

IGB-TRANSISTORIN OMINAISUUDET JA TESTAUS

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU

Tietotekniikka

Tietokone-elektroniikka

Opinnäytetyö

Kevät 2007

Jarno Paloniitty

Lahden ammattikorkeakoulu
Tietotekniikan koulutusohjelma

PALONIITTY, JARNO: IGB-transistorin ominaisuudet ja testaus

Tietokone-elektroniikan opinnäytetyö, 51 sivua, 16 liitesivua

Kevät 2007

TIIVISTELMÄ

Tässä opinnäytetyössä käsitellään IGBT-transistorin ominaisuuksia sekä määritellään IGBT-moduulien testauslaitteisto. Laitteisto on suunniteltu ja tehty kesän 2006 aikana lahtelaisella hitsauskonevalmistajalla Kemppi Oy:llä. Työn sisältöön kuului laitteen suunnittelu, valmistus ja testaus. Työ kuuluu yrityssalaisuuden piiriin, joten kirjallinen osuus saattaa olla puutteellinen joidenkin aineistojen kohdalla. Pohjana uudelle laitteistolle on aikaisemmin rakennettu prototyyppi.

Työssä perehdytään IGB-transistorin ja sen suojadiodin tärkeimpiin ominaisuuksiin, selvitetään mistä ne johtuvat ja miksi eri ominaisuuksia mitataan ennen tuotteen asennusta lopputuotteeseen. Testauslaitteen kannalta perehdytään mittaus-elektroniikkaan ja selvitetään mittauksen periaatteet tarpeellisin osin. Elektroniikan pohjalta toteutetaan uusi mittauslaitteisto. Lisäksi perehdytään MOSFET-transistorien ESD-suojaukseen teoreettisesti sekä esitetään ESD-suojausratkaisut rakennetusta testauslaitteistosta.

Lopuksi tuodaan julki testauslaitteiston toteutuksen onnistuminen, päätelmät IGBT-testauksesta ja sen vaativuudesta sekä opinnäytetyön hyödyllisyys Kemppi Oy:lle työn teettäjänä. Laitteisto toimii suunnitellusti ja on Kempin tuotannossa päivittäisessä käytössä.

Asiasanat: IGBT, testaus, ESD

Lahti University of Applied Sciences
Faculty of Technology

PALONIITTY, JARNO: Features and testing of IGB transistors

Bachelor's Thesis in Computer Electronics, 51 pages, 16 appendices

Spring 2007

ABSTRACT

This Bachelor's thesis deals with the features of IGBT and how to test them. The testing equipment has been designed at Kemppi Oy, a famous welding machine supplier. The basis of the testing equipment was an earlier prototype developed by Kemppi, and because of that a part of this Bachelor's thesis is confidential.

The thesis examines the main features of IGB transistors. The features of protection diodes are also investigated. Then the thesis describes why and how the features are measured. Measurement electronics and the principles of testing equipment are also described. Based on this, the data acquisition was designed. ESD is the most common problem of MOSFET electronics components. ESD protection is described in theory and the ESD solutions of the testing equipment are presented.

At the end of the thesis the results are described. The thesis analyzes how the built measurement device suits Kemppi's production and how it works. The usefulness of the testing equipment for IGBT module testing is discussed.

Keywords: IGBT, test equipment, ESD

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 TYÖN LÄHTÖKOHDAT	3
2.1 Yritys ja toimiala	4
2.2 Markkinatutkimus ja eri valmistusvaihtoehdot	4
2.3 Testilaitteen toiminnot.....	5
2.4 Toiminnalliset vaatimukset	5
2.5 Aikataulu ja organisaatio.....	6
3 IGB-TRANSISTORIN MITTAUS	7
3.1 Johdanto.....	7
3.2 IGBT-moduulien testaus	10
3.3 Mittauselektroniikka.....	18
4 TESTAUSLAITTEISTON MÄÄRITTELY	22
4.1 Päätasen kuvaus laitteistosta	22
4.2 Testauskäyttöliittymä	24
5 LAITTEISTON SÄHKÖSUUNNITTELU	26
5.1 Tiedonkeruujärjestelmän rajapintamäärittely.....	26
5.2 Analogiaelektroniikan vaatimukset tiedonkeruujärjestelmältä	29
6 MEKANIikka	33
6.1 Keskus ja laitteiden sijainti.....	33
6.2 Lämpöalustan lämpötilan ohjaus	35
6.3 Työturvallisuus	37
6.4 Järjestelmän testaus ja sen eteneminen	37
7 ESD SUOJAUS JA TOTEUTUS TYÖYMPÄRISTÖSSÄ	39
7.1 Staattinen sähkö.....	39
7.2 ESD-suojaus	40
7.3 ESD-suojauksen toteutus.....	41
8 OHJELMAN MÄÄRITTELY	43
8.1 Testausohjelman käyttöliittymä	43
8.2 Loki.....	44
8.3 Ohjelman rakenne.....	46
9 YHTEENVETO	48

LÄHTEET	50
LIITTEET	52

KÄYTETYT LYHENTEET

AD	analog to digital
CAD	computer-aided design
DA	digital to analog
DAQ	data acquisition
ESD	electrostatic discharge
GPIB	general purpose interface bus
IGBT	insulated gate bipolar transistor
I/O	input output
MOSFET	metal-oxide-semiconductor field-effect transistor
PWM	pulse-width modulation
TFT	thin film transistor
USB	universal serial port
VAC	vaihtojännite
VDC	tasajännite

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö käsittelee IGBT-testauslaitteiston suunnittelun ja toteuttamisen lahtelaiselle hitsauskonevalmistajalle Kemppi Oy:lle. Samalla käsitellään aiheeseen liittyen ESD-ongelmia ja mittauselektroniikkaa, joka oli pääosin sama kuin jo aikaisemmin tehdyssä prototyypilaitteessa.

Kempin hitsauskoneet on nykyisin ohjattu elektronisesti. Tarkkaan ja laadukkaaseen hitsauksen hallintaan tarvitaan digitaalisesti ohjattava puolijohde, joka pystyy ohjaamaan isoja tehomääriä suurilla jännitteillä ja virroilla. Hitsauskoneissa on tyypillisesti suuret tehot, joita pitäisi ohjata portaattomasti. Tähän tarkoitukseen nykyajan hitsauskoneissa käytetään IGB-transistoria.

IGB-transistoreja on monenlaisiin tarkoituksiin. Tässä opinnäytetyössä käsiteltävässä testauslaitteessa testataan IGBT-moduuleita diskreettien IGBT:n sijaan. Yhdessä moduulissa on useita IGB-transistoreita samassa kotelossa suojadiodeineen. Moduuleilla hallitaan Kempin suurempien hitsausmuuntajamallien hitsausvirtoja.

IGBT-moduuli pohjautuu MOSFET-tyyppiseen puolijohdetekniikkaan sekä tavalliseen bipolaariseen transistoritekniikkaan. Molemmista tekniikoista on saatu hyvät ominaisuudet yhdistettyä yhteen komponenttiin. Kyseessä on eristehilatransistorityyppi, joka on hyvin herkkä staattiselle sähkölle. Tästä syystä perehdytään myös staattisen sähkönsyntyyn.

Testauslaitteiston suunnittelu ja toteutus kuului olennaisena osana koko opinnäytetyöprojektiä. Testauslaitteisto esitellään ja sen tekniikka sekä ratkaisut tuodaan esille seikkaperäisesti. Laitteisto vaatii tarkkaa suunnittelua sekä mekaanisesti että sähköisesti. Mittauslaitteiston tekeminen on aina vaativaa, etenkin kun kyseessä on nopeat sähköiset ilmiöt.

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutustua prototyypilaitteen tehoelektroniikkapohjaiseen IGBT-testauselektroniikkaan, toteuttaa sen pohjalta tietokoneohjattu mit-

tausjärjestelmä ohjelmisto- ja käyttöliittymäsuunnitteluineen. Samalla käsitellään staattisen sähkön syntyä. Pääosassa työtä on sähkösuunnittelu, mekaaninen suunnittelu ja näiden sovittaminen jo olemassa olevaan mittauselektronikkaan käytännöllisen lopputuloksen saamiseksi.

2 TYÖN LÄHTÖKOHDAT

Nykyaikaiset hitsauskoneissa käytetyt virtalähteet pohjautuvat hakkuritekniikkaan eli elektroniikkaohjattuihin suuritehoisiin puolijohdekomponentteihin. Kempin hitsausvirtalähteissä käytetään suuritehoisia IGBT-moduuleita ohjamaan virtaa. IGB-transistori soveltuu erinomaisesti hitsausvirtalähteisiin pienen ohjaustehonsa, pienen tehohäviön ja suuren virtakeston ansiosta.

IGBT moduuli on yksi kalleimpia elektroniikkakomponentteja virtalähteissä ja samalla se on hyvin herkkä vioittumaan väärin käsiteltäessä. Lisäksi IGBT-moduulin ominaisuudet pitää olla Kempin tarkoin määritettyjen rajojen sisällä. Kemppi pyrkii hitsauslaitteistossaan mahdollisimman hyvään laatuun ja toimintavarmuuteen. Tästä syystä Kempillä panostetaan erittäin voimakkaasti myös testauslaitteistoon ja tuotteen lopputestauksen laatuun.

Tehopuolijohdekomponentit testataan suurelta osin ennen komponenttien asentamista. Testauslaitteistoon kuuluu mm. dioditestauslaite ja kaksi IGBT-moduulitestauslaitetta erilaisille moduulityypeille, joista toinen on prototyyppi. Prototyyppi on tehty moduulien testaukseen väliaikaisesti, jotta sen testauselektroniikka ja mittauslaitteisto saataisiin määritettyä varsinaiseen tulevaan testauslaitteistoon.

Lähtökohtana on rakentaa automaattinen testauslaite käsikäyttöisen prototyypin tilalle. Laitteistomäärittäminen tehdään prototyypin hyväksi havaitun mittauselektronikan ja valitun tiedonkeruujärjestelmän pohjalta. Lisäksi otetaan mahdollisimman hyvin huomioon työn ergonomia ja turvallisuus. Testauslaitteisto saadaan nykyaikaistettua Kempin testauslaittekannan mukaiseksi ja testauslaatu sekä laadun seuranta saadaan halutulle tasolle.

2.1 Yritys ja toimiala

Kemppi Oy on hitsauskoneita valmistava perheyritys. Yritys valmistaa korkealatuista hitsauskoneita ja niiden oheislaitteita. Kemppi Oy on perustettu vuonna 1949, ja vuonna 2006 sen liikevaihto oli yli 120 miljoonaa euroa. Kansainvälisen myynnin osuus on noin 90 %. Yhtiön pääkonttori, tuotekehityksikkö ja valmistusyksiköt sijaitsevat Suomessa. Kempillä on tytäryhtiöitä 13 maassa, mm. Pohjoismaissa, suurimmilla Keski-Euroopan markkina-alueilla sekä Australiassa. Henkilöstöä on yli 700.

Lopputuotteet liittyvät hitsauslaitteisiin ja niiden varusteisiin. Tuotteet jakaantuvat seuraavasti:

- MIG/MAG-hitsausjärjestelmät
- puikkohitsaus
- robottihitsaus
- TIG-hitsaus
- laitteiden lisävarusteet.

2.2 Markkinatutkimus ja eri valmistusvaihtoehdot

Varsinaista markkinatutkimusta projektin alussa ei toteutettu. Testauksen elektronikan valmistuttaminen ulkopuolella tarkoittaa sitä, että ei voida varmistua täysin testauksen luotettavuudesta ja sen soveltuvuudesta Kempin omiin tarpeisiin. Toiseksi tietotaito IGB-transistorien testaukseen on melko vaativaa.

Vaihtoehtoisena toteutuksen oli myös teettää pelkkä mekaniikka laitetoimittajalla ja testuselektroniikka olisi tehty Kempillä. Tarjouksia mekaniikan teettämiseksi teetettiinkin, mutta niiden käytännön ratkaisut eivät soveltuneet Kempin tarpeisiin. Lisäksi mekaniikan teettäminenkin olisi ollut melko kallista.

Lopulta päädyttiin tekemään koko laite itse mekaniikasta testuselektroniikkaan, sillä tietotaito mekaniikkaan ja elektroniikkaan löytyy talon sisältä. Työn sopivan luonteen ja vaativuuden vuoksi toteutus teetettiin Kempin sisällä opinnäytetyönä.

2.3 Testilaitteen toiminnot

Päätoiminnot sisältävät automaattiseen mittaukseen liittyvät sähköiset toiminnot.

Päätoiminnot

- Mittaa IGBT:n kytkentähäviöt, vuotovirran ja suojadiodin estosuuntaisen päästöhäviön automaattisesti.
- Hyväksyy tai hylkää IGBT:n ennalta määrättyjen raja-arvojen mukaan.
- Jokaisen transistorin arvot näytetään mittauksen aikana tai sen jälkeen mittauslaitteistolla.
- Sarjan mittausarvot tallennetaan myöhemmin analysoitavaksi.
- Tarvittaessa saadaan tallennettua mittausarvot yksilötasolla muistiin.

Tukitoimintoihin kuuluvat mekaaniset toiminnot, joita ohjataan sähköisesti. Tukitoiminnot eivät ole suoranaisesti mittaukseen liittyviä toimintoja.

Tukitoiminnot

- Käyttäjän antama IGBT siirretään koneellisesti mittausalustaan sekä mittauksen jälkeen tuodaan IGBT takaisin käyttäjälle.
- IGBT-alustan lämpötilan ohjaus (125° C).

2.4 Toiminnalliset vaatimukset

Laitteelle määriteltiin toiminnalliset vaatimukset ennen suunnittelua. Suunnittelun pohjana on vaatimukset, jotka laitteen pitää täyttää. Vaatimusluettelo sisältää sähköisiä ja mekaanisia vaatimuksia.

1. Testauksen laatutaso paranee.
2. Laitteen toimintavarmuus saadaan paremmalle tasolle.
3. Mittausarvot saadaan tallennettua.
4. Testausturvallisuus paranee.

5. Saadaan mittaustapahtuma automaattiseksi, jolloin testaus testaajan näkökulmasta helpottuu ja luotettavuus paranee.
6. Laite on muunneltavissa vastaaville uudemmillä tuotteilla sopivaksi.
7. Mekaaniset liikkeet tehdään paineilmasyntereillä, joita ohjataan sähköisesti.
8. Laitteisto vastaa tekniikaltaan muita Kempin käyttämiä testilaitteistoja.
9. Laitteen dokumentointi saadaan parannettua ja päivitettyä.

2.5 Aikataulu ja organisaatio

Projekti aloitettiin 15.5.2006 ja tavoiteaikataulu valmistumiselle on vuoden 2006 loppuun mennessä. Prototyyppi toimii moduulien testauslaitteistona kunnes uusi laite valmistuu.

Projektin ohjaajana toimii osastopäällikkö Matti Jokinen Kempiltä ja testauslaite-suunnittelijana Jarno Paloniitty. Projektin vastuullisena oppilaitoksen edustajana toimii Veli Kontra ja hän on samalla opinnäytetyön valvoja. Työ toteutetaan kesätyöissä Kempillä ja osin talven 2007 aikana.

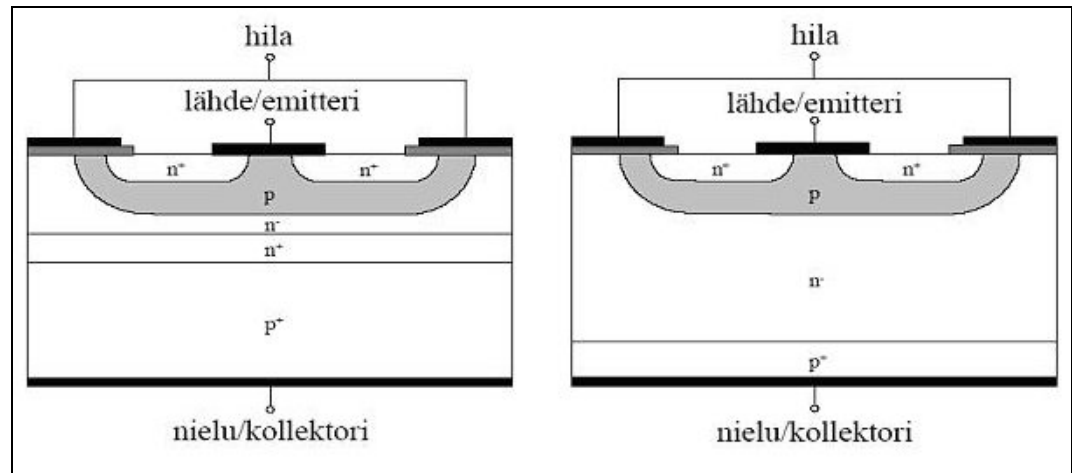
3 IGB-TRANSISTORIN MITTAUS

3.1 Johdanto

IGB-transistori tuli markkinoille 1980-luvun puolivälissä, josta se on kehittynyt ja vakiinnuttanut asemansa suurien virtojen ohjaamiseen suurilla jännitteillä. Soveluksissa, joissa tarvitaan tarkkaa tehon ohjausta, IGBT on erinomainen vaihtoehto ja onkin yksi käytetyimmistä puolijohdekytkimistä tehoelektronikassa. Tässä luvussa selvitetään lyhyesti IGB-transistorin olennaiset toiminnalliset ja käyttöön liittyvät asiat.

IGB-transistorin esittely

IGBT pohjautuu MOSFET-tekniikkaan ja perinteiseen bi-polaaritekniikkaan. Eristehilatransistorin hila on galvaanisesti eristetty emitteristä ja kollektorista. Hilalla olevalla sähkökentällä ohjataan emitterin ja kollektorin välistä impedanssia. IGBT:llä on lisäksi samat kytkentä- ja johtavuusominaisuudet kuin bi-polaaritransistorilla. Kyseessä on siis jänniteohjattu bi-polaaritransistori. Virran ohjaukseen ei tarvita suurta tehoa, ja tehohäviöt ovat pienet verrattuna moniin muihin puolijohdetehokomponentteihin. Huonona ominaisuutena IGBT:llä on mm. sammutuksessa todettava pitkä virran laskuaika. (Blake & Bull.)



KUVIO 1. Vasemmalla PT IGBT ja oikealla NPT IGBT (Häsä 2005)

IGBT:tä on olemassa kahta erilaista tyyppiä: PT (Punch Through, läpäisevä) ja NPT (Non Punch Through, ei läpäisevä). PT-tyyppisessä IGB-transistorissa on yksi n^+ -puolijohdekerros enemmän. PT-tyyppistä IGB-transistoreja on hankalampi kytkeä rinnan niiden negatiivisen lämpötilakertoimen vuoksi, ja se on myös vanhempaa tekniikkaa. Tosin PT-tyyppiä on helpompi valmistaa. Rakenteellisen eroavaisuuden takia NPT-tyyppinen IGB-transistorilla on paremmat lämpötilakertoimet, parempi oikosulkukestävyys sekä syöksyvirtakestävyys. Kuviossa 1 näkyy molempien IGBT-tyyppien puolijohdekerrokset. (Blake & Bull; Häsä 2005.)

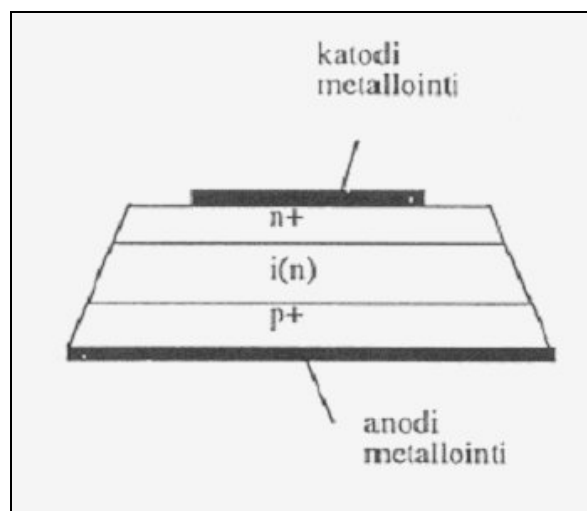
Moduulien virtakestoisuudet voivat olla jopa 4000 A ja korkeimmat jännitekestoisuudet ovat lähes 7000 V. Jännitekestoisuuden laskiessa virtakestoisuus näyttäisi nousevan pääsääntöisesti. Diskreetit eli yksittäiset IGB-transistorit ovat virta- ja jännitekestoltaan pienempiä. Diskreeteillä komponenteilla virtakestoisuudet ovat korkeimmillaan 200 A ja jännitekestoisuudet alle 2000 V. (Infineonin tuotejulkaisu.)

