

# PELTIER-ELEMENTIN JÄNNITEOHJAUS

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Tekniikan ala  
Tietotekniikan koulutusohjelma  
Tietokone-elektroniikka  
Opinnäytetyö  
Kevät 2010  
Jukka-Pekka Ylitalo

Lahden ammattikorkeakoulu

Tekniikan ala

Jukka-Pekka Ylitalo

Peltier-elementin jänniteohjaus

Tietotekniikan opinnäytetyö, 30 sivua

Kevät 2010

TIIVISTELMÄ

---

Opinnäytetyön aiheena oli työstää jänniteohjauksen kytkennät Peltier-elementille. Toteutuksen täytyi olla mahdollisimman yhteensopiva eri piirisarjojen kanssa, jotta kytkentöihin ei tarvitsisi tehdä suuria muutoksia.

Työssä pyritään pääsemään mahdollisimman vähäisillä komponenttimäärillä. Työssä kerrotaan eri kytkentävaihtoehdoista ja todetaan, miksi päädyttiin kyseiseen kytkentään. Opinnäytetyössä kertotaan myös lyhyesti, miten muut kytkentävaihtoehdot eroavat työssä käytetystä kytkennästä.

Opinnäytetyn pohjana on Peltier-elementti, ja työssä kerrotaan sen käytön syistä. Erityistä huomiota kiinnitettiin Peltier-elementin tehon tarpeeseen.

Esimerkkeinä käytetään Atmelin ja Microchipin kontrollereita ja arvioidaan, kuinka hyvin ne sopivat yhteen kytkennän kanssa. Kerrotaan myös, kuinka kytkentää olisi tarvittaessa muutettava yhteensopivuuden ylläpitämiseksi.

Työ onnistui kokonaisuutena kiitettävän hyvin ja laite tuli ajamaan sille tarkoitettua asiaa. Laite kokonaisuutena ei kuitenkaan ole täydellinen, vaan siitä löytyy kohtia joita voisi parantaa.

Avainsanat: MAX518, Peltier, yhteensopivuus, napaisuus, I/O

Lahti University of Applied Sciences

Faculty of Technology

Ylitalo, Jukka-Pekka

Voltage control for a Peltier element

Bachelor's Thesis in information technology

30 pages

Spring 2010

ABSTRACT

---

The objective of this thesis was to make voltage control for a Peltier element. Implementation must be as compatible with different chipsets as possible, so that major changes would not need to be made to the connections.

The aim was to reach a minimum number of components. The thesis tells about different connection solutions and explains why this particular connection was chosen. There is a brief explanation how the other connection options differed from the connection option chosen here.

The basis of this thesis was a Peltier element; The reasons for choosing the P.e. are explained. The power consumption of Peltier element is also paid attention to.

Compatibility was evaluated with Atmel and Microchip controllers. It is also explained how the connection should be modified, if necessary, to maintain compatibility.

Key words: MAX518, Peltier, compatibility, polarity, I/O

1 JOHDANTO	1
2 TOIMINTAPERIAATE	3
2.1 Lämpötilan mittaus	3
2.2 PC-ohjaussignaali	4
2.3 MAX518-piirin toimintaa	4
2.4 Releen ohjauksen toimintaa	5
3 TOTEUTUSTA JA KYTKENTÖJÄ	6
3.1 Lämpöä mittaava kytkentä	6
3.2 Lämmön syöttöä säätelevä kytkentä	7
3.2.1 Säädetty jännitetaso 0 – 5 V	8
3.2.2 Jännitteen skaalaus	10
3.2.3 Napaisuuden vaihto	12
4 OSAVALINNAT	14
4.1 Lämpötila-anturin valinta	14
4.2 Ohjauksen ja säädön komponenttivalinnat	15
4.3 Skaalauksen komponenttivalinnat	15
4.4 Napaisuuden vaihdon komponentit	17
4.5 Virtalähde	18
5 YHTEENSOPIVUUS	19
5.1 Esimerkkejä piirisarjoista	19
5.1.1 PIC 8-bit	19
5.1.2 PIC 16-bit, 32-bit	20
5.1.3 Atmel	21
6 OHJELMOINTIKYTKENNÄT	23
6.1 ISP (In-system programming)	23
6.2 ICSP (In-circuit serial programming)	24
6.3 JTAG (Joint test action group)	24
7 YHTEENVETO	25
LÄHTEET	27

## LYHENNELUETTELO

USB	Universal Serial Bus. Sarjaväyläarkkitehtuuri.
W	Watti. Tehon yksikkö.
A/D	Analog to Digital. Analogia-digitaalimuunnos.
V	Voltti. Jännitteen yksikkö.
I <sup>2</sup> C	Inter-Integrated Circuit. Sarjaliitäntäväylä.
D/A	Digital to Analog. Digitaal-analogiamuunnos.
I/O	Input Output. Sisään- ja ulostuloliitäntä.
SDA	Serial Data Line. Sarjadataliitäntä.
SCL	Serial Clock Line. Sarjakelloliitäntä.
°C	Astetta Celsiusta. Lämpötilayksikkö.
ΔT <sub>max</sub>	Delta Temperature Maximal. Suurin lämpötilan muutos.
ΔT	Delta Temperature. Lämpötilan muutos.
T <sub>h</sub>	Mittauksilman lämpötila.
T <sub>c</sub>	Temperature coefficient. Lämpötilakerroin
NTC	Negative Temperature Coefficient. Negatiivinen lämpötilakerroin
JFET	Junction gate Field-effect transistor.
MOSFET	Metal-oxide-semiconductor field-effect transistor. Metallin oksidi puolijohde kanavatransistori.
A	Ampeeri. Virran yksikkö.
V <sub>DC</sub>	Tasajännite.
Ω	Ohmi. Resistanssin yksikkö.
V <sub>gs</sub>	Voltage gate to source. Hilajännite.
V <sub>ds</sub>	Voltage drain to source. Nielujännite.
I <sub>d</sub>	Continuous Drain Current. Nielunvirta.
IR3	Vastuksen numero 3 läpi kulkeva virta.
ADC	Analog to digital Converter. Analogia-digitaalinen muunnin.
ISP	In-system programming. Ohjelmointiliitäntä.
ICSP	In-circuit serial programming. Ohjelmointiliitäntä.
JTAG	Joint test action group. Ohjelmointi- ja testausliitäntä.

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyö sai alkunsa, kun tutustuin artikkeliin USB-jääkaapista ja havaitsin Peltier-elementin monikäyttöiseksi tutkiessani sitä. Halusin toteuttaa sen avulla monikäyttöisen kytkennän, jota olisi mahdollista käyttää sekä jäähdytykseen että lämmitykseen. Kytkennän tuli olla sellainen, että kumpaa tahansa elementin puolikkasta olisi mahdollista käyttää sekä lämmityksen että jäähdytykseen, ilman rakenteellisia muutoksia.

Peltier-elementti on lämpösähköiseen ilmiöön perustuva laite, jota yleensä käytetään vain jäähdytykseen, koska sillä on huono hyötysuhde. Peltier-elementti on huoltovapaa ja pieni, minkä vuoksi käytetään sitä tämän opinnäytetyön pohjana. Peltier-elementin teoria on kehitetty vuonna 1834 Ranskassa, eli se siis ei ole aivan uusi.

Opinnäytetyötä varten luin Peltier-elementin datalehden tarkkaan lävitse. Peltier-elementissä on kaksi johdinta. Riippuen positiivisen ja negatiivisen jännitteen paikasta johtimissa muuttuu elementin puolikkaiden lämpötila kuumasta kylmään. Vaihdettaessa johtimien jännitteen napaisuutta vaihtuu lämpiävän ja jäähtyvän pinnan paikka toistensa kanssa. Peltier-elementti ei ole kovinkaan suurikokoinen, mutta on mahdollista saada tuntuva lämpötilaero eri puolikkaiden välillä.

Opinnäytetyön laitteelle mahdollinen käyttökohde on esim. jäähdytyslauta kannettavan tietokoneen alle. Kannettavilla tietokoneilla on ongelmia alustojen kanssa, niitä ei ole tarkoitettu pehmeille alustoille. Pehmeällä alustalla kannettavat tietokoneet ylikuumenevat ja lakkaavat toimimasta. Jäähdytysalustalle on yleistä tarvetta, mutta havaitsin myöhemmin, että tällaisia on jo myynnissä. Toinen mahdollinen käyttökohde on jäähdytyksen asentaminen osaksi reppua, jotta kannettavan tietokoneen pystyisi pitämään käynnissä sen ollessa reppussa.

Lämmityksen puolella on muutamia hyviä käyttösovelluksia laitteelle, esim. ruuan kuljetus lämpimänä piknikille tai työpaikalle, jos työpaikka on sellainen, ettei siel-

lä ole mikroaaltouunia. Talvella toppatakin sisäpuolen lämpötilaa olisi mukava myös pystyä säätämään oman mielensä mukaan.

Opinnäytetyössä myös laitteen tehon tarpeen arviointi oli osana kokonaisuutta. Peltier-elementti tarvitsee tehoa runsaasti, koska sillä on huono hyötysuhde. Opinnäytetyöni kytkennässä oli tehon tarve lähes 50 W maksimissaan.

Opinnäytetyössä ei ole tarkoitus paneutua niinkään mikroprosessorin ohjaukseen, vaan siihen miten Peltier-elementtiä ohjataan ja miten kytkentä on mahdollisimman helposti liitettävissä jo olemassa oleviin ohjauspiireihin. Työssä siis on vertailtava eri ohjauspiirejä, ja tämän tiedon mukaan suunniteltava hyvin adaptiivinen kytkentä.

Opinnäytetyössä yhtenä kohteena on jäähdytettävän pinnan lämmön tarkkailu. Työssä kerrotaan, mitä komponentteja käytetään lämpötilaa tarkkailevassa kytkennässä. Työssä kerrotaan myös miten kytkentä toteutetaan, sekä perustellaan miksi kytkennässä käytetään valittua komponenttia.

