

Marko Virtanen

TIG-vaihtovirtalähteen ohjelmointi ja testaus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

Insinööriytyö

28.4.2015

Tekijä Otsikko	Marko Virtanen TIG-vaihtovirtalähteen ohjelmointi ja testaus
Sivumäärä Aika	30 sivua + liite 28.4.2015
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Elektroniikka
Ohjaaja	yliopettaja Matti Fischer
<p>Insinööriyössä ohjelmoitiin ja testattiin Computer-Aided Design in Electronics -kurssilla suunniteltu ja rakennettu TIG-vaihtovirtalähde. Tavoitteena oli saada laite ohjelmoitua, toimivaksi ja testata sen kestävyyttä.</p> <p>TIG-vaihtovirtalähteessä on käytössä mikrokontrolleri, joka ohjelmoitiin C-kielellä. Ohjelma suunniteltiin toimimaan mahdollisimman nopeasti, jotta laitteen ohjaus toimisi luotettavasti. Ohjelmassa luotiin mahdollisuus säätää erilaisia hitsausparametrejä, esimerkiksi taajuutta, pulssisuhdetta ja virtaa.</p> <p>Laitetta testattiin vaihtelemalla laitteen kuormitusta, sisääntulojännitettä ja ulostulon parametrejä. Testaukseen käytettiin oskilloskooppia, yleismittaria ja infrapunalämpötilamittaria. Laitteesta mitattiin erilaisia signaaleja, niissä olevia häiriöitä ja laitteessa olevan jäähdytyslevyn lämpenemistä. Testauksessa ilmenneitä häiriöitä ja vikoja tutkittiin. Ongelmiin suunniteltiin ratkaisut ja niiden toimivuutta testattiin.</p> <p>Laitteesta saatiin toimiva ohjelmoinnin ja ohjauselektroniikan osalta. Pienillä virroilla testatessa laite toimi ongelmitta ja säädöt toimivat oikein. Testien perusteella laitteen jäähdytys arvioitiin riittäväksi. Suuremmille virroille siirryttäessä laitteessa havaittiin lisääntyviä häiriöitä, jotka heikensivät laitteen toimintaa.</p>	
Avainsanat	TIG-vaihtovirtalähde, TIG-hitsaus, vaihtosuuntaaja, H-silta

Author Title	Marko Virtanen Programming and Testing of AC TIG Welding Power Supply
Number of Pages Date	30 pages + appendix 28 April 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electronics
Instructor	Matti Fischer, Principal Lecturer
<p>AC TIG welding power supply was programmed and tested in this thesis. The power supply was designed and assembled during Computer-Aided Design in Electronics course. The objective of this thesis was to program the power supply, to get it functional and to test the devices durability.</p> <p>AC TIG welding power supply is controlled with a microcontroller which was programmed with C programming language. The program of the microcontroller was designed to be as fast as possible, in order to control the device reliably. The adjustment of different welding parameters, such as frequency, duty cycle and welding current, was implemented in the program.</p> <p>AC TIG welding power supply was tested by altering load, input voltage and output parameters of the device. Oscilloscope, multimeter and infrared thermometer were used to test the device. Different signals, interferences in the signals and heating of the heat sink were measured during the tests. Interferences and faults found during the testing were investigated. Solutions to detected issues were designed and tested.</p> <p>The device's program and control electronics are working perfectly. The welding parameter adjustments were working correctly in small current tests. Cooling of the device was estimated to be sufficient. Increasing interferences were found when testing current was increased.</p>	
Keywords	TIG-welding, Inverter, H-bridge, AC TIG welding power supply

Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	TIG-hitsaus	2
3	TIG-hitsausvirtalähde	3
3.1	TIG-hitsausvirtalähteen suunnittelulähtökohdat	3
3.2	TIG-hitsausvirtalähteen toimintaperiaate	4
3.3	TIG-hitsausvirtalähteen rakenne	4
3.3.1	Ohjainkortti	5
3.3.2	Virtalähdekortti	6
3.3.3	Pääkortti	6
3.3.4	H-silta	7
3.3.5	Virranmittaus	8
3.3.6	H-sillan jäähdytys	9
4	TIG-hitsausvirtalähteen ohjelmointi	10
4.1	Mikrokontrollerin ohjelmoinnin suunnittelu	10
4.2	H-sillan ohjaus	10
4.3	TIG-hitsausvirtalähteen käyttöliittymä	11
4.3.1	LCD-näyttö	12
4.3.2	TIG-hitsausvirtalähteen painikkeet ja potentiometrit	13
4.4	Virran- ja lämpötilanmittaus	14
4.5	Vuokaavio	14
5	TIG-hitsausvirtalähteen kotelointi	16
6	TIG-hitsausvirtalähteen testaus	17
6.1	Testaussuunnitelma ja järjestelyt	17
6.2	Ohjaussignaalit	17
6.3	Ulostuleva signaali	19
6.4	Kuormituksen kesto	22
6.4.1	Jäähdytys	22

6.4.2	Piirilevyn kesto	23
7	TIG-hitsausvirtalähteen testauksessa havaittujen vikojen korjaus	24
7.1	Häiriöt ohjaussignaalisissa	24
7.2	IGBT-ohjaimien hajoaminen	25
7.3	Mikrokontrollerin toiminnan lamaantuminen	25
7.3.1	Vian etsintä	25
7.3.2	Vian korjaus	26
7.3.3	Korjausten vaikutukset	27
7.4	Suotokondensaattorien kuumeneminen	27
7.5	IGBT:n tuhoutuminen	28
8	Yhteenveto	29
	Lähteet	30
	Liite: Testaussuunnitelma	

Lyhenteet

A/D	Analog/Digital. Lyhenne analogisesta digitaaliseksi muunnokselle.
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor. Suuritehoinen bipolaaritransistori, jonka hila on eristetty.
ISP	In-System Programming. AVR-mikrokontrollerien ohjelmointimuoto.
I/O	Input/Output. Lyhenne sisään/ulostulolle.
LCD	Liquid Crystal Display. Nestekiteisiin perustuva näyttötekniikka.
PTC	Positive temperature coefficient. Positiivinen lämpötilakerroin.
PWM	Pulse Width modulation. Pulssinleveysmodulaatio, käytetään esimerkiksi virransäätöön.
TIG	Tungsten Inert Gas welding. Hitsausmenetelmä, jossa volframielektrodi on ympäröity suojakaasulla.

1 Johdanto

TIG-hitsaus on yleisesti käytetty hitsausmuoto ohuille materiaaleille sekä alumiinille ja ruostumattomalle teräkselle. Ruostumattoman teräksen hitsaukseen soveltuvia tasavirtalähteitä on saatavilla kohtuullisen edullisesti, mutta alumiinin hitsaukseen tarvittavat vaihtovirtalähteet ovat kalliimpia ja valinnanvaraa on vähemmän.

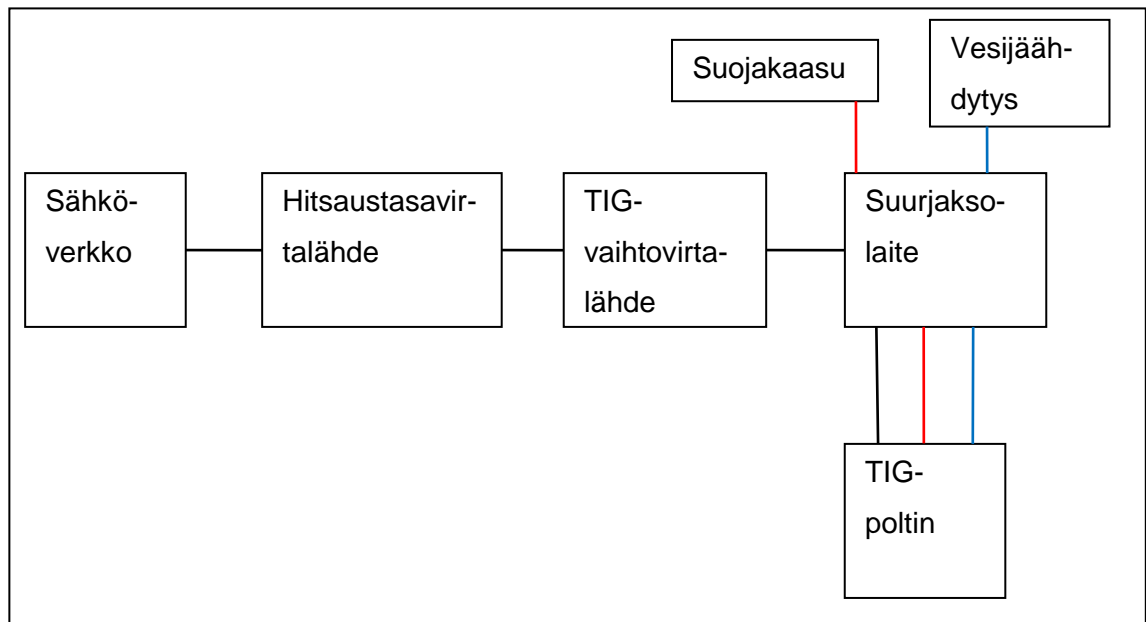
Tämä insinööriyö käsittelee vaihtosuuntaajaa, jolla voidaan muuttaa tasavirtalähteen tuottama tasavirta vaihtovirraksi. Työssä keskitytään laitteen rakenteeseen, ohjelmointiin, testaukseen ja testauksessa ilmenneiden ongelmien korjaamiseen. Tavoitteena on saada laite ohjelmoitua, testattua, käyttöön ja toimintavarmaksi. Ohjelmoinnissa tavoitteena on luoda laitteeseen toimiva käyttöliittymä ja H-sillanohjaus. Testauksessa tavoitteena on löytää laitteessa olevat mahdolliset viat sekä saada laitteen ominaisuudet ja kestävyys testattua turvallisesti, koska laitteessa kulkee isoja virtoja.

Laitteen perustana on Computer-Aided Design in Electronics -kurssilla suunnitellut ja kalustetut piirilevyt, joten tarkempaa piirilevysuunnittelua tässä insinööriyössä ei käsitellä.

2 TIG-hitsaus

TIG-hitsauksessa valokaari palaa sulamattoman volframielektrodin ja hitsattavan kappaleen välillä. Valokaari on ympäröity suojakaasuun, joka on argon- tai heliumkaasua. Suojakaasu estää ympäröivän ilman vaikutuksia hitsisulaan ja takaa valokaaren palamiselle hyvät edellytykset. TIG-hitsausmenetelmää käytetään ohuille materiaaleille, esimerkiksi putkistoihin. TIG-hitsattaviin materiaaleihin lukeutuvat mm. alumiini, kupari ja ruostumaton teräs. Etuina TIG-hitsauksessa on hyvä hitsaustapahtuman hallinta, esim. tunkeuma ja lämmönsiirto, ja haittoina taas ovat hitsauksen hitaus ja vaativuus.

TIG-hitsauslaitteisto koostuu virtalähteestä, polttimesta, maa- ja poltinkaapelista sekä suojakaasulaitteista. Virtalähteen tehtävänä on tarjota vakiovirtaa hitsaustapahtumaan sekä hallita erilaisia hitsausparametrejä, esimerkiksi virran pulssitusta. Virtalähteitä on omansa tasavirralla ja vaihtovirralla sekä yhdistelmiä, jotka pystyvät tuottamaan molempia. Tasavirtaa käytetään rautametalleille, ja vaihtovirtaa käytetään ei-rautametalleille, esimerkiksi alumiinille. Poltin toimii kädensijana elektrodille ja kaasukuvulle. Poltin voi olla kaasu- tai vesijäähdytteinen. Kuvassa 1 esitetään TIG-hitsauslaitteisto kokonaisuudessaan sekä TIG-vaihtovirtalähteen sijainti laitteistossa.



Kuva 1. TIG-hitsauslaitteisto kokonaisuudessaan. Kuvassa näkyy TIG-vaihtovirtalähteen sijainti hitsauslaitteistossa. Sähkövirran kulku esitetään mustalla viivalla, kaasunvirtaus punaisella viivalla ja jäähdytysnesteen kulku sinisellä viivalla.

3 TIG-hitsausvirtalähde

3.1 TIG-hitsausvirtalähteen suunnittelulähtökohdat

TIG-hitsausvirtalähteen suunnittelu aloitettiin tutustumalla jo olemassa oleviin laitteisiin ja ominaisuuksiin. Näiden tietojen perusteella luotiin taulukko halutuista ominaisuuksista. Laitteen ominaisuudet esitetään taulukossa 1. Maksimivirta ja -jännite valikoituivat yleisesti käytössä olevien hitsausvirtalähteiden perusteella, koska kyseisiä laitteita tullaan käyttämään TIG-vaihtovirtalähteen virtalähteinä. Hitsausparametrien säätöalueet valittiin mahdollisimman laajoiksi, jolloin laite on helpompi säätää erilaisiin hitsaustilanteisiin sopivaksi. Käyttöliittymä valittiin yksinkertaisen ohjelmoinnin, selkeän ulkoasun ja varman toiminnan perusteella. Laitteen päivityksestä haluttiin tehdä mahdollisimman helppoa ja nopeaa, jolloin uusien ominaisuuksien lisääminen on sujuvaa. Jäähdytyksestä haluttiin ilmajäähdytteinen, koska silloin laite pysyy kevyenä ja helposti siirrettävänä.

