

Jyri Vilokkinen

KAHVANLÄMMITYSELEMENTTIEN OHJAINYKSIKKÖ

Insinööriö
Kajaanin ammattikorkeakoulu
Tekniikan ja liikenteen ala
Tietotekniikan koulutusohjelma
Syksy 2004

TIIVISTELMÄ

Insinööriyössä suunniteltiin ja rakennettiin kahvanlämmitysohjainyksikkö moottoripyörään. Työ jakaantuu kahteen osaan. Ensimmäinen osassa käsitellään kahvanlämmitysohjainyksikön elektroniikan suunnittelua. Elektroniikkasuunnittelun osalta työssä käsitellään mm. komponenttien valintaa, elektronista toimintaperiaatetta, sekä esiin tulleita ongelmakohtia.

Toisessa osiossa käsitellään kahvanlämmitysohjainyksikön protomallin fyysistä toteutusta. Tässä osiossa tarkastellaan työn lopputulosta, kuinka suunniteltu laite toimii todellisessa toimintaympäristössään. Lopuksi käsitellään omia ajatuksia laitteen tulevaisuudesta ja sen mahdollisesta kehitysnäkemistä.

ALKUSANAT

Tämä insinöörityö on tehty Kajaanin ammattikorkeakoululle. Työssä suunnitellulla kahvanlämmityselementtien ohjainyksiköllä pyritään tuomaan vaihtoehto yleisesti käytössä oleville kytkin- ja pulssiohjatuille kahvanlämmitysmalleille.

Työn ohjaajana toimi Kajaanin ammattikorkeakoululta Jukka Heino ja valvojana Kajaanin ammattikorkeakoululta Heikki Savolainen. Heille sekä Exéns Development Oy:lle esitän kiitoksen tuesta sekä mahdollisuudesta osittaiseen työn tekemiseen. Lisäksi kiitän Exéns Development Oy:n henkilökunnasta Antti Kuurettä ja Toni Parkkista arvokkaasta tuesta ja hyvistä neuvoista.

Kieliasun ohjauksesta kiitän Kajaanin ammattikorkeakoulun opettajia Eero Soinista ja Kaisu Korhosta.

LYHENTEIDEN JA MERKKIEN SELITYKSET

FET	Field Effect Transistor	Kanavatransistori
LED	Light Emitted Diode	Valoa emittoiva diodi
LSB	Low Significant Bit	Vähiten merkitsevä bitti
MSB	Most Significant Bit	Eniten merkitsevä bitti
PC	Personal Computer	Tietokone
PWM	Pulse Width Modulation	Pulssin leveysmodulaatio
RAM	Random Access Memory	
ROM	Read Only Memory	Ohjelmamuisti

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	7
2 KAHVANLÄMMITYSELEMENTTIEN OHJAINYKSIKÖ	8
3 ERILAISIA KAHVANLÄMMITINMALLEJA	9
3.1 Kytkinsäätöinen lämmitys	9
3.2 Pulssisäätöinen kahvanlämmityksikkö	10
4 HÄIRIÖSUOJAUS	12
4.1 Sähkömagneettinen yhteensopivuus	12
4.2 Piirilevysuunnittelun sääntöjä häiriöiden ehkäisemiseksi	12
4.3 Teholähdesuunnittelu	13
4.4 Hakkuriteholähde	14
4.5 Hakkuriteholähteen toimintaperiaate	15
4.6 Mikrokontrolleripiirit	16
4.7 Mosfetit tehokytkiminä	18
4.8 RS-232-väylä	18
4.9 Standardit ja signaalit	19
5 ELEKTRONIIKKAKOMPONENTIT	21
5.1 Pt 100 -anturi	21
5.2 LM 35 -lämpötilan mittauspiiri	21
5.3 Erilaisia näyttötyyppejä	22
5.4 Vahtiajastin	23
5.5 Pulssinleveysmodulaatio	24
6 KAHVANLÄMMITINYKSIKÖN TOTEUTUS	25
6.1 Kahvanlämmityksikön lohkokaavio ja toimintaperiaate	25
6.2 A-puolen komponenttien sijoittelu	26
6.3 Mikrokontrolleripiiri PIC16f877	27
6.4 Watch dog -piiri	27
6.5 Ohjelmointiliitin	27
6.6 PWM-pulssiohjaus	28
6.7 Lämpötilan mittaus	28
6.8 Hakkuriteholähde	28
6.9 Näytön taustavalon säätö	29
7 KOMPONENTTIEN SIOITTELU	30
7.1 Häiriöiden ehkäiseminen	30
7.2 Fet-transistoreiden ohjaus	30
7.3 RS-232 -piirin ohjaus	31
7.4 Ulkoiset liittynät	31

8 PIIRIKORTTISUUNNITTELU.....	32
8.1 Ohjelmat ja suunnittelusääntöjä	32
8.2 Elektronikan testaus	33
9 SAAVUTETUT TULOKSET	35
10 YHTEENVETO	37
LÄHDELUETTELO	38

1 JOHDANTO

Tässä työssä suunnitellaan ja osittain toteutetaan moottoripyöräkäyttöön soveltuva mikroprosessoripohjainen kahvanlämmitysyksikkö. Työ tehdään Kaajanin ammattikorkeakoululle. Suunnitellulla kahvanlämmityselementtien ohjainyksiköllä on tarkoitus tuoda vaihtoehto yleisesti käytössä oleville kytkin- ja pulssiohjatuille kahvanlämmitysmalleille. Kytkin- ja pulssikäyttöisissä malleissa on ongelmana mm. epätasainen lämmönjakauma elementtien kesken ja laitteet ovat usein myös hankalakäyttöisiä ajon aikana.

Kahvanlämmityselementtien ohjainyksikön suunnittelu on jaettu kahteen erilliseen osioon. Ensimmäisessä osiossa tutustaan teoriapohjalta ohjainkortin lohkojen toimintaan ja tarkastellaan erilaisia kahvanlämmittinratkaisumalleja. Toisessa osiossa suunnitellaan mikroprosessoripohjainen kahvanlämmityselementtien ohjainyksikkö elektroniikan osalta, tutustutaan elektroniikka-suunnittelun perusasioihin sekä käsitellään työhön liittyviä ongelmia.

2 KAHVANLÄMMITYSELEMENTTIEN OHJAINYKSIKKÖ

Kahvanlämmitysjärjestelmän ohjainyksikkö sai alkunsa, kun etsin sopivaa lämmitinmallia omaan moottoripyörääni. Aikomukseni oli asentaa pyörääni sellainen kahvanlämmitin, jossa olisi portaaton säätö kahdelle lämpöelementille. Elementit sijaitsisivat tietysti kaasu- ja kytkinkahvoissa. Markkinoilla oli ainoastaan kolmiasentoisella kytkimellä toteutettuja malleja. Tässä mallissa ei ole portaaton säätöä vaan lämmönsäätö oli hyvin karkea puoliteho ja täysiteho.

Tällainen kytkinmallinen ratkaisu tuottaa hyvin karkeasäätöisen tehojakauman lämpöelementeille. Tämän seurauksena välillä toinen kahva on haa-
lea ja toinen puoli kuuma. Portaattomalla säädöllä molemmille kahvoille säädetään potentiometrillä haluttu lämpötila, ja sen lämpöjakauma onkin huomattavasti parempi kuin kytkinkäyttöisessä. Täysin automaattista lämmityselementtien säätöyksikköä en moottoripyörien tarvikemarkkinoilta löytänyt, joten ajattelin tutkia mahdollisuutta suunnitella vastaavanlainen laite itse.

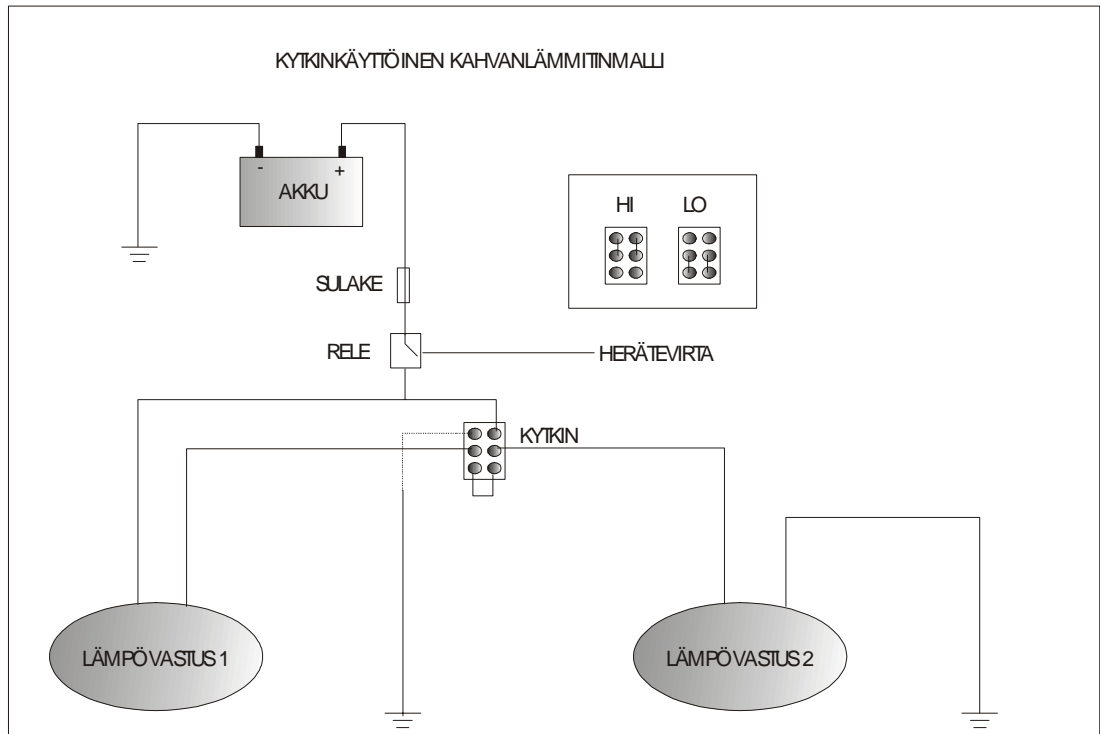
Keskusyksikkö sijoitetaan lähelle moottoripyörän mittaristoa, jossa se on hyvin näköetäisyydellä. Keskusyksiköstä lähtevät tehon syötöt kahdelle lämpöelementille molempiin kahvoihin. Lämpötila säädetään puoliautomaattisesti kahden anturin avulla. Anturit välittävät tietoa ulkolämpötilasta ja kahvan lämpötilasta. Näiden kahden lämpötilan perusteella keskusyksikkö lisää tai vähentää tehoa kahvaelementeille. Kuljettaja voi +/- -manuaalisäädöllä hienosäätää elementtien lämpötilaa halutun lämpötilan aikaansaamiseksi. Keskusyksikköön tulee ohjelmien syöttöä varten RS-232-liitäntä. Liitännän kautta voidaan tarvittaessa syöttää uudet ohjelmaversiot laitteeseen. Keskusyksikköön on myös varattu optiona paikat mahdollisena lisänä myöhemmin tuleville istuimen- ja ajopuvun lämmityksen säädöille. Tavoitteena on myös pitää laitteen valmistuskustannukset mahdollisimman alhaisina, millä pyritään saamaan laitteen kaupallisesta sovelluksesta kilpailukykyinen.