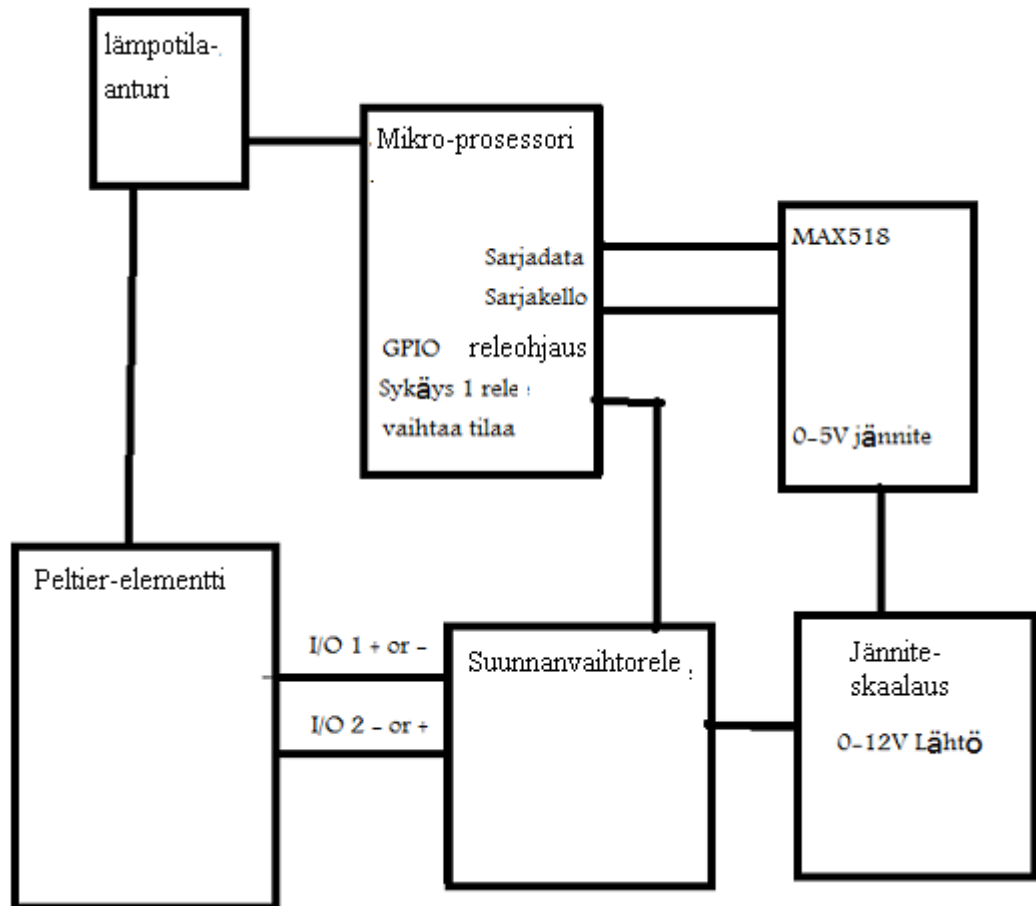
Opinnäytetyössä tärkeimpänä osana oli, miten ohjauksen lähtö kytketään jäähdytys-elementille, miten ohjaus säätää jännitettä elementille ja miten ohjaus vaihtaa jännitteen napaisuuden tilaa, jotta elementin pinta voidaan muuttaa jäähdytystilasta lämmitystilaa.

Opinnäytetyössä kerrotaan kytkennän toimintaperiaate, mikä helpottaa ohjauspiirin myöhempiä ohjelmointia. Työssä perustellaan myös laitteen toimintaa ja kerrotaan myös ohjelmoinnin liitännöistä, jotta ohjeiden mukaan olisi helppoa ohjelmoida jälkeensä liitettävä mikroprosessori.

Opinnäytetyön lopussa kiinnitetään huomiota havaittuihin ongelmiin sekä työn positiivisiin seikkoihin. ja pohditaan, miten työn olisi voinut tehdä paremmin, mitä työstä jäi puuttumaan ja jäikö jokin asia painamaan mieltä.

## 2 TOIMINTAPERIAATE.

Peltier-elementin jänniteohjauksen toimintaperiaate on seuraavanlainen ja sen toimintaa selkeyttää kuvio 1.



KUVIO 1. Lohkokaavio

### 2.1 Lämpötilan mittaus

Lämpötila-anturilta tulee muuttuva jännitetaso riippuen siitä, miten kylmää tai kuumaa anturi tunnistaa. Tämä jännite kytketään mikroprosessorille analogisen tulon nastaan. Jännite muuttuu lämpötilan muutoksen mukaan. Mikroprosessorilla on N-bittinen A/D-muunnin. Tavallisesti N on esim. 10 bittiä. N-bittinen A/D-muunnin toimii siten, että 0 - 5 V:n tulojännite muutetaan N-bittiseksi digitaaliluvuksi.



Kytkenäjä suunniteltaessa ei otettu huomioon lämpötila-anturin lineaarisuutta tai epälinearisuutta. Henkilölle, joka mikroprosessoria tulee ohjelmoimaan, osuukin vastuu kytkennän kompensoinnista.

## 2.2 I<sup>2</sup>C-ohjaussignaali

Lämpötilan mittauksen perusteella ohjataan Peltier-elementtiä muodostamalla ohjaavan prosessorin digitaalisesta sarjadatasta analoginen ohjausjännite. Analogisen ohjausjännitteen muodostaminen prosessorilla ei suoraan onnistu, vaan tarvitaan D/A-muunnin, joka ottaa vastaan ohjaussignaalin I<sup>2</sup>C-liitäntännällä. Piirillä MAX518 on nämä I<sup>2</sup>C-liitäntännän vaatimat sarjadataan (SDA) ja sarjakellon (SCL) liitäntänastat. (19-0393 Rev 1 2002.)

## 2.3 MAX518-piirin toimintaa

MAX518-piiri on hyvin käytännöllinen, ja se mahdollistaa kytkennän pienenemisen puoleen siitä, mitä toinen kytkentävaihtoehto olisi ollut. Lisäksi MAX518 ansiosta myös kytkennän laajennettavuuden mahdollisuudet suurenevät siten, ettei suuria muutoksia tarvitse tehdä. Toinen vaihtoehto olisi käyttänyt jo useamman I/O-nastan. Kyseisen kytkennän tapauksessa päästiin yhden elementin osalta neljällä nastalla, joista kolme on I/O:ta ja yksi analoginen tulo. Kahdella elementillä tarvittaisiin vain kahdeksan nastaa, joista kuusi on I/O:ta ja kaksi analogista sisääntuloa, siis jos mukaan laskettaisiin omat anturit molemmille elementeille.

Piirissä MAX518 on kahdet peräkkäiset salpapiirit, joista ulostulon salpoja ohjaa I<sup>2</sup>C-väylältä tulevat aloituksen ja lopetuksen bitit. Sisääntulosalpoja olisi mahdollista ohjata muutamalla MAX518:n liitäntännän nastoista. Tässä kytkennässä ei tarvita sisääntulon salpoja, koska MAX518:n toiminta on opinnäytetyössä vain yksisuuntaista, eli mikroprosessorilta antojännitteen ohjauksen suuntaan. Molemmat tulon salpojen ohjausnastat on maihin kytkettyinä. Kytkennän laajentaminen olisi mahdollista, jos myös nämä nastat otettaisiin käyttöön. Tämä ei kuitenkaan kuulu työn aihepiiriin, joten ei kyseisestä kytkennästä toteuteta esimerkkiä.

D/A-muuntimelta releen ohjaukselle asti on kiinteät kytkennät, joihin ohjelmoijalla ei ole mahdollisuutta puuttua. Ohjelmoijan on hyvä kuitenkin huomata, että antojännitteen skaalan muuttamiseen tarkoitettu mosfetti on epälineaarinen. Mosfetin epälinearisuden takia ohjelmoijan on ohjelmoidessaan kompensoitava mosfetin toimintaa haluttuun toiminnan suuntaan.

#### 2.4 Releen ohjauksen toimintaa

Kytkenässä tarvitaan rele vaihtamaan Peltier-elementin jännitteen napaisuus. Releen ohjauskytkennän periaate on, että kun halutaan vaihtaa elementin pintojen tilaa, niin vaihdetaan ohjausbitin tilaa hetkellisesti loogiseksi ykköseksi. Tilan muutos saa virran reitin muuttumaan siten, että elementin johtimien napaisuudet vaihtavat paikkaa keskenään. Toimiakseen on kytkennän rakentajan muistettava, että releen on oltava nimenomaan askelrele. Tavallinen rele tulisi joko vaatimaan pitopiirin tai jatkuvan ohjausvirran mikroprosessorilta.

Työssä tämänlainen toimintaperiaate on otettu käyttöön siksi, että haluttiin suunnitella laite varsin vähäisillä kytkennöillä ja komponenteilla. Laitteesta olisi voinut tehdä laajuudeltaan suuremmankin, mutta tämä vaikutti sopivimmalta opinnäytetyöhön.

