

Tampereen ammattikorkeakoulu, amk-tutkinto

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Automaatiotekniikka

Timo Niemi

## Opinnäytetyö

### Hakepolttimen ohjauskortti

Työnohjaaja

Yliopettaja Matti Ilmonen

Työnteettävä

T:mi Arto Paavola, ohjaajana johtaja Arto Paavola

Tampere 12/2009

# TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Sähkötekniikan koulutusohjelma, Automaatiotekniikka

Niemi, Timo	Hakepolttimen ohjauskortti
Tutkintotyö	35 sivua
Työnohjaaja	Yliopettaja Matti Ilmonen
Työnteettävä	T:mi Arto Paavola
Joulukuu 2009	
Hakusanat	hakepoltin, stokeri, ajastinpiiri

## TIIVISTELMÄ

Tässä opinnäytetyössä käsitellään hakepolttimen ohjauskortin suunnittelua ja kehitystä olemassa olevan korttiratkaisun pohjalta. Työssä käydään läpi suunnittelun eri vaiheita, sekä pohditaan erilaisia suunnittelussa huomioituja seikkoja. Työssä osa kappaleista on pyritty tekemään opasmuotoon, jolloin niitä voidaan käyttää hyödyksi myös muissa elektroniikka projekteissa. Työn tavoitteena on luoda dokumentit, joiden avulla voidaan teollisesti valmistaa ohjainkortin piirilevyjä, piirilevyjen jatkojalostaminen valmiiksi tuotteeksi on yksinkertaista ja sopivien komponenttien tilaaminen on helppoa.

Suunnitellusta ohjauskortista tehtiin prototyyppi, joka testattiin ja koekäytettiin huolellisesti. Ohjauskortti toimi odotetulla tavalla ja kortin piirilevyjä teetettiin piirilevyjä valmistavalla tehtaalla. Muutamia ohjauskortteja on jo ollut käytössä noin puoli vuotta ja ne ovat toimineet luotettavasti. Suunnittelussa varauduttiin mahdollisiin komponenttien rikkoutumisiin, joten vianetsintä ja – korjaus pyrittiin tekemään mahdollisimman helpoksi. Myös komponenttien korvattavuus huomioitiin, joten kortteihin on saatavilla korvaavia komponentteja, vaikka jotkin komponenttien valmistajista lopettaisi tuotannon.

# TAMPERE UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Electrical engineering, Automation technology

Niemi, Timo	Control card for stoker
Engineering Thesis	35 pages
Thesis Supervisor	Principal Lecturer Matti Ilmonen
Commissioning Company	T:mi Arto Paavola
December 2009	
Keywords	stoker, solid fuel burner, timer circuit

## ABSTRACT

This thesis concerns design and development of a control card for solid fuel burner, based on the existing card solution. Different stages of development are examined in this thesis and also things that have been taken into consideration during the design process will be reasoned. Some of the paragraphs have been aimed for educational purposes so they can be used for reference during other electrical projects. A goal was to create documents to provide a possibility to manufacture a printed circuit boards for control cards at industrial factory. Refining those into ready products is simple and buying suitable components is easy.

Prototype was made based on the designed control card and it was tested properly. Control card worked like it was planned to and the printed circuit boards were subcontracted in a printed circuit board factory. Some control cards have been already at use for approximately half a year and they have been working reliably. Component breakage was noticed in the design process, so troubleshooting and repair were tried to make as simple as possible. Also possible need for replacing the components was taken into account so spare parts for the cards will be available even if some of the manufactures close down their production.

## Sisällysluettelo

1 Johdanto .....	5
1.1 Yleistä hakepolttimesta .....	5
1.2 Yritysesittely .....	7
1.3 Aihe ja tausta.....	9
3 Ohjaukortti.....	11
3.1 Ohjaukortin toiminta .....	11
3.2 Suunnittelun vaiheet.....	13
3.2.1 Piirikaavion laatiminen ja toimintaperiaatteen päättely .....	13
3.2.2 Komponenttivalinnat.....	23
3.2.3 Piirilevyn suunnittelu .....	28
3.2.4 Prototyyppi-levyn valmistus .....	30
4 Lopputulos ja päätelmät .....	32

# 1 Johdanto

## 1.1 Yleistä hakepolttimesta

Hakepoltinta voidaan kutsua myös stokeriksi, joka on yleisnimitys mekaaniselle kiinteän polttoaineen syöttöjärjestelmälle, jossa voidaan käyttää polttoaineena esimerkiksi haketta, puupellettejä ja palaturvetta. Stokeri on melko vanha keksintö, sillä niitä on käytetty suurissa höyryvetureissa syöttämään hiiltä kattilaan /1/.

Hakepolttimella pystytään automatisoimaan kiinteistön lämmitystä, jolloin se tarjoaa huomattavasti vaivattomamman lämmitysmuodon verrattuna esimerkiksi pilkkeellä lämmittämiseen.

Yksinkertaistettuna nykyaikainen hakepoltin koostuu säiliöstä, syöttöruuvista, palopesästä, puhaltimesta ja ohjauskeskuksesta. Syöttöruuvi syöttää polttoainetta säiliöstä palopesään. Palopesän seinämissä on pieniä ilmanavia, joiden kautta palamiseen tarvittava ilma syötetään. Kotitalouksien lämmitykseen käytettävissä pienemmissä hakepolttimissa ei yleensä ole automaattista sytytysjärjestelmää, vaan poltin täytyy sytyttää käsin. Tällöin hakepoltin täytyy ylläpitää pientä hiillosta palopäässä.

Hakepoltin ohjaus voidaan toteuttaa käyttämällä ajastimia, joihin asetellaan kolme parametria: ylläpidon tauko, käyntijakson tauko ja syöttöjakson pituus.

Lämmityskattilaan asennetusta termostaatista asetellaan haluttu veden lämpötila.

Lämpötilan ollessa alhaisempi kuin haluttu arvo, termostaatti antaa tästä tiedon ohjauskeskukselle, jolloin stokeri toimii käyntitilassa. Kun lämpötila saavuttaa halutun arvon, ohjauskeskus vaihtaa toiminnan ylläpitotilaan.

Käyntitilan tarkoituksena on lämmön tuottaminen, joten ajastinparametrit pyritään asettelemaan siten, että syötetty polttoaine palaa mahdollisimman tehokkaasti.

Ylläpitotilan tarkoituksena on ylläpitää jatkuva hiillos tulipesässä, joten polttoainetta tarvitsee syöttää huomattavasti vähemmän, kuin käyntitilassa. Lisäksi ylläpitotila estää

hiiloksen mataluuden kohti säiliötä. Kummassakin tapauksessa aseteltaviin parametreihin vaikuttavat esimerkiksi palopään koko, käytettävä polttoaine ja sen kosteus.

Ohjauskeskus voidaan toteuttaa monella eri tavalla. Esimerkiksi yksinkertainen ohjauskeskus voidaan toteuttaa kahdella monitoimiajastinreleellä ja moottorikontaktorilla. Tällaisen ratkaisun etuna on osien helppo saatavuus sähkötarvikekaupoista. Haittana puolestaan on monitoimiajastinreleiden hinta, joka voi helposti olla 50 - 70€. Jotkut hakepolttimen hankkivat yrittävät säästää rahaa tekemällä tällaisen ohjauskeskuksen itse. Tämä voi kostautua, koska monissa itse tehdyissä keskuksissa ajastinrele on rikkoutunut muutamassa vuodessa. Luultavasti ne eivät kestä kovin hyvin jatkuvaa päälle/pois toimintaa. Lisäksi omavalmistekeskuksessa ei välttämättä ole huomioitu turvatoimintoja, joten ne voivat olla jopa vaarallisia.

Yksinkertaisessa keskuksessa erilliset ajastinreleet voidaan korvata käyttötarkoitukseen suunnitellulla ohjauskortilla. Tällöin toimintavarmuus kasvaa, toimintojen integroiminen helpottuu sekä parametrien säätö voidaan toteuttaa keskuksen etupaneeliin upotetuilla säätönupeilla.

Mentäessä isomman teholuokan polttimiin (esim. lämpölaitokset) alkaa ohjelmoitavan logiikan käyttö olla kannattavaa. Logiikkaa käytettäessä polttimen hoitotarvetta voidaan pienentää ja hyötysuhdetta parantaa. Logiikalla voidaan toteuttaa esimerkiksi automaattisyytytys, jäännöshapen mittaukset, ajastettu polttimen automaattinen puhdistus ja tuhkaruuvien ohjaus. Mittaamalla jäännöshapetta voidaan polttoaineen syöttö ja ilmamäärä säätää optimaaliseksi. Tällöin polttimen tehokkuutta ja hyötysuhdetta voidaan parantaa, jolloin palaminen tapahtuu täydellisemmin ja pienemmällä päästöillä.

Hakkeella lämmityksen kustannukset ovat todella huokeita verrattuna esimerkiksi sähkö- tai öljylämmitykseen. Varsinkin jos omistaa metsää, jolloin tarvittava hake voidaan hakettaa omista puista, joita saadaan raivauksen ja muiden metsänhoitotoimenpiteiden yhteydessä. Hakepolttimen käyttöä rajoittaa suuri tilantarve. Hakepoltin itsessään ei vie paljoa tilaa, mutta polttoaineen varastointi vie suuren tilan.

## 1.2 Yritysesittely

T:mi Arto Paavola on vuonna 2001 perustettu pienyritys, jonka toimiala on metallituotteiden valmistus ja myynti. Tuotantotilat ovat kooltaan 300 m<sup>2</sup> ja ne sijaitsevat Etelä-Pohjanmaalla Teuvan kunnassa. Yritys työllistää 2 – 3 henkilöä riippuen työvoiman tarpeesta. Yrityksen pääasiallisia tuotteita ovat hakepolttimet ja keskuslämmityskattilat, jotka yritys suunnittelee, hitsaa, koneistaa, kokoonpanee ja maalaa itse. Lisäksi yritys suorittaa pienissä määrin alihankintakoneistusta ja -hitsuista.

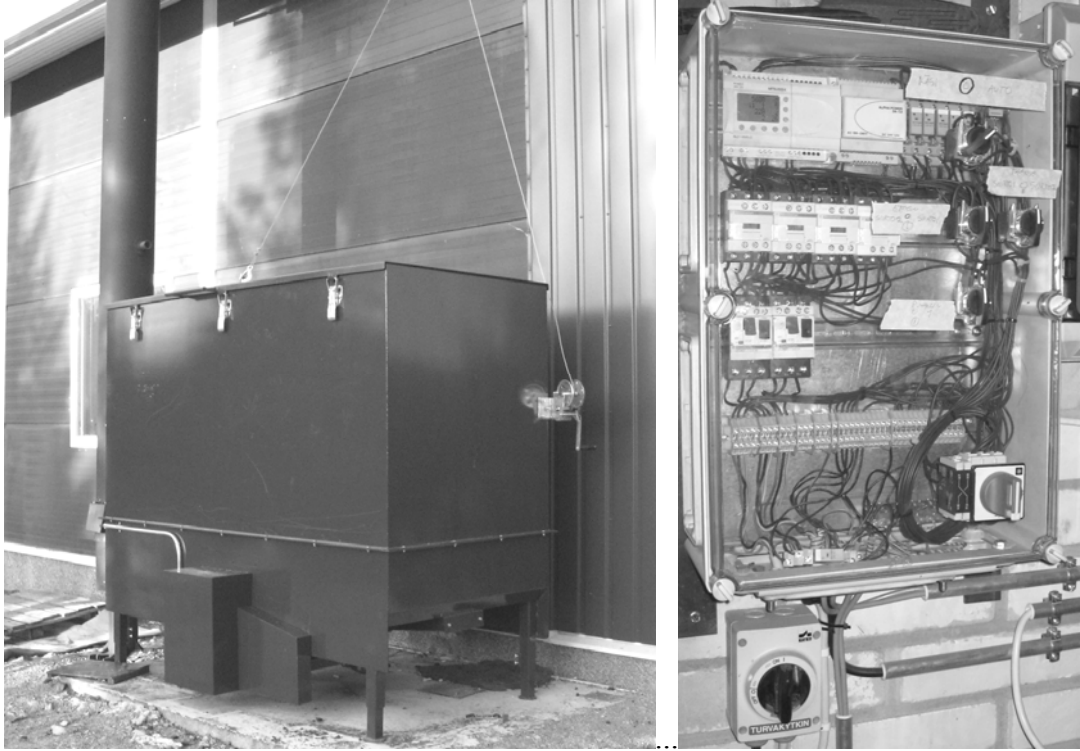
Lämmityskattilat ovat tyypiltään tuubikattiloita, ja ne ovat hyötysuhteeltaan hyviä. Tuotevalikoimassa on neljä erikokoista kattilaa, joista kolme on suunniteltu käytettäväksi hakepolttimen kanssa (20, 30, 45 kW). Lisäksi valikoimassa on 18 kW malli, joka on suunniteltu käytettäväksi pellettipolttimen kanssa.

