

Opinnäytetyö AMK

Kone- Tuotantotekniikka

Koneautomaatiotekniikka

2012

Pertti Karesto

# KOULUTUSSIMULAATTORIN I/O- JÄRJESTELMÄN TESTAUSLAITTEIS- TO



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU  
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- Tuotantotekniikka | Koneautomaatiotekniikka

Juolukuu 2012 | Sivumäärä 38

Ohjaajat Lauri Tuominen, Timo Vaskikari

Pertti Karesto

# KOULUTUSSIMULAATTORIN I/O- JÄRJESTELMÄN TESTAUSLAITTEIS- TO

Työn tarkoituksena oli rakentaa Olkiluodossa sijaitsevalle ydinvoimalaitoksen koulutussimulaattorille valvomon ohjauspulttien elektroniselle ohjaukselle rinnakkainen testausjärjestelmä. Tämän testausjärjestelmän avulla voidaan korjata rikkoutuneita ohjausyksiköitä häiritsemättä ensisijaisesti koulutuskäyttöön tarkoitettua pääjärjestelmää.

Testausjärjestelmällä voidaan myös turvallisesti kouluttaa uusille henkilöille simulaattorin konfigurointia ja vikojen paikallistamista, sekä testata uusia komponentteja päälaitteistoa vaarantamatta. Olemassa olevan simulaattorin tietokonelaitteiston kanssa järjestelmä vastaa yhtä kokonaista simulaattorin laiteketjua sisältäen kaikki simulaattorin toiminnan kannalta tärkeät yksiköt.

Toteutus tehtiin jo olemassa olevan suunnitelman pohjalta. Yksikköjen mekaanisen asennuksen ja laitekaapin johdotuksen lisäksi työhön kuului testilaitteiston käyttökunnon testaaminen.

Työssä on myös käyty läpi mahdollisen simulaattorin uusinnan tuomia toimenpiteitä ja pohdittu vaihtoehtoja niin koko simulaattorin, kuin testausjärjestelmän kehittämisestä

ASIASANAT:

automaatiojärjestelmät, simulointi, simulaattori

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Machine and Production Technology | Machineautomation

December 2012 | Total number of pages 38

Instructors Lauri Tuominen, Timo Vaskikari

Pertti Karesto

# THE TESTING SYSTEM OF A TRAINING SIMULATOR I/O-SYSTEM

The subject of this thesis was to create a parallel I/O-system for an existing training simulator I/O-system. The purpose of this new testing system was to analyze and repair damaged I/O-units from the training simulator I/O-system without disturbing its primary function as a training simulator for the operators.

With the new system, it also is possible to safely train new persons to operate the I/O-system and to teach how the system can be properly configured, without the possibility to damage the primary system.

The work consisted of building an identical I/O-range including all the types of I/O-units from the training simulator, wiring the new system, writing the test software for the new system and testing the operation of the system.

The thesis also concludes how to pinpoint broken I/O-circuits from a broken unit and how to analyze the meaning of problems in the units.

KEYWORDS:

automation, simulation, simulator

# SISÄLTÖ

<b>TERMIT JA LYHENTEET</b>	<b>6</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>7</b>
<b>2 SIMULOINTI YLEISESTI</b>	<b>9</b>
<b>3 KOULUTUSSIMULAATTORI OLKS</b>	<b>12</b>
3.1 Tausta	12
3.2 Yleiskuva	13
<b>4 SIMULAATTORIN OHJAUSJÄRJESTELMÄN LAITEHIERARKIA JA TIEDONSIIRTO.</b>	<b>15</b>
4.1 Laitehierarkia	16
4.2 Yksiköt	16
4.3 Datatyypit ja siirtotavat	19
<b>5 TESTAUSLAITTEISTO</b>	<b>20</b>
5.1 Kokoonpano	20
5.2 Kaapelointi ja maadoitus	20
5.2.1 Laitekaapeloinnit	20
5.2.2 Sähkökaapelointi	21
5.3 Virtalähteiden ja varokkeiden mitoitus	22
5.3.1 Virtalähteet	22
5.3.2 Varokkeet	23
<b>6 TOTEUTUS</b>	<b>25</b>
<b>7 JÄRJESTELMÄN TESTAUS JA TESTAUSOHJELMISTO</b>	<b>27</b>
7.1 I/O-listaus	27
7.2 Testausohjelmisto	27
7.3 Toimintaperiaate	28
<b>8 VIAN PAIKANNUS</b>	<b>30</b>
8.1 Mikropiirien paikallistaminen diskreettiyksiköissä.	30
8.2 Mikropiirien paikallistaminen analogiyksikössä.	32
8.3 Haastavat ongelmatilanteet	32

<b>9 I/O-JÄRJESTELMÄN JATKOKEHITYS</b>	<b>34</b>
<b>10 PÄÄTELMÄT</b>	<b>36</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>38</b>

## **LIITTEET**

- Liite 1. Mikropiirien sijoittuminen I/O-yksiköissä.
- Liite 2. Kaaviot
- Liite 3. Testiohjelman lähdekoodi
- Liite 4. Mikropiirien sijoittuminen I/O-yksiköissä
- Liite 5. Käyttöohjeet

## TERMIT JA LYHENTEET

Lyhenne	Lyhenteen selitys (Lähdeviite)
I/O	Input/Output, sisäänmeno/ulostulo käytetään automaatiotekniikassa.
Konfigurointi	asettaa, määrittää (ennalta määrätty asetukset) tietotekniikassa.[1]
MI-yksikkö	Ohjaus- ja indikointiyksikkö. sisältää järjestelmän indikointivalot ja ohjauspainikkeet.
Simulaatiopalvelin	Palvelintietokone, jossa on voimalaitoksen prosessia kuvaava matemaattinen malli.
Mastercontroller (MC)	Subcontrollereja hallinnoiva yksikkö, joka toimii myös tiedonsiirron käsittelijänä ja muokkaajana simulaatiopalvelimen ja Subcontrollerien välillä
Subcontroller (SubC)	I/O-yksiköitä hallinnoiva yksikkö.
Discrete Input (DI)	MI-yksiköiden ohjauskytkinten (painonappien) tilan tarkkailija ja edelleen lähettäjä.
Discrete Output (DO)	Digitaaliohjaukseen vaadittava yksikkö
Relay/Light Output (RO)	Releiden ja MI-yksikköjen indikointivalojen ohjausyksikkö
Analog Unit (AU)	Analogiohjainkortit sisältävä yksikkö.
Bitti	Ohjausmuuttuja josta kootaan ohjaussanat, toimii yksikköjen välisessä tiedonsiirrossa.
Sana (Word)	16 tai 32 bittinen ohjauskäsky eri yksiköiden välillä
I/O-listaus	Muuttujalista jonka avulla fyysiset muuttujat kytketään ohjelmallisesti simulaatiopalvelimen osoitteistoon.

# 1 JOHDANTO

Teollisuuden Voima Oyj (TVO) on listaamaton voittoa tuottamaton pörssiyhtiö, joka perustettiin 1969. Perustajina oli 16 teollisuus- ja voimayhtiötä tarkoituksena tuottaa edullista sähköä omistajilleen omakustannehintaan. Olkiluodossa on yksi rakenteilla oleva ja kaksi käytössä olevaa ydinvoimalaitosyksikköä. Neljännestä voimalaitosyksiköstä on annettu valtioneuvoston myöntävä periaatepäätös. TVO on myös osakkaana Meri-Porin voimalaitoksessa.

Voimalaitostoiminnan lisäksi TVO rakentaa yhdessä Fortumin kanssa Posivan ydinjätteen loppusijoituspaikkaa ja on vahvasti mukana erinäisissä ydinvoimaan ja ydinjätteenloppusijoitukseen kohdistuvissa tutkimuksissa.

Käytössä olevat voimalaitosyksiköt Olkiluoto 1 ja 2 ovat keskenään identtiset. Olkiluoto 1 valmistui 1978 ja Olkiluoto 2 kaksi vuotta myöhemmin 1980. Molemmat laitokset ovat tyypiltään kiehutusvesilaitoksia (BWR) ja tuottivat alussa 660MW sähkötehon. Toimittajana molemmissa laitoksissa oli ruotsalainen Asea-Atom, joka nykyisin on Westinghouse Electric Sweden AB.

Laitoksia on säännöllisesti nykyaikaistettu muutostöillä, ja nykyisin molemmat laitokset tuottavat 880MW sähkötehon. Laitosten säännöllinen kunnossapito on kiireisimmillään loppu keväällä ja kesällä, jolloin molemmilla reaktoreilla pidetään laajamittaiset vuosihuollot ja polttoaineen vaihdot.

Molemmissa laitoksissa uraanin fissiosta vapautunut energia siirtyy jäähdytteenä toimivaan veteen, joka höyrystyy. Höyry kuivataan ja se ohjataan pyörittämään turbiineita. Turbiinit pyörittävät generaattoria, joka muodostaa sähköä. Jäähtynyt höyry lauhdutetaan edelleen nesteeksi ja palautetaan esilämmityksen jälkeen reaktoriin.

Olkiluoto 3 on kolmas TVO:n tilaama voimalaitosyksikkö, jonka toimittajina ovat Areva, NP ja Siemens AG. Rakentaminen alkoi vuonna 2005. Uusi laitos on tyypiltään EPR (European Pressurized water Reactor, eurooppalainen painevesireaktori).

Painevesireaktorina laitousyksikkö poikkeaa täydellisesti OL 1 ja 2 reaktoreista. Edeltäjistään poiketen primääripiirin vesi ei OL3:ssa ole höyrynä vaan paineistettuna nesteinä ja energian siirto vedestä höyryksi tapahtuu erillisissä höyrystimissä suljetussa sekundääripiirissä. Tämän ansiosta turbiinilaitos on kokonaan säteilyvapaata vyöhykettä. Höyrystimien jälkeen sähkön tuotanto toimii OL3:lla samalla periaatteella kuin OL1 ja 2 laitoksilla.



## 2 SIMULOINTI YLEISESTI

"Simulointi tai simulaatio on todellisuuden jäljittelyä. Todellisuus on ympäröivä maailma. Ihminen simuloi todellisuutta omassa mielikuvitusmaailmassaan. Merkittävä ja kasvava simuloinnin ala on tietokonesimulointi. Tietokonesimuloinnissa tietokoneen sisään rakennetaan keinotekoinen todellisuus, joka yrittää jäljitellä oikeaa todellisuutta niin hyvin kuin pystyy.

Simulointi on usein halvempaa kuin todellisuus (lentosimulaattorikoulutus), turvallisempaa kuin oikeat tilanteet (ydinvoimalasimulaattori, sotaleikki, sotapeli) ja usein ainoa keino saada tietoa (ilmakehäsimulaattori kasvihuoneilmiöön)."[2]

Täydellinen simulointi ei ole mahdollista. Simulointi perustuu aina järjestelmän tai sen käyttäytymisen mallintamiseen matemaattisella mallilla, järjestelmämallilla, tai niiden yhdistelmällä. Varsinkin matemaattisessa simuloinnissa satunnaisuus tuottaa ongelmia hyvän matemaattisen mallin luontiin. Matematiikka perustuu ennakoitaviin säännönmukaisuuksiin ja järjestelmällisyyteen. Satunnais-tekijöistä ei pystytä mallintamaan eksakteja tapahtumaketjuja. Joko tuotetaan simulointi tietyillä eksakteilla parametreilla ja arvioidaan millä todennäköisyydellä näin käy, tai otetaan simulointiin mukaan satunnaisuuttuja tietyin reunaehdoin ja simuloidaan mitä tapahtuu. Simuloinnissa pyritään monesti mallintamaan, joko ääritapauksia ja määrittämään näin esimerkiksi pahin mahdollinen tilanne, sekä kehittää toimintamallit ja päätökset sen mukaan, tai mallintamaan monia erilaisia tilanteita ja laskemaan esimerkiksi todennäköisyys tietylle tapahtumalle.

"Simulointimallit jaetaan jatkuvatoimisiin (continuous-type) ja tapahtumapohjaisiin (discrete-event) malleihin. Jatkuvatoimisissa simulointimalleissa mallin tilassa tapahtuu jatkuvasti muutoksia ajan suhteen. Jatkuvatoimista mallia voidaan kuvata säiliön täyttymisellä, kun siihen valutetaan vettä venttiilin kautta (hanasta). Mallin tila muuttuu jatkuvasti veden virratessa säiliöön. Tilan muutoksen suuruus riippuu tilavuusvirrasta, toisin sanoen virtausventtiilin asennosta. Tapahtumapohjaisessa simuloinnissa sitä vastoin muutoksen mallin tilaan aiheut-

taa tapahtuma (event). Tapahtumapohjaista simulointia kuvaa säiliön täyttämisen ämpärillä. Mallin tilassa tapahtuu muutos joka kerta, kun ämpäri tyhjenetään säiliöön."[2]

Reunaehdoton mallintaminen tuottaa liikaa vaihtoehtoja. Vaikka siitä saataisiinkin ns. täydellinen malli, vie se jopa yksinkertaisen systeemin mallintamisella suuria määriä laskentatehoa ja aikaa. Yhtenä esimerkkinä voidaan pitää fyysisestä kemiasta tuttua atomin mallintamista eli simulointia. Mikäli atomi on järjestysluvultaan vetyä suurempi, on satunnaisia voimatekijöitä lukemattomia määriä. Tällaisen tilanteen simuloinnissa käytetään joko yksinkertaista vetyatomimallia, missä on ainoastaan yksi elektroni ja ytimenä ainoastaan yksi protoni. Mikäli kyseistä mallia ei voida käyttää, on vaihtoehtona jättää simuloinnista pois tiettyjä merkitykseltään vähäisiä voimia. Molemmissa pyritään simuloinnin yksinkertaistamiseen.