3 ERILAISIA KAHVANLÄMMITINMALLEJA

3.1 Kytkinsäätöinen lämmitys

Yksinkertaisin kahvanlämmitysmalli on toteutettu kolmeasentoisella kytkimellä, jossa on asennot nolla, puoliteho ja täysiteho. Vastuselementit ovat puoliteholla kytkettynä sarjaan ja täysiteholla rinnan. Kytkinsäätöisen lämmityksen haittapuolena on epätasainen lämpöjakauma elementtien kesken varsinkin puolitehoasennolla. Tällöin toisen kahvan lämpötila voi nousta useita asteita korkeammaksi kuin toisen. Tilanne johtuu siitä, että moottoripyörän ohjauksessa vasemmalla puolella joudutaan vastuselementti liimaamaan metallia vasten, kun oikealla puolella puolestaan lämpöelementti kiinnitetään muoviseen kaasukahvan holkkiin. Tästä seikasta johtuen toinen puoli lämpöelementeistä on lämpimämpi kuin toinen ja lisäksi se lämpenee toista puolta huomattavasti nopeammin.

Tilannetta voi korjata hieman asentamalla oikealle puolelle pienempitehoinen lämpöelementti, jolloin lämmitysteho tuntuu kahvoissa tasaisemmalta. Vastaavanlaisen kahvalämmitinmallin voi myös suunnitella käyttämällä vastusta, jonka avulla saadaan puolitehoasento aikaiseksi. Tämän mallin heikkoutena on suuri lämmönhukka tehovastuksessa. Kytkinkäyttöinen kahvanlämmitysmalli voisi olla kuvan 1 mukainen.

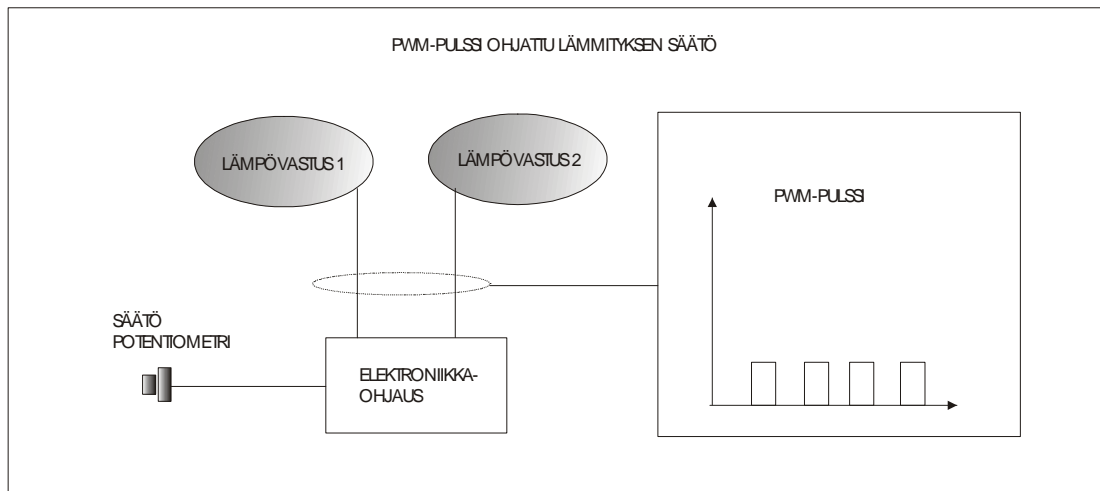


Kuva 1. Lohkokaaviokuva kahvanlämmityksikön rakenteesta

3.2 Pulssisäätöinen kahvanlämmityksikkö

PWM-pulssisäätöinen ratkaisu on hieman kehittyneempi kahvanlämmitys-säätö verrattuna kytkinsäätöiseen. Tässä mallissa vastuselementeille syöte-tään tehoa säätämällä PWM-pulssin jakson pituutta. PWM-pulssin jakson pituutta säädetään potentiometrin avulla. Mitä pidemmäksi pulssin jakson pituus säädetään, sitä enemmän kulkee virtaa lämpöelementtien läpi.

PWM –pulssisäätöisen ratkaisun voisi toteuttaa esim. 555-kellopiirillä ja sää-tö tapahtuisi portaattomasti potentiometrin avulla pulssin leveyttä säätämällä. Pulssisäätöisen lämmitysratkaisun hyvänä puolena on portaaton lämpötilan säätömahdollisuus sekä tasainen tehojakauma lämmityselementtien kesken. Pulssisäätöisen kahvanlämmitysmallin lohkokaaviokuva on esitetty kuvassa 2.

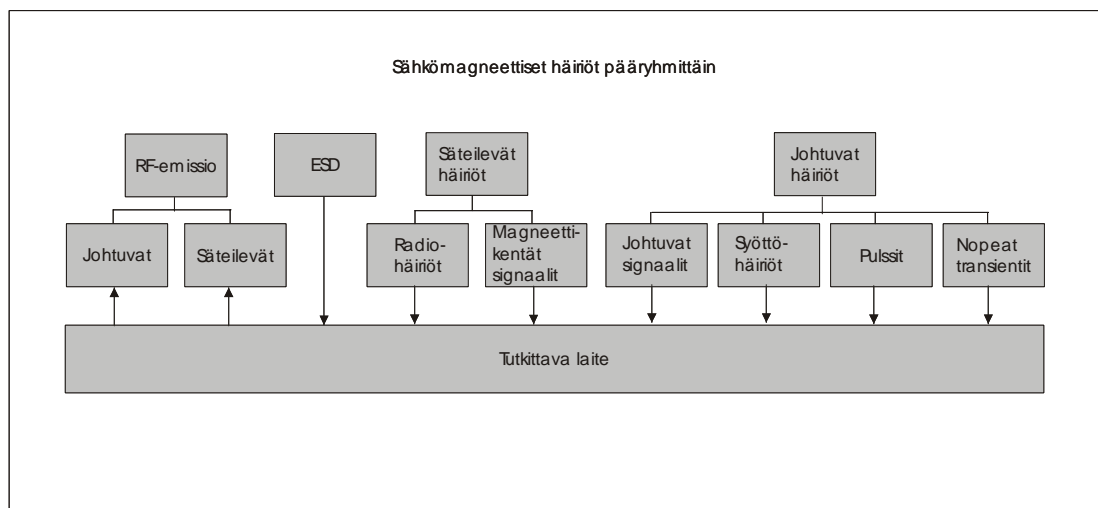


Kuva 2. PWM-pulssisäätöinen kahvanlämmitys malli

4 HÄIRIÖSUOJAUS

4.1 Sähkömagneettinen yhteensopivuus

Sähkömagneettinen yhteensopivuus (Electromagnetic compatibility, EMC) tarkoittaa järjestelmän kykyä toimia käyttöympäristössään huolimatta siinä esiintyvistä sähkömagneettisista häiriöistä ja häiritsemättä sähkömagneettisesti muita järjestelmiä. Häiriösietoisuus on laitteen ominaisuus, joka kuvastaa sen kykyä toimia häiriöllisissä olosuhteissa. Emissio on laitteesta ulospäin säteilemällä tai johtumalla siirtyvä sähkömagneettinen energia. Sähkömagneettiset häiriöt voidaan jakaa neljään pääryhmään kuvan 3 mukaisesti. [1]



Kuva 3. Sähkömagneettisten häiriöiden luokittelu [1]

4.2 Piirilevysuunnittelun sääntöjä häiriöiden ehkäisemiseksi

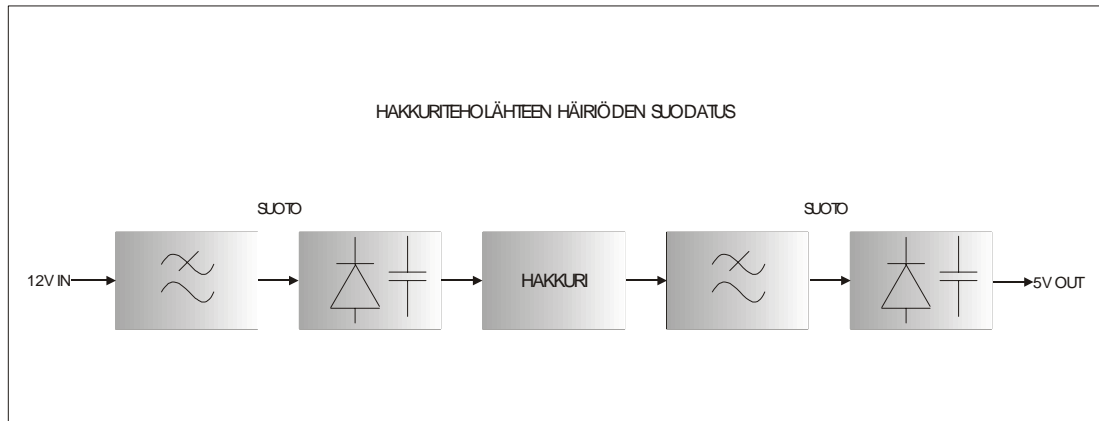
Piirilevysuunnittelussa on muutamia tärkeitä sääntöjä, jotka kannattaa ottaa huomioon häiriöiden ehkäisemiseksi:

- Helposti häiriintyvät ja häiritsevät komponentit sijoitetaan mahdollisimman kauaksi toisistaan.
- Digitaalinen ja analoginen elektroniikka erotetaan selkeästi toisistaan.