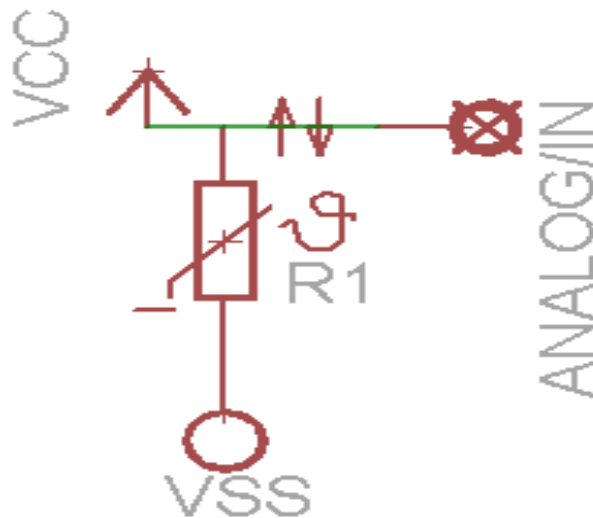
### 3 TOTEUTUSTA JA KYTKENTÖJÄ

Kytkentöjen toteutus oli työvaiheessa tärkein ja vaikein tehtävä. Laitteen suunnittelemiseksi oli tutkittava eri lähdemateriaaleja, jotta kytkennöistä saatiin toimivia. Kytkennöissä aloitettiin suunnittelu pienissä lohkoissa laitteen kokonaisuuden hahmottelemiseksi. Laitteen lopullinen käyttötarkoitus oli tiedossa, joten sen mukaan haettiin pieniä paloja kytkentöihin. Lopullinen kytkentälohkojen kokonaisuus on kuvion 1 mukainen. Tässä kappaleessa tutkitaan laitteen osalohkojen kytkentöjä ja käydään lävitse joitain vaihtoehtoja.

#### 3.1 Lämpöä mittaava kytkentä

Ensimmäisenä kysymyksenä työtä tehdessä oli, millainen lämpötila-anturi tarvitaan lämpötilan tarkkailuun. Koska järjestelmän Peltier-elementti toimi sekä jäähdytykseen että lämmitykseen, oli valittava sellainen anturi, joka pystyisi toimimaan sekä positiivisilla että negatiivisilla lämpötiloilla. Valinnan mahdollisuuksia oli erilaiset IC-lämpötila-anturit ja termistorit. Useimmilla näistä kuitenkin lämpötilan tarkkailun asteikko asettui vain positiivisille lämpötiloille. Työhön tarvittiin lämpötila-anturi, joka menisi riittävästi molemmille lämpötila-asteikon puolikkaille. Peltier-elementtejä on useita erilaisia tyyppisiä, ja työhön valitsin pohjaksi Peltier-elementin, josta saadaan 46,8 W:lla jopa 36 W:n jäähdytys kapasiteetti ja n. 72 °C  $\Delta T_{max}$  (maksimaalinen lämpötilanmuutos), mikä tarkoittaa että  $\Delta T$  (lämpötilan muutos) =  $T_h$  (mittaustilan lämpötila) –  $T_c$  (lämpötilakerroin) missä kyseiselle elementille  $T_h = 25$  °C ja  $T_c = 49$  °C Peltier-elementin täydellä teholla. (PE-127-10-13 2008.)

Anturikytkennän suunnittelemisessa oli oma ongelmansa, joka vaati ratkaisemista. Kytkentään valittiin anturiksi NTC-vastus, jonka kytkemisestä oli vähän tietoa. Lopulta jännitteen jakaminen maan ja mikroprosessorin välillä osoittautui toimivaksi ratkaisuksi (kuvio 2).



KUVIO 2. Termistorikytkentä

Kytkenän olisi voinut toteuttaa monella muullakin tavalla, kuten käyttäen termistoria toisen vastuksen kanssa rinnakkain. Kytkenöistä tämä oli kuitenkin kaikkein yksinkertaisin ja vaati vähiten komponentteja. Suoria sovellusohjeita oli vaikea löytää termistorin kytkemiseksi analogiseen tuloon. Sellainen kuitenkin löytyi lopulta Atmelin sovellusohjeesta. Vaikka kyseinen kytkentä sovellusohjeessa on 12 V:n käyttöjännitteelle, on silti periaate sama myös 5 V:n käyttöjännitteellä. Huomioon on otettava, että laitteen jäähdytys-elementti tulee kuitenkin käyttämään 12 V:n jännitettä. Näin ollen ohjausjännite on erotettava tehon syötöstä elementille. Työn kohteena ei ollut jännitteensyöttö tai jännitelähde, vaan jännitteenohjaus ja säätely. Laitteelle tulee omat jännitteet 5 V ja 12 V, jotka saadaan esim. kannettavan tietokoneen akusta. (8005A-AVR-09/05 2005.)

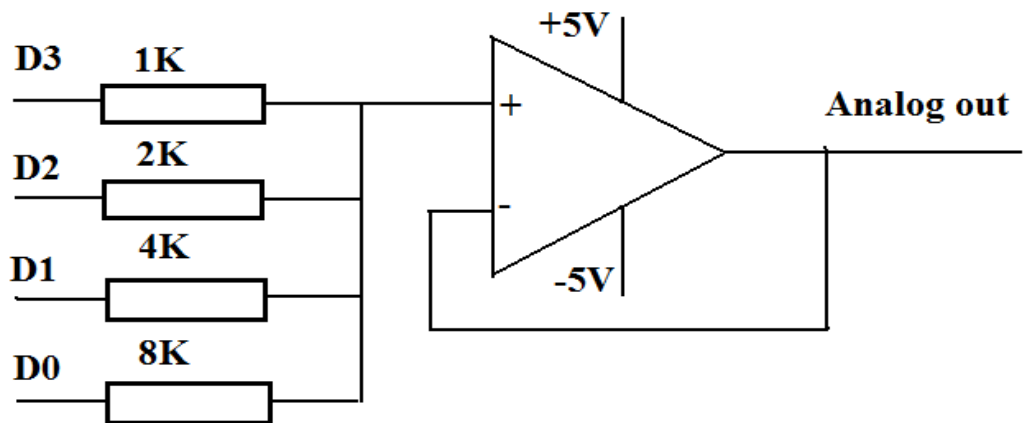
### 3.2 Lämmön syöttöä säätelevä kytkentä.

Lämmön syöttöä säätelevässä kytkennässä oli otettava huomioon seuraavat seikat. Jännitteen syötön on oltava säädettävissä välillä 0 - 12 V, ja napaisuuden vaihtamisen on tapahduttava elementin syötön nastojen välillä. Kytkenät aloitettiin jännitteen säädöstä. Tarkoitus oli saada mikroprosessori säätämään jännitetasoa 0 - 12 V:n välillä.

Ratkaistavia ongelmia oli kaksi; Ensimmäiseksi yleisimmät prosessorit eivät pysty syöttämään tuota säädettävää 0 - 12 V jännitettä, vaan väliin on tehtävä jännitettä nostava kytkentä. Toisena ongelmana oli itse ohjausjännitteiden säätely, sillä prosessori antaa joko loogisen 0:n tai 1:n eli 0 V tai 5 V.

### 3.2.1 Säädettävä jännitetaso 0 – 5 V

Komponenttimäärän työssä piti pysyä vähäisenä, joten työssä käytiin lävitse erilaisia vaihtoehtoja. Suurin osa kontrollereista sisältää kahdeksan kappaletta 8-bittisiä kaksisuuntaisia I/O-kanavia. I/O-kanavien digitaalitiedon muuttaminen analogiseksi jännitteeksi tapahtuisi tilanteessa, jossa prosessorilla ei ole sisäistä D/A-muunninta, tai MAX518 D/A-muunnin ei olisi käytössä, niin että lähes kaikki kahdeksan I/O-kanavaa olisi käytössä, jotta ulos saadaan tarvittava määrä erisuuruisia antojännitteitä (kuvio 3). Periaatteessa tämä tarkoittaisi sitä, että prosessorin kaikki nastat olisivat käytössä jo ennen, kuin kaikki hyöty olisi otettu irti mikroprosessorista. Vaihtoehtoista tämä siis merkitsi sitä, että laitteeseen tulisi hyvin paljon johdinveitoja ja vastuksia sekä yksi operaatiovahvistin.



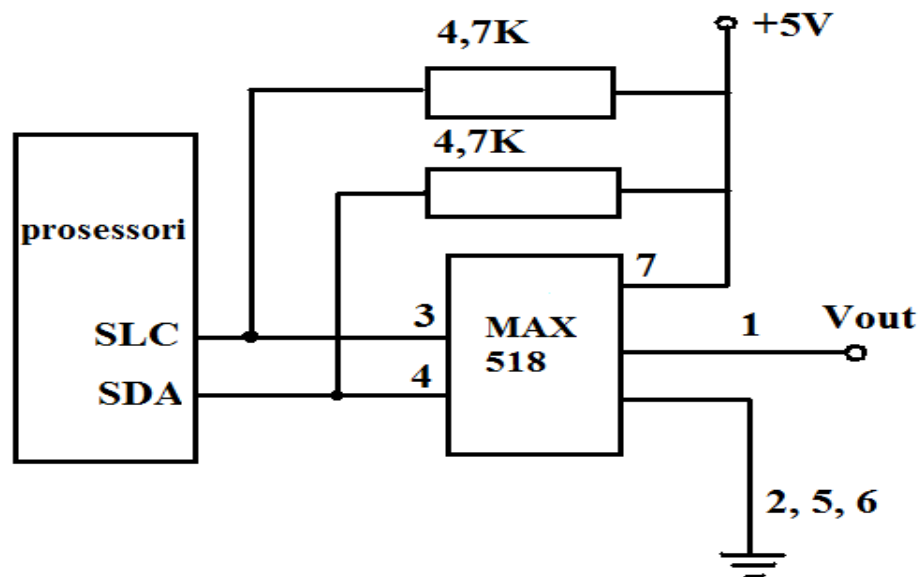
Kuvio 3. D/A-muunnin (Tupamäki 2010)

Kuvion 3 kytkentä ei ollut paras vaihtoehto, vaan tutkittiin, löytyisikö parempaa vaihtoehtoa. Tutkittaessa törmättiin kytkentään, joka pienensi komponenttien tarvetta. Kyseinen kytkentä tarvitsee vain kaksi I/O-lähtöä. Ongelma oli, että nämä olivat sarjaliitännävälälähtöjä yleisnimeiltään I<sup>2</sup>C, koska kaikilla mikroprosessoreilla ei datalehdissä ollut suoraan I<sup>2</sup>C-välälän ohjausta eikä sarjadataan ja sarjakel-

lon nastoja. Tämän pelkäsin aiheuttavan ongelmia yhteensopivuuden kanssa eri mikroprosessoreille. Ongelma ei kuitenkaan lopulta ollut suuri, koska I<sup>2</sup>C-sarjaväylä on hidas yhteys. Vaikka ei kaikille piireille ole suoraan I<sup>2</sup>C-liitäntää, on tämä mahdollinen toteuttaa mille tahansa I/O:lle ohjelmallisesti. Tämä aiheuttaa mikropiirin ohjelmoijalle ylimääräistä kirjoittamista, sillä on kirjoitettava sekä sarjakello- ja sarjadata-signaalit alusta loppuun. MAX518-piiri liitetään kuvion 4 mukaan ja saadaan mikroprosessorilla säädettävä jännite Vout. Tämä on kuitenkin vain välille 0 - 5 V. (Stephens 2007; Edaboard 2010; Wikipedia 2010a.)