Molemmat vaihtoehdot ovat kuitenkin kompromisseja todellisuudesta, jotta mallinnus olisi nopeampaa tai tietyissä tilanteissa edes mahdollista. Samaa logiikkaa voidaan käyttää missä tahansa simuloinnissa. Putkiston korroosion aiheuttamien ongelmien täsmällinen simulointi on mahdotonta, mutta onnistuu yksinkertaistamalla se ongelmatilanteeksi: putki menee tukkoon, kun ruoste tukkii sen. Näin ollen järkevä simulointimalli ei ole ruosteen aiheuttaman veden ja putkenseinämän kitkan mallintaminen vaan lopputulokseen, eli putken hajoaminen. Toinen vaihtoehto on mallintaa putkeen heikompi virtaus ja simuloida sen vaikutusta järjestelmään. Näin ollen meillä on putkistoon kaksi mallia yksinkertaistettu lopputulos mallinnus ja virtausnopeuteen vaikuttava rajatuilla muuttujilla muodostettu mallinnus. Molemmissa tapauksissa jätetään kuitenkin huomiotta esimerkiksi putken koon muutos, ja virtaustyyppin muutos turbulenttisemmaksi korroosion vaikutuksesta.

Paras yleiskuva saadaan tekemällä useita sarjoja simulointeja ja arvioida tulokset kokonaisuutena. Näin pystytään määrittämään yleiskuva simulointimallin toimivuudesta. Hyvällä simulointi mallilla voidaan järjestelmästä riippuen laskea optimaaliset säätötoimenpiteet, mallintaa onnettomuustilanteita, tai jopa tutkia jo olemassa olevaa ongelmaa simuloimalla tilanne. Toimiva simulaatiomalli on

suurien järjestelmien koulutuksessa oleellinen osa tiedonvälitystä ilman että toimivaa prosessia vaarannetaan. Hyvällä mallinnuksella ja aktiivisella käytöllä voidaan järjestelmästä löytää ongelmakohtia jo ennen kuin ne aiheuttavat haittaa olemassa olevalle järjestelmälle, sekä mallintaa ja valmentaa käyttäjiä simuloimalla ongelmia, joita on tapahtunut muissa vastaavissa laitoksissa/järjestelmissä.

Edellä mainituista malleista jokainen löytyy jollain tasolla ydinvoimalaitoksesta. Tämä antaa käsityksen miten haastavaa ydinvoimalaitoksen mallintaminen on. Fysiikan ja fysikaalisen kemian merkitys korostuu reaktoriin liittyvissä simuloinneissa, kun taas mekaanisen puolen simuloinnin haasteina ovat esimerkiksi merivesisyöttöjärjestelmä. Kompleksin järjestelmän matemaattinen tietokone-mallintaminen mahdollisimman realistisesti on haaste voimalaitossimulaattorilla.

## 3 KOULUTUSSIMULAATTORI OLKS

### 3.1 Tausta

Ydinvoimalaitoksen valvomohenkilökunnalta vaaditaan jatkuvaa taitojen ylläpitoa ja kehitystä säännöllisellä koulutuksella. Jokaisen valvomohenkilökuntaan kuuluvan henkilön pitää todistaa työn edellyttämä pätevyys tasaisin väliajoin simulaattorilla, jotta todelliset ongelmatilanteet pystytään hallitsemaan ja laitos saattamaan turvalliseen tilaan.

"Valvomon automaatiojärjestelmien ja ydinvoimalaitoksen hallintaan tarvittavan ohjeiston tulee muodostaa kokonaisuus, jonka toimivuus tulee varmistaa laitospöytätyösimulaattorilla. Valvomon toiminnallisten ja merkittävien ergonomisten muutosten toimivuus tulee varmistaa etukäteen simulaattorilla tehtävin testein." [3]

Valvomohenkilökunta koulutettiin aluksi Ruotsissa, mutta ajan saatossa OL1 ja 2 laitokset ovat kehittyneet ja muuttuneet ruotsalaisista perusmalleista, että ruotsalaiset simulaattorit eivät enää olleet yhdenmukaisia TVO:n laitojen kanssa. TVO:lle hankittiin oma simulaattori, jota muokattiin laitoksen muutosten mukaisesti.

Simulaattori hankittiin 1980-luvun lopussa ja se saatiin käyttökuntoon 1990. Käyttöönoton jälkeen sitä on muutettu vastaamaan edelleenkin kehittyviä käytäntöjä laitoissa. Simulaattorin suunnitteli ja toimitti Singer Link-Miles. Simulaattorin valvomossa on laitoksen ohjaukseen ja valvontaan käytettäviä ohjauspulpetteja, joiden ohjausjärjestelmä. Alkuperäiset yksiköt ovat tyypiltään Digi-Link ja uudemmat yksiköt Digi-3. Pulpetit ja MI-yksiköt ovat ABB Strömberg Oy:n toimitamia.

### 3.2 Yleiskuva

Simulaattorin ohjelmisto koostuu matemaattisista prosessimalleista, jotka simuloivat käyvää voimalaitosta. Prosessimulaatiota valvotaan ja ohjataan keskusvalvomon kopiosta, joka on rakenteeltaan mahdollisimman yhtenäinen käyvien laitosten valvomoiden kanssa. Siinä on samat ohjaukset niin reaktori- kuin turbiinautomaation osalta kuin käyvillä laitoksilla. Lisäksi simulaattorilla on prosessitietokone ja turbiinin digitaalinen ohjausautomaatio, sekä kouluttajan huone, josta simulaattorikouluttajat tarkkailevat koulutettavia, ja hallitsevat simulaattorin toimintaa ja koulutustapahtumia.



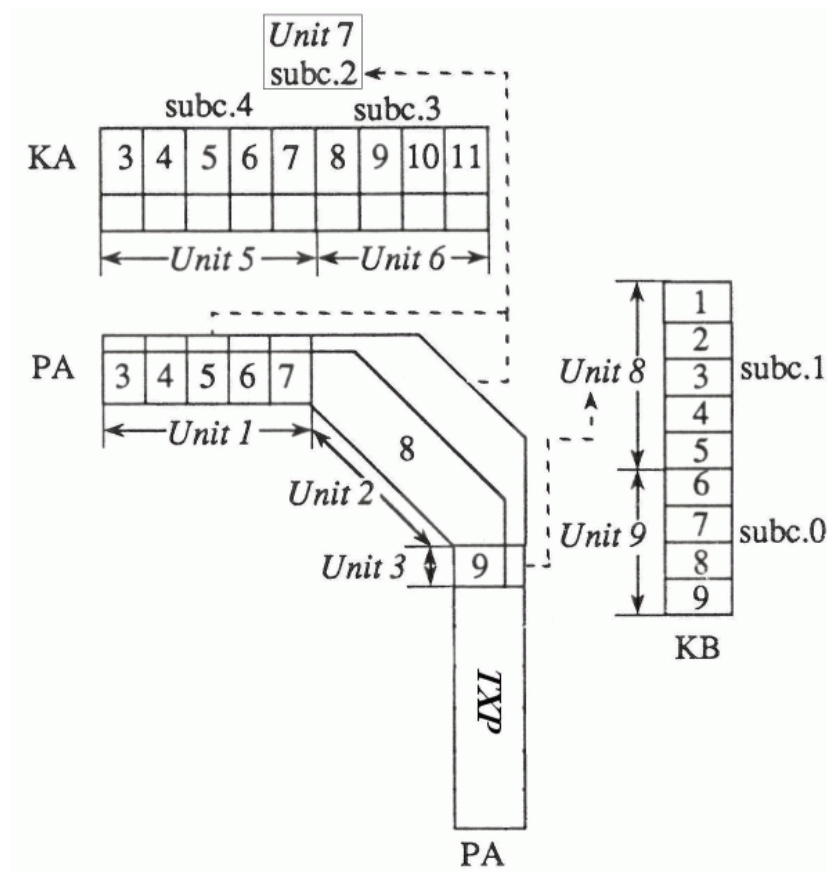
Kuva 1: Koulutussimulaattorin valvomo

Kouluttajat seuraavat miten koulutettava valvomohenkilökunta selviytyy tilanteista ja miten he noudattavat kuhunkin ongelmatilanteeseen liittyviä ohjeita. Koulutusta seuraa palaveri, missä käydään läpi poikkeamat ja annetaan palaute koulutettavien toiminnasta. Jokainen vuoro käy läpi useita koulutuksia vuoden aikana.

Olkiluodossa on voimalaitosyksiköille 1 ja 2 yhteiset kaksi simulaattorikonaisuutta, virallinen koulutussimulaattori ja kehityssimulaattori. Kehityssimulaattorilla järjestelmiin laitoksen suunnitelmien mukaisia muutoksia ja testataan ne ennen kuin muutokset siirretään koulutussimulaattoriin.

## 4 SIMULAATTORIN OHJAUSJÄRJESTELMÄN LAITEHIERARKIA JA TIEDONSIIRTO.

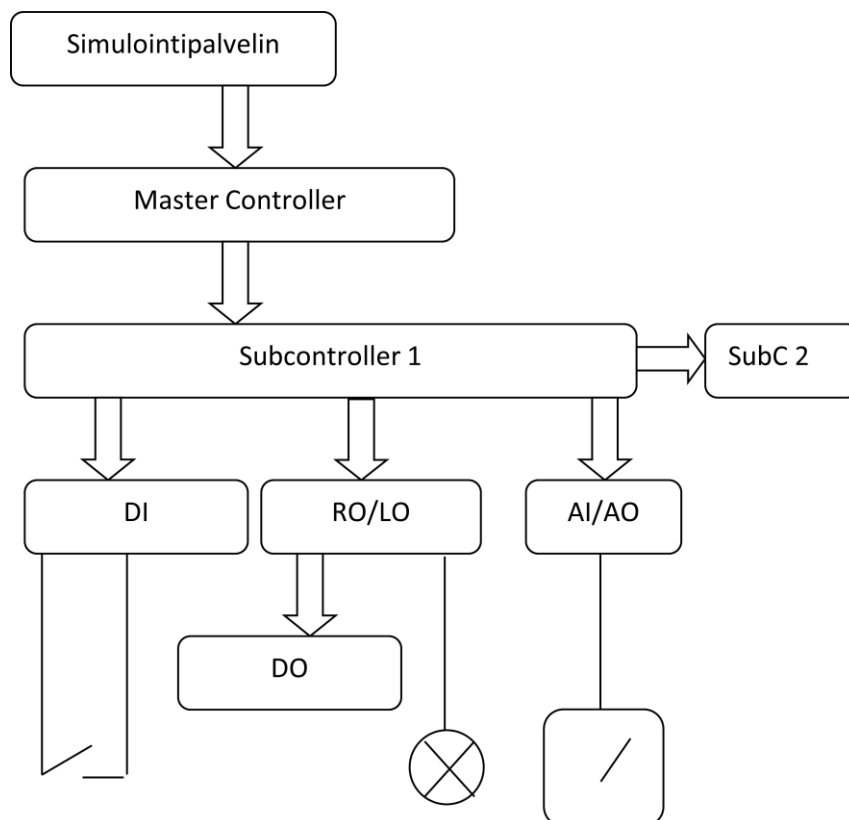
Suurin osa simulaattorin ohjausjärjestelmän yksiköistä on suoraan vaihdettavissa samanlaiseen vastaavaan. Pitempiä huoltokatkoja on vaikeaa sovittaa aktiivisen käyttöaikataulun vuoksi. Tämän vuoksi rinnakkaisen testausjärjestelmän rakentaminen rikkiäisten yksikköjen vikojen paikallistamiseen ja korjaamiseen on tärkeää.



Kuva 2: I/O-järjestelmän sijoittuminen simulaattorilla

#### 4.1 Laitehierarkia

Simulaattorin ohjausjärjestelmä on hajautettu järjestelmä, jossa ylemmän tason yksikkö ohjaa aina alemman tason yksiköitä. Laitteistossa on simulointipalvelin, Mastercontrolleri ja Subcontrollereita. Subcontrollereihin on liitetty digitaalisia ja analogisia I/O-yksiköitä. Controller-yksiköt on ketjutettu samaan ketjuun, joka haarautuu Subcontrollerilla aliketjuksi I/O-yksiköille kuvan 3 mukaisesti.



