



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Petri Henri Mikael Hakamäki

PIIRIKORTTIEN TUOTANTOTESTAUS- LAITTEISTON MÄÄRITTELY JA KEHI- TYS

Tekniikka ja Liikenne
2010

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU

Tietotekniikan koulutusohjelma

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Petri Hakamäki
Opinnäytetyön nimi	Piirikorttien tuotannontestauslaitteiston määrittely ja kehitys
Vuosi	2010
Kieli	suomi
Sivumäärä	49 + 2 liitettä
Ohjaaja	Esko Nykänen

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella testauskonsepti piirikorttien tuotannontestaukseen. Konseptin avulla voidaan taata riittävän kattava tuotannontestaus erilaisille piirikorteille, sekä yhdenmukaistaa testausta erilaisten piirikorttien välillä. Konseptissa mietitään myös, miten tuotannontestauksesta saataisiin kustannustehokkaampaa. Lisäksi työn tavoitteena oli tehdä testispesifikaatio Vaconin Profibus DB -piirikortin tuotannontestaukseen, käyttäen konseptissa sopivammaksi havaittuja testausmetodeita. Testispesifikaation pohjalta Profibus DB -piirikortille teetätetään testilaite tuotannon testaukseen.

Työssä tutustuttiin myös tyypillisimpiin piirikorttien tuotannossa esiintyviin virheisiin. Lisäksi käytiin läpi erilaisia testausmenetelmiä, sekä minkälaisiin vika-tyyppeihin menetelmät soveltuvat.

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Tietotekniikan koulutusohjelma

ABSTRACT

Author	Petri Hakamäki
Title	Circuit Board Production Test Equipment Specification and Development
Year	2010
Language	Finnish
Pages	49 + 2 Appendices
Name of Supervisor	Esko Nykänen

The aim of the thesis was to design a testing concept for the production test of the circuit boards. By means of the concept, covering enough production testing for various circuit boards can be ensured, in addition to harmonizing the testing between various circuit boards. The concept also includes considerations of how to make the production testing more cost-effective. In addition, the aim was to make the test specification for Vacon's Profibus DB circuit board, by using the most suitable testing methods for the concept. Based on the testing specification for Profibus DB circuit board, a production test device is to be made.

The thesis also introduces the most usual mistakes and errors that typically occur in the production of the circuit boards. Furthermore, various test methods were dealt with, along with finding out for what various error types various testing methods are suitable.

Keywords Production testing, Test specification, Profibus

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	2
ABSTRACT	3
KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET	7
1 JOHDANTO	9
1.1 Työn taustat ja tavoitteet	9
1.2 Työn toteutus	9
2 YRITYSESITTELY	11
2.1 Yritys ja historia.....	11
2.2 Taajuusmuuttaja	11
3 TUOTANNONTESTAUS.....	13
4 TESTAUSMENETELMIÄ.....	15
4.1 Visuaalinen tarkistus	15
4.2 AXI-testaus.....	15
4.3 ICT-testaus.....	16
4.4 Toiminnallinen testaus	18
4.5 Boundary scan.....	19
5 KONSEPTIN SUUNNITTELU TUOTANTOTESTEREILLE	22
5.1 Määrittely.....	22
5.2 Testispesifikaatio	22
5.3 Liitynnät.....	30
5.4 Hyväksymiskriteerit ja toleranssit	31
5.5 Tuotannon testauskustannukset	32
6 PROFIBUS-TESTERIN TOTEUTUS	38
6.1 Profibus.....	38
6.2 Profibus DP -optiokortti	39
6.3 Testispesifikaatio Profibus DP -optiokortille.....	40
6.3.1 Mittaukset.....	40
6.3.2 Testipisteet.....	42
6.3.3 Toleranssit	43
6.3.4 Testin kattavuus	44

YHTEENVETO.....	46
LÄHDELUETTELO.....	48
LIITTEET	

LIITELUETTELO

LIITE 1 Testiliitynnän lyhenteiden selitykset

LIITE 2 Testausmenetelmien vertailu

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

AOI Automatic optical inspection

ASIC Application-specific integrated circuit

AXI Automatic X-ray inspection

BGA Ball grid array

BS Boundary scan

BSDL Boundary scan description language

CSP Chip scale packages

DUT Device under test

EEPROM Electronically Erasable Programmable Read-Only Memory

EMC Electromagnetic compatibility

FATE Flying automatic test equipment

IC Integrated circuit

ICT In-circuit test

I2C Inter integrated circuit

JTAG Joint test action group

MCU Microcontroller

PLC Programmable logic controller

SPI Serial peripheral interface bus

V Jännitteen yksikkö, voltti

UART Universal Asynchronous Receiver Transmitter

1 JOHDANTO

1.1 Työn taustat ja tavoitteet

Insinööriyön toimeksiantaja on Vacon oyj, työ aloitettiin kesällä 2010. Työn tavoitteena on suunnitella toimiva testauskonsepti piirikorttien tuotannontestauslaitteistolle. Lisäksi tavoitteena oli tehdä profibus kenttäväyläkortille testispesifikaatio tuotannontestaukseen, soveltaen konseptissa hyväiksi havaittuja menetelmiä. Konseptin päätarkoituksena on, että piirikorttien testispesifikaatioista saataisiin yhdenmukaisia ja tulevaisuudessa voitaisiin hyödyntää jo olemassa olevia tuotannontestereitä vain vähin muutoksin.