Hakepolttimet jaetaan kahteen luokkaan koon ja täyttötyypin mukaan.

Pienempikokoiset käsitäyttöiset hakepolttimet ovat teholuokaltaan 30 – 80 kW ja niiden säiliötilavuudeksi voi valita 500 – 1750 litran väliltä. Polttoaineen holvaantumista estää säiliön pohjassa kuljetinruuvien mukana pyörivä sekoitinratas. Isommat etukuormaajatäyttöiset mallit ovat kooltaan 3,5 – 4,5 m<sup>3</sup> ja teholtaan 30 – 120 kW. Isoimmista malleista käytetään kolapurkainta, joka estää holvaantumista tehokkaasti. Erikokoisia polttimia ja säiliöitä voidaan yhdistää asiakkaan toiveiden mukaan. Kaikki polttimet voidaan tarvittaessa varustaa sulkusyöttimellä, joka estää mahdollisen takatulen etenemisen säiliöön. Kaikki palopäät ovat varustettu liikkuvalla arinalla, joka poistaa tuhkaa ja pitää palopään puhtaana. Liikkuvan arinan ansiosta hakepolttimessa voidaan käyttää myös polttoaineista, joiden palamisessa syntyy paljon tuhkaa (esim. vilja). Polttoaineena voidaan käyttää esimerkiksi haketta, puu- ja turvepellettiä, viljaa ja viljan kuivausjätettä. Kuvassa 1 on esimerkki T:mi Arto Paavolan valmistamasta hakepolttimesta.

Hakepolttimiin on saatavilla myös tarvittava ohjauskeskus, jonka tyyppi määräytyy poltinkoon ja haluttujen ominaisuuksien mukaan. Isoimmista polttimista käytetään yleensä logiikkaohjattua keskusta, jolla toimintojen määrää voidaan lisätä ja huollontarvetta vähentää (esim. ajastettu tuhkaruuvi). Pienempiin polttimiin riittää

yleensä yksinkertaisempi ohjauskeskus, joissa käytetään yrityksen itse valmistamaa ohjainkorttia polttimen tehon säätöön.

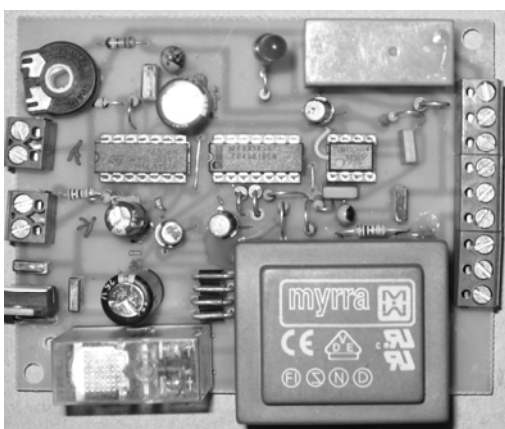


*Kuva 1: Logiikkaohjattu, sulkusyöttimellä varustettu etukuormaintäyttöinen hakepoltin.*



### 1.3 Aihe ja tausta

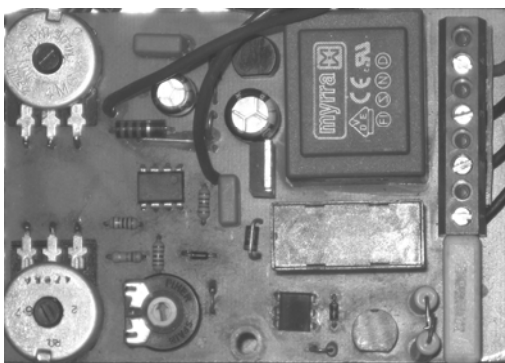
Kuten jo edellisessä kappaleessa mainittiin, T:mi Arto Paavola valmistaa itse myös yksinkertaisemman ohjauskeskuksen ”aivoina” toimivat ohjauskortit. Tähän asti käytössä olleet ohjauskortit on suunniteltu Suupohjan ammattioppilaitoksessa oppilastyönä. Kortti oli toteutettu huonosti ja siinä oli noin puolet enemmän komponentteja kuin vastaavan toiminnan aikaansaamiseen samoilla peruskomponenteilla vaaditaan (esitetty kuvassa 2). Kortissa on myös eräänlainen toimintahäiriö, joka johtuu kortin toteutustavasta. Kortti on toteutettu siten, että jokaiselle asetettavalle aikaparametrille on oma ajastinpiiri ja piirit ”rullaavat” jatkuvalla kierrolla riippumatta kortin tilasta. Toisin sanoen käynti- ja ylläpitoajastimet laskevat aikaa jatkuvalla kierrolla, jolloin kortin tilan vaihtuessa käynniltä ylläpidolle, saattaa ylläpitoajan syöttöjakso osua virheellisesti hyvinkin lähelle edellistä käyntitilan syöttöjaksoa. Häiriön olisi pystynyt eliminoimaan tekemällä käynti- ja ylläpitoajastimiin ristikkäiset nollaukset, jolloin käyntiajastimen ollessa valittuna ylläpitoajastin olisi pysähtyneenä ja päinvastoin. Häiriö voi aiheuttaa pienen viiveen lämpötilan tarpeen ja polttimen lämmöntuoton välille, mutta loppujen lopuksi se ei vaikuta kortin toimintaan merkittävästi.



*Kuva 2: Tähän asti käytössä ollut ohjauskortti.*

Ohjauskorttien piirilevyjä oli yrityksen alkuaikana teetetty muutaman sadan kappaleen erä, joka on loppumassa. Vanhoja kortteja ei enää haluttu teettää lisää vaan uusi korvaava kortti haluttiin kehittää vanhan tilalle. Lähtökohtana uuden kortin kehittelylle oli toisen valmistajan (Oikari) kortti noin 20 vuoden takaa (esitetty kuvassa 2). Arto

Paavolan omakotitalon lämmitystä hoitavassa hakepolttimessa käytetään kyseisellä kortilla varustettua ohjauskeskusta ja kortti on toiminut ilman ongelmia jo noin 20 vuotta. Kyseistä korttia käyttävän ohjauskeskuksen kytkentä on yksinkertaisempi ja vaatii vähemmän osia kuin yrityksen tähänastista korttia käyttävä ohjauskeskus. Korttia ei ole patentoitu, vaan tuotesuojaus oli tehty ”80-luvun tyyliin” raaputtamalla käytettyjen mikropiirien tunnistetiedot pois. Tämä estää tehokkaasti kopioimisen, koska tuntemattomien mikropiirien valinnassa täytyy ymmärtää kortin komponenttien ja sisäisten kytkentöjen tarkoitus ja toiminta.



*Kuva 2: Suunnittelun lähtökohtana käytetty ohjainkortti.*

Ohjainkortin uusimispäätökseen vaikutti monia seikkoja. Esimerkiksi vanhassa kortissa syöttöjakson pituus säädetään kortissa kiinteästi olevasta trimmeristä, jolloin keskuksen kansi täytyy aukaista jotta sitä päästään säätämään. (Normaalisti syöttöjakson pituutta ei tarvitse säätää muuta kuin vaihdettaessa käytettävää polttoainetta.) Komponenttimäärän paljous vaikutti muun muassa vikaantumisriskin, kokoamis- ja komponenttikustannuksien kasvuun.

Oikarin ohjainkortin toimintaperiaatteen pohjalta haluttiin kehittää oma paranneltu versio kortista. Tavoitteena oli luoda dokumentit, joiden avulla voidaan teollisesti valmistaa ohjainkortin piirilevyjä, piirilevyjen jatkojalostaminen valmiiksi tuotteeksi on yksinkertaista ja sopivien komponenttien tilaaminen on helppoa. Tässä opinnäytetyössä käsitellään uuden ohjainkortin suunnittelun eri vaiheita eli toimintaperiaatteen selvittämistä, komponenttivalintoja, piirilevyn suunnittelemista ja prototyypikortin valmistamista. Työssä käsitellään kohtalaisen laajasti 555-ajastinpiirin toimintaa, tehonlähteen mitoittamisen perusteita ja optoerottimen valinnassa huomioituja seikkoja.

## 3 Ohjauskortti

### 3.1 Ohjauskortin toiminta

Ohjauskortin komponenttien merkityksen piirin toiminnassa pystyy hahmottamaan, kun tuntee kortin liitännät ja halutut toiminnot. Kortissa on kuusi liitintä jotka ovat vaihe, nolla, termostaatti, kontaktorin ohjaus sekä kaksi liekkivahdin liitintä.

Liittimet ovat kytkettyinä seuraavasti vasemmalta oikealle lukien:

- Termostaattiliittimeen tulee jännite silloin, kun moottorin suojakytkin ja ylikuumenemissuoja eivät ole toimineena, päävirta on kytkettynä sekä veden lämpö on alle halutun.
- Kontaktorin ohjausliitin syöttää jännitteen syöttöruuvia ohjaavalle kontaktorille.
- Vaiheliittimeen tulee jännite silloin, kun moottorin suojakytkin ja ylikuumenemissuoja eivät ole toimineena sekä päävirta on kytkettynä.
- Nollaliitin on kytkettynä keskuksen nollakiskoon.
- Kortin toisessa laidassa olevat liekkivahdin liittimet ovat kytkettyinä termostaattiin, joka on palopään ulkopuolella.

Kortti ohjaa hakepolttimen syöttöruuvia toimimaan käynti- ja ylläpitotilassa termostaatin tilan mukaan. Hakepolttimen puhallin on kytkettynä samaan piiriin termostaattiliittimen kanssa sekä kontaktorin apukoskettimeen, minkä vuoksi käyntitilassa puhallin toimii koko ajan ja ylläpitotilassa vain kontaktorin vetäessä.

Liekkivahdin tehtävänä on estää korttia ohjaamasta kontaktoria, jos poltinpään lämpötila laskee alle asetetun. Tällöin syöttöruuvi ei syötä tulipesää täyteen haketta polttimen sammussa. Puhaltimen kytkennän takia liekin sammussa ja termostaatin toimiessa myös puhallin on käynnissä tuulettaen pesän ja hormin, jolloin vaarallista häkäkaasua ei pääse muodostumaan.

