket tyngre att hålla igång generatoren, som oftast drivs av en turbin vilken får sin energi av ånga, och regleringen av ångtrycket kan inte göras tillräckligt snabbt. /2/

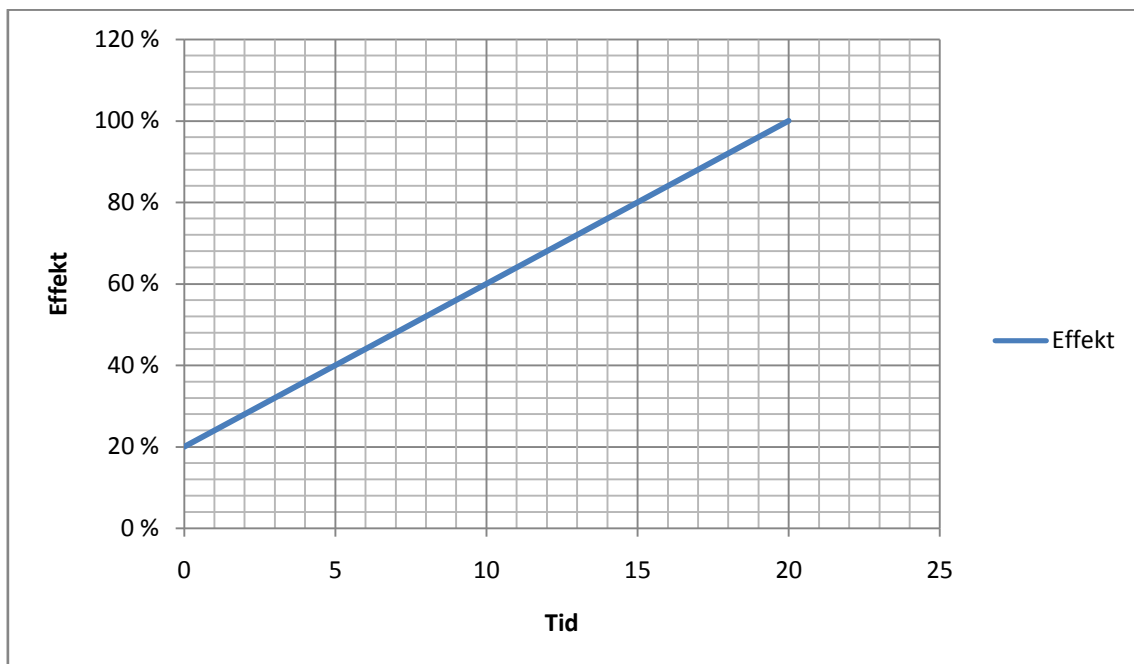
## 1.3 Effektregulatorn

Som tidigare nämnts är det mycket besvärligt och på många plan omöjligt att försöka hindra eller dämpa strömpiken från elkraftverkets sida. Effektregulatorn skall installeras i elkonsumentens elskåp så, att regulatorn kommer att förlänga effektökningen från nuvarande ca 1minut till t.ex. 30 minuter, vilket i praktiken betyder att elkraftverket och elnätverket inte kommer att känna av denna pik. För att uppnå fördröjningen måste det finnas minst en effektregulator per konsument som använder sig av natttariffen. Denna investering borde göras på elbolagets vägnar, eftersom de i förstahand avnjuter av de direkta fördelarna som effektregulatorn ger upphov till. I längden kommer

underhållskostnaderna för distributionstransformatorerna att minska i form av färre reparationsgångar. /3/

Kraftverken kommer inte i fortsättningen att behöva köra maximalt för att kompensera den plötsliga piken, vilket bidrar till att elkvaliteten kan garanteras i det nationella stamnätverket. Även behovet av importel från den internationella marknaden minskar. Detta leder till att elpriset teoretiskt kan minska, vilket gör att effektregulatorn i andra hand kommer att gynna slutanvändarna.

Effektregulatorn kommer att ha fysiska mått som gör den möjlig att byggas i ett plasthölje som skulle fästas i elskåpets DIN-skena. När natttariffen kopplas på skulle värmeapparaturen i vanliga fall slå på med full effekt, men med regulatorn skulle elen slå på full effekt först efter ca 20-30 minuter. Eftersom det är frågan om ett maganiserande värmelement är denna tidsfördröjning i praktiken så gott som omärkbar för konsumenten.



Figur 2. Effektregleringens funktionsidé.

## 1.4 Målsättning

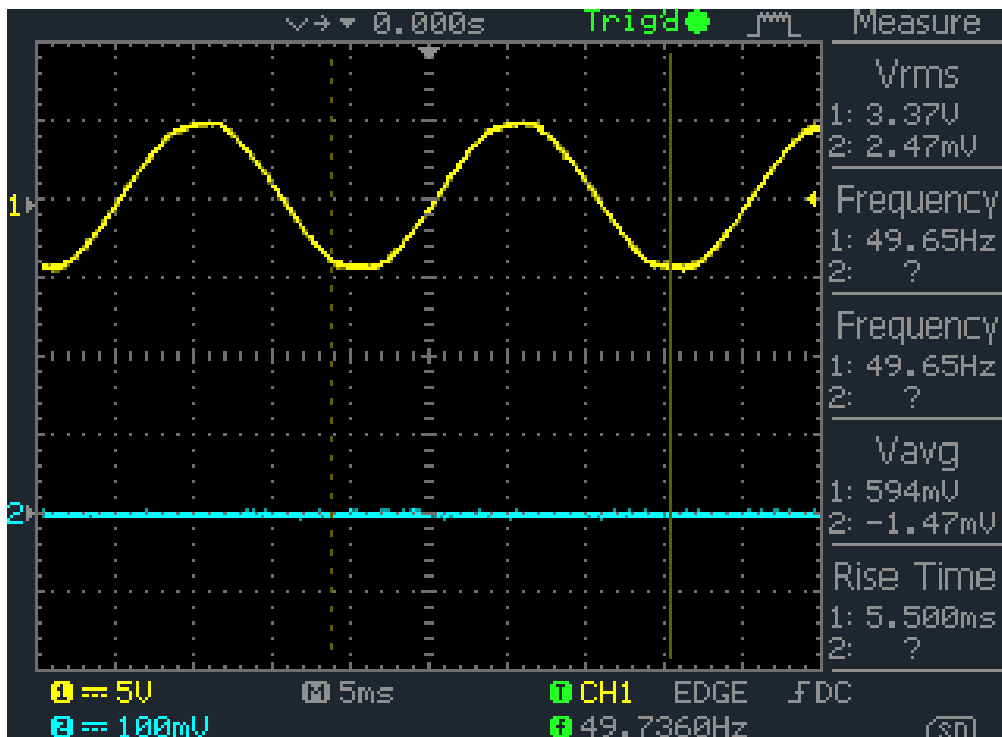
Målsättningen med detta examensarbete är att konstruera en fungerande effekttregulator. Syftet är att effekttregulatorn skulle öka effekten hos värmelementet från 0% till 100% inom en tidsintervall på 20 till 30 minuter. För att effektpiken skall kunna fördröjas på nationellnivå måste det finnas tiotusentals av dessa regulatorer. För att dessa investeringar skulle hållas rimliga sätts det press på priset samt antalet komponenter vilket leder till att konstruktionen bör vara så enkel och billig som möjligt.

Det borde byggas en fungerande prototyp som skulle fungera principiellt felfritt. Prototypens storlek skall ge möjlighet att installera denna i ett elskåp för vidare tester samt användning.

## 2 EFFEKTREGULATORNS FUNKTION

Detta examensarbete är en vidareutveckling av ett tidigare arbete. Den ursprungliga effektregulatorn gjordes av Jan Jokinen och har vidareutvecklats av Niklas Rouhianen och Kim Saares. Man har inte gått in på de tidigare arbetena utan har enbart koncentrerat sig på det senaste arbetet som är utvecklat av Kim Saares. Han hade förenklat regulatorn väsentligt och lyckats minska antalet komponenter med nästan hälften.

Effektregulatorn som utvecklas i detta arbete kan kopplas endast till en fas. I nätfrekvensen är spänningen sinusformad med en frekvens på 50 Hz. Regulatorns uppgift är att skapa en fyrkantvåg som börjar vid toppen av sinusvågen och breder ut sig åt båda hållen tills fyrkantvågen är lika bred som halva sinusvågen. Denna stegvis utbredning kommer att påverka effektpikens förskjutande. Det mest utmanande är att få just den nämnda utbredningen att hända exakt vid toppen på sinusvågen och hålla den i samma fas som nätfrekvensen se figur 3.