Työtä aloittaessa erilaisten piirikorttien testispesifikaatioissa oli eroavaisuuksia. Konseptin tarkoitus on luoda malli testispesifikaation rakenteelle ja sille miten testispesifikaatioissa määritellään erilaiset testausmenetelmät. Konseptissa mietitään myös yhteisiä toleransseja ja hyväksymiskriteerejä erityyppisille tuotannontestausmenetelmille, sekä käsitellään yhteistä testiliityntää. Lisäksi käsitellään myös testauskustannuksia ja niiden pienentämistä erilaisin menetelmin.

1.2 Työn toteutus

Opinnäytetyö aloitettiin tutustumalla tuotannontestaukseen ja siihen miksi sitä tehdään, lisäksi tutustuttiin tuotteen laadunvaikutukseen. Seuraavaksi kerättiin yleistä tietoa erilaisista piirikorttien testausmenetelmistä ja mietittiin minkä tyyppiseen testaukseen kutakin menetelmää voitaisiin käyttää. Arvioitiin myös yleisiä piirikorttien tuotannossa esiintyviä vikoja ja sitä, mikä testausmenetelmä sopii kuhunkin vikatyypin. Näitä asioita käsitellään luvuissa 1-4.

Luvussa viisi keskitytään testauskonseptiin. Ensin määritellään testispesifikaatio, jossa kerrotaan miten erilaiset testausmenetelmät määritellään. Lisäksi kerrotaan mihin kutakin menetelmää voidaan käyttää ja minkä tyyppisiä testejä olisi hyvä suorittaa kaikilla piirikorteilla. Seuraavaksi määritellään yhteinen testiliityntä, jonka avulla voitaisiin hyödyntää samoja testereitä erilaisilla piirikorteilla. Tämän jälkeen määritellään erilaisille testausmetodeille yhteisiä toleransseja ja hyväksymiskriteereitä. Viidennen luvun lopussa keskitytään testauskustannuksiin ja niiden

pienentämiseen. Tutkitaan muun muassa ohjelmiston latausaikojen optimoimisen kannattavuutta ja vaikutusta kustannuksiin, sekä vertaillaan yksi- ja monivaiheista testausta.

Luvussa kuusi toteutetaan testispesifikaatio Profibus DB -kenttäväyläkortille. Luvun alussa kuvataan kortin rakennetta ja ominaisuuksia. Seuraavaksi tehdään konseptin mukainen testispesifikaatio Profibus DB -kortille käyttäen sellaisia testausmetodeita, jotka parhaiten sopivat kyseiselle piirikortille ja joilla voidaan saavuttaa riittävän kattava testi. Lisäksi arvioidaan testauksen laajuutta, joka saavutetaan testispesifikaatiolla ja sitä mitä jää testaamatta.