Poltinta sytytettäessä liekkiavahdin termostaatti täytyy kääntää  $0^{\circ}\text{C}$  -asentoon. Kun polttimen ulkokuori on lämmennyt tarpeeksi, täytyy liekkiavahti säätää siihen raja-arvoon, jonka alittuessa termostaatti tulkitsee liekin sammuneen (itse olen käyttänyt raja-arvona noin  $100^{\circ}\text{C}$ ).

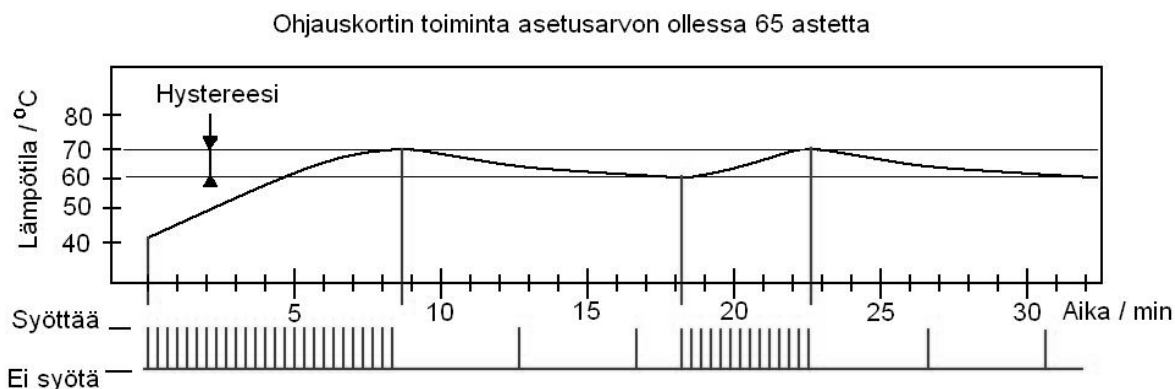
Kortissa on kolme säätövastusta, joilla määritellään parametrit: ylläpidon tauko, käyntijakson tauko ja syöttöjakson pituus.

Ohjauskortin toimintaa voidaan havainnollistaa paremmin kuvaajalla (kuva 3).

Sytytettäessä hakepoltin veden lämpötila on matalalla ja termostaatti on toimineena. Kortti toimii tällöin käyntitilassa syöttäen lyhyitä sykäyksiä haketta polttimeen ja pitää lyhyen tauon. Veden lämpötila alkaa kohota, kunnes se saavuttaa termostaatin hystereesin ylärajan. Termostaatti vaihtaa tilaansa ja kortti alkaa toimia ylläpitotilassa syöttäen haketta polttimeen huomattavasti harvemmin. Poltin ei tuota juurikaan lämpöä ja veden lämpötila lähtee laskemaan. Lämpötilan saavuttaessa termostaatin hystereesin alarajan, vaihtuu termostaatin tila jälleen ja kortti toimii taas käynti-tilassa.

Esimerkki käyntiajoista:

- Käyntisyklillä ruuvi syöttää polttoainetta 5 sekuntia ja pitää taukoa 15 sekuntia
- Ylläpitosyklillä vastaavasti syöttöjakso kestää 5 sekuntia ja tauko 4 minuuttia



Kuva 3: Karkea esimerkki ohjauskortin toiminnasta.

## **3.2 Suunnittelun vaiheet**

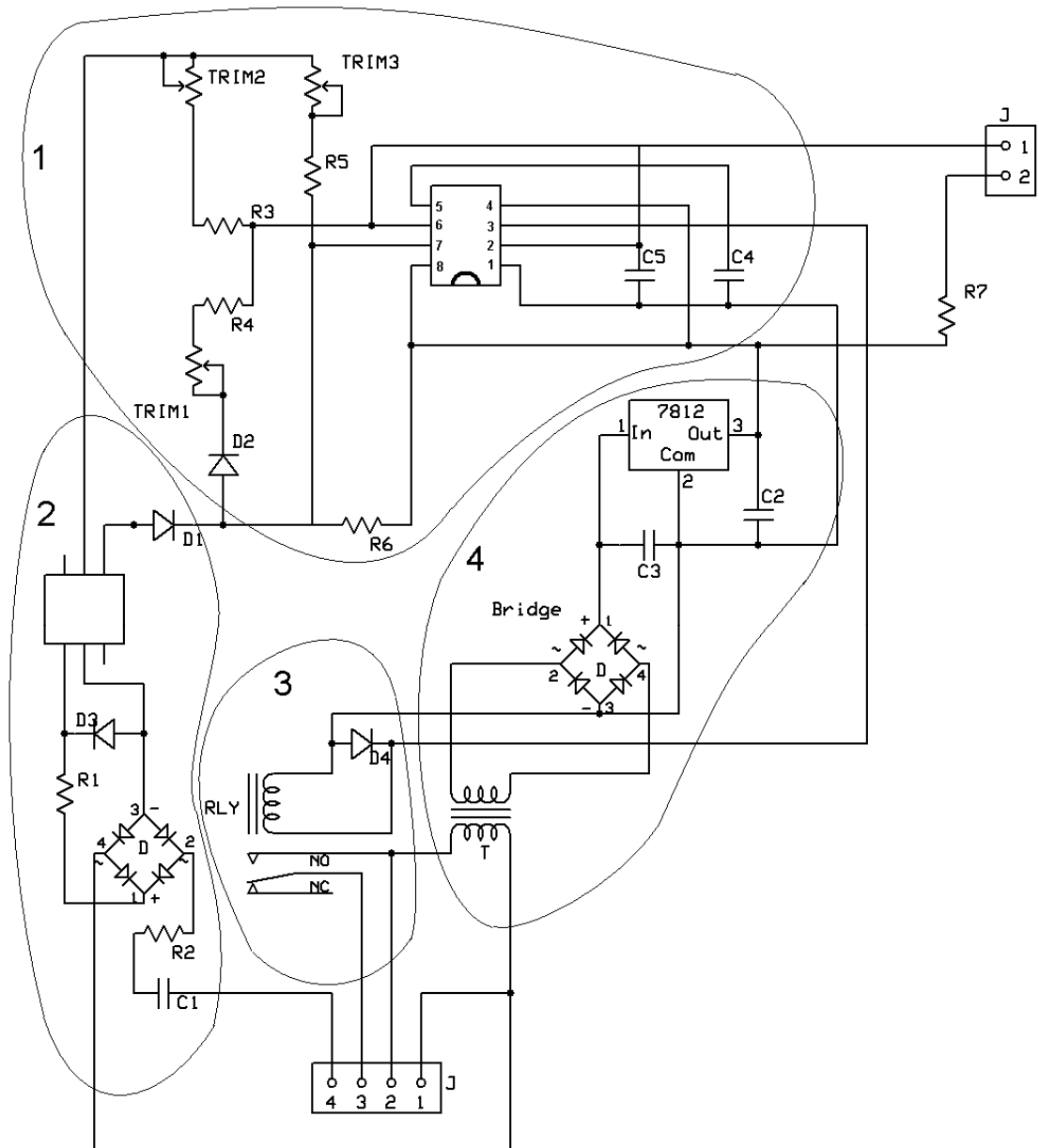
### **3.2.1 Piirikaavion laatiminen ja toimintaperiaatteen päättely**

Ensimmäinen versio piirikaaviosta piirrettiin paperille. Piirtäminen aloitettiin toisesta mikropiiristä, koska siihen oli kytkettynä paljon osia.

Vertailemalla piirilevyn komponentti- ja foliopuolta, voitiin mikropiirin ympärillä oleva kytkentä hahmotella paperille. Kytkennän piirtäminen aloitettiin seuraamalla mikropiirin liitoksia ympärillä oleville komponenteille yksi jalka kerrallaan. Kun mikropiirin kaikki jalat oli käyty läpi, ympärillä olevien komponenttien liitoksia seurattiin, kunnes koko piirilevyn kytkentä oli paperilla (kuva 4).

Seuraavaksi nimettiin komponentit ja tehtiin osaluettelosta karkea vedos, johon tulivat mukaan ne osat, jotka voitiin selvittää. Näitä olivat esimerkiksi vastukset, kondensaattorit, diodit, tasasuuntaussillat, regulaattori, muuntaja sekä rele.

Seuraavaksi alettiin miettiä kytkennän toimintoja. Joistain piirin osista, kuten tehonlähteestä (kuvan 4 kohta:4) pystyttiin helposti rajaamaan toimintaan tarvittavat komponentit. Toinen helppo tapaus oli rele (kuvan 4 kohta:3), jonka käämin rinnalle tarvitaan estosuuntainen diodi poistamaan jännitteen poiskytkennässä syntyvät jännitepiikit. /2, s. 121 - 122/ Jäljelle jäi termostaattiin kytkettävän liittimen perässä olevat komponentit toiseen tuntemattomaan mikropiiriin asti (kuvan 4 kohta:2), sekä oletettu ajastin piiri (kuvan 4 kohta:1).



Kuva 4: Ohjainkortin piirikaavio jaoteltuna lohkoiksi.

### Ajastinpiirin toiminnan päättely

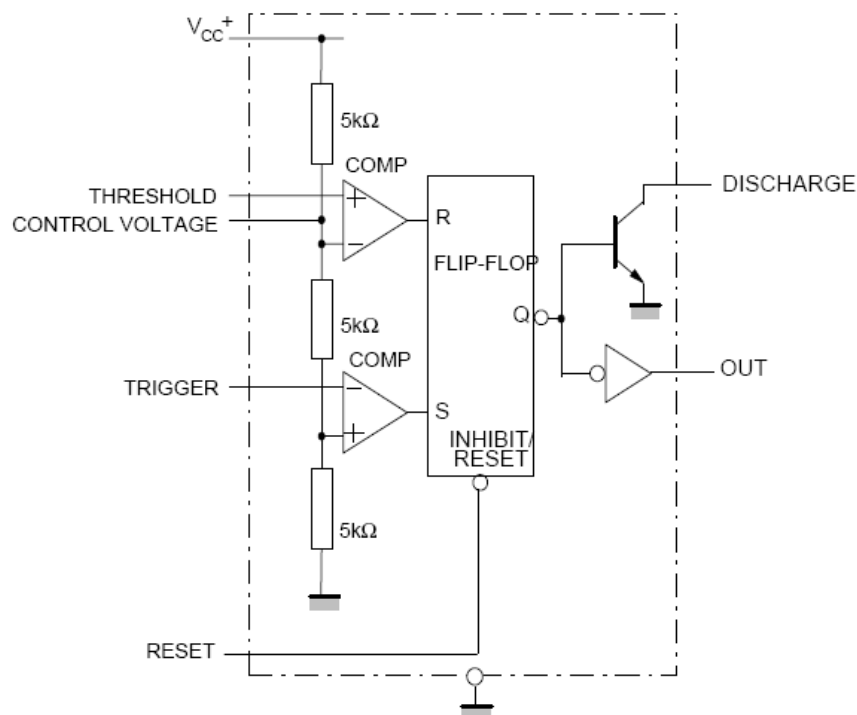
Aloitettaessa ajastinpiiriin perehtyminen oletettiin, että mikropiiriinä on käytetty yleistä 555-piiriä. Joten 555-piiriin toimintaan täytyi perehtyä syvällisemmin. 555-ajastinpiirillä voidaan toteuttaa monia erilaisia ajastin-, viive- ja oskillaattoriipiirejä vähäisellä oheiskomponenttien määrällä. Valmistajien datalehdistä löytyy muutamia yksinkertaisia

peruskytkeä ja laskukaavoja niiden mitoittamiseen. Piiristä on saatavilla myös tuplamalli, joka sisältää kaksi ajastinpiiriä samassa kotelossa (556-piiri).