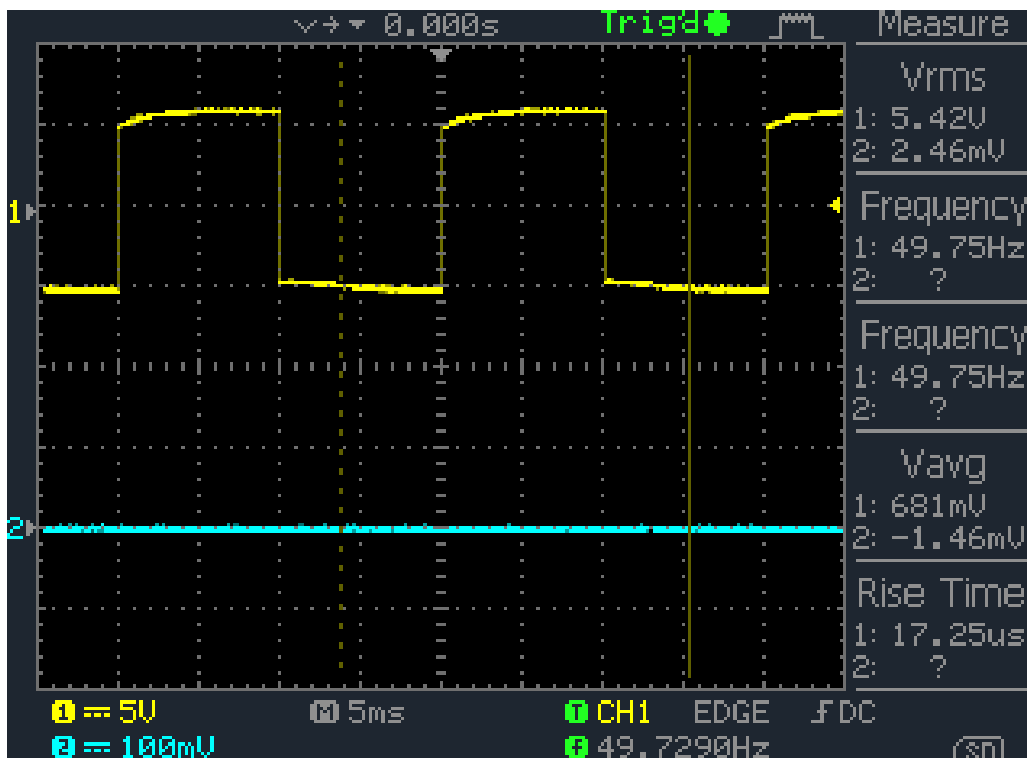
Figur 3. Sinusvåg.

Den av Kim Saares utvecklade kretsen fungerade inte längre p.g.a. yttre skador som orsakats av ogynnsamma förvaringsförhållanden. Enligt dokumentation har den fungerat så till vida bra att den breddar sinusvågen på rätt sätt. Med hjälp av två stycken operationsförstärkare har utsignalen

lyckats färförskjutas och bredden justeras med en potentiometer. Problemet med den tidigare regulatorm är att den är analog och måste justeras manuellt.

Den nuvarande regulatorm skulle inte vara bekväm att använda p.g.a. att det krävs en människa att vrida manuellt på potentiometern för att öka effekten till värmelementen. Syftet med detta arbete är att automatisera den ovannämnda problematiken.

Figur 4 visar en fyrkantvåg som har skapats av nätspänningens sinusvåg via en krets kallas ZCD (Zero Crossing Detector).



Figur 4. Fyrkantvåg skapad av ZCD-kretsen.

## 2.1 Problematiken med en potentiometer

I det tidigare arbetet hade man lyckats förskjuta fyrkantvågen till rätt position i förhållande till sinusvågen, men justeringen av pulsbredden hos fyrkantvågen var manuell. Potentiometern är kopplad mellan jorden och operationsförstärkaren och fyrkantvågens bredd har ett linjärt förhållande till motståndet i potentiometern. Detta innebär att man bör ersätta potentiometern med ett resistivt motstånd som bör ändra värde linjärt och automatiskt.

Teoretiskt skulle en NTC-resistor kunna automatisera Kim Saares effektregulator. En NTC-resistor minskar sitt motstånd 3-5% för varje Kelvin eller celsiusgrad.

När natttariffen kopplas på och effektregulatorn går igång är NTC-resistorn kall. Detta innebär att resistansen är stor och fyrkantvågen är smal, ju längre tid det går då pulser passerar NTC-resistorn desto varmare blir den och fyrkantvågen blir bredare. När NTC-resistorn når en viss temperatur skulle dess motstånd vara noll och värme elementet skulle få full effekt.

Det första konkreta problemet som uppstår med denna NTC-resistor är regulatorns drift, spänning samt ström. Driftspänningen är i denna krets 15 volt och max. 100 mA. Denna ström och spänning är för liten i proportion till pulslängderna för att NTC-resistorn skulle hinna värmas upp under ett tidsintervall på 15-20 minuter.

Den andra nackdelen är NTC-resistorns varierande funktionsduglighet enligt omgivande temperatur. Regulatorn skall installeras i privathushålls elskåp som kan variera mycket i fysiska mått och placering.

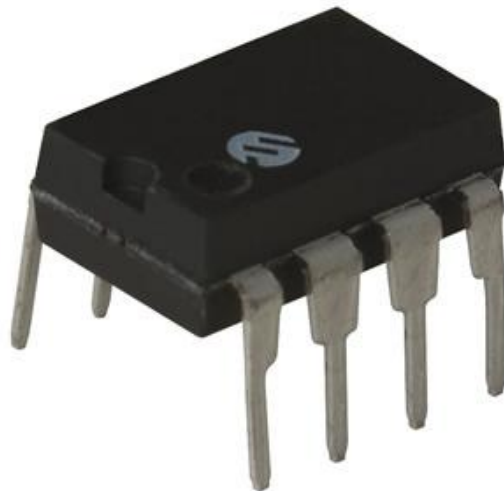
Detta innebär att regulatorn arbetar under många olika förhållanden, men skall likväl fungera klanderfritt under alla omständigheter, vilket gör att NTC-resistorn inte lämpar sig för denna applikation.

### 3 MIKROKONTROLLER

Eftersom det tidigare arbetet inte längre fungerade p.g.a. dålig förvaring och fysisk skada, påbörjades arbetet från början. Problematiken med en krets vars funktion är uppbyggd av analoga komponenter, vilka lätt kan påverkas av omgivningen, är att de måste elimineras och istället bör en digital krets styra regulatorn. En PIC-mikrokontroller anses lämpa sig bäst för detta ändamål.

Mikrokontrollern kallas även en krets dator för att den är till sin fysiska storlek mycket liten och är byggd av en och samma kiselplatta. I detta mikrochip har integrerats en processor, ett arbetsminne och ett programmeringsminne. Detta innebär att mikrokontrollern kan läsa insignaler, processera dem och sedan skicka ut signaler. Mikrokontrollers används i många olika applikationer både hemma och i industrier, i apparater som är mer avancerade än en glödlampa. T.ex. i moderna bilar finns det tiotals olika mikrokontroller som styr de flesta funktionerna.

Mikrokontrollerns viktigaste egenskap är att många olika funktioner är integrerade i ett och samma mikrochip vilket innebär att det enda den behöver är en yttre strömförsörjning. Detta leder till att kretsens stabilitet ökar och man sparar mycket utrymme i själva kretsen och minskar antalet extrakomponenter, som även minskar de ekonomiska kostnaderna.



Figur 5. En mikrokontroller med åtta ben.

### **3.1 Mikokontrollern i effektreulatorn**

Som tidigare nämnts i detta arbete skall effektreulatorn som helhet veta i vilket skede av perioden sinusvågen ligger och utöver denna information skicka ut en PWM-signal vidare. Med hjälp av en mikrokontroller utförs denna operation lätt. Funktionsprincipiellt innebär detta att mikrokontrollern får en insignal som berättar i vilket skede fasen är, och sedan skall den ge ut en PWM-signal vars ”duty cycle” beror på hur länge regulatort är i drift. ZCD-kretsen skickar en impuls för varje gång som sinusignalen korsar noll på x-axeln. Denna impuls är insignalen till mikrokontrollern vilket leder till att mikrokontrollern alltid kommer att befinna sig i rätt fas även om nätfrekvensen skulle plötsligt ändras. Mikrokontrollern kan upprätthålla en stabil funktionsduglighet i mycket varierande omständigheter.

Effektreulatorns drifttid, d.v.s. den tid som går åt till att nå full effekt i värmelementet, justeras med hjälp av en programmeringskod som har programmerats på en pc. Programmeringen sker i ett skilt pc-program varefter koden körs in i mikrokontrollern . Det ger även möjlighet att uppdatera funktionen efter att effektreulatorn har installerats i t.ex. ett elskåp. Detta möjliggör att man kan ändra regulatorns funktion väsentligt utan att tillägga eller byta ut en enda komponent i kretsen.

