



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Juri Fredlund

PIENJÄNNITEKYTKIMEN JA SIIHEN
LIITETYN KUORMAN TOIMINTAPIS-
TEEN OSOITUS SULAUTETUN- JA
ETÄHALLINTAJÄRJESTELMÄN
AVULLA

Tekniikka ja liikenne
2013

ALKUSANAT

Opinnäytetyö on tehty ABB Oy:lle Vaasan ammattikorkeakoulun tietotekniikan koulutusohjelman päättötyönä.

Yhdyshenkilönä ABB:ltä toimi Raimo Sillanpää ja opinnäytetyötä ohjasi opettaja Santiago Chávez.

Haluan kiittää Raimo Sillanpäää, Santiago Chávezia sekä koko Breakers and Switchesin elektroniikkatiimiä, joiden avustuksella tämä työ voitiin toteuttaa.

Vaasassa 20.5.2013

Juri Fredlund

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Juri Fredlund
Opinnäytetyön nimi	Pienjännitekytkimen ja siihen liitetyn kuorman toimintapisteen osoitus sulautetun- ja etähallintajärjestelmän avulla
Vuosi	2013
Kieli	suomi
Sivumäärä	56 + 6 liitettä
Ohjaaja	Santiago Chávez

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia pienjännitekytkimen ja sen kuorman toimintaa ja pohtia ratkaisuja niiden kuntojen indikoimiseksi ja tiedon siirtämiseksi etähallintajärjestelmään. Sopivien valmiiden kytkimien anturointiratkaisujen puuttuessa tarkoituksena oli myös rakentaa elektroninen laite, joka kykenee havainnoimaan kytkimen yhteydestä tietoa, josta tilaindikaatio voidaan rakentaa.

Elektroniikkaa lähdettiin rakentamaan käyttäen mahdollisimman paljon hyväksi yrityksellä ennestään valmiina ollutta materiaalia ja kokemusta eri komponenteista, laitteista sekä ohjelmistoista. Työssä suunniteltiin yksi piirikortti PADS PowerLogic-ohjelmistolla ja se valmistettiin tilaustyönä ulkopuolisilta yrityksiltä. Työssä suunniteltiin myös esimerkit toimintapistekuvaajista sekä tulevista elektroniikalla ja pienjännitekytkimellä suoritettavista testeistä.

Suunniteltu elektroniikka kykenee mittaamaan pienjännitekytkimeltä käyttökerroja, käyttöaika, yleis- ja napakiskojen lämpötiloja, kuorman sähköverkon jännitteitä, virtoja sekä muita laatuominaisuuksia ja tallentamaan nämä kaikki sisäiseen muistiin, joka voidaan kirjoittaa etähallintajärjestelmään CAN- tai RS485-väylän avulla. Elektroniikka mahdollistaa myös jatkossa tehtävien testien suorittamisen toimintapisteen tarkempaa määrittystä varten. Työssä suunnitellut toimintapistekuvaajat määriteltiin pääosin käyttäen hyväksi kytkimen kuntotietoa, joka oli johdettavissa elektroniikan mahdollistamista mittaustuloksista. Aikataulun niukkuudesta johtuen, varsinaisia testejä elektroniikalla ei vielä ehditty toteuttaa vaan ne jätettiin myöhemmäksi.

ABSTRACT

Author	Juri Fredlund
Title	Indicating the Working Point of Low Voltage Switchgear
Year	2013
Language	Finnish
Pages	56 + 6 Appendices
Name of Supervisor	Santiago Chávez

The purpose of this thesis was to research the operation of low voltage switch and its load. The goal was to find out how the condition of the switch and the load can be monitored and transferred to remote management system and displayed as a single operation point image. Because there was no suitable metering device for metering values to construct operation point image an electronic device was developed.

Electronics was designed so that as much as possible pre-existing materials and experience found inside the company was used. During this thesis one electronic card was designed and drawn with PADS PowerLogic software. Printed circuit board was manufactured and assembled in another company. Examples of working point indication image were designed. Also some examples of the tests which are going to be made with electronics and low voltage switch afterwards were introduced.

Designed electronic device can measure working cycles, working time, ambient and cable terminal temperatures, load voltages, currents and power quality from the switch. It can also save the measured values in RAM-memory and transmit them to remote management system using RS485- or CAN-bus. Electronic device provides a way to perform the tests introduced in this thesis to improve working point definition. The operation point image examples were created from the switch's condition indication derived from the measurement values which designed electronic device was capable of measuring. The tests which were planned to be performed were not made because the time available for this thesis ran out.

Keywords	low voltage switchgear, operation point, power quality, remote management system
----------	--

KÄYTETYT LYHENTEET

ABB	Asea Brown Boveri. Monikansallinen yritys jonka toiminta keskittyy automaatio- ja sähkövoimatekniikan alueille.
LEM	Sähköisten parametrien mittaukseen tarkoitettuja laitteita valmistava yritys.
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory eli sähköisesti tyhjennettävä muistityyppi johon nimestään huolimatta voidaan kirjoittaa tietoa.
WRM	Wapice Remote Management. Wapicen kehittämä etähallintajärjestelmä.
RS485	TIA/EIA:n(Telecommunications Industry Association/Electronic Industries Alliance) standardoima sarjaliikenneväylä muun muassa teollisuuden tarpeisiin.
DIN	DIN-kisko on standardoitu kiskomalli jota käytetään muun muassa sähkökeskuksissa erilaisten sähkölaitteiden tai komponenttien kiinnittämiseen.
RAM	Random Access Memory. Muistityyppi, jota voidaan lukea ja johon voi myös kirjoittaa tietoa.
I/O	Input/Output eli sisääntulo/lähtö.
PWM	Pulse Width Modulation eli pulssinleveysmodulaatio.
RC	Resistor-Capacitor-filter. Elektroniikan vastus-kondensaattori suodatinmalli, jossa vastus on sarjaankytkettynä kondensaattorin kanssa maapotentiaalia vasten.
SPI	Serial Peripheral Interface. Synkroninen ja sarjamuotoinen elektroniikan tietoliikenneväylä.

USB	Universal Serial Port. Sarjamuotoinen tietokoneiden ja elektronisten laitteiden välille kehitetty standardoitu tietoliikenneväylä.
CAN	Controller Area Network.
DSP	Digital Signal Processor. Digitaalinen signaalinkäsittelyprosessori.
HSDC	High Speed Data Capture port. Synkroninen ja sarjamuotoinen tiedonsiirtoväylä.
SDRAM	Synchronous dynamic random access memory eli synkroninen DRAM.
GSM	Global System for Mobile Communications. Maailmanlaajuisesti käytössä oleva matkapuhelinverkkojärjestelmä.
GPRS	General Packet Radio Service. GSM-verkossa toimiva tiedonsiirtopalvelu.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	6
1.1	Tavoitteet	7
1.2	Eteneminen ja esitutkimus	8
2	RAKENNETTAVAN LAITTEEN MÄÄRITTELY	9
2.1	Toiminnalliset vaatimukset.....	9
2.1.1	Elektroniikan vaatimukset.....	11
2.1.2	Ohjelmiston vaatimukset.....	13
2.2	Komponenttien valinta.....	14
2.2.1	Muualta implementoidut komponentit ja osat	16
2.2.2	Ympäristön lämpötilanmittaus	17
2.2.3	Napakiskojen lämpötilanmittaus	17
2.2.4	Virran, jännitteen ja sähkön laadun mittaus	19
2.2.5	Käyttökertalaskuri	22
2.2.6	CAN – tiedonsiirtoväylä	24
2.2.7	Isolointi	24
2.2.8	Tehonsyöttö.....	26
2.2.9	Muut osat ja elektroniikan toiminnot.....	26
2.2.10	Elektroniikan yhteenveto	27
2.3	Ohjelmointikielen, työkalun sekä ohjelmistotyypin valinta	29
3	LAITTEEN SUUNNITTELU	32
3.1	Piirikortin suunnittelu	32
3.1.1	Piirikaavion piirto	32
3.1.2	Piirilevykuvan suunnittelu	33
3.1.3	Piirilevyn valmistus ja piirikortin kokoaminen.....	33
3.2	Toiminnallisuustesti ja testiohjelmisto	38
3.3	Anturien ja mittausten kalibrointi	39

4	PIENJÄNNITEKYTKIMEN TOIMINTAPISTEEN MÄÄRITTÄMINEN .	41
4.1	Elektroniikan mahdollistamat mittaukset	41
4.2	Kytkimen eliniän määrittäminen	43
4.3	Osapuolten intressit eri havaintoarvoille	44
4.3.1	Kuluttajan tarpeet	44
4.3.2	Kytкимиä valmistavan yrityksen tarpeet.....	45
4.3.3	Kunnossapidon tarpeet	45
4.4	Ehdotus toimintapisteen esittämiseksi	46
5	LAITTEELLA SUORITETTAVAT TESTIT	48
5.1	Testilaitteisto.....	48
5.2	Pienjännitekytkimen testit elektroniikan avulla.....	50
5.2.1	Heikennettyjen kytkinten lämpenemätesti eri virroilla	50
5.2.2	Huonon sähköverkon vaikutus kytkimen lämpenemiseen.....	50
5.2.3	Ympäristöolosuhteiden vaikutus kytkimen lämpötilaan	51
5.2.4	Testien yhteenveto	51
6	ETÄHALLINTAJÄRJESTELMÄN KÄYTTÖ.....	52
6.1	Käytön hyödyt ja mahdollisuudet	52
6.2	WRM.....	52
7	YHTEENVETO	55
	LÄHTEET.....	56
	LIITTEET	

LIITELUETTELO

LIITE 1. Rakennetun laitteen lohkokaavio

LIITE 2. Lohkokaavio isoloinnin toteuttamisesta

LIITE 3. Piirikaavio

LIITE 4. Piirilevyn mittakuva

LIITE 5. Piirilevy- eli layout-kuva

LIITE 6. Toimintapistekuvaajat

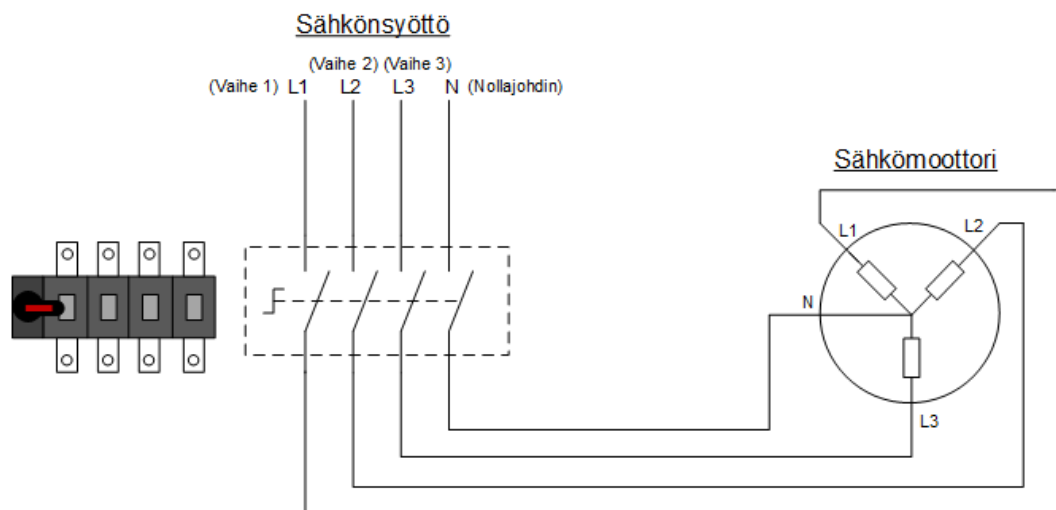
1 JOHDANTO

Elektroniikkateollisuuden huimassa kehityksessä myös erilaisten elektroniikkalaitteiden soveltamiskohteet lisääntyvät. Elektroniikkaa voidaan nähdä ohjaamassa esimerkiksi toinen toistaan suurempien ostoskeskusten ilmanvaihtoa, uimahallien vedenpuhdistusjärjestelmiä tai vaikkapa moottoritien nopeusrajoituskylttejä. Ovatpa elektroniset järjestelmät tunkeutuneet jo ihmiskehonkin sisään, esimerkiksi sydämentahdistimen yhteydessä.

Elektroniikan järkevään hyödyntämiseen etsitään kohteita myös sähkövoimatekniikan sovelluksissa. Tämä opinnäytetyö tehtiin ABB:n Breakers and Switches-yksikölle avaamaan näkemystä siitä, miten elektroniikka tai sulautettu järjestelmä voitaisiin valjastaa pienjännitekytkimen yhteyteen keräämään hyödyllistä informaatiota kytkimeltä. Kytkin on mekaaninen sähköpiirin osa, jota voidaan käyttää joko sulkemaan tai avaamaan sähköinen piiri. Kuvassa 1 on joitain ABB:n valmistamia kytkinmalleja ja kuvassa 2 esimerkki siitä, miten kytkintä voidaan käyttää ohjaamaan esimerkiksi sähkömoottoria.



Kuva 1. ABB:n pienjännitekytkimiä. /2/



Kuva 2. Esimerkki pienjännitekytkimen ja moottorin kytkennästä.

1.1 Tavoitteet

Jokainen käytettävä esine kokee muutoksia ja heikkenee elinkaarensa myötä. Sama pätee myös pienjännitekytkimeen. Kun kytkintä varastoidaan, kuljetetaan tai asennetaan, joutuu se kosketuksiin erilaisten epäpuhtauksien eli lian kanssa. Kytkintä käytettäessä osana sähköverkkoa kytkimen läpi kulkeva sähkövirta voi aiheuttaa liian suurena ennen aikaista ikääntymistä ja tätä kautta myös kytkimen heikkenemistä. Myös ympäristön lämpötiloilla voi olla oma osansa määrittäessä sitä, missä kunnossa kytkin kulloinkin on.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tuottaa sulautettu järjestelmä, jolla pienjännitekytkimeltä voidaan saada tarvittava informaatio kytkimeen vaikuttavista olosuhteista. Tarkoituksena on myös pohtia sitä, miten kytkimeen vaikuttavat olosuhteet ovat vaikutuksissa toisiinsa ja kyetä rajaamaan arvot, jotka ovat tärkeitä pienjännitekytkimen kuntoa mitattaessa.

Opinnäytetyössä on lisäksi tarkoitus miettiä, miten tärkeiksi havaituista arvoista voidaan muodostaa jokin havainnollistava kuva tai indikaatio siitä, mikä kytkimen ja sen kuorman ajoittainen tilanne tai kunto on. Tätä indikaatiota kutsutaan tässä työssä kytkimen toimintapisteeksi.

1.2 Eteneminen ja esitutkimus

Työn ensimmäiset vaiheet aloitettiin kesällä 2012. Kesän aikana tutkittiin, mikä olisi järkevintä mahdollista tietoa mitä kytkimeltä voitaisiin kerätä. Mitattavan tiedon hyödyllisyyttä pohdittiin niin yrityksen, asiakkaan kuin huoltomiehenkin näkökulmista.

Markkinoiden tarjonta erilaisten antureiden osalta kartoitettiin mahdollisimman tarkkaan. Huomioon täytyi myös ottaa kytkimen yhteydessä olevan elektroniikan vaatimukset lämpötilan, kosteuden ja likaisuuden suhteen. Sopivimmat sekä hyödyllisimmät vaihtoehdot dokumentoitiin ja valittiin käytettäväksi.

Anturikartoituksen aluksi mahdollisia mitattavia suureita oli useita. Valinnat kohdistuivat kuitenkin muutamaankin perussuureeseen, jotka olivat virta, jännite, lämpötila sekä kytkimen kytkentäkerrat. Eksoottisemmat mittauskohteet, kuten esimerkiksi pölyn määrä, ääni tai paine nähtiin liian hankaliksi ja hyödyttömiksi toteuttaa pienjännitekytkimen vaatimiin ympäristöolosuhteisiin.

Koska kytkimellä tapahtuvista muutoksista ei juuri ollut aikaisempaa tietoa saatavilla, päätettiin sopivien mittauskohteiden etsinnän jälkeen aloittaa elektronisen mittausjärjestelmän suunnittelu. Järjestelmän rakentamisen tarkoituksena on mahdollistaa kytkimellä tapahtuvien muutosten reaaliaikaisen ja jatkuvan havainnoinnin lisäksi mittaus tietojen vieminen ulkopuoliseen järjestelmään. Tällöin projekti palvelee yrityksen ja asiakkaan lisäksi esimerkiksi huolto-osaston intressejä tuomalla tiedon helposti tietokoneen tai mobiililaitteen ulottuville.