2 YRITYSESITELY

2.1 Yritys ja historia

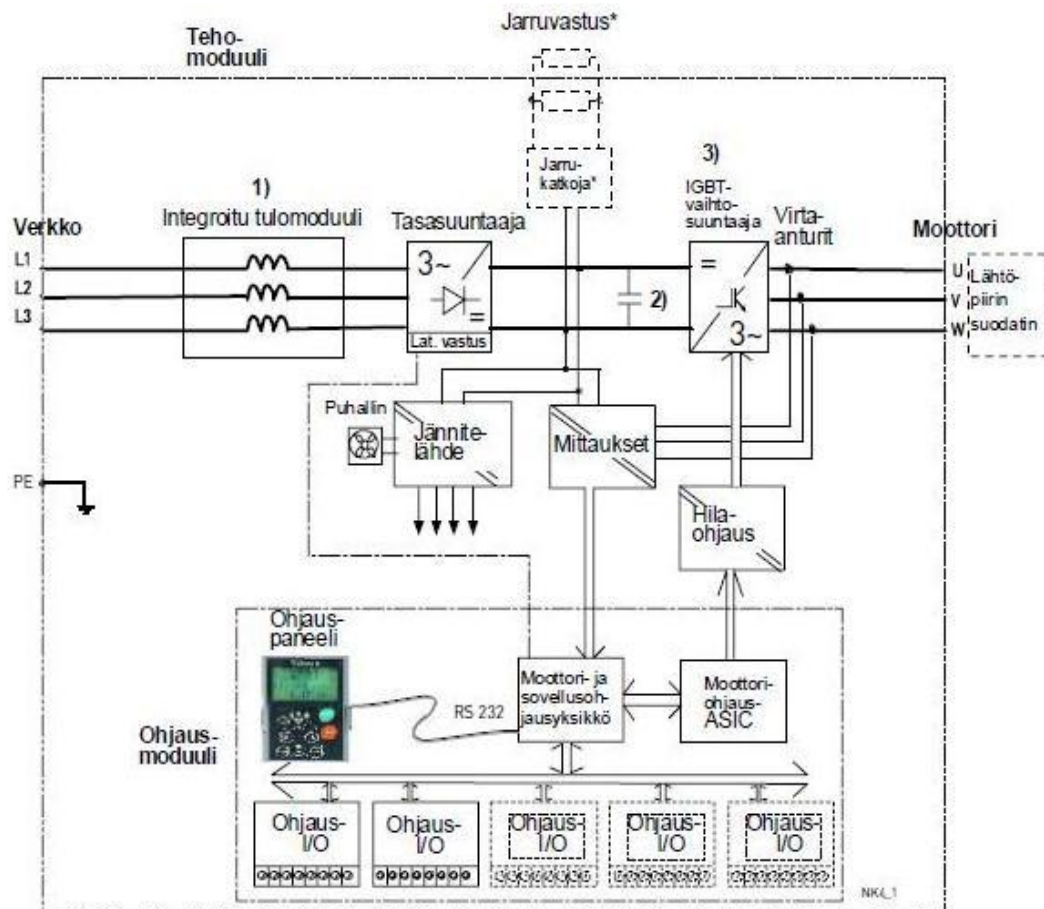
Vaconin toimintaa ohjaa halu kehittää, valmistaa ja myydä maailman parhaita taajuusmuuttajia. Taajuusmuuttajaa käytetään sähkömoottorin ohjauksessa ja uusiutuvan energian tuotannossa. Vaconin tuotekehitys- ja tuotantoyksiköt ovat Suomessa, Yhdysvalloissa, Kiinassa ja Italiassa. Myyntitoimistoja on 27 maassa. Vuonna 2009 Vaconin liikevaihto oli 272 milj. euroa ja yhtiön palveluksessa oli maailmanlaajuisesti 1200 henkilöä. /13/

Vaconin historia juontaa vuoteen 1993, kun 13 ABB Industry Oy:n Vaasantehtaassa toiminutta avainhenkilöä perusti Vaasa Control Oy:n. Nämä Vaconin perustajat aloittivat matkan kohti yhteistä tavoitetta eli tulla yhdeksi maailman johtavista taajuusmuuttajatoimittajista. /14/

2.2 Taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttajaa käytetään sähkömoottorin ohjaukseen. Käyttämällä taajuusmuuttajaa sähkömoottori saadaan pyörimään halutulla nopeudella, ilman mekaanisia vaihteistoja, taajuusmuuttajan avulla voidaan säätää myös moottorin vääntömomenttia. Taajuusmuuttajilla on myös mahdollista säästää merkittävästi energiaa moottorin käynnistysten yhteydessä, sekä syöttää moottorin jarrutusenergia takaisin sähköverkkoon. Mahdollisia käyttökohteita ovat muun muassa pumput, puhaltimet, kuljettimet, hissit sekä tuuli- ja aurinkovoimalat.

Taajuusmuuttaja koostuu tasasuuntaajasta, välipiiristä, vaihtosuuntaajasta ja näiden toimintaa ohjaavasta ohjausosasta. Kuvassa 1 on kuvattu taajuusmuuttajan lohkoakaavio.



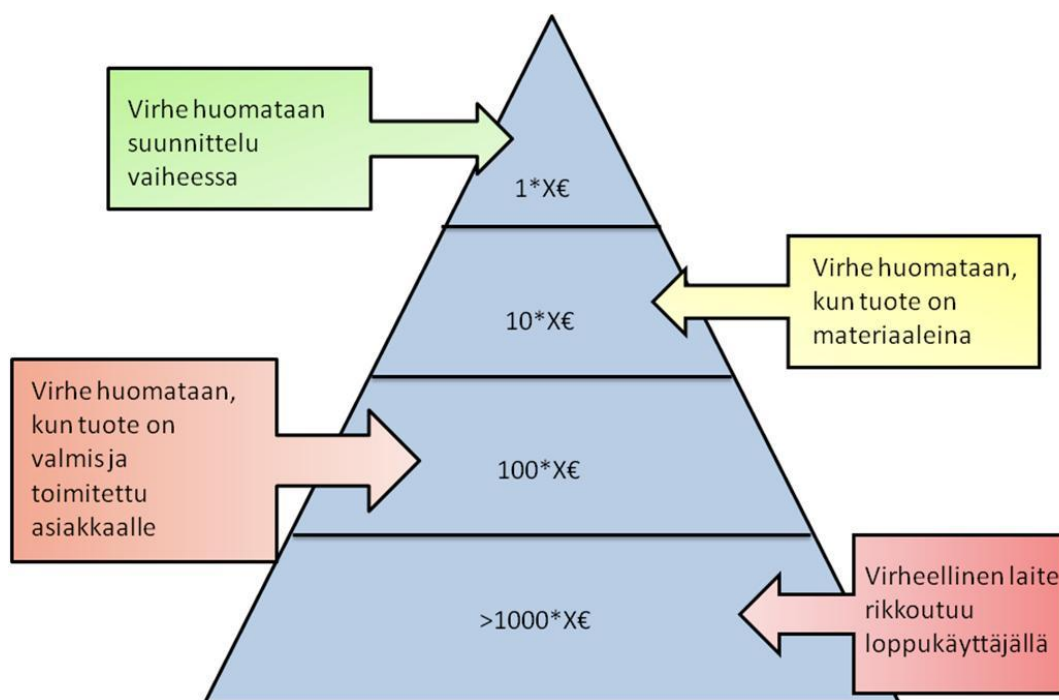
Kuva 1. Vacon NX -taajuusmuuttajien lohkokaavio /10/