MAX518 datalehdessä on luettavissa, että MAX518 sarjatuloissa on oltava ylösvetovastukset. Nämä on kytkettävä jännitteeseen siksi, että MAX518 ollessa käytämätön on sarjaväylän oltava loogisessa tilassa 1. Sarjaväylän toiminta alkaa, kun MAX518 saa aloitusbitin prosessorilta. Aloitusbitti ajaa sarjadataväylän jännitteen loogiseen 0-tilaan sarjakellon jännitteen ollessa tilassa 1. Datan kirjoituksen ollessa valmis ajetaan lopetusbitti kellon ollessa ylhäällä, mikä taas nostaa sarjadatan tilan ylös. (19-0393 Rev 1 2002.)

Nastat 2,5,6 ovat vedettyinä maahan. Nasta 2 on piirin maanasta ja nastojen 5,6 merkitys on se, että MAX518 asetetaan lukuasentoon mikroprosessoriin nähden. Salpauksessa käytetään siis vain sarjaväylän aloitus - ja lopetusbittejä.



KUVIO 4. Jännitesäätö välillä 0 - 5 V (Stephens 2007).

### 3.2.2 Jännitteen skaalaus

Työssä oli tarkoitus säätää jännitettä 0 - 12 V:n välillä. Suunnittelua ei siis voinut jättää vaiheeseen, jossa väli oli vain 0 – 5 V, vaan oli jatkettava suunnittelua eteenpäin, jotta päästäisiin haluttuun 12 V:n maksimaaliseen jännitearvoon. Tähän tarkoitukseen tarvittiin FET-niminen komponentti, tarkemmin mosfetti, sillä toinen FET, JFET, ei kyennyt syöttämään tarpeeksi suuria virtoja jäähdytyslementin maksimaaliseen tarpeeseen. Jäähdytyslementtiä varten tarvittiin useamman ampeerin suuruisia virtoja, jotta se toimisi täydellä toimintateholla. JFET kykenee vain milliampeerien suuruisiin virtoihin. Tämän takia valinta oli oltava mosfetti.

#### Mosfetti

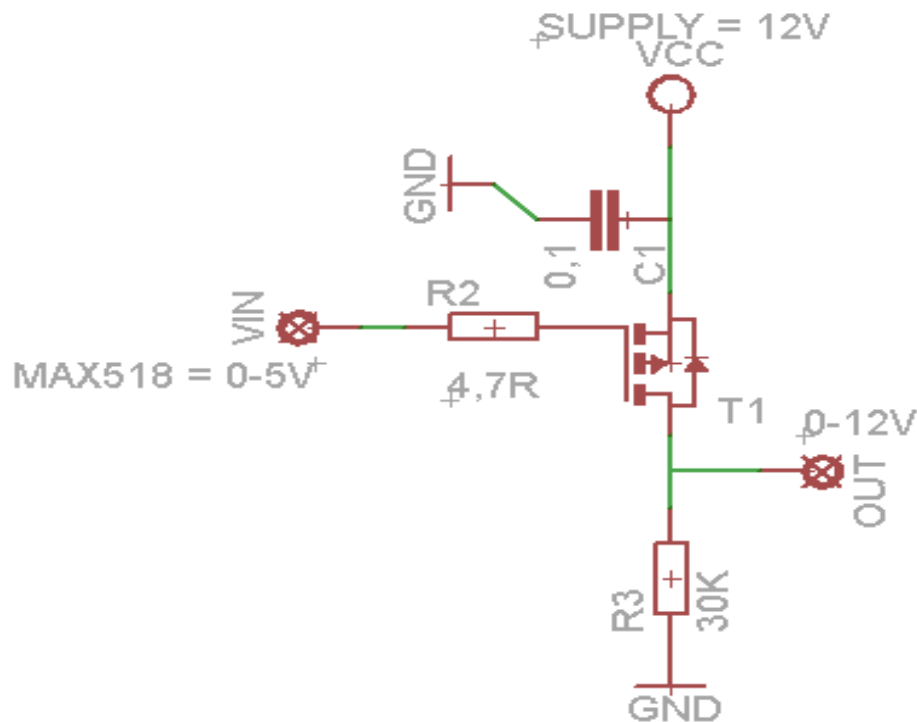
Mosfetti kuten myös JFET ovat komponentteja, joiden ominaisuuteen kuuluu mahdollisuus, että näitä voidaan käyttää jänniteohjattuina vastuksina. Tämän ominaisuuden ansiosta voimme käyttää MAX518-komponentilta tulevaa säädettävää jännitettä mosfetin hilan ohjaamiseen, joka muuttaa vastuksen määrää nielun ja lähteen välillä. Mosfetillä on suuri impedanssi, ja siksi on estettävä mosfetin värähtely pienellä hilavastuksella.

Värähtely on havaittavissa, kun esimerkiksi lähtöön on liitetty moottori, koska sen pitäisi olla täysin sammuksissa, mutta siitä silti kuuluu kummallista kitinää, koska kuorma on induktiivinen. Induktanssin ominaisuus on, että induktanssi pyrkii estämään virran muutoksia. Induktanssi imee fetiltä virtaa jopa sen ollessa suljettu.

Edellisen toimenpiteen lisäksi on suositeltavaa, että nielun jännite vakavoidaan kondensaattorilla, äkillisten jännitepiikkien ennalta ehkäisemiseksi ja induktanssin pienentämiseksi. Mosfeteilla on ongelmana, että ne lämpiävät herkästi. On suositeltavaa, että mosfetti kiinnitetään jäähdytyslevylle lämmön siirtämiseksi mosfetiltä ulkoilmaan. (19-0393 Rev 1 2002; Fairchild Semiconductor Corporation 1998.)

## Kondensaattori C1 ja vastus R3

Jännitteen kiertäessä kuorman lävitse maahan ei ongelmia ole, mutta äkkinäinen maan ja jännitteen paikkojen vaihtuminen kuorman ollessa induktiivinen tuottaa ongelman (induktiivisuus pyrkii estämään virran muutoksia). Induktiivisen kuorman virta pyrkii hetkellisesti purkautumaan takaisin virran syötölle. Kondensaattorin C1 tehtävänä on antaa kuormalle tämän hetken enemmän jännitettä kuin normaalisti, jotta induktiivisen kuorman virtaama asettuisi oikealle reitilleen. Vastus R3, jonka yli on yhtä suuri jännite kuin kuormalla varmistaa sen, että virtaa pääsee kulkemaan maahan. Kytkenään saavuttaessa taas vakaan tilansa pyrkii virta taas kulkemaan kuorman lävitse. Kuitenkin tätä ennen kuorma tarvitsee enemmän jännitettä syötöltä, koska kuorma pyrkii nopeasti nostamaan virtaa kohti haluttua kulkusuuntaa. Kondensaattori siis poistaa äkilliset virran muutoksen aiheuttamat jännitemuutokset. Tapahtuman voisi kuvailla paremmin ehkä seuraavalla esimerkillä. Autolla kuljetaan eteenpäin, kunnes kuljettaja päättää peruuttaa ja painaa jarrun pohjaan, mutta auto jatkaa eteenpäin (liikaa tarvittavaa energiaa). Sen jälkeen kuljettaja laittaa pakin päälle ja painaa kaasua ja auto alkaa kiihdyttää, mutta tämä kiihdytysaika kuluttaa enemmän polttoainetta kuin vakaa meno, koska tarvitaan ylimääräistä energiaa. (Wikipedia 2010b; Ross 97.)