Projektille varatun erittäin tiukan aikataulun vuoksi sulautettua järjestelmää lähdettiin toteuttamaan hyödyntämällä mahdollisimman monipuolisesti yrityksellä jo ennestään olevaa kokemusta elektronisista komponenteista, laitteista ja ohjelmakoodista. Tämän johdosta projektiin vaadittu aikamäärä supistui merkittävästä ja työssä voitiin keskittyä olennaisimpaan eli mittausarvojen saantiin ja hyödyntämiseen.

2 RAKENNETTAVAN LAITTEEN MÄÄRITTELY

Rakennettavalle laitteelle määriteltiin erikseen toiminnallisuutta, elektroniikkaa ja ohjelmistoa koskevat vaatimukset. Tätä vaihetta kutsutaan yleisesti nimellä speksaus ja siihen kuuluu myös komponenttien valinta rakennettavaan laitteeseen. Speksauksen jälkeen on käytännössä päätetty koko laitteen fyysinen rakenne ja siihen rakennettavat ominaisuudet.

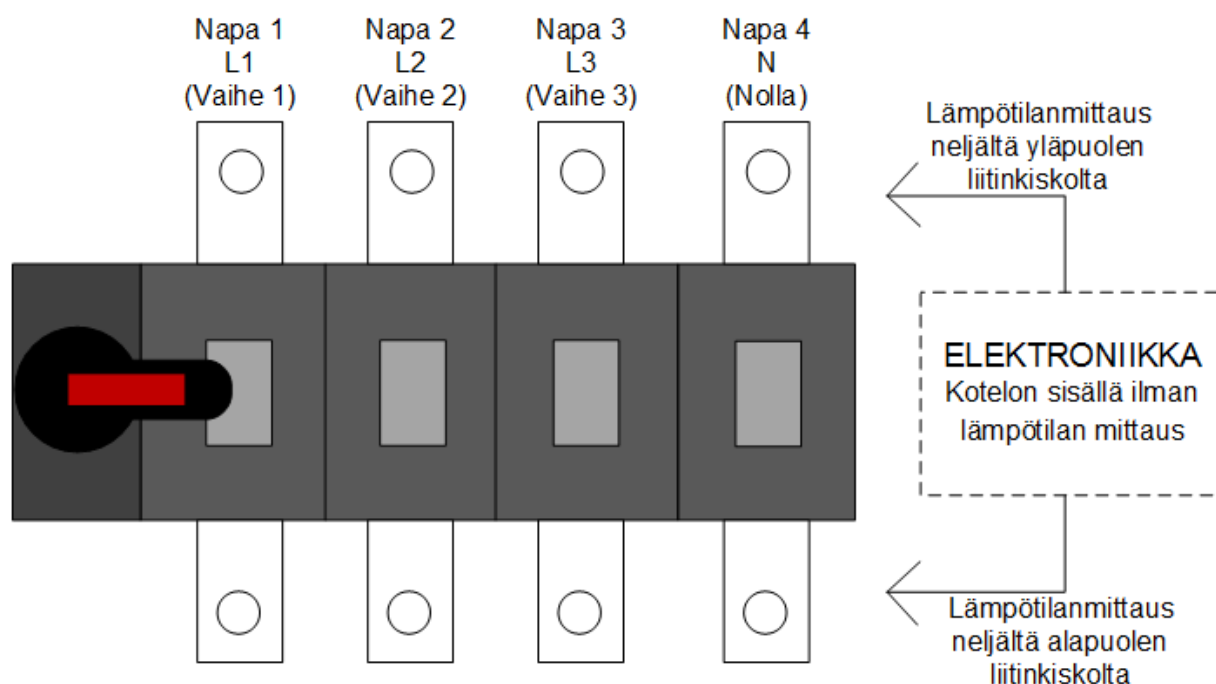
2.1 Toiminnalliset vaatimukset

Tärkeimmät toiminnalliset vaatimukset syntyivät kesällä 2012 valituista mittauskohteista. Laitteen tuli siis kyetä mittaamaan lämpötilaa, jännitettä ja virtaa sekä kytkimen kiinni- ja aukikytkemiskertoja.

Lämpötilamittaus päätettiin toteuttaa mittaamalla erikseen ympäröivän ilman lämpötilaa sekä kytkimen napojen lämpötilaa. Tällöin voidaan myöhemmässä napalämpötilan analysointivaiheessa havaita ympäristön lämpötilan vaikutus napojen lämpötilaan.

Ympäristön lämpötilanmittaus päätettiin toteuttaa sopivalla piirilevyllä asennettavalla lämpötilanmittauskomponentilla. Tällöin ulkoisten häiriövaikutusten vähenemisen lisäksi elektroniikasta ulospäin lähtevä johdotusmäärä väheni.

Itse kytkimen lämpötilanmittaus päätettiin toteuttaa mittaamalla lämpötilat napojen molemmilta puolilta. Napojen lukumäärä kytkimellä vaihtelee kytkimen ja sovelluskohteen mukaan, mutta testilaitte päätettiin rakentaa neljänapaiselle kytkimelle. Kolmen vaiheen lisäksi haluttiin nollajohtimen olevan mukana mittauksessa jolloin liitinkiskojen lämpötilamittauksia täytyi toteuttaa yhteensä kahdeksan kappaletta. Kuvassa kolme on esitetty kytkimen navat, osat ja ulkomuoto.



Kuva 3. Pienjännitekytkimen navat.

Virran ja jännitteen mittaus asettavat myös laitteelle toiminnallisia vaatimuksia. Koska työssä päätettiin käyttää kolmevaiheista sähköverkkoa, täytyi jännitteenmittaus toteuttaa kolmelle eri vaiheelle. Työn rajaamiseksi linjattiin, että kytkimellä oleva kuorma olisi kytkettynä tähtimuotoon. Tällöin yhden vaiheen jännitettä mitattaessa sitä verrataan aina tähden keskipisteeseen joka toimii nollajohtimena. Kuvassa 2 moottori on kytketty tähden.

Päätettiin, että virranmittauksessa käytettäisiin ulkopuolisia, sähkönsyöttökaapelin ympärille laitettavia virtamuuntajia. Muuntajina voitiin käyttää jo yrityksellä aikaisemmissa projekteissa toimivaksi havaittuja LEMin valmistamia virtamuuntajia. Virranmittaus rakennettiin myös kaikille kolmelle vaiheelle. Elektroniikalla haluttiin havainnoida nollajohtimen virtaa, joten siihen tuli rakentaa myös tämän mittauksen mahdollisuus.

Koska kytkimen kuormitus- ja käyttöhistoria saattavat vaikuttaa sen kuntoon ja ominaisuuksiin, täytyi elektroniikkaan toteuttaa kyky havaita kytkimen kontaktipintojen tilat sekä laskea kytkimen päälläoloaika. Nämä asiat päätettiin toteuttaa kytkimen yhteyteen liitetyillä apukoskettimilla. Apukoskettimilta saadaan jatkuva

tieto kytkimen asennosta ja näin ollen voidaan laskea käyttöaika sekä kytkimen käyttökerrat.

Laitteen on myös kyettävä tallentamaan sen mitaamat tiedot sähkökatkojen varalta niin, että mitatut säilyvät muistissa vaikka laite olisi pitkänkin aikaa sähköttömänä. Tämän mahdollistamiseksi työssä suunniteltiin käytettäväksi markkinoilta saatavaa EEPROM-muistia joka säilyttää tiedot sähkökatkon sattuessa.

Mittaamisen ja tallentamisen jälkeen tieto on saatava siirrettyä järjestelmään, josta se voidaan myöhemmin lukea havainnollisesti esimerkiksi internet-selaimen välityksellä. Tässä työssä päätettiin käyttää Wapicen valmistamaa WRM-etähallintajärjestelmää. Tätä aihetta on käsitelty lisää kappaleessa 6.

Laitteeseen haluttiin myös toteuttaa jonkinlainen informaatorajapinta käyttäjälle ohjelmoimisen ja eri kytkinten testaamisen helpottamiseen. Käytännössä tämä merkitsi RS485-väylän toteuttamista laitteeseen. Tällöin laitteen kanssa voidaan kommunikoida käyttäen esimerkiksi PC-tietokonetta ja terminaaliohjelmaa.

2.1.1 Elektroniiikan vaatimukset

Elektroniikkaan kohdistuvat vaatimukset määräytyivät pääasiassa toiminnallisuuden, käyttöympäristön ja -olosuhteiden sekä laitteelle suunniteltujen fyysisten mittojen mukaan. Suunniteltaessa elektronista laitetta tulisi pohtia, minkälaisissa lämpötiloissa elektroniikan on toimittava, onko laite altistettuna pöly- tai likahaitalle ja tuleeko elektroniikka turvalaitteeksi suojaamaan ihmisiä tapaturmilta? Jos elektroniikka toimii suojalaitteena, kasvavat sen vaatimukset esimerkiksi luotettavuuden ja vasteajan suhteen huomattavasti verrattuna vaikkapa tavalliseen kulu-tuselektroniikkaan.

Tarkempia vaatimuksia mietittäessä otettiin huomioon laitteen tulevat käyttöolosuhteet. Kyseistä laitetta käytetään lähinnä testiolosuhteissa joissa esimerkiksi ulkoilman lämpötilaan tai kosteuteen, testiympäristön likaisuuteen tai laitteen etäisyyteen mitattavasta sähköverkosta voidaan vaikuttaa.

Koska laitetta ei käytetä missään vaiheessa turvalaitteena esimerkiksi sammuttamaan moottoria tai käynnistämään generaattoria vikatilanteessa, laitteen toimintanopeudelle ei asetettu tiukkoja rajoituksia tai vaatimuksia. Laitteen ainoa nopeusvaatimus oli kyetä lukemaan antureilta saamaansa dataa mahdollisimman nopeasti. Työtä suunniteltaessa pohdittiin, että jos laite kykenee lukemaan kaikki anturinsa ja tallentamaan tiedot 100 ms:n sisällä on laite riittävä täyttämään tehtävänsä.

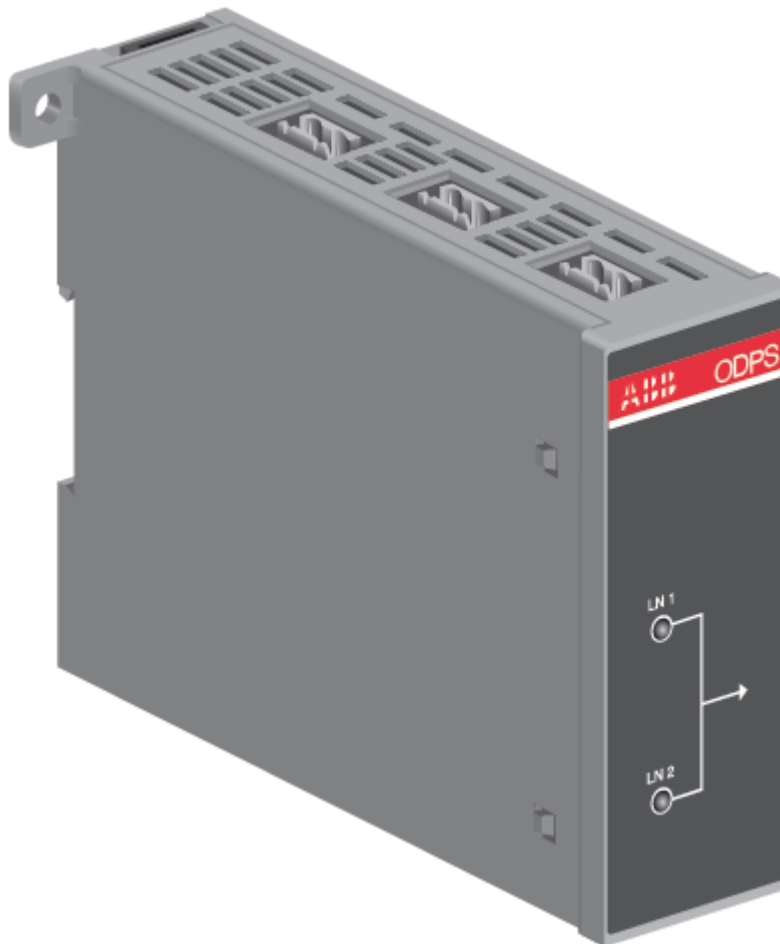
Vaikka vaatimukset käyttöympäristön osalta eivät olleet äärimmäisen tiukat, päätettiin laite kuitenkin toteuttaa sietämään mahdollisia ulkopuolisia häiriöitä. Häiriösietoisuus on tärkeää esimerkiksi tilanteessa, jossa pienjännitekytkimen avaus tapahtuu ohjattaessa isoinduktanssista kuormaa. Avaustilanteissa kytkimellä saattaa esiintyä isoja impulssijännitteitä jotka saattavat rikkoa huonosti häiriösuojatun elektroniikan.

Häiriösietoisuuden lisäksi toisena suurena vaatimuksena laitteelle oli riittävä isolointi- eli erotuskyky. Laitteella päätettiin kyetä mittaamaan turvallisesti 400 voltin pää- ja 230 voltin vaihejännitettä. Koska mittauksia tehdessä elektroniikkaan voi olla yhdistettynä esimerkiksi kannettava tietokone, oli laitetta suunniteltaessa otettava huomioon riittävä isolointien määrä ja taso.

Työtä tehdessä käytettiin avuksi IEC 60947-1-standardia, joka määrittelee pienjännitekytkimien yleiset suunnittelusäännökset. Standardin mukaan kosketeltaviin osiin pitää olla vähintään kaksinkertainen galvaaninen, eli mekaaninen erotus mittattavasta ja vaarallisesta sähköpiiristä. Tätä sanotaan tuplaerotukseksi.

Elektroniikalle tuli myös suunnitella kotelo, joka suojaisi kosketukselta, likaantumiselta ja samalla mahdollistaisi laitteen kiinnittämisen johonkin. Kotelon valinnassa mietittiin aluksi kotelon teettämistä muovista valamalla, mutta aikataulun vuoksi päätettiin käyttää jotain yrityksellä jo toiselle tuotteelle käytössä olevaa kotelomallia. Tällä ratkaisulla saavutettiin myös rahallista etua, sillä uusien valamuottien teko vain protolaitetta varten olisi maksanut paljon.

Käytettäväksi kotelomalliksi valikoitui ABB:n ODPSE230C:n muovikotelo (kuva 4.) Kotelon käyttö mahdollisti laitteen kiinnittämisen esimerkiksi DIN-kiskoon tai ruuveilla taustalla olevaan levyyn.



Kuva 4. ODPSE230C:n kotelon ulkonäkö. /1/

2.1.2 Ohjelmiston vaatimukset

Mikäli suunniteltavasta elektroniikasta tehtäisiin tuote, tulisi ohjelmistolle tehdä yksityiskohtainen määrittely. Määrittelyn tuloksena saadaan aikaan määrittelydokumentti, josta käyvät ilmi esimerkiksi ohjelmiston tarkoitus, yleiskuvaus, toimintojen yksityiskohtaiset kuvaukset ja muut ominaisuudet kuten ylläpidettävyys.

/6/

Koska tässä työssä suunnitellun elektroniikan pääasiallinen tarkoitus on suorittaa mittauksia valvotussa laboratorioissa ja ohjelmisto tulee muuttumaan jatkuvasti, ei työssä lähdetty tekemään tarkempaa määrittelydokumenttia ohjelmistolle.

Rakennettavalle laitteelle asetetut nopeusvaatimukset määrittelevät yleensä ohjelmistosuunnittelun kriittisimmät ehdot. Suojalaitteissa toiminnalliset ajat määritellään aina hyvin tarkkaan. Esimerkiksi oikosulkusuojan toiminta-aikana voidaan pitää sitä aikaa, joka kuluu oikosulun havaitsemisesta piirin katkaisemiseen. Tässä työssä suojaominaisuuksia ei kuitenkaan ollut, vaan laitteen tuli toimia mahdollisimman nopeasti.

Silti joitain vaatimuksia pohdittiin, kun mietittiin ohjelmiston rakennetta, toimivuutta ja kokoa. Ohjelmistolla on monia tehtäviä anturien lukemisen lisäksi kuten tietoliikenne ulospäin, datan analysointi sekä tietojen tallennus. Nämä työt laitteen pitää kyetä hoitamaan luotettavasti.

Ohjelmistossa on myös kyettävä priorisoimaan jotain tiettyjä osia korkeammalle kuin toisia. Esimerkiksi apukoskettimilta saatuun tietoon kytkimen tilan vaihtumisesta on kyettävä reagoimaan tilan muuttuessa.