Taajuusmuuttajan yksinkertaistettu toimintaperiaate: Taajuusmuuttajaan sähköverkosta syötetty vaihtojännite muutetaan tasajännitteeksi diodisiltojen avulla, tasajännite ohjataan välipiirille, jossa kondensaattorit varastoivat sähköenergiaa ja tekevät tasajännitteestä tasaisempaa. Seuraavaksi tasajännite kulkee vaihtosuuntaajalle, jossa tasajännitteestä muokataan halutun taajuista vaihtojännitettä, joka syötetään sähkömoottorille.

3 TUOTANNONTESTAUS

Tuotannontestauksen tavoitteena on estää virheellisen tuotteen pääseminen asiakkaalle. Testauksella pyritään takaamaan laitteen toimivuus, kuten se on suunniteltu. Tuotteen laadulla on ratkaiseva merkitys yrityksen maineeseen ja menestymiseen, siispä tuotannontestauksesta pyritään tekemään mahdollisimman kattava, jotta vialliset tuotteet eivät joutuisi asiakkaalle. Hyvä laatu täyttää asiakkaiden tarpeet, vaatimukset ja odotukset sekä lisää asiakaskysyntää. /6/

Kustannusten kannalta on tärkeää, että mahdollinen virhe havaitaan mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Virheen korjaaminen tuotannossa tulee monin kerrin halvemmaksi, kuin virhe joka havaitaan vasta asiakkaalla. Kuva 2 selventää sitä, miten paljon halvemmaksi tulee huomata virhe ajoissa. /6/



Kuva 2. Virheen kustannusvaikutus tuoteketjun eri vaiheissa /6/

Tuotannontestausta varten tehdään testispesifikaatio, jossa määritellään mitä tuotteesta täytyy testata ja miten. Testispesifikaatioissa rajataan myös toleranssirajat, sekä ehdot testin läpäisylle. Puhemielessä testispesifikaatiosta käytetään usein nimitystä ”testispeksi”.

Testin kattavuudelle pyritään löytämään mahdollisimman hyvä kompromissi kustannusten ja laadun suhteen. Testin kattavuus on harvoin 100-prosenttia, mutta monesti vähemmänkin kattava testi on riittävä, sillä laaja testaus nostaisi kustannukset liian suureksi.

Yleisempiä piirikorttien tuotannossa ilmeneviä vikoja, joita tuotannontestauksella pyritään löytämään

- ladottu väärä komponentti
- komponentti puuttuu kokonaan
- komponentti ladottu väärinpäin
- rikkinäinen komponentti
- tinasillat
- kylmäjuotokset
- oikosulut
- katkonainen reititys

4 TESTAUSMENETELMIÄ

4.1 Visuaalinen tarkistus

Visuaalinen tarkistus on yleensä ensimmäinen vaihe korttitestauksessa, heti komponenttien ladonnan ja juotosten jälkeen. Visuaalinen tarkistus voidaan suorittaa, joko silmämääräisesti tai konenäön avulla.

Silmämääräisessä tarkistuksessa tarkistetaan manuaalisesti, että laitteeseen on asennettu tarvittavat komponentit, kuten liittimet ja jumpperit yms. Tarkistuksessa voidaan etsiä myös tinasiltoja.