Kuva 3: Yksikköjen laitehierarkia.

#### 4.2 Yksiköt

Simulaattori koostuu viidestä liitteessä 2 kuvassa 1 esitetystä Subcontroller-yksikköketjusta. Yhteensä yksiköitä on koko simulaattorissa taulukon 1 mukaisesti.



Taulukko 1: Yksikköjen määrät simulaattorissa.

Simulaatiopalvelin	1
Mastercontroller	1
Subcontroller	5
Discrete Input	10
Discrete Output	2
Relay/Light Output	20
Analog Output	8

Simulaatiopalvelimessa on matemaattinen prosessimalli ydinvoimalaitoksesta. Mastercontroller (MC) on multiplexeri ja toimii simulaatiopalvelimen ja Subcontrollerien välillä tiedon jakajana ja välittäjänä. MC muuntaa tiedonsiirron molempiin suuntiin oikean tyyppiseksi. Simulaattori on kytketty simulaatiopalvelimeen High Speed Data (HSD)-linkillä, joka pystyy käsittelemään suuria tietomääriä. Simulaatiopalvelimessa tietotyyppi on 32-bittinen ja Subcontrollerissa 16-bittinen. MC pystyy operoimaan enintään kahdeksaa Subcontroller-yksikköä.

Subcontroller (SubC) toimii tiedon käsittelijänä ja jakajana I/O-yksiköiden, sekä MC:n välillä. Järjestelmässä on analogisia ja digitaalisia I/O-yksiköitä. Kaikki I/O-tyypit ovat ketjutettu samaan ketjuun SubC:n jälkeen. Jokainen SubC-yksikkö pitää konfiguroida vastaamaan siitä alkavan I/O-ketjun yksikkökokonaisuutta. Konfiguroinnilla määritetään osoitteisto jokaiselle I/O-yksikölle. Osoitteisto määrätään viiden DIP-kytkimen avulla. SubC:ssa voi olla ketjutettuna enintään 16 digitaalista ja 6 analogista yksikköä. Digitaalisten input- ja output-yksikköjen enimmäismäärä on puolet kokonaismäärästä, eikä enimmäismäärää voi ylittää vähentämällä toisen yksikkötyypin määrää.

Digital Output(DO)-yksikkö vaihtaa lähtöjensä tilaa, ollen joko 0V tai +5V, SubC:lta saamien käskyjen mukaan ja ilmoittaa kunkin muuttujan tilan SubC:lle. Yksikkö vastaa maksimissaan 16:sta 16bitin sanasta, joten käsiteltäviä muuttujia on yhteensä 256.

Relay Output/Light Output(RO/LO)-yksikön tehtävä on ohjata päälle ja pois siihen liitettyjä releitä ja indikointivaloja. Yksikkö on toiminnaltaan samanlainen kuin DO-yksikkö, mutta RO/LO-yksikön lähdöissä on kytkettynä rele tai indikointivalo. RO/LO- ja DO-yksiköt ovat samanarvoisia ja jakavat keskenään SubC:n maksimidigitaalisten I/O-yksikköjen maksimimäärän. Toisin kuin input- ja output yksikköjen kanssa, RO/LO- ja DO-yksiköillä ei ole vaatimuksia montako kumpaakin yksikköä on. Ainoa rajoite on kahdeksan yksikön enimmäismäärä.

Digital Input(DI)-yksikkö lähettää tiedon muuttujan tilan vaihdosta SubC:lle. Muuttujien tilaa voidaan vaihtaa esimerkiksi nappia painamalla. DI-yksikkö pystyy käsittelemään 18x 16bit sanoja, joten yksikön muuttujien enimmäismäärä on 288. Yksi SubC pystyy ohjaamaan enintään 8 DI-yksikköä.

Analog Unit(AU)-yksikkö on kortti kehikko, joka koostuu kahdesta ohjainkortista sekä enimmäismäärältään 16:sta AI- ja/tai AO-kortista. Ohjainkortit pitävät sisälleen yksikön osoitteiston, datan puskuroinnin, yksikön korttien ohjauksen, sekä A/D muuntimen. Jokaisessa AO-kortissa on 8 lähtö ja jokaiselle lähdölle oma D/A-muunnin. AI-kortti koostuu 15 tulosta, sekä lisäksi yhdestä testikanavasta. AI-kortteja ei nykyisessä simulaattorissa ole käytössä. AU-yksiköitä voi yhteen SubC:n liittää 6 kappaletta. Korttien määrä yksikössä ei ole vakio, joten I/O-paikkojen määrä riippuu korttien tyypeistä ja määrästä.

I/O-yksiköissä jokainen mikropiiri on kiinnitetty omaan kantaan, josta ne voidaan helposti vaihtaa uuteen samanlaiseen. Tämän vuoksi ohjausjärjestelmän huoltaminen ja korjaaminen on mekaanisesti yksinkertaista eikä siihen tarvita erikoistyökaluja. Vian kohdentaminen tietylle piirille on kuitenkin hidasta isossa järjestelmässä ja sen aikana koulutus voi häiriintyä. I/O-järjestelmän testauslaitteisto onkin kehitetty lyhentämään simulaattorin käyttökatoja. Sen avulla simulaattorin vikaantuneita yksiköitä ei tarvitse huoltaa virallisessa järjestelmässä vaan diagnosointi ja korjaustoimenpiteet voidaan suorittaa erillisessä rinnakkaisjärjestelmässä.[4][5]

### 4.3 Datatyypit ja siirtotavat

Simulaatiopalvelimen ja MC:n välinen tiedonsiirto on 32-bittistä. Koska järjestelmän on pystyttävä käsittelemään nopealla tahdilla suuria tietomääriä, tämä on 16-bittistä järjestelmää tehokkaampi. Yksi 32-bittinen ohjaukaskäsky sisältää kaksi kokonaista 16-bitin ohjaukaskäskyä.

SubC:t ohjaavat I/O-yksiköjä 16-bittisesti. MC muuntaa simulaatiopalvelimelta tulevan ohjaustiedon 32-bittisestä SubC:lle sopivaksi ja SubC ohjaa edelleen käskyt oikeille I/O-yksiköille. Jokainen 16-bittinen ohjaukaskäsky sisältää käskyn lisäksi osoitteen aina I/O-yksikön mikropiirille asti. Ketju toimii myös päinvastoin samalla kaavalla. Kun SubC tiedustelee I/O-yksikön muuttujien tilaa lähettää yksikkö vastaavan tiedon SubC:lle. SubC lähettää tiedon 16-bittisenä MC:lle, joka pakkaa tiedot 32-bittiseen muotoon ja lähettää edelleen simulaatiopalvelimelle.

Yksikköjen välillä tiedonsiirto on toteutettu väylien kanssa, jonka tiedonsiirron taajuus on 10Hz. Kaikki järjestelmässä olevat väylät käyttävät rinnakkaista tiedonsiirtomenetelmää. Näin järjestelmällä päästään huomattavasti nopeampaan ja varmempaan tiedonsiirtoon, kuin sarjatyypisellä tiedonsiirtomenetelmällä. Tiedonsiirtonopeus on myös parempi verrattuna sarja- ja rinnakkaistiedonsiirtomuotojen yhtäaikaiseen käyttöön, koska tiedonsiirtomuunnoksia ei tarvitse tehdä. Jokaiselle yksikölle varataan paikka aikajanalta, jolloin se pystyy lähettämään tai vastaanottamaan tietoa. [4][5]

## 5 TESTAUSLAITTEISTO

### 5.1 Kokoonpano

Testauslaitteisto on yksi kokonainen yksikköketju simulaatiopalvelimelta I/O-yksiköille. Laitteet on koottu laitekaappiin, johon asennetaan kaikkia kehikkoja yksi eli MC, SubC, DI,DO, RO/LO ja AU. Kaappiin kytketään ohjaus- ja indikointipaneelit, jossa on 16 painonappia ja indikointivaloa, sekä 8 jännitemittaria, joilla voidaan todeta järjestelmän toimintaa: Nappia painamalla lamppu syttyy ja tai mittari muuttaa asentoaan.

Testauksen yhteydessä kaapeleita joudutaan usein irrottamaan ja kiinnittämään, joten järjestelmä pyrittiin jättämään mahdollisimman avonaiseksi. Kaappiin asennettavien laitteiden sijoittelu on liitteen 1 kuvissa 1-3. I/O-yksikköjen paikoituksella ei ole toiminnallisesti merkitystä, mutta liittimien vaihdon helpottamiseksi AU-kehikko sijoitettiin pituutensa vuoksi ylimmäksi.

Pahimmassa tapauksessa yksi vikaantunut piiri saattaa aiheuttaa koko yksikön vikaantumisen, joka voi vaikuttaa muiden yksikköjen toimintaan. Testilaitteistossa pitää olla mahdollisuus kytkeä jokainen yksikkö jännitteettömäksi omasta kytkimestä tai varokkeesta. Järjestelmää häiritsevä yksikkö voidaan tehdä jännitteettömäksi muun laitteiston ollessa jännitteinen. Näin voi käydä esimerkiksi, kun vika on I/O-yksikön ohjainpiireissä. Jokaisen yksikön jännitteettömäksi kytkeminen myös mahdollistaa yksikköjen helpon vaihdon.

### 5.2 Kaapelointi ja maadoitus

#### 5.2.1 Laitekaapeloinnit

Kaapelointi tehtiin mahdollisimman pitkälle valmiilla kaapeleilla, koska muutamien kaapelien kanssa on aikaisemmin tavattu ongelmia pituuskriittisyyden vuoksi. Tämä on ilmeisesti kierrettyjen kaapelien kierteiden määrään perustuva

ominaisuus. Kierteiden määrän on täsmättävä signaalin taajuuden ja kaapelin monikerran kanssa. Aikaisemmat kokemukset osoittivat, ettei kaapeli toiminut mikäli liittimien välinen matka ja samalla kierteiden määrä ei ole oikea. Oli helppompaa käyttää ylipitkiä valmiita kaapeleita ja laskostaa ne kaapin kiskoille nipusiteilla, kuin yrittää tehdä lyhyempää kaapelia, joka todennäköisesti epäonnistuu.

Puuttuvia kaapeleita olivat I/O-yksikköjen ja riviliittimien, sekä DI- ja DO-yksikköjen väliset kaapelit. Tämän lisäksi kaapeloitavaa oli riviliittimien, mittareiden ja indikointiyksikköjen väliset liitännät. Laitekaapelointikaavio on liitteessä 2 kuva 3.

### 5.2.2 Sähkökaapelointi

Laitekaapeloinnin lisäksi laitekaappi sähköistettiin. Johdotuksessa käytettiin 1,5mm<sup>2</sup> -kaapelia. Kaapelille on mitoitettu 230VAC jännitteelle 10A sulake. Kaikki yksiköt käyttävät omia virtaliittimiään, joten tehtiin vastakkaissukupuoliset liittimet jokaiselle yksikölle. Kytkennoissä pyrittiin mukailemaan koulutuskäytössä olevan järjestelmän käytäntöjä. Kytkentäkaavio on liitteessä 2 kuva 2.

DI, DO, RO/LO, SubC ja MC -yksikköjen virtaliittiminä oli kaksijohtimisia AMP-malleja. Käytetyt liittimet olivat kuitenkin malliltaan vanhoja ja vastakkaissukupuolisia liittimiä oli erittäin huonosti saatavilla. Liittimet vaihdettiin Tamiyan vastaaviin liittimiin. Uuden liitintyyppin ongelma on, että sen pystyy kytkemään kumminkin päin yksikköön. AU-yksikön Molex 1360-liittimen ongelmana oli pinnien huono saatavuus. Liitinrunkoja oli paljon varastossa, mutta pinnejä ei. Molex 1360-liittimeen sopii 0.093" naaraspinni. Liittimen malli ei ole standardi vaan samalla nimikkeellä löytyy useita liitinmalleja eri pinnimäärillä. Vastaavaksi pinniksi sopi akkupaketeissa käytetty Tamiyan naarasliittimen pinnit. Korvaava pinni oli hieman pitempi, mutta muuten samanlainen kuin aiempi pinni. Pitusero oli epäolennaisessa kohdassa, joten se ei haitannut pinnien käyttöä.

Virran jako tehtiin riviliittimillä, joihin syötettiin jännite joko virtaläheteiltä tai suoraan verkkovirrasta. Jakotapa on sama myös vanhoissa kaapeissa. Virtalähteil-

lä oli yhteinen 10A syöttövaroke. Jokaisella yksiköllä oli oma varokkeensa. Maadoitus jaettiin yhteisestä maapotentiaalista, johon maadoitettiin kaikki yksiköt sekä virtalähteet. Alkuperäisissä kaapeissa maadoitus oli tehty kuparikiskoihin, jollainen asennettiin myös testikaapin maadoituskiskoksi.