Taulukko 1. TIG-vaihtovirtalähteen ominaisuudet.

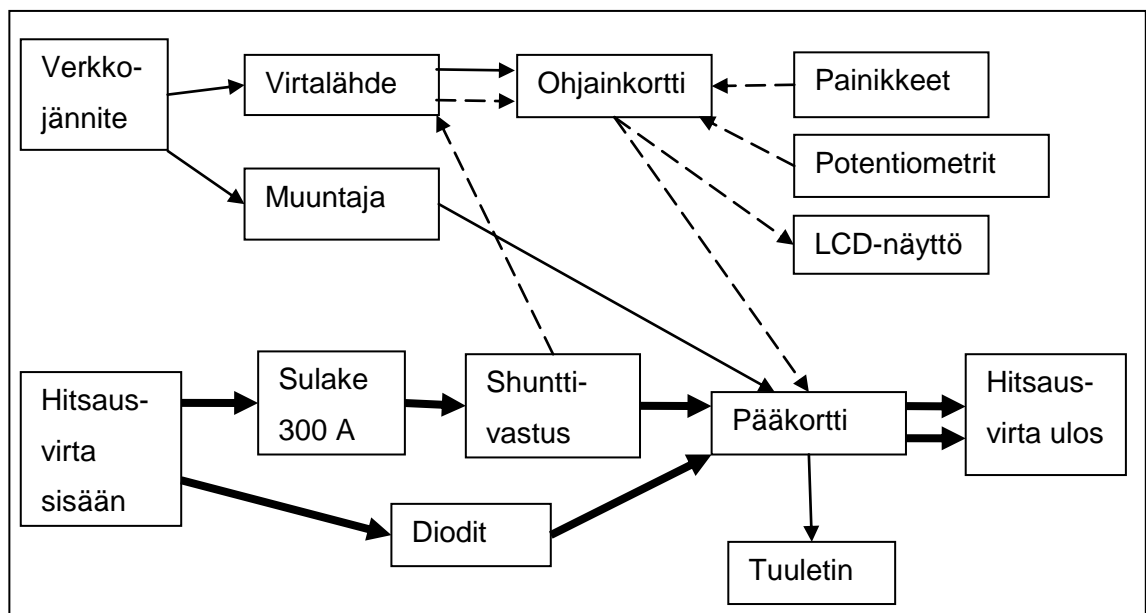
Ominaisuus	
Maksimisisäätulojännite	50 V
Maksimivirta	250 A
Perustaajuus	20 - 200 Hz
PWM-taajuus	10 kHz
Pulssisuhde	10 - 90 %
LCD-näyttö	4 riviä 20 merkkiä
Käyttöliittymä	4 potentiometriä ja 6 painiketta
Päivitys	helppo
Jäähdytys	Alumiininen jäähdytyslevy ja lämpötilaohjattu tuuletin

3.2 TIG-hitsausvirtalähteen toimintaperiaate

TIG-hitsausvirtalähteessä vaihtosuunnataan tasavirrasta vaihtovirtaa. Tasavirtalähteenä käytetään hitsaustasasuuntaajaa, jonka maksimi ulostulovirta on 200 - 400 A. Vaihtosuuntaus on toteutettu H-sillan avulla, jonka ohjauksesta vastaa mikrokontrolleri. Vaihtosuunnatun virran voimakkuutta säädetään PWM-ohjauksen avulla. TIG-hitsausvirtalähteen ulostuloon on tarkoitus kytkeä suurjaksolaite, jossa on hitsauskaasun ohjaukseen tarvittavat venttiilit, liitännät polttimelle ja vesijäähdytykselle ja suurtaajuuspuoli hitsauksen aloitusvalokaaren luontiin.

3.3 TIG-hitsausvirtalähteen rakenne

TIG-hitsausvirtalähde koostuu ohjainkortista, pääkortista, virtalähdekortista, H-sillasta, jäähdytyslevystä ja kotelosta. Laitteen elektroniikka on jaettu erillisiin kortteihin häiriöiden välttämiseksi sekä rakenteen ja huollon yksinkertaistamiseksi. Erillisistä osioista on myös hyötyä, kun laitetta kehitetään edelleen. Jos esimerkiksi kokeillaan erilaista ohjainkorttia, niin ei tarvitse muuta kuin vaihtaa uusi kortti vanhan kortin paikalle. Laitteen lohkoakaavio esitetään kuvassa 2.

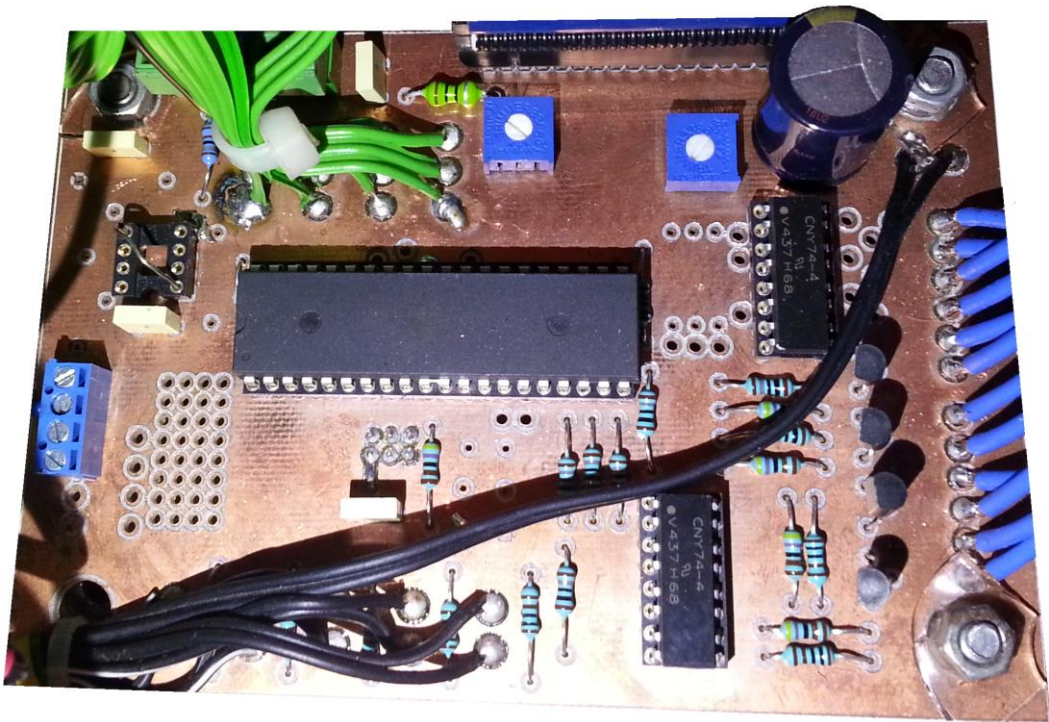


Kuva 2. TIG-vaihtovirtalähteen lohkoakaavio. Lohkoakaaviossa esitetään laitteen eri osioiden välinen toiminta. Nuoli kuvaa tiedon kulkusuuntaa. Katkoviivalla esitetään ohjaussignaalit, ohuella viivalla pienet virrat ja paksulla viivalla suuret hitsausvirrat.

3.3.1 Ohjainkortti

Ohjainkortilla sijaitsee ATmega32A-mikrokontrolleri, joka hoitaa kaikkien laitteen toimintojen ohjaamisen. Lisäksi kortilla on transistorivahvistimet jokaisessa mikrokontrollerin lähdössä ja tarvittavat liitännät potentiometreille, näytölle ja kytkimille. Viimeisimmässä kehitysversiossa transistorit on vaihdettu optoerottimiin, joiden avulla kaikki mikrokontrollerin maatasot on galvaanisesti erotettu pääkortista ja H-sillasta. Ohjainkortti esitetään kuvassa 3.

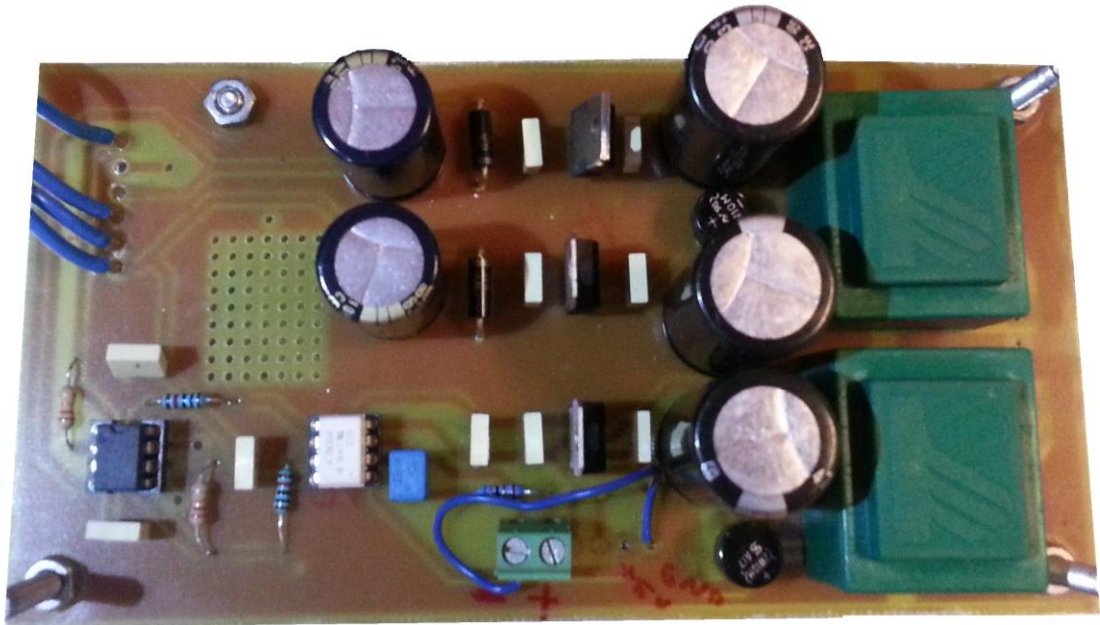
ATmega32A on Atmelin valmistama mikrokontrolleri, joka kuuluu AVR-tuoteperheeseen. Mikrokontrollerissa on 3 ajastinta, 32 KB FLASH-muistia, 32 I/O-nastaa, ja se toimii maksimissaan 16 MHz:n taajuudella. Mikrokontrollerin ohjelmointi tapahtuu ISP-ohjelmointilaitteella.(1, s. 1.)



Kuva 3. Ohjainkortti. Ohjainkortilla näkyvät tyhjät padit on suunniteltu helpottamaan mahdollisia tulevia päivityksiä.