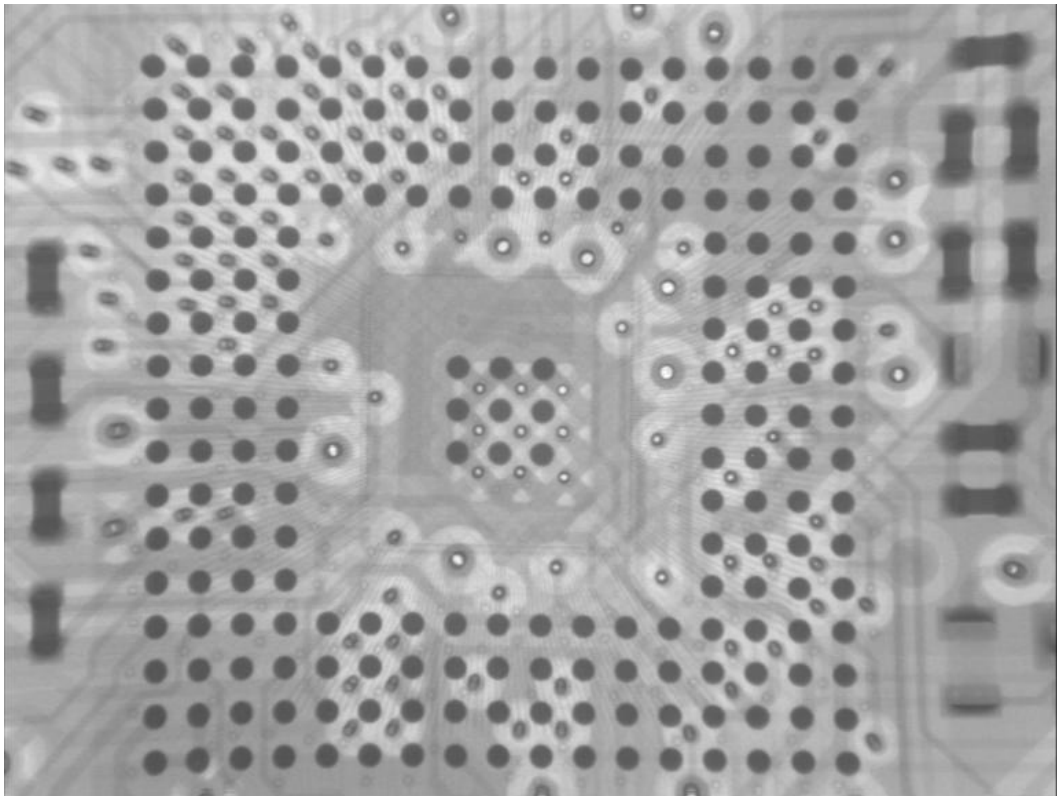
Automatic optical inspection eli konenäön avulla suoritettussa testissä kone vertaa tarkasti näkemäänsä sille ennalta määriteltyyn oletuskuvaan ja etsii poikkeavuuksia. Konenäön avulla tehdyt havainnot voidaan tallentaa myöhempää tarkastelua varten. AOI:n etuna manuaaliseen tarkistukseen on, että se jaksaa tarkastaa väsymättä aina samat asiat, eikä huolimattomuusvirheitä pääse syntymään. AOI:llä voidaan tarkistaa myös komponenttien arvoja tai IC-piirien tyyppejä, mikäli ne on merkitty komponenttiin. /7/

Visuaalinen tarkastus on hyvä pitää lähes aina mukana korttitestauksessa, koska sen avulla voidaan havaita helposti ja nopeasti sellaisia asioita, joiden huomaaminen muilla menetelmillä olisi hitaampaa, esimerkiksi komponenttien ladonnan ja juotosten tarkastus. Nopeasta tarkistuksesta on etua, koska tuotanto voidaan keskeyttää nopeasti virheen huomattua, eikä esimerkiksi väärin ladottuja piirikortteja ehdi syntymään paljoa. Visuaalisella tarkastuksella ei kuitenkaan voida havainnoida sähköisiltä arvoiltaan viallisia komponentteja tai kylmäjuotoksia. Visuaalinen tarkastus ei ole yksistään riittävä takaamaan laitteen toimintaa, mutta se on hyvä osa testausprosessia. /7/

4.2 AXI-testaus

Automatic X-ray inspection on testausmenetelmä, joka perustuu röntgensäteellä tehtävään tarkasteluun. Menetelmän avulla voidaan tutkia vastaavia asioita, kuin AOI:llä. Lisäksi AXI:lla voidaan tutkia piirikortilla olevien juotosten sisäisiä omi-

naisuuksia, kuten juotoksissa mahdollisesti ilmeneviä kaasukuplia, sekä yleistä juotoslaatua. AXI:a voidaan käyttää myös koteloitujen BGA- ja CSP-komponenttien juotosten tutkimiseen, joita ei voi AOI:llä nähdä. AXI:llä virheiden havainnointi on myös nopeaa, aivan kuten AOI:llä. Kuvassa 3 on AXI-menetelmällä otettu kuva BGA-piirin juotoksista. /8/



Kuva 3. BGA-piirin juotokset

AXI-menetelmästä on hyötyä etenkin prototyyppien testauksessa, joissa ei kannata käyttää kallista ICT-menetelmää, sillä AXI on nopea ja halpa ohjelmoida. /1/

4.3 ICT-testaus

In-circuit test testillä tarkoitetaan piirikortille tehtäviä sisäisiä mittauksia. Mittaukset suoritetaan yleensä heti visuaalisen tarkastuksen jälkeen.

ICT-mittauksissa piirikorttiin ei kytketä käyttöjännitteitä eli piirikortti on passiivitilassa, mutta tarvittaessa mittauksissa voidaan kuitenkin käyttää herätejännitteitä.