Tehodiodi

IGB-transistorilla on useimmiten rinnalla tehodiodi. Tehodiodi samalla vaikuttaa IGB-transistorin lopullisiin kytkentäominaisuuksiin induktiivisella kuormalla.

Tämän takia diodin takavirtapiikki mitataan IGB-ominaisuuksia mitattaessa. On siis tarpeen selvittää tehodiodin rakenne ja pääominaisuudet.

Tehodiodit ovat yleensä pin-seostettuja tavallisen pn-seostuksen sijaan. Keskimäinen kerros (i) on heikosti seostettua piitä, tavallisimmin n-tyyppiä. Rakenne lisää jännitekestoisuutta, mutta tuo mukanaan myös huonoja ominaisuuksia. Suurin ongelma ilmenee virran pudotessa nopeasti noltaan, jolloin keskimäinen alue pysyy vielä jonkin aikaa johtavana. Tällöin virta kulkee päinvastaiseen suuntaan. Syntyy takavirtapiikki, joka katkaa vasta riittävän tyhjennysalueen muodostuttua. (Hyrkäs 2005.)



KUVIO 2. Tehodiodin puolijohdekerrokset (Hyrkäs 2005)

Käyttökohteet Kempillä

Hitsausvirtalähteissä liikkuu suuria virtoja, joita pitäisi ohjata nopeasti mahdollisimman pienillä häviöillä. Lisäksi mahdollisimman ennustettu ja tarkka ohjaus takaisi parhaan mahdollisimman hitsaustuloksen. Tähän tarkoitukseen nykyajan hitsauskoneissa käytetäänkin IGBT-moduuleita tai diskreettejä IGB-transistoreja. Niiden kytkentänopeudet ovat riittävän suuria, ja lisäksi virtakestoltaan ne ovat riittäviä.

Tehokkaammissa virtalähteissä käytetään moduuleita, jotka sisältävät useita IGB-transistoreja suojadiodeineen. Yksittäisiä eli diskreettejä IGB-transistoreja käytetäänkin pienemmissä virtalähteissä, usein monta rinnakkain. Rinnakkain kytkeminen vaatii transistorien luokittelua, johon Kempillä on omat laitteet.

3.2 IGBT-moduulien testaus

Kempille tulevat IGBT-moduulit testataan niiden saapuessa tehtaalle, jonka jälkeen ne varastoidaan odottamaan asennusta lopputuotteeseen. Moduulien testaukseen on useita syitä, vaikka IGBT testataan aina tehtaalla ennen lähettämistä asiakkaille. Moduulien täytyy pysyä Kempin määrittämien ominaisuuksien sisällä, jotta ne toimisivat oikein elektroniikan ohjaamana. Moduuli voi vikaantua jo kuljetuksessa tai varomaton käsittely voi vahingoittaa herkkää komponenttia. Kempillä pyritään mahdollisimman hyvään laatuun ja vähäisiin asiakaspalautuksiin, joten on syytä testata jokainen komponentti ennen asennusta kohdelaitteistoon.

Kemppi on määrittänyt jokaiselle moduulityypille raja-arvot yhdessä valmistajan kanssa. Jos raja-arvot ylittyvät, moduuli hylätään. Testaus varmistaa IGBT:n laadun tarkistamalla transistorien ja niiden suojadiodien tärkeimmät sähköiset ominaisuudet. Huonolaatuinen moduuli voi esimerkiksi lämmetä liikaa käytössä tai toimia ei-suunnitellusti, jolloin hitsauksen laatutaso kärsii.

Edellä on selvitetty teoriaa IGBT:n eri ominaisuuksista. Tässä osassa dokumenttia selvitetään kytkentäsuureet seikkaperäisesti ja selvitetään Kempillä moduuleista mitattavien suureiden syntyminen.

Moduulista mitattavat sähköiset suureet

Testauslaitteisto mittaa kolme suuretta kaikista moduulin IGB-transistorista. Mitaukset tehdään oskilloskoopin avulla sekä tiedonkeruulaitteiston analogiatuloilla. Oskilloskoopissa on GBIP-teollisuusväyläkortti, josta on adapterin avulla USB-

yhteys tietokoneeseen. Ohjelma saa mittaustulokset suoraan oskilloskoopilta USB-väylän kautta.

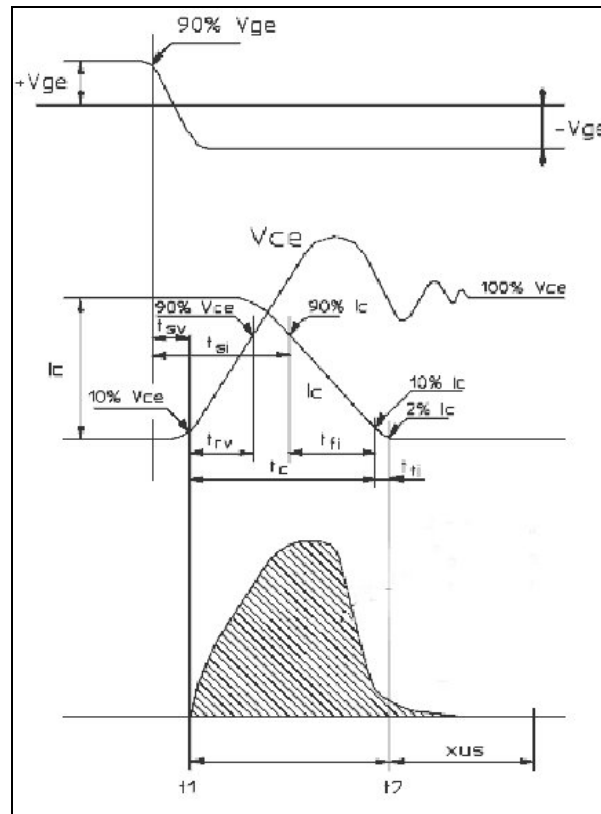
Kempillä mitattavat IGBT:n suureet:

- katkaisuhäviön mittausta, E_{off} -mittaus
- takavirtamittaus, Q_{rr} -mittaus
- vuotovirran mittausta, I_{ces} -mittaus

Puolijohdekytkimien tehohäviöt muodostuvat johtamishäviöistä, estotilan häviöistä sekä kytkentähäviöistä. Kytkentähäviöt ovat yleensä suurimmat, mutta ne vaikuttavat vain lyhyen aikaa, ja häviöenergia on pieni yhden jakson aikana. Kytkentähäviöt tulevat kuitenkin merkittäviksi suurilla kytkentätaajuuksilla. Kempin käyttökohteissa sammutushäviö on oleellinen induktiivisen kuorman johdosta. (Pyrhönen, Huppunen, Kuisma & Laurila 2000.)

E_{off} , kytkentähäviö

E_{off} on IGB-transistorin sammutushäviö eli kytkentähäviö. Sammutushäviötä tulee poiskytkentäajankohdan ja todellisen sammumisajankohdan välillä. Tällä aikavälillä puolijohde muuttuu päästösuuntaisesta estosuuntaiseen tilaan.



KUVIO 3. Katkaisuhäviön käyrät induktiivisella kuormalla (Lemsys)

IGBT sammutetaan tuomalla hilalle negatiivinen jännite tai kytkemällä hila emitteriin. Tällä tavoin puretaan hilakapasitanssin varaus, joka pitää transistoria päästötilassa. Hilajännitteen laskiessa tarpeeksi alkaa kollektorin ja emitterin välinen jännite kasvaa ja transistori saavuttaa estotilaansa. Kollektorivirran lasku alkaa huomattavasti myöhemmin V_{ce} -jännitteen nousua. Tällöin transistoriin vaikuttaa samaan aikaan suuri jännite ja suuri virta. Kollektorin ja emitterin välisen jännitteen saavuttaessa estotilan arvon, kollektorivirran häntä vaikuttaa vielä jonkin aikaa. Virran häntän aikana transistoriin vaikuttaa maksimi estosuuntainen jännite, jolloin häntävirta on merkittävässä osassa kytkentähäviöitä (kohta xus). Kytkentähäviöstä on suurta haittaa taajuuden ja jännitteen ollessa korkeat. Kuvio 3 selvittää hilajännitteen, emitteri-kollektorijännitteen ja kollektorivirran käyrämuodot sammutuksen aikana. (Hyrkäs 2005; Häsä 2005.)

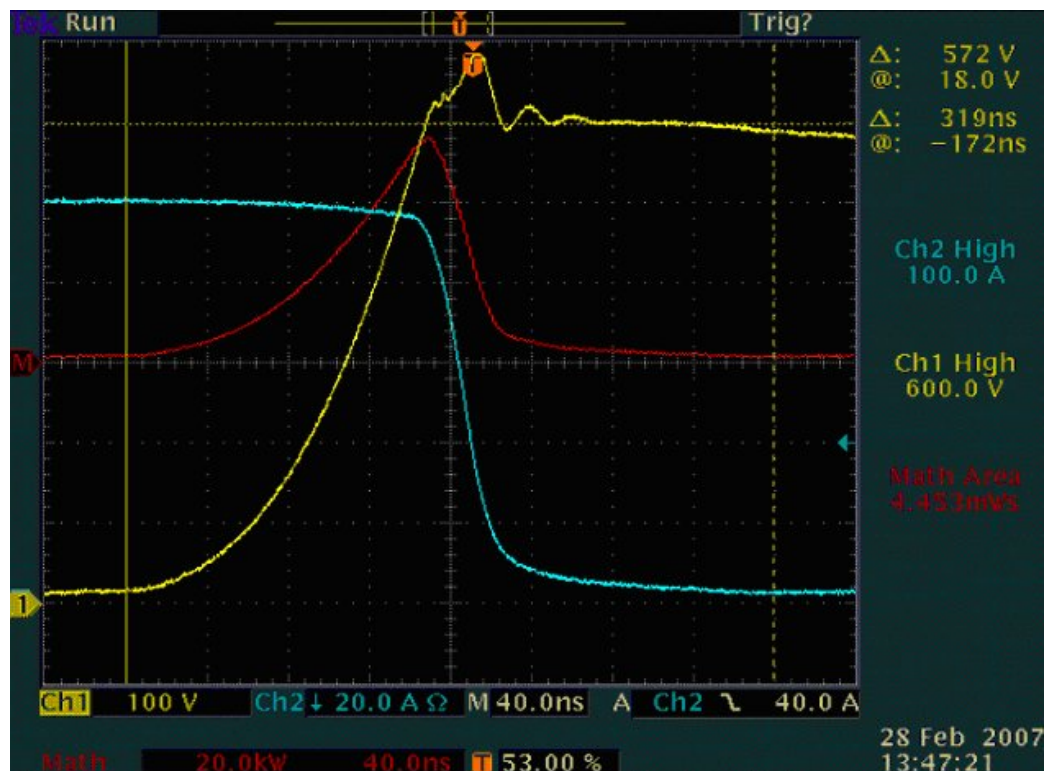
Kytkentähäviö lasketaan jännitteen ja virran tulon integraalista ajan suhteen aikavälillä $t1$ ja $t2+xus$. Häntän aikana virta on pieni mutta jännite korkea, joten kohta xus on otettava huomioon pinta-alassa. (Lemsys.)

Kytkehäviön (energiahäviön) kaava (Lemsys):

$$E_{off} = \int_{t_1}^{t_2+x_{us}} V_{ce} I_c dt \quad \text{KAAVA 1}$$

Kaavan tulos on wattisekunteja (Ws), eli tehon määrä tietyn ajan sisällä. SI-yksikkönä ilmoitettuna lopputulos on jouleja [J]. Virran arvot Kempin mittauksissa on korkeintaan 100 A ja jännite nousee 600 volttiin. Energiahäviön merkittävin vaikutusaika on kuitenkin 200-300 ns, joten käytännössä tulos on millijouleja.

Kytkehäviöitä mitattaessa mitataan nopeasti muuttuvaa jännitettä ja virtaa. Jännitteen muutos nolasta huippuarvoonsa kestää noin 100 ns. Mittaustulos riippuu jännite- ja virtakäyrien muodosta olennaisesti, joten mittaussignaalit täytyy saada mahdollisimman oikeina oskilloskoopille. Normaalisissa differentiaalimitämissä induktanssi on liian suuri, jolloin jännitteen nousu tulee jäljessä ja signaali vääristyy. Kun jännite saavuttaa maksimiarvonsa, mittapään induktanssi aiheuttaa jännitepiikin. Jännitepiikkiä ei kuitenkaan ole todellisuudessa. Nopeita ilmiöitä mitattaessa mittapään täytyy olla tarkoituksen mukainen.



KUVIO 4. E_{off} -mittaus Kempillä

Oheinen oskilloskoopin kuvio esittää poiskytkentähetken virta-, jännite- ja matematiikkakäyrät. Näytön marginaalissa näkyy oskilloskoopin saamat arvot käyrille sekä matematiikkakäyrän pinta-ala. Liipaisu tapahtuu virtakäyrän laskevalla reunalla (20 A). Mittauksissa käytetty Tektronixin oskilloskooppi tarvitsee pinta-alan laskentaan lisäkortin TDS3AAM. Lisäkortti laajentaa oskilloskoopin laskent ominaisuuksia (Tektronix).

Kytkentähäviötä mitattaessa oskilloskoopilta laskee virran ja jännitteen arvot. Varsinainen häviö on hetkellisten tehojen summa eli tehokäyrän integraali. Oskilloskooppi laskee/piirtää matematiikkakäyräksi virran ja jännitteen kertolaskun. Matematiikkakäyrän pinta-ala asetetulla aikavälillä t_0-t_1 (keltaiset pystyviivat kuviossa 4) on tehon integraali eli tehon määrä aikajaksolla. Hetkellinen tehohäviö voi olla lähes 60 kW moduulissa, kuten kuvioista 4 voi todeta. Pinta-ala on transistoriin häviävä tehon määrä transistorin sammutuksessa.

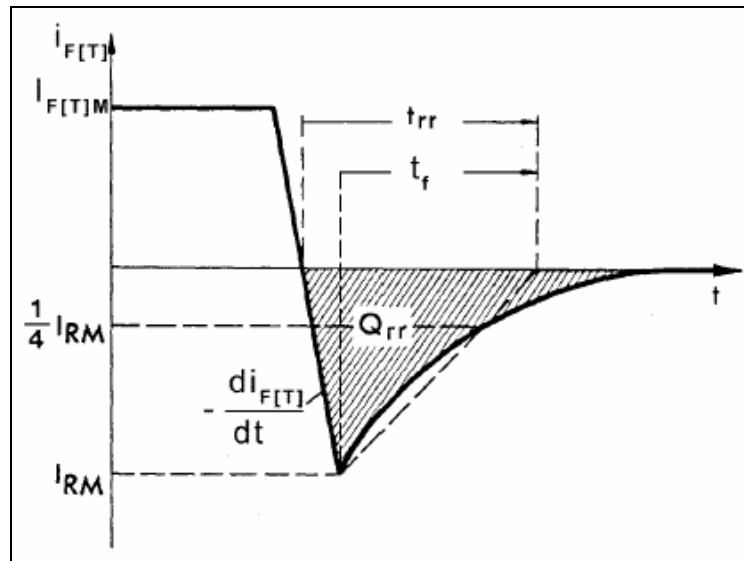
Mittaukset tehdään 125°C:n lämpötilassa. Transistorin läpi kulkeva virta nostetaan moduulin datalehdessä ilmoitettuun I_c virta-arvoon ennen poiskytkentähetkeä. Hilalla on 4,7 ohmin hilavastus. Transistori liipaistaan +15 V:in jännitteellä.

Q_{rr} , diodin takavirtapiikki

Valmistaja antaa transistorin rinnalla olevalle diodille Q_{rr} -arvon, joka kertoo diodin takavirtapiikin suuruudesta. IGBT-moduulissa diodi on sijoitettu jokaisen transistorin rinnalle. Diodi suojaa transistoria jännitepiikeiltä, jotka syntyvät nopeissa virran katkaisuissa induktiivisella kuormalla. Katkaisun jälkeen induktiivinen kuorma pitää yllä virtaa, joka kulkee transistorin sammutuksen jälkeen diodin läpi. Estosuuntaista jännitepiikkiä ei pääse syntymään emiterin ja kollektorin välille diodin oikosulkiessa transistorin estosuunnassa. (Häsä 2005; Siemens.)

Elpymisvarauksen mittaus antaa tärkeää tietoa koko moduulin häviöistä. Sillä on suuri osuus IGBT:n kokonaishäviöstä, ja se kertoo estosuuntaisen virran ja virran-

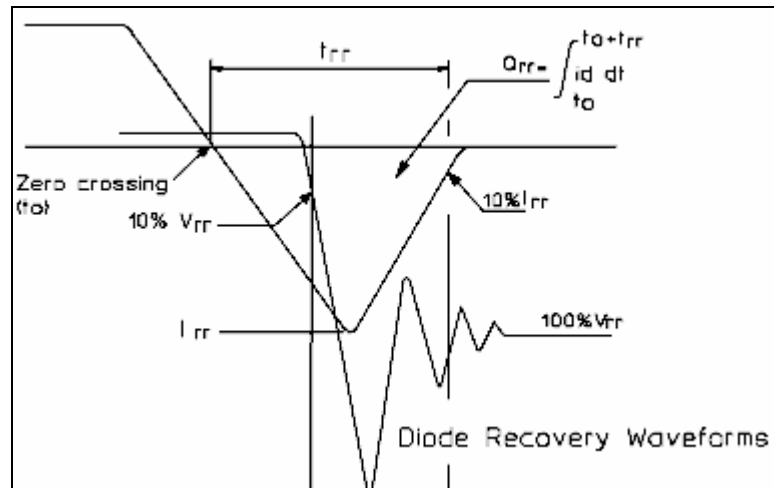
laskunopeudesta piirissä. Virta aiheuttaa purkautuessaan tehohäviöitä diodissa ja siten diodi lämpenee. (Guerra, Maddaleno & Soldano 1998.)



KUVIO 5. Q_{rr} mittauksen virtakäyrä (Semikron)

Estosuuntainen päästöhäviö on varaus, joka jää diodiin estosuuntaisen elpymisen aikana. Varaus taas on virran määrä, joka kulkee diodin läpi elpymisen (T_{rr}) aikana. Elpymisvarauksen eli estosuuntaisen päästöhäviön muodostuminen riippuu pitovirran suuruudesta, I_{fm} kuviossa 5. (Semikron.)

Q_{rr} -arvoa mitattaessa virta ajetaan suojadiodin läpi tietyllä virranlaskunopeudella. Virranlaskunopeus on oltava oikea, koska takavirtapiikki on suoraan verrannollinen virranlaskunopeuteen. Virta kulkee myötäsuuntaisesti diodin läpi tasaisesti laskien. Virran saavuttaessa nollakohdan diodi pysyy hetken aikaa estosuuntaisesti johtavana. Diodi johtaa tällöin hetken aikaa estosuuntaan. Tästä ominaisuudesta aiheutuva negatiivisen virran alue on diodissa lämmöksi kuluva varauksen määrä. Varauksen määrä on siis virran integraali ajan suhteen. Aikaväli lasketaan virran nollakohdasta virran nousuun takaisin lähes nolnaan. (Semikron.)