3.3.2 Virtalähdekortti

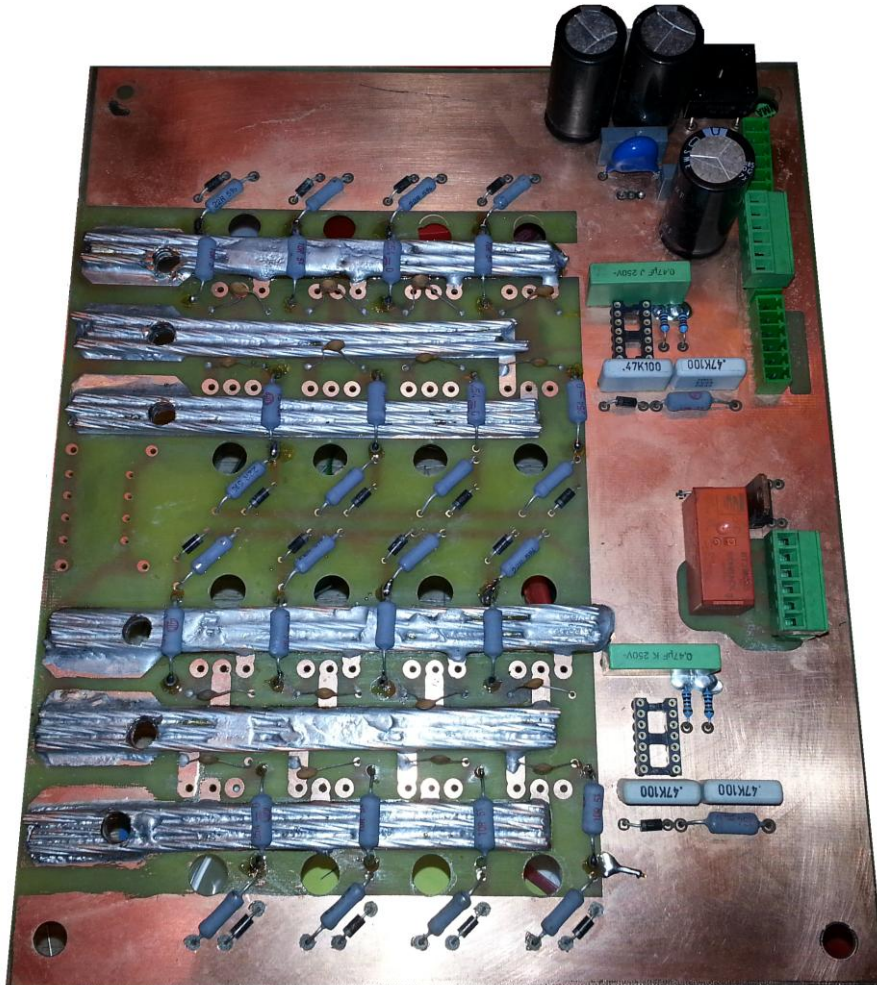
Ensimmäisessä versiossa erillistä virtalähdekorttia ei käytetty, vaan se lisättiin jälkikäteen häiriöiden välttämiseksi. Virtalähdekortilla on erilliset virtalähteet mikrokontrollerille ja virranmittauksessa käytettävälle erotusvahvistimelle. Virtalähde koostuu muuntajasta, tasasuuntaajasta, 78xx-sarjan regulaattorista ja tarvittavista suotokondensaattoreista. Lisäksi virtalähteessä on 5,1 V:n zener-diodi estämässä suurten jännitepiikkien muodostumista. Virtalähdekortti esitetään kuvassa 4.



Kuva 4. Virtalähdekortti.

3.3.3 Pääkortti

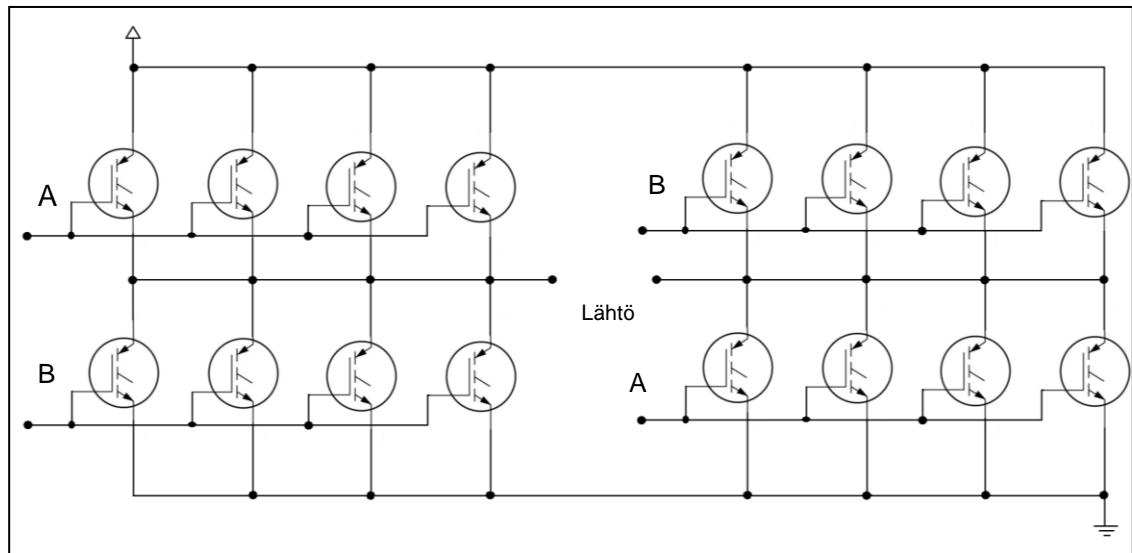
Pääkortille on toteutettu H-silta, IGBT-ohjaimet, virtalähde IGBT-ohjaimille sekä tuuletin ohjauksen rele. Pääkortin virtalähde koostuu tasasuuntaajasta, LM1084-regulaattorista ja suotokondensaattoreista. IGBT-ohjaimiksi valikoituivat IR2110-piirit niiden helpon käytettävyyden ja hyvän saatavuuden takia. Pääkortin piirilevy on valmistettu syövyttämällä 1,5 mm:n lasikuitulevystä, jossa on 35 μm :n kuparointi molemmilla puolin levyä. Koska levyllä kulkee suuria noin 250 A:n virtoja, on kaikki isoja virtoja sisältävät vedot vahvistettu juottamalla lisää kuparia vetoihin. Vahvistettujen vetojen poikkipinta-ala on noin 35 mm². Pääkortti esitetään kuvassa 5.



Kuva 5. Pääkortti. Kuvassa näkyy pääkortin osasijoittelu ja suurin osa komponenteista kalustettuna levyllä. Hitsausvirtoja kuljettavat vahvistetut kuparivedot näkyvät kuvassa hopeisen värisinä. Pääkortin koko on 243 x 200 mm.

3.3.4 H-silta

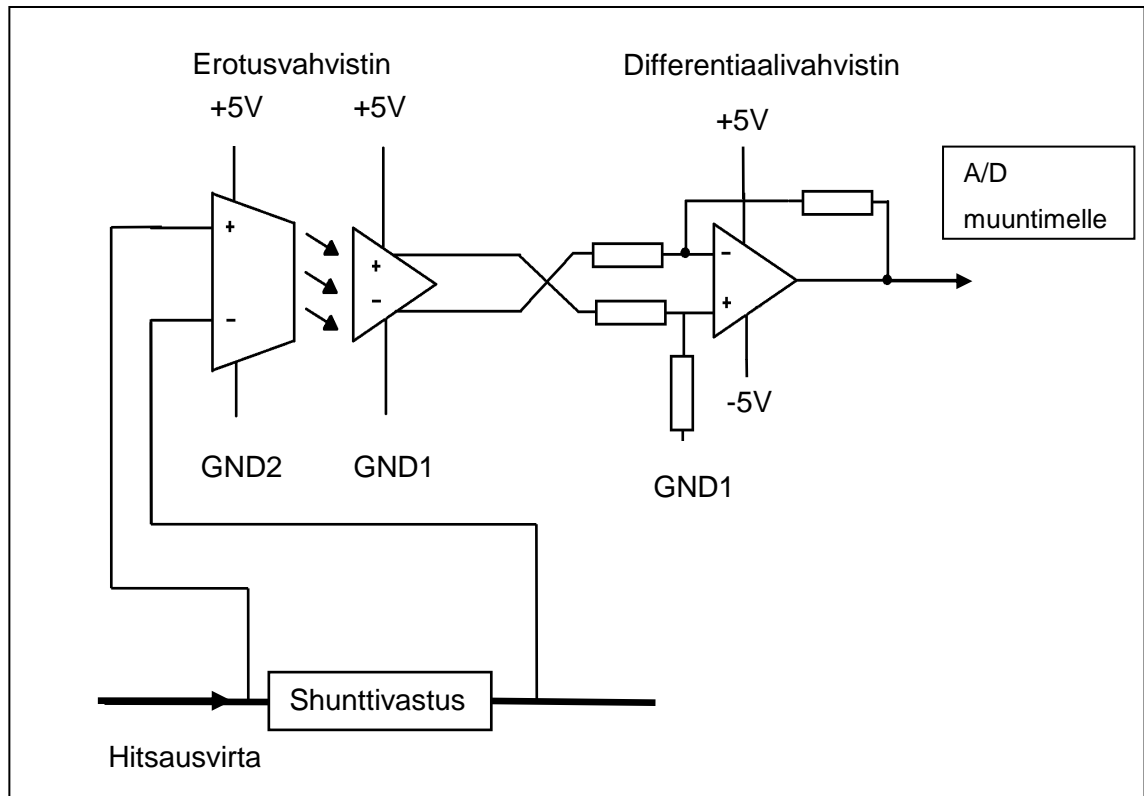
H-silta koostuu 16 IGBT:sta. Jokaisessa H-sillan kulmassa on neljä IGBT:tä rinnan kytkettynä. H-sillan valittiin IGBT:t niiden hyvän virran- ja jännitekeston takia. H-sillan yksinkertaistettu kytkentäkaavio esitetään kuvassa 6. Vaihtosuuntaajakäytössä H-sillasta ohjataan vuorotellen vastakkaisten kulmien IGBT:t johtaviksi. Kun vastakkaiset kulmat ohjataan johtaviksi, toinen lähdöstä ohjautuu positiiviseen käyttöjännitteeseen ja toinen lähtö maatasoon. Vaihtamalla ohjaus toiseen H-sillan puolikkaaseen saadaan lähdön napaisuus käännettyä. Tätä prosessia toistamalla saadaan aikaiseksi kanttiaaltoa.



Kuva 6. H-silta. Kuvassa esitetään IGBT:n rinnankytkentä H-sillassa sekä ohjaussignaalin A ja B kytkentä H-siltaan.

3.3.5 Virranmittaus

Virranmittaus on toteutettu laitteen virransyötössä käyttämällä 16 mm²:n johdinta shunttivastuksena, jonka yli oleva jännite mitataan erotusvahvistimella. Shunttivastuksen yli oleva jännite on suoraan verrannollinen vastuksen läpikulkevaan virtaan. Erotusvahvistimessa on kaksi toisistaan erotettua vahvistinta, joiden välillä tieto kulkee optisena. Erotusvahvistinta käytettäessä päästään eroon mahdollisista maatasojen eroista mitattavan kohteen ja mikrokontrollerin välillä. Erotusvahvistimelta signaali kulkee differentiaalivahvistimelle, jolla signaali muokataan sopivaksi mikrokontrollerin A/D-muuntimelle. Erotusvahvistimella on oma galvaanisesti erotettu virtalähde, joka on toteutettu piirilevyvuuntaajan avulla. Kuvassa 7 esitetään virranmittauksen kytkentäkaavio.



Kuva 7. Virranmittauksen kytkentäkaavio. Kuvassa esitetään shunttivastuksen, erotusvahvistimen ja differentiaalivahvistimen kytkentä yksinkertaistettuna.

3.3.6 H-sillan jäähdytys

Laitteen jäähdytys koostuu alumiinisesta jäähdytyslevystä ja lämpötilaohjatusta tuulettimesta. Tuulettimen ohjaus on toteutettu samalla mikrokontrollerilla kuin muutkin toiminnot. Mikrokontrolleri lukee lämpötilan PTC-termistorilta, joka on kiinnitetty jäähdytyslevyn yläreunaan. Jäähdytyslevyn lämpötilan mukaan mikrokontrolleri tekee päätöksen, tarvitseeko tuulettimen pyöriä vai ei. Tuulettimen virranohjaukseen käytetään piirikorttirelettä, joka kestää verkkovirtakäytön.