### **3.2 Picaxe Mikrokontroller**

En standard PIC mikrokontroller har ingen mjukvara i sig utan endast hårdvara. När man programmerar ett PIC mikrochip är programmeringsspråket C och själva inkörningen av C koden in i mikrokontrollern utförs av en extern krets var PIC mikrochippen är tillfälligt monterad. Det ovannämnda programmeringssättet lämpar sig bäst för produktionslinjer där det utförs en massproduktion.

För detta examensarbete valdes det en mikrokontroller som är tillverkad av ett företag som heter Picaxe. Deras mikrokontroller är vanliga PIC mikrokontrollers, men med en förprogrammerad firmware. Ordet firmware kommer från engelskan och har inte en direkt översättning till svenska. Om ordet firmware spjälks upp betyder firm fast och



ware vara, med andra ord är det frågan om ett program som icke mer går att tas bort från detta mikrochip, vars uppgift i PIC kretsen kommer att förklaras i ett senare skede. Företaget Picaxe har gjort det mycket enklare att köra in en kod till deras mikrochip p.g.a. att man inte längre behöver sätta själva PIC kretsen på en skild programmeringskrets.

C-programmeringsspråket är ett grundspråk inom datakommunikation samt programkod inom t.ex. PIC kretsar. Programmering i C är relativt tidskrävande och kräver en hel del datorkunskap. Detta har företaget Picaxe underlättat väsentligt med att skapa ett eget editor-programmeringsprogram till sina PIC mikrokontrollers.

I Picaxe editorprogrammet används BASIC-kommandon i programmeringen vilket är mycket simplare och lättare än programmering i C. BASIC är en förkortning av "Beginners all-purpose symbolic code" som är C-språk-kommandon, men skrivs ut i ett lättare läst format. Nu sparade man mycket tid i både programmeringen och inkörningen av koder i PIC kretsen.

## 4 STRÖMFÖRSÖRJNINGEN

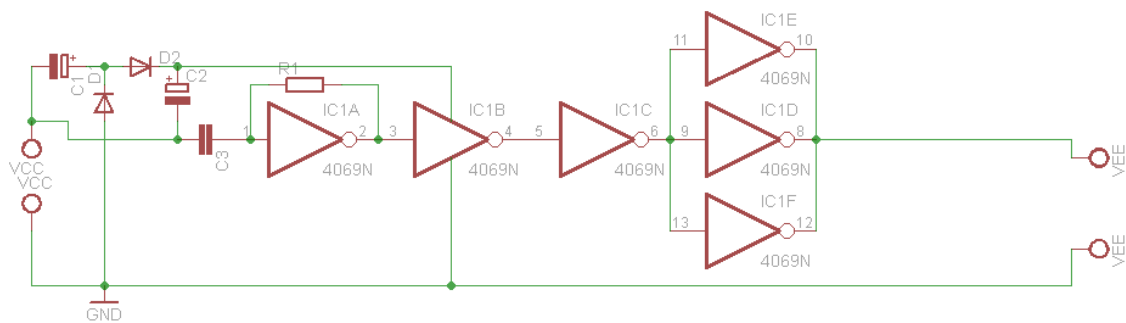
Man hade använt sig av en kretskortstransformator i den förra effektregulatorn. Som namnet lyder är denna transformator fastlödpå kretskortet som de andra komponenterna. PCB-transformatorn kopplas direkt till elnätverket och den är dimensionerad så att den ger ut 4,5 VA och 15 V AC. Varför den ger ut växelspanning förklaras i stycket om ZCD-kretsen senare i arbetet. Dess fysiska storlek är 40,8 x 35 x 23mm vilket innebär att den ryms utan problem i ett elskåp.



Figur 6. Effektregulatorns kretskortstransformator.

## 4.1 ZCD-kretsen

ZCD är en förkortning av ”zero crossing detector”, vilket betyder på svenska nollpunktsdetektor. Denna krets upptäcker när en växelspanningssignal korsat nollnivån. Denna krets fungerar endast i växelströmskopplingar vilket är orsaken till att transformatorn matar 15V AC till kretsen. Som tidigare nämnts i arbetet bör effektregulatorn veta i vilket skede av fasen nätspänningen ligger för att den skall fungera optimalt. ZCD-kretsen har utvecklats för att hitta nollpunkten i sinusvågen med hjälp av att ge en impuls när detta sker. Då spänningen i nätfrekvensen korsat noll så att sinussignalen ligger på den positiva sidan ger ZCD-kretsen ut en positiv fyrkantvåg och när signalen är negativ ger kretsen en negativ utsignal. Mikrokontrollern arbetar endast med positiv spänning så man kommer att slopa den negativa fyrkantvågen.



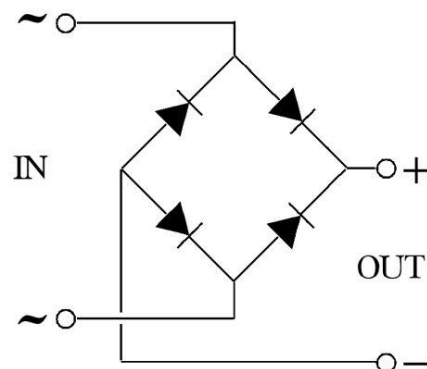
Figur 7. ZCD-kretsschema.

Det valdes en ZCD-krets som är självförsörjande, d.v.s. att det inte behöver kopplas en driftspänning för att den skall fungera. Denna krets får sin spänningsförsörjning med hjälp av kondensatorerna C1 och C2 samt dioderna D1 och D2 som man ser i figur 7. När in-signalen oscillerar från positiv till negativ laddning laddas och urladdas C1 och C2 varannan gång så att hex-invertern IC-4069N får en jämn strömförsörjning som styrs av dioderna D1 och D2.

Denna krets är ursprungligen utvecklad till att utföra praktiska test på olika audiokretsar. ZCD kretsen kan arbeta med signalen som oscillerar i området mellan 20Hz och 20kHz. I detta fall när nätfrekvensen är 50Hz kommer denna krets att fungera bra.

## 4.2 Likriktarkretsen

Resten av effektregulatorn förutom ZCD-kretsen fungerar enbart med likström inmatning, vilket betyder att man måste sätta in en diodbrygga, med andra ord en likriktarkrets, som ger ut likström när det matas in växelström. Som figur 6 hänvisar till är en likriktarkrets endast fyra dioder som är kopplade två stycken i serie och sedan paren parallellt. För att man skall spara utrymme på kretskortet användes det en kiselplatta som hade de fyra dioderna integrerade i ett stycke.

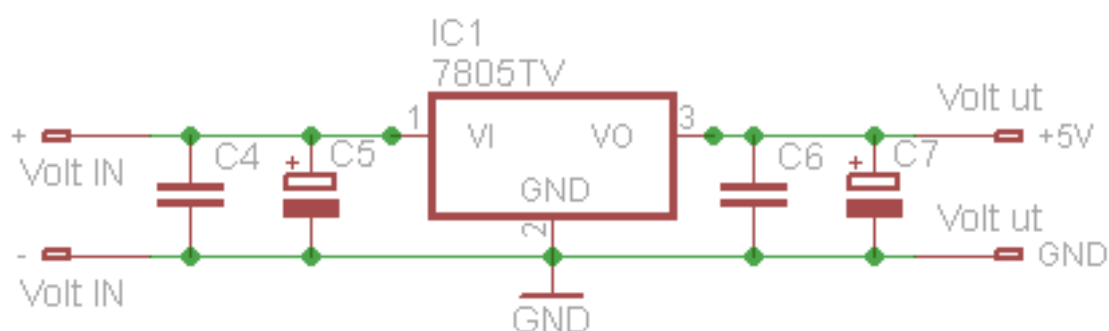


Figur 8. Likriktarkretschema.

### 4.3 Spänningsregulator modell 78L05

Eftersom ZCD-kretsen bör ha växelström för att den skall fungera och likriktaren har omvandlat driftspänningen till likström är spänningen fortfarande 15 volt DC. Detta innebär att man måste reglera spänningen ner till 5 volt för att mikrokontrollern skall fungera.

Då behövs det en spänningsregulator som med andra ord är en halvledarkomponent byggd av kisel. Den har tre stycken anslutningar som ses i figur 9, d.v.s. spänning in(VI), jordkontakt(GND) och spänning ut(VO).



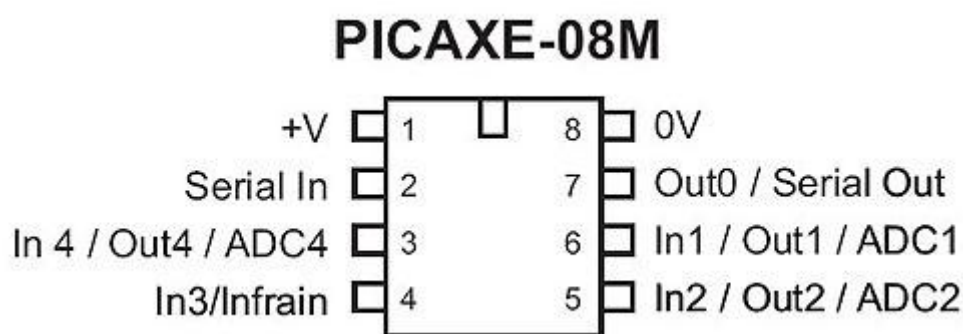
Figur 9. Spänningsregulator kretschema.