- Pyritään mahdollisimman lyhyisiin signaali- ja tehonsyöttöjohdotuksiin.
- Käytetään riittävän isoa välimatkaa johtimien välille.
- Jokaisen digitaalipiirin käyttöjännite- ja maadoitusnastan välille kytetään suodatinkondensaattori.
- Suositaan pyöreitä ja yhtenäisiä muotoja piirilevyjohtimissa ja maatasoissa.
- Sijoitetaan suodatus mahdollisimman lähelle häiriölähdettä.
- Maadoitetaan piirit rinnankytkennällä.
- Pyritään yhtenäiseen ja kattavaan maatasoon.
- Nopeilla piireillä on lyhyimmät johtimet.
- Käytetään vain tarvittavannopeuksista kellotaajuutta ja symmetristä pulssisuhdetta.

4.3 Teholähdesuunnittelu

Piirilevyllä käytetään yleensä kahdenlaisia teholähteitä: lineaarisia regulaattoreita ja hakkuriteholähteitä. Lineaariset teholähteet eivät itse aiheuta merkittävästi häiriötä, mutta ne eivät näin myöskään vaimenna lävitseen meneviä häiriöitä. Tämän takia tarvitaan myös lineaarisiin teholähteisiin suodatusyksikkö. Suodattimen valintaan vaikuttavat laitteiston ominaisuudet, mm. käyttöjännite, teholähteen tyyppi, virran suurin tehollinen arvo ja laitteen häiriötuottavuus. Hakkuriteholähteet aiheuttavat aina häiriötä, sekä johtuvia että säteileviä. Tämän takia tarvitaan hakkuriteholähteen tulo- ja lähtöpuolelle suodatus. Kuvassa 4 on esitetty hakkuriteholähteen suodatusmenetelmä. [1]



Kuva 4. Hakkuriteholähteessä käytetään tulo- ja lähtöpuolella suodatuskomponentteja.

Signaalihohtimissa esiintyvät pienitasoiset häiriöt suodatetaan LC-komponenteilla. Signaalihohtimissa saattaa esiintyä sekä yhteis- että eromuotoisia häiriöitä. Nopeassa dataliikenteessä saattavat signaalien kaistanleveysvaatimukset olla suuret. Tällöin käytetään eromuodon alipäästösuodatinta, jonka ylärajataajuus on hyvin korkea. Häiriösuodattimia on saatavana valmiina yksikköinä tai niitä voidaan rakentaa erilliskomponenteista. Paras menetelmä suodatinsuunnittelussa on kokeiluperiaate ja tarkat taajuusvastemittaukset.

4.4 Hakkuriteholähde

Hakkurivirtalähteet alkoivat yleistyä 1980-luvulla ja nykyään ne ovat hyvin yleinen osa elektronista laitetta. Hakkurivirtalähteitä käytetään yleisesti erilaisissa elektronisissa sovelluksissa, kuten esimerkiksi tietokoneissa ja televisiossa. Hakkuri on periaatteessa DC-DC-muunnin, jolla pystytään laskemaan ja nostamaan jännitteen tasoa. Hakkurivirtalähteen yksi ominaisuus on korkea hyötysuhde, joka perustuu nopeaan virran katkomiseen. KytKentätaajuus on tyypillisesti kymmenistä kilohertseistä jopa megahertseihin asti. Korkeasta kytKentätaajuudesta aiheutuu toisaalta sekä johtuvia että säteileviä häiriötä. Hakkurivirtalähteen suurin ongelma ovat häiriöt, joiden pienentäminen on jatkuvan tutkimuksen ja kehityksen kohteena. Nopeat diodit ja tehomasfetit mahdollistavat entistä taloudellisempien hakkureiden kehittämisen.

Häiriöistä huolimatta hakkuriteholähteellä on enemmän hyviä ominaisuuksia kuin huonoja, näitä ovat mm.

- korkea hyötysuhde, n. 80 % - 90 %
- nopea dynaaminen vaste
- tarkka jännitteen regulointi
- suurien tehojen käsittely helppoa
- pienikokoinen
- mukautumiskykyinen tulojännitteen vaihteluihin.

Hakkurivirtalähteen heikkouksia lineaariseen virtalähteeseen verrattuna on mm:

- synnyttävät häiriösäteilyä
- lähtöjännitteessä suurtaajuista häiriötä
- vaatii muuntajan tai kelan.

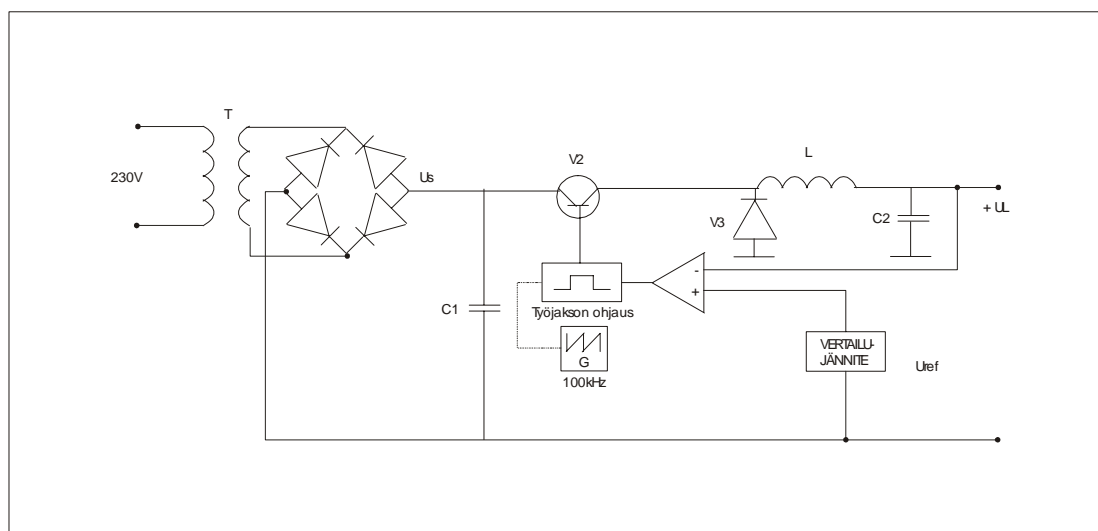
Hyvästä hyötysuhteesta ja muista ominaisuuksista huolimatta hakkuriteholähteet eivät pysty tekemään energian muokkausta täysin häviöttömästi. Laittekojen pienentyessä hakkureiden häviöihin joudutaan kiinnittämään entistä suurempi huomio. [2]

4.5 Hakkuriteholähteen toimintaperiaate

Kiinteäjännitteisen hakkuriteholähteen toimintaperiaate on esitetty kuvassa 5. Hakkuriteholähteen toiminnan kannalta keskeisin merkitys on oskillaattorilla (G), joka tuottaa saha-aaltosignaalia (Saw-tooth wave signal) taajuudella 20–200 kHz. Kela (L) on kytketty kuristimeksi (Choke coil), jonka induktanssinen suuruus määräytyy oskillaattorin värähtelytaajuudesta sekä kuormitusvirran suuruudesta.