Yksinkertaistettuna piiri koostuu kolmesta samanarvoisesta vastuksesta, kahdesta komparaattorista, RS-kiikusta, ulkopuolisen kondensaattorin purkaustransistorista ja invertoidusta ulostuloasteesta. DIL-koteloisessa 555-piirissä on kahdeksan jalkaa: maa (1), liipaisu (2), ulostulo (3), nollaus (4), ohjausjännite (5), pito (6), purkaus (7) ja käyttöjännite (8). Piirin lohkokaavio on esitetty kuvassa 5.

Vastuksilla jaetaan käyttöjännitteestä kaksi vertailutasoa:  $1/3 \cdot V_{cc}$  ja  $2/3 \cdot V_{cc}$ .

Vertailutasot ovat kytkettyinä RS-kiikun asetus- ja nollaustuloihin komparaattoreiden kautta siten, että pitonastan jännitteen ollessa suurempi kuin  $2/3 \cdot V_{cc}$ , nollaustulo on aktiivisena ja liipaisunastan jännitteen ollessa pienempi kuin  $1/3 \cdot V_{cc}$ , asetustulo on aktiivisena. RS-kiikun ulostulo vaihtaa tilaansa sen mukaan, kumpi tuloista on ollut viimeiseksi aktiivisena. RS-kiikun invertoidulla lähdöllä ohjataan purkaustransistoria, joka kytkee purkausnastan maapotentiaaliin.



*kuva 5: 555-piirin lohkokaavio /3, s. 2, kuva 1/*

Kuten edellä jo mainittiin, 555-piirillä voidaan toteuttaa monia erilaisia toimintoja vähäisellä lisäkomponenttien määrällä. Internetiä selailemalla löytyy useita erilaisia kytkentäesimerkkejä. Esimerkiksi liikkeen- ja pimeäntunnistimen, servo-ohjaimen, pulssinleveysmodulaattorin, kierroslukumittarin ja poliisisireenin kytkentäohjeet ovat internetissä kaikkien saatavilla.

Ohjaukskortin toiminta muistuttaa pitkälti 555-piirillä toteutettua astabiili-kytkentää (esitetty kuvassa 6), koska kummassakin tapauksessa piirin ulostulo vaihtaa tilaansa jatkuvalla kierrolla. Astabiili-kytkennässä ulostulon päällä- ja poisoloajat voidaan säätää eripituisiksi muuttamalla kahden vastuksen kokoa.

Alkutilanteessa kondensaattorin ollessa purkautuneena ulostulo on ylhäällä ja purkauksena (7) ”leijuu” ilmassa. Virta alkaa kulkea vastusten  $R_1$  ja  $R_2$  kautta varaten kondensaattoria  $C_1$ . Kondensaattorin jännite saavuttaa  $2/3 V_{cc}$ , jolloin piiri vaihtaa tilaansa ja ulostulo menee alas. Samalla purkaus nasta (7) kytkeytyy maapotentiaaliin, jolloin  $C_1$  alkaa purkaantua  $R_2$ :n läpi. Peruskytkennällä ulostulon ylhäälläoloaika määräytyy vastuksien ja kondensaattorin aikavakiosta seuraavasti:  $t_1 = 0,693 * (R_1 + R_2) * C_1$ . Ulostulon alhaallaoloaika määräytyy vastaavalla tavalla:  $t_2 = 0,693 * R_2 * C_1$ .  
/3, s. 10/

Vertailemalla 555-piirin astabiilia kytkentää (kuva 6) ja ohjainkortin ajastinkytkentää (kuva 7), voidaan ohjainkortin kytkentä yksinkertaistaa. Tässä vaiheessa jätetään tuntematon mikropiiri ja diodi  $D_1$  tarkoituksella huomioimatta, jolloin ohjainkortti toimii ylläpitotilassa.

Ohjainkortissa vastus  $R_6$  vastaa astabiilissa kytkennässä vastusta  $R_1$ . Vastuksien  $R_3$ ,  $R_4$ ,  $R_5$ ,  $TRIM_1$ ,  $TRIM_2$ ,  $TRIM_3$  ja  $D_2$  kytkentä vastaa astabiilissa kytkennässä vastusta  $R_2$ , ja vastaavasti kondensaattori  $C_5 = C_1$ . Koska kondensaattorin latautuessa ja purkautuessa virta kulkee eri suuntaan, voidaan diodilla ohjata virran reittiä. Kondensaattorin latausaikana  $D_2$ ,  $TRIM_1$  ja  $R_4$  muodostavat ”oikotien”  $R_5$ ,  $TRIM_3$ ,  $TRIM_2$  ja  $R_3$ :n rinnalle. Koska  $TRIM_1$  ja  $R_4$  ovat resistanssiltaan huomattavasti pienempi arvoisia kuin  $R_5$ ,  $TRIM_3$ ,  $TRIM_2$  ja  $R_3$ , niiden rinnankytkennässä  $TRIM_1$ :n ja  $R_4$ :n arvot ovat dominoivia.



555-piirin vaihtaessa tilaa kondensaattori alkaa purkautua kohti nastaa 7. Tällöin diodi  $D_2$  on estosuunnassa, jolloin virta ei pääse siitä läpi, vaan sen täytyy kiertää  $R_3$ :n,  $TRIM_2$ :n,  $TRIM_3$ :n ja  $R_5$ :n kautta.

Yhteenvedona ylläpitotilan aikaparametreihin vaikuttavat resistanssit:

$$R_1 = R_6 = 10 \text{ k}\Omega$$

Pulssinpituuteen vaikuttavat seuraavat vastukset (säätövastusten ollessa minimiasennossa):

$$R_1 + R_2 = R_6 + R_4 + TRIM_1 \parallel R_3 + R_5 + TRIM_2 + TRIM_3 = 19,96 \text{ k}\Omega \approx 20 \text{ k}\Omega$$

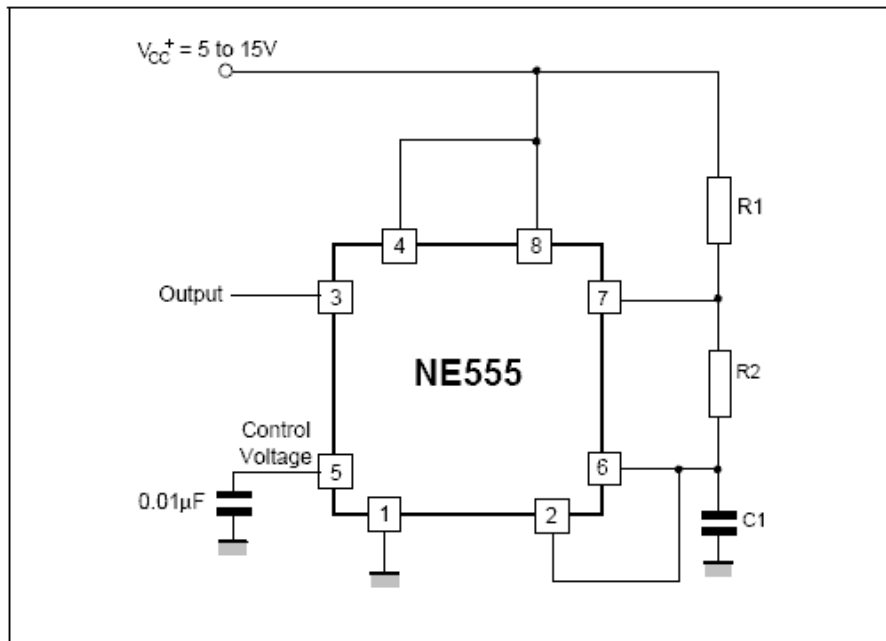
Taukoon vaikuttavat seuraavat vastukset (säätövastusten ollessa minimiasennossa):

$$R_2 = R_3 + R_5 + TRIM_2 + TRIM_3 = 3,11 \text{ M}\Omega \approx 3,1 \text{ M}\Omega$$

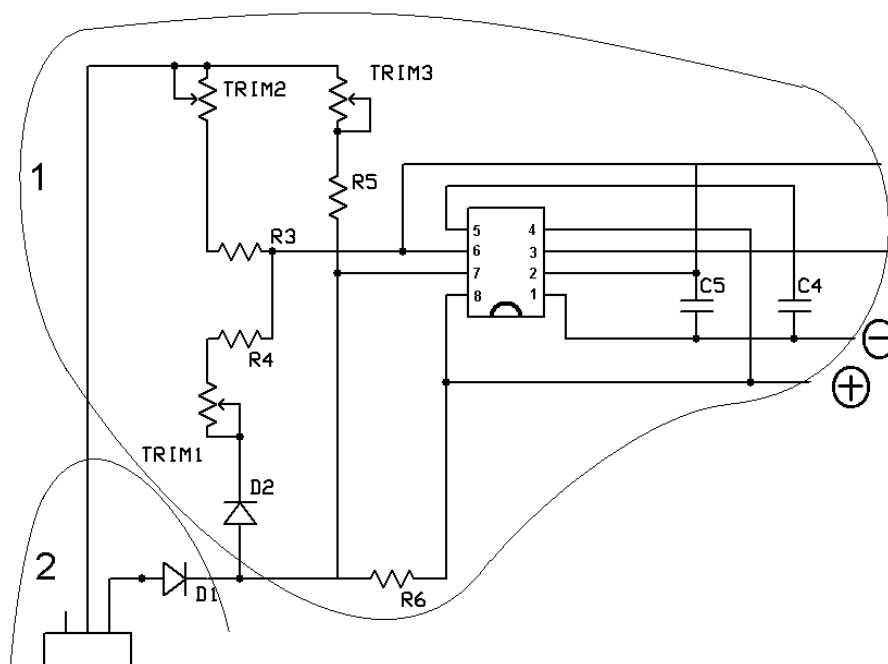
Koska ohjainkortin toiminta muuttuu termostaatin tilan mukaan, täytyy  $R_2$ :n ja  $C_1$ :n muodostama aikavakio muuttua samalla. Tutkittaessa kytkentää huomataan tuntemattoman mikropiirin ja  $D_1$ :n olevan  $R_5$ :n ja  $TRIM_3$ :n rinnalla. Tästä voidaan päätellä mikropiirin olevan jonkinlainen puolijohderele, joka oikosulkee  $R_5$ :n ja  $TRIM_3$ :n muuttaen piirin alhaallaoloaikaan vaikuttavan kytkennän riippumaan vain  $TRIM_2$ :sta ja  $R_3$ :sta. Diodin  $D_1$  ansiosta mikropiirin toiminta ei vaikuta pulssin pituuteen ollenkaan.

Tällöin käyntitilassa taukoon vaikuttavat seuraavat vastukset (säätövastusten ollessa minimiasennossa):

$$R_2 = R_3 + TRIM_2 = 10 \text{ k}\Omega$$



Kuva 6: 555-piiri astabiili-kytkennässä. /3, s. 10, kuva 15/



Kuva 7: Ohjainkortin ajastinkytkentä.