4 TIG-hitsausvirtalähteen ohjelmointi

4.1 Mikrokontrollerin ohjelmoinnin suunnittelu

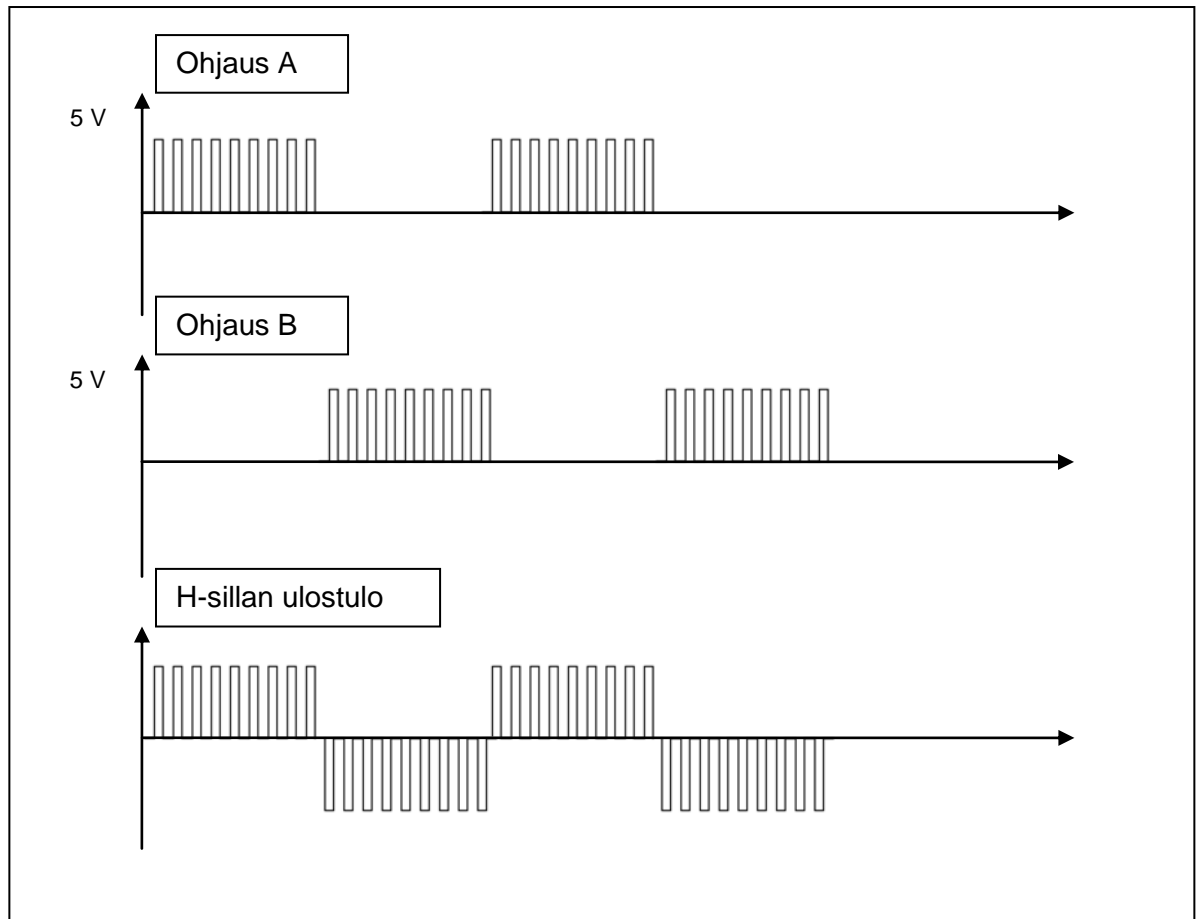
Laitteen ohjelmointi tapahtuu C-kielellä Atmel studio 6.1-ohjelmaa käyttäen. Suunnittelu aloitettiin selvittämällä datalehtien avulla, millaista signaalia IGBT-ohjaimet tarvitsevat toimiakseen. Seuraavana määritettiin tarvittavat suunnittelukriteerit, esimerkiksi, mitkä ohjelman toiminnot ovat tärkeimpiä ja mitä toimintoja hoidetaan tarvittaessa. Viimeisenä ohjelmoinnin suunnittelussa tutkittiin mikrokontrollerin datalehteä ja hahmoteltiin ohjelman runko sekä vuokaavio.

4.2 H-sillan ohjaus

H-sillan ohjaus on toteutettu ATmega32A:ssa olevien ajastimien avulla, ja se on mikrokontrollerin päätehtävä. Esimerkiksi LCD-näytölle päivitetään tietoa vain silloin, kun jokin näytöllä esitettävä arvo muuttuu.

ATmega32A mikrokontrollerissa olevat ajastimet ovat Timer0, Timer1 ja Timer2. Timer0 ja Timer2 ovat 8-bittisiä ja Timer1 on 16-bittinen. Ajastimet toimivat mikrokontrollerin kellotaajuudella tai kellotaajuudesta jaetulla taajuudella. Ajastimet toimivat itsenäisesti varsinaisen pääohjelman rinnalla ja niiden avulla voidaan toteuttaa keskeytyksiä ohjelmaan tai tuottaa PWM-signaalia suoraan mikrokontrollerin ulostuloon.

Ajastimista käytössä ovat Timer0 ja Timer1. Timer0 toimii 1 MHz taajuudella ja sen avulla luodaan keskeytyksiä pääohjelmaan. Keskeytyksien lukumäärää lasketaan pääohjelmassa ja samalla luetaan potentiometreiltä tarvittavat arvot taajuudelle ja pulssisuhteelle. Näiden arvojen perusteella muodostetaan ulostulon perustaajuus ja pulssisuhte. Perustaajuuteen lisätään 8 kHz:n taajuudella toimiva PWM-signaali Timer1:n avulla. PWM-signaalin pulssisuhteen avulla säädetään H-sillan läpikulkevaa virtaa. Pulssisuhteen ollessa pieni on virtakin pieni ja pulssisuhteen kasvaessa virtakin suurenee. PWM-pulssisuhteelle lasketaan sopiva arvo mitatun virran ja halutun virran avulla. H-sillan ohjauksen signaalit esitetään kuvassa 8.



Kuva 8. Mikrokontrollerilta lähtevät ohjaussignaalit sekä ulostulosignaali. Ohjaus A ohjaa H-sillan ylempää puolta ja ohjaus B H-sillan alempaa puolta. Ohjaussignaalit ovat logiikkatasoisia (0 – 5 V). Kuvassa näkyy PWM-signaalin vaikutus ohjaussignaaleihin.

4.3 TIG-hitsausvirtalähteen käyttöliittymä

Laitteen käyttöliittymä koostuu LCD-näytöstä, kuudesta painikkeesta sekä neljästä potentiometrillä. Potentiometrillä avulla säädetään hitsauksen tärkeimpiä parametreja, esimerkiksi hitsausvirtaa ja -taajuutta. Painikkeiden avulla ohjataan valikkoa, josta löytyy muut säädettävät parametrit sekä erilaisia mittauksia laitteen toiminnasta. Valikkorakenne on toteutettu switch-rakenteen avulla, jotta valikko on saatu helposti muokattavaksi ja kevyeksi. Kuvassa 9 on valokuva LCD-näytöstä, jolle on tulostettu valikkorakenteen ensimmäinen välilehti.



Kuva 9. Valikko LCD-näytöllä esitettynä.

4.3.1 LCD-näyttö

LCD-näytöllä esitetään kaikki laitteen ohjaukseen ja käyttöön liittyvät tiedot, esimerkiksi virta, taajuus ja lämpötila. Näytössä on HD44780-kontrolleri, joka on yleisesti käytetty ja sen ohjelmointiin on helposti saatavilla valmiita kirjastoja. Valmiiden kirjastojen avulla ohjelmointi on nopeampaa, koska ei tarvitse ohjelmoida jokaista komentoa erikseen. LCD-näytön ohjaus tapahtuu lähettämällä tulostettavan tiedon sijainti näytöllä ja seuraavaksi lähettämällä tulostettava tieto näytölle. Näytöllä oleva tieto säilyy muuttumattomana, kunnes samalle kohdalle näyttöä kirjoitetaan uutta tietoa, eli näyttöä ei tarvitse virkistää jatkuvasti. Tämä säästää mikrokontrollerin laskentatehoa muihin toimintoihin. Kuvassa 10 esitetään C-kielinen esimerkki tiedon tulostuksesta LCD-näytölle.

```

lcd_home(); /* bring cursor to 0,0 */
lcd_puts("***AC TIG INVERTER***");
lcd_gotoxy(0,1);|
lcd_puts("***10-500Hz / 250A***");

```

Kuva 10. Esimerkki koodi tekstin tulostuksesta LCD-näytölle. Ensimmäisellä rivillä näytön kursori siirretään riville 0 ja sarakkeelle 0. Seuraavalla rivillä lähetetään näytölle tulostettava teksti "AC TIG INVERTER".

4.3.2 TIG-hitsausvirtalähteen painikkeet ja potentiometrit

TIG-hitsausvirtalähteen painikkeina toimivat sulkeutuvat painokytkimet, jotka on kytketty ylösvetovastuksen kanssa mikrokontrollerin digitaalisiin I/O-nastoihin. Pääohjelmassa tarkistetaan ainoastaan yhden painikkeen tilaa, ohjelman toiminnan nopeuttamiseksi. Tämän painikkeen avulla siirrytään valikkoon. Valikon selauksen ja parametrien muutoksen aikana tarkistellaan kaikkien painikkeiden tilanvaihdoksia. Kaksi painiketta on varattu valikon selaukseen ja kaksi painiketta parametrien muuttamiseen. Viimeisellä painikkeella poistutaan valikosta. Painikkeisiin on toteutettu ns. *debounce*-toiminto.

Debouncella tarkoitetaan kytkimen värähtelystä johtuvaa tilan vaihtelua, jonka mikrokontrolleri tulkitsee useaksi kytkimen tilan muutokseksi, vaikka kytkimen tila on oikeasti vaihtunut vain kerran. *Debounce* voidaan toteuttaa joko sähköisesti tai ohjelmallisesti. TIG-hitsausvirtalähteessä *debounce* on toteutettu ohjelmallisesti, koska näin voidaan vähentää komponenttien määrää piirilevyllä. Ohjelmallisesti *debounce* toteutetaan lukemalla ensin kytkimen tila muistiin ja lyhyen ajan, n. 500 ms, jälkeen luetaan kytkimen tila uudestaan. Jos molemmat luetut kytkimen tilat ovat samat, tulkitaan se kytkimen uudeksi tilaksi. Jos molemmat luetut tilat ovat erilaiset, jätetään tilan vaihdos huomiomatta.

Tässä laitteessa potentiometreinä käytetään 100 k Ω lineaarisia hiilipotentiometrejä, joiden keskimäinen nasta on kytketty mikrokontrollerin A/D-muuntimeen. Potentiometrin 100 k Ω resistanssi on valittu pienen virrankulutuksen takia, koska potentiometrin toinen laita on kytketty suoraan +5 V:n käyttöjännitteeseen ja toinen laita on kytketty maatasoon. Potentiometrissä syntyneen jännitejaon 0 - 5 V välinen jännite luetaan mikrokontrollerin A/D-muuntimessa ja muutetaan digitaalisen muotoon luvuksi 0 - 1023 välille. Pääohjelmassa A/D-muuntimelta saadut arvot muutetaan vastaamaan todellisia arvoja, esimerkiksi virtaa, taajuutta tai pulssisuhdetta. A/D-muunnin toimii itsenäisesti alustuksen jälkeen ja muunnoksen tuloksia luetaan pääohjelmassa jatkuvasti, jotta saadaan säätöjen vaikutukset hitsaukseen välittömiksi. Neljäs potentiometri on jätetty laitteeseen varalle mahdollisia tulevia lisäyksiä varten.

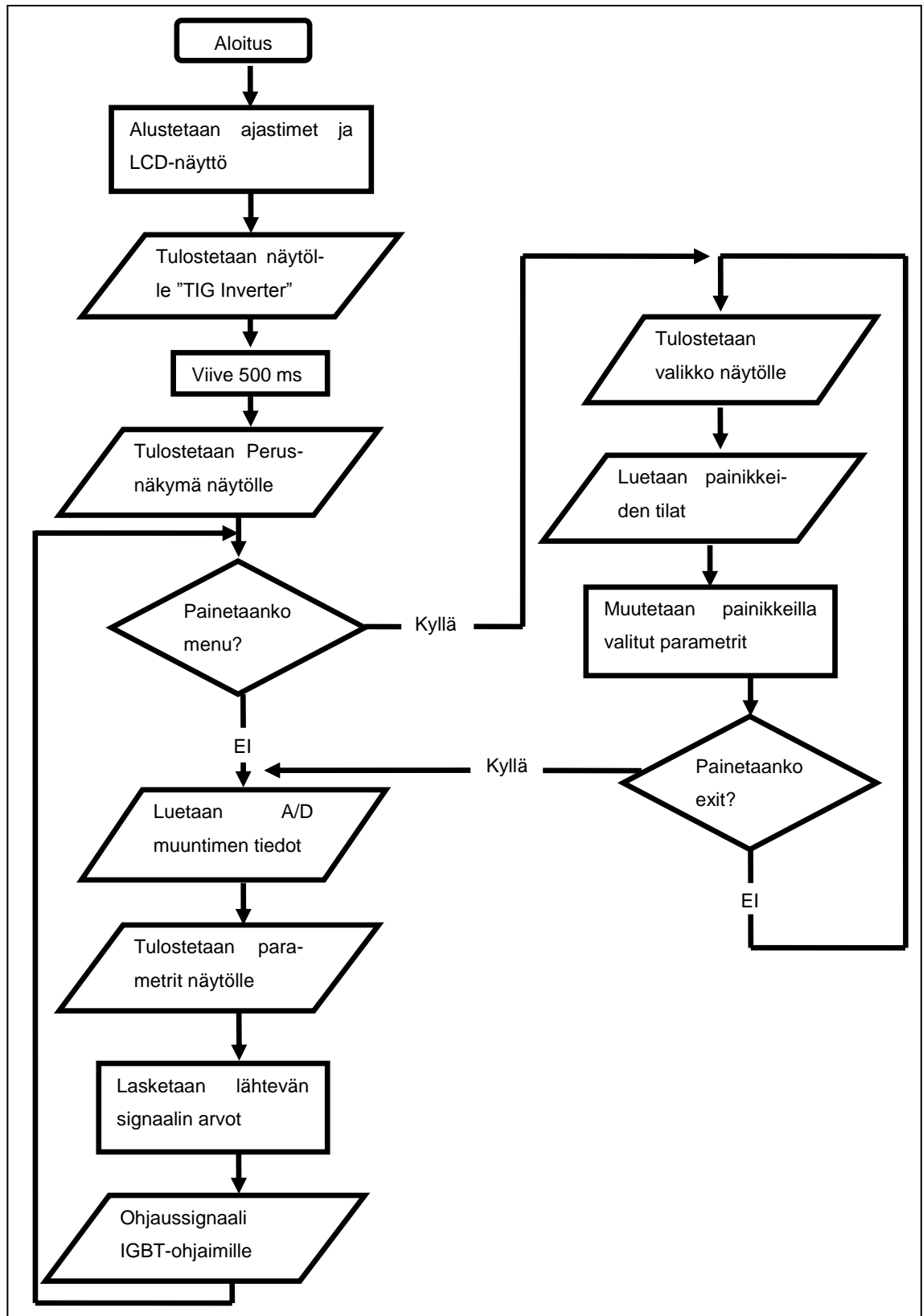
4.4 Virran- ja lämpötilanmittaus

Virranmittauksessa erotusvahvistimelta tuleva jännite luetaan A/D-muuntimen avulla ja laskutoimituksen avulla muutetaan mitattu jännite vastaamaan mitattua virtaa ampeereina. Virranmittauksen avulla pääohjelma laskee sopivan pulssisuhteen PWM-lähdölle. Jos virta on pienempi kuin haluttu, nostetaan pulssisuhdetta, ja jos virta on liian suuri, pulssisuhdetta pienennetään. Tavoitteena on saada aikaiseksi vakiovirta hitsaustapahtumaan. Virranmittauksen avulla on toteutettu myös ylivirtasuojia.