Teholähteen lähtöjännite (UL) kytketään erovahvistimena eli jännitevertailupiirinä toimivan operaatiovahvistimen miinustuloon. Plustulo on kytketty vakiona pysyvään vertailujännitteeseen Uref. Kun lähtö- ja vertailujännite ovat yhtä suuria, on operaatiovahvistimen lähtöjännitteellä määrääarvo. Jos teholähteen lähtöjännite muuttuu, niin operaatiovahvistimen lähtöjännite muuttuu

päinvastaiseen suuntaan. Jännite vaikuttaa työjakson ohjauslohkoon. Ohjauslohkoon vaikuttavat myös oskillaattorin tuottamat saha-aaltopulssit. Joka kerta kun lohko saa pulssin, sen lähtö antaa kytkintransistorille V2-kannalle ohjauspulssin. Pulssi ohjaa transistorin V2 johtavaksi eli kyllästystilaan. Jos teholähteen lähtöjännite pyrkii laskemaan, pidetään transistoria kauemmin johtavana ja päinvastoin. Virtapulssien leveys suhteessa pulssitaukoon on suoraan verrannollinen jännitevertailupiirin lähtöjännitteeseen. Kytkeä siis säännöstelee kuormituksen samaa virtaa siten, että jännite sen navoissa pysyy tarkalleen vertailujännitteen suuruisena.[3]



Kuva 5. Hakkuriteholähteen toimintaperiaate [3]

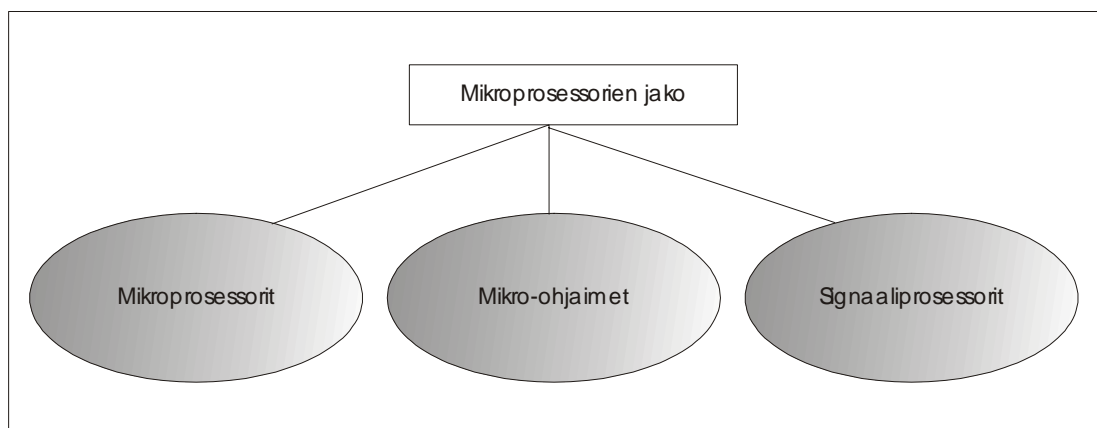
4.6 Mikrokontrolleripiirit

Mikrokontrolleripiiri (microcontroller), josta käytetään myös nimitystä mikroohjain, on yleistynyt voimakkaasti 90-luvulla sulautetuissa järjestelmissä. 8-bittinen mikrokontrolleripiiri on ehkä käytetyin piirityyppi, mutta vaativimmissa sovellutuksissa käytetään yleisesti myös 16- ja 32-bittisiä piirejä. Ennen mikrokontrolleripiirien keksimistä käytettiin digitaalisia logiikkapiirejä elektronisissa laitteissa. Mikrokontrolleripiirin parhaana puolena on sen pieni koko, joka sisältää kaiken tietokoneen tarvitseman elektronikan. Muita hyviä puolia mikrokontrolleripiirissä ovat sen edullisuus, laajennettavuus, suojattavuus sekä muutoksien teko jälkeinpäin. Valittaessa mikrokontrolleripiiriä sulautettuun järjestelmään täytyy huomioida, että piirin saatavuus on jatkossa hyvä, piirin

hinta on kilpailukykyinen, kehitysympäristölle on saatavana tukea sekä piirin tekniset ominaisuudet. Mikrokontrolleripiirin tehokkuus määräytyy hyvin pitkälle tietoväylän leveydestä (esim. 8,16 tai 36 bittiä), kellotaajuudesta ja rekisterien määrästä.

Prosessorin tietoväylän ja rekisterien leveyden kasvattaminen vaikuttaa eniten prosessorin tehokkuuteen. Usein sulautetuissa järjestelmissä tehokkuudella ei ole niin suurta merkitystä, vaan tärkeämpää on pieni virran kulutus. Mikrokontrolleripiirin kehitysyökalut ovat erityisen tärkeitä silloin, kun tuotteen valmistusmäärät ovat pieniä. Tällöin ohjelmiston tuotantokustannukset ovat paljon suuremmat kuin koko laitteiston hinta. Tästä syystä kehitysyökaluilla on paljon suurempi painoarvo kuin mikrokontrolleripiirin hinnalla. Mikroprosessorit voidaan ryhmitellä kolmeen ryhmään: mikroprosessoreihin, mikro-ohjaimiin ja signaaliprosessoreihin. Mikroprosessorilla tarkoitetaan ohjaimia, joita käytetään esim. tietokoneissa, cd-soittimissa ja muissa sulautetuissa järjestelmissä.

Mikro-ohjain sisältää prosessorin lisäksi muita mikrotietokoneen osia, kuten I/O-liitäntöjä, ajastimia, muistia, laskureita ym. Mikro-ohjaimia kutsutaan usein myös prosessoriksi. Signaaliprosessori on piiri, joka käsittelee digitaalisessa muodossa olevaa tietoa. Signaalinkäsittelypiirejä käytetään yleisesti äänen ja kuvan reaaliaikaisessa käsittelyssä. Tyypillisesti signaalinkäsittelyn sovelluksia ovat myös GSM-puhelimet, modeemit, tietokoneet ja äänikortit. Alla olevassa kuvassa 4 nähdään, kuinka mikroprosessorit on ryhmitelty.[5]



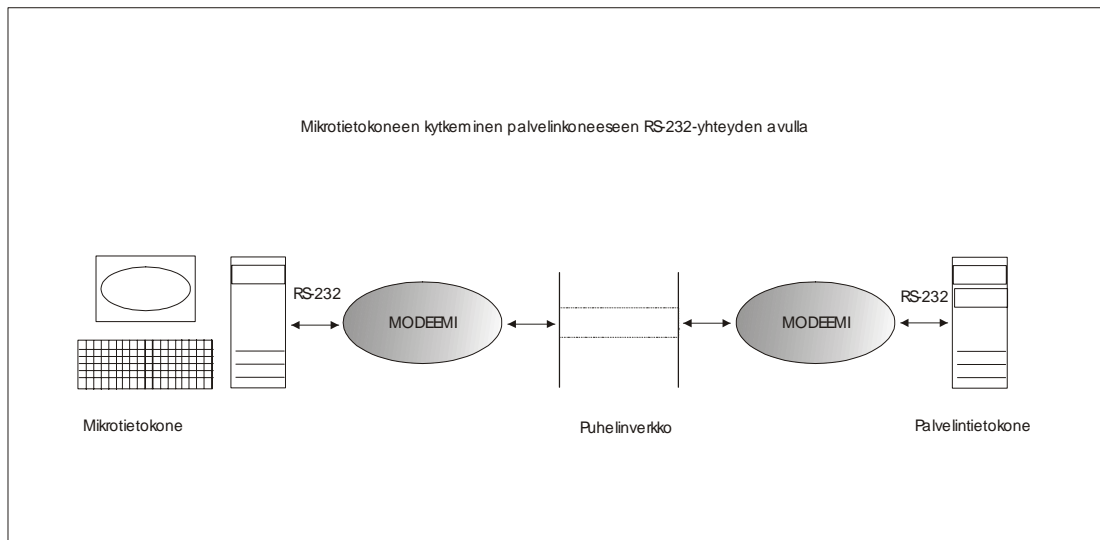
Kuva 4. Mikroprosessoreiden pääluokat [5]

4.7 Mosfetit tehokytkiminä

Tehokytkimien tarkoituksena on kytkeä suuria virtoja ja jännitteitä erilaisiin kuormiin. Tehokanavatransistoreita käytetään teholähteissä, vaihtosuuntaajissa, moottorinohjauksissa ja muiden suuria tehoja vaativien kuormitusten ohjauksissa. Tavallisen kanavatransistorin suurin nieluvirta on vain muutamia kymmeniä milliampeereja. Tämä johtuu siitä, että niiden kanava on melko kapea, eli sen voi kerrallaan läpäistä vain melko pieni määrä varauksenkuljettajia. Erikoisrakenteisilla mosfeteilla voidaan kuitenkin käsitellä myös suuria tehoja. Yleisempiä tehokanavatransistoreita eli tehofettejä ovat avaustyyppiset N-kanavaiset tehofetit. Tehokanavatransistoreiden tavallista suurempi virran- ja tehokäsittelykyky perustuu normaalia leveämpiin kanavarakenteisiin. N-kanavaisella tehokanavatransistoreiden virrankestoisuus on jopa 50 A. Myös jännitteenkesto (U_{ds}) on tavallisia fettejä suurempi eli noin 60 V.[2]

4.8 RS-232-väylä

Amerikkalainen EIA-standardointielin (Electrical Industrial Association) määritteli vuonna 1969 päätteen tai tietokoneen (Data Terminal Equipment, DTE) ja tiedonsiirtolaitteen eli modeemin (Data Communication Equipment), DCE) välisen liitännän. Standardin nimeksi tuli RS-232-C. Alla olevassa kuvassa 5 nähdään, kuinka RS-232-liitännän avulla voidaan liittää mikrotietokone palvelinkoneeseen puhelinverkon välityksellä. Mikrotietokone (DTE) yhdistetään RS-232-liitännän avulla modeemiin (DCE). Modeemin tehtävänä on muuttaa (moduloida) mikrotietokoneen ymmärtämä digitaalinen signaali äänitaajuisiksi signaaliksi, jota voidaan siirtää puhelinverkkoa pitkin. Yhteyden toisessa päässä on myös modeemi, joka muuttaa äänitaajuisen signaalin takaisin digitaaliseksi signaaliksi. Yhteys on kaksisuuntainen, jolloin tietoa voidaan siirtää molempiin suuntiin. [5]



Kuva 5. Mikrotietokoneen ja palvelimen yhteys RS-232-väylällä [5]

4.9 Standardit ja signaalit

Alkuperäisessä standardissa päätelaitteessa (DTE) pitäisi olla urosliitin ja modeemissa (DCE) pitäisi olla naarasliitin. Tästä säännöstä poiketaan varsinkin silloin kun kysymyksessä on laitteita, joita ei voida pitää puhtaasti DTE- ja DCE-laitteina. Tällaisia laitteita ovat esim. oskilloskoopi tai logiikka-analysaattori. PC-mikrojen sarjaliittimissä käytetään usein 9-napaista D-liitintä. Tällaiseen liittimeen ei voida kytkeä tietenkään kaikkia standardin mukaisia signaaleja. Taulukossa 1 on lueteltu tiedonsiirrossa käytetyt RS-232-liitännän signaalit. [5]

Taulukko1. RS-232-signaalit ja merkitykset

Nasta nro	Signaalin lyhenne	Toimintasuunta
1	CD	tulo
2	RxD	tulo
3	TxD	lähtö
4	DTR	lähtö
5	SG	-
6	DSR	tulo
7	RTS	lähtö
8	CTS	tulo
9	RI	tulo

RS-232-signaalit välittävät kolmenlaista informaatioita:

- varsinaista tietoa, Data
- ohjaussignaaleja, Control
- ajastussignaaleja, Timing.