Kondensatorerna som ses i figur 9 påverkar ej spänningsregulatorns drift utan de skall filtrera bort eventuella högfrekventa störningar som kan leda till funktionsstörning hos mikrokontrollern. Det går att mata in en DC spänning allt från 10 till 50 volt, men regulatorn ger ut endast 5 volt. Denna egenskap gör den idealisk till att koppla på mikrokontrollerns strömförsörjning för att den filtrerar bort alla eventuella spänningspikar.

I effektregulatorn kommer det att användas en likadan regulatorkrets som i figur 9, men det kommer att förklaras noggrannare senare.

## 4.4 Picaxe-08M

Det finns flera olika mikrokontrollers varav man måste välja den lämpligaste. Deras största skillnad är antalet in- och ut-portar, av Picaxe-serien finns det mikrochip som har 8, 14, 18, 20, 28 och 40 olika anslutningar. Tidigare i texten nämndes det att effektregulatorn sköter endast en operation åt gången. Den bör kunna läsa insignalen som berättar fasens läge och sedan ge ut en PWM-signal. Man valde därför den minsta Picaxe mikrokontrollern eftersom den kan sköta denna uppgift lätt. Den har åtta stycken anslutningar varav två stycken kan fungera som in- eller ut-port (In1, In2) och två portar som endast läser in (In4, In3) samt porten Out0 som kan användas som en ut-port vilket man ser i figur 10.

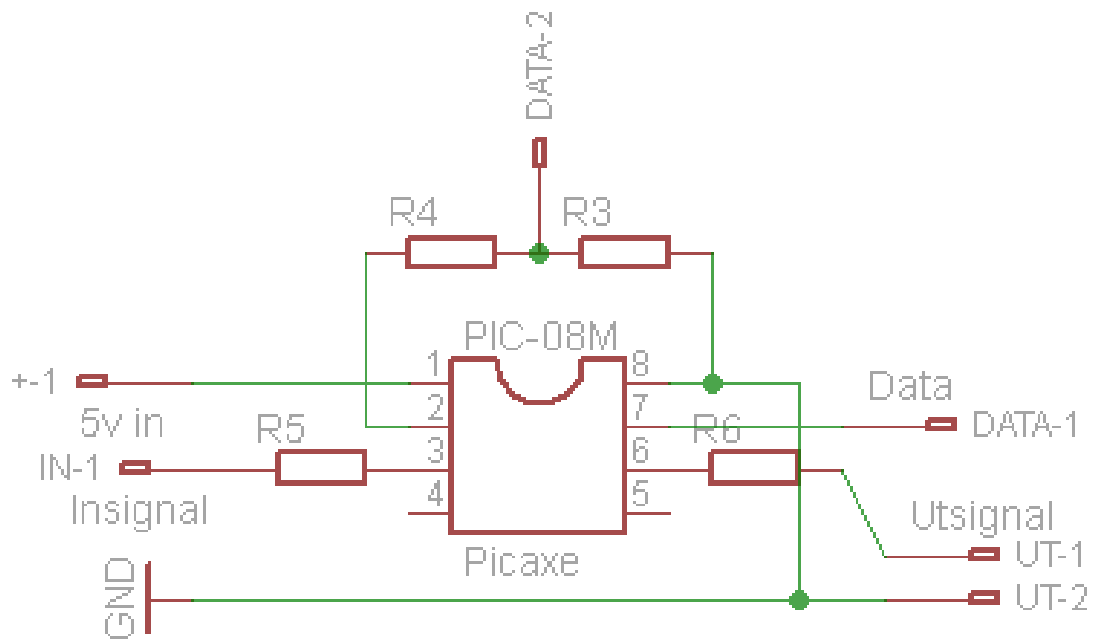


Figur 10. Anslutningar till en mikrokontroller Picaxe-08M.

I figur 11 ser man hur Picaxe-08M-kretsen har kopplats till den övriga kretsen i effektregulatorn. Strömförsörjningen kopplas till anslutning nummer ett var det matas in +5 volt vilket fås från spänningsregulatorns utgång. I figur 11 ser man att insignalen kommer att kopplas via motståndet R5 till anslutning nummer 3 i Picaxe-08M. I stycket 4.3 "Spänningsregulator" nämndes det att en identisk spänningsregulatorkrets kommer att kopplas till insignalen i mikrokontrollern.

Detta beror på två huvudsakliga faktorer. Den första är att i denna effektregulatorkrets är spänningen i ZCD-kretsen 15 volt vilket är alldeles för mycket för mikrokontrollern och då måste insignalen dämpas ner till 5 volt. I programmeringskoden definierades anslutningarna nummer tre till en digital inmatningsport vilket betyder att den kommer att vara ett eller noll. När anslutningen har värdet ett kallas den även för att vara hög och

då matas det in en spänning till Picaxe-08M. När anslutningen är låg d.v.s. noll volt, kommer det ingen spänning in till kretsen, med andra ord är anslutningen kopplad till jorden. ZCD-kretsen ger ut en impuls som är en fyrkantvåg som i detta skede kan kallas för en etta, vilket gör att dessa kretsar kan bra arbeta ihop. Problemet är att mikrokontrollern inte kan vara i ett skede mellan ett och noll vilket den är om anslutningen inte får spänning in eller är direkt kopplad till jord. Spänningsregulatorn kommer att koppla mikro kontrollerns anslutning till jorden så länge det inte kommer en impuls från ZCD-kretsen och sedan endast dämpa en impuls till 5volt när sinusvågen i nätfrekvensen korsat noll.



Figur 11. Picaxe-08M kretschemat.

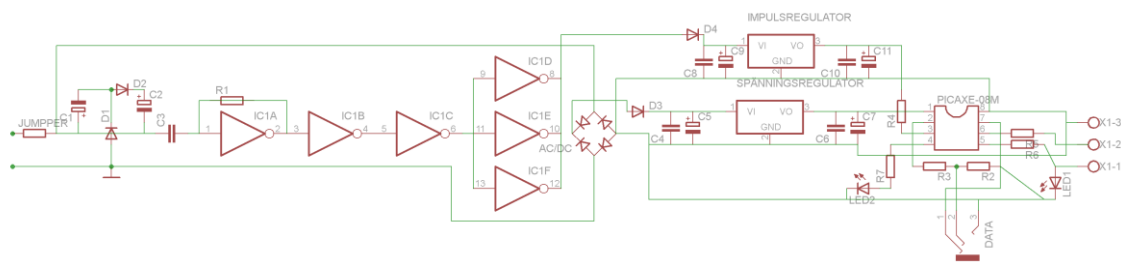
Utsignalen definierades i programmeringskoden att vara anslutningsnummer sex. Från denna anslutning kommer utsignalen att gå igenom motståndet R6 och sedan helt och hållet ut ur hela effektregulatorn. I Picaxe-08M datablad rekommenderas det att alltid använda ett 333  $\Omega$  motstånd för att minska strömmen som löper igenom mikrokontrollern. Anslutning nummer sex är också en digital utgång så utsignalen kommer att vara en fyrkantvåg, med andra ord en etta eller nolla.

Anslutningen nummer åtta kopplas direkt till jord som även är betecknad som minus i likriktarbryggan. Anslutningarna nummer två och sju är kopplade till en 3,5mm audiokontakt. Programmeringskabeln som kopplas till pc:ns usb-port har en 3,5mm plugg i andra ändan för att via denna kopplas till mikrokontrollern för att köra in programmeringskoden. För att inte skada eller riskera störning i själva programmeringsprocessen rekommenderades det i Picaxe-08M-datablad att koppla motstånden R4 och R3 till jorden och anslutningen nummer två.



## 4.5 Effektregulatorkretsen i sin helhet

I figur 12 ser man hur alla de olika delkretsarna sitter ihop med varandra. Endast transformatorn har lämnats bort. Ingångssidan är till vänster, där transformatorn matar 15V AC in till ZCD-kretsen varefter spänningen likriktas i mitten av kretsen i diodbryggan. Den likriktade spänningen matas igenom spänningsregulatorn för att minska spänningen från 15V till 5V. I resten av kretsen var mikrokontrollern arbetar kommer spänningen att vara 5V och PWM-signalen skickas ut från höger sida av kretsen.



Figur 12. Effektregulatorns kretsschema i sin helhet.