KUVIO 5. Jännitteen ohjaus välille 0 - 12 V



### 3.2.3 Napaisuuden vaihto

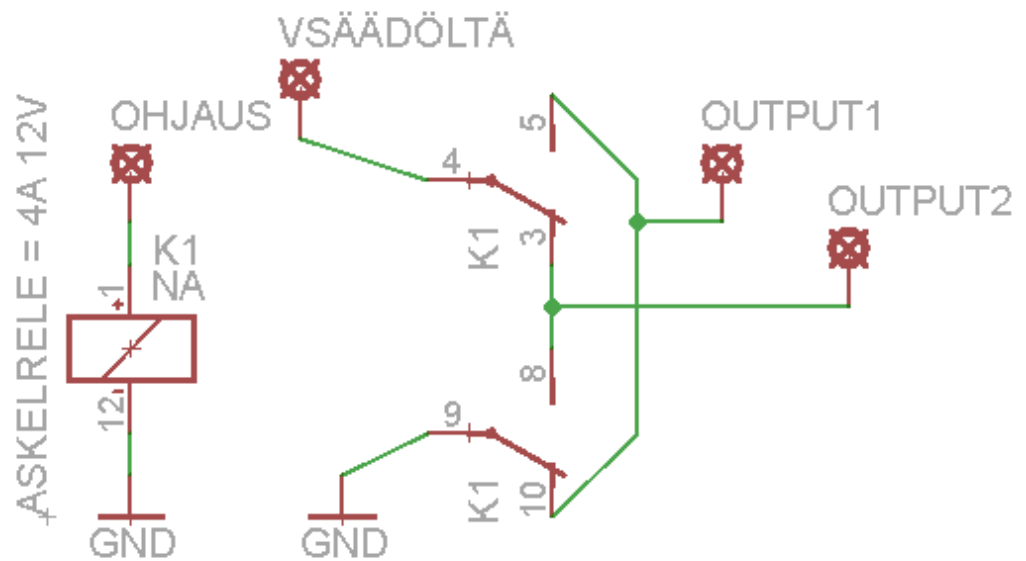
Työssä päästiin edellisessä kappaleessa haluttuun 12 V:n maksimijännitteeseen. Jäljellä on vielä, että jännitteen syötön kanavaa on pystyttävä vaihtamaan. 0 - 12 V:n säädettävä jännite on oltava mahdollista syöttää kumpaan tahansa elementin johtimista ja samalla on pystyttävä myös vaihtamaan maapotentiaalia. KytKentä toteutettiin käyttäen askelrelettä, jota on mahdollista ohjata mikroprosessorilla käyttäen sen yhtä I/O:ta. Mikroprosessorilta olisi siis tämän jälkeen käytössä neljää nastaa. Anturille yksi nasta, jännitteen säätöön kaksi nastaa ja nasta vaihtamaan askelreleen tilaa. Piiri tulee kuitenkin rajoittumaan sellaisille mikroprosessorille, joiden lähdöstä saadaan riittävän suuri jännite releen tilan vaihtamiseksi.

Askelrele kytketään niin, että sen saadessa ohjausnastaan 5 V, sykäys vaihtaa releen tilaa niin, että maa ja 0 - 12 V jännite vaihtavat tilaa samanaikaisesti. Askelrelettä käytetään vain jännitteen ja maan reitin valintaan. Askelreleellä on oltava kahdeksan nastaa, jotta tarvittava yhdistäminen olisi mahdollinen (paitsi jos rele on sisäisesti kytketty neliasentoiseksi, kuvio 6).

Toinen vaihtoehto, jota olisin voinut käyttää tässä työn kohdassa, mikäli sopivaa relettä ei olisi löytynyt, olisi ollut käyttää kahta viisinastaista relettä eli sellaista, jossa on vain kolme nastaa jännitteen läpivientiä varten. Tämä tarkoittaisi kuitenkin, että tarvittaisiin lisää tilaa piirilevyiltä ja lisää juotoksia, koska molemmat releet tarvitsisivat oman ohjausjännitteen. Ohjausjännitesignaalin voisi viedä kuitenkin yhtenäisenä molempien releiden lävitse. Käytettäessä kahta relettä sekä molemmille omaa ohjausta on havaittavissa, että jännitteen läpiviennin ollessa kuvion 5 mukainen, prosessorin ohjelmoijalle asettuu suuri vastuu, sillä vääränlainen ohjelmointi muodostaisi oikosulun. Tämän takia yhden releen käyttäminen on ehdottomasti paras ratkaisu. Kahden releen käyttäminen yhdellä ohjauksella on myös toimiva vaihtoehto.

Seuraavassa on ohjeita, jotka selittävät kuinka kuvion 6 kytKentä liittyy, kuvioon 5 ja mikroprosessorille. VSÄÄDÖLTÄ-nastaan tulee kuvion 5 OUT. OHJAUS-nastaan tulee 5 V mikroprosessorin nastasta. OUTPUT 1 ja 2 ovat liitettynä ele-

mentin johtimiin. (Huom. kuvio kuvaa kytkentää ideaalireleen arvoilla, ei siis itse kytkennän rele).



KUVIO 6. Napaisuuden vaihdon kytkentä

Tämän jälkeen on laitteen kytkennät valmiit. Laitteen kytkentöjen pitäisi olla toisiinsa yhdistettynä kuvion 1 mukaan.

## 4 OSAVALINNAT

Osavalinnat pohjautuvat kokonaisuuteen, jonka laitteen oli tarkoitus toiminnaltaan toteuttaa. Osat valittiin alkaen ensin kytkennän anturin valinnasta. Tämän jälkeen valinnat toteutettiin sen mukaan, mihin suuntaan työ eteni. Koska PC-väylää käytetään jännitteenohjaukseen, oli osat valittava myös sen tiedon mukaan. Lopputuloksen oli oltava säädettävä 0 - 12 V analoginen jännite. Koko työn ajan pyrittiin pitämään osamäärä mahdollisimman vähäisenä.

Lopulliseen antojännitearvoon ei kuitenkaan päästy suoraan yhdellä komponentti-kytkennällä. Osavalinnat oli lohkottava ja haettava lopullista kokonaisuutta pienillä etenemisillä kohti oikeanlaista ohjausta. Näille lohkoille annettiin nimiksi säätö, skaalaus ja napaisuuden vaihto. Jokaisella loholla oli oma tehtävänsä. Säädettävyydellä saatiin aikaan ohjelmallisesti muutettavissa oleva jännite. Skaalauksella toteutettiin ohjelmallisesti säädettävissä olevan jännitteen nosto, joka tehtiin Peltier-elementin vaatimuksia vastaaviksi. Napaisuuden vaihdolla oli tehtävänä vaihtaa elementin johtimien napaisuuksia keskenään.

### 4.1 Lämpötila-anturin valinta

Valintaan Mil-T-23648 päädyttiin seuraavien arvojen perusteella: lämpötilan mitaustoleranssi  $\pm 0,2$  °C, mittaustasteikko - 80 °C... + 150 °C. Lämpötila-alue on enemmän kuin tarpeeksi työn tapauksessa. Laitteen käyttötarkoitus ei ole mikään pakastin tai uuni. Lisäksi kyseisen termistorin tehon tarve on hyvin pieni, ja vastuksen muutosarvot ovat hyvin suuria, mikä mahdollistaa helpon luettavuuden johtuen termistorin epälineaarisuudesta. Vertailtaessa sitä anturiin KTY81-120, jonka lämpötilan mittauksen raja-arvot ovat pienemmät ja toleranssi kasvaa rajummin lämpötilan kasvaessa, on Mil-T-23648 selvästi parempi vaihtoehto. Mil-T-23648 on mil-standardin mukainen komponentti, ja sen näkee myös hinnassa. Kappalehinta on noin kymmenen euroa, kun taas anturin KTY81-120 kappalehinta on 1.32 euroa.

On hyvä muistuttaa työn teoreettisuudesta, eli en tule ottamaan kantaa, työn kustannuksiin. Mil-T-23648 on NTC-vastus ja valitsin ruskean Mil-T-23648 vastuksen, jonka vastusarvo  $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ :n lämpötilassa on  $2252\ \Omega$ . Erivärisillä Mil-T-23648 NTC-vastuksilla on eri oletusvastusarvo  $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ :n lämpötilassa. ( RTI Electronics, Inc. 2005; Philips Electronics N.V. 2000.)

#### 4.2 Ohjauksen ja säädön komponenttivalinnat

Ennen työn aloitusta oli D/A-muunnin MAX518 täysin tuntematon. Aluksi tarkoitus oli hyödyntää työssä aikaisempaa tuntemusta D/A-muunnoksesta ja käyttää jännitteen säätelyyn mikroprosessorin useampaa nastaa kuvion 3 mukaan. Opin näytetyössä ei kuitenkaan ollut tarkoitus käyttää tilaa vieviä kytkentöjä, vaan jännitteen tason muuntelusta piti saada mahdollisimman yksinkertainen, ja siksi valitsin komponentin MAX518. Kuvio 4 on lähes suora lainaus lähteestä, jossa käsitellään MAX518:n käyttöä jännitteen säätelyssä. (Nykyään lähes kaikki kytkennät ovat kopioita aikaisemmista kytkennöistä. Insinöörin tehtävä on osata yhdistää eri kytkennät toisiinsa ja selvittää kytkennän toimintaa aikaisemmissa luvuissa).

MAX518 sopi työhön johtuen sen tehtävästä muuttaa sarjamuodossa välitetty digitaalitieto analogiseksi jännitteeksi. Etuvastukset ovat lähteen mukaiset ja niitä ei ollut tarpeellista muuttaa toisen kokoisiksi. Useimmissa kytkennöissä kaikkein yleisimpiä vastuksia kooltaan on nämä  $4,7\ \text{k}\Omega$ :n vastukset. Hyvin yleisiä ovat myös  $10\ \text{k}\Omega$ :n vastukset. (Stephens 2007.)

#### 4.3 Skaalauksen komponenttivalinnat

D/A-muuntimesta MAX518 saadaan vain  $0 - 5\ \text{V}$ :n säädettävä ulostulo, ja siksi on jännitettä jotenkin nostettava välille  $0 - 12\ \text{V}$ . Työssä tarvittiin jänniteellä säädettävä vastus. FET-tyyppinen komponentti on tällainen. Aluksi tarkoitus oli käyttää JFET-tyyppistä komponenttia. Tämän ollessa jo ennestään tuttu sen pystyi myös helposti muuttamaan jännitesäädettäväksi vastukseksi, joka on lineaarinen. Ongelmia ei aluksi ollut, mutta tarkempi tutkiminen paljasti, ettei JFET kestä isoja

virtoja, vaan se hajoaa. Työssä siis vaihdettiin järeämpään FET tyyppiin ja otettiin mosfettityyppinen komponentti käyttöön.