5 ELEKTRONIIKKAKOMPONENTIT

5.1 Pt 100 -anturi

Pt 100 -anturi on yleinen lämpötilan mittauksessa käytetty komponentti. Pt 100 -anturi on metallista valmistettu vastusanturi, jonka resistanssi suurenee lämpötilan noustessa. Tyypillisimmillään anturin resistanssi on muutamista kymmenistä ohmeista satoihin ohmeihin. Pt 100 -anturissa käytetään materiaalina yleisesti platinaa, nikkeliä tai kuparia. Pt 100 -lämpötilan mittausanturi ei pelkästään sovellu lämpötilan mittaukseen, vaan se vaatii elektronisia komponentteja ympärilleen toimiakseen oikein.

5.2 LM 35 -lämpötilan mittauspiiri

LM 35 on lämpötila-anturi, joka tuottaa laajalla lämpötilaalueella lineaarisen ulostulojännitteen ($10 \text{ mV}/^\circ\text{C}$) lämpötilan muuttuessa ($-55\dots+150 \text{ }^\circ\text{C}$). Lineaarisen signaalin mahdollistavat anturiin integroidut signaalinkäsittelypiirit. Anturin virrankulutus on erittäin vähäistä, eikä se tarvitse erillistä virtalähdettä vaan käyttöjännite voidaan ottaa esim. haaroittamalla toiselta komponentilta. Anturi tuottaa analogisen signaalin, ja se on muutettava A/D-muuntimella digitaaliseen muotoon. Näin lämpötilan mittaussignaali voidaan edelleen viedä mikrokontrolleripiirille, joka tulkitsee sen ihmisen ymmärtämään muotoon esim. nestekidenäytölle. Taulukossa 2 on esitetty LM 35 -anturin ominaisuudet, ja kuva 6 esittää anturin toiminnallista rakennetta.

myös kaikki kirjainmerkit ja erikoismerkit. 7-segmenttinäyttöjä valmistetaan kytkennältään kahta tyyppiä: yhteisanodi- ja yhteiskatodinäyttöjä. LCD-näyttöjä käytetään mikroprosessorisovelluksissa, kuten vaaoissa, videoissa, mittalaitteissa jne. Yleiskäyttöiset nestekidenäytöt voidaan jakaa kolmeen ryhmään: 7-segmenttinäytöt, alfanumeeriset näyttömoduulit ja graafiset näyttömoduulit. Kaikki LCD-näytöt ovat passiivisia näyttöjä. Näytöt tarvitsevat taustavalon, jotta ne näkyisivät pimeässä. Taustavalotyyppejä ovat mm. elektroluminenssivalo (Electroluminescent, EL) tai kylmäkatodifluoresenssilamppu (Cold Cathode Fluorecent Lamp, CFL). LED-taustavalon vaihtoehtoja yksinkertaisin. Se sisältää useita sarjaan ja rinnakkain kytkettyjä LEDejä. EL-taustavalot ovat hyvin ohuita ja keveitä, ja niitä on saatavana monen värisenä.

EL-valo toimii 80 V – 100V:n jännitteellä ja sen virran kulutus on pientä verrattuna LED-valoon. CFL-taustavalon virrankulutus on myös suhteellisen pieni. Taustavalon muodostetaan ohuella loistevaloputkella, joka voidaan kytkeä näytön taakse. Toimiakseen CFL-valo tarvitsee 270 V – 300 V:n jännitteen.[5]

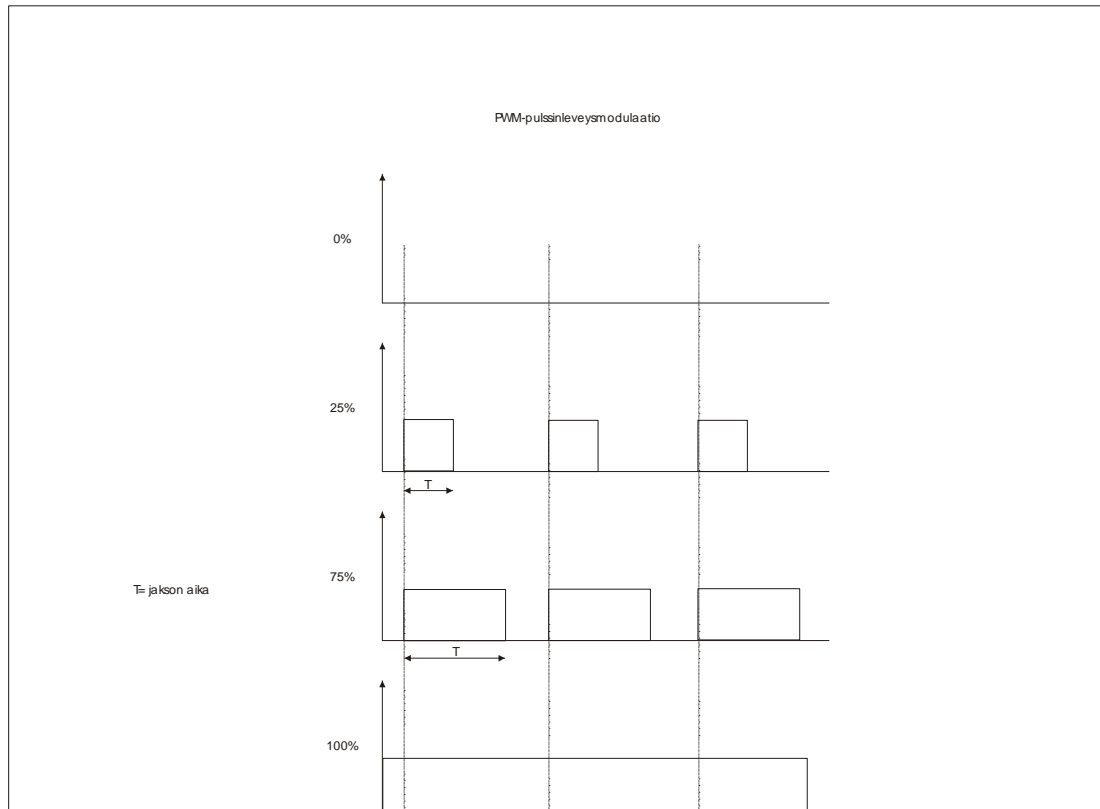
5.4 Vahtiajastin

Vahtiajastin (Watchdog Timer) on piiri, joka varmistaa, että ohjelman suoritus on toiminnassa. Laitteessa olevan ohjelman on tietyin väliajoin käytävä tallettamassa tietokombinaatio ajastimen rekisteriin, muutoin seurauksena on prosessorin nollaus. Vahtiajastin on laskuri, jota askelletaan joko vapaasti värähtelevän oskillaattorin tai prosessorin kellopulssin tahdissa. Pyörähtäessään ympäri laskuri aiheuttaa prosessorin nollauksen. Laskurin ympäripyörähtäminen estetään antamalla muutaman tavun mittainen koodi vahtiajastimen rekisteriin. Vahtiajastinta tarvitaan sovelluksissa, joissa on tärkeää varmistaa laitteen jatkuva toimintakunta. Esimerkiksi auton ABS-jarrut on sellainen kohde, jossa käytetään vahtiajastinpiiriä.[5]

5.5 Pulssinleveysmodulaatio

Pulssinleveysmodulaatiota (Pulse Width Modulation, PWM) käytetään paljon ohjamaan esim. kuormaan syötettävää jännitettä. Pulssin leveydellä voidaan määrittellä, kuinka paljon tehoa syötetään kuormaan. Pulssinleveysmodulaatiossa yleensä taajuus pidetään vakiona ja kuormaan menevää jännitettä säädetään pulssisuhteella. Pulssisuhte ilmoitetaan prosentteina.