2.2 Komponenttien valinta

Koska elektroniikan vaatimuksia suunniteltaessa yksi keskeinen kohta oli ottaa huomioon laitteen häiriösietoisuus, päätettiin laitteen anturointi rakentaa I²C-väylän ympärille. I²C-väylä on sarjamuotoinen, kaksisuuntainen väylä joka tahdistetaan kellopulssin avulla. Väylän fyysiseen rakenteeseen kuuluvat piirien lisäksi ainoastaan datalinja, jota pitkin tieto siirretään sekä kellolinja, jota pitkin tahdistuspulssi lähetetään. I²C-väylän jokaisella laitteella on oma osoitteensa ja väylään voidaan liittää 127 eri laitetta. Ainoa rajoitus I²C-väylän pituudelle ja laitteille on, ettei väylään linjoista, komponenteista ja kytkennöistä muodostunut kapasitanssi saa ylittää 400 pikofaradia. /7, 272/

I²C-väylän historia alkaa 1980-luvulla, jolloin Philips Semiconductors halusi kehittää yksinkertaisen väyläratkaisun elektroniikan komponenttien välille. Ongelmaksi oli ajan saatossa muodostunut rinnakkaisliikenteen tuomat johdinmäärät

yhä fyysisesti pienenevissä piirikorteissa. Lisäksi monimutkaisempiin väyliin tarvittavat komponentit sekä isot johdinmäärät lisäävät massatuotannossa syntyviä kuluja huomattavasti verrattuna yksinkertaisempiin ratkaisuihin. Väylän johdinmäärällä on myös suora yhteys väylään vaikuttavien sähköisten häiriöiden määrään. /5/

I²C-väylää alettiin ideoida 1980-luvun alussa laboratoriossa Alankomaiden Eindhovenissa, ja se oli tarkoitettu alun perin käytettäväksi televisiovastaanottimissa. I²C tai IIC on lyhenne sanoista Inter-IC-bus eli väylä komponenttien välillä. /5/

Väylän pitkästä iästä johtuen tuki tämän väylän toimintaan löytyy hyvin useista markkinoilla olevista elektroniikkapiireistä. Monet suuret piirivalmistajat ovatkin ottaneet I²C-väylän tuotteidensa perusvalikoimiin. Esimerkiksi Atmel, Intel, ST Microelectronics, Analog Devices ja useat muut valmistajat tuottavat eri käyttötarkoitukseen olevia elektroniikkapiirejä jotka on mahdollista liittää suoraan I²C-väylään. /5/

Yhden ja keskitetyn väyläratkaisun ympärille keskittynyt anturointiratkaisu toi monia etuja elektroniikkaa ja ohjelmistoa suunnitellessa. Ensimmäkin antureiden etsiminen markkinoilta oli helppoa sillä erilaisia I²C-väylää tukevia komponentteja löytyy markkinoilta todella paljon. Lisäksi hakutulokset voitiin rajata väylätyypin mukaan. Ohjelmistoa suunniteltaessa voitiin keskittyä vain yhden rajapinnan kirjoittamiseen usean sijasta.

Ongelmakohtina yhden väylän käytössä ovat tiedonsiirtonopeus ja tiettyjen, erikoisempien anturien rajaaminen ratkaisun ulkopuolelle. Tässä tilanteessa toimintanopeus ei kuitenkaan ollut kriittisin ominaisuus ja käytettäväksi suunnitellut anturit löytyivät I²C-väylälle.

Tiedon viemiseksi laitteesta WRM:n kautta etähallintajärjestelmään päädyttiin käyttämään CAN-väylää sen häiriösietoisuuden vuoksi.

2.2.1 Muualta implementoidut komponentit ja osat

Varsinaisessa komponenttien valinnassa lähdettiin ensin tutkimaan sitä, kuinka paljon vanhaa osaamista voitaisiin hyödyntää rakentaessa tätä uutta laitetta. Vanhan uudelleenkäyttäminen nopeutti projektin etenemistä ja samalla saatiin implementoitua toimivaksi havaittuja ratkaisuja elektroniikkaan. Breakers and Switches-yksikön entistä kokemusta komponenttien saralla hyödynnettiin prosessoria, virtalähdettä sekä RS485-väylää suunniteltaessa.

Prossessorina toimii Atmelin ARM-pohjainen AT91SAM7X256 joka on 32-bittinen ja se sisältää itsessään 64 kilotavua SRAM-välimuistia laskusuorituksiin sekä 256 kilotavua haihtumatonta, eli virrattomanakin arvonsa säilyttävää flash-muistia ohjelmakoodille ja mittausarvoille.

Prossessorista löytyvät myös suoraan tuet tässä työssä tarvittaville USART, CAN ja I²C-väylille. Myös prosessorin tarjoama reaaliaikakello on oiva apuväline mitaustietojen tarkassa ajastamisessa.

Koska prosessori-virtalähde yksikkö oli suunniteltu jo yrityksen toisissa projekteissa, oli luonnollisesti järkevää myös virtalähde mukaan tähän työhön. Virtalähde on step-down regulaattori LM5010A, joka toimii 6-75V:n syöttöjännitteellä ja kykenee syöttämään noin 1A:n virran. Muiden komponenttien valinnan jälkeen laskettiin, että regulaattori riittää oivallisesti toimimaan laitteen päävirtalähteenä (taulukko 1a.)

RS485-toteutusta suunniteltaessa otettiin mallia yrityksen toiseen projektiin suunnitellusta RS485-kytkennästä, sillä siihen oli valmiiksi rakennettuna väylän isoointi. Koska valmis kytkentämalli ja komponentit olivat yksinkertaisesti saatavilla, nopeutti tämä huomattavasti laitteen lopullista suunnittelua. Samalla kytkennän toimivuus oli testattu jo käytännössä joten ongelmien ilmeneminen RS485-puolella oli epätodennäköisempää.

2.2.2 Ympäristön lämpötilanmittaus

Yleislämpötilan mittaus päätettiin toteuttaa elektroniikan yhteyteen piirilevyllä. Anturin valintakriteereinä olivat I²C-väylän tuki, pieni koko, hyvä mittausresoluutio sekä helppo saatavuus. Komponentin tuli myös toimia +3,3V:n käyttöjännitteellä.

Lämpötilan mittausta suorittamaan valittiin Texas Instrumentsin valmistama I²C väylää tukeva TMP175-anturi, joka kykenee mittaamaan ilman lämpötilan -40 °C:sta +125 °C:seen. Anturi kykenee 0,0625 °C:n resoluutioon ja se tarvitsee vain noin 100µA toimiakseen normaalitilassa. Piiri voidaan myös asettaa ohjelmallisesti lepotilaan lämpötilan mittauksen lopettamiseksi jolloin virrankulutus saadaan putoamaan minimaaliseksi.

TMP175 sisältää 12-bittisen rekisterin johon se tallentaa mitattaamaansa lämpötilaa. Tämä rekisteri voidaan lukea kahtena tavuna I²C-väylän välityksellä ja laskea reaaliseksi lämpötila-arvoksi itsekirjoitetussa ohjelmassa.

Anturissa on myös one-shot ominaisuus. Kun piirin ohjausrekisteriin kirjoitetaan OS-bitin (one-shot) arvoksi yksi, anturi tekee yhden lämpötilamuunnoksen. Tämä on hyödyllinen ominaisuus, mikäli jatkuvaa lämpötilanmittausta ei tarvita.

Piiristä löytyy myös hälytysominaisuus jota voidaan käyttää indikoimaan asetetun lämpötilan hälytysrajan ylittymistä tai alittumista. Tähän toimintoon on varattu piirin jalka ALERT, jonka tila vaihtuu kun siirrytään lämpötilan normaalialueelta pois.

2.2.3 Napakiskojen lämpötilanmittaus

Itse kytkimeltä lämpötilaa mitattaessa piti ottaa huomioon mitattavalla alueella oleva jännite sekä virta ja virrasta aiheutuva magneettikenttä.

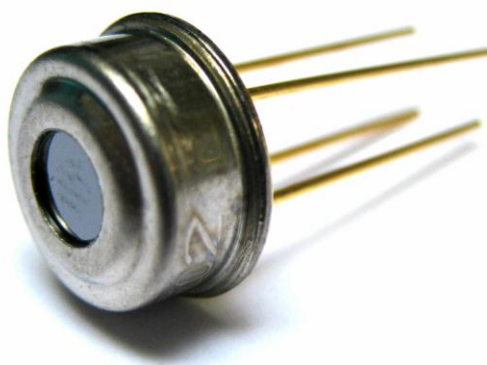
Napakiskojen lämpötilanmittaukseen valittavan komponentin kriteerinä oli kohdan 2.2.2 kriteerien lisäksi siis isolointikyky. Anturin haluttiin itsessään kykenevän tarjoamaan riittävän erotuksen elektroniikkaan mitattavasta alueesta. Mikäli

anturi olisi suoraan kiinni kytkimen napakiskossa, olisi piirilevyllä jouduttu toteuttamaan ylimääräinen isolointilohko elektroniikan ulkopuoliselle anturiverkolle. Tämä olisi pidentänyt suunnittelun aikaa ja kasvattanut elektroniikan kokoa huomattavasti.

Markkinoilta löytyi mielenkiintoisia ratkaisuja vaihtoehtoiksi, mutta koska anturin haluttiin tukevan I²C-väylää, valikoitui ehdokkaiden joukosta Melexisin valmistama infrapunalla lämpötilan mittaava anturi MLX90614 (kuva 5.) Anturia käytetään jo markkinoilla olevissa tuotteissa mm. etälukevissa kuumemittareissa sekä tulostimien lämpötilanmittauksissa.

Anturi tukee I²C väylän lisäksi PWM-lukua. Tätä ominaisuutta voidaan käyttää hyväksi esimerkiksi tilanteessa, jossa väylänä on ainoastaan yksi prosessorin I/O-portti. Tässä työssä tietoliikenteeseen käytettiin kuitenkin anturin I²C-väylää.

Komponentti sisältää itsessään kaksi eri lämpötilanmittausta; komponentin oman lämpötilan sekä kohteen lämpötilan joka mitataan infrapuna käyttäen. Oma lämpötila voidaan mitata välillä -40–125°C ja kohteen lämpötila välillä -70–380°C. Mittausresoluutio on molemmissa tapauksissa 0,02°C.



Kuva 5. Melexis MLX90614 infrapuna-anturi.

Anturi tallentaa mittaamansa lämpötilat sisäiseen RAM-muistiin, joka voidaan lukea I²C-väylän kautta. Sisäinen lämpötila tallentuu kaksitavuuksi arvoksi ja kohteen lämpötila neljätavuuksi arvoksi. Luettavat arvot pitää omassa koodissa muuttaa laskemalla varsinaisiksi Celsius-asteiksi.

2.2.4 Virran, jännitteen ja sähkön laadun mittaus

Koska työssä pyrittiin löytämään ratkaisuja pienjännitekytkimellä tapahtuvien ominaisuuksien muutoksien havainnointiin, oli sähköverkon mittaus keskeisimmässä osassa elektroniikan suunnittelussa. Elektroniikkaan päätettiin toteuttaa mittausmahdollisuudet vaihe- ja nollajännitteille sekä virroille. Mitatuista virroista ja jännitteistä saadaan informaatiota myös muista sähköverkkoon liittyvistä suureista. Tässä projektissa tärkeää oli saada mahdollisimman paljon eri informaatiota irti niin virrasta kuin jännitteestäkin.

Mittaukset voidaan toteuttaa pääasiassa kahdella eri tavalla. Yleisimmin käytetty vaihtoehto on tuoda skaalattu jännitteen- ja virranmittaussignaali suoraan prosessorin AD-muuntimelle ja laskea ohjelmakoodissa mitatusta signaalista eri ominaisuudet. Toinen vaihtoehto on käyttää ulkoista komponenttia, joka hoitaa mittauksen, arvojen laskemisen ja tuloksien välitallennuksen. Komponentti on tällöin yhteydessä prosessoriin jonkin tietoliikenneväylän välityksellä.

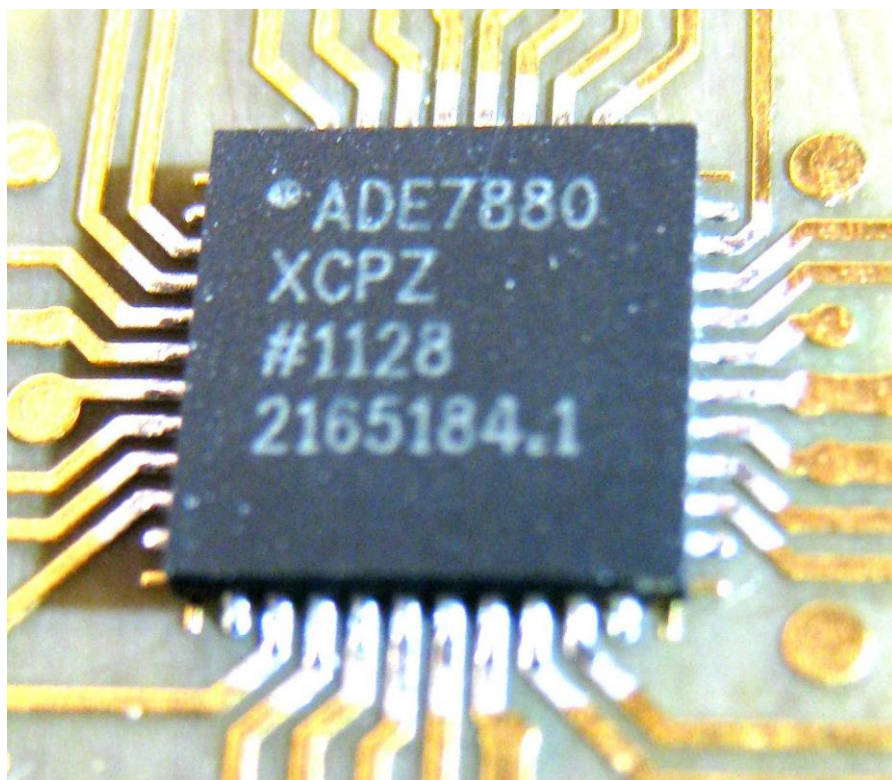
Mittaussignaalin kytkeminen prosessorin AD-muuntimeen minimoi ulkoisten komponenttien tarpeen mutta samalla lisää ohjelmistokehittäjän työtä huomattavasti. Mittaussignaalin perusteellinen tulkitseminen vaatii monimutkaisia laskualgoritmeja joiden kehittämiseen kuluu aikaa ja samalla vie suoritusaikaa prosessorilta itseltään.

Ulkoisen komponentin käyttö taas mahdollistaa yksinkertaisen mittaustoteutuksen elektroniikkaan, kun ohjelmoijan tarvitsee huolehtia vain tietoliikenne-rajapinnasta. Mittausalgoritmien siirtyessä toisen komponentin huoleksi myös prosessoriin kohdistuva kuormitus vähenee. Tämä mahdollistaa kevyempien prosessorien käytön pelkissä mittaussovelluksissa. Huonona puolena tässä on se, että ulkoista

komponenttia käytettäessä voi joskus jäädä käyttämättä joitakin komponentin tarjoamia ominaisuuksia.

Projektissa päätettiin käyttää ulkoista komponenttia mittauksen käsittelyyn. Päätökseen vaikutti olennaisesti juuri ohjelmointitarpeen minimoituminen signaalinkäsittelyn osalta. Myös isoloinnin toteuttaminen piirikortille helpottui, sillä useamman mittaussignaalin sijasta isoitavaksi jäivät ainoastaan kommunikatiiväylä ja ohjaussignaalit piirin ja prosessorin välillä.

Käytettäväksi komponentiksi valikoitui Analog Devicesin valmistama ADE7880 (kuva 6.) ADE7880 on 3-vaiheiselle sähköverkolle tarkoitettu energiamittauspiiri, joka toimii niin tähti- tai kolmiokytkennässä olevan kuorman kanssa. Piiri tukee myös nollavaiheen virranmittausta mikä osoittautui tarpeelliseksi tässä työssä. Virranmittaus voidaan toteuttaa komponentille joko Rogowski-kelalla tai shunttivastuksella perinteisen tai aktiivisen virtamuuntajan sijaan.



Kuva 6. Energiamittauspiiri ADE7880.

Liikennöintiväylinä piiristä löytyvät I²C-, SPI-, sekä HSDC väylät. Tässä työssä hyödynnettiin kuitenkin vain I²C-väylää. Piiri sisältää myös ROM-muistin josta mittausrvoja voidaan lukea tietoliikenneväylän välityksellä.

Komponentti tarjoaa myös mahdollisuudet erilaisten tapahtumien indikointiin keskeytyslähtöjen avulla. Keskeytyksen aiheuttavia tapahtumia voivat olla muun muassa asetellun virta- tai jänniterajan ylittyminen tai jonkin vaiheen tehon tippuminen nolnaan. Vaikka keskeytyksiä ei tarvita, varsinaisten mittaustulosten saamiseksi päätettiin elektroniikkaan rakentaa mahdollisuus niiden käyttöön tulevaisuutta varten.