Tutkimisen jälkeen kytkennässä päädyttiin mosfettiin malliltaan Si5447DC. Kyseinen mosfetti ei ole paras valinta, mutta se on kuitenkin riittävän hyvä tämän työn kannalta. Tämä Mosfet sisälsi sen, mitä työ tarvitsi eli (hilajännite)  $V_{gs} = \pm 8$  V, (nielujännite)  $V_{ds} = -20$  V (nielun virta)  $I_d = 4,8$  A. Ainoa haitta oli, ettei työ olisi tarvinnut piiriä, jossa on kuusi kpl nielun nastoja. Kyseisen mosfetin lävitse voitiin jo ajaa tarvittavan suuria virtoja. Kun MAX518:n sarjaväylän tulot ovat induktiiviset ja samoin myös fetin tulot ovat induktiiviset, on mosfetin ja MAX518 väliin liitettävä  $4,7 \Omega$  hilavastus, lähelle mosfetin hilaa (Fairchild Semiconductor Corporation 1998, ”tehdassuositus”). Valitun vastuskoon syy on se, että suurempi vastus heikentäisi kytkennän taloudellisuutta ja tehokkuutta. Pienempi vastus ei pystyisi poistamaan värähtelyä riittävän tehokkaasti. (S-21251 Rev. B, 2002.)

Induktiivisuuden ongelmia vähentävä metodi oli myös kondensaattori C1(kuvio 5), jonka tarkoitus on suojata virtalähdettä induktiiviselta kuormalta. Komponentille C1 on yleensä annettu liukuva ominaisarvo, ja koska työssäni mosfetin yli on tasajännite, tarkoilla virran ja jännitteen arvoilla ei ollut suurta merkitystä, eikä komponentille tarvinnut tehdä mitoituslaskentoja.

Vastuksen R3 tehtävänä on kuorman kanssa rinnan mahdollistaa tilapäinen reitti virralle napaisuuden vaihtaessa tilaa. R3-vastuksen lävitse kulkee aina  $0,5$  mA virtaa.  $R_p$  on Peltier-elementin sisäinen resistanssi  $3,6 \Omega$ ,  $I_p$  on Peltier-elementin läpi kulkeva virta ja  $I_{R3}$  on vastuksen R3 läpi kulkeva virta. ( kuvio 7)

$$\frac{R_3}{R_3 + R_p} * I = I_p \quad \frac{30000 \Omega}{30000 \Omega + 3.6 \Omega} * 3.9 A = 3.8995 A$$

$$I - I_p = I_{R3} \quad 3.9 A - 3.8995 A = 0.0005 A$$

KUVIO 7. vastuksen R3 mitoitus

#### 4.4 Napaisuuden vaihdon komponentit.

Napaisuuden vaihdossa tärkeimmäksi ja ongelmallisimmaksi osavaihtoehtoksi osoitettiin askelrele. Askelrele oli tässä tapauksessa kaikkein paras vaihtoehto, sillä sille ei tarvitse tehdä erillistä pitopiiriä. Työssä napaisuuden vaihdon piti toimia siten, että kun ohjaukselta tulee 5 V:n jännitesykäys, jännitteen napaisuus vaihtaa paikkaansa. Muussa tapauksessa releelle ei tule ohjausjännitettä. Lisäksi releellä ohjattiin virtaa ja jännitettä, joiden arvot olivat noin 4 A ja 12 V. Releen toisipuolella oli oltava kaksi kappaletta kaksinapaisia kytkimiä, jotta releen vaihtaessa tilaa olisi aina suljettu piiri eli piirillä olisi aina sekä positiivinen että negatiivinen napa. Tällaisen releen löytäminen oli hankalaa varsinkin kuin yhtenä työn vaatimuksista oli, ettei se saanut olla kovinkaan suuri kokoinen. Tällaiseen releeseen etsinnän jälkeen päädyttiin: MZP A002. Kyseinen rele ei kuitenkaan ole ihan teellinen vaihtoehto, mutta parempaa ei löytynyt ainakaan haluttujen määreiden osalta. (Carlo Gavazzi 2002.)

Releen valintaan vaikutti myös seuraava tieto: Skaalauskytkennässä nostetaan jännitteen syötön maksimitehot niin korkeiksi, että pystytään antamaan elementille tarvittava 46,8 W:n teho. Kytkennän on siis pystyttävä vaihtamaan maan ja jännitteen paikkaa hajottamatta mitään osaa kytkennästä kyseisellä teholla.

Kytkentää yritettiin myös toteuttaa kytkinmikropiirillä, mutta sellaista ei löytynyt tarvittavan suurille tehollisarvoille. Yleisimmät kytkimet olivat liian pienitehoisia, jotta ne olisivat sopineet tähän työhön. Releenkin valinnassa oli ongelmansa. Laskujeni mukaan releen täytyi maksimissaan pystyä seuraavien tehollisarvojen läpivientiin. ( $46,8 \text{ W} / 12 \text{ V} = 3,9 \text{ A}$ ). Releen katkaisukykyyn oli siis oltava vähintään 4 A / 12 V tasajännitettä (VDC). Lisäksi sen oli oltava kahdeksannastainen: siihen kuuluivat ohjausjännitenastat sekä kuusi nastaa jännitteen läpivientiä varten. Askelreleitä, jotka olivat tämän tyyppisiä, oli vaikea löytää, sillä suurin osa releistä oli joko suuria talous- tai suurjännitereleiksi tarkoitettuja tai pieniä 1 - 2 A virrankatkaisun releitä. Pitkän etsinnän jälkeen löydettiin kuitenkin yksi vaatimuksia vastaava rele MZP A002. (Carlo Gavazzi 2002.)

#### 4.5 Virtalähde

Piirejä toteuttaessa oletettiin, että lohkoille saadaan omat käyttöjännitteet. Parhaiten tämä oli toteutettavissa kannettavan tietokoneen akulla. Kannettavan tietokoneen akut ovat monikennoakkuja, joista saadaan useampien liittimien ansiosta useampia jännitetasoja, joihin myös 5 V ja 12 V kuuluvat. Akullinen käyttö kuitenkin lyhentää jäähdytyksen käyttöaikaa verrattuna jatkuvaan käyttöjännitteeseen, joka olisi saatavissa verkkomuuntajasta.

## 5 YHTEENSOPIVUUS

Ihanteellisesti kytkentä on yhteensopiva kaikille sellaisille piirisarjoille, joista löytyy yksi analoginen sisääntulo, I<sup>2</sup>C-väyläliitäntä ja yksi muu lähtöliitäntä. Kytkenän voi kuitenkin saada toimimaan muunlaisissakin piirisarjoissa sillä I<sup>2</sup>C-väylä on hyvin hidas. Myös napaisuuden vaihto on mahdollista toteuttaa muulla tavalla. I<sup>2</sup>C-väylä tukee useampaa orjalaitetta, joten olisi mahdollista muutamalla rakenteellisella muutoksella toteuttaa napaisuuden vaihto I<sup>2</sup>C-väylän ohjauksella. Tämä ei kuulunut työn raameihin, joten siitä ei tule esimerkkiä työhön.

### 5.1 Esimerkkejä piirisarjoista.

Helppointa esimerkkien antamisessa on ehkä käydä läpi yleisimmät kontrollerisarjat PIC (Microchip) ja Atmel. Kontrollereita on paljon muitakin (Freescale, Samsung jne). Jos käytäisiin kuitenkin lävitse kaikki, työtä kirjoitettaisiin liian pitkään. Valittiin vertailtavaksi kummankin valmistajan sarjoista kaikki 8 bitin, 16 bitin sekä 32 bitin perheet, ja joka perheestä valittiin yksi piiri. Tämä antoi useamman piirin vertailtavaksi. Muutamassa piirisarjassa oli alipiirisarjoja, joten annan piirisarjasta vain yleisen yhteensopivuuskuvauksen.

#### 5.1.1 PIC 8-bit

PIC:n 8-bitin tuoteperheet sisältävät sarjat PIC10F, PIC12F, PIC16F ja PIC18F. Koska piiriltä vaaditaan yksi analoginen sisääntulo ja kolme lähtöä, PIC10F-sarja ei työhön suoraan sovellu, sillä tällä sarjalla on kolme I/O:ta ja yksi tulo. Tuo yksi tulo ei ole analoginen tulo, joten tästä voimme päätellä, ettei suoraa yhteensopivuutta ole. Piiriltä löytyy analogiset tulot, mutta ne ovat liitettyinä piirin kolmeen I/O-nastaan. Kytkentää on mahdollista muuttaa yhteensopivaksi yhdellä ulkoisella A/D-muuntimella. Näin voidaan ottaa käyttöön anturia varten tuo yksi tulonasta, jossa ei ole A/D-muunninta. (Microchip Technology Inc. 2007.)

PIC12F-sarjassa A/D-muunninta ei ole. Piiristä kuitenkin löytyy 12 yleiskäyttöistä I/O-nastaa sekä analogiakomparaattori. Tämä mahdollistaisi ainakin kaksi muun-



nosta laitteen toiminnan takaamiseksi. Ongelma laitteella on lähinnä anturin arvojen syöttäminen mikroprosessorille. Ensimmäinen vaihtoehto on sama mitä voisimme käyttää PIC10F-sarjassa eli ulkoinen A/D-muunnin. Toinen vaihtoehto olisi hyödyntää analogiakomparaattoria ja verrata jatkuvasti anturilta tulevaa jännitettä prosessorin muodostamaan vertailujännitteeseen. Tämä tarkoittaisi lisää komponentteja, sillä lähtöjännitteen arvoa nostettaisiin ja laskettaisiin aina sen mukaan, onko anturilta luettava jännite suurentunut vai pienentynyt edellisestä jännitteen arvosta, ja tämä edellisen jännitteen arvo pitäisi olla aina saatavilla prosessorilla. (Microchip technology Inc. 2006.)