Seuraavaksi voitiin laskea toiminnan kannalta riittävän tarkat arvot ajastinparametreille käyttäen datalehdessä olevia kaavoja. Jos haluttaisiin olla tarkkoja, pitäisi myös diodien vaikutukset RC-piiriin laskea. Vaikutukset ovat kuitenkin niin pieniä ja vaikuttavat

pääasiassa vain maksimi ja minimi aikoihin, joten niitä ei tarvitse huomioida. Arvot laskettiin erikseen säätövastusten ollessa kummassakin päätyasennoissa seuraavasti:

$$t_{1\min} = 0,693 * (R_1 + R_2) * C_1 = 0,693 * (10 \text{ kohm} + 10 \text{ kohm}) * 220 \mu\text{F}$$

$$= 3,0492 \text{ noin } 3 \text{ sekuntia}$$

$$t_{1\max} = 0,693 * (R_1 + R_2) * C_1 = 0,693 * (10 \text{ kohm} + 10 \text{ kohm} + 47 \text{ kohm}) * 220 \mu\text{F}$$

$$= 10,21482 \text{ noin } 10 \text{ sekuntia}$$

$$\text{Käynti-tilassa: } t_{2\min} = 0,693 * R_2 * C_1 = 0,693 * 10 \text{ kohm} * 220 \mu\text{F}$$

$$= 1,5246 \text{ noin } 2 \text{ sekuntia}$$

Kortin ylläpitotehon säätöaluetta haluttiin laajentaa, joka tapahtui lisäämällä ylläpidon säätöpotentiometrin etuvastuksen vierelle toinen eriarvoinen vastus, jolloin tehoalue voidaan valita kytkemällä säätöpotentiometri toiseen riviliittimeen. Tällöin kytkentää muuttamalla voidaan valita optimaalisempi tehoalue erilaisille polttoaineille.

Etuvastuksen koko laskettiin edellä olleilla kaavoilla sopivaksi.

Vastaavasti voitiin laskea loputkin parametrit, jotka listattuna ovat seuraavat:

- Syöttöjakson pituus 3 - 10 sekuntia.
- Syöttöjaksojen tauko käyntiteholla 2 – 70 sekuntia
- Syöttöjaksojen tauko ylläpitoteholla 1-13 min ja 8-20 min riippuen kortin kytkennästä

### **Tehonlähteen mitoittaminen**

Piirilevyssä oli tehonlähteenä  $12V_{ac}$ :n muuntaja, joka oli huipputasasuunnattu ja reguloitu. Huipputasasuuntaus tarkoittaa vaihtojännitteen muuntamista tasajännitteeksi. Todellisuudessa tämä ei pidä täysin paikkaansa. Ilman kuormaa tuloksena onkin tasajännitettä, mutta kun huipputasasuuntaajan jälkeen laitetaan kuorma, alkaa lähtöjännite aaltoilla ( $\Delta u$  = hurinajännite). Kuvassa 8 on esitetty erilaisien tehonlähteiden ulostulojännitteiden muodot.

Aaltoilun suuruuteen vaikuttaa kuorman ottaman virran määrä, suodatuskondensaattorin koko sekä tasasuunnatun vaihtojännitteen taajuus. Jos käytössä on ulostuloltaan 12 V<sub>ac</sub>:n muuntaja, jonka perässä on huippuaalto tasasuuntaus, ulostulojännite ei olekaan 12 V<sub>dc</sub> vaan hieman enemmän, koska ilmoitettu 12 V<sub>ac</sub> on tehollisjännite.

Tehollisjännitteestä täytyy laskea jännitteen huippuarvo ( $u_p$ ). Sinimuotoisella jännitteellä huippuarvo voidaan laskea seuraavalla kaavalla /2, s. 140/:

$$u_p = \sqrt{2} \cdot U_{RMS} = \sqrt{2} \cdot 12 = 16,97 \text{ V} \quad (1)$$

Tämä ei ole vielä ulostulojännite, vaan vielä täytyy ottaa huomioon tasasuuntaussillan diodeihin jäävä jännitehäviö. Tasasuuntaussiltojen datalehdissä on ilmoitettu jännitehäviöksi tyypillisesti noin 1 V. Tällöin kuormittamattomana ulostulojännite  $U_{dc} = 16,97 - 1 = 15,97 \sim 16 \text{ V}_{dc}$ . Kun hurinajännitteestä halutaan eroon, voidaan perään kytkeä regulointipiiri.

Regulaattoripiirit ovat halpoja, eivätkä ne peruskytkenässä tarvitse ympärilleen kuin 1 – 2 kondensaattoria. 78XX-sarjan regulaattori on yleisesti käytetty ja tunnuksessa XX:n tilalla on ulostulojännite. 78XX-sarjalaisen regulaattorin peruskytkenä on esitetty kuvassa 9. Jos suodatuskondensaattori on lähellä regulaattoria, vasemman puolista kondensaattoria ei tarvita. Oikeanpuoleinen kondensaattorikaan ei ole aivan välttämätön, mutta se parantaa stabiilisuutta ja transienttiominaisuuksia.

Regulaattori vaatii toimiakseen kunnolla noin 2 - 3 V:n jännite-eron sisääntulon ja ulostulon välillä. (Arvo voi vaihdella piirikohtaisesti, ja se kannattaa tarkistaa piirin datalehdestä.) Laskettaessa kahden voltin jännite erolla, 7812 regulaattorin sisääntulojännite ei saa laskea 14 V:n alle.

Huipputasasuuntaajan jälkeen jännite on ilman kuormaa noin 16 V, joten noin 2 V:n hurinajännite voidaan sallia. Jos tiedetään maksimikuormitusvirta ja verkkovirran taajuus, voidaan suodatuskondensaattorin koko laskea kaavalla /2, s. 247/:

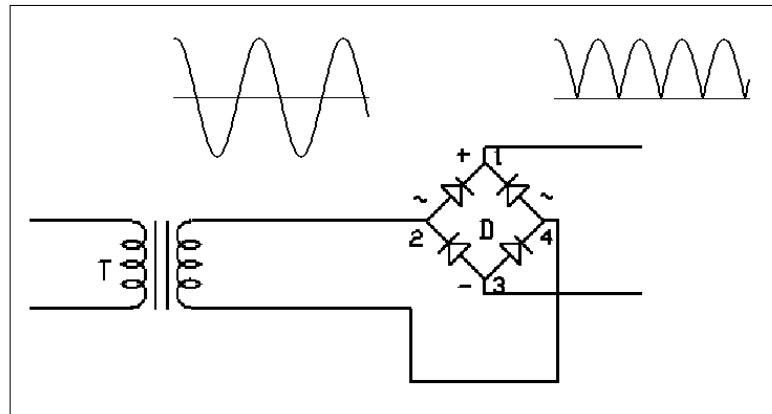
$$C = \frac{I}{2 \cdot f \cdot \Delta u} \quad (2)$$

Esimerkiksi voidaan päätellä että tässä ohjainkortissa, minirele on eniten tehoa kuluttava komponentti. Jos käytettävän releen kelan tarvitsema teho on 400 mW, tällöin sen ottama virta on likipitään 33 mA. Lisäksi itse ajastinpiiri ja sen ympärillä oleva kytkentä kuluttavat tehoa. Esimerkiksi 555-piirin datalehden /3, s. 6, kuva 4/ mukaan piiri ottama virta ilman kuormitusta on tyypillisesti n. 8 mA. Ajastinpiirin ympärillä olevien vastusten resistanssiarvojen perusteella voidaan laskea, niiden ottamaksi virraksi n. 1 mA. Kun virrat lasketaan yhteen, saadaan kokonaiskulutukseksi 42 mA. Kaavaa 2 käyttäen voidaan laskea suotokondensaattorin koko seuraavasti:

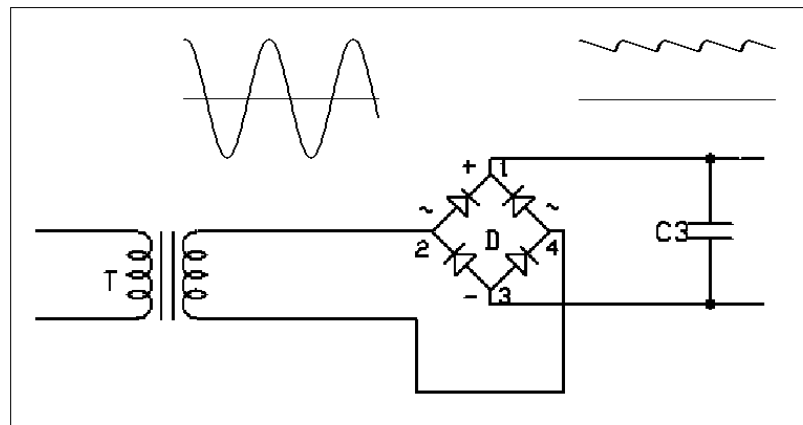
$$C = \frac{0,042 \text{ A}}{2 \cdot 50 \text{ Hz} \cdot 2 \text{ V}} = 0,00021 \text{ F} = 210 \mu\text{F}, \text{ kun } I = 42 \text{ mA}, f = 50 \text{ Hz}, \Delta u = 2 \text{ V}$$

Tällöin suodatuskondensaattoriksi voidaan valita seuraava yleisesti käytetty koko, joka on 220  $\mu\text{F}$ .

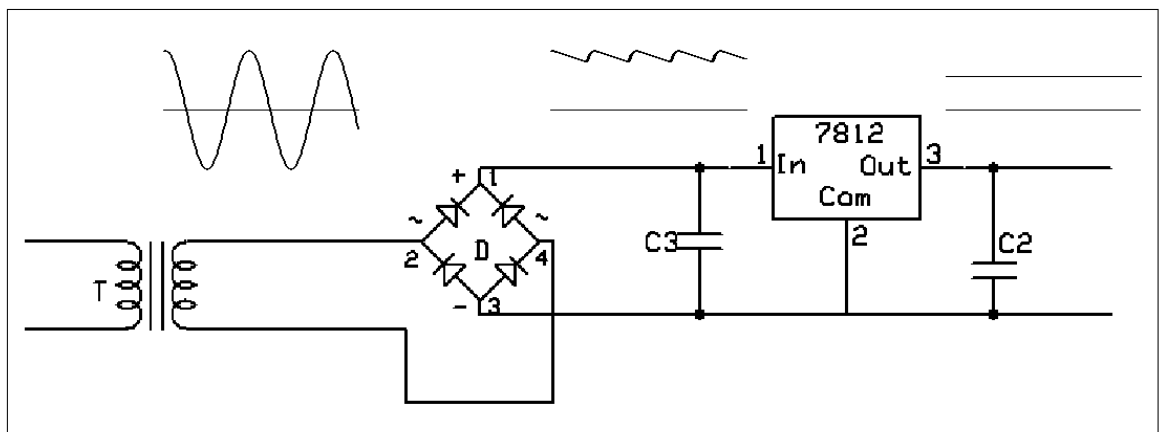
## Tasasuunnattu



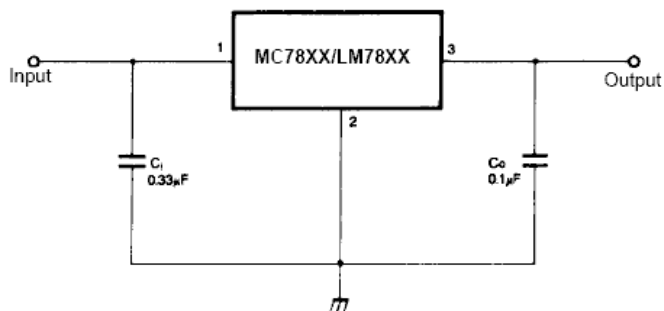
## Huipputasasuunnattu



## Huipputasasuunnattu + Reguloitu



Kuva 8: Erilaisia tehonlähteitä kuormitettuina ja niiden jännitemuodot. (kokoaalto tasasuunnattu)



Kuva 9: 78XX-sarjan regulaattorin peruskytkentä. /4, s. 21, kuva 5/

### 3.2.2 Komponenttivalinnat

Kun piirin toiminta oli selvitetty ja kun mitoituslaskelmat oli laskettu, valittiin käytettävät komponentit. Aluksi ryhdyttiin miettimään, mitä asioita komponenttien valinnassa täytyisi huomioida. Hinnan ja laadun suhteen täytyi olla sopiva (komponenteille annettu käyttöikä), sekä komponentit täytyi olla korvattavissa.