Pääohjelmassa lämpötila-anturilta tuleva jännite luetaan A/D-muuntimen avulla ja muutetaan sopivalla laskutoimituksella helpommin ymmärrettävään muotoon, eli Celsiusasteiksi. Ohjelmassa päätetään lämpötilan perusteella, tarvitseeko jäähdytyspuhallin käynnistää tai suljetaanko koko laitteen toiminta ylikuumenemisen takia. Jäähdytyspuhalltimen lämpötilaraja on säädettävissä laitteen valikon kautta.

4.5 Vuokaavio

Laitteen vuokaavio on esitetty kuvassa 11. Vuokaaviossa esitetään ohjelman toiminta yksinkertaistettuna, ja se toimii ohjelman koodauksen perustana. Vuokaaviosta voidaan havaita, että pääohjelma toimii jatkuvana silmukkana ja siitä poistutaan ainoastaan valikon käyttämisen ajaksi. Vuokaaviosta havaitaan myös, että valikon käytön aikana H-sillan ohjaussignaalit ovat poissa käytöstä.



Kuva 11. Vuokaavio. Vuokaaviossa on esitelty mikrokontrollerissa olevan ohjelman toiminta pääpiirteittäin.

5 TIG-hitsausvirtalähteen kotelointi

Laitteen käsittelyn ja testaamisen helpottamiseksi laitteelle rakennettiin kotelo. Koteloa tarvitaan myös testauksessa, koska laitteen jäähdytyksen riittävyttä on tarkoitus testata ja kotelo on jäähdytyksen kannalta oleellinen osa laitetta. Kotelo on leveydeltään 310 mm, syvyydeltään 240 mm ja korkeudeltaan 400 mm. Kotelon runko on valmistettu 25 x 25 x 3 mm:n L-profiiliteräksestä hitsaamalla. Runkoon valmistettiin kiinnikkeet piirilevyjä, tuuletinta ja jäähdytyslevyä varten. Kotelon sivut on valmistettu 2 mm:n alumiinilevystä. Kotelosta haluttiin mahdollisimman tukeva, koska laite on tarkoitettu käytettäväksi vaativissa olosuhteissa. Tuuletin on asennettu imemään ilmaa suoraan jäähdytyslevyn läpi. Laitteen jäähdytysilman sisäänottoon on asennettu suodatinelementti estämään pölyn tunkeutuminen laitteeseen. Kotelon etulevyyn sijoitettujen painikkeiden, potentiometriä ja LCD-näytön paikkojen suunnittelun tavoitteena oli laitteen helpokäyttöisyys, myös hanskoja käytettäessä. Laite esitetään koteloituna kuvassa 12.



Kuva 12. Koteloitu laite.

6 TIG-hitsausvirtalähteen testaus

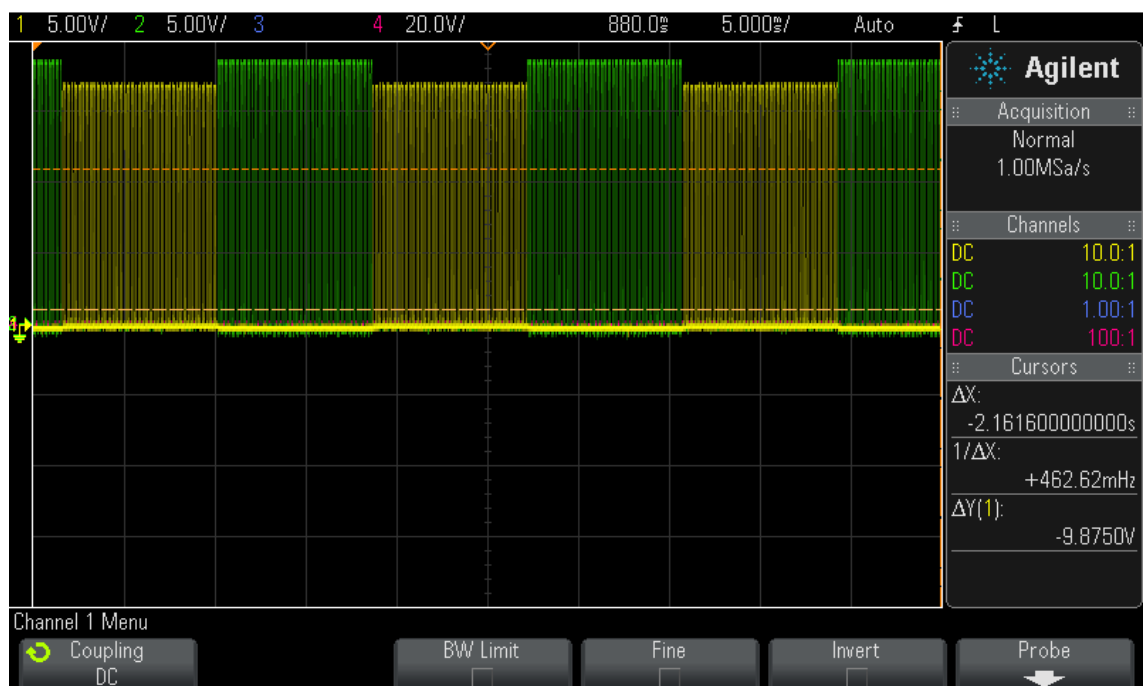
6.1 Testaussuunnitelma ja järjestelyt

Testaus aloitettiin laatimalla testaussuunnitelma(Liite). Mittaukset suoritettiin tehoelektrooniikan laboratoriossa. Virtalähteenä käytettiin 0 - 10 A:n virroilla säädettävää tasavirtalähdettä, jossa on virranrajoitustoiminto. Virranrajoituksen avulla voidaan estää testattavan laitteen tuhoutuminen mahdollisen vikatilanteen aikana. 10 - 20 A virroilla käytettiin säädettävää muuntajaa, jossa on integroituna tasasuuntaaja. Säättömuuntajassa ei ole virranrajoitustoimintoa. 20 A suuremmilla virroilla virtalähteenä käytettiin 24 V:n trukkiakustoa, jonka kapasiteetti on 375 Ah ja suurin purkausvirta 75 A. Kuormana käytettiin säätövastusvaunuja, joiden resistanssi on säädettävissä 0 - 100 Ω , ja maksimi virta on 25 A. Isoilla virroilla mitattaessa käytettiin useita vastusvaunuja rinnankytkettyinä. Oskilloskooppina käytettiin Agilentin digitaalista oskilloskooppia, jonka avulla mittauksien tulokset on helppo tallentaa USB-muistille. Oskilloskoopin tulot erotettiin mitattavasta kohteesta aktiivisten mittapäiden avulla. Ulostulon virtaa tarkkailtiin pienillä virroilla analogisella virtamittarilla ja suuremmilla virroilla Fluke-pihtiampeerimittarilla.

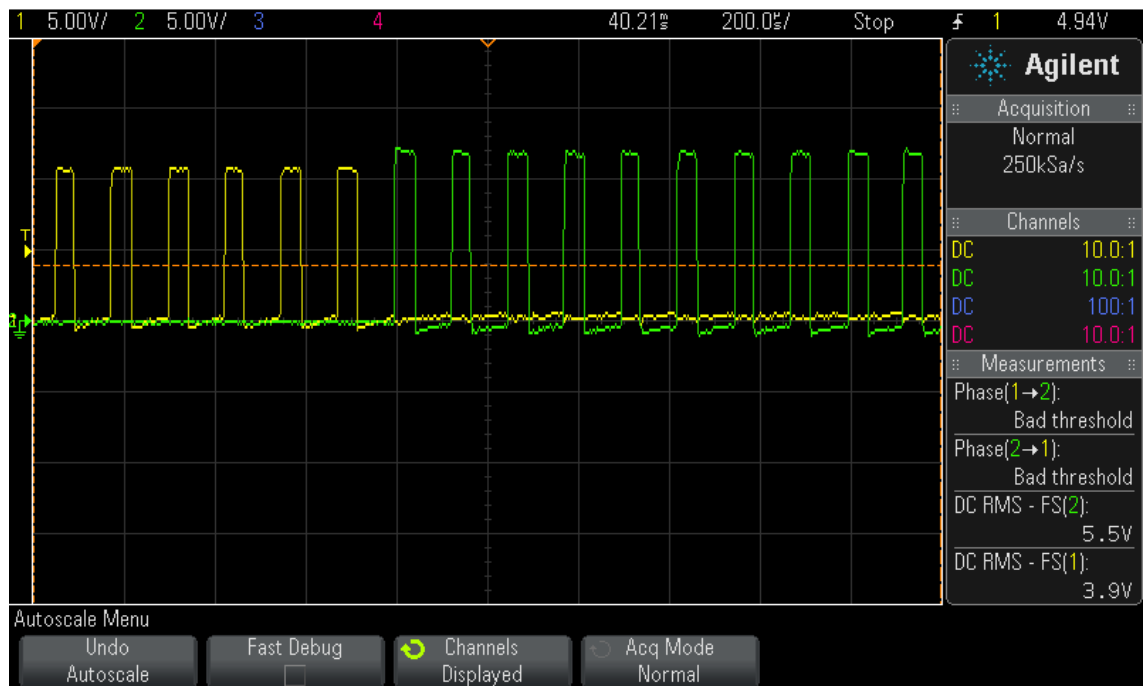
6.2 Ohjaussignaalit

Ohjaussignaaleja mitattiin suoraan ohjainkortilta, ohjainkortin ja pääkortin välisistä johtimista sekä IGBT-ohjaimilta IGBT:lle menevistä kuparivedoista. Kuvissa 13 ja 14 esitetään IGBT-ohjaimilta lähtevät signaalit. Mittauksissa varmistettiin ohjaussignaalien luotettava toiminta. Ensimmäisissä mittauksissa käytettiin ainoastaan ohjainkortin virtalähdettä, eikä pääkortin lähdeissä ollut kuormaa kytkettynä. Tällä tavoin voitiin tarkistella mahdollisia häiriöitä tai katkoksia ohjaussignaaleissa ilman vaaraa IGBT:n vaurioitumisesta. Kun ohjaussignaalien toiminnasta oli varmistuttu, kytkettiin pääkortille käyttäjänitteet ja kuorma. Kuormitusta lisättäessä tarkasteltiin mahdollisten häiriöiden muodostumista ohjaussignaaleihin. Mittausten aikana kokeiltiin myös muuttaa ulostulon tajuutta sekä pulssisuhdetta samalla tarkkaillen ohjaussignaalien käyttäytymistä.

Ilman kuormaa ohjaus oli häiriötön, mutta kuormaa lisätessä erilaiset häiriöt ohjauksessa lisääntyivät. Suurin häiriöiden aiheuttaja on nopeasti muuttuva kuorman virta, joka aiheuttaa jännitepiikkejä IGBT-ohjaimien käyttöjännitteeseen. Testauksessa kuitenkin havaittiin, että pienet jännitepiikit ohjainten käyttöjännitteissä eivät aiheuta vakavia toimintahäiriöitä. Pulssisuhteen ja taajuuden muutokset toimivat ongelmitta ja toimivat niille määritetyillä arvoilla.