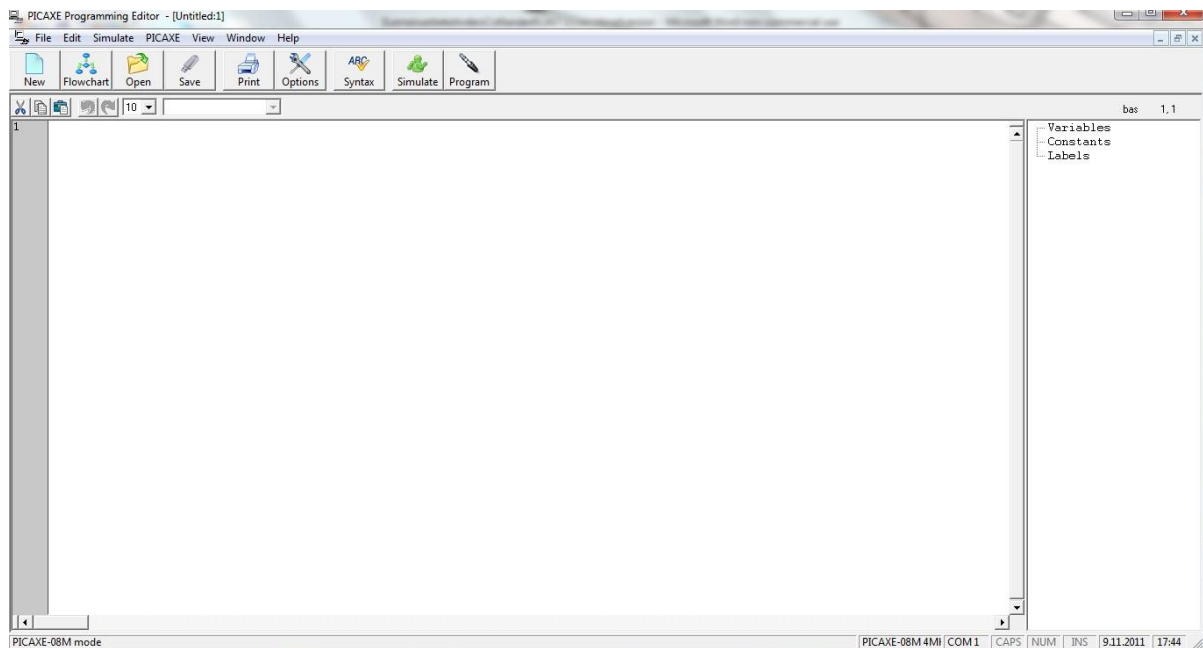
Kretsen är delad i två olika spänningsnivåer och likriktaren separerar dessa två ifrån varandra som man kan se i mitten av kretsschemat. I nedre högra hörnet ser man 3,5 mm audiouttaget (DATA) som är kopplat till mikrokontrollerns andra och sjunde anslutning. Via detta uttag matas programmeringskoden in. När effektregulatorn är i drift kommer LED nummer ett att lysa rött vilket indikerar att effektreglering utförs. Då skickas PWM-signalen ut via uttaget X1-2. När effektregleringen nått sitt slut kommer mikrokontrollern att koppla värme-elementet direkt till nätspänningen genom att skicka ut en signal via X1-1. Då kommer LED nummer 2 att lysa grönt vilket indikerar att effektregleringen är slut och värme-elementet matas med full effekt. Dessa två LED underlättar märkbart eventuell felsökning och håller användaren underrättad om kretsens arbetstillstånd. I porten X1-3 är effektregulatorns jord kopplad.

## 5 PICAXE PROGRAMMER EDITOR

Picaxe Programmer Editor är ett programmeringsprogram som fungerar i alla Windows pc-datorer som har installerat operativsystemet XP eller nyare. Detta program är gratis och går lätt att laddas ner från picaxes hemsidor.

Som namnet säger är detta programmeringsprogram menat endast för att köra in koden direkt i en Picaxe mikrokontroller. Man får dock sin kod konverterad till C om man så vill, eljest programmerar man med språket BASIC. Det är även möjligt att skriva sin kod grafiskt med hjälp av flödesscheman.

Det ovannämnda programmet som möjliggjorde det otroligt lätta sättet att köra in programmeringskoden i Picaxe mikrokontrollern avgjorde varför man valt denna krets i detta examensarbete. I figur 13 ser man hur programmet ser ut när man öppnar det i en dator. Då visas ikonerna som behövs för att man skall kunna skrivakoden och testa den, men mera om det kommer att förklaras i ett senare skede.



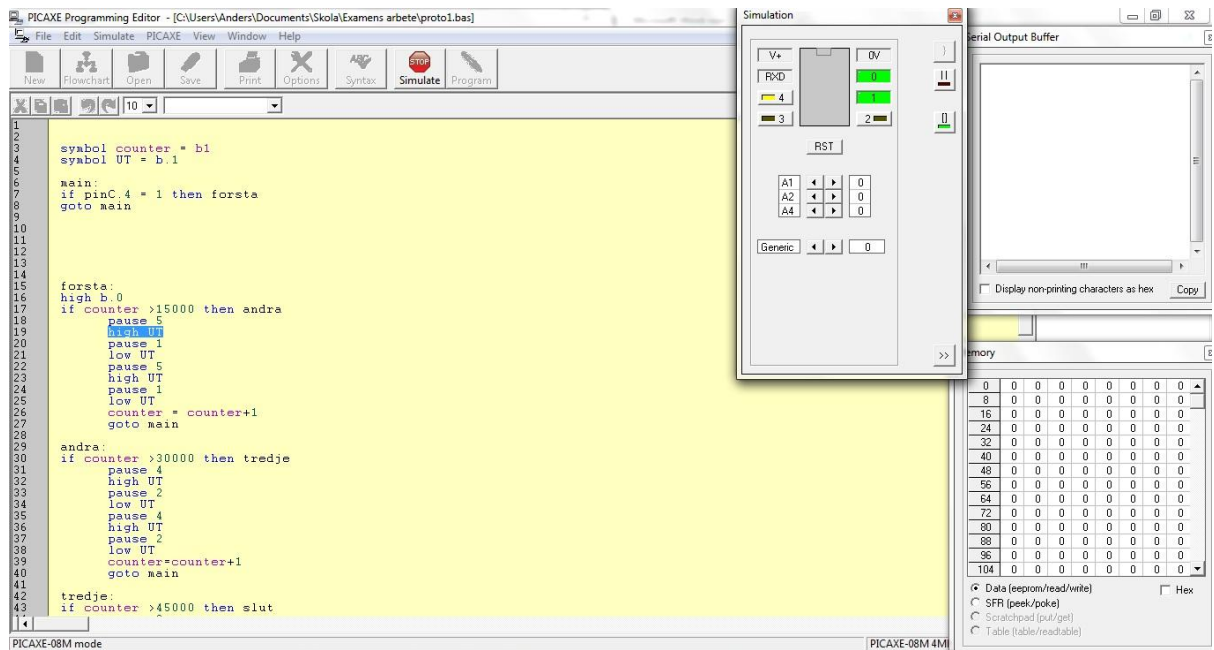
Figur 13. Picaxe Programmer Editor.

Kabeln med vilken man kör in programmeringskoden i mikrokontrollern ansluts till datorns USB-port. USB-pluggen har en liten krets integrerad var kabelns drivrutin är installerad. Detta betyder med andra ord att när kabeln ansluts för första gången i datorn börjar datorns operativsystem automatiskt installera drivrutinen som finns i kabelpluggen. I andra ändan av kabeln är det en 3,5mm audio-utgångsplugg som tillämpas i detta fall för att överföra programmeringskoden till mikrokontrollern, såsom man ser i figur 14.



Figur 14. Programmerings kabel med intergrerad drivrutin.

När man har skrivit koden så kompilerar Picaxe Programming Editor denna kod automatiskt. Vid behov kan man simulera en mikrokontroller och pröva endast på datorn om koden fungerar på rätt sätt. Programming Editor-programmet visar i simulationsfunktionen exakt i vilken kodrad systemet läser och visar på en grafisk bild vilken anslutning som är aktiv hos mikrokontrollern. I figur 15 ser man den svärtade kodraden som indikerar i vilket skede programmet är samt bilden av mikrokontrollern var man ser aktiva anslutningar.