KUVIO 6. Diodin elpymisen jännite- ja virtakäyrät (Lemsys)

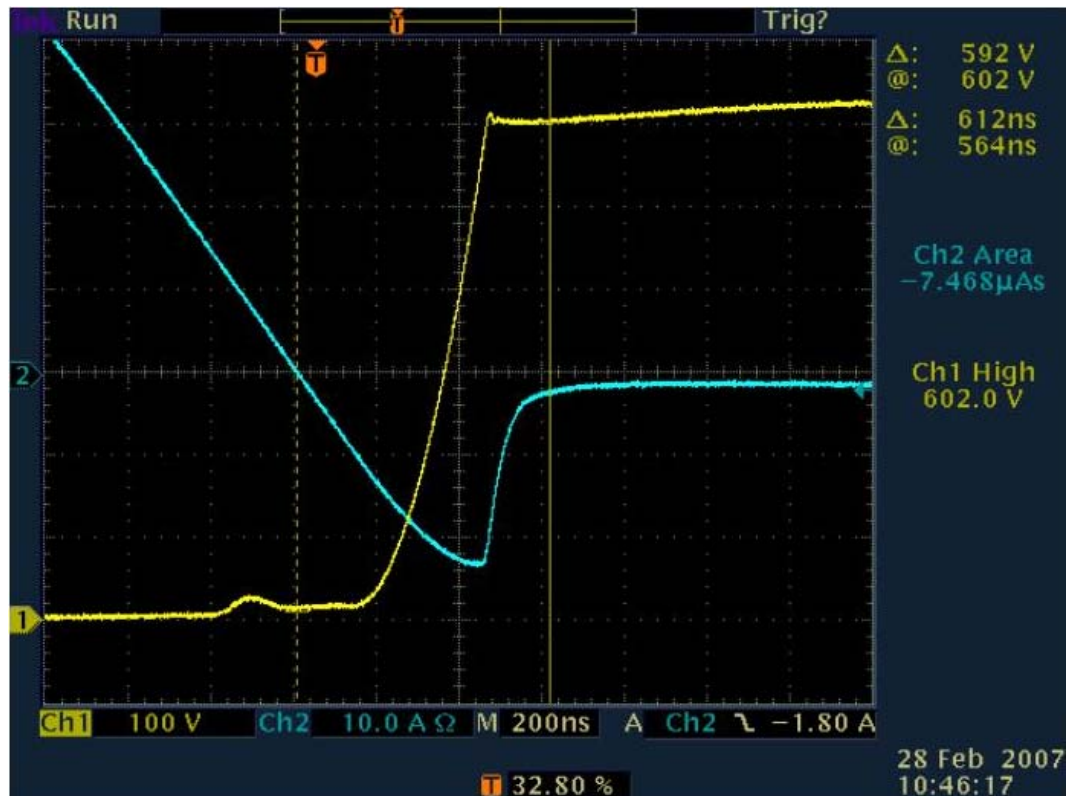
Kuvio 6 esittää diodin muutosta päästötilasta estotilaan. Diodin estosuuntainen jännite alkaa kasvaa vasta noin T_{rr} :n puolella välissä. Estosuuntainen jännite laskee pysyvän tilan estosuuntaiseksi jännitteeksi (100 % V_{rr}) vasta kun estosuuntainen virta on ehtynyt. Tämä kuvaa diodin hitautta nopeissa diodin napojen potentiaalinvaihdoksissa. (Häsä 2005.)

Elpymisvarauksen kaava (Lemsys):

$$Q_{rr} = \int_{t_0}^{t_0+t_{rr}} I_{rr} dt$$

KAAVA 2

Mittaussuure on ampeerisekuntia eli virran määrä aikajaksolla. SI-yksikkönä tulos on coulombeja. Tavallisesti T_{rr} -aika on satoja nanosekunteja ja virran negatiivinen huippu muutamia kymmeniä ampeereja. Käytännössä mitattavissa moduuleissa tulokset ovat alle 10 mikrocoulombia (kuviokuva 7).



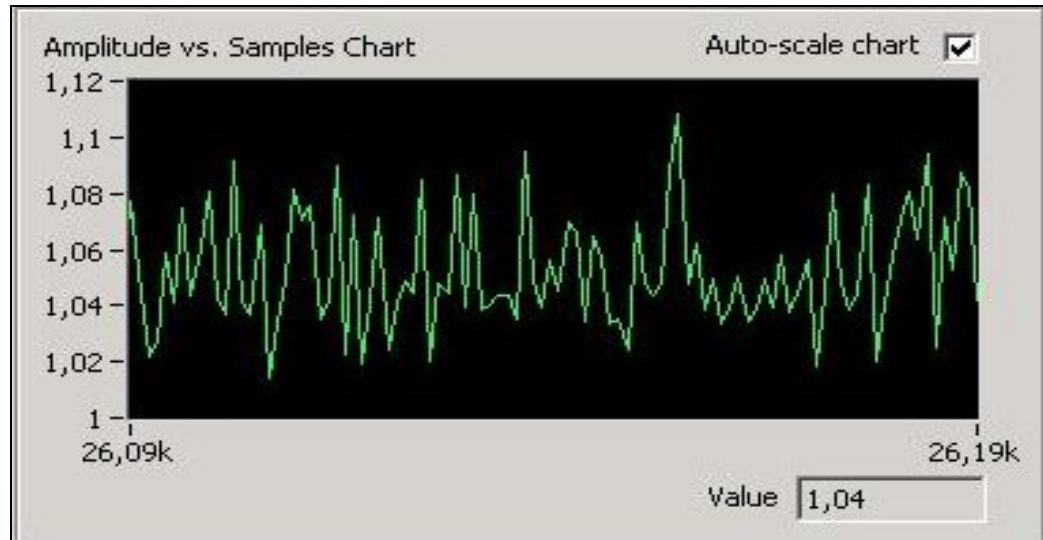
KUVIO 7. Q_{rr} -mittaus Kempillä

Kempin testauslaitteessa oskilloskooppi mittaa/piirtää virran ja jännitteen käyrämuodot. Oskilloskooppi asetetaan laskemaan virtakäyrän pinta-alaa, jolla se saa negatiivisia arvoja (T_{rr} , kuviossa 5). Mittaus tehdään 125°C :n lämpötilassa. Virranlaskunopeus säädetään moduulin mukaan, jonka valmistaja ilmoittaa datasiivuillaan.

I_{ces} , vuotovirta

Valmistaja ilmoittaa komponenteilleen vuotovirran maksimin tietyllä jännitteellä. Kempillä vuotovirta testataan jokaisen moduulin transistorista erikseen. Mittaus-elektroniikka on erillisellä vuotovirran mittauskortilla. Korttia ohjataan tiedonkeruujärjestelmän digitaalilähdöillä. Vuotovirtakortilla generoidaan haluttu jännite transistorin kollektorin ja emitterin välille (tavallisesti 600 VDC). Vastajännite (biasjännite) tuodaan jänniterajalle, ettei virta ala kulkea jänniterajapiirille ja näin vääristä mittaustulosta. Jänniteraja asetetaan lisäksi maksimiin, jotta jänniteraja-

piiri ei aiheuta vuotovirtaa vääristäen mittaustulosta. Vastajännite on hieman korkeampi kuin vuotovirtakortin vuotovirtatestaajännite, ja se generoidaan myös vuotovirtakortilla.

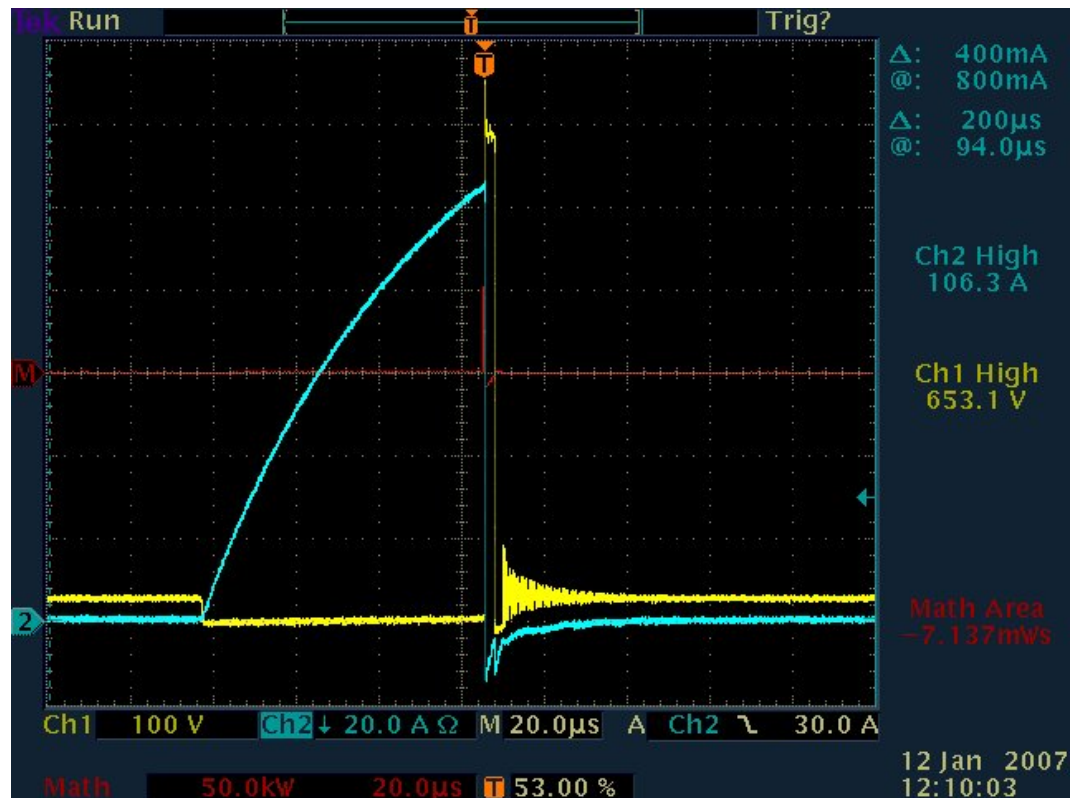


KUVIO 8. Vuotovirran mittaus tiedonkeruujärjestelmän analogiatulolla tietokoneella

Vuotovirran mittaus tapahtuu analogiatulolla, joka mittaa virran siihen suoraan verrannollisena jännitteenä. Mittaussignaalit on skaalattu vastuksilla sopivaksi analogiatulolle. Useimmiten vuotovirta on hyvin pientä, tavallisesti alle milliampeerin ja korkeintaan muutamia milliampeereja.

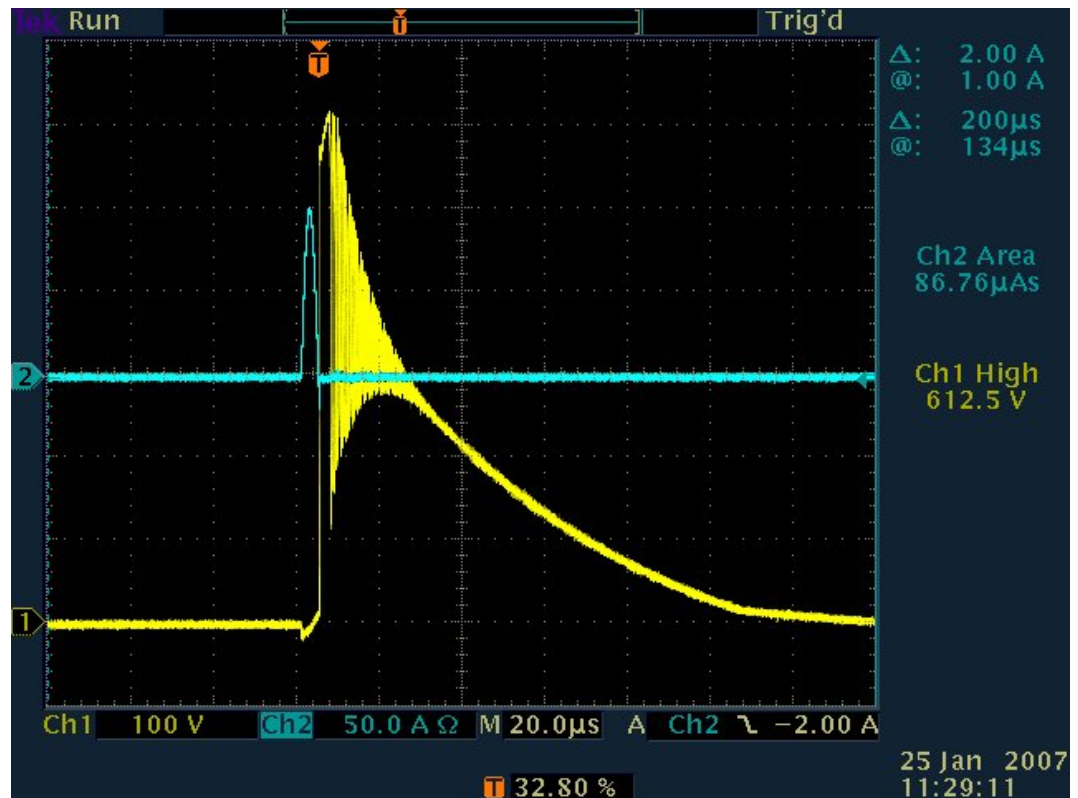
3.3 Mittauselektronikka

Edellä mainittujen suureiden mittaamiseen tarvitaan varsinaisen mittaussähkön generointipiirit. Analogiaelektronikka oli valmiina prototyypilaitteessa, jota paranneltiin ja muutettiin joiltakin osin sopivammaksi digitaaliseen ohjaukseen. Kytöntöjen suunnittelun, testauksen ja laitteen toimintakuntoon saattamiseksi analogiset piirit täytyi ymmärtää pääpiirteittäin toimivan kokonaisuuden aikaan saamiseksi. Mittalaitteen analogiaelektronikkaosa on erittäin vaativa.



KUVIO 9. Virran nousu E_{off} -mittauksessa (sininen käyrä)

Pääpiirikortti generoi mittausvirran E_{off} - ja Q_{tr} -mittauksiin. Kuviossa 9 näkyy koko kytkentähäviön mittaustapahtuma. Kuvioista saa myös hyvän käsityksen tapahtuman nopeudesta. Virta nousee tasaisesti, kunnes IGB-transistori sammutetaan. Virta laskee eli muuttuu piirissä poiskytkentähetkellä alle sadassa nanosekunnissa maksimivirrasta nollaan. Tällöin jännite nousee nopeasti maksimiin, kunnes kelon energia loppuu ja jännite tippuu syöttöjännitteen suuruiseksi.



KUVIO 10. Q_{rr} -mittaustapahtuma kokonaan

Q_{rr} -mittauksen virta menee kuvion 10 tavalla. Aluksi virta nousee maksimiin saavuttaen maksimin ja laskien yhtä nopeasti nolnaan. Virta nostetaan moduulin nimellisvirtaan, kuten kuviossa 10 virta nousee sataan ampeeriin. Kun virta saavuttaa nollakohdan, diodi on edelleen johtava ja keloissa oleva energia virtaa negatiiviseen suuntaa diodin päästösuuntaan nähden. Kelat pyrkivät vastustamaan virran muutosta, jolloin diodin yli nousee estosuuntainen jännite. Hetken päästä diodin estosuuntainen virta ehtyy nolnaan, jolloin keloissa oleva energia purkautuu uudelleen myötäsuuntaisesti. Kelojen energia häviää tämän värähtelyn kautta, kunnes tulee uusi mittauspulssi.

Adapterikortti hoitaa virransäädön E_{off} -mittauksessa sekä transistorivalinnat kulloiseenkin testaukseen. Vuotovirtakortin lähtöjännite valitaan portaittain digitaali-tuloilla, joita ohjataan tiedonkeruujärjestelmällä. Portaot asetetaan kolmella erillisellä trimmerillä. Lisäksi levyllä on kalibroittrimmeri oikean biasjännitteen asettamiseksi. Analogiatuloilla voidaan lukea vuotovirta (jännitetieto) ja kortin lähtö-

jännite (mittausjännite). Jännitteet skaalataan analogiatuloille sopivaksi vastus-
jaoilla.

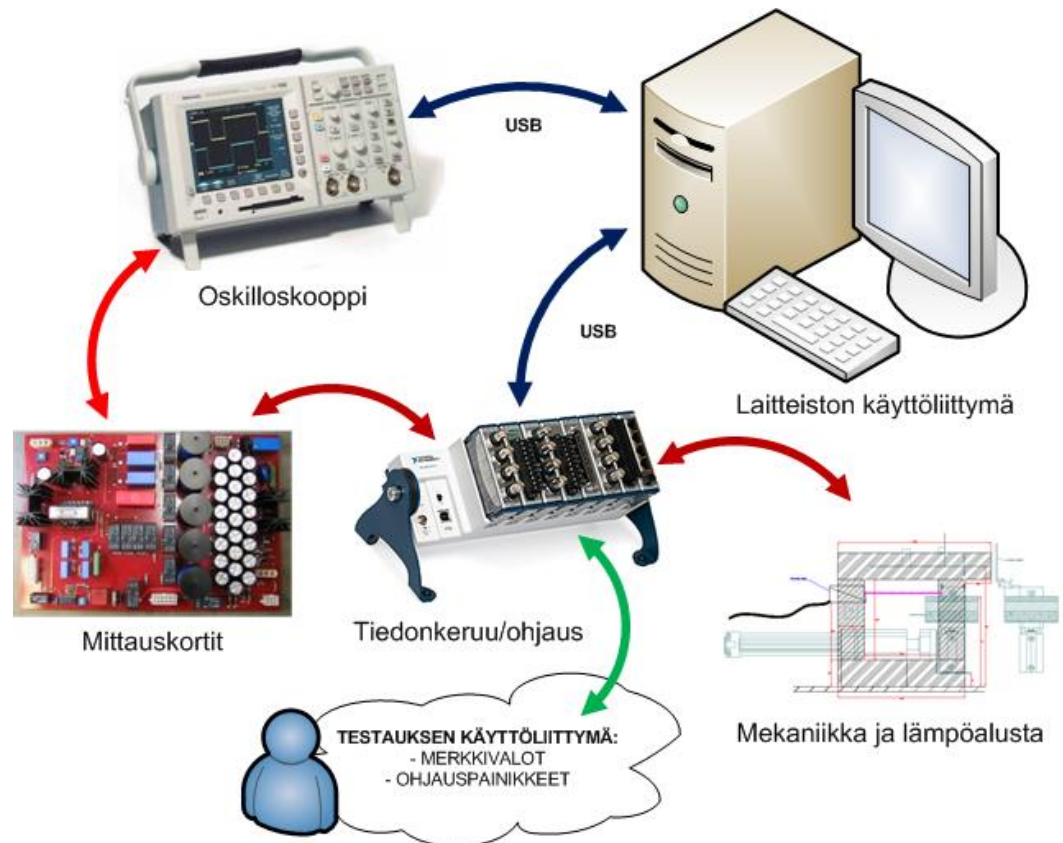
4 TESTAUSLAITTEISTON MÄÄRITTELY

Opinnäytetyö sisälsi testauslaitteiston mekaanisen ja sähköisen suunnittelun toteuttamisen sekä pääosin laitteen kasaamisen. Moduulitestauslaitteistosta oli valmiina prototyyppi. Prototyyppi toimi mallina sekä suunnittelun pohjana uudelle laitteistolle. Mittauselektroniikka oli todettu toimivaksi prototyypissä, josta tehtiin piirilevyversiot piirilevytehtaassa. Järjestelmä vaati mm. automatisointia, laadun parantamista ja mittaustulosten luetettavuuden kohentamista. Lisäksi kaikenlainen dokumentointi ja ohjeet puuttivat suurelta osalta tai se oli käsin tehtyä. Piirikaaviot oli piirretty käsin, joten ne tarkastettiin ja piirrettiin uudelleen tietokoneella.

Dokumentti määrittelee IGBT-moduulien testauslaitteiston kokonaisuudessaan aikaisemmin esitellyn mittauselektroniikan pohjalta. Kaikki olennainen sähkösuunnitteluun ja mekaniikan suunnitteluun vaikuttavista tekijöistä on pyritty ottamaan huomioon ennen laitteen rakentamista. Määrittelyjen pohjalta aloitettiin varsinainen laitteiston kokonaisvaltainen suunnittelu.

4.1 Päätasen kuvaus laitteistosta

Laitemäärittelyn pohjalta tehtiin päätasen kuvaus laitteistosta. IGBT-testauslaitteesta tehdään tietokonepohjainen järjestelmä, joka mittaa IGBT-moduulien sähköiset arvot ja tallentaa yksilö- tai sarjatasolla tiedot lokiin myöhempää tarkastelua varten. Mittaus tapahtuu pääosin oskilloskoopilla, jolta luetaan mitattavat arvot. Oskilloskoopin ja tietokoneen välinen liikenne hoidetaan USB-väylällä. Käytetyssä oskilloskoopissa itsessään ei ole USB-liitäntää, vaan oskilloskoopin laajennuskortilta löytyy GBIP-teollisuusväyläliitäntä, joka vaatii GBIP-USB-muuntimen. Laitteen tiedonkeruu ja ohjaus tehdään National Instrumentin USB-liitännäisellä tiedonkeruujärjestelmällä. Vuotovirta mitataan analogiatulolla. Mittaus toteutetaan ottamalla vuotovirrasta 500 näytettä näytteenottoaajuudella 1 kHz ja näytteistä lasketaan keskiarvo lopulliseksi mittaustulokseksi.