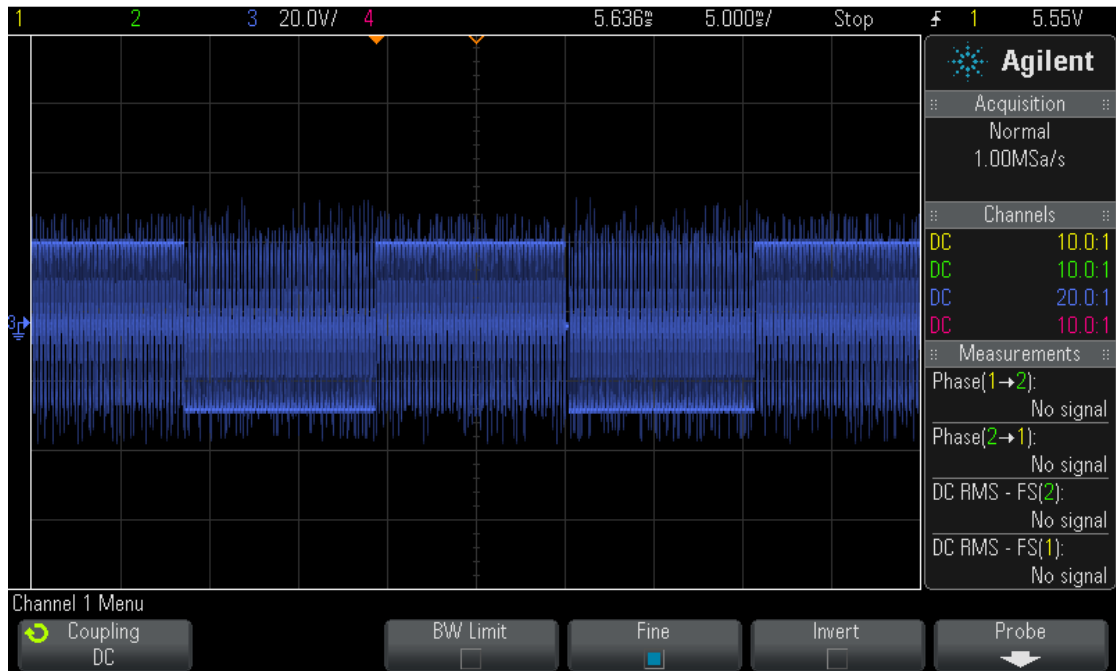
Kuva 13. IGBT-ohjaimilta lähtevät ohjaussignaalit pitkällä aikavälillä. Mittaushetkellä ulostulon virta on n. 5 A, eikä ohjaussignaaleissa ole häiriöitä.



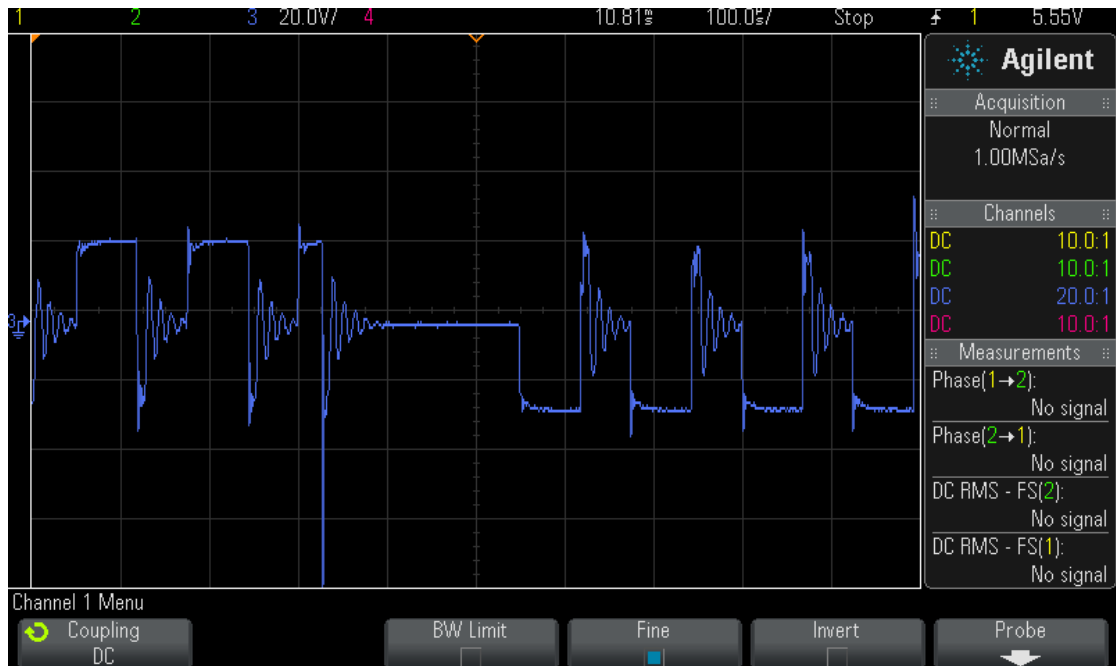
Kuva 14. IGBT-ohjaimilta lähtevät ohjaussignaalit lyhyellä aikavälillä. Kuvassa näkyy pulssinleveysmodulaation vaikutus signaaliin, sekä ns. *dead-time*-ohjauksen vaihtuessa H-sillan eri puolille.

6.3 Ulostuleva signaali

Ulostulevan signaalin tarkastelu aloitettiin kytkemällä ulostuloon sopiva kuorma ja säätämällä ulostulon virta mittaukseen sopivaksi. Testauksen aikana virtaa suurennettiin, kun kaikki mittaustulokset vaikuttivat hyviltä. Ensimmäiseksi tutkittiin ulostulevaa signaalia pitkällä aikavälillä (kuva 15). Laite oli säädetty tuottamaan vaihtovirtaa 50 Hz:n taajuudella ja 50 %:n pulssisuhteella. Mittauksessa havaittiin, että ulostulossa on säätöjä vastaava signaali, mutta signaalissa on huomattavan paljon häiriöitä. Seuraavaksi ulostuloa tutkittiin lyhyemmällä aikavälillä, joka esitetään kuvassa 16. Signaalissa havaitaan häiriöitä aina, kun jokin IGBT lopettaa johtamisen. Osa signaalin häiriöistä johtuu kuormassa olevasta induktanssista. Kuorman induktanssi aiheutuu säätövastusvaunuissa olevista vastuksista, jotka koostuvat pitkistä kierteellisistä vastuslangoista. Hitsaustapahtumassa induktanssia ei synny muusta kuin hitsauskaapeleista, koska valokaari on resistiivinen (2, s. 3). Häiriöitä voidaan vähentää, jos PWM-ohjauksen taajuutta lasketaan esimerkiksi 1 kHz:n.

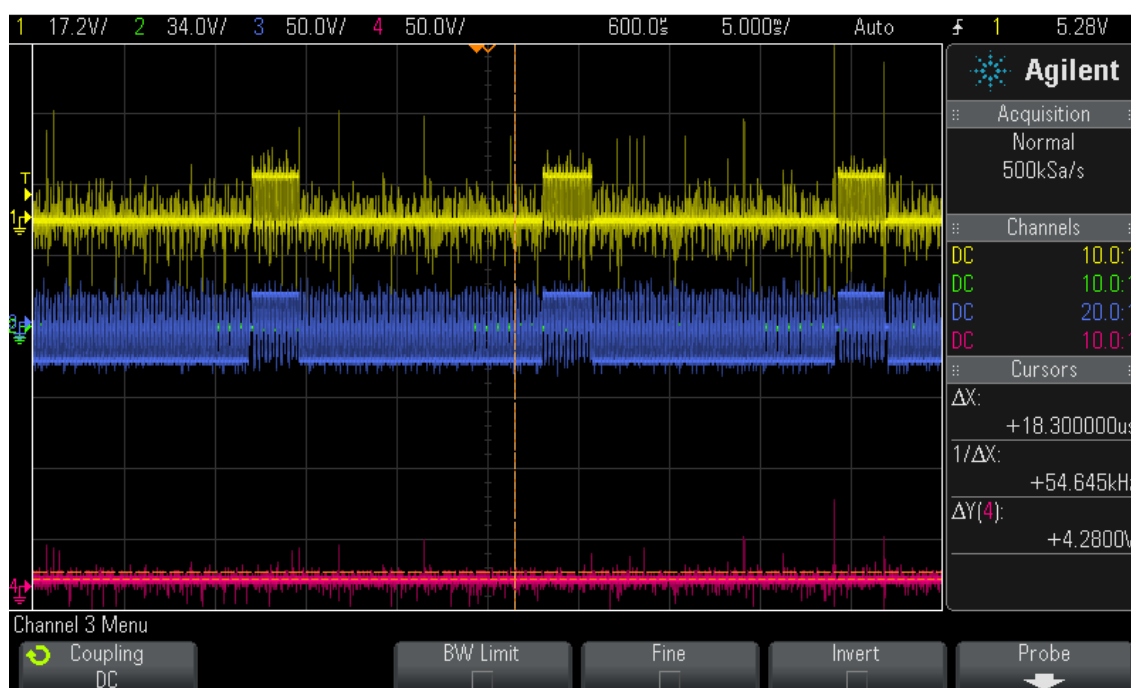


Kuva 15. Laitteen ulostulosignaali. Ulostulevan signaalin taajuus on 50 Hz ja jännite n. 50 Vpp. Signaalissa havaitaan häiriöitä, jotka vaikeuttavat varsinaisen signaalin tarkastelua.



Kuva 16. Laitteen ulostulosignaali tarkasteltuna lyhyemmällä aikavälillä. Signaalissa näkyy induktanssista johtuvia kytkentähäiriöitä. Myös ulostulossa näkyy selkeästi H-sillan *dead-time*, eli aika, jolloin kumpikaan H-sillan puolikas ei johda.

Testausta jatkettiin muuttamalla ulostulevan signaalin taajuutta ja pulssisuhdetta. Sää-
 töjen toimiminen halutulla alueella varmistettiin tutkimalla ohjaussignaalia ja ulostule-
 vaa signaalia samanaikaisesti. Kuvassa 17 esitetään ulostuleva signaali noin 20 %
 pulssisuhteella. PWM-ohjauksen toimintaa testattiin muuttamalla kuorman resistanssia
 ja säätämällä PWM-ohjauksen avulla virta takaisin mittauksessa käytettäviin arvoihin.
 Samassa yhteydessä tarkistettiin myös virranmittauksen toiminta, seuraamalla shuntti-
 vastuksen yli olevaa jännitettä ja vertaamalla sitä mikrokontrollerin A/D-muuntimen
 arvoihin. Virtamittaus toimi lineaarisesti koko mittauksissa käytetyllä virta-alueella. Käy-
 tössä olleiden mittausjärjestelyjen johdosta testaus pystyttiin suorittamaan 40 A:n vir-
 taan asti. Mittausjärjestelyjä tullaan kehittämään paremmiksi, jotta testaus voidaan suo-
 rittaa myös suuremmilla virroilla. Tehtyjen testien perusteella laite toimii hyvin ja kaikki
 säädöt toimivat halutulla tavalla.



Kuva 17. Pulssisuhteen vaikutus ulostulevaan signaaliin. Sinisellä viivalla on esitetty
 ulostulon signaali ja keltaisella viivalla on esitetty toinen H-sillan ohjaussignaaleis-
 ta.

6.4 Kuormituksen kesto

6.4.1 Jäähdytys

Testauksen aikana laitteen kuormituksen kestoa tarkkailtiin mittaamalla lämpötiloja eripuolilta jäähdytyslevyä ja IGBT:n pinnasta. Lämpötilat mitattiin käyttämällä Fluken valmistamaa infrapunälämpömittaria, jolloin lämpötilan mittaamiseen ei tarvita suoraa kosketusta mitattavaan kohteeseen. Taulukossa 2 esitetään testauksen aikana mitattuja lämpötiloja. Lämpötilamittaukset loppuvat 40 A:n kohdalla testausjärjestelyjen takia, jotka estivät testauksen suuremmilla virroilla. Mittaustuloksista voidaan päätellä jäähdytyksen oleva riittävä, koska lämpötilojen nousu ei ollut huomattavaa varsinkin, kun jäähdytystuuletin ei ollut vielä toiminnassa. Tuuletin on säädetty käynnistymään jäähdytyslevyn lämpötilan ollessa noin 70 °C.

Taulukko 2. Testauksen aikana jäähdytyslevystä mitattuja lämpötiloja. Mittauksen aikana ympäristön lämpötila oli n. 20 - 22°C ja jäähdytystuuletin ei ollut käynnissä.