Komponentteja ruvettiin etsimään Farnellin Internet-sivulta, koska Farnell on suuri maailmanlaajuinen elektroniikkaan erikoistunut kauppa, jonka valikoima on todella suuri. Farnellin sivulla tuotteet on listattu erilaisiin kategorioihin ja ali kategorioihin. Usein alikategorioissakin voi olla tuhansia tuotteita, joista voidaan suodattaa näytettävät tuotteet, esimerkiksi kotelotyypin ja käyttöjännitteen perusteella. Lisäksi lähes kaikkien Farnellissa myytävien komponenttien datalehdet löytyvät sivulta vaivattomasti. Komponenttien valintaa vaikeutti se, että lähes kaikki datalehdet ovat englanninkielisiä. Samaan aikaan komponenttien valinnan yhteydessä osaluetteloa /5/ päivitettiin ja siihen kirjattiin myös sopivat vaihtoehtoiset osat.

## Muuntaja

Muuntajan valinta aloitettiin suodattamalla näytettävät piirilevymuuntajat toisiojännitteen perusteella. Toisiojännitteeksi suodatuksessa valittiin kaikki, missä esiintyi luku 12, esimerkiksi: 0 - 12, 2x12 ja 12. Jäljelle jääneistä muuntajista alettiin tutkia tarkemmin sellaisia, joiden teho oli 1 - 2 VA:n luokkaa sekä ensiojännite 230 V.

Valittaessa sopivaa muuntajaa huomio kiinnitettiin hintaan, kokoon ja liitosjalkojen sijoitukseen. Muuntajan koko ja paino vaikuttaa ohjainkortin luotettavuuteen kohtalaisen paljon, koska ohjainkortti altistuu jatkuvalle kontaktorin ja releen aiheuttamalle tärinälle. Vaikka tärinän suuruus onkin hyvin pientä, se voi haurastuttaa suurikokoisen ja painavan muuntajan tinaliitokset ajan mittaan. Tästä syystä piirilevymuuntajan tulisi olla mahdollisimman pienikokoinen ja kevyt.

Pienikokoisista ja edullisista muuntajista rajattiin sellaiset muuntajat, joiden jalkajärjestys ja jalkojen etäisyydet olivat usealla valmistajalla samat. Tällöin korvaavan komponentin löytäminen on helppoa, jos käytetyn muuntajan valmistus lopetetaan. Lopuksi jäljelle jääneistä muuntajista valittiin hinnaltaan halvin.

## Rele

Relettä valittaessa meneteltiin samalla tavalla kuin muuntajaa valittaessa.

Tuotevalikoimaa suodatettiin: käämijännitteen ( $12 V_{dc}$ ), kontaktijännitteen ( $\Rightarrow 230 V_{ac}$ ), kontaktityylin (SPDT = *Single Pole, Double Throw* = vaihtorele) ja asennustyyppin (PCB = piirilevy) perusteella. Suodatuksesta läpi päässeistä releistä tutkittiin datalehdistä jalkajärjestys ja arvioitu käyttöikä. Käytettäväksi releeksi valittiin helposti korvattava, pitkän sähköisen ja mekaanisen käyttöiän omaava rele. Valmistajat ilmoittavat käyttöiän päälle/poiskytkemisjaksoina ja siihen vaikuttaa koskettimien läpi kulkeva virta. Pienillä virroilla käyttöikä on huomattavasti suurempi kuin toimittaessa lähellä releen maksimivirtaa.



### **Tuntematon mikropiiri (optoerotin)**

Aloitettaessa sopivan mikropiirin etsiminen tuntemattoman tilalle sen tiedettiin toteuttavan kytkintoiminnon, jota ohjataan termostaatilta saatavalla 230 V:n verkkojännitteellä muutamana piirilevyllä olevan oheiskomponentin avulla. Koska piirin ohjauspuolella vaikuttaa 230 V:n jännite, täytyi korvaavan piirin valinnassa olla erityisen huolellinen.

Kytkeäntäesimerkkejä ja tietoa alettiin etsiä sellaisista virtapiireistä, jossa pienoisjännite ja verkkovirta kohtaavat. Paljon erilaisia tietolähteitä tutkimalla löydettiin käyttötarkoitukseen lupaava komponenttityyppi, optoerotin. Se on eräänlainen puolijohderele, joka on toteutettu samassa kotelossa olevan LEDin ja valoherkän ilmaisimen avulla. Tieto siirtyy tulosta lähtöön optisesti, jolloin niiden välillä ei ole ns. galvaanista (sähköistä) yhteyttä. /2, s. 272/ Täten optoerottimella on turvallista yhdistää pienois- ja verkkojännitepiirejä.

Sopivan optoerottimen löytäminen ja valinta oli komponenttien valinnan työläin osuus. Erilaisia optoerottimia oli saatavilla paljon, ja aluksi ei tiedetty mihin teknisiin arvoihin täytyisi kiinnittää huomio valittaessa käyttötarkoitukseen sopiva komponentti. Tutkittaessa erilaisia optoerottimia huomattiin, että suurimmassa osassa piirejä maksimi sisääntulojännite oli noin 1 - 2 voltin tasolla.

Koska piirien sisääntulojännitteet olivat niin pieniä, täytyi 230 V:n verkkojännitteestä laskea noin 228 - 229 voltia. Tällöin etuvastuksen tehonkulutus nousee kohtalaisen suureksi pienilläkin virroilla. Piirien parametreissa oli annettu sisääntulovirta  $I_F$ , jonka tulkinta oli valmistajakohtainen. Joittenkin piirien tapauksessa  $I_F$ :llä viitattiin maksimivirtaan, jonka sisääntulo kestää, ja joissain taas minimivirtaan, jolla piiri alkaa toimia.

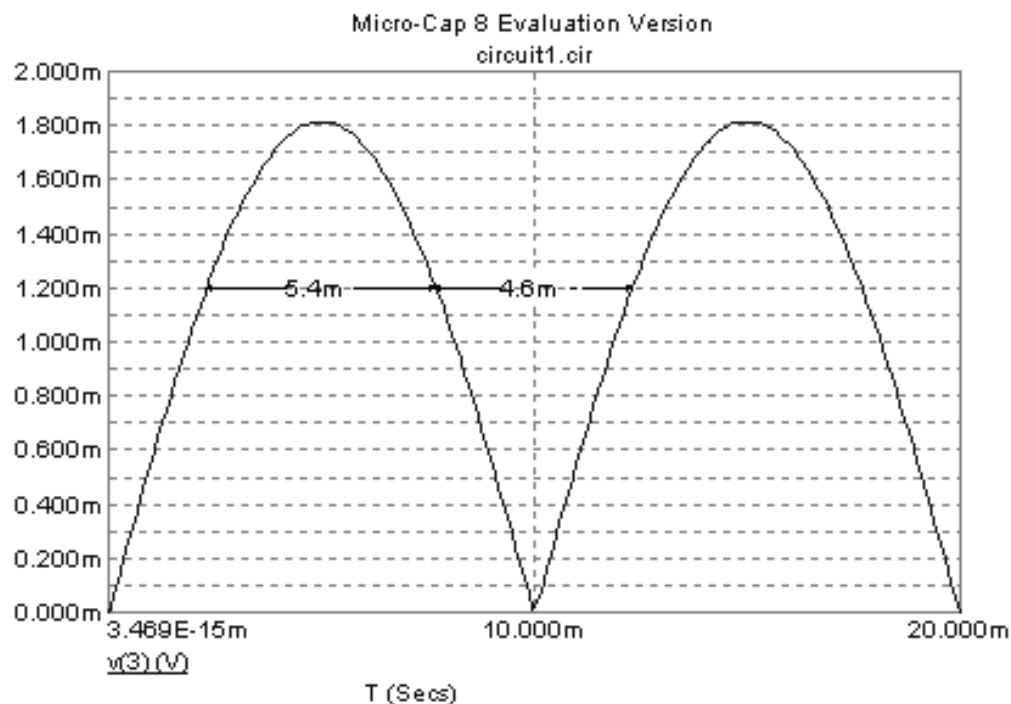
Monilla piireillä sisääntulovirraksi oli ilmoitettu muutamia kymmeniä milliampeereja. Laskettaessa esimerkiksi  $I_F = 10$  mA:n arvolla etuvastuksen tehonkulutuksen saadaan tulokseksi 2,29 wattia. Tällöin etuvastuksen tehonkeston tulisi olla noin 10 wattia. Piiriksi päätettiin etsiä tätäkin herkempi, jolla sisääntulovirta voisi olla yhden mA:n luokkaa tai alle. Tällöin etuvastuksen tehonkestoksi riittäisi yksi watti.

Tämä rajasi piirien määrää huomattavasti. Toinen rajoittava tekijä valinnassa oli toisiopuolen jännitteen kesto, jonka tuli olla vähintään 12 voltia. Jäljelle jääneitä piirejä tutkittiin ja huomio kiinnitettiin CTR (current transfer ratio) -parametriin, joka kertoo, kuinka suurena ensiöpuolen virta ”siirtyy” toisiopuolelle. Ensiöpuolen virran suuruus vaikutti myös CTR:ään ja datalehdissä vaikutus esitettiin kuvaajien avulla. Eri piirien CTR vaihteli muutamasta prosentista jopa 5000 %:iin piirin tyyppin mukaan.

Tavallisella transistorilähtöisellä piirillä CTR oli pieni, ja darlington-lähtöisellä suuri. Koska optoerottimen sisääntuloon tuleva jännite oli tasasuunnattua vaihtojännitettä, täytyi piiriksi valita sellainen, jolla CTR on tarpeeksi suuri. Tällöin piirin ulostulo pysyy mahdollisimman suuren osan ajasta kyllästyneessä tilassa (kytkin toiminto).

Piirin toisiopuolella kulkevaksi maksimivirraksi laskettiin noin 1,2 mA sekä piirin ensiöpuolella kulkeva virta simuloitiin MicroCap-ohjelmistolla (kuva 10). Kuvaajassa on vaaka-akselilla aika millisekunteina sekä pystyakselilla virta milliampeereina. Kuvaajaan lisättiin vaaka-akselin suuntaiset mittaviivat 1,2 mA:n korkeudelle. Tämä kuvaa piirin toisiopuolelle siirtyvää virtaa CTR:n ollessa 100 %. Kuvaajassa virran ollessa suurempi kuin 1,2 mA toisiopuoli on kyllästystilassa ja vastaa suljettua kytkintä. Virran ollessa pienempi kuin 1,2 mA toisiopuoli on aktiivisessa tilassa, jossa sen resistanssi muuttuu virran mukaan.

Tällöin CTR:n ollessa 100 % toisiopuoli on noin puolet ajasta kyllästystilassa. Vastaavasti jos piirin CTR:ksi valittaisiin 400 %, täytyisi ensiöpuolen virran olla vain neljäsosa toisiopuolen maksimivirrasta eli 0,3 mA, jotta toisiopuoli olisi kyllästystilassa. Tällöin kuvaajasta mitattuna piiri olisi kyllästystilassa noin 90 % ajasta. Tällöin muiden komponenttien tarkkuusvaatimukset huomioiden piiriksi kelpaisi minimissään 400 %:n CTR:n omaava piiri.