KUVIO 11. Lohkokaavio laitteistosta päätasolla

Laitteessa voidaan mitata useita erilaisia, kahden eri valmistajan tekemiä IGBT-moduuleita. Testattavien moduulien kotelomalleja on tällä hetkellä kaksi (econo 2 ja econo 3), tosin käytetyille IGBT valmistajille tarvitsee kotelomallikohtaiset adapterikortit.



KUVIO 12. IGBT moduulien kotelomalleja (Infineon tuotejulkaisu)

Tällä hetkellä laitteessa koestettavat IGBT-moduulityypit ovat virta-arvoiltaan 50-100A. Varaus 150 A:n moduulille jätetään. Laitteiston määrittelyhetkellä odotettavissa ei ollut nopeampia tai virtakestoiltaan suurempia moduuleita lähitulevaisuudessa.

4.2 Testauskäyttöliittymä

Testauskäyttöliittymä pitää sisällään määritelmän käyttöliittymästä, jota testaaja tarvitsee testauksen eri vaiheissa. Testauskäyttöliittymän määrittelyn pohjalta voidaan aloittaa sähkö- sekä mekaanisten ratkaisujen suunnittelu, jotta sopivat ominaisuudet saadaan toteutettua.

Alustavat toimenpiteet

Keskuksen etupaneelin pääkytkimestä kytketään sähköt koko laitteistolle. Tietokoneella ja TFT-näytöllä on lisäksi omat pääkytkimet omissa koteloissaan. Termostaatin lämmitys laitetaan päälle paneelin keinukytkimestä.

Käynnistetään testiohjelma ja annetaan sarjan yksilöintitiedot lokia varten. Yksilöinti tiedot annetaan aina sarjan alussa. Kun sarja vaihtuu, ohjelma aletaan alusta syöttämällä uuden sarjan tiedot.

Viivakoodillisilla moduuleilla sarjan tietoja ei tarvitse syöttää käsin. Viivakoodista saa kaikki yksilöintitiedot, joka luetaan jokaisesta moduulista erikseen. Tämä mahdollistaa mm. saman moduulin eri sarjojen testaamisen yhtä aikaa. Lisäksi lukijalla saadaan helposti yksilötasolla tietoa lokiin, jos siihen tulee tarvetta.

Ennen sarjan testauksen aloitusta

Mitattavan moduulityypin alumiininen lämpöalustalevy asennetaan lämpöalustaan sekä koestettavan IGBT-moduulityypin adapterikortti asennetaan koneeseen.

Adapterikortti vaihdetaan ohjatusti päävalikosta. Adapterikortin vaihto tapahtuu avaamalla turvaluukku ja vetämällä adapterikortti pois ja asettamalla uusi adapterikortti tilalle. Ohjelma tunnistaa adapterikortin ja tulostaa sen näytölle.

Testaus

Testaaja syöttää lämpöalustalle IGBT-moduulin. Paneelissa olevasta start-kytkimestä kone vie lämpöalustan sisälle ja nostaa IGBT:n mittausalustaan kiinni. Kone testaa moduulin automaattisesti.

Kun mittaus on suoritettu, sytytetään vihreä valo ja IGBT tuodaan takaisin ulos. Jos jokin raja-arvo on ylittynyt mittauksessa, sytytetään punainen valo. Testiohjelma tulostaa aina moduulin transistorien ja diodien saadut mittaustulokset käyttöliittymään mittauksen edetessä. Seuraava moduuli laitetaan alustalle ja painetaan start-nappia.

Stop-napista voidaan keskeyttää mittaus milloin tahansa, vaikka se ei ole suotavaa. Stop-nappi katkaisee hätäseispiirin, ja tieto menee myös tiedonkeruulaitteelle (testausohjelmalle). Käyttöliittymä menee keskeytettyyn tilaan. Keskeytetystä tilasta voi joko jatkaa moduulin testausta tai lopettaa sarjan testaus.

Testauksen läpäisseet moduulit laitetaan jälleenkäsittelyyn ja hylätyt palautetaan valmistajalle.

Testauksen lopettaminen

Moduulisarjan loputtua lopetetaan sarjan testaus käyttöliittymästä ja annetaan uuden sarjan sarjanumero. Viivakoodillisia moduuleja testattaessa yksilöintitietoja ei tarvitse eri sarjojen välillä syöttää uudestaan vaan testausta voidaan jatkaa normaalisti lämpöalustan levyn ja/tai adapterikortin vaihdon jälkeenkin.

5 LAITTEISTON SÄHKÖSUUNNITTELU

Testilaitteen elektroniikka jakautuu kahteen osaan, mittauspiireihin eli analogiaosaan ja ohjauspiireihin eli digitaaliseen osaan. Analogiaosa jakaantuu vielä kolmeen eri osaan sähkön syötön perusteella. Näiden tietojen pohjalta suunnitellaan rajapintamäärittely eli tiedonkeruulaitteiston tarve. Vaativuutta tiedonkeruulle lisää eri maatasot mittasignaaleissa.

5.1 Tiedonkeruujärjestelmän rajapintamäärittely

Analoginen ja digitaalinen osa

Mittauspiirille, apujänniteadapteripiirille ja vuotovirtamittauspiirille on omat syötöt. Tämä vaikeuttaa tiedonkeruulaitteistolla kerättäviä mittauksia. Syötöt tasa-suunnataan ja vakavoidaan piirilevyillä. Maat yhdistetään osittain tasasuuntauksen jälkeen. Eri maapotentiaalien takia tarvitaan galvaanista erotusta jännitteen säätöön tiedonkeruujärjestelmällä.

Tietokone, tiedonkeruujärjestelmä ja oskilloskooppi ovat omat digitaaliset yksiköt. National Instrumentin Compact DAQ:lla ohjataan laitteen toimintoja ja kerätään tietoa eri koestusvaiheissa.

Sähkön syöttö eri piireille

Koska laitteessa on useissa eri potentiaaleissa olevia piirejä, tarvitaan tarkka suunnitelma ohjauksen ja tiedonkeruun syötöistä ja maapotentiaalien kytkennöistä. Jokainen moduuli on erotettu tiedonkeruulaitteen rungosta. Kanavien välistä erotusta ei ole yhdessäkään sovelluksessa käytettävässä moduulissa (National Instruments).

Keskuksen runko maadoitetaan. Eri piirilevyjen maapotentiaaleja ei saa yhdistää rungon maahan eikä toisiinsa. Adapterikortin ohjaus on apujänniteadapterin syötössä ja varsinainen testauspiiri on pääpiirikortin syötössä. Vuotovirtakortille ja termostaatille on oma yhteinen tehokkaampi syöttö. Paikkatietoanturit, magneettiventtiilit ja merkkivalot on kytketty erillisen hakkurijännitelähteen ryhmään. Pääpiirikortin ja vuotovirtakortin maat on yhdistetty piirien tasasuuntauksien jälkeen (kuvio 13).

Virtasäätöä tarvitaan vain transistorin kytkentähäviötä mitattaessa. Virtasäätö on apujänniteadapteripiirillä, joka on erossa pääpiirikortin maasta. Jännitesäätöä (maksimijännitesäätöä) ohjataan kuitenkin samalla tiedonkeruujärjestelmän moduulilla, jossa ei ole kanavien välistä erotusta. Tarvitaan galvaaninen signaalin erotin. Erottimen (liite 2) sähkösyöttö on myös erotettu erottimen analogiatulosta ja -lähdestä, joka on hakkurijännitelähteessä.

Rajapintamäärittely tiedonkeruulle

Rajapintamäärittely on tehty NI Compact DAQ -tiedonkeruujärjestelmää varten. Määrittely auttaa järjestelmän suunnittelussa ja määrittää I/O-liitäntä- ja moduuli tarpeen analogiakorttien ohjaukseen ja tiedonkeruuseen. Sähkökuvien suunnittelu tehtiin suurelta osin rajapintamäärittelyn pohjalta. Mittausjärjestelmän tehonsyöttö hoidetaan 230 VAC / 3 x 24 VAC 180 VA -muuntajalla. Mekaniikan ohjaukselle on erillinen 24 VDC -hakkurijännitelähde.

Analogiset lähdöt: 2 kpl

- jänniterajan asetusarvo (0-5 VDC vastaa 0-710 V)
- virran asetusarvo (0-5 VDC vastaa 0-150 A).

Analogiset tulot: 3 kpl

- vuotovirta
- vuotovirtajännite (400 V ja 600 V, 6 V vastaa 6 00 V)
- lämpötilatieto termostaatilta.

Digitaaliset lähdöt: 13 kpl

E_{off} - ja Q_{rr} -mittaukset:

- tehonsyöttö (K1)
- Q_{rr} Start (K12)
- Q_{rr} jännite ON (K14)
- kelojen valinta 5 kpl (K2-K6)
- kondensaattorien valinta 4 kpl (K7-K10)
- adapterikortin kondensaattorien purku (K13).

Vuotovirtamittausyksikkö: 3 kpl

- jännite-1 (400 V)
- jännite-2 (600 V)
- jännite-3 (vara).

Adapterikortti: 9 kpl

- IGB-transistorien esivalinta 2 kpl (K1 ja K2, K4 ja K5)
- IGB-transistorivalinta 2 kpl (K3, K6)
- transistorien oikosulkuvalinta 4 kpl (K7-K10)
- lisäkondensaattorin valinta 1 kpl (K13).

Mekaniikan ohjaus: 6 kpl

- paineilmasylinterit 4 kpl
- merkkivalot vihreä ja punainen, 2 kpl.

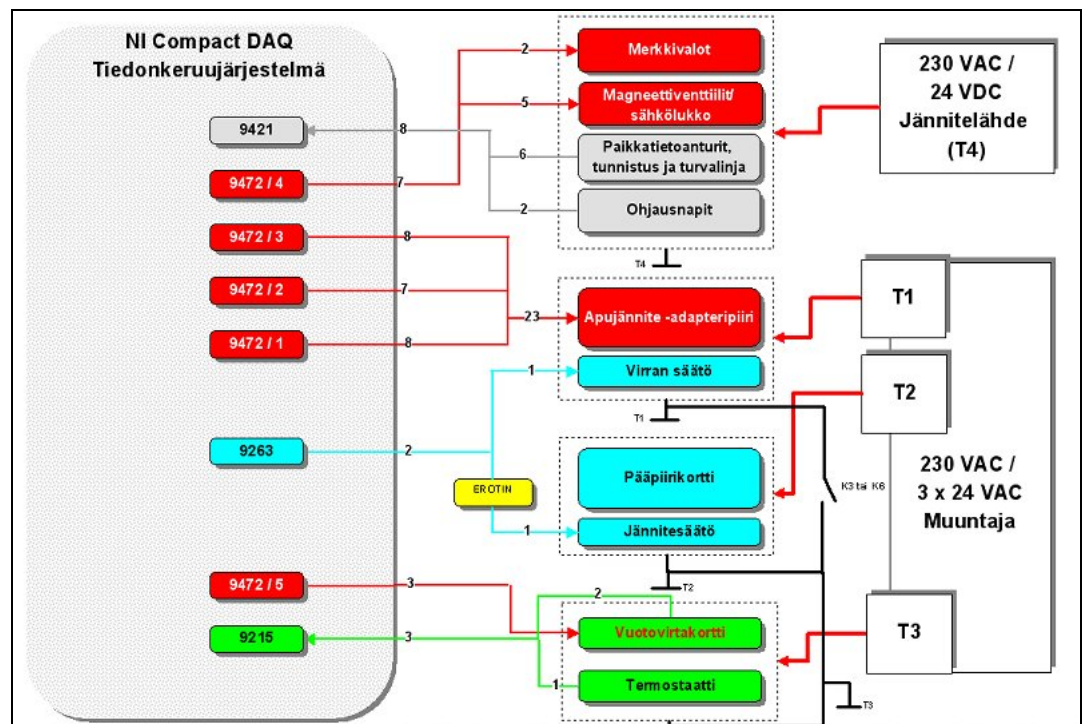
Digitaaliset tulot: 8 kpl

- sylintereiden paikkatietoanturit 1 kpl
- moduuli adapterikortissa valokenno 1 kpl
- turvalinja 1 kpl
- adapterikortin tunnistus 3 kpl
- start- ja stop-napit 2 kpl.

Yhteenveto:

- analogiset lähdöt (9263): 2 kpl
- analogiset tulot (9215): 3 kpl
- digitaaliset lähdöt (9472): 31 kpl
- digitaaliset tulot (9421): 8 kpl.

Suluissa olevat numerosarjat ovat kuvion 13 tiedonkeruujärjestelmän eri moduulityyppejä. Lisätietoja moduuleista saa National Instrumentin kotisivuilta.



KUVIO 13. Tiedonkeruujärjestelmän signaalit, syötöt ja maatasot

5.2 Analogiaelektronikan vaatimukset tiedonkeruujärjestelmästä

Lähtökohtana on, että valmiita prototyyppin toimivaksi todettuja analogiakortteja ei lähdetä paljoa muuttamaan. Korteista tehdään uudet, parannetut versiot piirilevytehtaassa. Piirilevyjen muutokset koskevat lähinnä mekaniikka ja työturvallisuutta. Tiedonkeruujärjestelmän tiedonkeruu- ja ohjausmoduulit täytyy olla analogiakorttien vaatimusten mukaiset, koska analogiaelektronikka ei muuteta.

Digitaalitulot ja lähdöt

Releiden yhteinen potentiaali prototyypissä on miinus, jota ei tarvitse muuttaa. Käytetty lähtömoduuli tiedonkeruulaitteessa on sourcing-tyyppinen. Tiedonkeruun lähtömoduuli pystyy syöttämään riittävästi virtaa, joten releiden ohjaus voidaan hoitaa suoraan I/O-moduulista ilman välireleitä. Magneettiventtiilit ovat 24 VDC:n keloilla. Tehon on tarve 3,5 W, joten magneettiventtiilejä voi myös ohjata moduulin output-portista suoraan.

Paikkatietoantureita on 2 kpl, joille on oma 24 V:in tulomoduuli. Samaan moduuliin tulee turvalinja, start-kytkin ja muut tulosignaalit. Tulomoduuli on sinking-tyyppinen.

Analogiatulot ja -lähdöt

Jännitesäätöä ei voida toteuttaa tiedonkeruun DA-muuntimella ilman erillistä signaalierotusta, koska virtasäätöpiirin maapotentiaali on eri kuin jännitesäädön maapotentiaalilla silloin kun säätöjä tarvitaan. Erottimeksi valittiin Datexelin DAT 4235 ohjelmoitava signaalimuunnin. Vuotovirtakortin lähtöjännitteen jännitetieto täytyy muuttaa vastusjaolla analogiatuloon sopivaksi. Tämä onnistuu muuttamalla vastuksien kokoa piirikortilla. Vuotovirta sekä vuotovirtajännite voidaan mitata maata vasten suoraan AD-muuntimella. Käytännössä vuotovirran mittaajännite mitataan oskilloskoopilla, koska oskilloskoopin jännitemittapää on sopivasti käytettävissä. Näin mittauksesta saadaan myös havainnollinen testiajalle, koska mittaajännitteen näkee oskilloskoopin näytöllä.

Mittausalustan lämmitystä ohjaa termostaatti, josta saadaan tiedonkeruulle virtatieto lämpötilasta. Virtatieto muutetaan jännitetiedoksi vastuksella, joka on kytketty suoraan analogialähtöön.

Oskilloskoopin mittaussignaalit

Adapterikortilla on 20 mohmin virtashuntti, jossa on 50 ohmin lähtöimpedanssi. Shuntilta mitataan oskilloskoopilla virtaan suoraan verrannollinen jännite. Jännitteestä voidaan laskea virtashuntin läpikulkeva virta. Virtasignaali tuodaan oskilloskoopin kanavaan 2, jossa on 50 ohmin tuloimpedanssi. Kanava on asetettu virtatuloksi, jolloin suureet menevät oikein laskettaessa virtasignaalin eri arvoja ottaen huomioon shuntin lähtöimpedanssin.

Testausjännite mitataan adapterikortilta siihen tarkoitetuilta liittimiltä. Mittapään vaimennus kanavassa 1 on 500-kertainen, koska kyseessä on korkea jännite. Käytetty mittapää on P5205, joka on Tektronixin 100 MHz:n aktiivinen differentiaalimittapää. Mittapää on tarkoitettu nopeiden muutosten mittaamiseen, mm. IGBT-kytkentöihin, moottoriohjauksiin ja virtalähteisiin. Maksimi mittausjännite on 1300 VDC. Mittapää on suunniteltu Tektronixin oskilloskooppeihin, joissa on Tektronixin oma mittapäälitettä. (Tektronix.)



KUVIO 14. Tektronix P5205 -mittapää

Korttien, mekaniikan ja tiedonkeruun johdotus

Laitteen johdotus toteutettiin sähkösuunnittelun pohjalta tehtyjen johdotuskaavioiden mukaan (liite 7). Lisäksi mittauslaitteen manuaalisessa testauksessa tarvittiin ohjaustaulukkoa, josta selviää tiedonkeruun lähtöjen ohjaukset nopeasti ja helposti. Taulukko oli erityisesti tarpeen ensimmäisten testausten aikana, jolloin

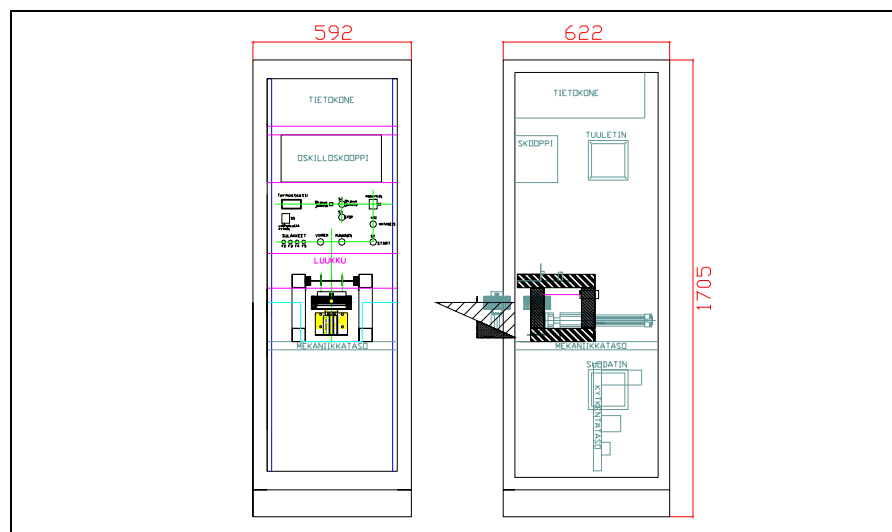
piti ohjata eri lähtöjä yksitellen analogiakorttien toiminnallisuustestauksien yhteydessä. Taulukko toimii myös erinomaisena apuna vian haussa sekä laitteistopäivitysten yhteydessä (liite 6).

6 MEKANIikka

Laitteiston päätason määrittelyn sekä sähköisten ohjauskomponenttien valinnan jälkeen aloitettiin mekaniikan suunnittelu. Mekaniikasuunnittelu sisältää laitteiston mekaanisen selvityksen kuvien ja CAD-piirustusten selventämänä. Mekaaniset ratkaisut on tehty prototyypin pohjalta Kempin tarpeisiin. Mekaniikasta tehtiin layout-kuvat, joista selviää komponenttien sijoittelu keskuksen sisä- ja ulkopuolelta. Sylintereiden mekaniikka ja adapterikortin liittimien vastakappaleet vaativat tarkkaa suunnittelua. Sopivien liitinratkaisujen etsiminen häiriöttömän mittaustulosten saamiseksi teettikin jonkin verran lisätöitä.