ICT-mittauksilla pyritään selvittämään, että piirikortille on ladottu oikeat komponentit oikein päin ja komponentit on sähköisiltä arvoiltaan spesifikaation mukaiset. Mittauksen kohteena voi olla esimerkiksi vastukset, diodit ja kondensaattorit, joita ei voida mitata toiminnallisen testin aikana. Puolijohdekomponenttien ICT-testauksessa tulee käyttää herätejännitettä, koska resistanssimittaukset eri kantojen välillä, esimerkiksi transistorien ja tyristorien testauksessa eivät ole riittäviä takamaan komponentin oikeaa toimintaa. ICT-mittauksilla pyritään selvittämään myös mahdollisia oikosulkuja ja kylmäjuotoksia, mutta ICT-mittauksilla ei voida tutkia piirikortin toiminnallisia ominaisuuksia.

Tyypillisesti ICT-mittaukset suoritetaan Fixture-testilaitteella, jossa monista testineuloista koostuva neulapeti asetetaan piirikorttia vasten. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää myös Flying probe -testeriä, jossa on muutamia liikkuvia testineuloja, jotka voidaan ohjelmoida tekemään piirikortille tarvittavat mittaukset. Flying probe -testilaitteella tehtävä testaus on hitaampaa kuin Fixture-testilaitteella. Flying probea käytetään enemmän prototestauksessa, koska sen avulla on helppo reagoida piirikortin rakennemuutoksiin. Flying probe -menetelmää voidaan käyttää myös piirikorteilla, joita tuotetaan pieniä määriä, jolloin Fixture-testerin valmistaminen ei ole kannattavaa. Flying probe -testausta voidaan käyttää myös piirikorttien ensimmäiselle tuotantosarjalle, kunnes varsinainen testeri valmistuu. Flying probe -testi voidaan generoida kohtuullisen helposti suoraan suunnittelu-tiedostoista (netlist).

Molemmilla testauslaitteilla, piirikortilla tulee olla vapaa pääsy jokaiselle testineulalle. Näin voidaan löytää jopa 98% virheistä, sekä virhe voidaan paikallistaa komponenttitasolle. Testipisteiden lisääminen voi olla haasteellista, mikäli kortilla on käytössä esimerkiksi koteloituja komponentteja tai piirikortti muodostuu useista eri kerroksista. /9/

Elektroniikkasuunnittelun suuntaus on yhä korkeamman kalustustiheyden saavuttaminen. Tähän on päästy käyttämällä fyysisesti pienempiä komponentteja sekä nykyaikaisia piirilevytekniikoita. On havaittu, että ICT- testaussuunnittelu tulee ottaa huomioon jo kytkentäkaavion suunnitteluvaiheessa, koska tarvittavalla testi-

pistemäärällä voi olla vaikutusta piirikortin fyysisiin mittoihin. Mikäli piirikortille tulee muutoksia, niin yleensä myös piirikorttiteri tarvitsee päivityksen.