Kuva 10: Ensiöpuolen virran simulointi.

### Muut komponentit

Muiden komponenttien valinta oli kohtalaisen helppoa. 555-ajastinpiirit ovat eri valmistajilla perustoiminnoltaan samanlaisia, joskin pieniä sisäisiä eroavaisuuksia löytyy. Tällöin piiriksi voidaan valita oikeastaan mikä tahansa dip-8-koteloitu 555-piiri, esim. TEXAS INSTRUMENTS:n NE555P. Tasasuuntaussiltojen valinnassa tarvitsi ottaa huomioon ainoastaan jännitteen ja virran kesto, sekä kompakti koko. Vastuksia valittaessa piti kiinnittää huomio optoerottimen ensiöpuolen etuvastuksien tehonkesto. Kondensaattoreita valittaessa täytyi huomioida kaksi asiaa: kondensaattoreiden jännitteenkesto sekä aikavakiopiirissä käytetyn kondensaattorin laatu. Aikavakiopiirin kondensaattorin laadun täytyy olla hyvä, jotta sen vuotovirta olisi mahdollisimman pieni. Riviliittimiksi valittiin jämäkän tuntuiset perusliittimet, joiden jalkaväli oli 5 mm.

### 3.2.3 Piirilevyn suunnittelu

Ennen piirilevyn suunnittelun aloittamista neuvoteltiin työn toimeksiantajan kanssa asioista, joita tulisi ottaa huomioon suunnittelun aikana. Piirilevystä haluttiin sopivan ”väljä”, jotta levyn kokoonpano olisi helppoa. Alkuperäisessä kortissa, aikaparametrien säätöpotenttiometrit olivat kiinteänä piirilevyllä, joka rajoitti kortin asennusta ohjauskeskukseen. Uudessa kortissa toiminnot haluttiin ulkoistaa riviliittimien kautta.

Tämä mahdollistaa kortin vapaan sijoittelun keskukseen, koska säätönupit voidaan tuoda johdottamalla keskuksen etupaneeliin. Ratkaisu helpottaa myös mahdollista vian etsintää, koska säätöpotenttiometriä voidaan mitata irtonaisena ja ne ovat nopeasti vaihdettavissa. Piirilevyjen valmistaminen täytyi olla mahdollista teollisesti, joten suunnittelu täytyi tehdä sellaisella ohjelmistolla, jonka tiedostomuoto kelpaa sellaisenaan piirilevytehtaalle.

Suunnitteluohjelman valinnassa päädyttiin AutoCad-ohjelmistoon, koska sen käyttö oli entuudestaan tuttua ja suunniteltavan piirilevyn piirikaavio oli kohtalaisen yksinkertainen. Suunnittelu aloitettiin luomalla omat tasot (layers): komponenteille, teksteille, foliolle ja rei'ille. Tasot helpottavat suunnittelua, koska eri tasoille piirretyt kuvat voidaan piilottaa ja lukita, jolloin niihin ei voida tehdä muutoksia vahingossa. Tasoille voidaan myös asettaa oma oletusväri, jonka avulla eri tasojen hahmottaminen kokonaiskuvasta helpottuu.

Seuraavaksi luotiin komponentit ja niiden nimittekstit sekä jalkojen kohdistusreiät omille tasoilleen. Jalkojen kohdistusreikien etäisyydet täytyi etsiä komponenttien datalehdistä. Osassa datalehtiä oli myös ilmoitettu jalkojen paksuus, jolloin reikien koko voitiin myös määrittellä tarkasti.

Seuraavaksi komponenttien sijoittelua voitiin ruveta hahmottelemaan, käyttäen apuna piirikaaviota. Riviliittimet, joihin verkkojännite on yhteydessä, sijoitettiin piirilevyn toiseen reunaan ja säätöpotenttiometriä sekä liekkivahdin riviliittimet vastakkaiselle reunalle. Tällöin muuntaja, rele ja optoerotin lisäkomponentteineen saatiin piirilevyssä samalle reunalle.

Käytettävä optoerotin on eristysnäkökulmasta katsottuna muuntajaan verrattava komponentti. Tällöin piirilevyn sisäisen johdotuksen täyttäessä 8 mm turvavälin, ajastinpiirin kytkentöjen ja verkkojännitteeseen yhteydessä olevien kytkentöjen välillä, voidaan ajastinpiirin kytkennät rajata pienoisjännite (SELV) -alueeksi. /6, s. 2/

Piirilevyn folio ”johdotuksen” reittejä ja komponenttien paikkoja alettiin miettiä ja hahmotella, kunnes löytyi yksinkertainen ja selkeän näköinen reititys. Seuraavaksi folio ”johdotuksia” voitiin ruveta viimeistelemään. Useiden eri versioiden jälkeen piirilevy täytti suunnittelun vaatimukset ja prototyypipiirilevyn valmistus tai teettäminen voitiin aloittaa. /5/

### 3.2.4 Prototyyppi-levyn valmistus

Olin ennemmin törmännyt Internetissä ohjeisiin, jossa kerrottiin yksityiskohtaisesti piirilevyn valmistuksesta. Tarvittavat piirilevyaihiot, kemikaalit ja tarvikkeet löytyvät useimmista elektroniikkatarvikekaupoista sekä tavallisista päivittäistavarakaupoista. Piirilevyn valmistamisen opettelu kiinnosti minua, joten päätin kokeilla prototyyppi-piirilevyn valmistusta itse. Etsittyäni tietoa Internetistä, löysin muutamia yksinkertaisia ohjeita piirilevyn valmistukseen valotusmenetelmällä. Ohjeet voitiin jakaa neljään osaan: valotusmaskin teko, valotu, kehitys ja syövytys. Piirilevyn valmistuksessa käytettiin useammasta ohjeesta koottuja tietoja soveltaen. Lähdeluettelosta puuttuu yksi ohje jota käytettiin, koska sitä ei löytynyt enää Internetistä kirjoittamishetkellä. /7/ /8/ /9/

Piirilevyn foliokuva tulostettiin 1:1 mittakaavassa kahtena kopiona lasertulostimella kopiokoneen kestäväälle piirtoheitinkalvolle, siten että kalvon ollessa oikeinpäin piirilevyn kuparipintaa vasten, kalvon mustepuoli on myös kuparia vasten. Tällöin saavutetaan valotuksessa hyvä tarkkuus.

Kalvot asetettiin positiivisella lakalla päällystetyn valoherkän piirilevyn päälle mustepuoli alaspäin ja kalvojen painoksi laitettiin lasilevy, jotta kalvot olivat tiiviisti piirilevyä vasten. Piirilevyä valotettiin noin neljä minuuttia käyttäen 300 W:n työmaahalogeenivalaisinta, joka oli sijoitettuna puolen metrin päähän piirilevystä. Lakkakerros heikentyy valotettaessa niiltä kohdilta, joihin valo pääsee vaikuttamaan.

Valotuksen jälkeen piirilevy kehitettiin. Kehittämiseen käytettiin natriumhydroksidi- eli lipeäliuosta. Natriumhydroksidia saa ostettua useimmista elektroniikkatarvikkeita myyvistä liikkeistä valmiissa annospusseissa. Kehittämiseen voi käyttää myös ”Kodin putkimies”-viemärin aukaisuaainetta, koska se on käytännössä lipeäliuosta. Kehittämisluios sekoitettiin seuraavassa suhteessa: 1 osa ”Kodin putkimiestä” ja 10 osaa haaleaa vettä. Piirilevy vietiin kehitysliuokseen, jossa sitä liikuteltiin ja kehittymistä tarkkailtiin. Kun lakka oli liuennut muualta paitsi johtimien kohdalta, piirilevy nostettiin pois liuoksesta ja huuhdeltiin kuumalla vedellä. Kehitysliuos voitiin hävittää kaatamalla se viemäriin juoksevan veden kera.

Kehittämisen jälkeen vuorossa oli syövytys. Siihen käytettiin ammoniumpersulfaattia, jota saa ostettua esimerkiksi elektroniikkatarvikeliikkeistä. Pussillinen (220 grammaa) ammoniumpersulfaattia liuotettiin 8,8 dl:aan lämmintä vettä (50 °C) ja kehitetty piirilevy siirrettiin syövytysliuokseen. Piirilevyä liikuteltiin ja käännettiin muutamaan otteeseen, jotta syöpynyt kupari poistuisi levyn pinnalta. Syöpymistä tarkkailtiin ja piirilevy nostettiin pois syövytysliuoksesta, kun kaikki ylimääräinen kupari oli liuennut piirilevystä. Myös syövytyksen jälkeen piirilevy huuhdeltiin kuumalla vedellä. Syövytyksessä käytetty ammoniumpersulfaattiliuos ei säily hyvänä paria viikkoa kauempaa, joten se on kertakäyttöliuos. Syövytysliuosta ei saa kaataa viemäriin, vaan se täytyi viedä ongelmajätelaitokselle.

Käsiteltäessä kehitys- ja syövytyskemikaaleja, suojahansikkaiden ja -lasien käyttö on todella suotavaa. Esimerkiksi lipeäliuos on vahvasti emäksinen, ja joutuessa silmään se tekee ikävää jälkeä. Kehitys- ja syövytyskemikaalien altaiden ja astioiden materiaalin täytyi olla muovia tai lasia, jotta käytetyt kemikaalit eivät reagoineet niiden kanssa.

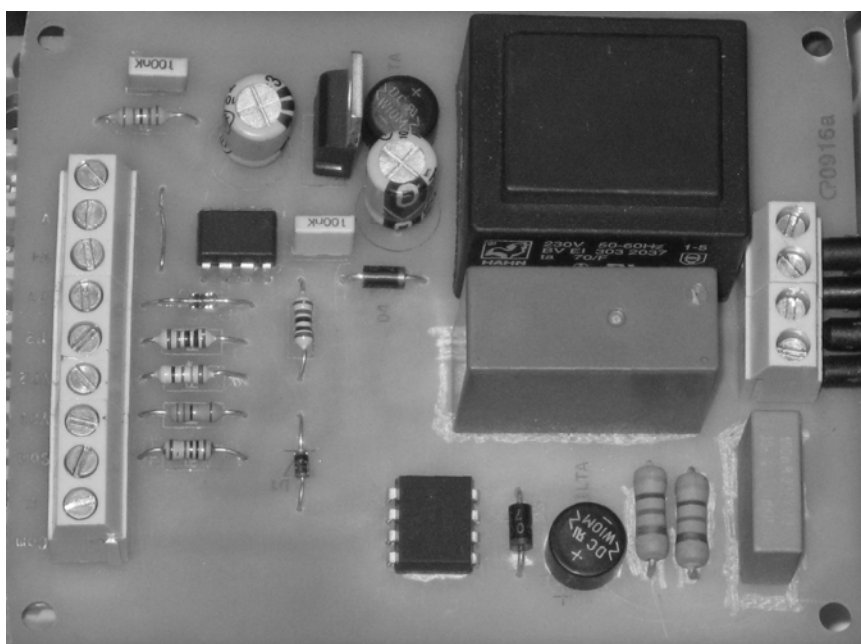
Seuraavaksi vuorossa oli reikien poraus komponentteja varten. Eri komponenteilla oli eripaksuiset jalat, joten reiät täytyi porata oikean kokoisiksi. Suurimmassa osassa komponentteja jalkojen paksuudet oli ilmoitettu datalehdissä, mutta niissä joissa tietoa ei löytynyt, täytyi jalkojen paksuudet mitata itse. Reikiä porattiin kolmea eri kokoa: 0,8 mm, 1 mm ja 1,2 mm.