### 5.3 Virtalähteiden ja varokkeiden mitoitus

#### 5.3.1 Virtalähteet

Varsinaisen ohjausjärjestelmän virtalähteet olivat testikaappiin kapasiteetiltaan huomattavan tehokkaat ja ovat kooltaan myös epäkäytännöllisen suuret. Ne tuottavat 5V jännitettä maksimissaan 300A virralla, mikä on testilaitteiston tarpeisiin ylimitoitettu. Simulaattorin ylösajovaiheessa yksiköt pitää käynnistää hitaasti yksi kerrallaan, koska virran tarve on kylmillä piireillä hetkellisesti normaalia suurempi. Laitteistossa on myös muutamia suuria kondensaattoreita, joiden varautuminen kasvattaa virran kulutusta. Kuormitus käy helposti liian suureksi, jopa tehokkaalle virtalähteelle, jos kaikki yksiköt käynnistetään yhtä aikaa. Normaalissa toiminnassa vakaa tehonlähde ehkäisee laiterikkoja ja parantaa simulaattorin käytettävyyttä. Mikropiirit ovat myös erittäin tarkkoja oikeasta jännitealueesta.

Uusien muuntimien mitoitus aloitettiin mittaamalla yksiköiden virrankulutus Fluken pihtimittarilla. Simulaattorin manuaalissa ei ollut suoraa mainintaa yksikköjen virrankulutuksesta, koska yksiköt ovat muunneltavissa I/O-laajuudeltaan erilaisiksi. Tämä on verrattavissa yksikön tehontarpeeseen.

Useita yksiköitä mitattiin, jotta arvioitu virrankulutus ei poikkea todellisesta alaspäin. Suurin mitattu arvo oli noin 1.8A. Tämä arvo pyöristettiin vielä 2 ampeeriin, jotta saatiin hieman pelivaraa järjestelmään. Lopullinen mitoitus saatiin laskeamalla kokoonpanoon kuuluvien yksikköjen kokonaismäärä ja kertomalla se arvioidulla 2A/yksikkö. Näin saatiin yhteensä 12A virrankulutus.

Virtalähteeksi valittiin 5V-jännitteelle TDK-Lambdan HWS sarjasta 100W virtalähde. Vaikka yksiköt kuluttavat virtaa vain 12A, valittiin kokoonpanoon muutama kertaluokkaa tehokkaampi virtalähde. Jos kylmäkäynnistyksessä laitteiston kytkee niin sanotusti väärin päälle, eli kaikki yksiköt kerralla, vakaa tehonlähde syöttää tasaisempaa jännitettä virtapiikeistä huolimatta.

Testilaitteistoon mitoitettiin analogimittareille virtalähde, josta oli liittimet  $\pm 15\text{VDC}$ :lle. Mittareiden kuluttama virta oli vain ampeerin luokkaa. Indikointiyksikköön tulevat LED:t toimivat 28V jännitteellä, jotka on tehty simulaattorin järjestelmään sopivalla kannalla ja sisäänrakennetulla etuvastuksella. Järjestelmään ei kuitenkaan haluttu laittaa ylimääräistä virtalähdettä pelkästään indikointeja varten, joten syöttö valaisimille otettiin +15V virtalähteestä.

Mean Wellin Q-sarjasta löytyi 120W virtalähde (15V, 8A). Tässäkin noudatettiin ylimitoitusta indikointien vuoksi. Jos LED-valoja ei ole saatavilla, joudutaan käyttämään hehkulamppuja. Niiden virran kulutus on huomattavasti suurempi kuin 17mA LED:illä.

MI-yksiköt johdotettiin riviliittimille monisäikeisellä kaapelilla. Jokaisen MI-yksikön indikointien vaiheet ovat ketjutettu ja maa potentiaali toimii ohjauksena. Yhteensä MI-yksiköitä laitteistoon asennettiin kahdeksan, joissa jokaisessa on kaksi indikointivaloa ja kaksi painonappia. Näin saadaan testattua kaikki 16 ohjaus bittiä jokaisessa kanavassa.

### 5.3.2 Varokkeet

Kokoonpanoon mitoitettiin yksi päävaroke 230VAC puolelle sekä 8 varoketta, jokaisen yksikön DC-syötölle. Päävarokkeen tarkoituksena oli suojata syöttökaapeleita, jos järjestelmä vikaantuu ja menee oikosulkuun, tai oikosulku aiheutuu väärästä kytkennästä. Varokkeen tehtävänä ei ole laitteiden suojaaminen. Päävaroke mitoitettiin 1.5mm<sup>2</sup> kaapelin mukaan AC-virrälle 10A varoke. I/O-yksikköjen syötöille tarkoitetut varokkeet mitoitettiin 4A. I/O-yksikköjen varokkeet mitoitettiin kaapelin vaatimuksia alemmas, jotta ne suojaisivat myös jonkin verran laitteistoja. 10A varoke on liian suuri tähän tarkoitukseen. Varokkeilla

kaapin jokainen I/O-yksikkö voidaan erikseen tehdä erikseen jännitteettömäksi, jolloin yksikköjen vaihtaminen on turvallista.

Varokkeen toimintakäyrällä määritellään laukaisu aika eli reaktionopeus. Nopeusluokat määritellään jokaiselle reletyypille kirjaimella, joista A on nopein ja aakkosjärjestyksessä seuraavat ovat hitaampia. AC-puolen varokkeet mitoitettiin nopealla B-käyrällä. Virtalähteiden vikaantuminen voi johtaa yksikköjen rikkoutumiseen, mikä pystytään välttämään nopealla varokkeella. I/O-yksikköjen varokkeet mitoitettiin C-käyrällä, joka on hitaampi kuin edellä oleva AC-puolen varoke. I/O-yksikköjen varokkeet mitoitettiin hitaammaksi, jotta ne eivät reagoisi kylmäkäynnistyksessä mahdollisesti ilmeneviin virtapiikkeihin.



## 6 TOTEUTUS

Laitekaappi oli etukäteen varattu projektiin. Varaosissa oli myös paljon valmiita laitekaapeleita. Kaapin kokoaminen aloitettiin mitoittamalla ja tilaamalla virtalähteet ja varokkeet. Kaapin sähköistys aloitettiin vasta kun komponentit olivat tulleet, koska virtalähteiden koko ja liittimien paikat määrittivät lopullisen kaapeloinnin määrän.

Melkein kaikki laitekaapelit oli valmiiksi tehtyjä ja vain muutama piti mitoittaa ja liittää liittimet. Muilta osin laitekaapeloinnissa pyrittiin siirtämään kaikki kaapelit kaapin sivuille. Kaappiin asennettiin poikittaiset kaapelikourut sähkökaapeleita varten. Kourut toivat hyvin lisää työtilaa I/O-yksiköiden kaapeleille. Kaapin kaapeloinnissa pyrittiin kaikki mahdollinen sijoittamaan kaapin keskiosaan mahdollisimman ylös. Kaapelia kului enemmän, mutta sillä saavutettiin laitekaappi mahdollisimman avonaiseksi ja helpoksi huoltaa. Myös I/O-yksikköjen varokkeet ja riviliittimet sijoitettiin kaapin keskelle yläosaan. Ainoastaan AC-puolen päävaroke jätettiin kaapin taakse alaosaan.

Kaapissa olleet ilmanvaihtotuuletinpoistettiin tarpeettomina. Kaapin molemmat sivut jätettiin auki, jotta kehikkojen operointi olisi mahdollisimman helppoa. Virtalähteille ja indikointipaneelille tehtiin kiinnitystelineet. Indikoinnit ja ohjaukkytkimet kytkettiin niin että painonapeihin ketjutettiin maa ja indikoinneilla +15v jännite. Ohjaus tapahtuu jännitteen sijaan maan avulla. Ohjaus perustui molempien virtalähteiden samaan maapotentiaaliin. Ohjausta ei olisi voitu toteuttaa jänniteohjauksella, koska kaikki yksiköt toimivat +5V jännitteellä ja LEDien käyttöjännite on 28V. Virtalähteet asennettiin kaapin takaosaan ja syötöt kaapeloitiin riviliittimille. Tilattu 5V:n virtalähde todettiin kuitenkin testeissä vialliseksi. Tilalle asennettiin virallisessa järjestelmässä käytetty virtalähdetyyppi. Tämän tyyppin käyttö testilaitteistossa mahdollistaa myös virtalähteiden testaamisen. Ratkaisu oli kokonaisuuden kannalta parempi kuin alkuperäinen virtalähde.

Kytkentöjen jälkeen SubC:n DIP-kytkimistä aseteltiin oikea I/O-yksikköjen määrä (DIP-kytkimien asetelut taulukoissa 2, 3 ja 4). Tämän jälkeen yksiköt kytket-

tiin päälle. Kaikki yksiköt käynnistyivät normaalisti ja testi-yhteys MC:iin onnistui MC:n uudelleen käynnistyksen jälkeen.

Taulukko 2. Diskreetti yksikköjen lukumäärän asetustaulukko

Yksikköjen lukumäärä	Kytkin			
	5	6	7	8
0	ON	ON	ON	ON
1	ON	ON	ON	OFF
2	ON	ON	OFF	ON
3	ON	ON	OFF	OFF
4	ON	OFF	ON	ON
5	ON	OFF	ON	OFF
6	ON	OFF	OFF	ON
7	ON	OFF	OFF	OFF
8	OFF	ON	ON	ON

Taulukko 3. DIP-kytkin diskreettisyksiköille, kytkimistä on normaalisti käytössä ainoastaan 5-8.

	Varalla				Binääri valinnat			
	1	2	3	4	5	6	7	8
ON								
OFF								

Taulukko 4. DIP-kytkin AU:lle

	Vara	64	32	16	8	4	2	1
ON	1	2	3	4	5	6	7	8
OFF								

## 7 JÄRJESTELMÄN TESTAUS JA TESTAUSOHJELMISTO

### 7.1 I/O-listaus

Ennen kuin testilaitteistoon tehty ohjelma pystyy kommunikoimaan testilaitteiston kanssa, on testilaitteiston I/O pisteet liitettävä simulaattorin muuttujavaruuteen. Näin I/O:n paikka voidaan ohjelmallisesti määrittellä ja sen tilaa tarkastella tai muuttaa. Määrittely tehdään tiedostolla, johon on määritetty simulaattorin I/O-muuttujille fyysinen osoite testilaitteiston I/O-järjestelmästä. Esimerkkitiedosto on liitteessä kolme taulukko 2.

### 7.2 Testausohjelmisto

I/O-pisteet on mahdollista testata ohjelmallisesti yksi kerrallaan, mutta se on erittäin hidas tapa. Testilaitteiston käyttöä helpottamaan luotiin testausohjelma, joka testaa yhden käskyn kaikki I/O-muuttujat kerralla. Ohjelmaa ajetaan simulaattorilla ja se tarkkailee muuttujien tilaa. Se sytyttää ja sammuttaa kaikki valot, ja samalla se kasvattaa analogi tuloja 20 % tietyllä ajanjaksolla kunnes tulot yltyvät 100 %, jonka jälkeen ohjelman kierto alkaa uudelleen alusta. Näin voidaan DO ja RO/LO-yksikköjen yhden ohjaus-sanan kaikki muuttujat testata yhdellä input-muuttujan vaihdolla ja siirtyä toiseen ohjaus-sanaan. Jos jokin I/O ei toimi oikein, on vika helppo paikallistaa piiritasolle, tutkimalla mikä piiri kyseisen ohjaus-sanan toimimatonta muuttujaa käsittelee. Ohjelmistolla ei automaattisesti pysty tarkastamaan jokaisen ohjaus-sanan kaikkia bittejä, koska jokaisesta yksiköstä on kaapeloitu ainoastaan yksi ohjaus-sana kerrallaan. Jos kaikki I/O:t haluttaisiin tarkastaa kerralla, vaadittaisiin myös saman verran MI-yksikköjä indikoituneen ja jokaiselle ohjaus-sanalle oma kaapelointi. Jokainen ohjaus-sana voidaan kaikkine muuttujineen testata siirtämällä kaapeli seuraavaan porttiin yksikön takaa. On helpompaa tarkistaa yhden sanan 16-muuttujan toimivuus

sana kerrallaan, kuin tarkastella kaikkien muuttujien toimivuutta samalla kertaa. Testilaitteiston testiohjelma on erittäin yksinkertainen peruskäyttöön soveltuva, mutta antaa mallin miten ohjelma pitää tehdä toimiakseen. Perusohjelmaa voi tarpeen tullen muokata käyttötarkoituksen mukaan tai laatia uusi ohjelma halutuina ominaisuuksin. Testi ohjelman lähdekoodi on liitteessä 3 taulukko 1.