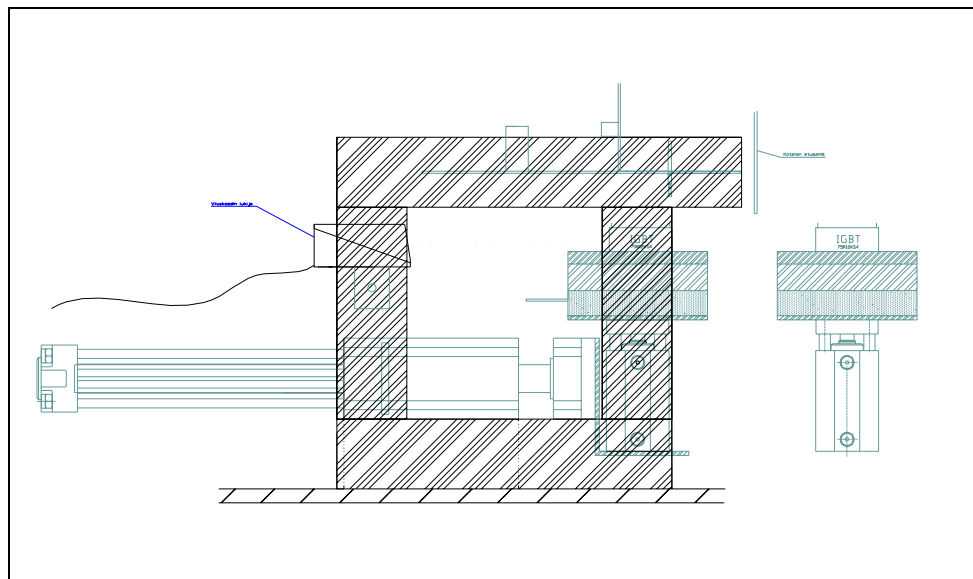
6.1 Keskus ja laitteiden sijainti

Kaikki komponentit sijoitetaan keskuksen sisälle pois lukien tietokoneen näyttö ja näppäimistö. Näyttö ja näppäimistö sijoitetaan erilliseen liikuteltavaan telineeseen keskuksen seinään. Oskilloskoopi, tietokone, lämpötilansäädin, ohjauskytkimet ja merkkivalot on upotettu keskuksen etuseinään (kuvio 15). Keskuksen ovi on takaseinänä, josta huollot tehdään. Kuva valmiista keskuksesta on liitteenä, joista löytyy myös prototyypin kuva verrattavaksi uuteen laitteistoon (liite 3).



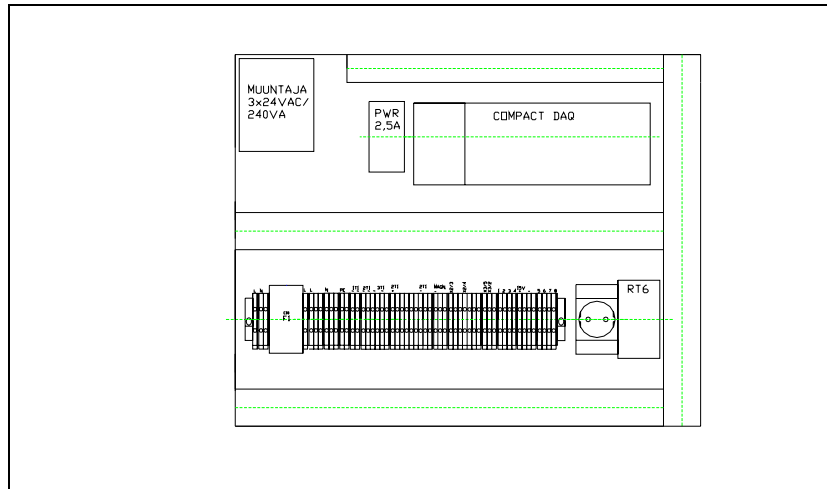
KUVIO 15. Testilaitteen kotelon layout

Liikkuvat osat eli IGBT:n kuljetin suunniteltiin siten, että testaajan työasento olisi mahdollisimman ergonominen. Analogiakorteille on tehty omat telineet mekaniikkatasolle lähelle adapterikortin liitintä. Tällöin johtoihin jäävät häviöt eivät vaikuta mittaustuloksiin johtojen jäädessä lyhyiksi. Mittauksissa totesimme johtojen jännitehäviöksi noin 12 V, joka ei vaikuta mittaustulokseen. Adapterikortin vastaliittimet mekaniikassa eli EURO 32-liitin adapterikortin ohjauksille, jännitetiedon liitin ja virtasignaalin liitin sijoitettiin erilliselle telineelle viivakoodin lukijan yläpuolelle (liite 1). Kuva sylinterimekaniikasta on liitteenä (liite 4).



KUVIO 16. Paineilmasyylinterit ja adapterikortin teline sijoitettuna mekaniikkalustalle

Paineilmasyylintereillä viedään lämpöalustalla oleva IGBT-moduuli adapterikortille. Sylintereitä ohjataan magneettiventtiileillä. Sylintereissä olevilla paikkatietoantureilla ja valokennolla tunnistetaan, että moduuli on adapterikortissa kiinni. Viivakoodinlukija sijoitetaan vaakasyylinterin päälle siten, että lukijalla voidaan lukea viivakoodi ennen nostosylinterin nostoa. Kuviossa 16 näkyy nostosylinterin paikka sisä- ja ulkoasennossa, joka havainnollistaa vaakasyylinterin työntöpituuutta.

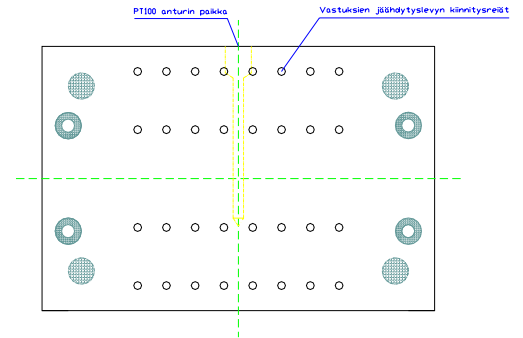
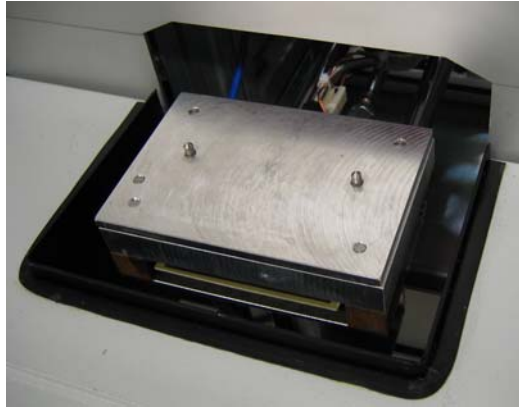


KUVIO 17. Kytentäälustan layout

Digitaaliohjauksille ja sähkökeskuskomponenteille on oma kytkentätaso (kuvio 17), jossa on myös muuntajat. Tiedonkeruu ja erotinkortti sijaitsevat ylemmällä rivillä muuntajien lisäksi. Alemmalla rivillä on hätäseisrele, sähkönsyöttö, pääsulakkeet sekä ohjaukset. Analogiakorttien ohjaukset on johdotettu pääasiassa suoraan tiedonkeruujärjestelmän tuloista. Oheislaitteiden pistorasiat on sijoitettu erilliselle kiskolle keskuksen tuulettimen alapuolelle. Liitteen 3 kuvissa näkyy keskuksen laitteistosijoitus kokonaisuudessaan edestä ja takaa. Kuvat prototyypilaitteistosta on myös liitteessä 3.

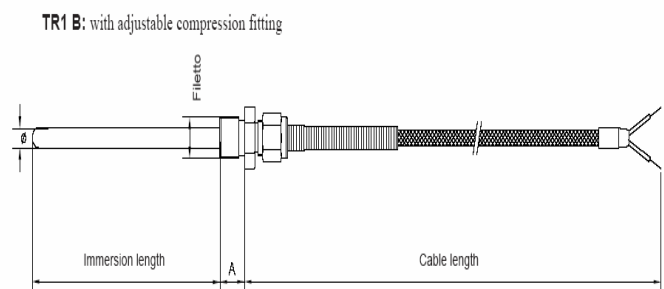
6.2 Lämpöalustan lämpötilan ohjaus

Lämpöalusta on upotettu keskuksen työskentelyalustaan. Lämpöalusta liikkuu työtasoon tehdystä upotuksesta keskuksen sisälle ja ulos. Vaakaliikkeen pituus on 150 mm. Anturin johdot sekä vastuksien syöttöjohdot tuodaan muovikierteessä liikkuvaan lämpöalustaan. Vastuksien toinen syöttöjohto tuodaan paneelissa olevan kytkimen kautta, jolla saadaan lämmitys kytkettyä päälle tai pois käsin. Kytkimen valinnassa on huomioitava virtakesto, koska lämmitysteho on noin 120 W ja jännite 24 VAC.



KUVIO 18. Lämpöalusta ja sen läpileikkauskuva

Laitteeseen asennettiin erillinen digitaalinen lämpötilansäädin PT100-anturilla. Monissa säätimissä releiden virtakesto ei ollut riittävä tähän kohteeseen. Lämpötilan säätöön valittiin Gefranin säädin, koska virtakesto oli riittävä kahden relälähdön ansiosta. Lämpötilan säädin säätää alustan lämpötilaa ± 1 asteen tarkkuudella. Tarkkuus riittää hyvin tähän tarkoitukseen. PT100-anturi on porattu alumiinilevyn keskelle puoleen väliin. Alumiinilevyn alapuolella on lämmityselementti. Elementti koostuu kahdesta rinnan kytketystä vastusverkosta. Jokainen vastus on kiinnitetty kotelostaan ruuvilla alumiinilevyyn. Päälimmäinen alumiinilevy on vaihdettava eli se on jokaiselle moduulityypille erilainen. Levyn alkulämmitys kestää noin 25 minuuttia.



KUVIO 19. Digitaalinen lämpötilansäädin ja PT100 anturi

PT100-anturi piti tilata Italiasta, koska maahantuojan varastossa ei ollut sopivaa tähän käyttötarkoitukseen. Erityisesti vaatimuksena oli puikon paksuus, joka ei saanut olla yli 4 mm, jotta se mahtuisi lämpöelementtien kiinnitysruuvien väliin keskelle lämpölevyä. Pituutta anturipuikolla on 50 mm. Tässä mallissa (TR1 B)

on kiinnitysliippa kierteellä, jolla anturi saadaan liikkuvaan lämpöalustaan tukevasti kiinni.

6.3 Työturvallisuus

Adapterikortilla on vähintään 600 V:in tasajännite, johon voi teoriassa päästä käsi, jos laitteessa ei ole kosketussuojaa. Kosketuksen estämiseksi adapterikortti on suojakannen takana, jonka kautta kortti myös vaihdetaan.

Hätäseis-kytkin kytkee sähköt pois päämuuntajalta. Testaus keskeytyy välittömästi ja piirilevyt tulevat sähköttömäksi. Hätäseis-rele katkaisee sähkön magneettiventtiileiltä ja paineilma poistuu järjestelmästä. Paineilmalaitteiden tulopaine on rajoitettu, jotta sylinterien liikkeet eivät olisi liian voimakkaita. Sylinterien liikkeen voi käsin pysäyttää, mitä voidaan pitää turvallisena voimakkuutena. Erillistä suojakantta vaakasynterinin liikkeelle keskuksen ulkopuolella ei ole tarvetta rakentaa edellä mainituiden syiden takia. Koneen käyttö vaatii koulutuksen ja perehtymisen ohjeisiin.

6.4 Järjestelmän testaus ja sen eteneminen

Järjestelmän testaus suoritettiin vaihevaiheelta yksi osa-alue kerrallaan. Mekaniikan testaus tiedonkeruujärjestelmällä oli melko vaivatonta ja toimikin moitteettomasti alusta saakka. Analogiakorteista tutkittiin oskilloskoopilla lähes kaikki osa-alueet ja verrattiin niitä prototyypilaitteen vastaavaan kytkentään. Jotta mittaus-tulos olisi luotettava, täytyy toiminnan olla myös identtinen.

Piirikorttien toimintaan saattaminen vei runsaasti aikaa hyvästä valmistelusta ja suunnittelusta huolimatta. Kun mittaukset saatiin suoritettua manuaalisesti ohjaimalla tiedonkeruuta, voitiin aloittaa testausohjelman ja käyttöliittymän soveltamista laitteistoon. Käyttöliittymä toteutettiin yhdessä ohjelmoijan kanssa ja testausrutiinit saatiin nopeasti toimimaan hyvän määrittelyraportin ansiosta. Tuloksia

verrattiin oskilloskooppia apuna käyttäen vanhaan prototyypilaitteen kanssa. Kun asetukset oli saatu molemmissa laitteissa samoiksi, eroja uuden ja prototyypilaitteen välillä ei juuri ollut. Liitteessä 5 on oskilloskooppikuvat, joissa näkyy ero vanhan ja uuden laitteen välillä. Totesimme uuden laitteen toimivan riittävän tarkasti, jotta se voidaan siirtää tuotantoon.

Luetettavan toiminnan saavuttamisen jälkeen koneelle tehtiin sähköiset tarkastukset ja turvallisuustarkastukset. Sähkötarkastus käsittää mm. eristysvastusmittauksen ensiön ja rungon välillä sekä maadoitusten virtatestaus. Mekaanisessa tarkastuksessa käytiin läpi turvallisuuteen vaikuttavat tekijät, mm. sylinterien nopeudet ja kotelointiin liittyvät asiat.

Viimeistely laitteen toiminnallisuuteen tulee käytännön testien ja parannusten kautta. Ennen laitteen viemistä tuotantoon, tehtiin referenssimoduulit, joista mitattiin ja tallennettiin mittaustulokset laitekansioon. Referenssimoduuleilla voidaan tarkastaa myöhemmin laitteen tarkkuus. Tuotannosta saatujen palautteiden perusteella ohjelmaa sekä mekaniikkaa voidaan parantaa, jos siihen ilmenee tarvetta.

7 ESD-SUOJAUS JA TOTEUTUS TYÖYMPÄRISTÖSSÄ

7.1 Staattinen sähkö

ESD-ongelmat ovat yleisiä jänniteohjatuissa puolijohdekomponenteissa. Myös IGBT on herkkä staattiselle sähkölle, mikä on otettu huomioon laitteistossa ja työympäristössä. Koska IGBT:n ESD-suojaus on ensiarvoisen tärkeää, selvitetään staattisen sähkön syntytapoja, yleisimpiä purkautumistapoja elektroniikkaan ja miten ESD-ongelmilta voidaan suojautua.

Staattista sähköä ilmenee mm. lämmön, hankauksen ja sähköisen rasituksen johdosta. Varausepätasapaino ilmenee kaikilla materiaaleilla. Metallit johtavat hyvin, jolloin niiden varausepätasapaino on aina voimassa ja staattista sähkökenttää ei esiinny. Huonosti johtavilla materiaaleilla varauksen epätasapaino häviää hitaammin, jolloin aine voi vapauttaa tai vastaanottaa elektroneja.

Elektronien purkautuessa nopeasti syntyy staattinen purkaus. Kahden staattisesti eri potentiaalissa olevien pintojen väliin tuotu sähköä johtava esine aiheuttaa elektronien liikkeen tasolta toiselle. Tapahtuu staattisen sähkö purkaus ja pintojen potentiaalit tasautuvat. Jos MOSFET-pohjainen eristehilatransistori joutuu staattisen sähkö kulkureitiksi, on suuri vaaraa vioittaa transistoria pysyvästi.

Yleisin staattisen sähkön synty tapa on kontaktivaraus kahden kappaleen koskettaessa toisiaan. Kahden huonosti johtavan kappaleen nopea kosketus jättää kappaleisiin varauksia, ja näin kappaleet jäävät varatuiksi. Hanganassa kappaleita toisiinsa saadaan aikaiseksi useita kertaluokkia voimakkaampi varaus. Varaus voi muodostua myös induktiovarautumisen kautta, eli varsinaista kosketusta varautuneeseen kappaleeseen ei ole ollut. Varaus siirtyy ilman välityksellä korkeatehoisesta häiriölähteestä tai staattisesta varauksesta.

Suhteellisen kosteuden vaikutus varauksien syntyyn on suuri. Mitä kuivempi ilma, sitä herkemmin syntyy staattisia varauksia. Vaatetus ja jalkineet vaikuttavat staat-

tisen sähkön muodostumiseen. Yleensä hyvin eristävien muovien käyttö esim. lattioissa, tuotteiden pakkauksissa ja vaatteissa aiheuttaa staattisen sähkön syntymistä. Varaus voi olla positiivinen tai negatiivinen riippuen materiaaleista. (Alajoki & Smolander 2001; International Rectifier.)

Staattisen sähkön vaikutus elektroniikkalaitteille

Kytkeytyminen elektroniikkalaitteisiin voi tapahtua kolmella eri tavalla. Suora purkautuminen komponenttiin tai piiriin voi aiheuttaa piileviä vikoja, jos laite ei heti hajoa. Piilevät viat aiheuttaa epäluotettavuutta ja laadun huonontumista monessakin mielessä. Toinen kytkeytymistapa on suora purkaus laitteen koteloon. Varautunut esine tai henkilö purkaa kosketuksessa varauksen laitteen runkoon. Yleensä purkaus kohdistuu esim. kahvoihin ja muihin tavallisesti kosketeltaviin kotelon osiin. ESD-pulssin kohdistuessa koteloon pahoja paikkoja on mm. läpiviennit ja kaapeliliittimet, joista se pääsee sisälle elektroniikkaan. Kolmas tapa kytkeytymiselle on epäsuora purkaus. Esim. muovikoteloitu laite ei ole suojattu sähkömagneettiselta säteilyltä, joka ESD-purkauksessa voi olla hyvinkin voimakas. Muovikoteloitu laite on usein varauksellinen, joka voi purkautua vaikka johtavan alustan kautta aiheuttaen ESD-purkauksen. (Alajoki & Smolander 2001.)

7.2 ESD-suojaus

Staattista sähkön aiheuttamia komponentin vikaantumisia voidaan välttää noudattamalla komponenttivalmistajien ESD-suojaussääntöjä komponentin kaikissa vaiheissa valmistuksesta lopputuotteeseen. ESD täytyy ottaa huomioon laitesuunnittelun kaikilla tasoilla suunnitellessa testauslaitteistoa. Suojauksen huomioiminen on suoraa ja välttämätöntä panostamista lopputuotteen korkeaan laatuun. (Alajoki & Smolander 2001.)

Komponenttivalmistajien kymmenen perussääntöä ESD-suojaukselle MOSFET-komponenteilla (Alajoki & Smolander 2001; Koskinen 2001; International Rectifier):

1. Komponentit tulee säilyttää ja kuljettaa toimituspakkauksissaan.
2. Komponentit saa poistaa pakkauksistaan vain staattiselta sähköltä suojatussa työasemassa.
3. Henkilöiden, jotka käsittelevät MOSFET-komponentteja, tulee pukeutua vaatteisiin, jotka eivät tuota staattista sähköä, ja heidän tulee olla maadoitettuja kaiken aikaa.
4. Lattioiden täytyy olla sähköä johtavaa materiaalia.
5. Työpöydissä täytyy olla sähköä johtava pinnoite ja ne on maadoitettava.
6. Eristemateriaalien välttäminen on suositeltavaa.
7. Antistaattisia materiaaleja tulee käyttää mahdollisimman paljon koestusalueella.
8. Mittalaitteen täytyy olla maadoitettuja
9. Komponentit saa koestaa vain sähköstaattiselta sähköltä suojatussa työasemassa.
10. Henkilöstön koulutus oltava riittävä ja annettuja ohjeita tulee käyttää, kaikkia yhdessä.

7.3 ESD-suojauksen toteutus

Herkkien ESD-komponenttien mittalaitteistolta vaaditaan oma suojaussuunnitelma laitteistosuojaukseen sekä käytönaikaiseen suojaukseen. Korkean laadun takaamiseksi staattisen sähkön suojaus jokaisessa komponentin käsittelyvaiheessa on otettava huomioon.

Laitteisto suojataan maadoittamalla kaikki keskuksen metalliosat maahan. Erityisesti maadoituksessa täytyy ottaa huomioon työskentelytaso. Lämpöalusta maadoitetaan erillisellä maadoitusjohdolla suoraan lämpöalustaan.

Keskuksen ja lattian välillä on johtava liitos. Testausalueen lattia on päällystetty erillisellä ESD-matolla. Lisäksi koestusalueella kaikilla työntekijöillä pitää olla

erilliset johtavat kengät ja ESD-vaatetus. Testaaja on maadoitettu testauksen aikana mittalaitteen runkoon erillisellä ranteeseen tulevalla maadoitusliitännällä. Koealueen työskentelytasot ja kuljetuspöydät ovat lattiaan johtavia.