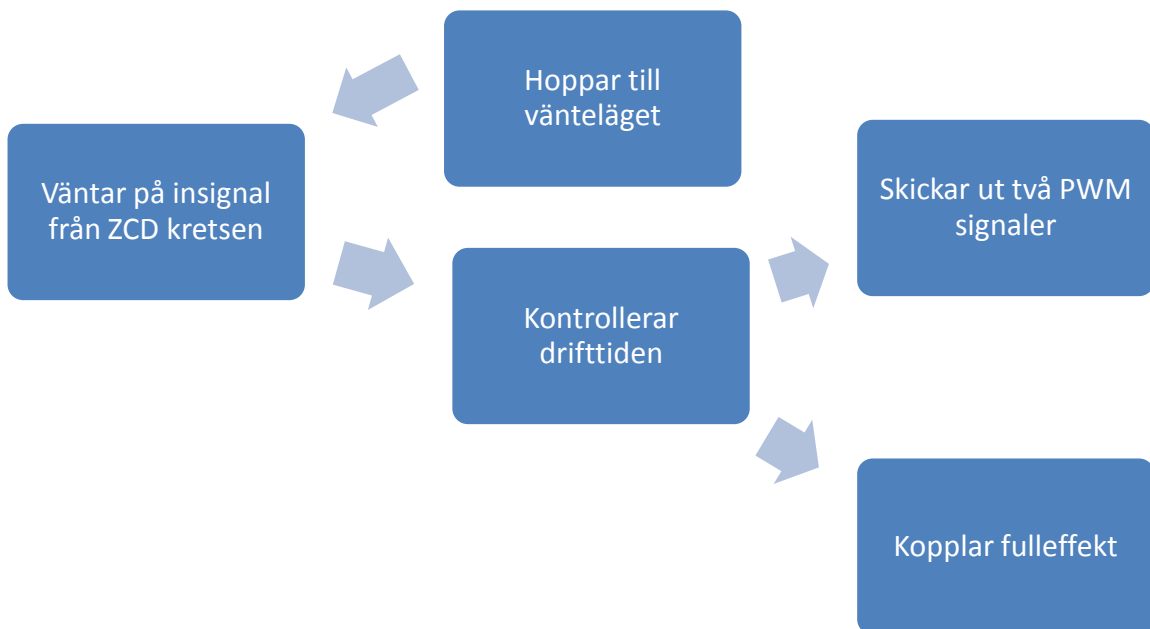


Figur 15. Simulationsfunktionen i Picaxe Programmer Editor.

Detta verktyg hjälpte långt i kodskrivandet till denna effektregulator, man sparade mycket tid och besvär. När simulationsverktyget var på kunde användaren med datormusen aktivera anslutning nummer fyra som man ser i figur 15, vilket simulerar impulsen som kommer från ZCD-kretsen. Denna simuleringen är inte exakt eftersom man inte med blotta ögat kan uppfatta om kontaktorn blinkar till i en millisekund, men man ser att koden fungerar teoretiskt.

## 5.1 Flödesschema i Picaxe-08M-kretsen

Som tidigare nämnts i arbetet kommer ZCD-kretsen att skicka endast den positiva impulsen till mikrokontrollern. Detta innebär att mikrokontrollern kommer att få en impuls per period, men borde skicka ut två PWM-impulser per period. Man måste skicka ut en PWM-signal två gånger per period för att sinusvågen är positiv hälften av perioden och andra hälften negativ. I flödesschemat i figur 16 ser man grafiskt uttryckt hur programmeringskoden kommer att fungera.



Figur 16. Flödesschema för arbetskoden i Picaxe-08M.

När effektregulatorn aktiveras kommer mikrokontrollern att vara i ett vänteläge av en impuls från ZCD-kretsen. Då nattariffen är på är också effektregulatorn aktiverad eller har varit aktiv, men resten av dygnet är den avstängd. Detta innebär att det varken går eller är lönsamt att ha en extern klockkrets som vet hur länge effektregulatorn varit på. Problematiken löstes med att mikrokontrollern räknar varje impuls som kommer från ZCD-kretsen i nätfrekvensen. Tidsintervallet för en period är 20 millisekunder vilket man multiplicerar med antalet impulser från ZCD-kretsen vilket förklaras mera ingående i stycket 5.2 .

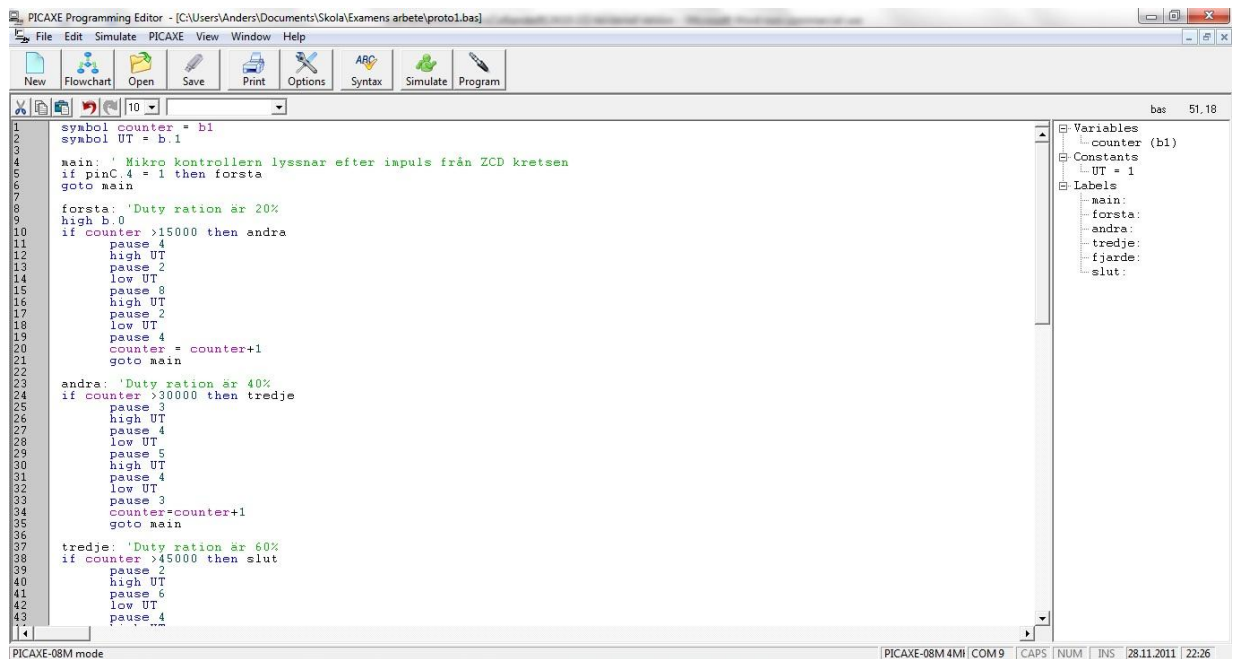
När mikrokontrollern fått en impuls från ZCD-kretsen kontrollerar den på ovannämnda sätt hur länge den varit på. Drifftiden avgör hur stor PWM-signal mikrokontrollern kommer att ge ut, med andra ord hur mycket effekt elvärme-elementet kommer att matas med. Efter att den skickat ut två stycken PWM-impulser kommer den att återgå till vänteläget.

Till denna kod har det nu skrivits variabler som kommer att hålla effektregulatorn i drift i 20 minuter. Detta betyder att värme-elementen kommer att gå på fulleffekt 20 minuter efter att nattariffen slagits på. Denna ovannämnda funktionsprincip kommer att repeteras många tiotusentals gånger inom detta tidsförlopp. När mikrokontrollern sista gången kontrollerar drifftiden kommer den att koppla strömförsörjningen förbi effektregulatorn så att värmelementet får full effekt. Därefter blir mikrokontrollern i ett viloläge tills nattariffen tar slut och sedan startas denna process på nytt.

## 5.2 Programmeringskoden i Picaxe-08M

I figur 17 ser man hur koden är skriven i Picaxe Programming Editor programmet.

Till vänster i figur 17 ser man hur programmet är uppdelat. Först skapas det en variabel som räknar varje impuls från ZCD-kretsen, med hjälp av denna variabel kommer mikrokontrollern att veta hur länge den varit på.



```
1 symbol counter = b1
2 symbol UT = b.1
3
4 main: ' Mikro kontrollern lyssnar efter impuls från ZCD kretsen
5 if pinC.4 = 1 then forsta
6 goto main
7
8 forsta: 'Duty ration är 20%
9 high b.0
10 if counter >15000 then andra
11   pause 4
12   high UT
13   pause 2
14   low UT
15   pause 8
16   high UT
17   pause 2
18   low UT
19   pause 4
20   counter = counter+1
21   goto main
22
23 andra: 'Duty ration är 40%
24 if counter >30000 then tredje
25   pause 3
26   high UT
27   pause 4
28   low UT
29   pause 5
30   high UT
31   pause 4
32   low UT
33   pause 3
34   counter=counter+1
35   goto main
36
37 tredje: 'Duty ration är 60%
38 if counter >45000 then slut
39   pause 2
40   high UT
41   pause 6
42   low UT
43   pause 4
44
```

Figur 17. Första delen av programmeringskoden.