PIC16F-sarja sisältää jo useamman aliperheen. Työssä joudutaan antamaan vai yleiskuvallinen käsite yhteensopivuudesta. Osalla perheistä on suora tuki I<sup>2</sup>C-väylälle. I/O-pinnejä on kaikilla yli 12 kappaletta, suurimmalla jopa 54 kappaletta, joten niitä riittää tarpeeksi työn laitteelle. Suurella osalla tästä sarjasta näyttäisi myös löytyvän löytyvän A/D-muunnin. Sarjaperheestä, josta A/D-muunninta ei löytynyt, voi sen toteuttaa käyttäen ulkoista A/D-piirikytkentää. PIC16F-piirisarjassa näyttäisikin jo olevan suoraan yhteensopivia piirejä käytettäväksi. (Microchip technology Inc. 2010a.)

PIC18F sarja, kuten PIC16F-sarjakin, sisältää alisarjoja. PIC18F-sarja on kuitenkin tehokkain sarja PIC:n 8-bitin sarjoista ja lähes kaikista löytyy suoraan tuki I<sup>2</sup>C-väylälle. A/D-muuntimia näyttäisi jo löytyvän kaikista piireistä, mikä tarkoittaa sitä, että PIC18F-piirisarjaa voidaan käyttää suoraan kytkennän kanssa. (Microchip technology Inc. 2010b.)

### 5.1.2 PIC 16-bit, 32-bit

PIC:n 16 bitin tuoteperhe sisältää sarjat PIC24F, PIC24H, dsPIC30F DSC ja dsPIC33F DSC. Nämä tuoteperheet sisälsivät jo erilaisia laite- ja väylätukia ja tuoteperheet ovatkin jo kytkennän kannalta suoraan yhteensopiva. PIC:n 32 bitin sarjassa on useampia aliperheitä, mutta kaikissa sarjan komponenteissa on kytkentäni tarvitsemat kontaktit suoraan tuettuna. (Microchip technology Inc. 2010c; Microchip technology Inc. 2010d.)

### 5.1.3 Atmel

Atmelin piirit jakautuu lähinnä ATmega-, ATtiny- ja ATxmega-sarjoihin. Tiny-sarjaa tutkiessa havaitaan, että osalta tiny-mikropiireistä A/D-muunnin puuttuu. Osalle mikropiireistä ongelmaksi muodostuu se, että vaikka itse mikropiiri on 8-bittinen, on silti I/O-rekisteri vain neljä bittiä leveä. Muuten suurta osaa sarjoista voidaan ongelmitta käyttää kytkennän ohjaamiseen. (Atmel corporation. 2010.)

ATmega-sarja on LAMK:n ajoilta kaikkein tutuimmaksi tullut sarja. Sisällytin ATmega-sarjaa tutkiessa myös AT90-sarjan siihen, sillä näin sen järkeväksi, Atmelin datalehtiluettelossa ne ovat myös sekoitettu keskenään. Lähes kaikissa muissa paitsi neljässä tyypissä on A/D-muunnin (ADC, Analog to digital converter). Neljä tyyppiä, joissa A/D-muunninta ei ole, ovat (Atmega162, AT90USB82 ja -162, Atmega8U2, -16U2 ja -32U2 ja Atmega8515 ja -L). Kun puhutaan neljästä tyyppistä, käsitellään tyyppijä sen mukaan, miten ne on arkistoitu datalehtiin. ATmega-komponenteista ei kuitenkaan löytynyt suoraan PC-väylää, mutta sehän on kuitenkin mahdollista kirjoittaa mille tahansa I/O:lle. I/O-liitäntöjen määrät olivat kaikissa ATmega-piireissä ja ne riittävät kytkennän pyörittämiseen. (Atmel corporation. 2010.)

On hyvä huomata vielä, ettei ole kannattavaa käyttää kaikenlaisia prosessoripiirejä. ATmega-piireistä monet olisivat tässä kytkennässä epäkäytännöllisiä, paitsi jos kytkentään lisättäisiin samalle mikropiirille ohjaus jollekin muulle laitteelle. Järkevää suunnittelua on, että mikropiiri, joka ohjaa kytkentää, sisältää vain tarvittavan määrän I/O-nastoja. Muutama ylimääräinen nasta ei ole haitaksi, sillä niitä voidaan tarvittaessa ottaa myöhempään käyttöön.

Xmega-mallista yhdestä löytyy sisään integroitu lämpötilamittari, mutta tässä työssä käytetään vain ulkoista kytkentää, koska ei haluta itse mikropiirin lämpötilan häiritsevän mittaustulosta. Kaikista Xmega-piireistä löytyy A/D-muunnin, joten anturin asentaminen ei tuota ongelmaa. Ainoa ongelma, on antojännite, joka piirillä on vain 3,6 V<sub>max</sub>. Ongelmaa tämä tuottaisi releen tilan vaihdon kanssa, mikäli releen kela tarvitsisi suuremman jännitteen kuin 3,6 V. Työssä käytettävä esimerkkirele kuitenkin toimii myös tällä releen kelalle syötettävällä 3,6 V:n jän-

nitteellä. Xmega-sarja on kuitenkin liian iso sarja ohjelmallisesti tällaiselle yksinkertaiselle ohjauskytkennälle. ( Carlo Gavazzi 2002; Atmel corporation. 2010.)

## 6 OHJELMOINTIKYTKENNÄT

Parhaiten mikroprosessorin saa ohjelmoitua, kun sen ohjelmoi etukäteen prosessorin omalla ohjelmointilaitteella. Mikäli prosessori kuitenkin halutaan ohjelmoida prosessorin ollessa paikallaan, otetaan huomioon se seikka, että kaikilla prosessoreilla ei ole samanlaista ohjelmointiliitäntää. Atmelilla yleisessä käytössä on ISP-liitännät ja Microchip käyttää PIC-piireissään ICSP-liitäntää. JTAG on myös yleinen ohjelmointiliitäntätyyppi.

### 6.1 ISP (In-system programming)

Liitäntä on yleisessä käytössä Atmelien ohjelmoinnissa. Liitännän nastoihin kuuluvat: MISO, SCK, RST ja MOSI. MISO ja MOSI ovat datalinjoja, SCK on kello ja RST on reset-nasta. ISP:stä löytyy kuuden nastan ja kymmenen nastan versiot. Kuuden nastan versiossa on kaksi nastaa ohjelmointinastojen lisäksi, jotka ovat käyttöjännite ja maa. Kymmenen nastan versiossa yhtä nastaa ei liitetä ja neljä nastaa on maata varten (kuvio 8). Ohjelmointia varten riittää, että MISO, MOSI, SCK ja RST ovat kytkettyinä. Ohjelmointilaitteeseen yhteensopivassa kytkennässä on myös VGT-nasta, joka on ohjelmointijännite suuruudeltaan n.12 V.

Ohjelmointijännitteen nastaa ei kuitenkaan ole välttämätöntä liittää, sillä siitä on haittaa, koska resetin ja käyttöjännitteen väliin on asennettava diodi päästösuunnassa käyttöjännitteeseen nähden. Ohjelmointijännitettä käytettäessä prosessorin oman käyttöjännitteen on oltava sammutettuna. Nastojen MOSI, MISO ja CLK on oltava muusta kytkennästä vastuksella erotettuna. (2521I-AVR-03/10 2010)



KUVIO 8. ISP kymmenen nastan liitin liitännät: STK500,-200,-300 ja AVR ISP:n liitäntäjärjestyksessä.

## 6.2 ICSP (In-circuit serial programming)

Liitäntää käyttää Microchip PIC-piirit ja sen ohjelmointinastot ovat: VPP / MCLR, PGD / RB7(DATA), PGC / RB6(CLOCK, KELLO). Nämä riittäisivät jo ohjelmointiin, mutta niiden lisäksi on vielä omat nastat VPP (programming voltage), DET (cable detect) ja MODE (programming mode). ICSP-ohjelmoinnin voi tehdä sekä suuremmalla että pienemmällä jännitteellä. Uusien prosessorien ohjelmointi onnistuu hyvin pienellä jännitteellä ja tämä on oletus. Ainoa tapa poistua ”low programming modesta” on käyttää korkeampaa ohjelmointijännitettä. PGD- ja PGC-nastat eristetään vastuksilla muista kytkennöistä. VPP:n on oltava kytkettynä, se toimii joko 13 V:n ohjelmointijännitteenä, tai ohjelmointijännitteenä, joka on 3,5 V käyttöjännitettä suurempi. (MQP Electronics Ltd 2001; Microchip Technology Inc. 2003; Main 2009.)

## 6.3 JTAG (Joint test action group)

Tämä on ohjelmointi- ja testausliitäntä, joka on käytössä useimmissa piirisarjoissa. JTAG-liittimessä on seuraavat nastat: TDI (test data in), TDO (test data out), TCK (test clock), TMS (test mode select), TRST (test reset). Vaikka JTAG:n nimi viittaa testaamiseen pystytään sillä myös asentamaan ohjelmia prosessorille. JTAG:lla ohjelmoitaessa TRST-nastaa ei ole välttämätöntä kytkeä, mutta muut liitännät on kytkettävä piirille. (Wikipedia 2010c; Xilinx Development System 2000.)

## 7 YHTEENVETO

Aloitin opinnäytetyön kaikkein helpoimmasta eli lämpöä mittaavasta kytkennästä. Tässä vaiheessa piti huomata, että oli myös keskityttävä samanaikaisesti yhteensopivuuden pitämiseen mahdollisemman hyvänä. Aikaa hukkaantui kuitenkin siinä, ettei työn suunnitelmallinen toteutus sopinut yhteen järkevän kirjoituksellisen rakenteen kanssa. Osioiden oli oltava eri järjestyksessä, toimintaperiaatteen noustessa tärkeysjärjestyksessä suurempaan asemaan kytkentöihin nähden.