Suurin syy komponentin valintaan oli kuitenkin sen tarjoamat laajat mahdollisuudet mitattavan sähköverkon analysointiin. Piiri kykenee laskemaan sisäisen DSP:n avulla mitatuista signaaleista virran ja jännitteen suuruuksien lisäksi tehon komponentteja, signaalien taajuuskomponentteja eli harmonisia sekä vaiheiden välisiä viiveitä. Näitä arvoja käsitellään lähemmin kappaleessa 4.

Komponentin ja sen tarvitseman oheiselektroniikan suunnittelemisessa käytettiin apuna komponentin datalehteä. Tarvittavia oheiskomponentteja olivat

- virtamuuntajien kuormavastukset jotka muodostavat mitattavan jännitteen.
- jännitteenmittauksen jännitteenjakokytkennän jolla pääpiirin jännite tiputetaan riittävän alas.
- suodattimet jännite- ja virranmittaussignaaleille.
- komponentin analogia- ja digitaalikäyttöjännitteille tarvittavat datalehden määrittelemät kondensaattorit.
- 16,384 MHz:n rinnakkaisresonanssisen kideoskillaattorin ja kiteen kuormakapasitanssit.

Kiteelle täytyi mitoittaa tarvittavat rinnakkaiskondensaattorit C_1 ja C_2 . Tarvittavien kondensaattorien koko riippuu kiteen datalehdestä saatavasta kuormakapasitanssiarvosta C_L sekä piirilevyn kytkentään aiheuttamasta kapasitanssista C_S oheisen laskukaavan mukaan:

$$C_L = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} + C_S \quad (1)$$

Laskettaessa päätettiin, että molemmat kondensaattorit mitoitetaan samankokoisiksi. Tällöin

$$C_1 = 2(C_L - C_S) \quad \text{jossa } C_1 = C_2 \quad (2)$$

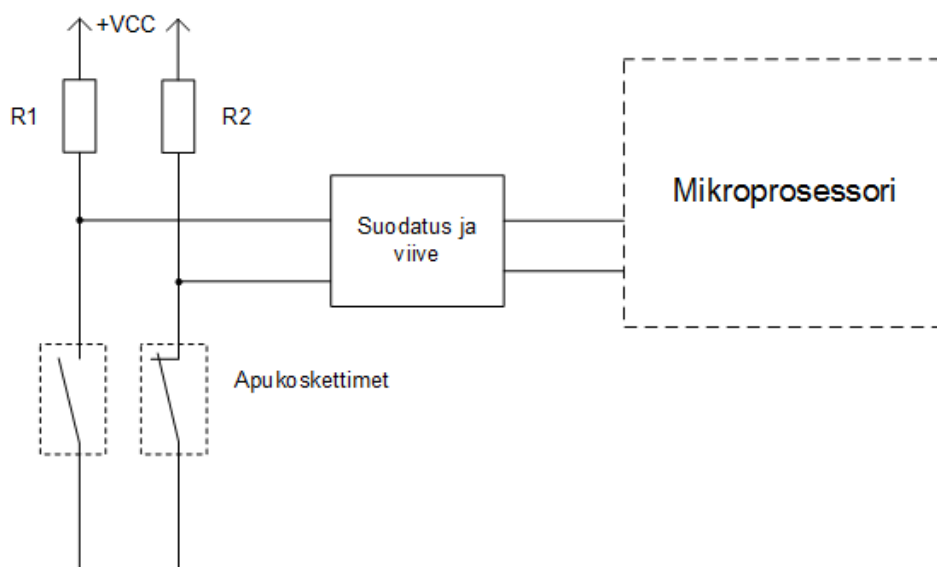
Valitun kiteen kokonaiskuormakapasitanssi C_L oli datalehden mukaan 18pF. Piirilevyn aiheuttama kapasitanssi C_S oletetaan yleensä olevan noin 5pF. Kondensaattorien ko'oisiksi saatiin siis

$$C_1 = C_2 = 2(C_L - C_S) = 2(18\text{pF} - 5\text{pF}) = 26\text{pF} \quad (3)$$

2.2.5 Käyttökertalaskuri

Käyttökertalaskurin tehtävänä oli laskea pienjännitekytkimen avausten ja sulke-
misten lukumäärä. Laskurin oli myös kyettävä antamaan informaatiota kytkimen
tilasta.

Laskuri päätettiin toteuttaa kahdella pienjännitekytkimeen asetettavalla apukos-
kettimella joiden koskettimet vaihtavat tilaansa kytkimen mukana. Periaate kyt-
kennästä on kuvassa 7 ja tarkempi versio löytyy liitteestä 3.



Kuva 7. Käyttökertalaskurin periaate.

Toinen apukoskettimista on normaalisti avoin (NO) ja toinen normaalisti suljettu (NC). Kun kytkin vaihtaa asentoa, toinen apukoskettimista avautuu ja toinen menee kiinni. Tila, jossa molemmat ovat auki tai kiinni ei ole mahdollinen kuin apukoskettimen rikkoutuessa.

Proessorin I/O-nastassa on apukoskettimen tilasta riippuen joko +VCC-jännite tai 0V. Nämä tilat voidaan lukea ohjelmallisesti ja näin todeta pienjännitekytkimen tila.

Koska apukoskettimet liitetään elektroniikkaan johdotuksin, haluttiin prosessorin suojaksi rakentaa suodatus ulkopuolelta kytkeytyvien häiriöitä varten. Suodatuksena ja samalla alipäästösuotimena toimii yksinkertainen RC-piiri. RC-suodin vaimentaa suuritaajuiset häiriöpulssit johtamalla ne kondensaattorin kautta maihin sekä samalla hidastaa jännitteen nousemista prosessorin I/O-linjassa.

RC-piirin aikavakio tau (T) tarkoittaa aikaa, joka kuluu piirin sähköistyksestä siihen, että kondensaattorin varaus syöttöjännitteestä on noin 63 %. Aikavakio voidaan laskea kaavasta

$$T = RC \tag{4}$$

, missä aikavakio T muodostuu vastuksen resistanssista R ja kondensaattorin kapasitanssista C. /9, 274/

Työssä haluttiin lisätä viivettä I/O-linjaan apukoskettimessa tapahtuvan kytkinvärähtelyn vuoksi. Viiveellä ei ollut ehdotonta aikavaatimusta, mutta linjaan päätettiin suunnitella noin 100–200ms:n viive.

Koska viive ei ollut tarkka, päätettiin lähteä liikkeelle valitsemalla kapasitanssiltaan mahdollisimman iso keraaminen kondensaattori. Tällöin sarjaan tulevan vastuksen koko jää pienemmäksi eikä virran kulku prosessorin suuntaan ehdy liiksi. Kondensaattoriksi valittiin 4,7µF:n keraaminen palakondensaattori. Tällöin tarvittavaksi vastuksen kooksi saatiin

$$R = \frac{T}{C} = \frac{0,1s}{4,7\mu F} = 21,3k\Omega \quad (5)$$

Vastuksen kooksi päätettiin siis valita lähin saatavilla oleva vastus 22kΩ. Kaavasta 6 nähdään, että kondensaattorin jännite on noussut 63 %:iin syöttöjännitteestä 103ms:n kuluttua.

$$T = RC = 22k\Omega * 4,7\mu F = 103,4ms \approx 103ms \quad (6)$$

2.2.6 CAN – tiedonsiirtoväylä

CAN-väylä on Robert Boschin 1980-luvulla kehittämä tiedonsiirtoväylä autoteollisuuden tarpeisiin. Nykyään CAN-väylä on autojen lisäksi käytössä myös muilla teollisuuden aloilla. /4/

Elektroniikan kehittyessä autoteollisuudessa useajohtimiset ja -komponenttiset tiedonsiirtoväylät auton eri laitteiden välillä aiheuttivat ylimääräisiä kustannuksia ja olivat herkästi alttiina erilaisille häiriöille.

CAN-väylä on sarjamuotoinen väylä, jossa yhdellä väylällä voi olla monia isäntälaitteita. Väylällä voidaan myös lähettää broadcast-viestejä koko väylällä olevalle laitekannalle joka omalta osaltaan vähentää väylän kuormitusta. CAN väylä mahdollistaa myös kehittyneen virheentunnistuskoneistuksen joka lisää väylän tiedonsiirron luotettavuutta. /4/

CAN-väylän toteuttamiseksi elektroniikkaan täytyi prosessorin tuen lisäksi olla lähetinpiiri, joka muuntaa prosessorin jännitetason vastaamaan CAN-väylän standardoituja jännitetasoja. Tähän tarkoitukseen valittiin Texas Instrumentsin valmistama CAN-lähetinpiiri ISO1050 joka toimii 5V:n käyttöjännitteellä. Piiri toimii samalla myös CAN-väylän galvaanisena erottimena ja tämä ominaisuus olikin yksi valintapäätökseen vaikuttavista tekijöistä.

2.2.7 Isolointi

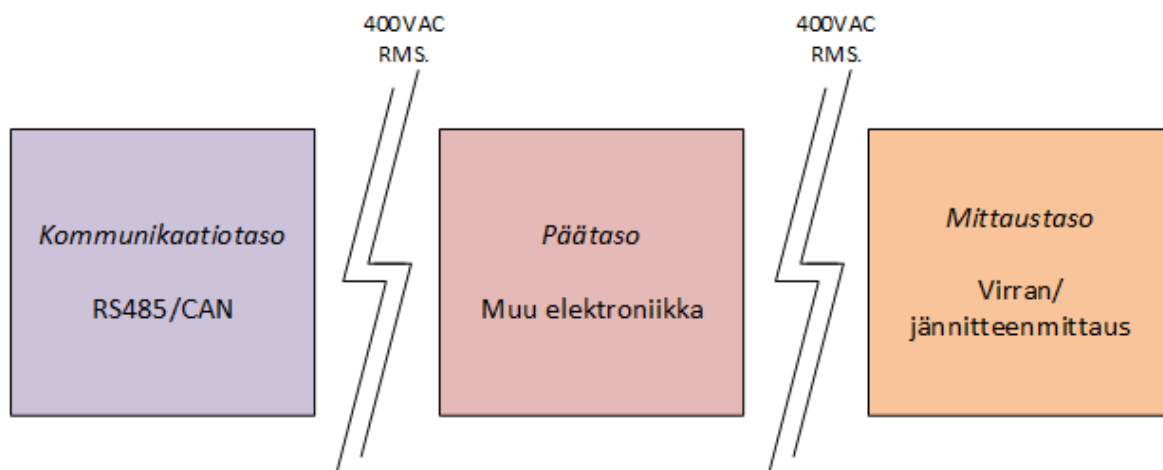
Kuten jo elektroniikan vaatimuksia suunniteltaessa todettiin, isolointien riittävä toteuttaminen oli keskeisessä osassa elektroniikan suunnittelussa. IEC 60947-1-

standardi määrittelee myös minimivaatimukset piirilevylle tulevien komponenttien ilmaväleiksi sekä signaalien ryömintäväleiksi.

Tässä työssä sähköverkosta mitattava maksimijännite on 400V. Ilmaväli päätettiin kuitenkin valita 1,5kV:n mukaan turvallisuuden takaamiseksi. Ryömintäväliksi (creepage) määräytyi standardin mukaan 4,0 mm sekä ilmaväliksi (clearance) 1,5 mm.

Päätettiin, että suunniteltavassa elektroniikassa olisi erikseen kolme galvaanisesti erotettua tasoa:

1. *Kommunikaatiotaso.* Tähän tasoon kuuluu kaikki elektroniikalta ulospäin lähtevä liikenne eli CAN- ja RS485 väylä.
2. *Mittaustaso.* Tässä tasossa ovat pääpiiristä tuodut jännitteenmittausjohtimet sekä virtamuuntajilta tuleva virranmittaus
3. *Päätaso.* Tämä taso toimii kahden edellisen tason välissä ja tähän kuuluu kaikki muut elektroniikan osat kuten esimerkiksi prosessori, apukosketinliittimet sekä I²C-väylä lukuun ottamatta energianmittauspiiriä.



Kuva 8. Elektroniikkaan suunnitellun isolointijärjestelmän rakenne.

Kun elektroniikkaan suunniteltiin kuvan 8 osoittamat erotukset, voitiin varmistua, että esimerkiksi tietokoneen on turvallista olla yhdistettynä laitteeseen mittausten aikana. Tarkempi kuva elektroniikkaan suunnitellusta isoloinnista on liitteessä 2.

2.2.8 Tehonsyöttö

Elektroniikan virtalähteitä suunniteltaessa on tärkeää tietää, kuinka paljon virtaa suunnitellut laitteet tarvitsevat. Tämän tiedon avulla voidaan määrittää eri virtalähdekomponenttien tehonsyöttötarve sekä rajata komponenttietsintään liittyviä haku-ehdoja. Eri alueiden arvioidut virrankulutukset on laskettu taulukkoon 1.

Isoloituille kortin alueille piti toteuttaa myös omat, erottavat tehonlähteet. Komponentteina päätettiin käyttää DC/DC-muuntimia, jotka kykenevät tekemään syötettävästä tasajännitteestä isoloitua ja reguloidun ulostulojännitteen.

Koska valmiiksi aikaisemmin suunniteltu RS485-lohko tarvitsi 5 voltin käyttöjännitteen ja mittaustasolla sijaitseva sähkölaatu- ja signaali-alue ADE7880 3,3 voltin käyttöjännitteen, ei samaa komponenttityyppiä voitu hyödyntää molemmissa tapauksissa. Työhön kuitenkin päätettiin valita saman valmistajan 3,3V:n ja 5V:n versiot samasta isoloivasta DC/DC-muuntimesta. Komponenteiksi valittiin Tracopowerin valmistamat TMR 3-2411WI sekä TMR 3-2410WI, joiden tasajännitteen erotuskyky on 1500 voltia ja virransyöttökyky riittävä.

2.2.9 Muut osat ja elektroniikan toiminnot

Jotta tasojen välinen erotus olisi riittävä, tuli myös tasojen väliset signaalit isoloitua. Varsinaisia kohteita olivat I²C- ja CAN-väylien isoloitukset sekä sähkölaatu- ja signaali-alueiden väliset ohjaussignaalit. I²C-väylälle löydettiin oma väyläkohtainen erotuspiiri ADuM1251 ja CAN-väylän erottimena toimi aikaisemmin esitelty lähetinpiiri ISO1050. Prosessorin ja sähkölaatu- ja signaali-alueiden väliset tiedonsiirrot isoloitiin käyttäen tavallista digitaalisignaaleiden isoloitusta tarkoittavaa piiriä ADuM3400.

Edellä mainittujen osioiden lisäksi elektroniikkaan päätettiin toteuttaa ominaisuuksia, joiden käyttö ei tämän työn lopputuloksen kannalta ole olennaista mutta joista voi olla hyötyä esimerkiksi elektroniikan testausvaiheessa.

Piirilevyille päätettiin lisätä painonappeja, joita voitaisiin käyttää esimerkiksi prosessorin resetoitukseen, ohjauksikäskyjen antamiseen tai kuittauspainikkeina. Napeiksi

valittiin pienikokoiset pintaliitoskomponentit joita yritys käyttää myös toisissa tuotteissaan.

Testausvaiheessa avuksi päätettiin lisätä myös muutamia LED-valoja, jotka voitiin ohjelmoida indikoimaan esimerkiksi laitteen päälläoloa, RS485- ja CAN-väylän liikennettä tai vaikka lämpötilan raja-arvojen ylittymistä.

Koska yksi laitteen tehtävistä oli kyetä tallentamaan mitattuja arvoja muistiin, päätettiin I²C-väylälle lisätä ulkoinen 16 kilotavuinen Microchipin valmistama EEPROM-muistipiiri 24LC16B, jota voitaisiin käyttää esimerkiksi laitteen konfiguraatioparametrejä varten. Tällöin mitattu tieto ja konfiguraatiodata saadaan pysymään yksinkertaisesti ja turvallisesti erillään.

2.2.10 Elektroniikan yhteenveto

Valmiiden ratkaisujen hyödyntämisen seurauksena suunniteltuun elektroniikkaan lukeutui myös ominaisuuksia, joita tässä työssä ei tarvittu lainkaan. Esimerkiksi prosessorissa oli lukuisia ominaisuuksia, jotka jäivät työssä kokonaan hyödyntämättä. Näitä ominaisuuksia olivat mm. AD-muunnin, Ethernet-portti, SPI-väylä ja USB 2.0-portti. Prosessori oli siis ylimitoitettu tähän systeemiin, mutta sitä päätettiin kuitenkin hyödyntää prosessorista saadun kokemuksen vuoksi. Lisäksi laitteesta tuli vain protolaite, eivätkä jotkin turhat lisäominaisuudet ole haitaksi.