Jäähdytyslevyn lämpötila (°C)				
Jännite (V)	Virta (A)			
	10	20	30	40
10	22,5	24,5	30,2	31,1
20	22,8	26,2	30,5	
30	25,0	28,7		
48	29,8	30,1		

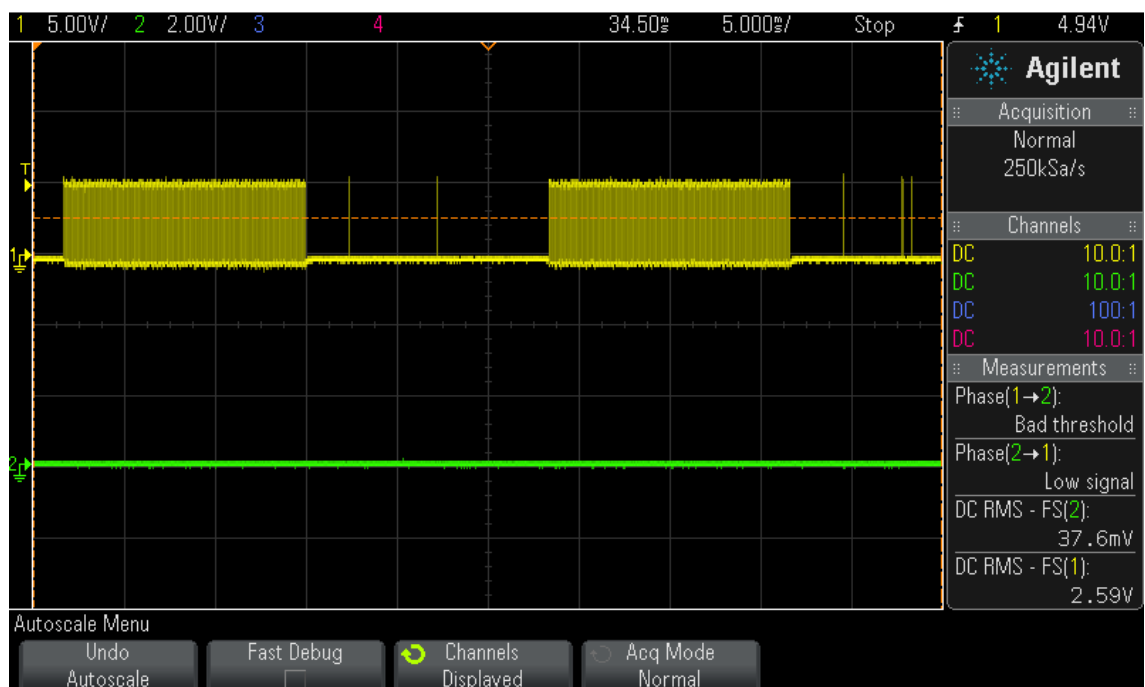
6.4.2 Piirilevyn kesto

Piirilevyn ja levyssä olevien kuparivetojen kestävyyttä arvioitiin silmämääräisesti ja lämpötilamittausten avulla. Jos piirilevy lämpenee liikaa, se alkaa tummua ja menettää ominaisuuksiaan. Piirilevyllä olevat kuparivedot saattavat irrota piirilevystä tai palaa poikki, jos niiden vetojen läpi kulkee liian suuri virta. Testauksen aikana piirilevyssä tai kuparivedoissa ei havaittu muutoksia, eikä kuparivetojen lämpötila noussut, vaikka virtaa lisättiin. Testausjärjestelyjen johdosta piirilevynkestoa ei pystytty testaamaan yli 40 A:n virroilla.

7 TIG-hitsausvirtalähteen testauksessa havaittujen vikojen korjaus

7.1 Häiriöt ohjaussignaaleissa

Ensimmäisissä testeissä havaittiin satunnaisia jännitepiikkejä H-sillan ohjaussignaaleissa. Kuvassa 18 esitetään jännitepiikkejä sisältävä ohjaussignaali. Jännitepiikit saattaisivat aiheuttaa H-sillan molempien puolikkaiden samanaikaisen johtamisen, joka aiheuttaisi H-sillassa olevien IGBT:n palamisen. Jännitepiikkien alkuperä saatiin jäljitettyä ohjaukselle, suoraan mikrokontrollerin lähtöön. Seuraavaksi ongelmaa jäljitettiin mikrokontrollerin ohjelmasta. Koodista selvisi, että mikrokontrollerin ulostulonasta jää kelluvaan tilaan silloin, kun ohjauksen pitäisi olla ohjattuna nollassi. Ongelma pystyttiin korjaamaan muuttamalla mikrokontrollerin ohjelmointia niin, että ohjataan ulostulonasta nollassi silloin, kun sitä ei tarvita. Ohjelmoinnin aikana vikaa ei havaittu, koska käytössä oli hitaampi ja epätarkempi oskilloskooppi signaalien tarkistamiseen.



Kuva 18. Jännitepiikkejä ohjaussignaaleissa. Yksittäiset piikit erottuvat selkeästi muusta signaalista.

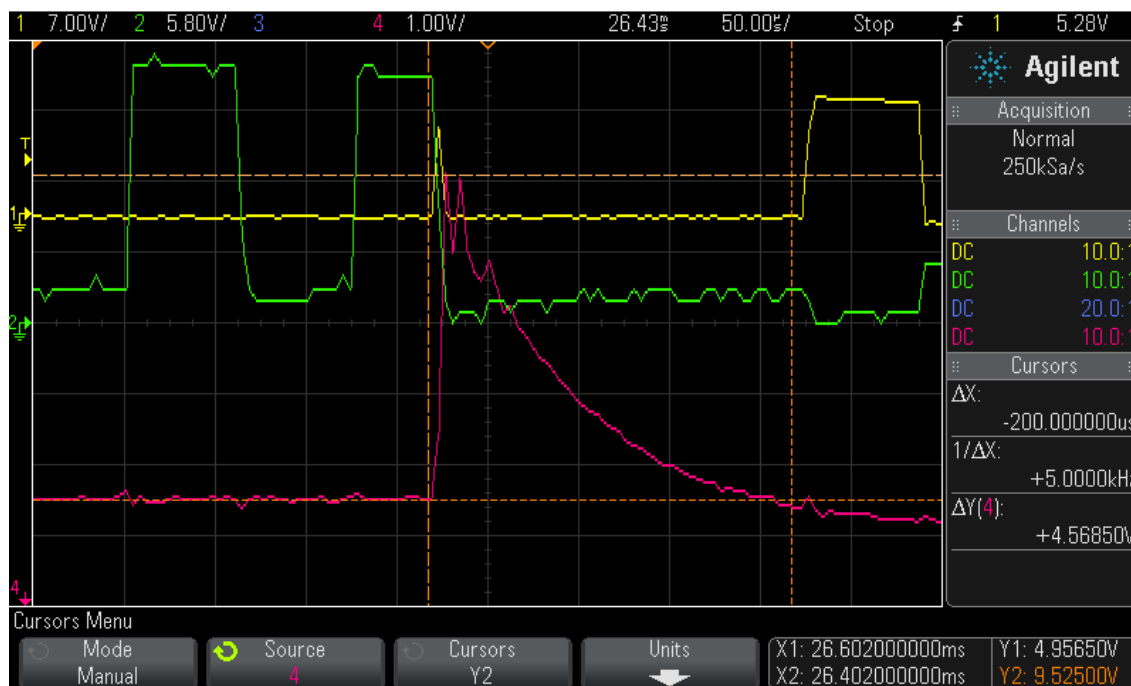
7.2 IGBT-ohjaimien hajoaminen

Testauksen aikana vioittui muutama IGBT-ohjain samalla, kun laitteen käyttöjännitettä nostettiin. Vikaa etsittiin tarkistamalla IGBT-ohjaimen käyttöjännitteet ja mikrokontrollereilla oleva ohjelma. Kaikki kuitenkin vaikutti olevan kunnossa. Seuraavaksi vikaa etsittiin IGBT-ohjaimien kytkennästä vertaamalla pääkortin piirikaaviota International Rectifierin julkaisemaan Application Noteen AN-978. Tässä Application Notessa kuvaillaan IGBT-ohjaimen kytkentä esimerkkejä. IGBT-ohjaimien vioittajaksi osoittautui piirikaavion suunnitteluvaiheessa väärin kytketty kondensaattori IGBT-ohjaimeen liittyvässä varauspumpussa. Kondensaattori oli kytketty laitteen ulostuloon, vaikka se piti olla kytkettynä alempien IGBT:n ohjaukseen. Kondensaattori aiheutti liian ison jännitteen IGBT-ohjaimelle, joka aiheutti ohjaimen tuhoutumisen. Vika korjattiin poistamalla väärin kytketyt kondensaattorit ja korjaamalla piirikaavion kytkentä oikeaksi. Vian korjaamisen jälkeen käyttöjännitteen noston ei havaittu vaikuttavan IGBT-ohjaimien toimintaan. (3, s. 25.)

7.3 Mikrokontrollerin toiminnan lamaantuminen

7.3.1 Vian etsintä

Testauksen aikana havaittiin mikrokontrollerin toiminnassa häiriöitä. Häiriöt ilmenivät LCD-näytön tyhjentymisenä, potentiometrien ja painikkeiden toimimattomuutena sekä H-sillan ohjauksen häiriönä. Häiriöiden aikana H-silta jumittui toimimaan vain toisella puolikkaalla, eli ulostulossa oli pulssinleveysmoduloitu tasavirta. Häiriöt alkoivat, kun jännitettä nostettiin yli 35 V tai laitteen läpikulkeva virta kasvoi yli 10 A. Häiriöiden alkuperää selvitettiin oskilloskoopin avulla tutkimalla laitteen lähdössä ja käyttöjännitteissä vaikuttavia jännitteitä. Häiriöiden aiheuttajaksi selvisi mikrokontrollerin käyttöjännitteessä olevat jännitepiikit. Jännitepiikit olivat suuruudeltaan noin 5 V, ja niiden kesto oli n. 200 μ s. Jännitepiikit ajoittuivat aina samalle hetkelle, kun jokin H-sillan osa vaihtoi tilaansa. Kuvassa 19 esitetään mikrokontrollerin käyttöjännitteestä mitattu jännitepiikki. Jännitepiikit pääsivät mikrokontrollerin käyttöjännitteeseen, koska ensimmäisessä versiossa pääkortilla ja ohjainkortilla oli käytössä yhteinen virtalähde.



Kuva 19. Mikrokontrollerin käyttöjännitteessä esiintyvä jännitepiikki. Kuvassa mikrokontrollerin käyttöjännite on esitetty violetilla viivalla ja H-sillan ohjaussignaalit on esitetty keltaisella ja vihreällä viivalla. Jännitepiikki näkyy katkoviivoilla rajatulla alueella ja se on suuruudeltaan 4,57 V.

7.3.2 Vian korjaus

Ensimmäisenä korjauksena jännitepiikkejä yritettiin poistaa suodattamalla käyttöjännitettä ohjainkortille sijoitettujen kondensaattorien ja zener-diodien avulla. Ohjainkortille tuleviin johtimiin lisättiin ferriittisuojia. Edellä mainituilla toimenpiteillä ei kuitenkaan ollut merkittävää vaikutusta ohjainkortintoimintaan. Seuraavana korjauksena kokeiltiin tuoda ohjainkortille käyttöjännitteet erillisestä virtalähteestä. Erillisen virtalähteen avulla mikrokontrolleri toimi jo huomattavasti paremmin, ja suurin osa häiriöistä oli saatu poistettua. Kuitenkin vielä pieniä häiriöitä muodostui levyille ja syyksi havaittiin mikrokontrollerin ohjausnastan yhteys pääkortille.

Häiriöiden minimoimiseksi päätettiin ohjainkortti suunnitella uudelleen ja lisätä laitteeseen erillinen virtalähdekortti. Ohjainkortille päätettiin vaihtaa optoerottimet aiempien transistorien tilalle. Optoerottimien avulla mikrokontrolleri voidaan erottaa galvaanisesti pääkortista, koska optoerottimessa signaali muutetaan valodiodin avulla valoksi, jonka avulla ohjataan fototransistoria. Samalla ohjainkortti muutettiin toimimaan erillisellä

virtalähteellä, koska edellinen versio sai käyttöjännitteensä pääkortilta. Virtalähdekortille sijoitettiin erilliset muuntajat ohjainkortille ja virtamittaukselle. Virtalähteeseen lisättiin zener-diodit estämään suuria jännitepiikkejä sekä lisättiin isot kondensaattorit tasamaan jännitettä. Molempien korttien maatasot eristettiin laitteen rungosta, joka toimii maadoituksena pääkortille.