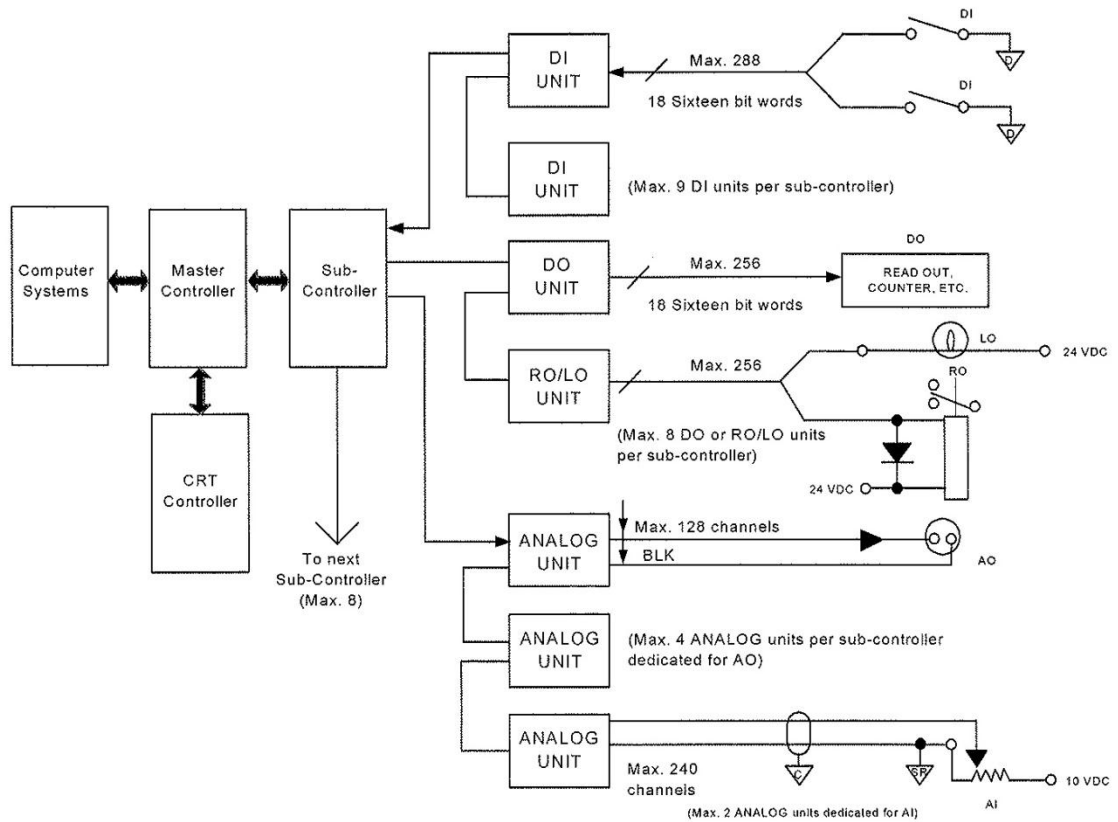
### 7.3 Toimintaperiaate

Varsinaisella simulaattorilla ohjaajien toimenpiteet, kuten napin painaminen, syöttää muuttujan arvon prosessimalliin. Takaisin saadaan käsky indikoinneille esimerkiksi sytyttää indikointi valo, joka havainnollistaa vaikka pumpun käynnistymistä tai venttiilin asentoa (auki tai kiinni). Oikeassa valvomossa ohjaus tapahtuu samanlaisesti, mutta prosessimallin sijaan indikointi käsky saadaan moottorilta tai venttiilin raja-arvolaitteelta. Sama periaate on myös testilaitteistossa. Testilaitteiston ohjelma on laadittu siten, että yhdellä napin painalluksella saadaan päälle kaikki yhden sanan muuttujat.

MI-yksikön nappia painettaessa DI-yksikkö lähettää viestin eteenpäin SubC:lle. Siellä muuttujan sijainti sekä tila järjestelmässä lähetetään eteenpäin MC:lle. MC konvertoi saadun viesti simulaattorille sopivaan 32-bittiseen muotoon ja lähettää sen eteenpäin. Simulaattori kytkee ohjausarvon I/O-listauksen kautta muuttujalle tietokannassa. Mikäli I/O-listausta ei ole päivitetty palautetaan virheviesti puuttuvasta määrittäyksestä. Ohjelma tulkitsee I/O-listan mukaisen käskyn määrättyllä tavalla ja lähettää takasin käskyn tilamuutokselle. Esimerkiksi LO-muuttujan pitää tietyssä paikassa vaihtaa tilaa tai AO-mittarille pitää ohjata tietty jänniteviesti.

Paluuviesti käy saman ketjun toiseen suuntaan. Eli ohjelma lähettää käskyn I/O-napin kautta, että tietyn muuttujan on vaihdettava tilaa. Viesti lähtee simulaattorilta MC:lle, jossa se konvertoidaan SubC:lle sopivaksi 16-bittiseksi viestiksi. SubC purkaa viestin ja ohjaa käskyn oikealle I/O-yksikölle. RO/LO-yksikkö saa viestin, että MI-yksikön indikointi ohjataan päälle, jolloin indikointivalo syttyy.

I/O-muuttujien käsittely on vapaasti ohjelmoitavissa. Yhdellä ohjauksella voidaan ohjata useita muuttujia yhtä aikaa tai saada ne toimimaan esimerkiksi tietyn aikaa halutulla tavalla. Esimerkiksi nappia painamalla kaikki indikointivalot vilkkuvat sekunnin välein viiden sekunnin ajan. Kuva 4 on tiedonsiirron yksinkertaistettu kaaviokuva.



Kuva 4. Yksikköjen välinen tiedonsiirtokaavio.

## 8 VIAN PAIKANNUS

Kun testiohjelman kanssa havaitaan, ettei joku painonappi tai indikointi toimi pitää ensin päätellä vian lähdettä. Jos nappia painettaessa, joku indikointi ei toimi muiden toimiessa on vika todennäköisesti output-yksikön mikropiirissä. Jos jotain painonappia painettaessa, mikään indikointi ei mene päälle, mutta muilla napeilla indikoinnit palavat on vika input-yksikön mikropiirissä. Em. ongelmat ovat yleisimmät ja yksinkertaisimmat vikamahdollisuudet ja niiden korjaaminen vaatii vain viallisen mikropiirin vaihtamisen. Vikatilanteiden tunnistamista ja niiden kohdistamista on yksityiskohtaisemmin käsitelty Digi-3 käyttöohjeissa I/O Maintenance, Operation and Maintenance [4][5]

### 8.1 Mikropiirien paikallistaminen diskreettiyksiköissä.

Diskreetti-yksiköissä, jokainen liitin vastaa yhtä ohjaussanaa. Testilaitteistolla tarkastellaan aina vain yhtä ohjaussanaa kerrallaan, eli yksikköön menee vain yksi kaapeli. Jokainen sana sisältää 16-bittiä, jotka vastaavat kaapelissa aina yhtä johdinta. Taulukkoon 3 on listattu diskreettiyksiköiden liittimien nimet niihin liittyvät sanat ja mihin johtimeen mikäkin bitti liittyy liittimessä.

Taulukko 3. Liittimien ohjaussanat, sekä johtimien ja bittien väliset yhteydet.

Liitin	Sana	Johdin/Nasta	Bitti
34J1	0	1	0
34J2	1	2	1
34J3	2	3	2
34J4	3	4	3
34J5	4	5	4
34J6	5	6	5
35J1	6	7	6
35J2	7	8	7
35J3	8	9	8
35J4	9	10	9
35J5	10	11	10
35J6	11	12	11
36J1	12	13	12
36J2	13	14	13
36J3	14	15	14
36J4	15	16	15
36J5*	16	17	16
36J6*	17	18	17

\* -liittimet ainoastaan DI-yksikössä

Liitteessä 4 on esitetty ohjaussanojen ja bittien sijoittuminen mikropiireihin eri yksiköissä. Näiden taulukkojen ja yksikön tyyppin avulla voidaan paikantaa vioittunut mikropiiri diskreettiyksiköstä.

Esimerkki: Testauslaitteiston RO/LO-yksikön 13:sta indikointivalo ei pala, kun painetaan testipainiketta. Tarkistetaan mitä ohjaussanaa testataan. RO/LO-yksikön takaa nähdään kaapelin olevan kiinni 35J3-liittimessä. Taulukosta 2 nähdään kyseessä olevan ohjaussana 8. Johdin taulukosta saadaan selville, että 12 bitti vastaa johdinta 13. Liitteen 4 taulukosta 2 saadaan selville, että sanan 8 bitti 12 on piirissä 8 blockissa 20. Samassa piirissä ovat myös bitit 13, 14, 15. Jos em. 13 output- signaali ei tulisi DO-yksikköä testattaessa, katsotaan liitteen 4 taulukosta 3, että sanan 8 bitti 12 sijaitsee mikropiirissä 23U2. Tässä piirissä sijaitsevat bitit 8-15. Paikallistamisen jälkeen yksikkö tehdään jännitteetömäksi ja viallisen mikropiirin paikalle vaihdetaan uusi vastaava. DI-yksikössä piirin paikallistamiseen käytetään liitteen 4 taulukkoa 1.

## 8.2 Mikropiirien paikallistaminen analogiyksikössä.

AU- yksikön I/O-kortit on sijoitettu yksikköön kahden ohjauskortin jälkeen. Näillä piirikorteilla on joko yksi tai kahdeksan kanavaa riippuen korttimallista. Jokainen kanava kuitenkin käyttää omaa D/A-muunnintaan. Testilaitteistolla pystytään testaamaan aina yksi AO-kortti kerrallaan. Tällöin käytössä on aina, joko yksi tai kahdeksan testilaitteiston mittaria johtuen em. korttien tyyppi eroista. Jos testiajon aikana havaitaan, ettei joku mittari muuta asentoaan testiohjelman mukaisesti, on yleensä syynä rikkoutunut D/A-muunnin tai muu piirikortilla oleva komponentti. Testilaitteistossa rikkoutunut muunnin on helppo paikallistaa. Katsotaan monesko mittari ei toimi ja verrataan mittarin järjestyslukua Liitteessä 4 olevaan taulukkoon 3. Tarkastelussa pitää ottaa huomioon, että AO-kortin kanavien numerointi alkaa nolasta, joten oikea muunnin on järjestysluku vähennettynä yhdellä. Kuvassa 4 on esitetty AO-kortin piirit. Tilanteessa jossa yksikään mittari ei testin aikana vaihda tilaa, vaikka AO-kortin tiedetään olevan kunnossa, on vika suurella todennäköisyydellä ohjauskorteissa, multiplekserissä, tai jossain muussa yhteisessä piirissä.

## 8.3 Haastavat ongelmatilanteet

Ongelman ratkaiseminen on vaikeampaa jos mikään painonappi ei saa yhtään indikointia päälle. Testijärjestelmässä on monta output- yksikköä, joten jos mikään painonappi ei tuota indikoinnin vaihtoa vika on todennäköisesti DI-yksikön tiedonsiirrosta. Samalla tavalla voidaan päätellä, kun jonkun output-yksikön mikään indikointi ei vaihdu painonappia painettaessa vika liittyy kyseisen output- yksikön tiedon siirtoon. Kokonaisen yksikön toimimattomuuden havaitsemisen jälkeen on kuitenkin aina hyvä tarkistaa kaikki yksikköön liittyvät kytkennät sekä SubC:n DIP-kytkimen osoitelaajuus. Toimivan yksikön kiinnittäminen viallisen tilalle ja sen toimivuuden todentaminen poistaa myös testilaitteiston MC:n ja SubC:n vikamahdollisuuden.



Vaikeimmissa tilanteissa vika on joko MC:ssa tai SubC:ssa. Tällöin vikaa on erittäin vaikeaa paikallistaa tiettyyn piiriin. DIGI-3-huoltokirjoissa (Operations and Maintenance, I/O Maintenance) on tarkkaan kerrottu I/O-yksiköiden, SubC:n ja MC:n väliset tiedonsiirtomallit ja ohjausviestien toisistaan oikeat sekvenssit. Tarkastelu vaatii paneutumista laitteen hierarkiaan ja käskyjen välisiin vuorovai-  
kutuksiin. Yksi etenemistapa on seurata tiedon kulkua eri yksikköjen välillä mo-  
nikanavaoskilloskoopilla ja verrata saatuja tuloksia ohjekirjan kuvaajiin.

## 9 I/O-JÄRJESTELMÄN JATKOKEHITYS

I/O-järjestelmän HSD-väylä ja I/O-yksiköt ovat vanhentunutta tekniikkaa. Yksiköiden korjaamiseen vaadittavia mikropiirejä on osittain huonosti saatavilla ja uusien yksiköiden valmistus on lopetettu. Tämän vuoksi I/O-järjestelmä on tulevaisuudessa nykyaikaistettava.