Laitteen ominaisuuksista, komponenteista kasattiin lohkokaavio havainnollistamaan elektroniikan ominaisuuksia, komponenttien välisiä suhteita sekä eri jännitetasoja. Lohkokaaviokuva on liitteessä 1.

Taulukko 1a. Päätasen virrankulutukset.

PÄÄTASO, +3,3V			
<i>Komponentti</i>	<i>Kappalemäärä</i>	<i>Maksimivirrankulutus/ kpl / mA</i>	<i>Virrankulutus yht. / mA</i>
24LC16B	1	3	3
74LVC1G17	1	100	100
ADuM1251	1	3	3
ADuM3400	2	8,55	17,1
AT91SAM7X256	1	90	90
HCPL-2530	2	17,1	34,2
MAX803S	1	0,060	0,060
SRDA3.3-6	1	0,008	0,008
TMP175	1	10	10
Ledit	4	2,7	11
Painonapit	3+1	0,58 / 1,5	3,2
<i>Yhteensä:</i>			271,57

Taulukko 1b. Kommunikaatiotason virrankulutukset.

KOMMUNIKAATIOTASO, ISOLOITU +5V			
<i>Komponentti</i>	<i>Kappalemäärä</i>	<i>Maksimivirrankulutus/ kpl / mA</i>	<i>Virrankulutus yht. / mA</i>
ADM485	1	0,36	0,36
HCPL-2530	2	12,2	24,4
ISO1050	1	73	73
<i>Yhteensä:</i>			97,76

Taulukko 1c. Mittaustason virrankulutukset.

MITTAUSTASO, ISOLOITU +3,3V			
<i>Komponentti</i>	<i>Kappalemäärä</i>	<i>Maksimivirrankulutus/ kpl / mA</i>	<i>Virrankulutus yht. / mA</i>
ADE7880	1	28	28
ADuM1251	1	2,8	2,8
ADuM3400	2	8,55	17,1
<i>Yhteensä:</i>			47,9

2.3 Ohjelmointikielen, työkalun sekä ohjelmistotyypin valinta

Sulautetun laitteen ohjelmisto voidaan toteuttaa pääasiassa kahdella tavalla; kirjoittamalla ohjelmisto foreground/background - tyyppiseksi tai käyttämällä jotakin kaupallista tai itse kirjoitettua reaaliaikakäyttöjärjestelmää.

Foreground/background - systeemin toiminta perustuu siihen, että kirjoitettu koodi suoritetaan yhtenä päättymättömänä silmukkana. Koodi suoritetaan aina kirjoitetussa järjestyksessä ja sen ajojärjestystä voi muuttaa hetkellisesti vain ulkopuolinen keskeytys. /8, 36/

Jos käytetään reaaliaikakäyttöjärjestelmää, ohjelmisto koostuu kernelin - siis ytimen - lisäksi itsekirjoitetuista funktioista, taskeista, joille on annettu jokin tärkeysarvo. Näille funktioille kernel jakaa prosessorin suoritusaikaa tärkeysarvon mukaan. /8, 39–43/

Molemmat ovat lähtökohdiltaan erilaisia tapoja ja tuovat projektiin omat hyötynsä ja haittansa. Foreground/background tyyppi soveltuu pieniin sulautettuihin järjestelmiin, jossa toiminta on rajoitettua eikä useita rajapintoja eri laitteisiin ole.

Jos ominaisuuksia on paljon, todennäköisyys jonkin tietyn muistipaikan päällekkäiskäsittelylle kasvaa. Tämä tarkoittaa sitä, että kaksi eri funktiota käsittelee hallitsemattomasta samaa muistialuetta tietämättä sitä, että toinen funktio on kirjoittanut muistialueelle jotain. Tästä saattaa pahimmillaan seurata datan korruptoituminen ja ohjelman kaatuminen. Reaaliaikakäyttöjärjestelmän käyttäminen ratkai-

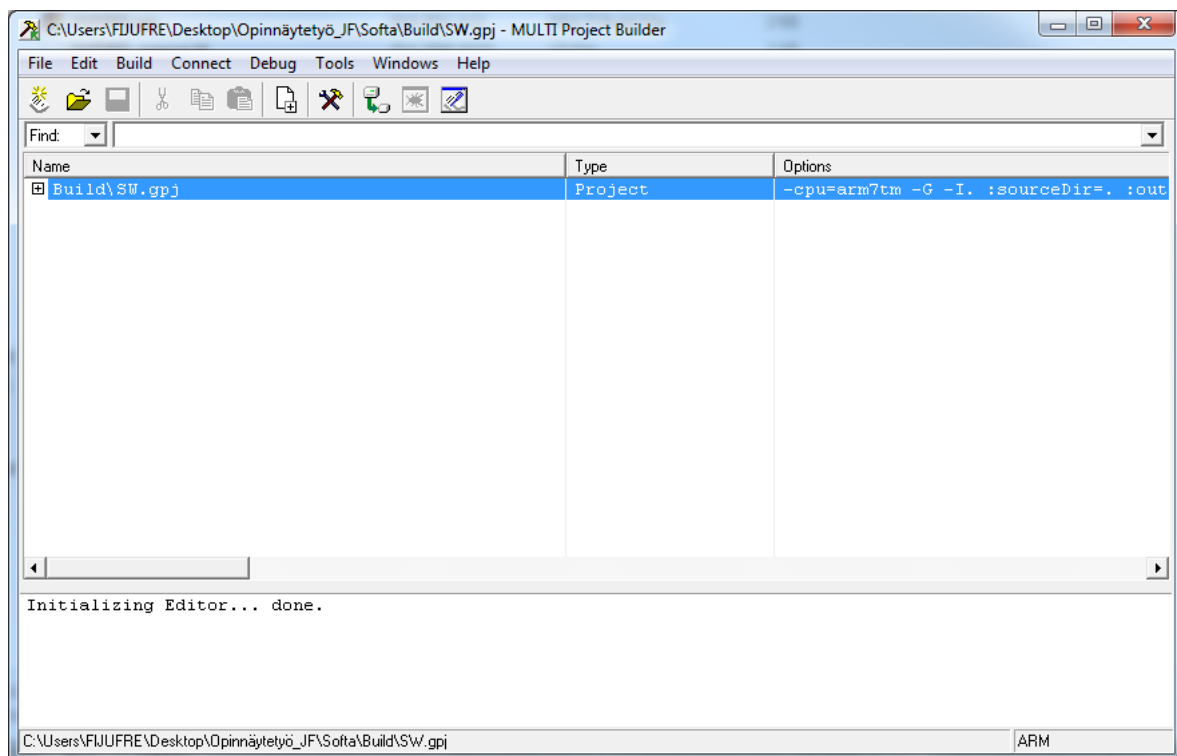
see muistinkäyttöön liittyvät ongelmat tarjoamalla palveluita muistialueiden käsittelyyn ja helpottaa myös olennaisesti ohjelmoijan työtä.

Suunniteltavan laitteen koostuessa monipuolisen anturiverkon lisäksi ulospäin liikennöivistä tietoliikenneväylistä sekä jatkuvasta mittausdatan käsittelystä ja tallentamisesta, päätettiin laitteessa käyttää reaaliaikakäyttöjärjestelmää.

Reaaliaikakäyttöjärjestelmiä on saatavilla useita eri vaihtoehtoja joiden ominaisuudet sekä käyttökustannukset vaihtelevat. Tähän työhön valittiin käytettäväksi Micriumin μ C/OS-II sillä yrityksessä oli jo kokemusta kyseisen reaaliaikakäyttöjärjestelmän ja työssä käytetyn prosessorin yhteistoiminnasta. Tätä kokemusta ja valmista koodia voitiin hyödyntää laitteen ohjelmointivaiheessa.

Käytetty reaaliaikakernel μ C/OS-II on kaupallinen tuote, mutta sen käyttö on ilmaista jos sen käytöstä ei hyödytä rahallisesti tai sitä ei käytetä myytävässä tuotteessa. Jos kerneliä käytetään tuotteissa, maksetaan jokaisesta myydystä tuotteesta lisenssimaksu Micriumille.

Tässä työssä ohjelmointikielenä käytetään C-kieltä sekä kehitysympäristönä Green Hills Softwaren MULTI-ohjelmistoa (kuva 9.)



Kuva 9. Käytetty kehitysympäristö.

3 LAITTEEN SUUNNITTELU

Kun laitteeseen tarvittavat ominaisuudet ja pääkomponentit olivat selvillä, voitiin aloittaa laitteen konkreettinen suunnittelu. Laitteen varsinainen suunnittelu eli rakentaminen koostuu kahdesta osasta; raudan, eli elektroniikan suunnittelusta ja ohjelmoinnista eli ohjelmiston suunnittelusta.

3.1 Piirikortin suunnittelu

Piirilevyjen suunnitteluun on olemassa monia eri ohjelmistoja jotka sisältävät eri ominaisuuksia. Käytettävästä ohjelmistosta riippumatta piirilevyn suunnitteluprosessiin kuuluvat aina piirikaavion sekä piirilevykuvan piirtäminen. Tässä työssä käytettiin kaupallista Mentor Graphicsin valmistamaa PADS-ohjelmistoa.

PADS-ohjelmiston ensimmäinen versio ilmaantui markkinoille vuonna 1986 jolloin ohjelmisto julkaistiin nimellä Cad Software Inc ja se toimi DOS-käyttöjärjestelmässä. Ohjelmisto on kuluneen 27 vuoden aikana kehittynyt vastaamaan tekniikan kehityksen tuomiin haasteisiin piirilevysuunnittelussa. /11, 15/

3.1.1 Piirikaavion piirto

Piirikaaviokuvan piirtoon käytettiin PADS PowerLogic - ohjelman versiota 9.2. Piirikaaviossa käyvät ilmi käytettävät komponentit ja niiden väliset kytkennät sekä havainnollistetaan elektroniikkaa komponenttitasolla. Piirikaavio ei vielä kerro kuitenkaan laitteen fyysisestä ulkomuodosta vaan ainoastaan signaalivetojen rakenteet ja määrät. Kuvaa käytetään myös erilaisen suunnittelutiedon esittämiseen ja siihen usein kirjataan piirikortilta vaadittavia ominaisuuksia kuten esimerkiksi ryömintävälejä tai haluttuja komponentin paikkoja piirilevyllä.

Piirikaaviota piirtäessä pääajatuksena oli tehdä selvä ja helppolukuinen dokumentti joka sisältäisi komponenttien lisäksi mahdollisimman paljon tärkeää suunnittelutietoa.

Komponentit pyrittiin ryhmittelemään toiminnallisiin lohkoihin, jotta piirikaavioista saatiin havainnollinen ja helposti ymmärrettävä. Laitteen pääominaisuudet

ryhmiteltiin omille sivuilleen piirikaaviotiedostoon joka omalta osaltaan selkeytti kaaviota. Kaavion yhtenäistämisen vuoksi myös signaalien kulkusuunta piirrettiin kaikkialle kulkemaan vasemmalta oikealle. Piirikaavio löytyy liitteestä 3.

3.1.2 Piirilevykuvan suunnittelu

Piirilevy- eli layout-kuvasta käyvät ilmi piirilevyn ja komponenttien fyysiset mitat, sijoittelut, komponenttien välillä kulkevat signaalit sekä piirilevyille porattavat reiät. Käytännössä kuvasta on havaittavissa kaikki piirilevyn valmistamiseen tarvittavat tiedot. Piirilevykuva tehdään piirikaavion pohjalta.

Kuvan suunnittelu toteutettiin ulkopuolisessa yrityksessä. Tämä mahdollisti ammattilaistason suunnittelutyön sekä helpon valmistettavuuden.

Jotta piirilevykuva voitiin valmistaa, toimitettiin piirikaavion lisäksi mittakuva halutunkokoisesta piirilevystä (LIITE 4). Myös kortille tulevien liittimien paikat olivat määriteltynä tähän mittakuvaan.

Koska piirilevyille tulevien komponenttien määrä oli suhteessa iso verrattuna piirilevyn kokoon, päätettiin kytkentä toteuttaa neljäkerroksiselle piirilevyille. Signaalien reitittämiseen käytettävien tasojen määrän kasvaessa myös reititysmahdollisuudet kasvoivat ja levykuvan suunnittelu helpottui.

Komponentit voidaan sijoittaa piirilevyn kummallekin puolelle. Tässä tapauksessa päädyttiin kuitenkin sijoittamaan kokoonpanovaiheen komponentit vain piirilevyn yläpuolelle. Jos komponentit olisi sijoitettu piirilevyn molemmille puolille, olisivat valmistuskustannukset nousseet huomattavasti.

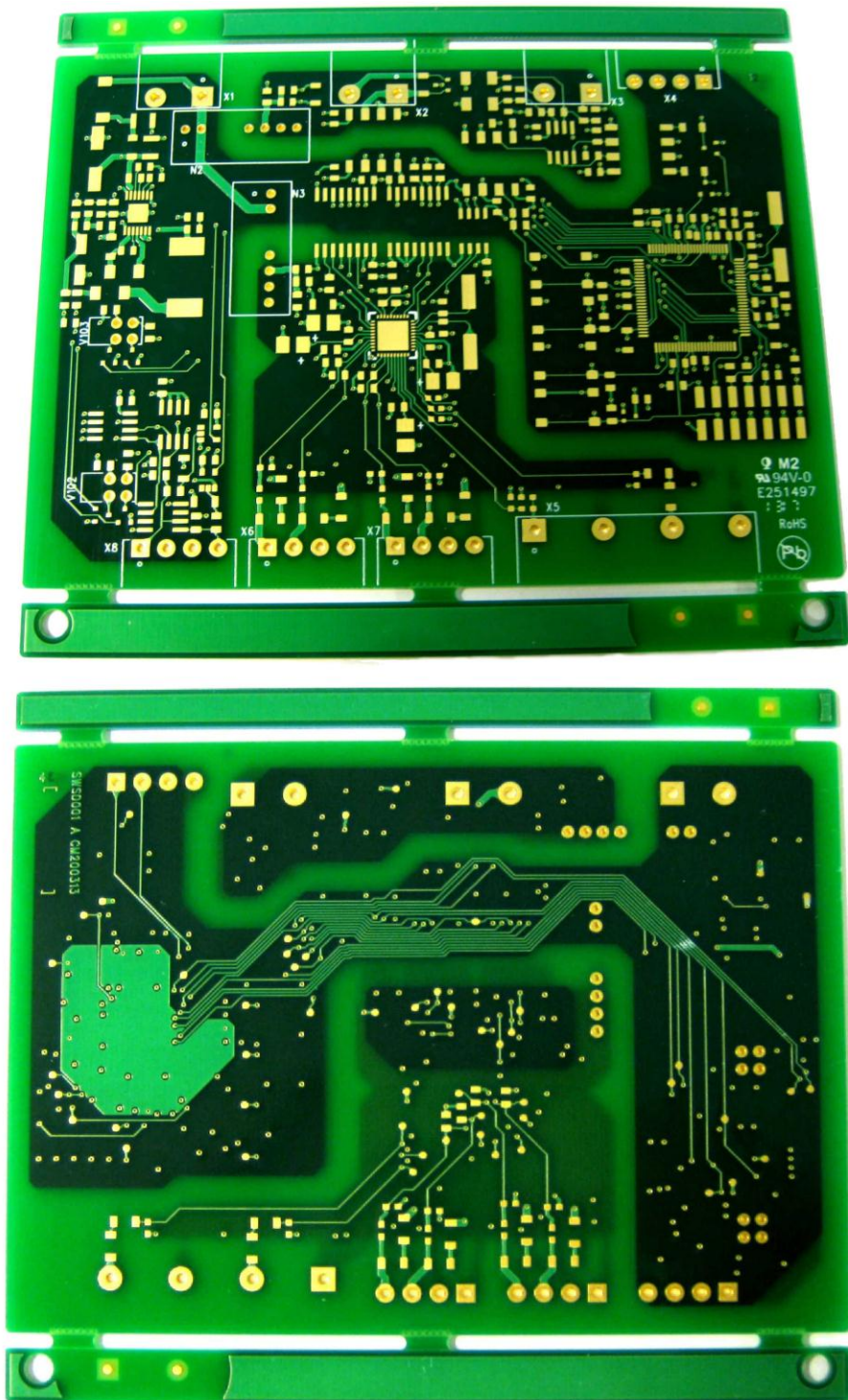
Piirilevykuva suunnitellusta laitteesta on liitteessä 5.

3.1.3 Piirilevyn valmistus ja piirikortin kokoaminen

Piirilevykuvan suunnittelun jälkeen kuvasta tehdään standardoidut Gerber-tiedostot joiden avulla piirilevyvalmistaja voi valmistaa itse piirilevyn. Gerber-tiedostot sisältävät kuvauksen muun muassa piirilevyn kuparikerroksista, juotoskohdista, porattavista rei'istä ja merkinnöistä.