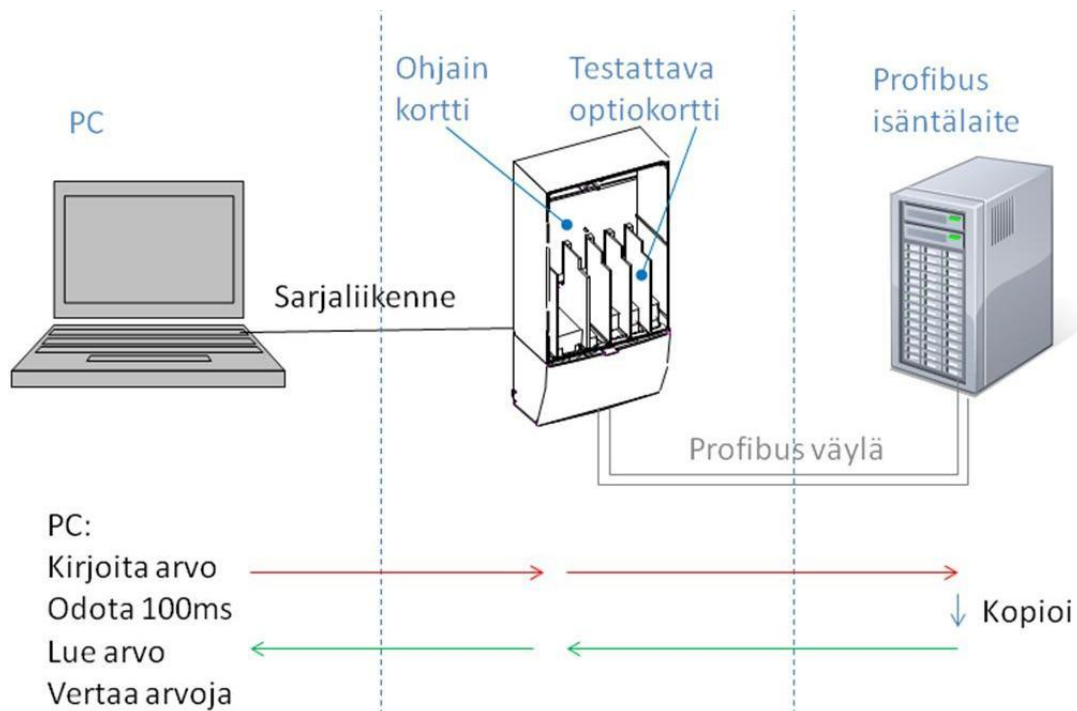
4.4 Toiminnallinen testaus

Toiminnallisessa testauksessa piirikortille suoritetaan mittauksia aktiivitulassa, eli piirikortille on kytketty käyttöjännitteet. Toiminnantestauksella pyritään selvittämään piirikortin spesifikaation mukainen toiminta, eli etsitään laitteesta toiminnallisia vikoja. Mittauksilla voidaan mitata muun muassa käyttöjännitteitä, virtoja ja taajuuksia. Toiminnan testillä pyritään löytämään kaikkia mahdollisia ladontavikoja, mutta usein vian paikallistaminen komponenttitasolle on vaikeaa.

Testilaitte on samankaltainen Fixture-testauslaitte kuin ICT-mittauksilla, mutta tarvittavien testineulojen määrä on pienempi. Toiminnan testit voidaan suorittaa myös Flying probe -testauslaitteella.

Piirikortin toimintaa voidaan testata myös suorittamalla piirikortille lyhyt demokäyttö eli käytännön testi. Käytännön testillä testataan yleensä isoja ja monimutkaisia toiminnallisia lohkoja, joiden toiminnan toteaminen voi olla ICT-testeillä hankalaa, koska toiminnan toteaminen vaatii piirikortin ohjelmistoja. Rakenteeltaan testi on yleensä samankaltainen, kuin piirikortille suunniteltu käyttö. Testissä voidaan käyttää FATE-testilaitetta, joka simuloi piirikortille tarkoitettua käyttöympäristöä, tai sitten voidaan testata piirikorttia todellisessa käyttöympäristössä. Ennen varsinaista testiä, piirikortille täytyy ladata ohjelmisto, joka sisältää bootladerin ja mahdollisesti sovellus-ohjelmiston (firmware). Sovellus-ohjelmakoodi on tallennettu haihtumattomaan muistiin, esimerkiksi flash-muistiin. Bootlader -ohjelma käynnistää varsinaisen sovellus-ohjelman suorittamalla ensin flash-muistissa olevan koodin, joka konfiguroi mikroprosessorin rekisterit sekä tarkistaa, että sovellus-ohjelma löytyy. Bootlader ohjelmaan voidaan sisällyttää testikomentoja, joita voidaan käyttää piirikortin testauksessa, näin varsinaista sovellus-ohjelman asennusta ei välttämättä tarvita testausvaiheessa. Varsinainen testi suoritetaan yleensä piirikortin omista liittimistä, jolloin testi on mahdollisimman lähellä kortin lopullista käyttötarkoitusta. Esimerkiksi Profibus kenttäväyläkortin testauksessa voidaan käyttää toimivaa PLC-logiikkaa ja todeta, että liikenne toimii

profibus isäntälaitteen ja testattavan piirikortin eli orjalaitteen välillä. Kuvassa 4 on kuvattu profibus kenttäväyläkortin käytännön testauksen testikokoonpano sekä testin kulkua.



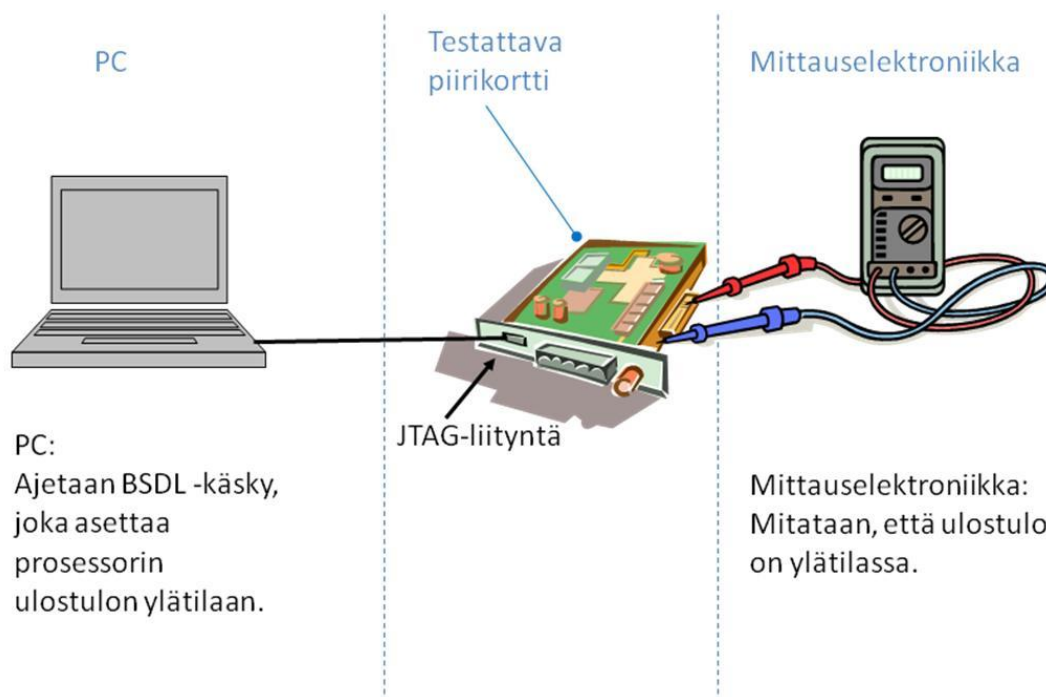
Kuva 4. Liikenne PC:n, testattavan piirikortin ja profibus isäntälaitteen välillä.