Tarjolla on muutamia isoja laitevalmistajia joilla on ratkaisuja I/O-järjestelmän uudistamiseen, ilman koko simulaattorijärjestelmän uudistusta. Järjestelmät eivät periaatteiltaan eroa kovin paljon toisistaan. Uutta järjestelmää valitessa, kysymyksiksi nousevat hinta, järjestelmän modulaarisuus ja joustavuus, sekä toimituksen joustavuus ja miten hyvin uusi I/O-järjestelmä saadaan vastaamaan nykyistä järjestelmää. Uuden järjestelmän väylä tulee todennäköisesti olemaan ethernet tai CAN, jolloin päästään eroon HSD-väylän tuomista ongelmista. Ethernet -väylän yhtenä helppoutena on yksinkertainen liittäminen PC-koneeseen, ilman erillisiä kortteja. Kummankin väylän CANin ja ethernetin yhtenä vahvuutena on avoin rajapinta.

RTP Corporation: RPT Corp. on aloittanut toimintansa 1968 ja on noussut kestäväen kehityksen myötä yhdeksi tunnetuimmista I/O- ja datankeräysjärjestelmien valmistajista. Saatavilla olevat järjestelmät ovat hyvin muokattavissa moninaisiin käyttötarkoituksiin ja laajoihinkin järjestelmiin. Takana on yli 40 vuotta kokemusta ja kehitystyötä. RPT 3000 sarjan järjestelmässä voi yhteen kehiköön valita laajasta valikoimasta maksimissaan 18 kappaletta erilaisia I/O-kortteja. Kortteja löytyy analogisina ja digitaalisina versioina eri I/O-laajuudella. Tiedonsiirtoväylänä on ethernet.[6]

TMI LLC, Test & Measurement Instrumentation: LLC, on tehnyt I/O-järjestelmiä yli 15 vuoden ajan useisiin ydinvoimalaitossimulaattoreihin. He pyrkivät ratkaisullaan pienentämään järjestelmäuusinnan vaatimaa työaika ja vähentämään järjestelmän vaatimaa kaapelointia. Heillä on valmiita ratkaisuja korvaamaan muiden valmistajien kuten Singer (kaikki versiot), EAI, CPI, VMIC, CAE ja RTP:n olemassa olevia järjestelmiä uuden aikaisilla ratkaisulla. He ovat raken-

taneet I/O-järjestelmiä yli 40:een voimalaitossimulaattoriin Pohjois-Amerikassa ja ympäri maailmaa. Tuoteperheeseen kuuluu useita eri I/O-laajuudella olevia järjestelmiä, joita on helppo vertailla ja valita tarkoitukseen sopiva toimivien nettisivujen kautta.[7]

GE General Electric: GE on tuottanut korkealaatuisia I/O-järjestelmiä jo parin vuosikymmenen ajan ja ovat vahvistaneet alansa tuntemusta tekemällä yhteistyötä alaan perehtyneiden yhtiöiden kanssa kuten Singer Link & Miles ja Fanuc. Heidän VMIC- ja VME-järjestelmänsä on kehitetty yhteistyössä Japanilaisen Fanucin kanssa tähtäimenä parantaa järjestelmän ostaneiden yritysten tuottavuutta tehokkaan ja luotettavan simulaatiolaitteiston kautta. Heidän nettisivuiltaan löytyy erittäin paljon tietoa eri järjestelmistä ja niiden modulaarisuudesta.[8]

CTI Corys Thunder inc. on Euroopan suurin I/O-valmistaja Ranskasta, joka on erikoistunut voimalaitos ja liikenne aloille toimittaen korkealaatuisia simulaattoreita. Yritys on perustettu 1989, jonka jälkeen vuotuista kasvua on tullut yli 10%. CTI:n I/O-järjestelmä perustuu CAN-väylään, jolla saavutetaan monia hyötyjä kustannustehokkaaseen simulaattoriratkaisuun. Järjestelmä pystyy hallinnoimaan laajaa I/O-avaruutta ja siihen tarjotaan niin analogisia kuin digitaalisia I/O-yksiköitä.[9][10]

## 10 PÄÄTELMÄT

Testausjärjestelmän rakentaminen avasi hyvin simulaattorijärjestelmän toimintaa. Tutustuminen I/O-järjestelmään ja sen erilaisiin ominaisuuksiin opetti kuinka suuresta kokonaisuudesta on todella kyse. Vaikka yksiköt ovat mikropiireineen ja kytkentöineen jo itsessään teknisen näköisiä on niiden sisäinen filosofia vielä teknisempää ja monimutkaisempaa. Oman lisänsä projektin haasteisiin antoi tekniikan ikä.

Testilaitteiston peruskäyttö on viallisten piirien paikallistaminen I/O-yksiköistä, mutta se on myös paljon monikäyttöisempi testauslaitteisto kuin sen perustarkoitus. Laitteistolla on turvallista kouluttaa uutta henkilökuntaa järjestelmän konfiguroinnissa ja kytkemisessä ennen varsinaiseen järjestelmään siirtymistä. Sillä voidaan myös testata järjestelmään vietävien yksiköiden toimivuus aina virtalähteestä MC:hen asti. Testilaitteiston täydellinen I/O-yksikkökattavuus mahdollistaa myös ohjelmien ja ohjelmistojen oikean toiminnan tarkistamisen, ennen kuin uusi syöte viedään varsinaiseen järjestelmään.

Testauslaitteiston peruskäytön testaaminen oli rajana tämän työn laajuudelle. Laitteiston kapasiteettia voidaan edelleen laajentaa selvittämällä onko laitteistoon mahdollista liittää helposti esimerkiksi monikanavaoskilloskooppi signaalin tarkkailuun ja kokeiluun eri pisteissä. Tämä mahdollistaisi vielä syvemmät tutkimukset vaikeissa vikatilanteissa ja antaisi hyvää lisätietoa yksiköiden eri signaalien ajoituksista ja sekvensseistä.

## 11 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli rakentaa rinnakkainen testauslaitteisto simulaattorin I/O-järjestelmälle. Testauslaitteiston tarkoituksena oli toimia rikkoutuneiden I/O-yksikköiden vianpaikannus ja korjaus laitteistona, sekä toimia opetusaluslana I/O-järjestelmän konfiguroinnissa.

Työhön kuului järjestelmän komponenttien sijoittelu laitekaappiin, laitekaapin sähköistys, sekä järjestelmän toiminnan testaaminen testausohjelmistolla.

Ongelmia olivat lähinnä sähköiset mitoitus, kuten virtalähteiden tehon mitoitus, varokkeiden nopeus ja virran kestävyys, sekä informaation hankinta mitoituksiin liittyen.

Muilta osin työssä ei havaittu ongelmia ja kaikki meni suunnitelmien mukaisesti. Testijärjestelmän käyttöönotto sujui hyvin eikä ongelmia havaittu.

## LÄHTEET

[1] Suomisanakirja sivistyssanakirja 2012. Viitattu: 29.10.2012  
<http://suomisanakirja.fi/konfiguroida>.

[2] Wikipedia simulointi 2012. Viitattu 29.10.2012 <http://fi.wikipedia.org/wiki/Simulointi>.

[3] STUK YVL 5.5 Ydinlaitosten automaatiojärjestelmät ja laitteet 2002. Viitattu 10.12.2012  
<http://www.edilex.fi/stuklex/fi/lainsaadanto/saannosto/YVL5-5?toc=1>

[4] GSE Systems, Inc. 1998. DIGI-3 Operation and Maintenance, Document No. OM.01.V3.0B.

[5] GSE Sysrems Inc. 1998 DIGI-3 I/O Maintenance No. MG.02.V3.0B.

[6] RTP Corporation yirtysinfo 2012. Viitattu 29.10.2012 <http://www.rtpcorp.com/rtp-about.htm>.

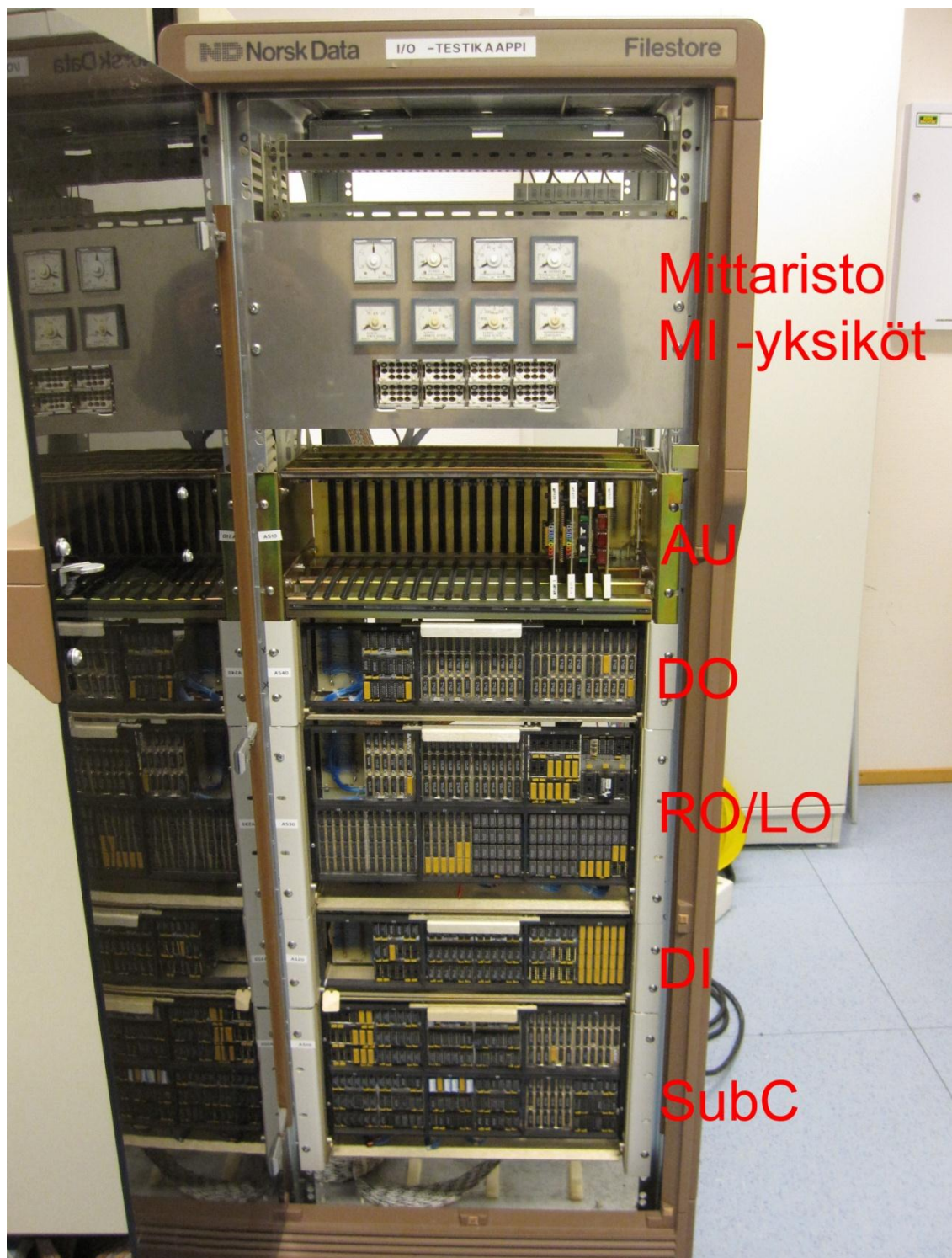
[7] Test & Measurement Instrumentation, LLC yritysinfo 2012. Viitattu 29.10.2012  
<http://www.tmiio.com/#!/pageHome>

[8] GE Intelligent Platforms yritysinfo 2012. Viitattu 29.10.2012 <http://defense.ge-ip.com/about/companyinfo>