Piirilevyjen yleisimmin käytetty materiaali on epoksilasikuitu. Levy valmistetaan epoksimuovista joka on vahvistettu lasikuitukankaalla ja kovetettu puristimessa. Epoksilasikuitulevystä käytetään yleisimmin nimeä FR4 ja sen suositeltu käyttölämpötila-alue on $-40-125^{\circ}\text{C}$. /10, 24/

Kuvassa 10 on työtä varten epoksilasikuidusta valmistettu nelikerroksinen piirilevy.



Kuva 10. Valmistettu FR4-piirilevy.

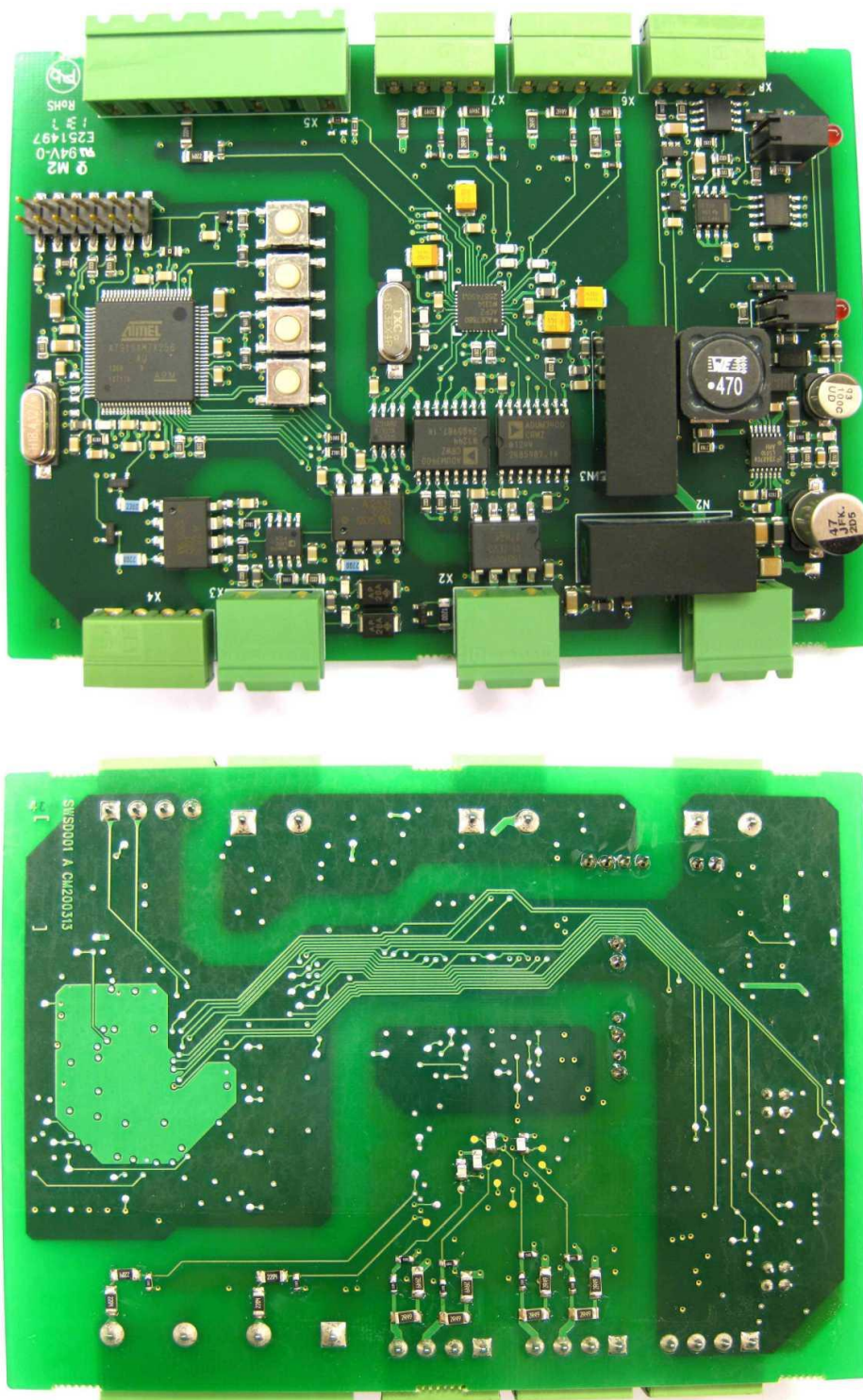
Piirilevyn valmistuksen jälkeen täytyi suunnitelma koota piirikortiksi juottamalla piirilevyille komponentit. Teollisia juotostapoja ovat esimerkiksi aaltojuotos, höy-

ryfaasijuotos, kuumahihnajutos, infrapunajuotos, laserjuotos ja kuumailmajuotos. /10, 49–60/

Tässä työssä päätettiin piirikortin yläpuoli juottaa infrapunajuotostekniikalla, jossa infrapunasäteily sulattaa komponenttien alla olevan juotospasta. Alapuolelle päätettiin käyttää aaltojuotostekniikkaa, jossa piirikortti viedään ladottuna juoteaallon yli. Aaltojuotos onkin erittäin nopea tapa valmistaa iso sarja elektronisia laitteita.

Kaikki juotettavan pinnan komponentit pitää kuitenkin liimata paikalleen ennen juotosprosessia mikä itsessään kustannuksia varsinkin pienissä protoerissä. Tästä syystä suunniteltavan laitteen komponentit sijoitettiin pääosin vain piirilevyn yläpuolelle ja vain läpiladottavat komponentit juotettiin alapuolelta aaltojuotoksen avulla. Alapuolelle sijoitetut muutamat palavastukset juotettiin käsin protokorttien teollisen valmistuksen jälkeen.

Kuvassa 11 on kuva valmiista elektroniikkakortista.



Kuva 11. Elektroniikkakortti kokoonpanon jälkeen.

3.2 Toiminnallisuustesti ja testiohjelmisto

Toiminnallisuustestin tarkoituksena on varmistaa, että kaikki elektroniikkaan suunnitellut ja toteutetut ominaisuudet toimivat moitteettomasti. Piirikortin kasaamisen jälkeen ensimmäiseksi kortti tarkastetaan silmämääräisesti juotosten onnistumisten osalta.

Jos juotokset näyttävät hyviltä, kytketään kortille jännitteet ja mitataan sen ottama virta. Mikäli piirikortti ottaa liikaa virtaa, on oletettavissa, että kytkennässä on jokin virhe. Työssä rakennettu elektroniikka ottaa normaalitilassa reilusti alle 0,5A virtaa joten oikosulkujen ja virheiden havaitseminen kortilta on helppoa. Lisäksi komponenttien lämpenemät tässä tilassa on hyvä huomioida, esimerkiksi lämpökameran avulla. Joissain yksittäisissä komponenteissa saattaa olla kytkentävirheitä jotka eivät välttämättä näy suoraan kortin ottamassa virrassa vaan ainoastaan komponenttien lämpenemisenä.

Virranmittauksen ja lämpötilakatsauksen jälkeen mitataan yleismittarilla jokaisen poweritason toimivuus mittaamalla jännitteet powereiden ulostuloista ja mahdollisesti komponenttien käyttöjännitenoista. Mikäli kaikkien jännitetasojen jännitteet todetaan oikeaksi, voidaan testauksessa siirtyä seuraavaan vaiheeseen eli testikoodin lataamiseen prosessorille.

Tarkoituksena on käydä vuorotellen läpi kaikki elektroniikan osa-alueet kirjoittamalla niille testikoodi. Koska tähän työhön saatiin avuksi toisessa projektissa samalla prosessorilla käytetty reaaliaikakäyttöjärjestelmä, on testaamisen aloittaminen yksinkertaista. Käytetyssä koodipaketissa on valmiiksi kirjoitettuna prosessorin alustuskäskyt niin, että pienillä muutoksilla saadaan reaaliaikakäyttöjärjestelmä pyörimään ja käytettävät testikoodit voidaan kirjoittaa suoraan niille luotuun erilliseen taskiin.

Aluksi testataan prosessorin I/O-nastat vilkuttamalla niihin kytkettyjä ledejä. Tämän jälkeen testataan RS485-väylän toimivuus tiedonsiirtoon PC-tietokoneen ja siinä käynnissä olevan terminaaliohjelman kanssa. Terminaaliohjelman käyttäminen mahdollistaa laitteessa olevien muiden toimintojen helpon toiminnallisen tes-

taamisen sillä terminaaliin voidaan tulostaa esimerkiksi antureilta saatua mittaus-tietoa.

I²C-väylän toiminta testataan lukemalla ja kirjoittamalla piirikortilla oleville I²C-komponenteille tietoa yksi kerrallaan. Samalla voidaan havaita, toimivatko väylällä olevat komponentit oikein ja vastaavatko ne oikeisiin osoitteisiin. I²C-väylän ohjausfunktiot saatiin valmiiksi eräästä toisesta yrityksellä olevasta projektista ja kirjoitettaviksi jäivätkin väylän osalta ainoastaan näiden funktioiden soveltaminen eri antureiden kommunikaatiomalleihin.

Piirikortilla olevien kytkimien ja käyttökertalaskurin toiminta testataan yksinkertaisesti lukemalla niitä prosessorin I/O-nastoja joihin nämä laitteet on kytketty. Nastoilta luetut tilat voidaan lähettää suoraan RS485-väylän välityksellä PC:lle ja havaita näiden kytkentöjen toimivuus. Testaukset toteutetaan kaikille kytkimille sekä apukoskettimille erikseen.

CAN-väylän toiminta testataan liittämällä oskilloskooppi CAN-väylän tietoliikennestoihin CANL ja CANH. Oskilloskooppikuvasta voidaan todeta väylän jännitetasot ja niiden oikeellisuus. Oskilloskooppimittauksen jälkeen voidaan väylään kytkeä toinen laite ja liikennöidä kaksisuuntaisesti. CAN-väylän koodi joudutaan kirjoittamaan kokonaan itse.

3.3 Anturien ja mittausten kalibrointi

Kun elektroniikan toiminnallisuus on saatu testattua, pitää anturit kalibroida vastaamaan todellisia, mitattuja arvoja. Kalibrointi suoritetaan mittaamalla elektroniikalla ennalta määrättyjä, tiedettyjä arvoja ja vertaamalla niitä mittauksen tuloksiin.

Tässä työssä jännitteen- ja virranmittausten kalibrointiin käytetään Omicronin valmistamaa CMC 256plus reletesteriä (kuva 12.) Testeri kykenee muuttamaan PC-ohjelmiston välityksellä syötetyn jännitteen ja virran suuruuksien lisäksi vaihesiirtokulmia sekä taajuuksia. Laitteella voidaan myös ohjata signaaleihin transientteja sekä harmonisia komponentteja.



Kuva 12. Omicron CMC 256plus reletesteri.

Lämpöanturien kalibroinnissa huomioon pitää ottaa mitattavan pinnan emissiivisyyskerroin. Emissiivisyyskerroin on luku väliltä 0-1 ja se kertoo, kuinka paljon kappale lähettää lämpösäteilyä verrattuna täysin mustaan kappaleeseen. Koska liitinkiskot ovat hopeoitua kuparia, emissiivisyyskerroimeksi pitää ohjelmallisesti asettaa hopean emissiivisyyskerroin, joka on väliltä 0,1-0,2 lämpötila-alueella 38–260°C.

Varsinaiset kalibroinnit toteutetaan ohjelmiston avulla joko muuttamalla mittausarvojen laskualgoritmeja tai säätämällä komponenttien sisääntulojen vahvistuksia. Piirilevyllä olevaa ympäristönlämpötilamittaria ei tarvitse kalibroida.

4 PIENJÄNNITEKYTKIMEN TOIMINTAPISTEEN MÄÄRITTÄMINEN

4.1 Elektroniikan mahdollistamat mittaukset

Avainkohtana työssä olivat elektroniikalla mitattavat asiat. Erilaisten mittaustulosten saanti mahdollistaa tulevaisuudessa tarpeellisten testien suorittamisen sekä tässä työssä tehtyjen pohdintojen verifiointin oikeassa elämässä. Suunnitellun elektroniikan tukemat mittauskohteet olivat

- *Pienjännitekytkimen kiinni- ja aukikytentäkerrat.*

Kytkemiskerrat ovat hyödyllinen tarkastelun kohde sillä ne ovat läheisessä yhteydessä kytkimen ylimenoresistanssiin. Jokaisen kytkentäkerran jälkeen koskettimien kontaktipinnat kuluvat sekä mekaanisesta liikkeestä, että valokaaren vaikutuksesta. Valokaariefekti aiheuttaa myös kontaktipintojen likaantumista mikä omalta osaltaan vaikuttaa ylimenoresistanssiin. Ylimenoresistanssin kasvaessa taas kytkimeen jäävä tehohäviö on suurempi, minkä omalta osaltaan pitäisi nostaa kytkimen lämpötilaa kuormitustilanteissa.
- *Tieto siitä, onko pienjännitekytkin auki vai kiinni eli kytkimen tilatieto.*

Tilatiedon avulla voidaan laskea pienjännitekytkimen käyttöaika ja havainnoida kytkentätilanteissa tapahtuvat mitattavien arvojen muutokset. Esimerkiksi kytkentätilanteissa tapahtuvat virran muutokset vaihtelevat kuorman induktiivisuudesta riippuen.
- *Ympäröivän ilman lämpötila eli yleislämpötila.*

Yleislämpötilamittauksen pääasiallinen käyttökohde on ulkopuolisen lämmön vaikutuksen havainnointi napakiskojen lämpötilamittauksissa. Yleislämpötilan mittaus auttaa esimerkiksi vertaamaan pelkästään kuormitusvirran aiheuttamaa lämpöhäviötä kytkimessä kahdessa eri ilman lämpötilassa.
- *Jokaiselta pienjännitekytkimen liitinkiskolta mitattu lämpötila.*

Liitinkiskoilta mitatut lämpötilat mahdollistavat lämpötilojen käyttäytymisen havainnoimisen pienjännitekytkimen yhteydessä. Navan lämpötila-

eroja voidaan verrata myös muiden napojen lämpötiloihin, jolloin saadaan kuva koko kytkimen lämpenemästä. Napakiskojen lämpötilaerot voivat indikoida myös löysästä kaapeliliitoksesta tai jonkin navan ylimenoresistanssin noususta.

- *Sähköverkon vaihejännitteet ja vaihejännitteiden huippuarvot.*
Vaihejännitteiden mittaus mahdollistaa tehojen laskemisen lisäksi sähköverkon toimintavalmiuden indikoinnin. Huippuarvojen mittaus mahdollistaa myös transienttiylijännitteiden havainnoinnin.
- *Sähköverkon vaihevirratt sekä vaihevirtojen huippuarvot.*
Virtojen suuruuden lisäksi voidaan havaita esimerkiksi piikkivirratt induktiivisten kuormien yhteydessä.
- *Sähköverkon nollavirta.*
Nollajohtimen periaatteena on tasapainottaa tähtikytkennän vaihejännitteet ja pitää ne suurin piirtein yhtä suurina. Nollajohtimessa kulkeva virta on yleensä merkki huonosta sähköverkosta, joka voi johtua esimerkiksi epäsymmetrisestä kuormasta.
- *Virtojen sekä jännitteiden taajuus.*
Taajuusmittauksella voidaan havaita signaalien taajuuspoikkeamat jotka voivat johtua mm. nopeista verkon kuormitusmuutoksista. Mitattavan verkon oletustaajuutena pidetään 50Hz:iä.
- *Vaiheiden pätö-, näennäis- ja loistehot ja niiden energiakertymät.*
Pätöteho on se teho, joka todellisuudessa kuluu sähköverkon kuormalaitteella. Loisteho ei tee varsinaista työtä vaan se ainoastaan kuormittaa verkkoa. Näennäisteho taas muodostuu pätö- ja loistehon summasta. Energiakertymät lasketaan jokaisesta tehon osa-alueesta erikseen, ja ne ilmoitetaan watti-, vari- ja voltiampeeritunteina.
- *Vaiheiden tehokertoimet.*
Tehokerroin muodostuu pätötehon ja näennäistehon suhteesta. Tehokerrointa voidaan käyttää esimerkiksi indikoimaan verkon loistehon kompensointitarvetta.