8 OHJELMAN MÄÄRITTELY

Ohjelman teko ei kuulunut opinnäytetyöhön, koska ohjelma tehtiin LabView-ohjelmointiympäristössä. Kyseisen ohjelmointiohjelman opettelu vie paljon aikaa ja työrupeaman kesto oli liian lyhyt ohjelmoinnin opettelemiseen. Ohjelman toteutuksen teki Kempin testauslaitteiden ohjelmoija. Sen sijaan ohjelmiston tarkka määrittely kokonaisuudessaan kuului työn sisältöön. Ohjelmistomäärittely sisältää ohjelmiston käyttöliittymän suunnittelun, ohjelmiston rajapintamäärittely mekaniikkaan, ohjelman rungon määrittelyn, analogiasignaalien selostuksen, piirilevyjen releohjauksien määrittelyn jokaisessa mittausvaiheessa sekä mittauslokin rakenteen suunnittelun. Ohjelmistomäärittelystä tehtiin erillinen raportti. Tässä opinnäytetyössä selvitetään ohjelmiston määrittely vain pääosilta.

Tarkoituksena on saada mahdollisimman helppo ja vaivaton käyttöympäristö. Käyttöliittymällä annetaan testauksen alkaessa sarjan alkutiedot. Käyttöliittymä antaa testauksen aikana testitietoa testaajalle. Testauksen aikana käyttäjän normaalitilanteessa ei tarvitse käyttää muuta kuin start-nappia ja seurata merkkivaloja.

8.1 Testausohjelman käyttöliittymä

Testausohjelman käyttöliittymä on tietokone-ohjelma TFT-näytöllä (kuvio 20) ja näppäimistö. Käyttöliittymä antaa kaikki testaustiedot testauksen aikana ja käyttöliittymällä aloitetaan/lopetetaan/keskeytetään sarjan testaus. Manuaalinen ohjausmahdollisuus laitetaan vikatilanteita ja testauslaitteiston testausta varten. Testausrutiini voidaan suorittaa manuaalisesti vaihe vaiheelta.

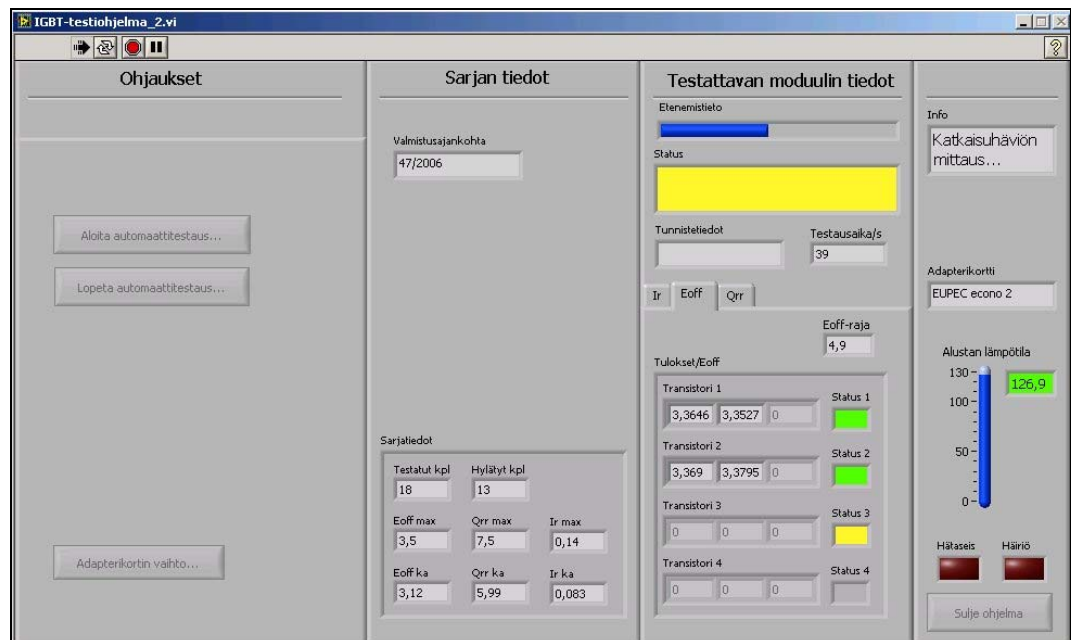
Testausohjelman käyttöliittymän syötteitä:

- IGBT-moduulin tyyppi eli tyyppinumero
- vuosi- ja viikkonumero
- automaattitestauksen aloitusnappi
- automaattitestauksen lopetusnappi (jonka jälkeen annetaan uudet syötteet)

- manuaaliohjaukseen tarvittavat painikkeet (tarvitaan laitteen testaukseen ja vikatilanteissa).

Testausohjelman käyttöliittymän tulosteita:

- saadut testitulokset ja niiden referenssiarvot
- hyväksytty/hylätty merkki
- testattujen määrä
- hylättyjen määrä
- lämpöalustan lämpötila.



KUVIO 20. Käyttöliittymä automaattitestauksen ollessa päällä

8.2 Loki

Lokiin tallennetaan jokaisen sarjan ääriarvot ja keskiarvot myöhempää tarkastelua varten. Lokiin ei ole tarvetta tallentaa moduulikohtaisia tietoja. Varaus yksilökohtaiseen tietojentallentamiseen on viivakoodilukijan myötä. Tallennus tapahtuu heti moduulin testauksen valmistuttua. Jokaisesta moduulista saadaan neljä mittaukseen mitattavaa suuretta kohti, joista korkeimpia arvoja verrataan referensseihin ja sarjan maksimiarvoihin. Neljästä mittauksesta korkein arvo tallennetaan lokiin.

Lokin rakenne:

- valmistaja
 - moduulityyppi
 - vuosi-, -viikko- ja viikkosarjamerkkijono
 - E_{off} maksimi
 - E_{off} keskiarvo
 - Q_{rr} maksimi
 - Q_{rr} keskiarvo
 - vuotovirtamaksimi
 - vuotovirran keskiarvo
 - testattujen määrä
 - hylättyjen määrä
 - sarjan viimeisin testauspäivämäärä

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Valmistaja	Moduulityyppi	Tunnistenumero	Vuotovirtamaksimi	Vuotovirran keskiarvo	Qrr maksimi	Qrr keskiarvo	Eoff maksimi
2								
3	valmistaja 1	221153	34/2004 A	0,1185	0,0351	3,7	3,5	3,7
4	valmistaja 2	123555A	47/2006	0,1419	0,0889	3,5	3,1	3,7
5	valmistaja 3	66775	34/2004 B	0,3776	0,3776	2,9	2,9	2,9
6	valmistaja 4	11AA899	37/2004	0,3902	0,3868	1,5	1,5	1,5
7	valmistaja 5	240101	34/2004 A	0,3056	0,172	2,9	2,8	2,9
8	valmistaja 6	120202	13/2004	0,0642	0,0431	1,8	1,8	1,8
9	valmistaja 7	1515115	16/2005 D	0,108	0,108	4,7	4,7	4,7

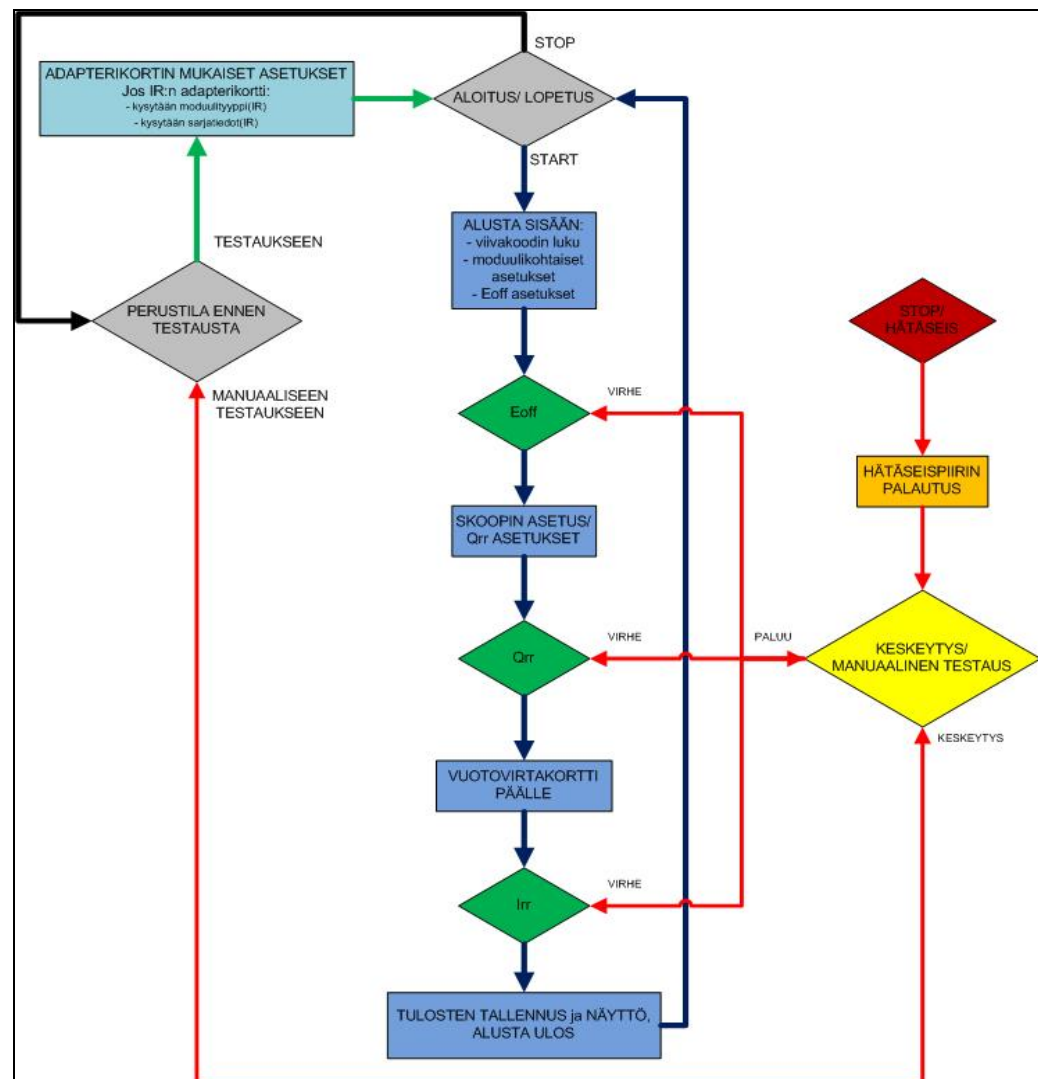
KUVIO 21. Exceliin päivittyvä loki

Lokiin tallentuu kytkentähäviöiden maksimiarvo, estosuuntaisen päästöhäviöiden maksimiarvo, vuotovirran maksimiarvo ja kaikkien näiden suureiden omat keskiarvot. Testattujen määrä -tietoa käytetään myös keskiarvojen laskentaan. Lokiin tallennetaan vain viimeisin ko. sarjan testauspäivämäärä, koska ei ole tarpeellista tietää kaikkia sarjan mahdollisia testauspäivämääriä.

Ohjelma tekee lokin EXCEL-tiedostoon, josta näkee taulukkomuodossa sarjojen mittaustiedot. Saman sarjan testausta voi myöhemmin jatkaa, jolloin ohjelma vain päivittää jo olemassa olevaa moduulisarjan testaustietokantaa.

8.3 Ohjelman rakenne

Kuvion 22 lohkokaavio kuvaa ohjelman rakennetta päätasolla. Ohjelmassa on kaksi pääosaa: perustila ja varsinainen koestusohjelma. Käynnistäessä ohjelman tullaan perustilaan, josta mennään koestusosaan. Koestusosan lopetettua palataan perustilaan.



KUVIO 22. Ohjelman lohkokaavio

Perustila ennen testausta -kohta on ohjelman perustila. Käyttäjä etenee joko automaattiseen mittaukseen tai manuaaliseen mittaukseen. Automaattiseen mittaukseen mennessä kysytään koneessa olevan adapterikortin mukaan moduulivaihtoehtoja yksi (alasvetovalikko). Viivakoodillisilla moduuleilla moduuli tunnistetaan, jolloin väärää moduulia ei pääse adapterikortille. Odotetaan kunnes käyttä-

jä on painanut start-nappia ja ohjataan alusta sisään ja nostetaan IGBT adapterikortin mittausliittimiin kiinni.

Keskeytyksestä tai manuaalisesta ohjauksesta voidaan ohjata toimintoja manuaalisesti. Mittauksista tullaan keskeytykseen, jos mittaus ei ole alittanut referenssiarvoja. Tällöin mahdollista on joko jatkaa automaattitestausta tai lopettaa kyseisen moduulin testaus.

Hätäseis tilanteessa hätäseispiirin kuitaannuttua mennään keskeytettyyn tilaan, josta mittauksista voi jatkaa normaalin keskeytystilanteen mukaan. Moduulikohtaiset asetukset on kuitenkin ennen mittauksia asetettava uudelleen, koska hätäseispiiri katkaisee sähköt mittauspiireiltä.

Stop-painike aukaisee hätäseis-piirin, josta tulee myös tieto tiedonkeruujärjestelmään. Palautusosassa odotetaan hätäseispiirin kuitausta. Hätäseispiirin kuitaannuttua mennään keskeytystilaan, josta koestusta voi taas jatkaa. Keskeytyksestä palattaessa mittauksiin palataan aina yksi vaihe mittauksissa taaksepäin, jolloin tulee mitattua keskeytyksen keskeyttämä mittaus uudelleen.

Moduulin tunnistuksen jälkeen asetetaan kela- ja kondensaattoriasetukset, joita ei tarvitse muuttaa ennen kuin sarja vaihtuu erityyppiseksi moduuliksi. Kun alusta on ylhäällä, voidaan asettaa adapterikortilla olevat releet. Testaus voidaan aloittaa ja käydä läpi. Ilman viivakoodinlukijaa koestettaessa moduulikohtaisia asetuksia ei tarvitse tarkastaa/muuttaa ohjelmallisesti kesken testauksen vaan asetukset ovat alussa syötettyjen sarjatietojen mukaiset.

Lopuksi adapterikortin releet otetaan pois päältä. Nyt voidaan ohjata alusta alas ja eteen. Samalla tulostetaan mittauksen tulos käyttöliittymään ja sytytetään joko punainen tai vihreä valo. Tulokset kirjataan lokiin.

Seuraava moduuli asetetaan alustalle ja painetaan Start-nappia. Alusta viedään sisään. Moduuli tarkistetaan viivakoodista ja nostetaan alusta ylös. Nyt voidaan taas asettaa adapterikortin releet ja testata moduuli läpi.

9 YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä tarkoituksena oli rakentaa prototyypilaitteen tilalle uusi, paremmin käyttötarpeita vastaava laite. Uuden laitteen suunnittelussa merkittävimpänä lähtökohtana oli parantaa testauksen laatua. Samalla panostetaan lopputuotteen laatuun. Prototyyppi oli sinänsä havaittu toimivaksi, mutta mm. luotettavuus, käytettävyys, laitteen dokumentointi ja mittaustulosten tallennus eivät olleet riittävällä tasolla tai ne puuttuivat kokonaan. Työssä haettiin ja onnistuttiin kehittämään prototyypistä havaittuihin ongelmakohtiin parempia ratkaisuja. Lisäksi työturvallisuutta, ESD-ratkaisuja ja työergonomiaa tutkittiin ja pystyttiin parantamaan.

IGB-transistori ja tehodiodi esiteltiin aluksi, jotta lukija saa käsityksen moduulin komponenteista, jotka mittalaitteistolla testataan. Samalla selvennetään teoriassa häviöiden syntyä ja niiden syitä. Seuraavaksi selvitettiin mitattavien suureiden mittausta, miten tehohäviöitä lasketaan ja niiden suureiden yksiköt sekä suuruusluokat.

Prototyypilaitteen mittauselektronikan riittävä tunteminen antoi mahdollisuuden alkaa määrittelemään ohjausjärjestelmää analogiakorteille. Ohjausjärjestelmän määrittelyssä selviää tiedonkeruujärjestelmän tarve. Mittalaitteeksi valittiin erillinen oskilloskooppi, jota ohjataan tietokoneella. Näiden pohjalta voitiin aloittaa keskuksen ja mekaniikan hahmottelu, kun mittalaitteisto oli valittu. Mekaniikan suunnittelua ohjasi mittalaitteivaatimusten mukaiset ESD-vaatimukset sekä soveltuvuus kohteeseen. Lisäksi käytännöllisyys on yksi iso tekijä, kun mittalaite on päivittäisessä käytössä.

Mittalaite saatiin valmiiksi maaliskuussa 2007. Laitteella mitataan kaikki Kempille tulevat laitteeseen sopivat IGBT-moduulit. Tarve laitteelle oli suuri, sillä IGBT on hakkurivirtalähteen avainkomponentti ja näin sen testaus on ensiarvoisen tärkeä. Kempillä panostetaan laatuun ja sen seurantaan. Nyt yksi heikko kohta on korjattu laadun varmistuksessa parantamalla testauslaitteistoa. Yhteenvedona voi-

daan sanoa projektin onnistuneen ja laite on tullut tarpeeseen parantamaan laatua Kempin hitsauslaitteissa.

Opinnäytetyön näkökulmasta laite perehdytti työn ohella laiterakentamisen kaikkiin tasoihin laitemäärittelystä käyttökoulutukseen. Määrittely, suunnittelu, komponenttien valinta, kasaus, osa-alueiden ja kokonaisuuden testaus, mittauselektronikan päivittäminen ja testaus, piirilevyjen päivittäminen ja teettäminen, ohjelmistosuunnittelu, dokumentaatio ja opastus sekä ohjeiden laatiminen kuuluivat työn sisältöön. Mielenkiintoinen ja erittäin opettava työ sisälsi siis mekatronikkaa, elektroniikkaa, sekä tietotekniikkaa. Työ antoi erinomaista kokemusta monista laiterakentamisen osa-alueista, elektroniikasta ja näiden yhteen soveltamisesta samaan tiedonkeruulaitteistoon.

Lopuksi kiitän projektiin osallistuneita Kempin tuotantotekniikan osaston henkilöitä, jotka olivat mukana projektin käytännön toteutuksessa. Lisäksi kiitän Aleksia Nyholmia laitteen ohjelmiston toteutuksesta ja opastuksesta projektin aikana. Erityisesti haluan kiittää osastopäällikkö Matti Jokista avusta ja tuesta projektin aikana sekä mahdollisuudesta tehdä opinnäytetyö osastollanne opintojen ohessa.

LÄHTEET

- Alajoki, M. & Smolander, S. 2001. Elektroniikkalaitteiden suunnittelu [verkkójulkaisu]. ESD [viitattu 3.01.2007]. Saatavissa: <http://www.tkk.fi/Yksikot/Elektroniikka/Kurssit/171/Materiaali-2001/ESD.pdf>
- Blake, C. & Bull, C. IGBT or MOSFET: Choose Wisely [verkkójulkaisu]. [viitattu 2.2.2007]. Saatavissa: <http://www.irf.com/technical-info/whitepaper/choosewisely.pdf>
- Guerra, A., Maddaleno, F. & Soldano, M. 1998. Effects of Diode Recovery Characteristics on Electromagnetic Noise in PFCS [verkkójulkaisu]. [viitattu 19.01.2007]. Saatavissa: <http://www.irf.com/technical-info/whitepaper/diodesapec98.pdf>
- Hyrkäs, M. 2005. Tehoelektroniikka. Kurssimoniste. Lahden ammattikorkeakoulu, Tekniikan laitos.
- Häsä, H. 2005. Mittausjärjestelmä IGBT:n lämpötilan määrittämiseen [verkkójulkaisu]. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulun diplomityö [viitattu 10.08.2006]. Saatavissa: http://www.ee.lut.fi/fi/lab/saatotekniikka/julkaisut/dtyo_hasa.pdf
- Infineonin tuotejulkaisu [online]. Saatavissa: <http://www.infineon.com>
- International Rectifier. Protecting IGBTs and MOSFETs from ESD [verkkójulkaisu]. [viitattu 10.3.2007]. Saatavissa: <http://www.irf.com/technical-info/appnotes/an-955.pdf>
- Koskinen, J. 2001. Diskreettien IGB-transistorien soveltaminen hitsausvirtalähteisiin ja tuotantoprosessiin. Lahden ammattikorkeakoulu, Tekniikan laitos.