Porauksen jälkeen komponentteja voitiin alkaa juottamaan piirilevyyn kiinni. Ennen juottamista piirilevyn pinnassa syövytyksen suojana oleva lakkakerros täytyi kuitenkin poistaa juoksevan veden alla PataPata-puhdistusvillalla. Lakkakerros kannattaa poistaa vasta tässä vaiheessa, jottei kuparipinta pääse hapettumaan paljoa. Kun osat on juotettu kiinni ja piirilevy valmis, voidaan piirilevy suojata piirilevylakalla, joka estää johtimien likaantumisen ja hapettumisen.

## 4 Lopputulos ja päätelmät

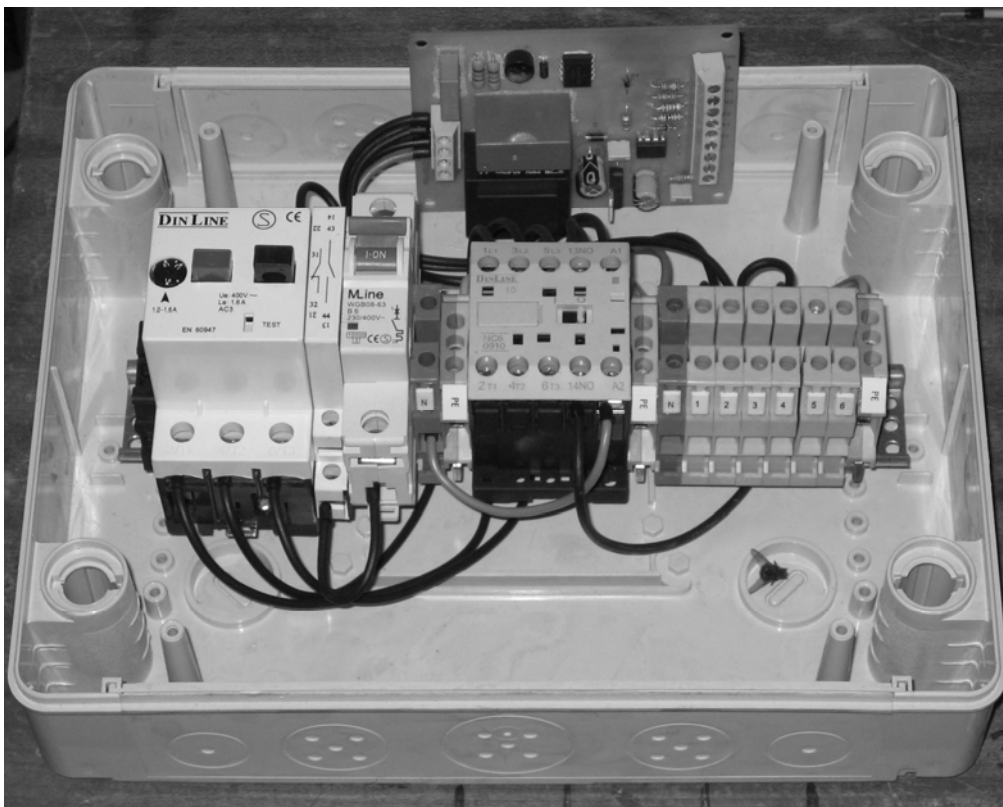
Valmista ohjainkorttia koekäytettiin ja mitattiin irtonaisessa ohjauskeskuksessa useiden tuntien ajan erilaisilla aikaparametreilla ja toimintojen toimivuus testattiin. Kortti toimi niin kuin kuuluikin, joten se asennettiin käytössä olevaan hakepolttimeen pitempiaikaista koekäyttöä varten.

Työn toimeksiantaja halusi muutamia pieniä muutoksia korttiin. Muutokset eivät vaikuttaneet ohjainkortin sisäisiin kytkentöihin, joten katsoimme tarpeettomaksi uuden prototyypilevyn valmistuksen. Kun kortti oli toiminut ongelmitta muutaman kuukauden ajan, voitiin erä piirilevyjä teettää piirilevyjä valmistavalla tehtaalla. Tehdastekoiset piirilevyt ovat varustettu osamerkinnoin ja ne ovat valmiiksi rei'itettyjä. Rei'itys ja osamerkinnot helpottavat ja nopeuttavat kokoonpanoa huomattavasti. Kuvassa 11 on esitetty valmis ohjauskortti, jossa vasemmassa reunassa on riviliittimet parametrien säätöpotentiometreille sekä liekkivahdille, ja oikeassa reunaa käyttöjännitteelle, kontaktorin ohjaukselle ja termostaatille. Kuvassa 12 kortin paikka on hahmoteltuna ohjauskeskukseen. Valmiissa keskuksessa kortti on koteloituna erilliseen muovikoteloon, joka kiinnitetään keskuksen suurin piirtein kuvassa olevalle paikalle. Valmis ohjauskeskus esitetty kuvassa 13.

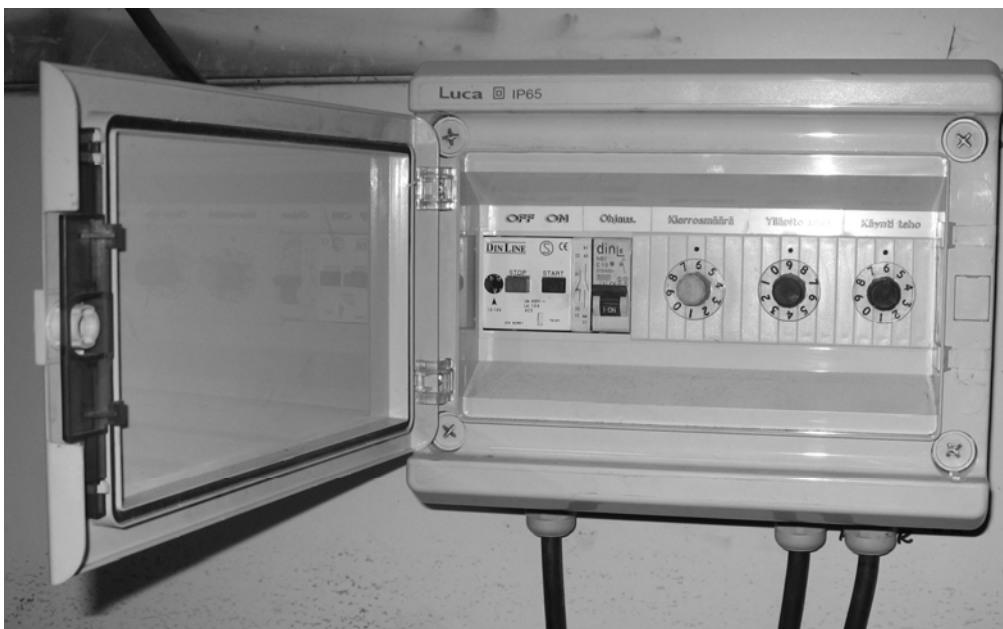


Kuva 11: Valmis ohjauskortti tehdastekoisella piirilevyllä.





*Kuva 12: Valmis ohjainkortti kytkettynä keskeneräiseen ohjauskeskukseen.*



*Kuva 13: Valmis ohjauskeskus asennettuna.*

Mielestäni suunnittelu onnistui hyvin, koska tavoitteet saavutettiin ja ohjainkortti toimii halutulla tavalla. Suunnittelun aikana opittiin myös paljon uusia asioita ja huomattiin

aktiivisen kommunikoinnin ja tiedonvaihdon tärkeä merkitys. Esimerkiksi korttiin jouduttiin väärinkäsitysten vuoksi tekemään pieniä muutoksia vielä prototyypikortin valmistuksen jälkeen. Tämä olisi voitu välttää pitämällä kasvatusten käytyjä palavereja useammin. Jälkeenpäin mietittynä olisin harkinnut mikrokontrollerin käyttöä kortin ohjaukseen. Toisaalta kortissa käytetty vanha analogiatekniikka on luotettavaa, mutta mikrokontrollerilla kortin ominaisuuksia ja toimintoja oltaisiin voitu lisätä. Olisin myös käyttänyt piirilevyn suunnitteluun jotain siihen tarkoitukseen suunniteltua ohjelmistoa esimerkiksi CadSoft Computer GmbH:n EAGLE:a.

CadSoftin sivulta on ladattavissa ilmainen ”EAGLE Light Edition” jossa on muutamia rajoituksia maksullisiin versioihin nähden. Kuitenkaan rajoitukset eivät olisi haitanneet ohjaukseen piirilevyn suunnittelua. EAGLE Light Edition ohjelmaa saa ilman rekisteröitymistä käyttää koulutustarkoitukseen ja voittoa tavoittelemattomiin sovelluksiin. Rekisteröityminen maksaa 49 US\$, jonka jälkeen ohjelmalla saa tehdä kaupallisia sovelluksia. Suunnittelutyön helpottamiseksi EAGLE:ssa on esimerkiksi ”autoroute” ominaisuus, jolla piirikaaviosta voidaan automaattisesti generoida foliojohdotuksen reititys, kunhan komponenttien paikat piirilevyllä ensin määrittelee.

## Lähteet

- /1/ Suomen Rautatiemuseo – Kalustogalleria – Tr2 perustiedot [online]  
[viitattu 28.09.2009]  
Saatavissa: <http://www.rautatie.org/web/fi/gallerydet.asp?id=7&section=1>
- /2/ Kimmo Silvonen, Sähkötekniikka ja elektroniikka, Hakapaino Oy,  
Helsinki 2004, ISBN 951-672-342-X
- /3/ STMicroelectronics, NE555 SA555 - SE555 [online] [viitattu 25.10.2009]  
Saatavilla: <http://www.st.com/stonline/products/literature/ds/2182.pdf>
- /4/ Fairchild Semiconductor, MC78XX/LM78XX/MC78XXA 3-Terminal  
1A Positive Voltage Regulator [online] [viitattu 25.10.2009]  
Saatavilla:  
[http://rocky.digikey.com/WebLib/Fairchild/Web%20Data/LM7805\\_MC78xx\\_MC78xxA.pdf](http://rocky.digikey.com/WebLib/Fairchild/Web%20Data/LM7805_MC78xx_MC78xxA.pdf)
- /5/ T:mi Arto Paavola, Yrityksen sisäinen raportti
- /6/ Vishay Semiconductors, Optocouplers in Switching Power Supplies  
[online] [viitattu 18.10.2009]  
Saatavilla: <http://www.vishay.com/docs/80065/80065.pdf>
- /7/ Kouluelektroniikka Oy, Piirilevyn valmistus valotusmenetelmällä [online]  
[viitattu 25.10.2009]  
Saatavilla:  
[http://www.kolumbus.fi/mikko.esala/piirilevyn\\_valmistusohje.pdf](http://www.kolumbus.fi/mikko.esala/piirilevyn_valmistusohje.pdf)
- /8/ Jari Ahdenkari, Olli Majander, Rakentelun perusteet osa 4 – Piirilevyjen  
valmistus [online] [viitattu 25.10.2009]  
Saatavilla: <http://www.mbnet.fi/rakentelunurkka/perusteet/osa4.aspx>
- /9/ Tomi Engdahl, Piirilevyjen valmistusohjeita [online] [viitattu 25.10.2009]  
Saatavilla: <http://www.tkk.fi/Misc/Electronics/then/mytexts/syovytyt.html>