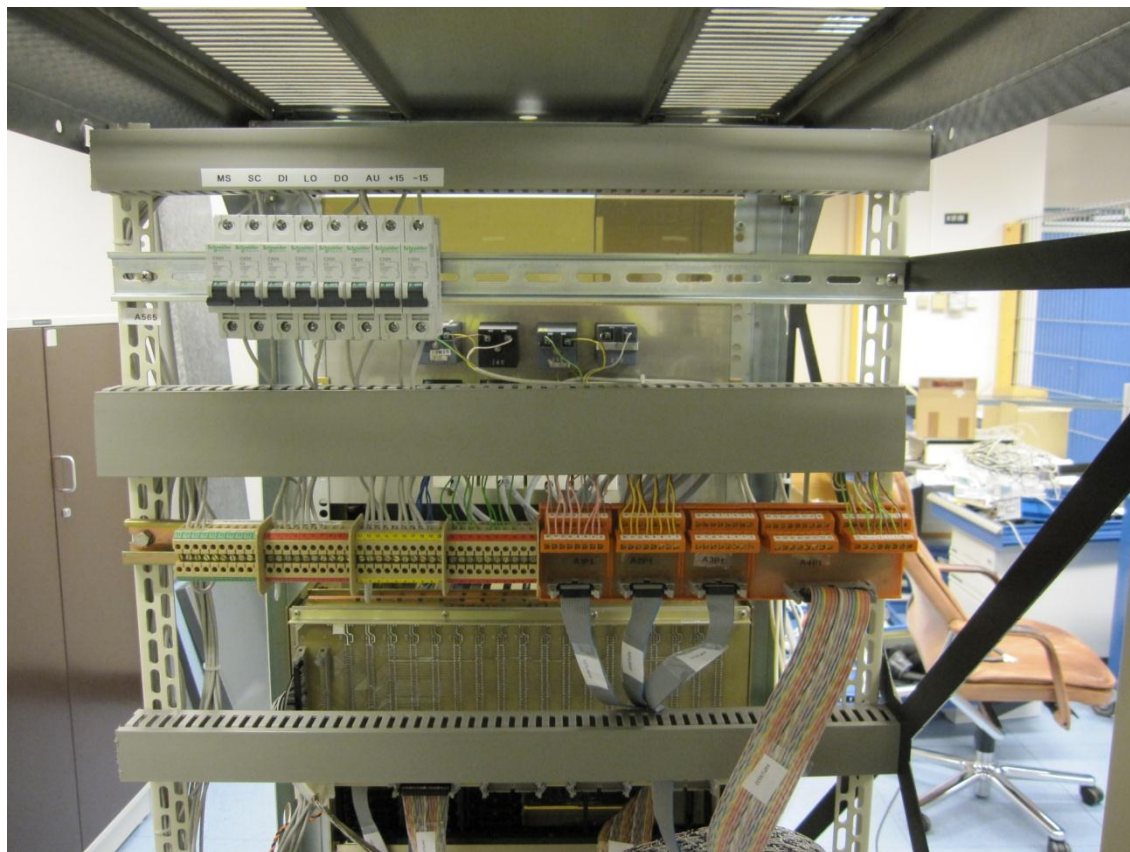
[9] Corys T.E.S.S yritysinfo 2012. Viitattu 10.12.2012 <http://www.corys.com/A-propos-de-nous--22.html>

[10] Corys Thunder Inc. Corys CAN I/O 2012, Viitattu 10.12.2012  
[http://www.corysthunder.com/corys\\_io.html](http://www.corysthunder.com/corys_io.html)

## Testilaitteiston yleiskuvat



Kuva 1. Testilaitteisto edestä kuvattuna, I/O-yksiköiden vaihdettavat mikropiirit näkyvät I/O-yksiköiden etupaneeleissa.



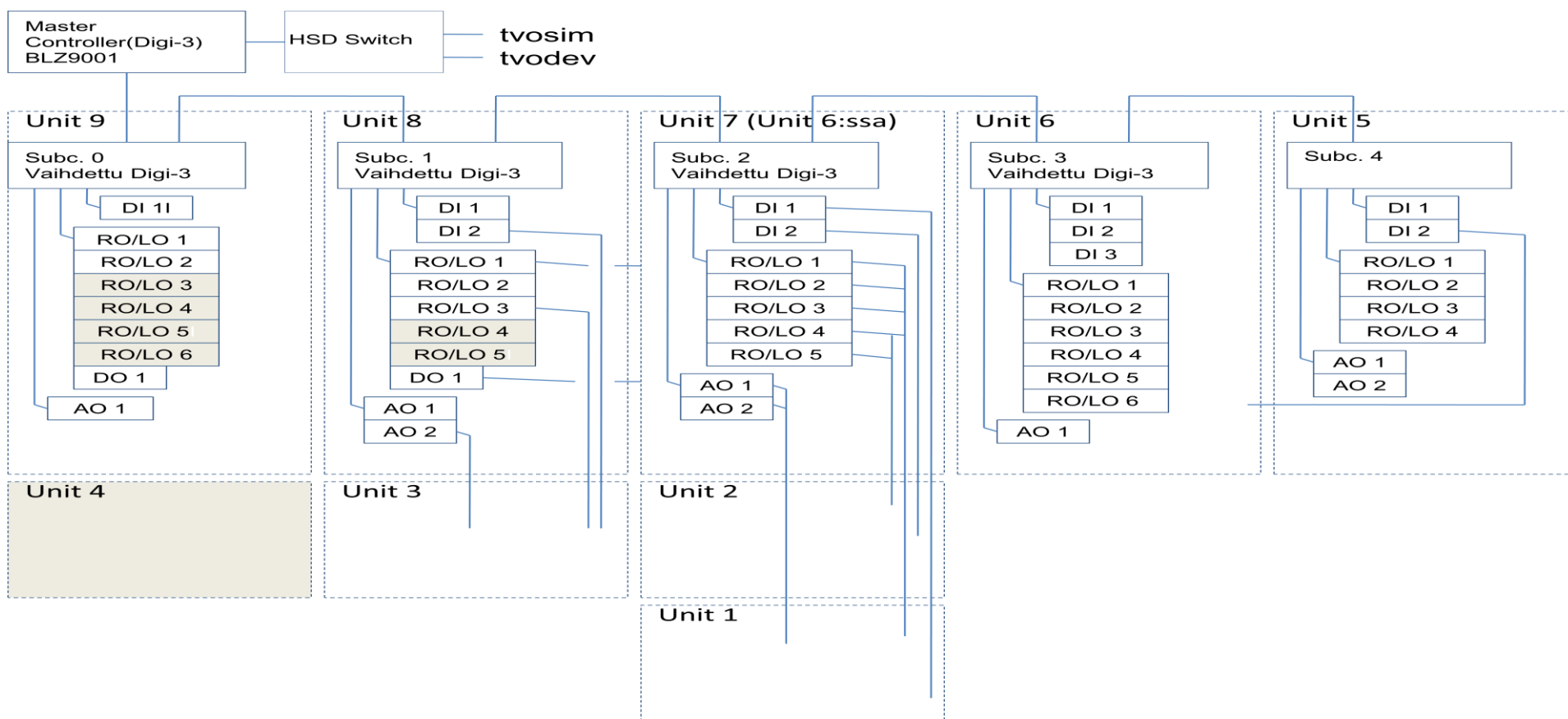
Kuva 2. Testilaitteiston keskelle sijoitetut varokkeet, virranjako ja I/O-pisteiden riviliittimet.



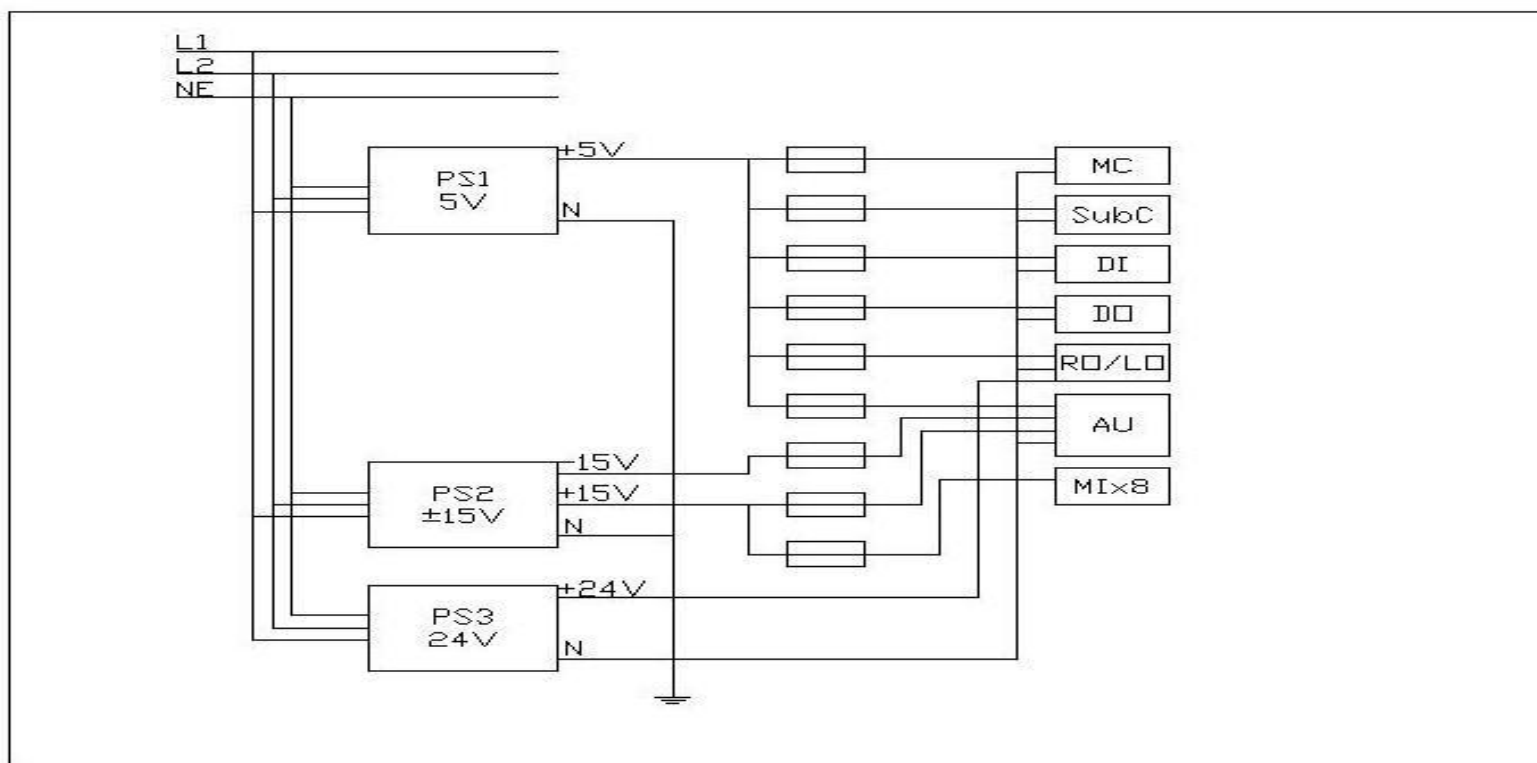


Kuva 3. Testilaitteiston takaosaan on sijoitettu alhaalta ylös lueteltuna Digi-3 Master Controller-yksikkö, päävarokkeet (vasen laita) ja messinkilevyyn kiinnetyt virtalähteet.