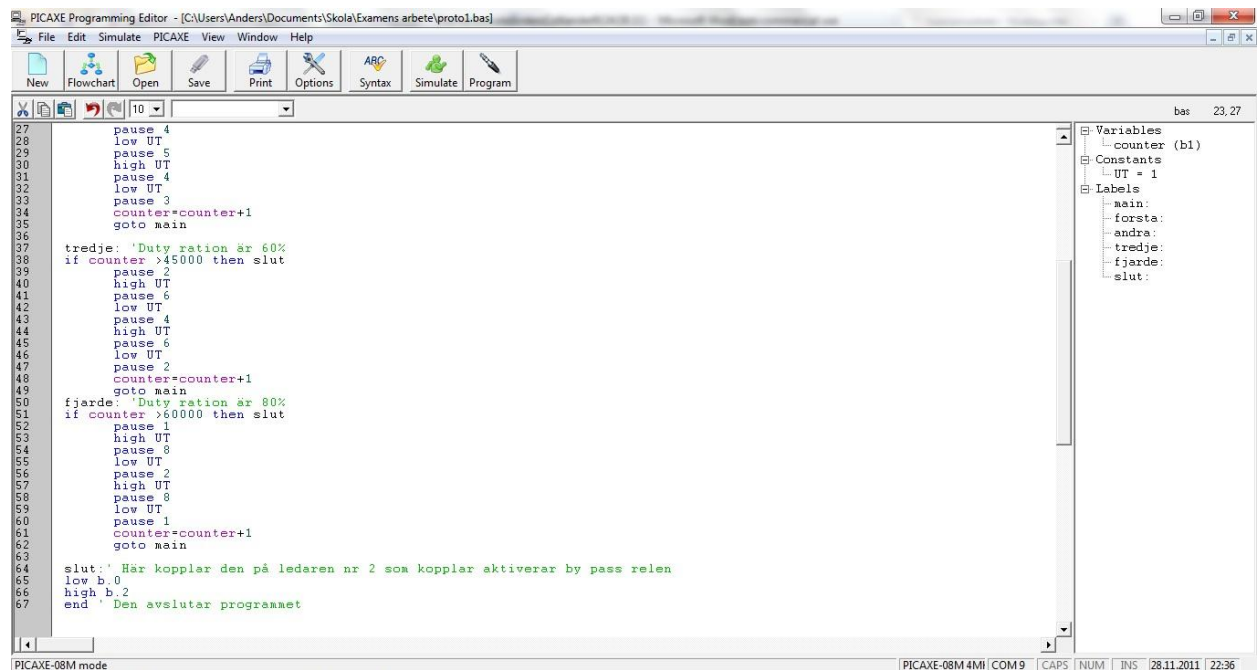
Det skapades en konstant som heter UT, med andra ord har man döpt om ledaren nummer ett till UT. Detta gjordes för att man lättare skall kunna läsa samt skriva koden.

Programmet är uppdelat i sex stycken underkategorier:

-Main, när effekregulatorn aktiveras börjar mikrokontrollern först arbeta från denna kategori i vilken den väntar på impulsen från ZCD kretsen.

-Första, efter att första impulsen från ZCD kretsen kommer skickar Picaxe-08M en puls vidare som har "duty ration" på 20% varefter den ökar "duty ration" till 40%, 60% och 80%. Detta innebär i praktiken att värme-elementet kommer att börja värma med en effekt på 20% och sedan öka till 80%.

-Slut, när mikrokontrollern fått över 60 000 impulser har det gått 20 minuter och programmet flyttar sig till sista underkategorin då effekttregulatorn kopplar spänningen förbi sig själv genom att aktivera ledaren nummer 2. Denna ledare är kopplad till ett relä som kopplar full effekt till värme-elementet varefter effekttregulatorn har utfört sin uppgift.



```
27      pause 4
28      low UT
29      pause 5
30      high UT
31      pause 4
32      low UT
33      pause 3
34      counter=counter+1
35      goto main
36
37      tredje: 'Duty ration är 60%
38      if counter >45000 then slut
39          pause 2
40          high UT
41          pause 6
42          low UT
43          pause 4
44          high UT
45          pause 6
46          low UT
47          pause 2
48          counter=counter+1
49          goto main
50      fjarde: 'Duty ration är 80%
51      if counter >60000 then slut
52          pause 1
53          high UT
54          pause 8
55          low UT
56          pause 2
57          high UT
58          pause 8
59          low UT
60          pause 1
61          counter=counter+1
62          goto main
63
64      slut: ' Här kopplar den på ledaren nr 2 som kopplar aktiverar by pass relen
65      low b.0
66      high b.2
67      end ' Den avslutar programmet
```

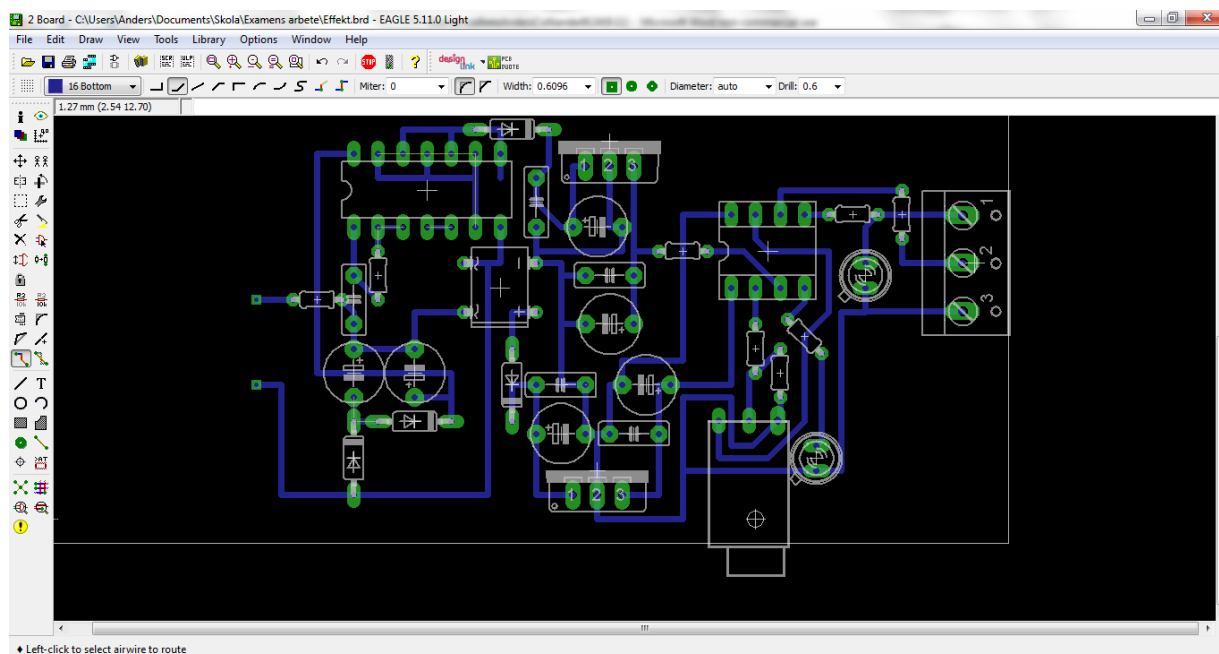
Figur 18. Andradelen av programmeringskoden.



## 6 EAGLE PROGRAMMET FÖR PLANERING AV KRETSKORT

I detta examensarbete använde man sig av EAGLE som är ett kretskortsritningsprogram. Bl.a. är figurerna 7, 9, 11 och 12 ritade med detta program. I detta program börjar man med att rita upp ett kretsschema varefter man placerar ut varje komponent på kretskortet. EAGLE är en förkortning av Easly Applicable Graphical Layout Editor som görs av företaget CadSoft.

I detta examensarbete har man använt sig av programmets gratisversion som är avsett för studerande. Med studentversionen kan man inte göra några stora avancerade kretsar, men denna effektregulator har en enkel struktur. Det mest tidskrävande i programmet är att söka rätt komponent från dess interna komponentregister. Figur 19 visar en grafisk bild av hur kretsen kommer att se ut i verkligheten. Där ser man konturerna av de enskilda komponenterna och de blåa linjerna kommer att vara kopparbanorna på kretskortet. Att planera kretskort är mycket tidskrävande för de blåa linjerna får inte gå på varandra eftersom det i verkligheten skulle resultera i kortslutning. På vissa ställen har man kunna leda de blåa linjerna över varandra med hjälp av tilläggskomponenter.



Figur 19. Kretskorts modellen.