Opinnäytetyö.

Lemsys [verkkajulkaisu].[viitattu 31.11.2006]. Saatavissa:

<http://www.lemsys.com/FicheTRD2030-2.html>

National Instruments [verkkajulkaisu]. [viitattu 12.2.2007]. Saatavissa:

www.ni.com

Peltonen, H., Perkkiö, J. & Vierinen, K. 2002, Insinöörin (AMK) Fysiikka Osa 2. 5. painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy

Pyrhönen, J., Huppunen, J., Kuisma, M. & Laurila, L. 2000. Tehoelektroniikan komponentit. LTKK, Sähkötekniikan osasto, Lappeenranta.

Semikron. Thyristor/Diode Modules [verkkajulkaisu].[viitattu 4.01.2007]. Saatavissa:

http://www.semikron.com/internet/webcms/objects/a_part/A11_det_eng.pdf

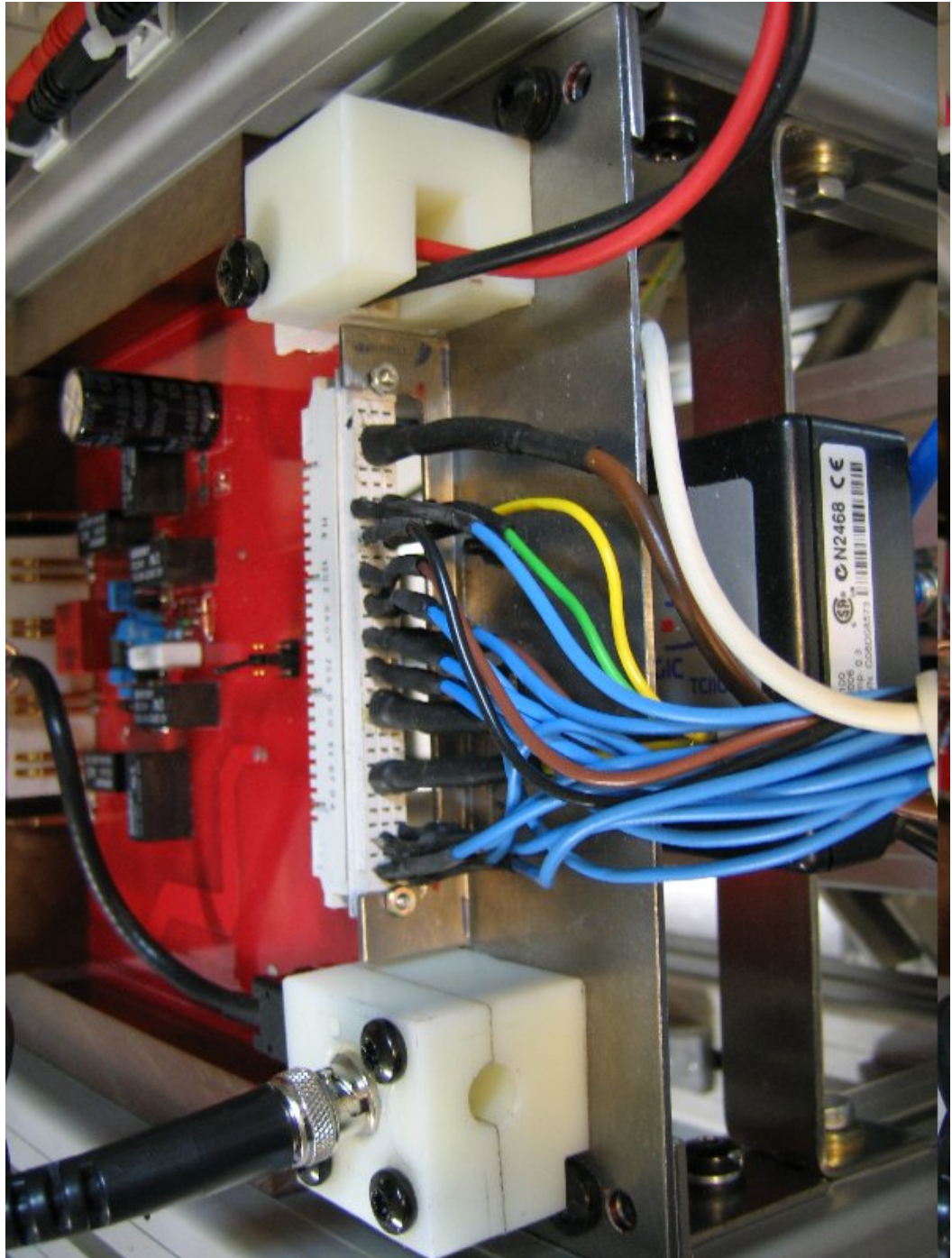
Siemens. IGBT (insulated gate bipolar transistor) [verkkajulkaisu].[viitattu 15.2.2007]. Saatavissa:

http://www.infineon.com/upload/Document/cmc_upload/migrated_files/document_files/Application_Notes/lh_ap_18.pdf

Tektronix [verkkajulkaisu].[viitattu 10.1.2007]. Saatavissa: <http://www.tek.com>

LIITTEET

LIITE 1. Adapterikortin vastaliittimet: BNC, EURO-32 sekä nailonrunkoliitin.



LIITE 2. Galvaaninen signaalierotin.

Ominaisuuksia

RTD, TC $^{\circ}$), mV, V, mA, vastus- ja potentiometritulot
 V- ja mA-lähdöt, myös +/--signaalit
 Tulo, lähtö ja apujännite kaikki toisistaan galvaanisesti erotettu
 Asettelu PC-tietokoneella
 Hyvä tarkkuus ja toiminnan vakavuus
 Kentällä uudelleen aseteltava
 DIN-kiskokiinnitys
 Saatavana konfiguroituna asiakkaan toiveiden mukaisesti

Käyttöalueita

Yleinen kone- ja laiteautomaation signaalien sovitus
 Lämpötila-anturien mittalähtimenä prosesseissa, automaatiojärjestelmissä ja energian tuotannossa ja jakelussa

Yleistä

Johdanto

DAT 4235 on "viksu" monessa mielessä. Sillä voidaan hoitaa termopari-anturien (TC) ja vastuslämpötila-anturien (RTD) linearisoidut viestimuunnokset. Vastusarvon muutokset annetaan lineaariviesteinä samoin kuin potentiometrin asentotieto. Luonnollisesti myös jänniteviestit ja virtaviestit muunnetaan tarkasti. Galvaaninen erotus on kolmepäinen eli sekä syöttöjännitteen että tulon ja lähdön kesken. Moduuli tarvitsee kojekiskolta vain 12,5mm leveän paikan.



Tuloviestit

DAT4235 on aseteltavissa toimimaan kaikilla seuraavilla viesteillä

- RTD anturit Pt100, Pt1000, Ni100, Ni1000 3- ja 4-johdin kaapelikompensoinnein
- TC termoparianturit 8 eri tyyppiä, ns. kylmän pään kompensointi on valittavissa joko sisäiseksi tai ulkoiseksi
- virta -10 ... + 24mA
- jännite -400mV/700mV tai +/-10V asti
- vastus lineaarinen mittausta 20-2000 ohmia 3- ja 4-johdin kompensoinnein
- potentiometri (jännitejako) 20 ohm...50kohmi

Lähtö

Ohjelmoitava virta- tai jännitelähtö 0-20mA, +/-20mA, tai 0-10V tai +/-10V alueelle. Lähdön toiminta ohjelmoitavissa anturirikoille joko signaali maksimiin tai signaaliminimiin (Upscale Downscale). Lähdöillä oikosulkusuojaus.

LIITE 3/1. Keskus edestäpäin



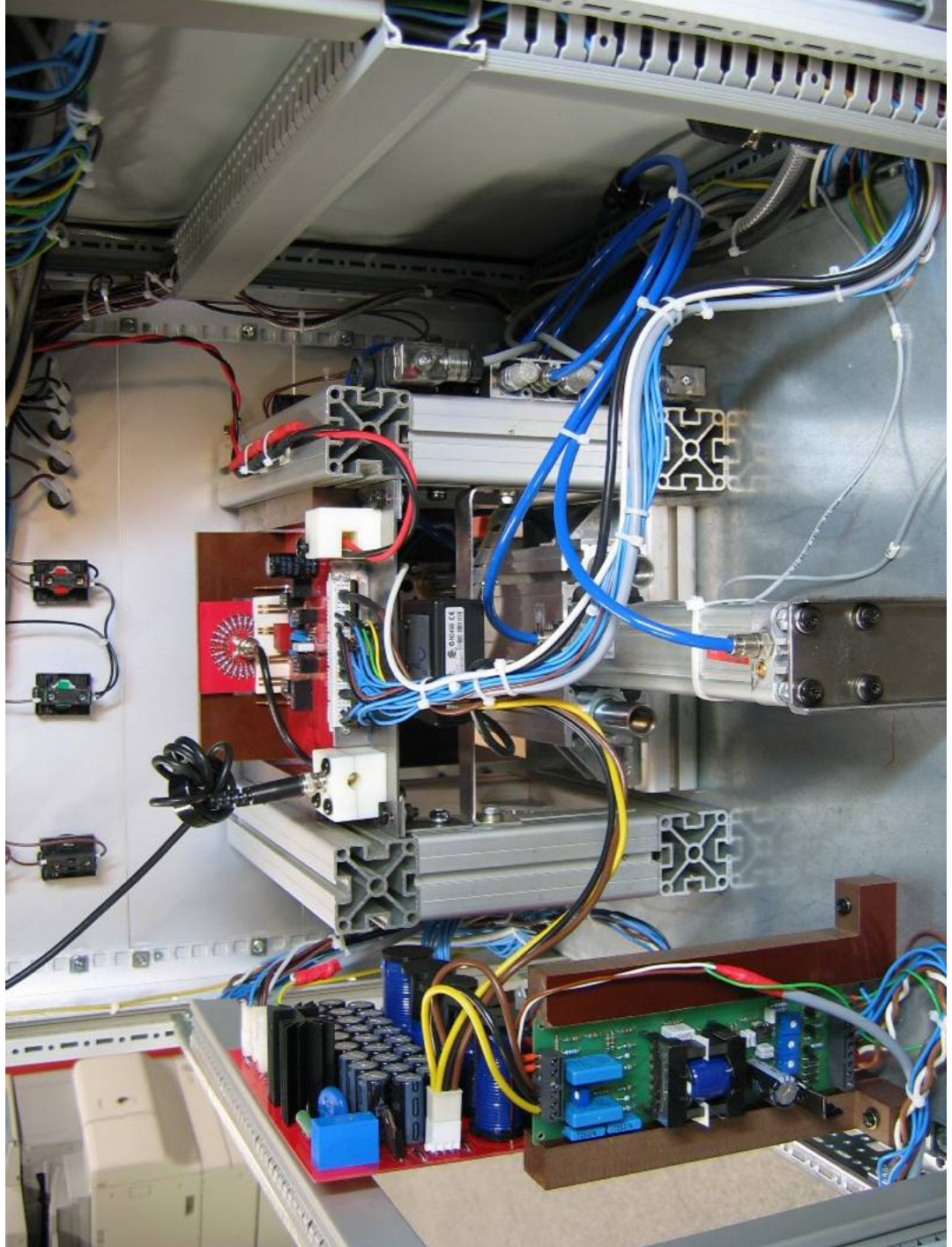
LIITE 3/2. Keskus takaapäin



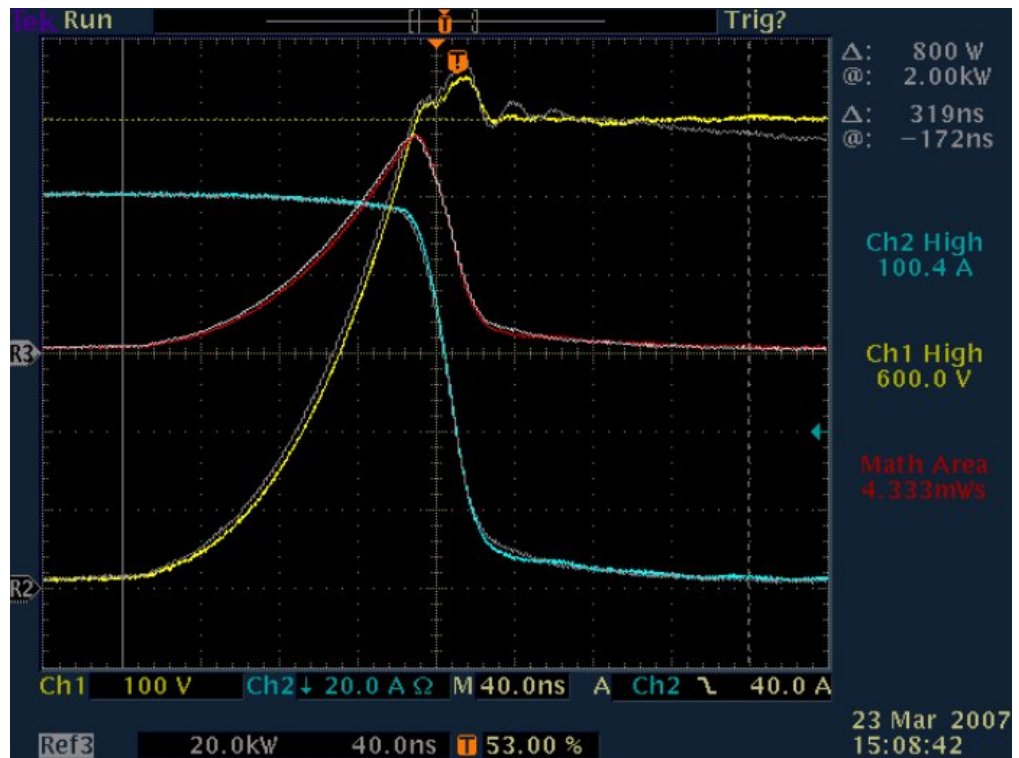
LIITE 3/3. Kuvat vanhasta testauslaitteesta, prototyypistä



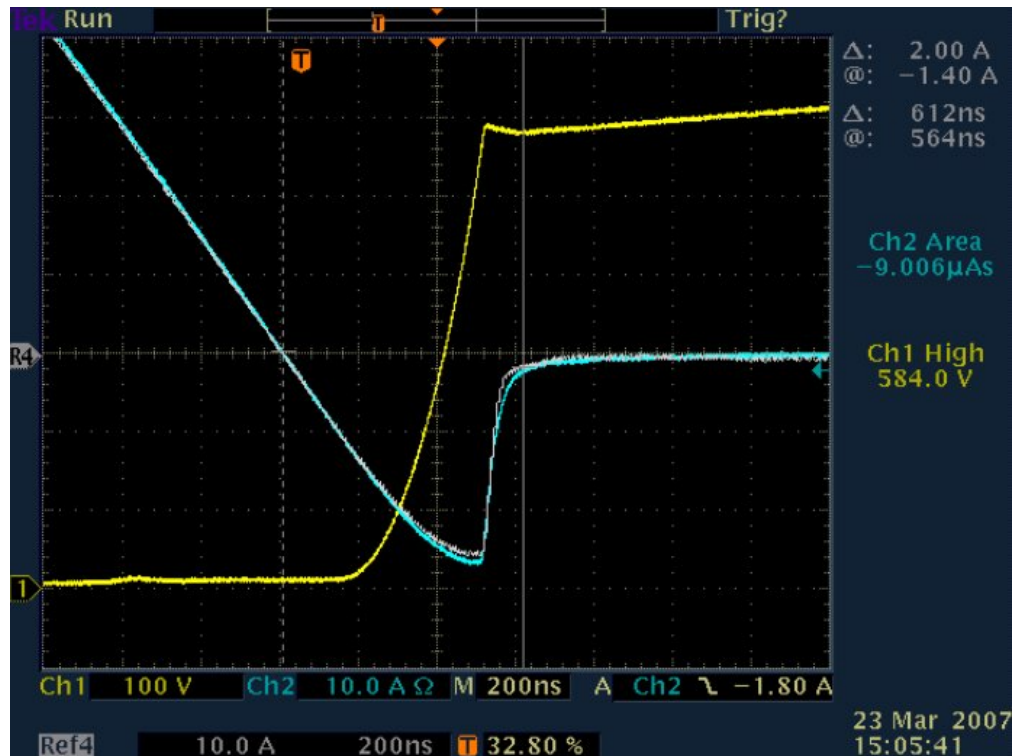
LIITE 4. Moduulin nostomekaniikka sekä piirikorttien sijoittelu



LIITE 5. Mittalaitteiden vertailu



E_{off} mittauksen ero vanhan (valkoiset viivat) ja uuden testilaitteen välillä.

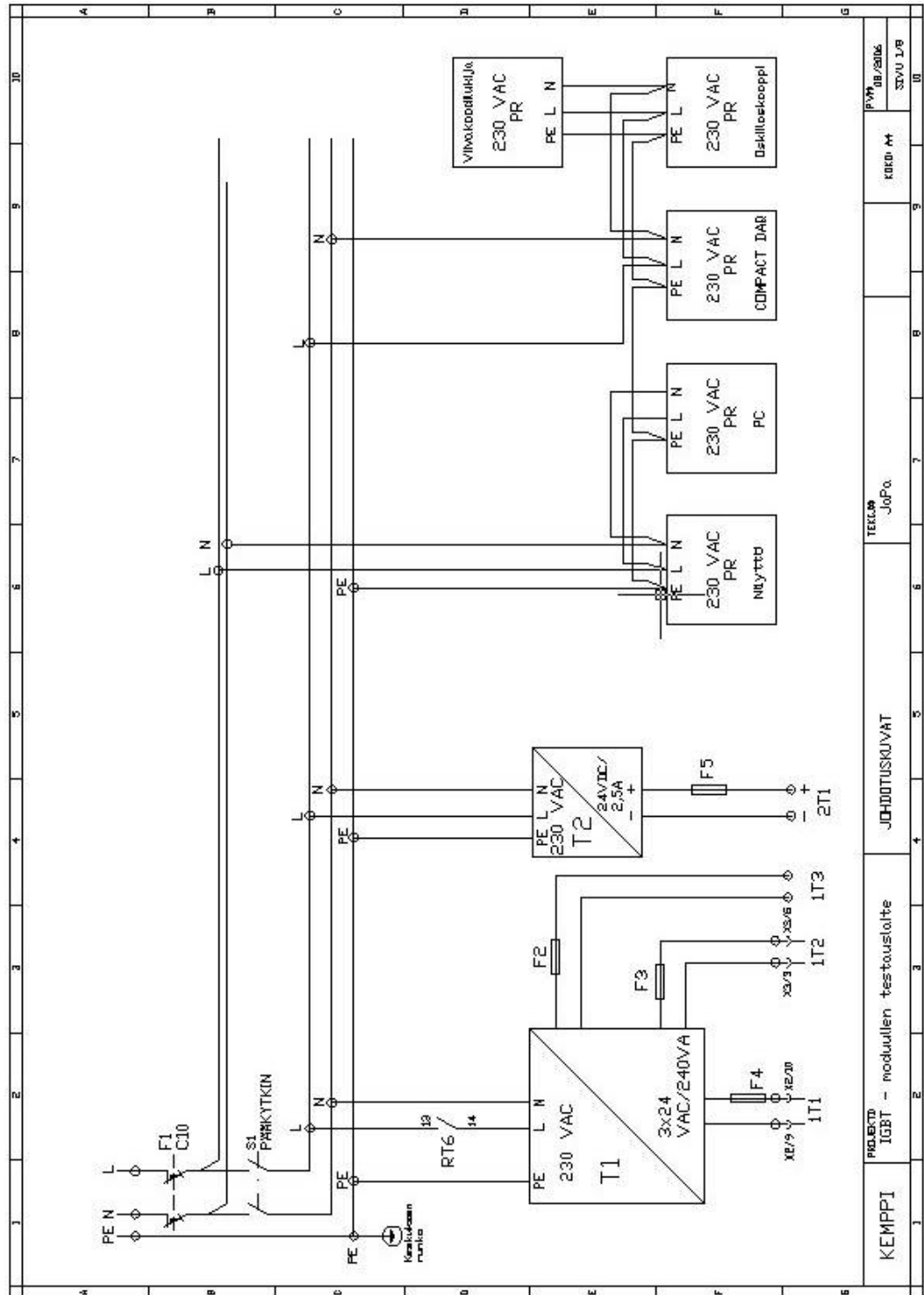


Q_{rr} mittauksen ero vanhan (valkoiset viivat) ja uuden testilaitteen välillä.