Kuvan 7 ylimmässä kohdassa pulssisuhte on 0 %, jolloin signaali on alatilassa. Toiseksi ylimmässä kohdassa pulssisuhte on 25 %, jolloin signaali on $\frac{1}{4}$ -osan jakson ajasta ylätilassa ja $\frac{3}{4}$ -osan jakson ajasta alatilassa. Alimmassa kohdassa signaali on koko ajan ylhäällä eli pulssisuhte on tällöin 100 %. Pulssinleveysmodulaatio voidaan toteuttaa aivan normaalilla lähtöliitännällä ohjelmallisesti mutta tällöin PWM-taajuus ei ole kovin korkea. Uusimmissa mikrokontrolleripiireissä on valmiina lähtöliitäntöjä, jotka pystyvät toimimaan PWM-lähtöinä. [5]

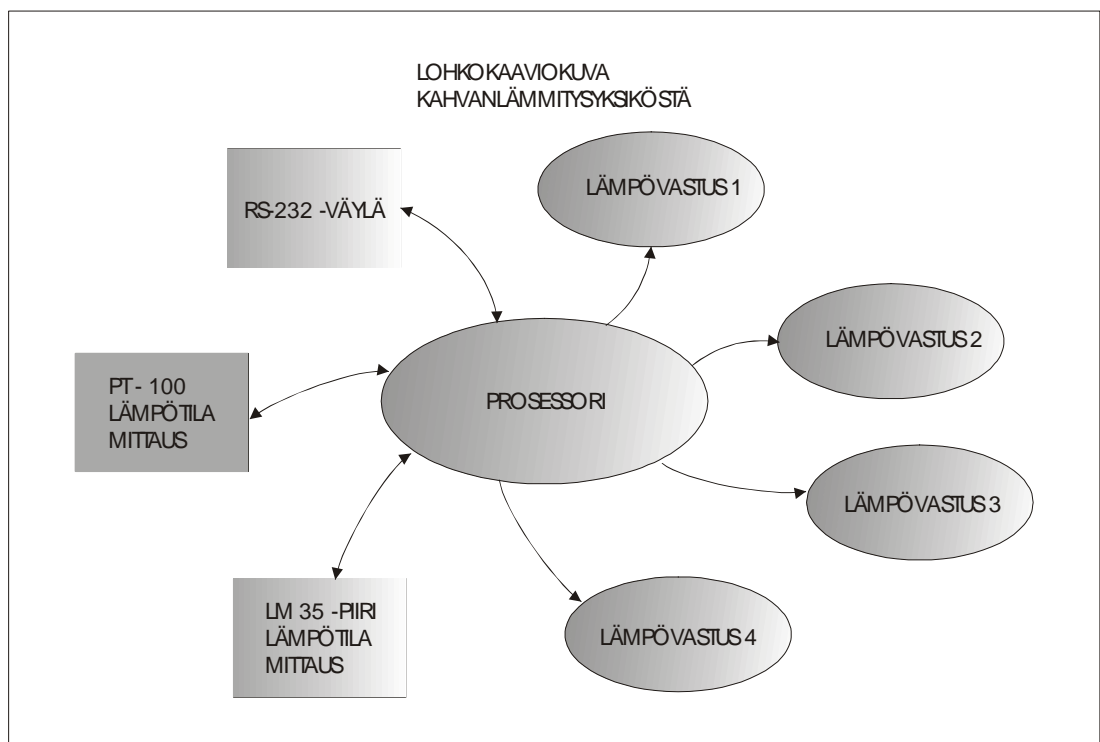


Kuva 7. Pulssinleveysmodulaatiossa pulssisuhte ilmoitetaan prosentteina [5]

6 KAHVANLÄMMITINYKSIKÖN TOTEUTUS

6.1 Kahvanlämmityksikön lohkokaavio ja toimintaperiaate

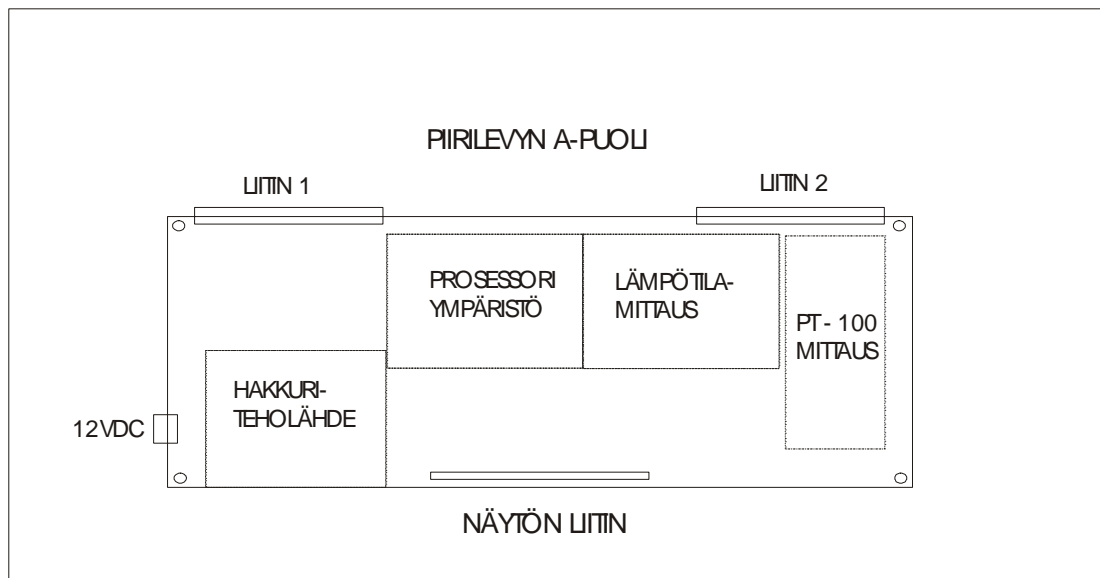
Kahvanlämmityksikkö rakentuu mikroprosessoripiiriin 16f877 ympärille. Prosessorin päätehtävänä on ohjata lämpövastuksien 1,2 lämpötilaa ilman ja kahvanlämpötilan perusteella. Lämpövastukset 3 ja 4 ovat optioita, joita voidaan käyttää, jos järjestelmää halutaan laajentaa. Prosessori saa kahvanlämpötilasta tiedon Pt 100 –vastuksen välityksellä, ja ilman lämpötila välittyy LM 35 –piirin kautta. Prosessorille on liitetty myös RS-232–väylä, jota voidaan hyödyntää laitteen ohjelmoinnissa. Kuvassa 8 on esitetty prosessorin ympäristökomponentit.



Kuva 8. Kahvanlämmityksikön lohkokaaviokuva

6.2 A-puolen komponenttien sijoittelu

Kahvan lämmitysyksikön piirilevykortti on kaksipuolinen, eli kortille on sijoitettu molemmille puolille komponentteja piirilevyn koon pienentämiseksi. Kaksipuolinen piirilevy on paras ratkaisu käyttötarkoitusta varten sen yksinkertaisen rakenteen vuoksi sekä siksi, että piirilevyn syövytys oli helppo toteuttaa. Komponenttisijoittelu on tehty siten, että voimakkaasti häiriösaiteilyä lähettävät komponentit, mm. mosfetit ja hakkuriteholähde, on sijoitettu eri puolelle piirilevyä kuin häiriölle herkät komponentit, esim. lämpötilan mittauspiiri LM 35 tai PIC16f877-mikrokontrolleripiiri. Näin saadaan minimoitua ympäristökomponenttien aiheuttamat häiriöt mittauksen kannalta kriittisimmille komponenteille. Piirilevyn A-puolen komponenttisijoittelu on esitetty kuvassa 9.



Kuva 9. Lohkokaavio eri lohkojen sijoituksesta piirilevyllä

6.3 Mikrokontrolleripiiri PIC16f877

Kahvan lämmityselementtien ohjainyksikön ohjaamiseen valittiin microchip-PIC16F877, 8-bittinen mikrokontrolleripiiri. 16f877-kontrolleripiiri on myös kohtalaisen edullinen, ja siinä on hyvät laajennusmahdollisuudet. PIC16f877-piirissä käytetään 16 MHz:n kellotaajuudella toimivaa kidettä, joka on sijoitettu aivan prosessorin nastojen viereen. Mikrokontrolleripiirissä 16f877 on 4 kpl 8-bittistä I/O-väylää. Väyliä tarvitsin Mosfet-transistorien, sarjaliikenteen, lämpötilan mittaamiseen sekä piirin ohjelmointiin. Prosessoriympäristön luonnollinen sijoituspaikka oli lähellä piirilevyn keskiosaa piirilevyn reititystä ja komponenttisijoittelua ajatellen.

6.4 Watch dog –piiri

Piirin toimintaa valvoo watch dog –tyyppinen piiri MAX707CSA, joka resetoit PIC16f877-piirin, jos se ei saa tarvittavan (1,6 s) ajan sisällä ”pulsseja” vastaan numero 7. Tämä poistaa sen mahdollisuuden, että ohjelman jäädessä luuppiin se lämmittäisi esim. lämpöelementtejä kontrolloimattomasti.

6.5 Ohjelmointiliitin

PIC16f877-piirin ohjelmointia varten piirilevylle on asennettu ohjelmointiliitin (header 10PS2). Tämän liittimen kautta siirretään ohjelmointikehitysvaiheessa PIC16f877-piirille kääntäjällä tehty ohjelma. Ohjelman sisäänajo ROM-piirille tapahtuu siten, että tietyt nastat ajetaan 1-tilaan ja toiset nastat 0-tilaan. Tämän jälkeen ohjelma siirretään piirille ja kortti resetoitetaan. Resetoinnin jälkeen kytketään jännite ja ohjelman testaus voi alkaa.

6.6 PWM-pulssiohjaus

Lämpöelementtien ohjaukseen kontrolleripiirissä on kolme PWM-lähtöä. Kaksi PWM-lähtöä ohjaa kahvoissa sijaitsevia lämmityselementtejä, ja yksi PWM-lähtö on varattu satulan lämmittimelle. Lisäksi ohjelmallisesti voidaan toteuttaa yksi lisä-PWM-lähtö.

6.7 Lämpötilan mittaus

Lämpötilan mittausta varten piirille tuodaan analogiatuloihin kaksi signaalia. Toinen signaali tulee piiriltä LM 35, joka mittaa ulkoilman lämpötilaa. Toinen analogiamittaussignaali tulee Pt 100 -vastukselta, joka mittaa kahvassa olevan lämpöelementin lämpötilan. Pt 100 -mittausta varten on rakennettu +3,3 V jännitelähde. Jännitelähteestä saatava +3,3 V ajetaan operaatiovahvistinkytkennän läpi, josta saadaan ulos stabiili 1 mA:n virta. Virta ajetaan Pt 100 -vastuksen läpi ja jännitehäviön perusteella voidaan tulkita lämpötilan arvo.