- *Taajuuden kokonaislukukerrannaiset eli harmoniset yliaallot.*
Harmonisia yliaaltojännitteitä syntyy sähköverkkoon esimerkiksi taasuuntauksien tai taajuusmuuttajien käytön seurauksena ja ne aiheuttavat muun muassa laitteiden kuormitettavuuden alenemista sekä nollajohtimen kuormittumista. Harmoniset yliaallot voidaan mitata 2,8KHz:n asti. Tässä työssä toteutettu elektroniikka mahdollisti siis 56:n (2800Hz/50Hz) harmonisen taajuuskerrannaisen mittaamisen. /3, 116/
- *Kokonaissärö eli Total Harmonic Distortion, THD.*
THD:tä pidetään yleisesti yhtenä keskeisimpänä jännitteen tai virran laatua mittaavana muuttujana. THD tarkoittaa signaalin kaikkien harmonisten yliaaltokerrannaisten amplitudien summan suhdetta perustaajuuden signaalin amplitudiin ja se ilmoitetaan yleensä prosentteina. Mitä suurempi prosentti on, sitä isompi on harmonisten osuus signaalista ja sitä häiriöisempi signaali on. Suunniteltu elektroniikka laskee THD:n mitatuista signaaleista ja sitä voidaan käyttää esimerkiksi suoraan sähkönlaadun indikointiin.

4.2 Kytkimen eliniän määrittäminen

Pienjännitekytkimen eliniän ja kunnon määrittäminen oli yksi tämän työn haastavimmista osista jotka vaativat tarkempia mittauksia pohdintojen tueksi. Tärkeimpinä elinikänsä vaikuttavina seikkoina voidaan pitää käyttökertojen määrää, kokonaiskäyttöaikaa sekä kytkimen kuormitushistoriaa. Nämä arvot yhdessä muodostavat pienjännitekytkimen kunnon heikkenemisen.

Pienjännitekytkimen mekaaninen sekä sähköinen elinikä määritellään IEC-60947-3 standardissa käyttösykliin määränä. Yhdellä syklillä tarkoitetaan kytkimen avaus- ja sulkutilanteen yhdistelmää. Maksimisykliin määrät ilmoitetaan erikseen virrattomana (mekaaninen) ja nominaalivirralla (sähköinen) tehtäville sykleille. Lisäksi standardista löytyy nämä molemmat käsittävät kokonaissykliin määrät.

Koska standardissa virrallisena tehtävät syklit on määritelty vain nominaalivirralla, ei standardin arvoja voida suoraan käyttää eliniän määrittämisessä vaan laskuissa pitää ottaa huomioon, millä kuormitusvirran arvolla syklit on tehty. Esimerkiksi jos kytkimelle standardin asettama raja virrallisiin sykleihin on 1000

kappaletta ja kytkimellä suoritetaan 0,5-kertaisella nominaalivirralla 1000 sykliä, ollaan vasta standardin asettaman eliniän puolella välissä. Tämä teorian paikkansapitävyydestä ei ole vielä testituloksia ja se pitääkin todentaa kytkimelle tulevaisuudessa tehtävillä testeillä.

Toinen lähestymistapa kunnan määrittämisessä on kytkimen ylimenoresistanssin päättely virran sekä lämpenemän avulla. Pienjännitekytkimen napojen lämpenemät tietyillä virta-arvoilla pitäisivät olla ennustettavissa. Lämpenemät ja virtarajat riippuvat täysin kiskon paksuudesta ja kytkinmallista. Tästä johtuen joudutaan myöhemmässä vaiheessa suorittamaan mittauksia jotka on esitelty kappalessa 5.

4.3 Osapuolten intressit eri havaintoarvoille

4.3.1 Kuluttajan tarpeet

Kuluttaja voidaan nähdä tässä tapauksessa joko yksityis- tai yrityskuluttajana joilla kummallakin voivat olla eri näkemykset siitä, mikä on heille hyödyllisintä tietoa. Työssä tehdyillä pohdinnoilla kuluttaja nähtiin kuitenkin yhtenä asiakkaana.

Kuluttajalle sähkön laadulla on olennainen merkitys. Esimerkiksi tuotteita valmistavalle yritykselle ongelmat sähkön laadussa voivat aiheuttaa tuotantoprosessissa viallisia tuotteita tai pahimmillaan jopa aiheuttaa tuotannon katkeamisen, joka usein tulee erittäin kalliiksi. Suuressa toimistorakennuksessa taas tuhannet tietokoneet voivat aiheuttaa ja kuormittaa sähköverkkoa ja heikentää sähkön laatua. /3, 113/

Ongelmat havaitaan usein siinä vaiheessa, kun jo valmiiksi kovalla kuormalla olevaan sähköverkkoon lisätään uusia laitteita, jotka kuormittavat verkkoa entisestään eivätkä itsessään kestä verkon häiriöisyyttä. Laitteiden toimintahäiriöiden ilmetessä vikaa usein haetaan muualta kuin sähköverkosta joka johtaa häiriötilanteiden pitkittymiseen ja kustannusten nousuun. /3, 113/

Laitteiden toimintahäiriöiden lisäksi loistehon seuranta voi olla kuluttajaa kiinnostava asia. Jatkuvasti kohoavat energiamaksut ajavat ihmiset ajattelemaan yhä tarkemmin sitä, mihin rahaa oikein kuluu. Mikäli loistehoa tai sen hallintaa ei tiedosteta, joudutaan maksamaan energiasta turhaa ylihintaa.

Kytkinlaitteen omistajaa voi myös kiinnostaa tieto kytkimen kuorman energiankulutuksesta. Energiankäytön mittauksella asiakas kykenee havainnoimaan esimerkiksi vuodenaikojen tai ajankohtien vaikutukset sähkönkulutukseen taloyhtiöissä.

Kuluttajalle myös oman kytkinlaitteen elinikä on kiinnostava tieto. Mikäli laitteen elinkaaresta ja vaihdon tarpeesta ollaan tietoisia jo hyvissä ajoin ennen tarvittavia toimenpiteitä, voidaan vaihdon suunnittelulla mahdollisesti pienentää toimenpiteistä syntyviä kustannuksia esimerkiksi ajoittamalla vaihto-operaatio hetkeen, jolloin tuotanto on minimissään.

4.3.2 Kytkimiä valmistavan yrityksen tarpeet

Yritykselle havaintoarvot voivat olla pääasiassa reklamointiprosesseja kehittävä ominaisuus. Reklamaatiotapaukset halutaan minimoida kestoiltaan mahdollisimman lyhyiksi ja kytkimellä tapahtuneiden olosuhteiden selvitys voi nopeuttaa ja selkeyttää tapausten käsittelyä.

Oletusarvoisesti tärkeitä kohteita ovat historiatiedot kytkimen läpi kulkeneesta virroista, jännitteistä, tehoista sekä niiden huippuarvoista. Lisäksi lämpötilatiedot niin ympäröivästä ilmasta kuin itse kytkimeltäkin ovat arvokasta dataa reklamaatiotapauksia käsitellessä. Yritykselle hyödyllisintä tietoa ovat siis kaikki historiatiedot kytkimen käyttöympäristöstä sekä sillä suoritetusta mekaanisista toimenpiteistä.

4.3.3 Kunnossapidon tarpeet

Kunnossapidolla tarkoitetaan sitä osapuolta, joka valvoo pienjännitekytkimen ja siihen liitetyn kuorman käyttäytymistä sekä aloittaa tarvittaessa prosessin laitteiden korjaamiseksi tai uusimiseksi. Kunnossapidon toimenpiteet voivat olla joko

ennakoivia toimenpiteitä laitteiden rikkoutumisen ehkäisemiseksi tai rikkoutuneiden osien vaihtotoimenpiteitä.

Pienjännitekytkimeltä saatavasta tiedosta eritoten kytkimen kunto eli ohjauskerrojen määrät ja tilanteet ovat oleellista informaatiota kunnossapidolle. Myös liittikiskojen lämpötilojen seuranta on hyödyllistä tietoa löysien liitosten sekä mahdollisesti vioittuneen navan paikallistamiseksi.

4.4 Ehdotus toimintapisteen esittämiseksi

Toimintapisteen tarkoitus on havainnollistaa kytkimen ja sen kuorman kunnan sekä toiminnan tilaa. Isommissa, monta kytkintä kattavassa järjestelmissä yhteen toimintapistekuvaajaan pitää voida sijoittaa monta erimallista kytkintä. Tässä työssä päätettiin suunnitella toimintapisteindikaatioehdotukset pääasiassa kunnossapitoa varten mutta samalla ottamalla huomioon kuluttajan intressit mitattavalle datalle. Toimintapiste on kyettävä näyttämään web-selaimen ja etähallintajärjestelmän lisäksi yksinkertaisella ruudulla kuten pienellä LCD-paneelilla ja tätä varten suunniteltiin mustavalkoversio toimintapistenäytöstä. Kuvaajia suunniteltaessa pääasiallisena havainnollistettavana arvona pidettiin kytkimen elinikää ja kuvaajista pyrittiin tekemään mahdollisimman helposti ymmärrettäviä.

Yksittäisiä kytkimiä kuvaavat pisteet ja X-kirjaimet. Kytken paikka kuvaajassa määritellään kyseessä olevan kytkimen kuumimman navan sekä navasta kulkevan virran avulla. Se mille alueelle piste sijoittuu kuvassa havainnollistaa kytkimen ylimenoresistanssia joka puolestaan kuvaa kytkimen navan kuntoa. Punaisella tai pystyviivoitetulla alueella kytkin on poissa normaalitilasta ja se vaatii huoltoa. Keltaisella tai vaakaviivoitetulla alueella kytkimen tila on huonontunut ja siihen tulee kiinnittää tarkempaa huomiota. Mikäli piste sijaitsee vihreällä tai valkoisella alueella, kytkimen tilassa ei ole havaittu poikkeamaa normaalitilasta.

Kytken piirrosmerkki kuvaa kytkimellä tapahtuneita muutoksia, joita käyttäjän on syytä tarkastaa. Esimerkiksi IEC-60947-3-standardin mukaisen sähköisen ja mekaanisen käyttöön indikaationa on käytetty tummennettua pistettä ja X kirjainta. Tummennettu piste tarkoittaa sitä, että lähestytään mekaanisten ja sähkö-

sen käyttökertojen standardoitua maksimimäärää. X:llä kuvataan kytkin, joka on jo ylittänyt standardissa määritellyt raja-arvot.

Käyttäjän on mahdollista saada lisätietoa kytkimestä etähallintajärjestelmää käytettäessä klikkaamalla ko. kytkimen piirrosmerkkiä. Tällöin näytetään luettelona kaikki kytkimeen liittyvä mittaustieto ja korostetaan mahdolliset vikatilanteet. Liitteessä 6 on kuvattu suunnitellut toimintapistekuvaajat.

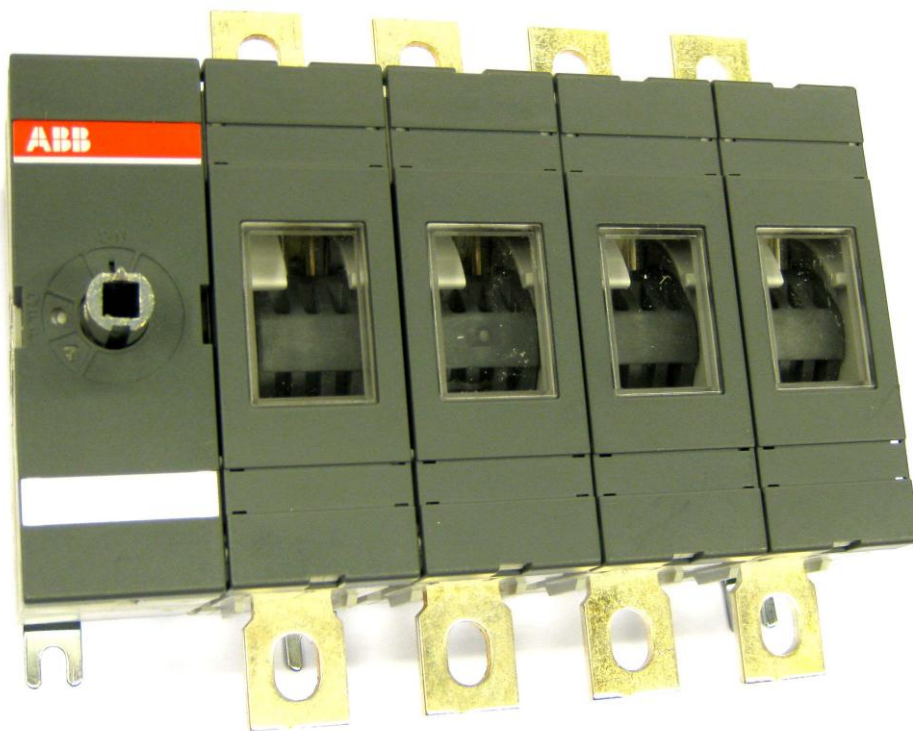
5 LAITTEELLA SUORITETTAVAT TESTIT

Pienjännitekytkimelle suunniteltiin erilaisia testejä, joiden tarkoitus on varmistaa tässä työssä pohditut asiat toimintapisteestä sekä erilaisten ympäristöolosuhteiden vaikutuksesta kytkimen toimintaan. Testit suoritetaan laboratoriossa, jossa kytkimelle kyetään syöttämään riittävä virta mittausten ja havaintojen tekemiseksi.

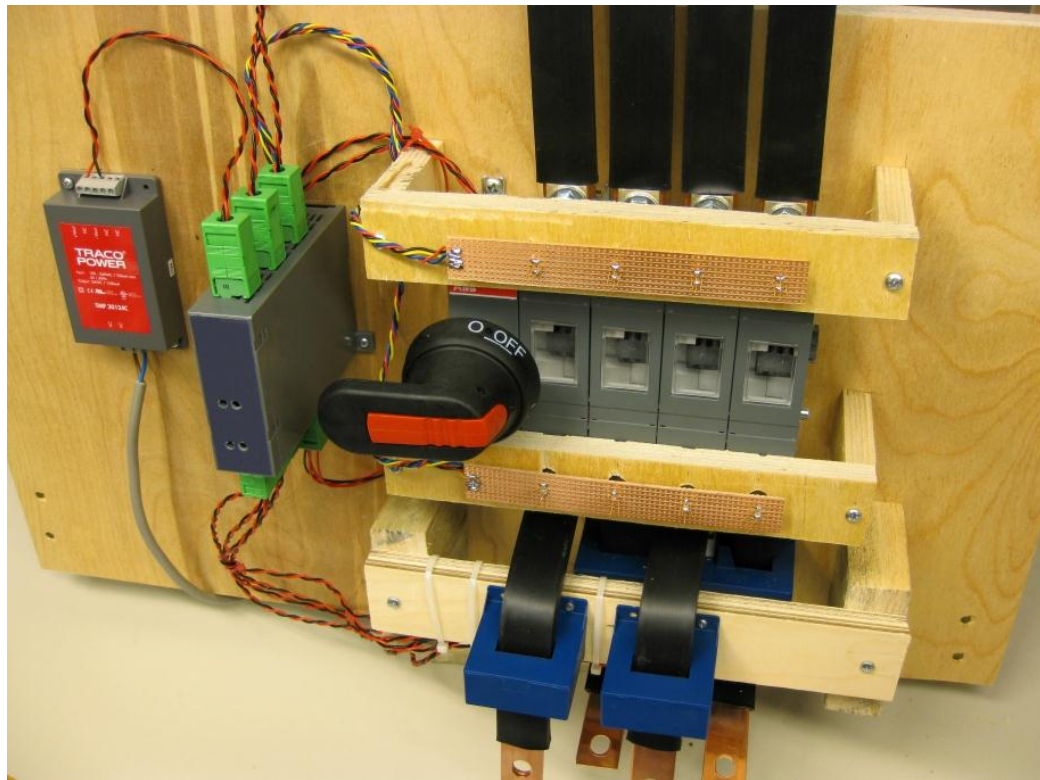
ABB:llä on käytössään suurjännite ja -virtalaboratorio jossa tähän työhön liittyviä testejä voidaan suorittaa. Laboratoriossa kyetään suorittamaan esimerkiksi oikosulku-, katkaisukyky-, lämpenemis- ja jännitelujuustestauksia eri pienjännitekytkimille. Suurin mahdollinen käytettävä koestusvirta on 5600A.

5.1 Testilaitteisto

Ensimmäiseksi testattavaksi kytkimeksi valittiin ABB:n OT250-mallinen pienjännitekytkin (kuva 13), jonka maksimivirraksi on määritelty 250 ampeeria. Tämä kytkin valittiin elektroniikan yksinkertaisen integroitavuuden sekä pienivirtaisuuden vuoksi. Isomman virtaluokan kytkimille ongelmaksi voisivat nousta suuret magneettikentät sekä korkeampi lämpenemä joita ei ensimmäisessä protoerässä otettu huomioon. Lisäksi laitteessa käytetyt virtamuuntajat kykenevät mittaamaan virtaa ainoastaan 700 ampeeriin asti mikä myös vaikutti kytkimen valintaan. OT250-sarjan kytkintä käytettäessä sitä voidaan kuormittaa yli sille määriteltyjen maksimirajojen ja havainnoida muutosnopeuksia esimerkiksi kytkimen kulumisessa. Kuvassa 14 on esitetty testissä käytettävä laitteisto kokonaisuudessaan.