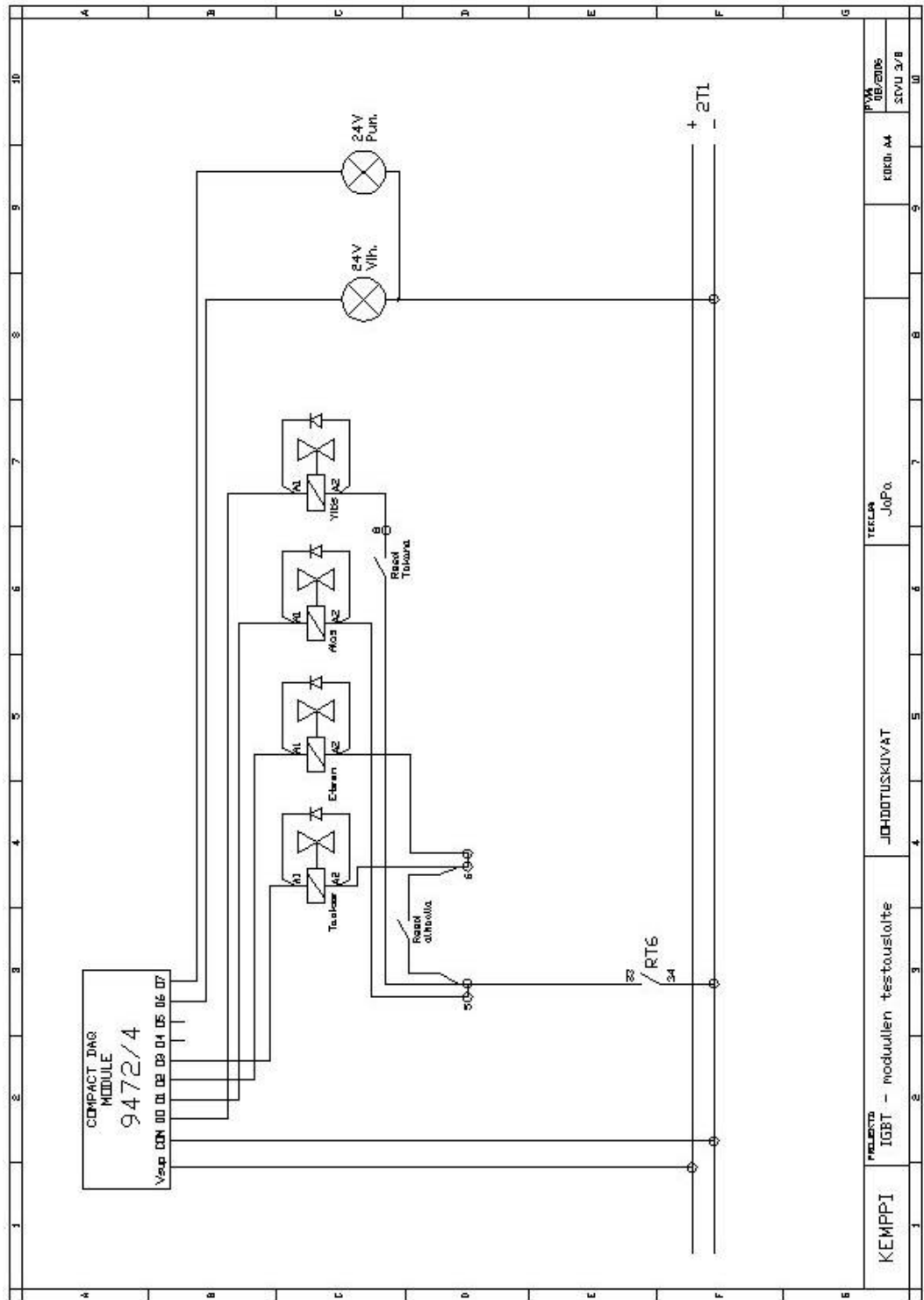
LIITE 6. Laitteiston johdotuskaavio tiedonkeruulle sekä piirilevyille

TIEDONKERUU				KOHDE		LÄHTÖ		KOHDE	
mod.	I/O	toiminta	muuta	liitin	numero	liitin	numero	liitin	numero
9472/1	0	K1, tehonsyöttö	pääpiirikortti	X1	7	X4	1		vuotovirtakortti
	1	K12, Qrr start	pääpiirikortti	X2	1		3		vuotovirtakortti
	2	K13, adapterikortin konkkien purku	pääpiirikortti	X3	1		4	EURO 48	2abc ja 4abc
	3	K11, Qrr mittausvalinta	pääpiirikortti	X1	8		6	EURO 48	26abc
	4	K7, Kondensaattorien valinta	pääpiirikortti	X1	12	X3	3		1T2
	5	K8, Kondensaattorien valinta	pääpiirikortti	X1	11		6		1T2
	6	K9, Kondensaattorien valinta	pääpiirikortti	X1	10	X2	6 tai 7		yhteinen
7	K10, Kondensaattorien valinta	pääpiirikortti	X1	9	X1	1		yhteinen	
9472/2	0	K2, Kelan valinta	pääpiirikortti	X1	2	EURO 48	10bc		1T1
	1	K3, Kelan valinta	pääpiirikortti	X1	3	EURO 48	12bc		1T1
	2	K4, Kelan valinta	pääpiirikortti	X1	4				
	3	K5, Kelan valinta	pääpiirikortti	X1	5				
	4	K6, Kelan valinta	pääpiirikortti	X1	6				
	5								
	6	K13, lisäkondensaattori adapterikortilla	mittauskortti	EURO 48	30a				
7	K14, Qrr jännite ON	pääpiirikortti	X2	12					
9472/3	0	K1 ja K2	mittauskortti	EURO 48	14a				
	1	K3	mittauskortti	EURO 48	14b				
	2	K4 ja K5	mittauskortti	EURO 48	8c				
	3	K6	mittauskortti	EURO 48	14c				
	4	K7	mittauskortti	EURO 48	30b				
	5	K8	mittauskortti	EURO 48	32c				
	6	K9	mittauskortti	EURO 48	32a				
7	K10	mittauskortti	EURO 48	32b					
9472/4	0	Magneettiventtiili, ylös	Hakkurilähde						
	1	Magneettiventtiili, alas	Hakkurilähde						
	2	Magneettiventtiili, eteen	Hakkurilähde						
	3	Magneettiventtiili, taakse	Hakkurilähde						
	4								
	5	Sähkölukko	Hakkurilähde						
	6	Merkkivalo vihreä	Hakkurilähde						
7	Merkkivalo punainen	Hakkurilähde							
9472/5	0	Vuotovirtakortin ohjaus 1, 600V	vuotovirtakortti						
	1	Vuotovirtakortin ohjaus 2, 400V	vuotovirtakortti						
	2	Vuotovirtakortin ohjaus 3, ? V	vuotovirtakortti						
	3								
	4								
	5								
	6								
7									
9263	0	Virransäätö		EURO 48	10a ja 10c				
	1	Jänniteensäätö		X5	1 ja 2				
	2								
3									
9215	0	Vuotovirta(jännite)	vuotovirtakortti						
	1	Vuotovirtajännite	vuotovirtakortti						
	2		vuotovirtakortti						
3	Termostaatti	vuotovirtakortti							
9421	0	Paikkatietoanturi, takana	Hakkurilähde						
	1	Paikkatietoanturi, ylhäällä	Hakkurilähde						
	2	Start -nappi	Hakkurilähde						
	3	Stop -nappi	Hakkurilähde						
	4	Mittauskortin tunnistus 1	Hakkurilähde	EURO 48	16b				
	5	Mittauskortin tunnistus 2	Hakkurilähde	EURO 48	16c				
	6	Mittauskortin tunnistus 3	Hakkurilähde	EURO 48	18c				
7	Turvalinja	Hakkurilähde	RT6	Y14					

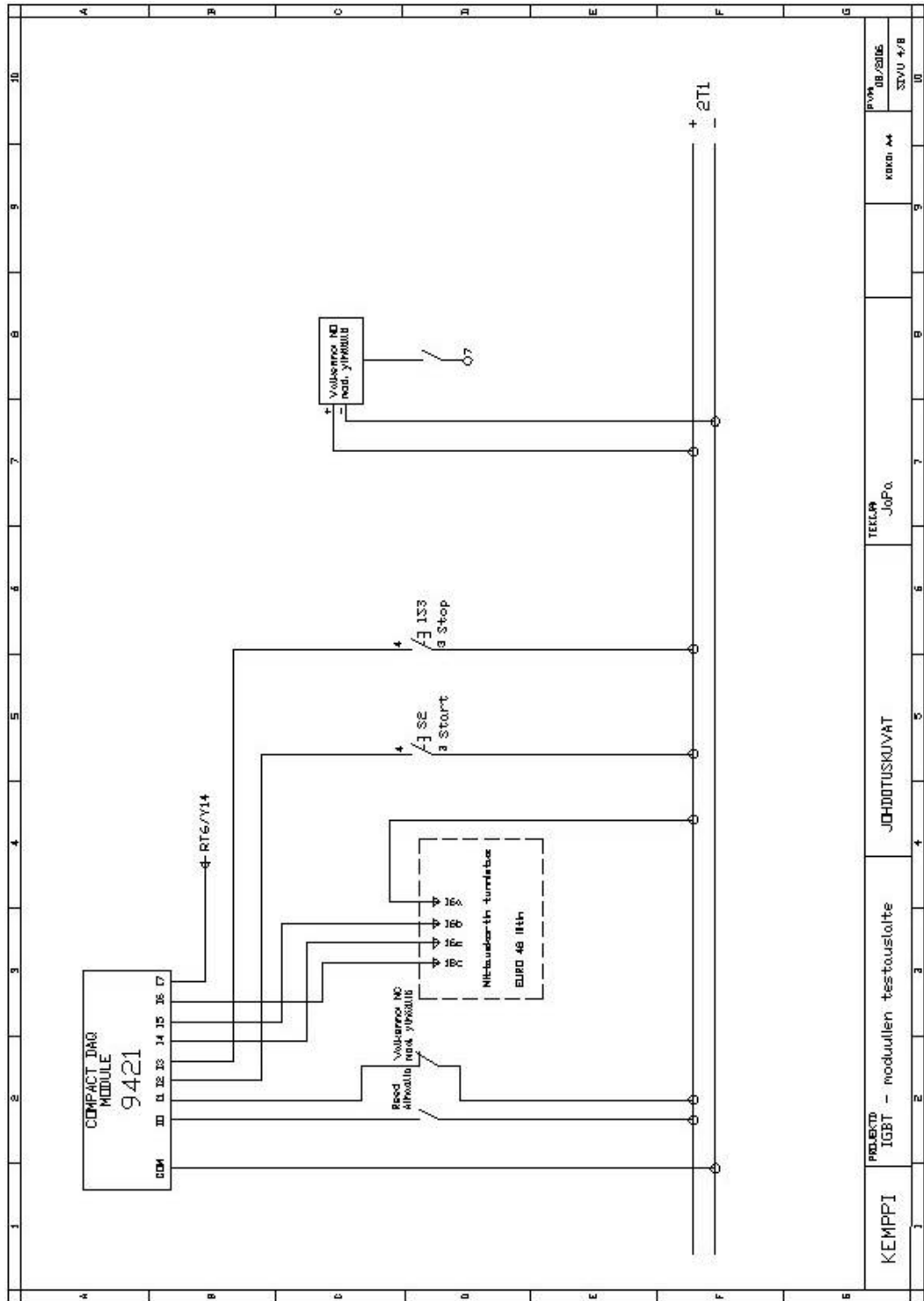
LIITE 7/1



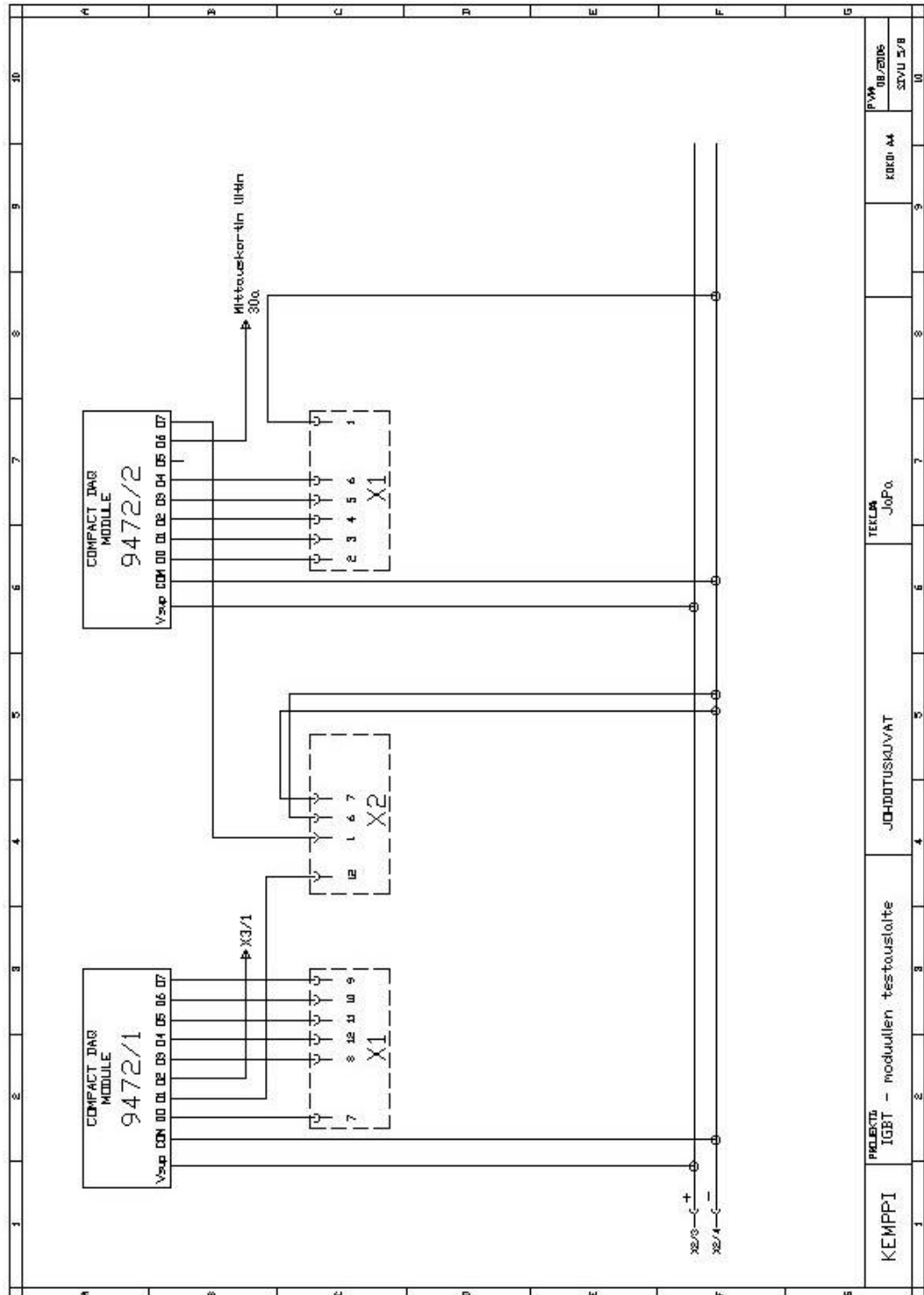
KEMPPI	PROJECT IGBT - moduulien testauslaitte	JOHDUTUSKUVAT	TEKIJÄ JopPa	KOKOAA	PVM 08/2016	33VU L/P

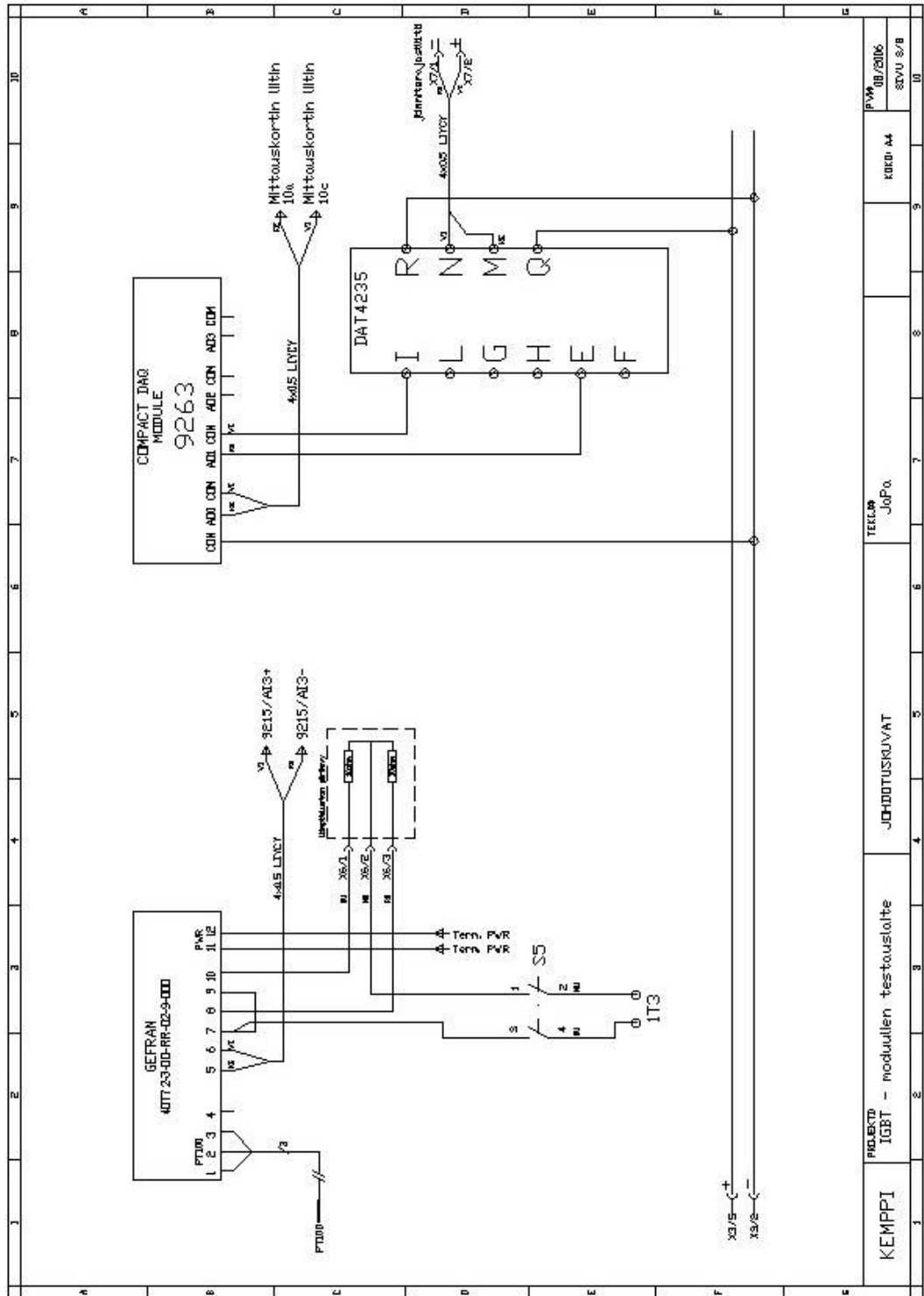


KEMPPI	PROJEKTI IGBT - moduulien testauslaitte	JÄRJESTYSKUVAT	TEKIJÄ JoPo.	KOKO. A4	PIK. 06/2006
					SIVU 3/8



KEMPPI	PROJEKTI IGBT - moduulien testauslaitte	JOHDOTUSKUVAT	TEELAP JoPo	kaksi A4	PIKSI
					08/2015
					33VU 4/8





KEMPPI	PROJECT IGBT - moduulien testulaite	JOHNTUSKUVAT	TELEP JOPo	KOKO A4	PWA 08/2006
1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12