6.8 Hakkuriteholähde

Kahvanohjainyksikön tehonsyöttö on toteutettu step down -tyylisellä hakkuriteholähteellä LT1374HVCS8. Hakkuriteholähde pudottaa akusta otettavan 12 VDC jännitteen 5 VDC:ksi. Piirilevysuunnitteluvaiheessa mahdolliset häiriöjännitteet pyrittiin eliminoimaan laittamalla mahdollisimman leveitä ja yhtenäisiä kuparitasoja. Lisäksi häiriöitä vähennettiin tekemällä mahdollisimman suuret eristevälit hakkuria ympäröivään elektroniikkaan. Näin saatiin mm. kiertovirrat minimoitua. Kahvanlämmityselementeille teho syötetään suoraan akusta ja tehon syöttöä säädetään fet-transistoreiden avulla. Hakkuriteholähteen sijoittaminen lähelle häiriöherkkää prosessoriympäristöä on aina riskialtista. Tästä syystä on jo suunnitteluvaiheessa huomioitu mm. komponenttisi-joittelua tehdessä mahdolliset hakkurista tulevat häiriöt.

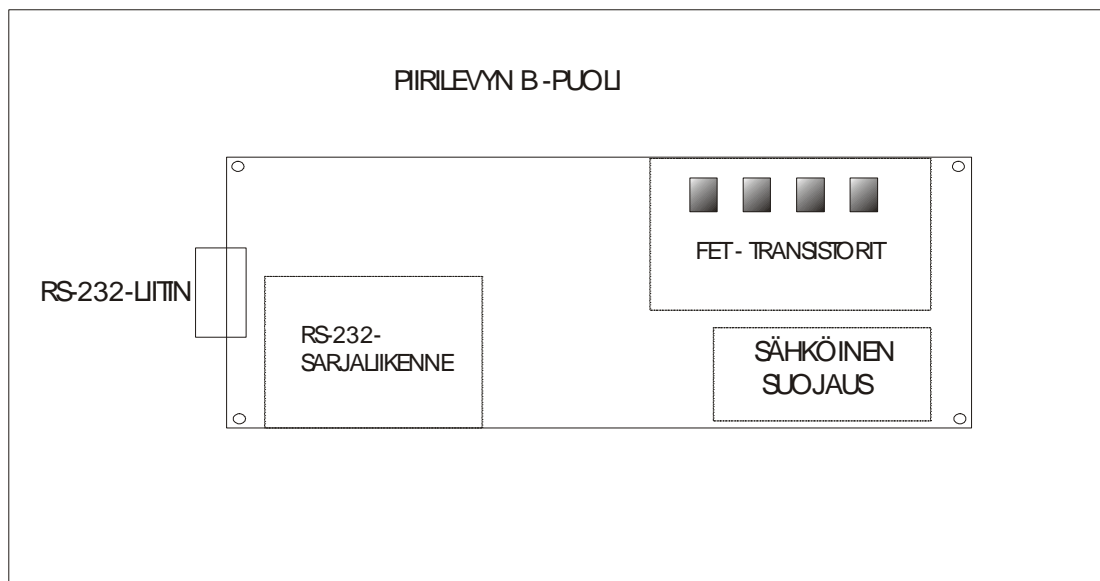
6.9 Näytön taustavalon säätö

Kahvanlämmitysyksikön näyttöpaneeliksi on valittu 2*16 -merkkinen LCD-näyttö. Näyttöä ohjataan mikrokontrolleripiirillä 16f877. Näytön taustavalon säätö on toteutettu fet-transistorin ja PWM-pulssin avulla. PWM-pulssin pituutta säätämällä näytön kirkkaus saadaan halutunlaiseksi. LCD-näytön haittapuolena voidaan pitää sen häiriösäteilyä ympäristöön. Häiriösäteilyä aiheuttaa näyttökomponentissa mm. PWM-pulssiohjaus, jolla säädetään näytön kirkkautta.

7 KOMPONENTTIEN SIJOITTELU

7.1 Häiriöiden ehkäiseminen

Piirilevysuunnittelussa sijoitetaan B-puolelle komponentit, jotka aiheuttavat säteileviä tai johtuvia häiriöitä (kuva 10). Pahin häiriösäteilyn tuottaja tällä puolella ovat fet-transistorit, jotka pulssien ohjaamina aiheuttavat häiriötä ympäristö komponenteille.



Kuva 10. Piirilevyn B-puolen komponenttisijoittelu

7.2 Fet-transistoreiden ohjaus

Kahvanlämmityksikköön on suunniteltu paikat neljälle fet-transistorille, jotka ohjaavat halutun määrän tehoa lämmityselementeille ilman- ja kahvalämpötilan mukaan. Fet-transistoreita ohjataan kiinni- ja aukiasentoon PWM-pulssin avulla. Jokaiselle neljälle fetille on varattu oma PWM-pulssisignaali. PWM-pulssin pituutta säädetään ohjelmallisesti halutun mittaiseksi. Näin saadaan mahdollisimman tarkasti säädettyä haluttu lämpötila lämpöelementeille.

7.3 RS-232 –piirin ohjaus

Kahvanohjainyksikköön on sisäänrakennettu RS-232-väylä. RS-232-väylä on toteutettu ADM232–piirillä. Piiriä ohjaa mikrokontrolleripiiri PIC16f877, jonka TX(nro 44) – ja RX-nastat (nro 45) ohjaavat sarjaliikennettä sisään ja ulospäin.

7.4 Ulkoiset liitynnät

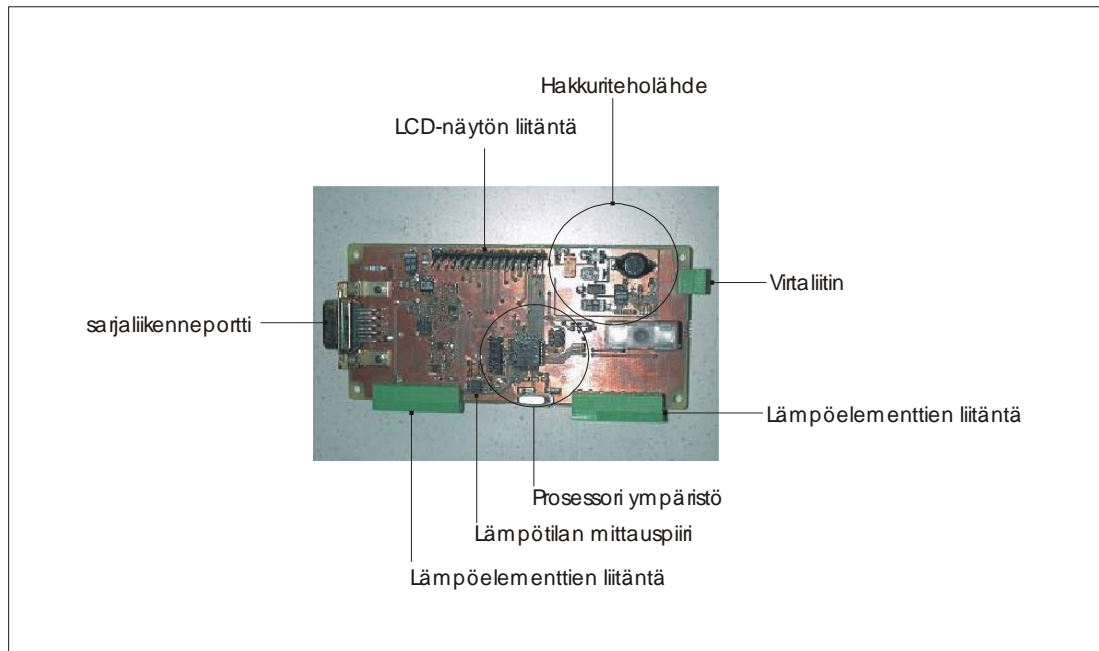
Ulkoisia liityntöjä yksikköön on suunniteltu seuraavalla tavalla:

- 1 kpl lämpötilan mittausanturia
- 4 kpl lämpöelementtejä
- RS-232 –väylä.

8 PIIRIKORTTISUUNNITTELU

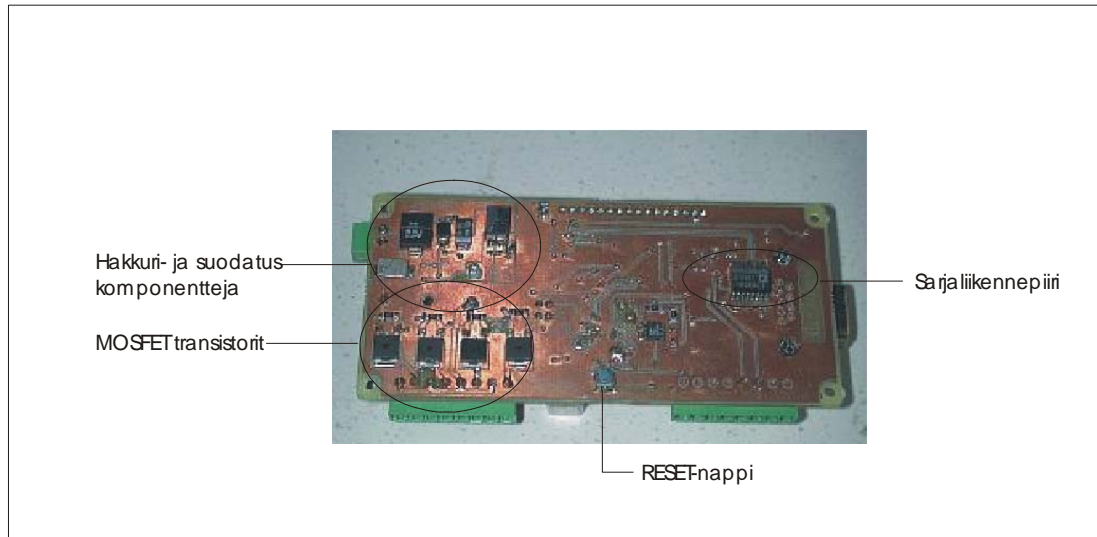
8.1 Ohjelmat ja suunnittelusääntöjä

Kytkenän suunnittelun ja komponenttien valinnan jälkeen seuraa varsinainen fyysisen kortin suunnitteluprosessi. Piirilevysuunnittelussa käytettiin Pads 5.0.1 –versiota. Piirilevyn suunnittelutyöhön sisältyy signaalien reititys ja komponenttisijoittelu. Piirilevyksi valittiin kaksikerrospiirilevy, koska sen hallitseminen olisi helpompaa. Komponenttien valinnassa suosittiin pintaliitostokomponentteja niiden pienen koon takia. Huolellisesti tehty komponenttisijoittelu helpottaa huomattavasti reitityksen suunnittelua ja toteutusta. Reititystä tehtäessä täytyy huomioida häiriösuojaukset käyttämällä mahdollisimman lyhyitä vetoja. Hakkuriteholähteen suunnittelussa häiriösuojausasiat täytyy suunnitella erityisen tarkkaan. Alla olevassa kuvassa 11 näkyy suunniteltu komponenttisijoittelu.