Kuva 13. OT250-sarjan pienjännitekytkin.



Kuva 14. Testilaitteisto kokonaisuudessaan.

5.2 Pienjännitekytkimen testit elektroniikan avulla

Elektroniikan avulla on ensimmäiseksi tarkoitus mitata kytkimen lämpenemät normaalitilassa eli siinä tilassa kun kytkin on tehtaalta lähtiessään. Tämä testi toteutetaan käymällä läpi asteittain koko kytkimen virta-alue ja havainnoimalla lämpöreagointi näissä yksinkertaisissa tilanteissa. Kun lämpenemät on kartoitettu uudella kytkimellä, saadaan vertailupohja jota voidaan käyttää hyväksi muita testejä tehdessä.

5.2.1 Heikennettyjen kytkinten lämpenemätesti eri virroilla

Tämän testin tarkoituksena on havaita kytkimen likaisuuden tai rakenteellisten ominaisuuksien muutosten vaikutus kytkimen lämpenemään. Heikennettynä kytkimenä voidaan käyttää esimerkiksi ylikuormitustesteistä saatuja kappaleita, joiden ominaisuudet ovat muuttuneet käytön myötä. Toinen vaihtoehto on, että kytkimien kontaktipintoja voidaan muuttaa testejä varten vastaamaan kulunutta kytkintä esimerkiksi sahaamalla kosketinpinnoista paloja, jolloin kosketinpinta-ala pienenee.

Kun kunnan vaikutus kytkimen tai navan lämpenemiseen on todettu, voidaan iän ja lämpenemän korrelaatiota lähteä havainnoimaan. Kytkimille tehdään ikäkokeita ja testattavaksi voidaan ottaa sarja kytkimiä ikäkokeen eri vaiheista. Tällöin saadaan keskenään vertailukelpoisia tuloksia joita voidaan verrata myös uuteen kytkimeen.

5.2.2 Huonon sähköverkon vaikutus kytkimen lämpenemiseen

Myös epästabiilin ja huonon sähköverkon vaikutus kytkimen lämpenemiseen tulaa testaamaan. Tästä alueesta ei ole tietoa saatavilla, mutta mittaus on tärkeä toteuttaa toimintapisteen määrittelyn kannalta. Kytkimellä käytettävän sähköverkon laatu voi vaihdella jatkuvasti käyttökohteen ja jopa vuorokauden ajan mukaan. Mittauksen tuloksilla täytyy kyetä rajaamaan ulos huonon sähkön vaikutus tai löytää tarvittavat lämpenemään vaikuttavat sähkön laadun tekijät.

Viallisen sähköverkon simulointitesti tullaan suorittamaan suurvirtalaboratorion sijasta yksikön oman elektroniikkalaboratorion testikaapissa. Sähköverkon simulointiin käytetään kohdassa 3.3 esiteltyä Omicronin CMC 256plus reletesteriä. Ongelmaksi tässä tilanteessa voi nousta se, että testerin maksimivirta on yksivaiheisena käytettynä vain 75A. Tämä ei välttämättä nosta 250A:n kytkimen navan lämpötilaa riittävästi, jotta saataisiin havainnoitavia tuloksia. Kuitenkin tätä testiä suorittaessa voidaan tarvittaessa käyttää myös pienemmän virtaluokan kytkintä, jolloin tulosten verrattavuus kärsii mutta indikaatio sähkön laadun vaikutuksista saadaan selvitettyä.

5.2.3 Ympäristöolosuhteiden vaikutus kytkimen lämpötilaan

Pienjännitekytkin voi olla asennettuna asiakkaalla vaihtelevissa ympäristöissä. Mekaanisen värinä- ja kosteusrasitusten lisäksi kytkin voi olla alttiina suurillekin lämpötilanvaihteluille. Lämpötilanvaihtelut voivat vaikuttaa suoraan kytkimen napojen lämpenemään ja tätä kautta myös toimintapisteen määrittelyyn. Ympäristön lämpötilan vaikutukset kuormituksessa olevaan kytkimen lämpötilaan on siis mitattava eri kuormitus- ja lämpötilatasoilla. Mittaustuloksista tulee tehdä taulukko jota käytetään hyväksi määrittettäessä kytkimen toimintapistettä eri lämpötiloissa.

5.2.4 Testien yhteenveto

Kaikkien edellä mainittujen testien tarkoituksena on auttaa toimintapisteen määrittelyn tekemisessä ja sen rajojen havainnoimisessa. Testejä suorittaessa tulee varmasti mieleen myös muita mitattavia ja havainnoitavia kohteita joita voidaan lähteä tarkastelemaan.

Tässä kappaleessa esiteltyt testit on suoritettava jokaiselle kytkinmallille erikseen, sillä eri kytkinmallien koko, kontaktipinnat, kotelointi ja fyysiset mitat vaihtelevat ja samalla myös toimintapisteen määrittelyn rajat muuttuvat.

6 ETÄHALLINTAJÄRJESTELMÄN KÄYTTÖ

6.1 Käytön hyödyt ja mahdollisuudet

Etähallintajärjestelmän tarkoituksena on mahdollistaa yhden sekä useamman eri kytkimen samanaikaisesti lähettämän anturointidatan hallinta ja näyttäminen. Sen sijaan, että tietojen tarvitsijan pitäisi lähteä kiertämään tehdashalleja etsiessään informaatiota eri kytkinten ja niiden kuormien tiloista, voidaan koko järjestelmä saada tietokoneen näytölle muutamalla hiiren napautuksella.

Etähallintajärjestelmä toimii siis ikään kuin ikkunana, josta nähdään kaikkien sille määriteltyjen kytkimien ja kuormien ajankohtainen tieto. Järjestelmän käyttö mahdollistaa myös isojen ja monipuolisten tietomassojen näyttämisen yksinkertaisessa ja havainnollisessa ympäristössä. Olennainen asia tiedon systemaattisen näyttämisen lisäksi on kyky suorittaa toimintapisteiden näyttäminen.

Tässä työssä hallintajärjestelmän käytössä ei ollut tarkoitus kyetä ohjaamaan eli lähettämään tietoa järjestelmästä elektroniikalle vaan liikenne suunniteltiin yksisuuntaiseksi.

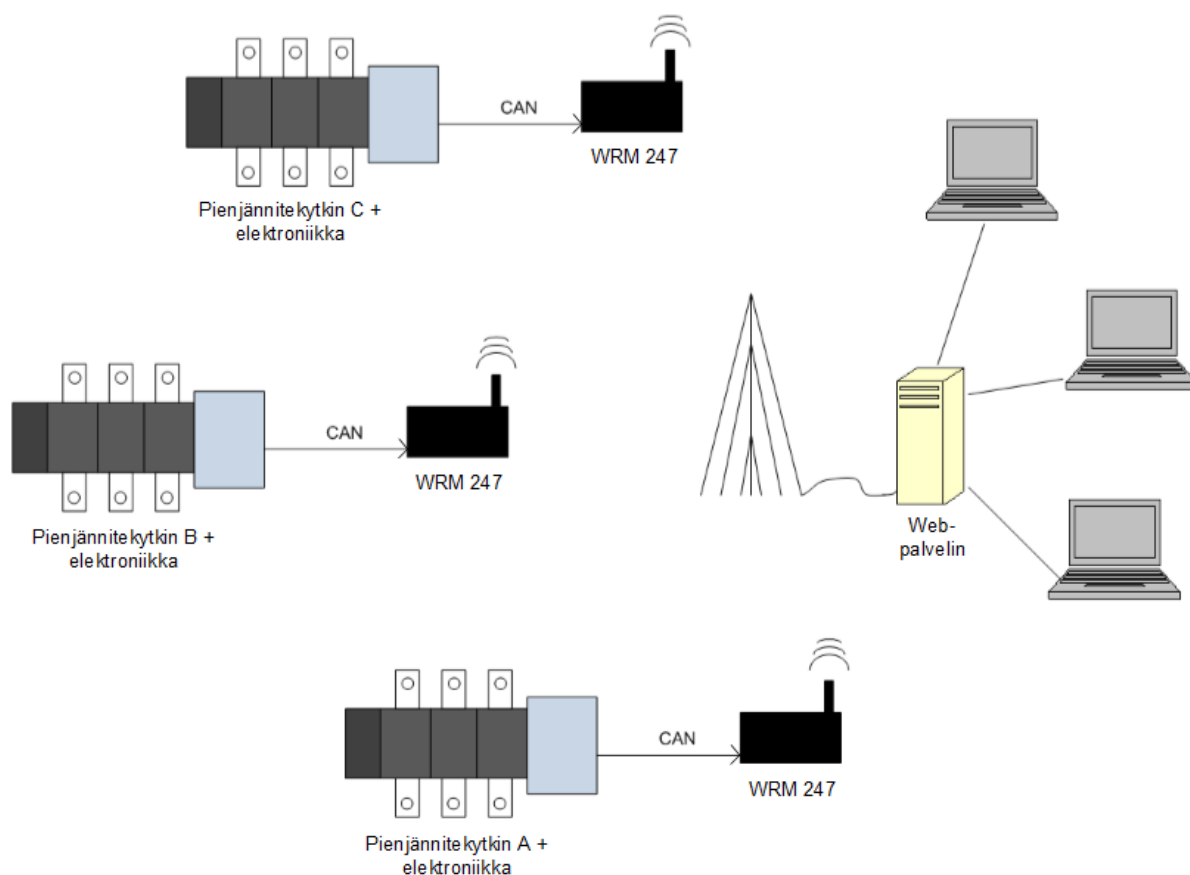
6.2 WRM

Työssä suunniteltiin rajapinta Wapice Oy:n valmistamaan WRM (Wapice Remote Management)-etähallintajärjestelmään. Järjestelmä koostuu WRM-laitteesta eli elektroniikasta, web-palvelimesta sekä palvelimella pyörivästä ohjelmistosta joka hoitaa järjestelmän tietojen varastoinnin ja näyttämisen.

Palvelimen ja ohjelmiston kanssa käytettäväksi WRM-laitteeksi valittiin WRM 247, sillä se oli halvin ja silti ominaisuuksiltaan riittävä ratkaisu. WRM 247:sta löytyy muun muassa ARM9-pohjainen prosessori, flash ja SDRAM muistia sekä sulautettu Linux käyttöjärjestelmä. Tietoliikennemahdollisuuksina ovat esimerkiksi RS-232, RS-485, USB, CAN sekä GSM/GPRS-tiedonsiirto laitteen ja palvelimen väliseen langattomaan tiedonsiirtoon. Laitteesta löytyy myös paristovarmennus reaaliaikakellolle sähkökatkoksia varten. Hyödyllisenä ominaisuutena

nähtiin myös WRM:n IP 65-luokitus, joka on pölytiivis kotelointi teollisuuden tarpeisiin.

Tiedonsiirtoon työssä suunnitellun elektronikan ja WRM-laitteen välillä käytetään CAN-väylää. Siirrettävä tieto on käytännössä vain käsiteltyjä mittauservoja eikä liikennemäärää pidetä merkittävänä. Tästä johtuen CAN-väylälle suunniteltuja protokollia ei päätetty käyttää liikennöinnissä vaan tieto lähetetään laitteiden välillä yksinkertaisesti raakadatana.



Kuva 15. Työhön implementoidun etähallintajärjestelmän periaate.

Tietoliikenne WRM 247:n ja web-palvelimen välityksellä päätettiin toteuttaa GPRS yhteydellä. Tämä on oivallinen tapa toteuttaa liikennöinti asiakkaan tiloissa sillä laitteen ei tarvitse kytkeytyä asiakkaan tietoliikenneverkkoon millään tapaa vaan se voi toimia itsenäisesti. Tämä helpottaa ja mahdollistaa laitteen ja systeemin käyttämistä myös sellaisissakin ympäristöissä, joissa asiakkaan tietoliikenneverkkoa ei ole saatavilla. WRM:stä olisi ollut saatavilla myös

WLAN-vaihtoehto, mutta tämä päätettiin hylätä toteutuksen hintavuuden sekä kohdeympäristön WLAN-vaatimuksen takia.

Järjestelmän käyttäjän on kirjauduttava WRM-järjestelmään web-selaimen välityksellä ja tämä havaittiinkin tärkeäksi ominaisuudeksi erityisesti vaaditun tietoturvan kannalta. Tietojen rajaaminen tietyn henkilöryhmän käyttöön mahdollistaa esimerkiksi yhden tuotantolaitoksen eri osien kasaamisen samalle serverille ja saman käyttöliittymän alle.

Työhön suunnitellun etähallintajärjestelmän periaate on esitetty kuvassa 15.

7 YHTEENVETO

Työn perusideana oli mahdollistaa pienjännitekytkimen ja sen kuorman sähköverkossa olevien muuttujien havainnointi sekä pohtia ratkaisuja mitattujen arvojen hyväksikäyttöön niin kytkimen kuin sen kuormankin tilaindikaatiassa.

Työ onnistui mielestäni hyvin työn laajuuteen, tavoiteaikatauluun ja tavoitteisiin nähden. Elektroniikka onnistuttiin suunnittelemaan sekä valmistamaan 10 kappaaleen protoera työn aikataulun puitteissa. Koska elektroniikkaan kyettiin toteuttamaan laaja skaala erilaisia mittauksia, avautui myös mahdollisuus käyttää suunniteltua korttia mittauksiin muissakin projekteissa tai hyödyntämään kortissa käytettyjä ominaisuuksia uusia tuotteita suunniteltaessa. Lisäksi mittausarvojen käsittelyyn ja toimintapistekuvan muodostukseen pystyttiin panostamaan ja saamaan aikaan saamaan aikaan malliehdotus toimintapistenäytön toteuttamisesta.

Elektroniikan testaus sekä ohjelmiston kehitys jäivät alkuperäisestä suunnitelmasta kuitenkin uupumaan. Nämä tavoitteet tullaan kuitenkin toteuttamaan kirjoittajan toimesta tulevaisuudessa. Lisäksi elektroniikan ja WRM-laitteen välinen rajapinta testataan ja tiedonsiirto määritellään tarkemmin.

Lukijan on hyvä pitää mielessä, että tässä työssä pohdittuja mittausarvojen korrelaatioiden ja testien tuloksien paikkansapitävyyttä ei ole toistaiseksi vahvistettu tosiasioiksi, vaan ne ovat suurelta osin pohdinnan tuotoksia. Käytännössä esimerkiksi kytkimen napakiskon lämpenemään vaikuttavat virran lisäksi asiakkaan liityntäkaapeleiden paksuus. Näiden muuttujien poissulkeminen eli kalibrointi vaatii kuitenkin lisää aikaa niin mittauksien ja testaamisen osalta.

LÄHTEET

- /1/ ABB Oy, Dual Power Source, ODPS230. Installation and operation instructions. Viitattu 16.3.2013.
<http://www02.abb.com/global/dkabb/dkabb504.nsf/0/23bbd2c54a9a8917c125784c00452b61/%24file/DualPowerSource1scc390112m0201.pdf>
- /2/ ABB Oy, Switches and fusegear selection tool, Viitattu 14.3.2013.
<http://www.abb.com/product/seitp329/25fd8b166ddc692fc1256e91002982dd.aspx>
- /3/ ABB Oy, 2000. Teknisiä tietoja ja taulukoita. Vaasa. Ykkös-Offset Oy.
- /4/ CAN in Automation (CiA). Viitattu 27.3.2013. <http://www.can-cia.de/>
- /5/ ESAcademy. Viitattu 17.3.2013.
<http://www.esacademy.com/en/library/technical-articles-and-documents/miscellaneous/i2c-bus/general-introduction/history-of-the-i2c-bus.html>
- /6/ Kankaanpää, T., Ohjelmiston määrittely. Ohjelmiston määrittelyn osat, Viitattu 15.03.2013.
http://www.cc.puv.fi/~tka/kurssit/Ohjelmiston_maarittely/luennot.htm
- /7/ Koskinen, J. 2004. Mikrotietokonetekniikka. 1., uudistettu painos. Keuruu. Otavan Kirjapaino Oy.
- /8/ Labrosse, J.J., 2002. MicroC/OS-II. The Real-Time Kernel. Second Edition. San Francisco. CMP Media LLC.
- /9/ Silvonen, K., Tiilikainen, M. & Helenius, K., 2004. Analogiaelektroniikka. 2. painos. Helsinki. Edita Prima Oy.
- /10/ Sköld, H., 2000. Elektroniikka 2000. Pintaliitokset. Iisalmi. IS-VET Oy.
- /11/ Tikkanen, H., 2004. PADS Piirilevy suunnitteluopas 2. PowerLogic, PowerPCB ja BlazeRouter - ohjelmistoille. Jyväskylä. DS-Design Systems Oy.