7.3.3 Korjausten vaikutukset

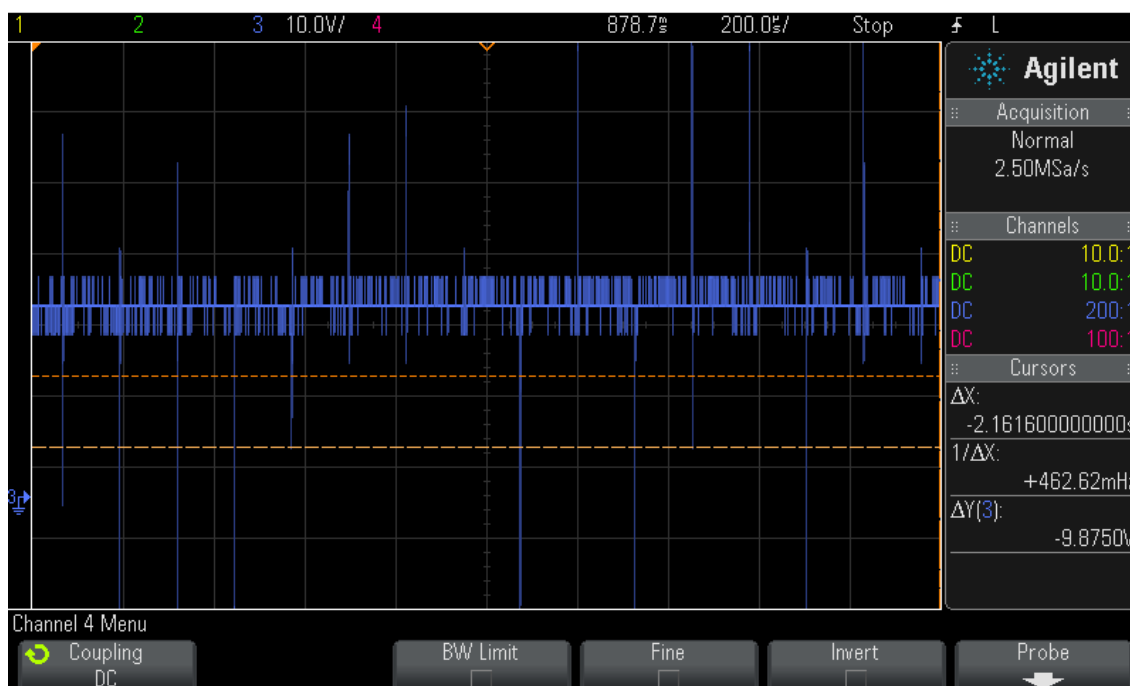
Uusien levyjen suunnittelun ja valmistamisen jälkeen korjausten onnistumista kokeiltiin suorittamalla testit uudestaan alusta alkaen. Uusissa testeissä havaittiin, että suurimmat häiriöt olivat poistuneet ja mikrokontrolleri toimi huomattavasti varmemmin. Muutaman kerran testauksen aikana LCD-näytöltä hävisi tietoa, mutta tämä pystytään ratkaisemaan lisäämällä ajoittainen näytön virkistys pääohjelmaan. Koska korjaukset vaikuttivat onnistuneilta, testausta voitiin jatkaa suuremmilla virroilla.

7.4 Suotokondensaattorien kuumeneminen

Siirryttäessä testaamaan suuremmilla virroilla havaittiin laitteen sisääntulossa olevien elektrolyyttikondensaattorien voimakasta kuumenemistä. Kondensaattoreiden läpi kulki niin suuri virta, että kondensaattoreille kulkevien $1,5 \text{ mm}^2$:n johtimien eristeet sulivat ja johtimet pääsivät koskettamaan toisiaan aiheuttaen oikosulun ja johtimien katkeamisen. Kondensaattorien tarkoituksena on tasata sisääntulossa vaikuttavaa jännitettä.

Kondensaattoreiden kuumenemisen selvittäminen aloitettiin tarkistamalla kondensaattorien kytkentä ja jännitekesto. Koska kondensaattorien kytkentä oli oikein ja 160 V jännitteen kesto on riittävä, aloitettiin vian haku oskilloskoopin avulla. Laitteen toiminnan aikana sisään tulevassa jännitteessä on havaittavissa n. 10 V hurinajännite. Hurinajännite esitetään kuvassa 20. Hurinajännite aiheutuu, kun kuormaan ohjataan suuria virtoja pulssinleveysmodulaation avulla 10 kHz :n taajuudella. Tästä voidaan päätellä, että kondensaattoriin vaikuttaa n. 10 kHz :n taajuudella oleva vaihtojännite. Korkean taajuuden vaikutuksesta kondensaattorin impedanssi on hyvin pieni, eli vaihtovirta kulkee hyvin kondensaattorin läpi. Kondensaattorien kuumeneminen aiheutuu kondensaattorien sisäisestä vastuksesta. Myös johtimet sulivat, koska ainoat virtaa rajoittavat tekijät olivat kondensaattorien sisäinen vastus ja kondensaattorin impedanssi.

Kondensaattoreiden kuumenemisen estämiseksi voidaan kondensaattorit vaihtaa suurempia virtoja kestäviin malleihin. Toisena mahdollisuutena pulssinleveysmodulaation taajuutta voidaan laskea, jolloin kondensaattorien impedanssi suurenee ja kondensaattorien läpi kulkeva virta pienenee. Samalla myös muut laitteen aiheuttamat häiriöt pienenisivät.



Kuva 20. Laitteen käyttöjännitteeseen muodostunut hurinajännite. Hurinajännite on suuruudeltaan noin 10 V.

7.5 IGBT:n tuhoutuminen

Testien aikana muutamia IGBT:ta tuhoutui ilman ilmeisiä syitä niiden hajoamiselle. Tuhoutuessaan IGBT halkesi kyljestään ja aiheutti IGBT:ssa olevien nastojen oikosulkeutumisen keskenään. IGBT-ohjaimen tuhoutuminen aiheutti myös IGBT-ohjaimen hajoamisen. Tuhoutuneet IGBT:t olivat yksittäisiä vaikka IGBT:ta on neljä kappaletta rinnan kytkettyinä. Eräänä epäilyksenä IGBT:n tuhoutumiselle on IGBT:n epätasalaatuisuus, jolloin heikommät yksilöt tuhoutuvat helpommin. Toisena vaihtoehtona on häiriöiden johtuminen IGBT:n hilalle, joka aiheuttaa IGBT:n muuttumisen johtavaksi ja aiheuttaen häiriön H-sillan toiminnassa.

8 Yhteenveto

Insinööriyön tavoitteena oli saada TIG-hitsausvirtalähde ohjelmoitua ja testattua. Ohjelmoinnissa tavoitteena oli saada luotua toimiva ohjaus H-sillalle ja helppokäyttöinen käyttöliittymä. Testauksessa tavoitteena oli löytää mahdollisia vikoja laitteesta ja saada laitteen kestävyys kokeiltua.

TIG-hitsausvirtalähteen perustana käytettiin Computer-Aided Design in Electronics -kurssilla suunniteltuja ja valmistettuja ohjainkorttia ja pääkorttia. Ohjainkortilla olevaan mikrokontrolleriin suunniteltiin ja kirjoitettiin ohjelma C-kielellä. Ohjelman suunnittelussa kiinnitettiin huomiota ohjauksen varmaan toimintaan ja hitsausparametrien helppoon säätämiseen.

Laitteen testauksessa keskityttiin testaamaan laitteen ominaisuuksia ja virrankestoa. Testausta varten laite koteloitiin sekä siihen asennettiin jäähdytyslevy ja tuuletin. Laitteen toimintaan liittyviä signaaleja tarkasteltiin digitaalisen oskilloskoopin avulla. Testauksessa tarkkailtiin myös jäähdytyksen toimintaa. Testaus suoritettiin Metropolia AMK:n tehoelektronikan laboratoriossa. Tehoelektronikan laboratoriossa laite voitiin testata kunnollisilla mittalaitteilla, sopivalla kuormalla ja virtalähteellä.

Testauksen aikana laitteesta löytyi muutamia vikoja, joiden aiheuttajia selvitettiin ja korjattiin. Suurimpana ongelmana olivat häiriöt ohjaus- ja ulostulosignaaleissa. Häiriöiden syyksi paljastui kuormana käytetyt vastusvaunut. Häiriöiden välttämiseksi laitteen ohjainkortti suunniteltiin uudelleen ja erotettiin galvaanisesti muusta laitteesta. Uuden ohjainkortin avulla häiriöt vähenivät huomattavasti ja laitteen toimintavarmuus parani.

TIG-hitsausvirtalähde saatiin toimivaksi ja hitsausparametrien säädöt vaikuttivat halutulla tavalla. Laitteen ohjelma toimi ongelmitta ja asetusten muuttaminen oli helppoa. Myös laitteen jäähdytys todettiin riittäväksi. Testauksen aikana haastavaksi osoittautui sopivan virtalähteen ja kuorman löytäminen, koska testaukseen tarvitaan suuria virtoja. Testaukseen käytetyllä laitteistolla pystyttiin mittaukset suorittamaan 40 A:n virtaan asti. Tulevaisuudessa testausjärjestelyitä kehitetään, jotta laite pystytään testaamaan mahdollisimman suurella virralla. TIG-hitsausvirtalähde tullaan testaamaan huolellisesti ennen laitteen käyttöönottoa. Laitteen ohjelmistoa tullaan kehittämään, kun saadaan käytönaikaista tietoa ohjelman toimivuudesta. Laitteeseen ja sen ohjelmistoon lisätään myös uusia ominaisuuksia, jos niille havaitaan tarvetta.

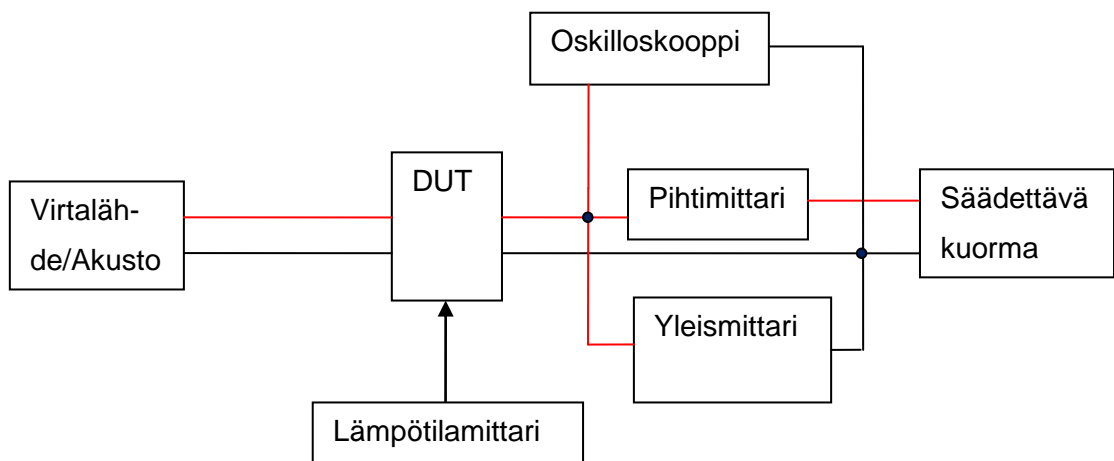
Lähteet

- 1 ATmega32A datasheet. 2014. Verkkodokumentti. Atmel Corporation.
<http://www.atmel.com/Images/Atmel-8155-8-bit-Microcontroller-AVR-ATmega32A_Datasheet.pdf>. Luettu 11.2.2015.
- 2 APPLICATION NOTE AN-1045, AC TIG Welding: Output Inverter Design Basics. 2003. Verkkodokumentti. International Rectifier Corporation.
<<http://www.irf.com/technical-info/appnotes/an-1045b.pdf>>. Luettu 12.3.2015.
- 3 Application Note AN-978, HV Floating MOS-Gate Driver ICs. 2007. Verkkodokumentti. International Rectifier Corporation.
<<http://www.irf.com/technical-info/appnotes/an-978.pdf>>. Luettu 12.3.2015

Testaussuunnitelma

Laitteen testaus aloitetaan pienillä jännitteillä ja virroilla. Jännitelähteenä käytetään pienillä jännitteillä ($U < 30$ V) säädettävää jännitelähdettä, suuremmilla jännitteillä ($U > 30$ V) akustoa. Kuormana käytetään säätövastuksia rinnankytkettyinä tarvittava määrä. Ulostulosignaalista mitataan RMS-jännite yleismittarilla, virtapihtiampeerimittarilla ja signaalin muotoa seurataan oskilloskoopilla. Laitteen lämpenemistä mitataan lämpömittarilla ja samalla tarkistetaan laitteen sisäisen lämpötila-anturin toiminta.

Laitteen kuormitusta lisätään mittausten edetessä, jos edelliset mittaukset näyttävät hyviltä. Kuormitusta lisättäessä tulee huomioida virtalähteen ja kuorman maksimi tehonkesto. Esimerkiksi testaukseen käytettävien akkujen maksimi purkausvirta on 75 A.



Kuva 1. Laitteen testauksen toteutus.