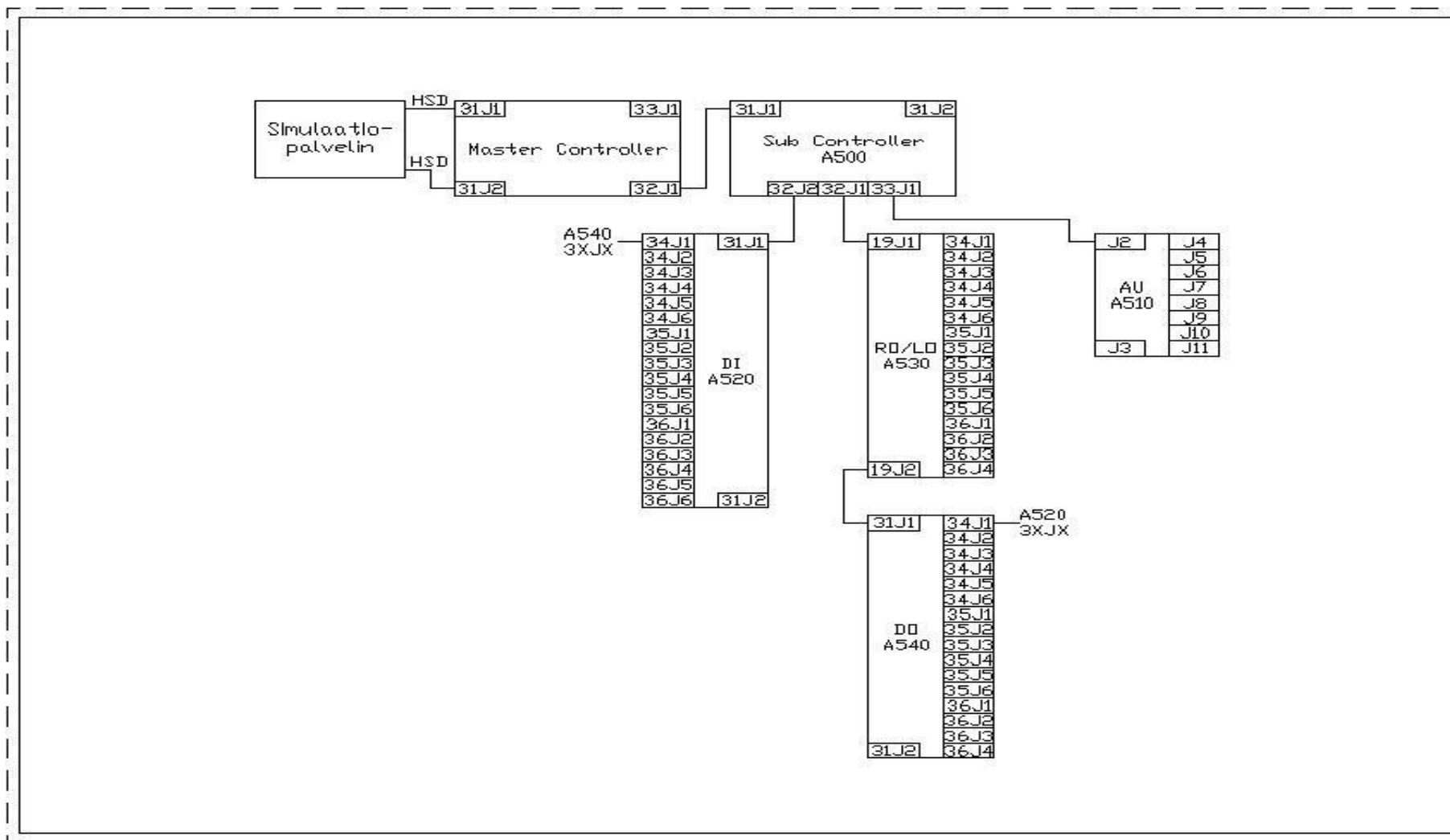
# Kaaviot



Kuva 1. Hajautetun I/O-järjestelmän yleiskuvakaavio



Kuva 2. Sähkökytkentäkaavio



Kuva 3. Tiedonsiirtokaapeliin kytkennät

## Testiohjelman lähdekoodi

Taulukko 1. Testiohjelman lähdekoodi

```
subroutine iotest
c
c**      model to drive I/O test cabinet
c
c I/O variables mapped to the test cabinet system (test cabinet iolist):
c iotestvarao, iotestvardi, iotestvardo, iotestvarlo
c Basic connectivity test:
  if(iotestvardi(1)) then !activate/cycle outputs when 1st button pressed
    do i=1,256
      iotestvardo(i) = ktrue
    end do
    do i=1,256
      iotestvarlo(i) = ktrue
    end do
    do i=1,8
      if(iotestvarao(i) .lt. 1.0) then
        iotestvarao(i) = iotestvarao(i) + 0.02
      else
        iotestvarao(i) = 0.0
      end if
    end do
  else ! reset everything
    do i=1,256
      iotestvardo(i) = kfalse
    end do
    do i=1,256
      iotestvarlo(i) = kfalse
    end do
    do i=1,8
      iotestvarao(i) = 0.0
```

```

end do
end if
return
end

```

Taulukko 2. Ote I/O-listauksesta, täysimittainen listaus sisältää testijärjestelmän I/O-laajuudella 928 riviä.

Yksikkö	Yksikön nro.	Sana	Bitti	Ohjaukaskäsky
AO	0	7	6	testvar7ao(119)
AO	0	7	7	testvar8ao(120)
AO	0	7	8	testvar9ao(121)
AO	0	7	9	testvar10ao(122)
AO	0	7	10	testvar11ao(123)
AO	0	7	11	testvar12ao(124)
AO	0	7	12	testvar13ao(125)
AO	0	7	13	testvar14ao(126)
AO	0	7	14	testvar15ao(127)
AO	0	7	15	testvar16ao(128)
DI	0	0	0	testvar1ai(129)
DI	0	0	1	testvar2ai(130)
DI	0	0	2	testvar3ai(131)
DI	0	0	3	testvar4ai(132)
DI	0	0	4	testvar5ai(133)
DI	0	0	5	testvar6ai(134)
DI	0	0	6	testvar7ai(135)

## Käyttöohjeet

Ohjeistuksessa käydään läpi huomioon otettavat asiat ennen virran kytkemistä kaappiin, järjestelmän toimivuuden todentaminen, vian diagnosointi yksiköstä, sekä mahdollinen oskilloskoopin käyttö vianpaikannuksessa. Tarkat huolto-ohjeet löytyvät GSE:n huoltomanuaaleista DIGI-3 I/O Maintenance ja DIGI-3 Operation and Maintenance, joissa käydään läpi vikadiagnostiikkaa aina signaalin aikariippuvuuksiin asti.

### 1. Ennen virran kytkentää

Ennen virran kytkentää järjestelmään tarkistetaan seuraavat asiat. Kaikki varokkeet ovat kytketty auki asentoon.

- Vaihepuolen varoke
- Kuusi kappaletta 5V syöttövarokkeita
- Kaksi +15V syöttövaroketta
- Yksi -15V syöttövaroke.
- Tarkistetaan I/O-yksiköiden, sekä SubC:n ja MC:n virtaliittimien napaisuus, koska uudet liittimet on mahdollista kytkeä väärin päin. Kaikkien virtaliittimien napaisuus on merkattu värillä.

### 2. Järjestelmän käynnistys

Kun virta on kytketty kaappiin, voidaan vaihepuolen johdonsuojakatkaisin kääntää päälle. I/O-yksiköt käynnistetään yksitellen. Käynnistuksen jälkeen avataan master controllerin etukansi ja mitataan master controllerille tuleva jännite liittimen navoista. Jos jännite on alle 5V, säädetään jännite 5V-virtalähteestä. Jännite ei saa ylittää +5% tasoa järjestelmän muissa osissa. Yksikköjen piirit ovat

erittäin tarkkoja oikeasta jännitealueesta. Yksikön alhainen jännite estää oikean toiminnan ja master controlleriin ei välttämättä saada yhteyttä.

### **3. Järjestelmän konfigurointi**

Tietokone kiinnitetään master controlleriin sarjaväylällä ja VT100 pääte-emulaattorilla ja varmistutaan, että kaikki kaapelit yksiköiden välissä ovat kiinni. Irronneen liittimen voi laittaa kiinni jännitteellisenäkin. Master controller ja sub controller löytävät lisätyn yksikön automaattisesti.

Yhteyden muodostamisen jälkeen ruudulle tulee näkymä MC:n löytämistä yksiköistä ja niiden tilasta. Jos jokin yksikkö puuttuu, vaikka se on kytketty järjestelmään, on kyseinen yksikkö, joko kokonaan rikki, tai subcontrollerin DIP-kytkimet ovat väärin. Säädetään DIP-kytkimet vastaamaan paikallaan olevaa laitteistokokoonpanoa ja otetaan uusi yhteys MC:hen ja tarkistetaan näkyvätkö tarvittavat yksiköt.

### **4. Vianpaikannus**

Viallinen I/O-yksikkö ei välttämättä näy oikein, kun MC:ltä kysytään yksikön tilaa, vaikka DIP-kytkimet olisivatkin oikein.

#### **4.1. Diskreettiyksiköt**

Diskreettiyksikköjen vian paikannus tapahtuu liitteessä 4 olevien taulukkojen ja kuvien mukaan. Kun testiohjelmalla saadaan selville, mikä bitti ei ohjaudu oikein, voidaan taulukosta katsoa bitin sijainti piirillä. Näin rikkoutunut piiri on helppo vaihtaa uuteen. Esimerkkinä tarkastellaan kolmatta liittintä DI-yksikössä. Siinä viides painonappi ei suorita ohjelmaa. Näin tiedetään, että kyseessä on sana kaksi ja siinä neljäs bitti. Koska sanat sekä bitit alkavat nolasta ja liittinumerointi sekä MI-indikointien ykkösestä on molemmista liittimen ja indikoinnin



järjestysluvusta vähennettävä yksi. DI-taulukosta voidaan katsoa, että sanan kaksi neljäs bitti sijaitsee IC: piirissä 13, joka sijaitsee blockissa 21.

RO/LO-yksikön vian paikannus tapahtuu samalla tavalla kuin DI-yksikön. Ainoa ero on sanojen määrä, joita RO/LO-yksikössä on vain 16. Jokainen piiri käsittelee näin yhdestä sanasta 4 bittiä. Jos joku bitti ei muuta tilaansa testiohjelman käynnistyessä, paikannetaan piiri liittimen, bitin ja RO/LO-taulukon avulla. Testiohjelma sytyttää painiketta painettaessa kaikki yhden sanan bitit. Tällä menetillä kaikki MI -yksikön indikoinnit syttyvät kerralla. Lamppu ei syty, mikäli piiri ei pysty vaihtamaan bitin tilaa. Näin MI -yksiköstä lasketaan kuinka mones indikointi ei syty. Liittimen ja indikoinnin järjestysluvuista vähennetään DI-yksikön tapaan yksi, jotta oikea sana ja bitti saadaan selville.

DO-yksikön taulukko on yksinkertaisempi kuin DI- tai RO/LO-yksiköiden. Siinä jokainen piiri käsittelee puolikkaan sanan bitit. Taulukosta voidaan katsoa piirin sijainti DO-yksikössä ja viallisen bitin todentaminen tapahtuu samalla tavalla kuin RO/LO-yksikössäkin.

## 4.2. Analogiyksiköt

AO-kortit ovat aina kahden ohjainkortin jälkeen AU-yksikössä. AU-yksikön korjaus kannattaa aloittaa AO-korttien poistolla. Mikäli käytön aikana useat mittarit eivät toimineet, voi kyseessä olla ohjainkortti vika. Vikaa voidaan yrittää paikantaa asentamalla ehjä ohjain kortti epäilyttävän paikalle ja asettamalla AO-kortti ohjainkorttien jälkeen. Jos yksikkö toimii moitteitta, on vika todennäköisesti ohjainkortissa. Edellä mainittu tapaus on kuitenkin epätodennäköisin vaihtoehto, mutta mikä kannattaa tarkistaa useita viallisia kortteja sisältävissä yksiköissä, koska silloin ei ole varmaa johtuvatko viat useista AO-korteista vai ohjainkor-teista. Yleisin vika on D/A-muuntimissa. Testilaitteistoon on käytännön syistä asennettu ainoastaan yksi AO-terminaali. Näin ollen ainoastaan yksi kortti voidaan testata kerrallaan.

AO-kortteja voidaan laittaa halutessa enemmän kiinni yksikköön, mutta vain yhtä voidaan mittariston kanssa testata kerrallaan. Jokainen AO-kortti sisältää

kahdeksan kanavaa. Kanavat alkavat kortilla nollasta ja päättyvät seitsemään. Testijärjestelmässä oikean piirin diagnosointia on helpotettu ottamalla vain yksi kortti testauksen alle. Näin erillistä johdotuslistaa ei tarvitse luoda, koska käytössä ei koskaan ole enempää kuin 8 kanavaa. Viallinen piiri paikallistetaan toimimattoman mittarin järjestysluku vähennettynä yhdellä ja vertaamalla saatua kanavaa AO-kortin taulukkoon liitteessä.

### **4.3. Master ja subcontroller yksiköt**

Vaikka näidenkin yksiköiden piirejä voidaan vaihtaa, on niiden vian paikallistaminen paljon vaikeampaa, kuin edellä mainituissa piireissä. Ongelman havainnointi tosin on yleensä helpompaa. Päätelyn kautta voidaan todentaa mikäli SubC tai MC on viallinen. Mikäli testilaitteisto ei toimi uudella uudella MC:llä tai SubC:lla DIP-kytkinten konfiguroinnin jälkeen voidaan järjestelmä vielä testata alkuperäisellä toimivalla yksiköllä. Yleensä mitä suurempi osuus signaaleista on toimimattomana, sitä ylempänä laitehierarkiassa vika yleensä on.

SubC:n tapauksessa I/O-yksiköt eivät toimi normaalisti. Tarkistaa minkälaisen laitekoonpanon MC löytää. Jos kaikki kaapelit ovat asennettu oikein ja MC ei löydä SubC:a on vika todennäköisimmin siinä. MC:n ollessa vikaantunut: siihen ei saada joko yhteyttä tai MC ei ole yhteydessä SubC:n. Linkki simulaattorin ja MC:n välillä on yleensä myös poikki.

Kummassakin vaihtoehdossa vian paikallistaminen itse yksikköön on helpompaa kuin vian paikallistaminen yksiköstä. Signaalit eivät ole enää paikallistettavissa bitteinä yksinkertaisesti vaan tiedonsiirto MC:n ja SubC:n välillä tapahtuu erilaisesti, kuin SubC:n ja I/O-yksiköiden. Ainoa apu vian paikallistamiseen on oskilloskooppi. Sen avulla pystytään piirtämään miten eri signaalit käyttäytyvät missäkin vaiheessa. Tämä vaatii kuitenkin suurempaa järjestelmän tuntemista. Huoltomanuaaleissa on kuvat signaalien suhtautumisesta toinen toisiinsa. Oikea tapa on kytkeä monikanavaoskilloskooppi tai piirturi haluttuun kaapelin ja yksikön väliin ja piirtää signaalien käyttäytyminen. Piirtoja vertaillaan huoltokirjassa oleviin esimerkkikuviin piirtoihin. Näin saadaan selville, mikä signaali ei

toimi oikealla tavalla. Edelleen viallisen signaalin kulkua pystytään seuraamaan huolto kirjan yksinkertaistetuilla malleilla mistä ja mihin piireihin kyseinen signaali vaikuttaa. Näin edeten voidaan saada selville rikkoutunut piiri yksiköstä.