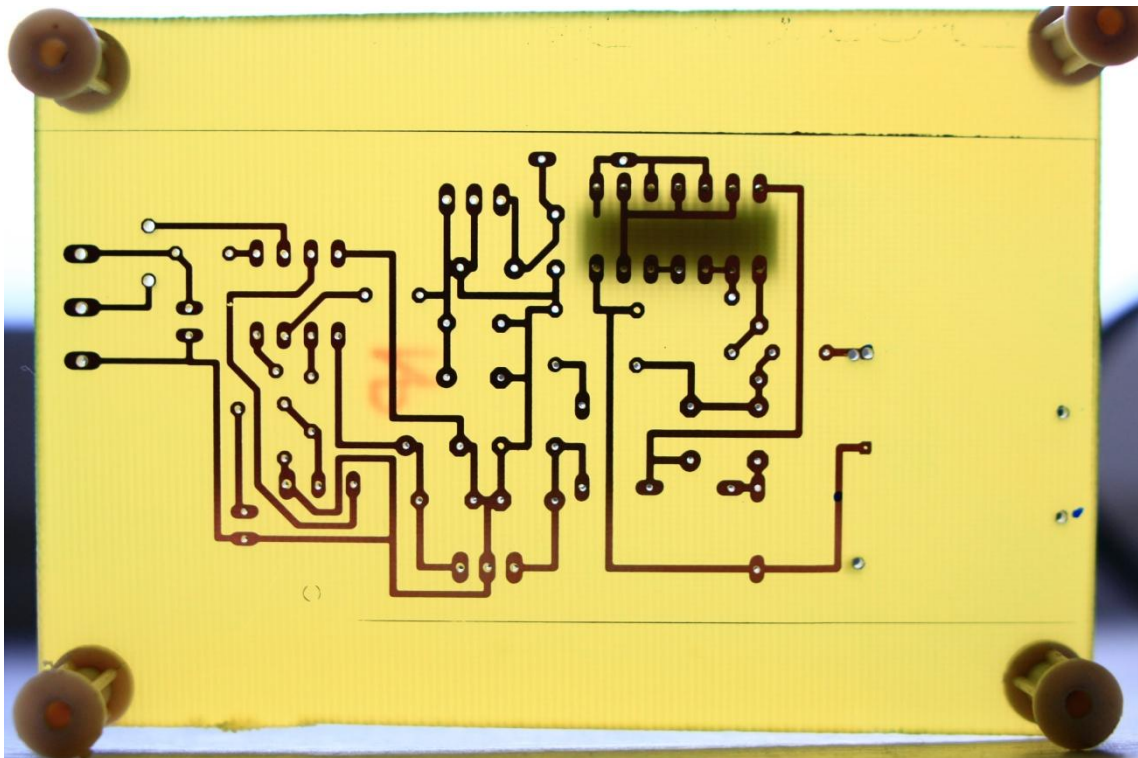
## 6.1 Etsning

När planeringen och ritandet var klart i programmet EAGLE skrev man ut ritningen i svartvitt på ett overhead-presentationsblad. Framkallningen av kretskort görs i tre steg. Först placerar man ett tomt kretskort på overhead-presentationsbladet så att kretsens mönster inte blir spegelvänt. Sedan sätts det i en UV-maskin, där det tomma kretskortet utsätts för UV-strålning i ca två minuter.

I det andra skedet sätts kortet i en natriumkloridlösning i högst tio sekunder, beroende på lösningens koncentration. I UV-maskinen brändes kretskortets skyddsbeläggning så att den fräts bort i natriumkloridlösningen, men förstås inte på de ställen var den fick skydd av ritningen.

Sedan låter man kretskortet badda i en kopparnitratlösning var resten av all oskyddad koppar löses upp till kopparsulfat. Denna process tar 15 minuter till en halvtimme. Därefter borrar man hål för komponenternas ledare.

I figur 20 ser man hur ett färdigetsat kretskort ser ut där redan invertern är placerad.

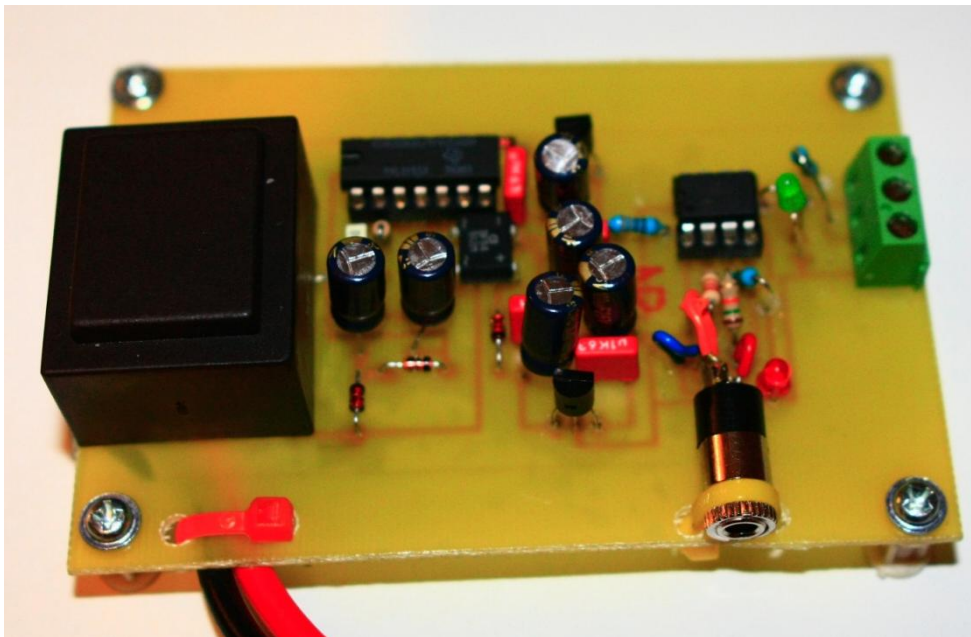


Figur 20. Färdigt etsat kretskort.

## 6.2 Den färdiga kretsen

När man hade skaffat alla komponenter och kretskortet var färdig etsat och borrarat började man löda komponenterna på plats. Detta skede är ganska arbetsdrygt p.g.a. att det kräver en noggrannhet för att komponenterna lätt kan skadas.

När alla komponenter var på plats kunde man börja testandet av kretsen. Efter att allt var i skick kördes programmeringskoden in i Picaxe-08M kretsen via 3,5 mm audiouttaget som man ser i figur 22.



Figur 21. Den färdiga effektregulatorn, audiouttaget syns till höger.

## 7 SLUTORD

Detta examensarbete har varit ett mycket lärorikt projekt. Första delen av examensarbetet gick ut på att analysera det förra arbetet och dess funktion. Som tidigare nämnts i detta arbete fungerade den gamla regulatorn på rätt sätt, men hade ingen automation i själva regleringen. Detta ledde till att man måste tänka på nytt och konkret planera allt från början.

Det bestämdes i början av projektet att en mikrokontroller kommer att vara lösningen till det förra arbetets dilemma.

Med hjälp av Internet och gammal erfarenhet från tidigare beställdes det Picaxe mikrokontroller från England p.g.a. enkelheten att programmera dem.

Alla de övriga komponenterna valdes på mikrokontrollerns villkor.

Den arbetsdrygaste samt mest tidskrävande planeringen var ZCD-kretsen. Efter att man hittat rätt krets var dess kombinerings med resten av effektregulatorn den följande utmaningen. Att kombinera två kretsar som fungerar på olika spänningsnivåer och olika spänningstyper krävde en noggrann planering som löstes med hjälp av spänningsregulatorer.

I arbetet använde man sig av oscilloskop, signalgenerator och multimeter. Med hjälp av oscilloskopet mättes utsignalerna från ZCD-kretsen och mikrokontrollern. Innan kretskortstransformatoren var vald användes en signalgenerator för att prova ZCD-kretsens funktion. Multimeter användes med jämna mellanrum för att kontrollera spänningar på olika ställen av kretsen.

Själva kretsen planerades med hjälp av datorprogrammet EAGLE som författaren har använt förut, men kretskorts planeringar är tidskrävande p.g.a. många faktorer man bör iaktta samtidigt. Picaxe Programming Editor var lätt att använda. Det behövdes endast två funktioner och de var simulering och ner laddande av koden in till PIC-kretsen.

C- och Javaprogrammerings kurserna författaren avlagt tidigare gav en god grund att programmering med språket BASIC. Kommandona var enkla och man hittade snabbt hjälp från manualen när det behövdes.

Bortsett från de aktiva komponenterna, dvs PIC-kretsen och hex-invertern var resten av komponenterna enkla att hitta och skaffa. Etsande av kretsen och lödande av komponenter orskade inte några större problem.

Denna krets ger en bra grund till att vidare utveckla en mindre och effektivare krets. Den nuvarande kretsen är för stor för att den skulle rymmas på DIN-skenan i ett elskåp. Med hjälp av mikrokontrollertekniken sparade man mycket utrymme och komponenter.

## KÄLLOR

/1/ Yösähkökuormien porastaminen. Jarno Sederlund, Verkkopalvelut.

/2/ Sähkön laatu jakeluverkkotoiminnan arvioinnissa.

[http://www.energiamarkkinavirasto.fi/files/Sahkon\\_laatu\\_TTY-LTY\\_1-2003.pdf](http://www.energiamarkkinavirasto.fi/files/Sahkon_laatu_TTY-LTY_1-2003.pdf)

/3/KimSaares. Kretskortsutveckling