Kuva 11. Kahvanlämmitysohjainyksikön komponenttisijoittelu A-puolelta

Kahvanlämmitysyksikön B-pohjapuolelle sijoitettiin komponentit hieman harvempaan, koska tilaa oli käytössä runsaasti. Tälle puolelle sijoitettiin myös runsaasti häiriösäteilyä lähettävät mosfet-transistorit. Kuvassa 12 nähdään tehty komponenttisijoittelu.



Kuva 12. B-pohjapuolelle on sijoitettu häiriösäteilyä lähettävät Mosfet-transistorit

8.2 Elektroniikan testaus

Ensimmäinen kahvalämmitysyksikön prototyypille tehty testi oli ohmisen vastuksen mittaus jännitenavoista. Tällä testillä pyritään havaitsemaan piirilevyllä olevat oikosulut. Ohmisen testin tuloksena poistettiin havaitut kolme oikosulua, jotka olivat syntyneet tinasilloista. Korjaamisen jälkeen kytkettiin kortti jännitelähteeseen. Jännitelähteen jännitteeksi asetettiin 12 VDC ja virran rajoitukseksi n. 300 mA. Ottovirraksi 12 V:n jännitteellä saatiin 41 mA, mikä tuottaa ottotehoksi noin 0,5 W. Seuraavaksi tarkistettiin yleismittarilla hakkuri-teholähteen toiminta. Hakkuriteholähde toimi mittausten mukaan moitteettomasti, eli se alensi 12 V:n syöttöjännitteen 5 V:iin ja oskilloskoopin kuvassa se myös näytti stabiililta. Mittausten perusteella voitiin todeta, että kortilla ei ole oikosulkuja ja tehonsyöttö toimii moitteettomasti.

Mikrokontrolleripiiri ottaa kellopulssin 16 MHz:n kiteestä, jonka toiminnassa näyttää olevan oskilloskooppikuvan mukaan häiriötä. Kide ei oskilloskooppimittausten perusteella lähde värähtelemään ollenkaan. Jännite kiteen jaloissa oli oikean suuruinen eli 5 V. Kiteen vaihtaminen ei korjannut tilannetta. Lähinnä ajan loppumisen vuoksi kiteen värähtelemättömyysvika jäi selvittämättä.

9 SAAVUTETUT TULOKSET

Työn lopputuloksena valmistui elektroninen kahvanlämmityksen ohjainkortti, josta puuttuu ainoastaan korttia ohjaava ohjelma. Tarkoituksena oli alun perin suunnitella myös ohjelma valmistuneelle kortille, mutta laitteiston ja tilojen puute estivät suunnitelman toteutumisen. Kahvanlämmityskortin perusteellinen testaus täytyisi suorittaa siten, että siinä olisi valmis toimiva ohjelma ohjaamassa korttia. Valmistuneen elektroniikkakortin fyysinen testaus suoritettiin kytkemällä jännitteet korttiin ja mittaamalla kortilla olevat jännitteet. Testaus tuloksena kortin jännitteet olivat oikean suuruisia ja kortin jatkokehittely olisi näistä lähtöasetelmista helppoa.

Aikataulullisesti työ oli hyvin haastava, koska elektroniikkasuunnitteluun liittyviä uusia ohjelmia ja ratkaisuja oli paljon johtuen tarkoista analogisista mittauksista ja häiriöiden minimoinneista, jotka aiheuttivat kortille kaksi muutokierrosta. Ohjainkortin suunnittelu oli haastava, mutta myös erittäin opettavainen tehtävä. Työn aikana jouduin opettelemaan Pads-piirilevysuunnitteluohjelman käyttöä, tekemään laskennallista elektroniikkasuunnittelua sekä lukuisia muita elektroniikkasuunnitteluun liittyviä seikkoja. Työ opetti myös, kuinka sulautetun järjestelmän suunnitteluprosessi etenee sekä elektroniikka- ja ohjelmistosuunnittelun välisen riippuvuuden. Sulautettuja järjestelmiä suunniteltaessa on erittäin tärkeää, että elektroniikkasuunnittelija tietää hieman ohjelmistosuunnittelusta ja päinvastoin. Tällä tavoin saadaan kokonaissuunnitteluprosessi joustavaksi ja tällöin myös tiedetään selvästi, mitkä seikat kannattaa toteuttaa elektroniikan kautta ja mitkä ohjelmallisesti, esim. porttien jako mikrokontrollerilla. Lopputuloksena syntynyt elektroniikkakortti on mielestäni teknisesti hyvin suunniteltu, pienikokoinen ja sitä olisi myös helppo jatkokehittää.

Parannusehdotuksia

Kahvanlämmityksikön jatkokehittelyssä täytyy kiinnittää huomiota lähinnä lämpötilan mittaustapoihin ja ulkoapäin tulevan häiriösaiteilyn ehkäisyyn. Suunnittelemassani mallissa lämpötilan mittaus tapahtuu ohjainyksikönkotelon sisältä sekä lämpöelementtien päältä kahvassa. Kotelon sisällä olevan LM 35 -piirin on tarkoitus mitata ulkolämpötilaa. Todellisuudessa kotelon sisälämpötila on korkeampi kuin ulkolämpötila, joka johtuu elektroniikkakomponenttien lämpenemisestä (mm. fet-transistorit). Tämä mittaustapa johtaa pieneen vääristymään lämpötilan säädössä, jonka korjaamiseksi LM 35 -piiri tulisi sijoittaa esim. kiinni jäähdytyslementtiin, joka olisi kotelon ulkopuolella.

Lämpöelementin lämpötila mitataan Pt 100 -vastuksella elementin pinnalta. Tämä toteutus on myös ongelmallinen, koska Pt 100 -vastuksen sijoittaminen kahvaan on erittäin hankalaa ja lisäksi vastukselle joudutaan viemään mittaustavasta riippuen johtimia 2 - 3 kpl. Ratkaisuna ulkolämpötilan mittaamiseksi yksikölle täytyisi olla ulkoinen liitäntä, johon voisi liittää LM 35 -piirin, joka sijoitettaisiin esim. etukatteen alle. Kahvanelementin lämpötilan mittaamiseksi täytyisi suunnitella jonkinlainen virran mittaustapa, jonka perusteella tiedettäisiin kahvanlämpöelementin lämpötila. Näin välttäisiin hankalalta Pt 100 -vastuksen asennukselta lämpöelementin ja kahvakumin väliin.

10 YHTEENVETO

Tässä työssä suunniteltiin, rakennettiin ja testattiin elektroniikan osalta kahvanlämmitysohjainyksikkö. Yksikön suunnittelussa pyrittiin huomioimaan mm. vaatimukset ympäristöolosuhteista, yksikön laajennettavuus, sekä pyrittiin samaan laitteen toiminta mahdollisimman stabiiliksi. Mikroprosessoriohjauksen avulla laitteen toiminta on varmaa ja lämpötilan säätö tapahtuu automaattisesti, mikä on olennainen seikka laitteen käyttötarkoitusta ja sijoitusympäristöä ajatellen.

Sovelluksen ei tarvitse olla täysin reaaliaikainen, koska lämpötilan muutokset tapahtuvat yleensä pitkällä aikavälillä. Tämä seikka kannattaa huomioida kahvanlämmitinohjainyksikön ohjelmansuunnittelussa.

Työssä saavutettiin asetut tavoitteet elektroniikkasuunnittelun osalta. Työhön liittyvä ohjelmistosuunnitteluosuus jäi tekemättä tilojen ja välineiden puutteen vuoksi. Työn suunnittelu ja toteutus on ollut hyvin vaativa tehtävä mutta myös antoisa oppimisen kannalta.

LÄHDELUETTELO

- 1 ABB TTT-käsikirja 2000-07
- 2 Salo Pentti. Analogista elektroniikkaa. Periaatteita ja sovellutuksia. Helsinki: Otavan kirjapaino Oy 1998 ISBN 951-1-11247-3
- 3 Volotinen Vesa. Analoginen elektroniikka. Komponentit ja peruskytkennät. Porvoo: WSOY kirjapainoyksikkö 1998 ISBN 951-0-21577-5
- 4 Tiainen Risto. Mittaustiedon keräily-yksikkö. Raportti. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Sähkötekniikan osasto.18.11.2003
- 5 Koskinen Jari. Mikrotietokonetekniikka, sulautetut järjestelmät. Helsinki: Otavan kirjapaino Oy 1999 ISBN 951-1-14268-2