Työ lähti liikkeelle Peltier-elementistä, joten se kertoi, mihin suuntaan työni painottui. Käytössä ollut Peltier-elementti kuitenkin muuttui kesken työn, mikä viivästytti työn valmistumista, sillä datalehdessä mainittu teho oli elementin tehollisarvo eikä elementille syötettävän tehon arvo. Jouduttiin siis vaihtamaan elementti sellaiseen, jossa tehon syötön ja tehollisarvon luvut olivat lähempänä toisiinsa ja johon piiri pystyisi syöttämään virtaa lähes maksimaalisen arvon verran. Työssä käytössä ollut elementti vaati 46,8 W:n tehon, jotta siitä saataisiin ulos n. 36 W:n jäähditys. Aikaisemmassa työn vaiheessa käytössä olleessa elementissä tarvittaisiin  $12\text{ V} * 9,6\text{ A}$  eli n. 115 W tehoa, jotta saataisiin 44,7 W:n jäähditys teho. (PE2-177-19-14 2008)

Työn edetessä tuli tutuksi uusia asioita ja komponentteja. Hyvänä esimerkkinä on työssä käytetty D/A-muunnin MAX518. Työssä oli myös lohkottava isompia osakokonaisuuksia paloiksi, jotta pystyttiin hahmottamaan lopullinen kokonaisuus.

Työn yhteensopivuutta arvioitaessa hyväksi huomion aiheeksi havaittiin se, miten monimuotoiseksi kytkentöjen ohjaus voi mikroprosessorilla mennä. Jännitteen suuruuden säätö toteutettiin käyttäen digitaalista sarjadataa analogisen säädettävän jännitteen muodostamiseksi. Tämä muodostui tarkasti tutkittavaksi kohdaksi työssä. Anturikytkennän toteuttaminen osoittautui myös yhdeksi yhteensopivuuteen vaikuttavaksi tekijäksi. Muutamilla tapauksilla ei mikroprosessori riittänyt, vaan saatettiin tarvita ulkoista A/D-muunninta.

Työn aloitusvaiheessa oli tiedossa työhön muodostuvat määreet, ja miten itse kytkentöjen tulisi toimia. Työssä selitin nämä määreet. Perustelin myös osavaihtoja työn edistymisen aikana.

Työni ei tietenkään ole täydellinen. Pyrin siitä tekemään mahdollisimman hyvän, toki joitain ongelmia tulee aina työssä olemaan. Tyytyväinen olen esimerkiksi MAX518-löytöön. Pettymyksiä kytkentöjen osalta tietenkin löytyy. Perustelin kytkentöjä mahdollisimman hyvin. Monesti teoreettisen näytön löytäminen työn tueksi osoittautui hankalaksi.

Työn viimeisimpänä osana oli ohjelmoinnin kytkennät. Huomasin ne sellaisiksi, että niille oli parempi tehdä tekstipohjainen ohjeistus, koska mikroprosessorin kantojen nastajärjestys ja ohjelmoinnin liitännät poikkeavat toisistaan valmistajasta riippuen.

Työn laajuus olisi voinut olla hieman pitempi. Aika kuitenkin oli vähissä jo työtä aloittaessa. Työn aiheen sain lopullisesti päätettyä ja rajattua vasta kevään 2010 alussa, joten työn toteuttaminen tapahtui kiireisessä aikataulussa.

## LÄHTEET

19-0393 Rev 1 2002. MAXIM 2-Wire serial 8-Bit DACs with Rail-to Rail Outputs [viitattu 15.03.2010]. Saatavissa:

<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/maxim/MAX517-MAX519.pdf>

2521I-AVR-03/10 2010. AVR042: AVR Hardware Design Considerations [viitattu 28.03.2010]. Saatavissa:

[http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc2521.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2521.pdf)

8005A-AVR-09/05 2005. AVR442: PC Fan Control using Attiny13 [viitattu 02.04.2010]. Saatavissa:

[http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc8005.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc8005.pdf)

Almel corporation. 2010. (luettu) datalehdet [viitattu 27.03.2010]. Saatavissa:

[http://atmel.com/dyn/products/datasheets\\_mcu.asp?family\\_id=607](http://atmel.com/dyn/products/datasheets_mcu.asp?family_id=607)

Carlo Gavazzi 2002. Miniature Relays Series M Type MZ 2 poles 5A Monostable [viitattu 16.03.2010]. Saatavissa:

[https://www1.elfa.se/data1/wwwroot/webroot/Z\\_DATA/03706157.pdf](https://www1.elfa.se/data1/wwwroot/webroot/Z_DATA/03706157.pdf)

Edaboard 2010. I2C implemented by GPIO [viitattu 04.04.2010]. Saatavissa:

<http://www.edaboard.com/ftopic212411.html>

Fairchild Semiconductor Corporation 1998. Application Bulletin AB-9 [viitattu 09.03.2010]. Saatavissa:

[http://hmin.tripod.com/als/ccs/docs/pdf/Fairchild\\_AB-9.pdf](http://hmin.tripod.com/als/ccs/docs/pdf/Fairchild_AB-9.pdf)

Main, J 2009. Details of pic ICSP and how to use it for pic microcontrollers. [viitattu 14.04.2010] Saatavissa:

<http://www.best-microcontroller-projects.com/pic-icsp.html>

Microchip Technology Inc. 2003. In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) Guide [viitattu 29.03.2010]. Saatavissa:



<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/30277d.pdf>

Microchip technology Inc. 2006. PIC12F635/PIC16F636/639 Data Sheet [viitattu 22.03.2010]. Saatavissa:

<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41232D.pdf>

Microchip technology Inc. 2007. PIC10F220/222 Data Sheet [viitattu 21.03.2010]. Saatavissa:

<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41270E.pdf>

Microchip technology Inc. 2010a. PIC16 MCU Devices [viitattu 23.03.2010].

Saatavissa:

<http://www.microchip.com/ParamChartSearch/chart.aspx?branchID=1002&mid=10&lang=en&pageId=74>

Microchip technology Inc. 2010b. PIC18 MCU Devices [viitattu 24.03.2010].

Saatavissa:

<http://www.microchip.com/ParamChartSearch/chart.aspx?branchID=1004&mid=10&lang=en&pageId=74>

Microchip technology Inc. 2010c. ALL 16-bit MCUs & DSCs [viitattu 25.03.10].

Saatavissa:

[http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS\\_GET\\_PAGE&nodeId=2629&param=en533465](http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=2629&param=en533465)

Microchip technology Inc. 2010d. PIC32 families [viitattu 26.03.2010]. Saatavissa:

Saatavissa:

[http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS\\_GET\\_PAGE&nodeId=2870](http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=2870)

MQP Electronics Ltd 2001. Application Note 80502 In-System Programming of PIC Microcontrollers [viitattu 28.03.2010]. Saatavissa:

<http://www.mqp.com/pdf/apnotes/isppic.pdf>

PE-127-10-13 2008. Thermoelectric module [viitattu 05.03.2010]. Saatavissa:  
<http://www.farnell.com/datasheets/76419.pdf>

PE2-177-19-14 2008. Thermoelectric module [viitattu 04.03.2010]. Saatavissa:  
<http://www.farnell.com/datasheets/76387.pdf>

Philips Electronics N.V.2000. KTY81-1 series Silicon temperature sensor [viitattu 21.03.2010]. Saatavissa:  
[http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/philips/KTY81-1SERIES\\_3.pdf](http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/philips/KTY81-1SERIES_3.pdf)

Ross, K 97. Basic Circuits - Bypass Capacitors [viitattu 12.03.2010]. Saatavissa:  
<http://www.seattlerobotics.org/Encoder/jun97/basics.html>

RTI Electronics, Inc. 2005. NTC Thermistors [viitattu 20.03.2009]. Saatavissa:  
[https://www1.elfa.se/data1/wwwroot/webroot/Z\\_DATA/06028203.pdf](https://www1.elfa.se/data1/wwwroot/webroot/Z_DATA/06028203.pdf)

S-21251 Rev. B, 2002. P-channel 20V (D-S)MOSFET [viitattu 14.02.1010]. Saatavissa:  
<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/vishay/71256.pdf>

Stephens 2007. PIC18F4520: Serial Digital-to-Analog Conversion [viitattu 05.04.2010]. Saatavissa:  
[http://hades.mech.northwestern.edu/index.php/PIC18F4520:\\_Serial\\_Digital-to-Analog\\_Conversion](http://hades.mech.northwestern.edu/index.php/PIC18F4520:_Serial_Digital-to-Analog_Conversion)

Tupamäki, I. 2010. ad-muunnin ja da-muunnin [viitattu 10.04.2010]. Saatavissa:  
[lompsa.seamk.fi/ismo.tupamaki/digiperus/ad-muunnin%20ja%20da-muunnin.doc](http://lompsa.seamk.fi/ismo.tupamaki/digiperus/ad-muunnin%20ja%20da-muunnin.doc)

Wikipedia 2010a. I<sup>2</sup>C [viitattu 06.03.2009]. Saatavissa:  
<http://en.wikipedia.org/wiki/I<sup>2</sup>C>

Wikipedia 2010b. Decoupling capacitor [viitattu 10.03.2010]. Saatavissa:  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Decoupling\\_capacitor](http://en.wikipedia.org/wiki/Decoupling_capacitor)

Wikipedia 2010c. Joint Test Action Group [viitattu 29.03.2010]. Saatavissa:  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Joint\\_Test\\_Action\\_Group](http://en.wikipedia.org/wiki/Joint_Test_Action_Group)

Xilinx Development System 2000. JTAG Programmer Guide [viitattu  
30.03.2010]. Saatavissa:  
[http://www.xilinx.com/itp/3\\_1i/pdf/docs/jtg/jtg.pdf](http://www.xilinx.com/itp/3_1i/pdf/docs/jtg/jtg.pdf)