4.5 Boundary scan

Boundary scan on 1990-luvulla kehitetty testausmenetelmä, joka perustuu JTAG:in kehittämään IEEE 1149.1 standardiin. Toimiakseen Boundary scan vaatii laitteelta protokollaa tukevat mikropiirit. Nykyisin merkittävä osa markkinoilla olevista mikroprosessoreista tukee Boundary scan testiprotokollaa. Menetelmässä laitteella on kaksi tilaa, normaalitila ja testitila. Normaalitilassa laite toimii normaalisti, niin kuin on suunniteltu. Testitilassa käytetään BSDL-kuvauskieltä, joka koostuu pakollisista, valinnaisista ja vapaasti muokattavista osioista. BSDL-kielen avulla ohjelmoidaan halutut testitoiminnot. /3/ /4/

Boundary scanin avulla voidaan ohjata piirin sisään- ja ulostuloja, sekä kaapata signaaleja ja ohjelmoida piirejä. Menetelmän avulla voidaan havaita monia virheitä, kuten puuttuva tai väärä komponentti. Esimerkiksi linjan testaus kahden eri

laitteen välillä onnistuu helposti kirjoittamalla tunnettu arvo toisen laitteen ulostulopuskuriin ja samalla tarkkailemalla toisen laitteen sisääntulopuskuria. Virhe voidaan paikallistaa komponenttitasolle, näin vian etsintä ja korjaus helpottuu. Myös tinasillat, kylmäjuotokset ja katkonaiset reititykset voidaan todeta Boundary scan menetelmällä. Kuvassa 5 on kuvattu Boundary scanin ja testauslaitteiston toimintaa testattaessa prosessorin I/O-liityntöjä, sekä piirikortilla olevien reititysten kuntoa. /5/



Kuva 5. I/O-liityntöjen testaus Boundary scan menetelmällä

Boundary scan menetelmää käyttämällä voidaan säästää aikaa ja rahaa, koska monimutkaista neulapetitesteriä ei välttämättä tarvita. Menetelmän avulla voidaan korvata ICT- ja toiminnantestejä, lisäksi testilaitteisto on yksinkertaisempi. Menetelmää kannattaa käyttää etenkin silloin, kun piirikortille on vaikeaa tai liian kallista toteuttaa ICT-testausta ja käytännön testin suorittaminen ei ole kannattavaa tai mahdollista, johtuen esimerkiksi piirikortin monimutkaisuudesta. Menetelmän avulla voidaan testata myös koteloitujen komponenttien toiminta, sekä suorittaa mittauksia monikerrospiirilevyille, jotka ovat usein haasteellisia muille testausmenetelmille. Boundary scan menetelmällä voidaan myös nopeasti ja kustannustehokkaasti vastata piirikortin layout muutoksiin, koska muutokset pystytään teke-

mään ohjelmallisesti, eikä testerin rakenteellista päivitystä välttämättä tarvita. Haasteita menetelmän käytölle asettaa testiscriptien kirjoittaminen, sekä lisäksi komponenteilta tulee lyötyä IEEE 1149.1 tuki. Boundary scan menetelmää voidaan kuitenkin hyödyntää osittain, vaikka tukea ei löytyisikään kaikilta komponenteilta.

5 KONSEPTIN SUUNNITTELU TUOTANTOTESTEREILLE

5.1 Määrittely

Tavoitteena on suunnitella toimiva testauskonsepti, jota voidaan hyödyntää mahdollisimman monen eri piirikortin tuotannontestauksessa. Konseptin tarkoituksena on luoda toimiva testausmalli, jonka avulla voidaan löytää mahdolliset viat piirikorttien tuotantovaiheessa, eli testata että kortti toimii niin kuin se on suunniteltu.

Konseptissa otetaan kantaa eri testausmenetelmien soveltuvuudesta erilaisissa tilanteissa ja millä menetelmillä saavutetaan mahdollisimman kattava testi, sekä miten eri menetelmät kannattaa määritellä testispesifikaatioon. Lisäksi pyritään kartoittamaan testauksessa syntyviä kustannuksia ja optimoimaan testausprosessia kustannustehokkaaksi. Lisäksi konseptissa mietitään myös testeille yhteisiä toleransseja ja hyväksymisrajoja sekä yhteistä testiliityntää, jota voitaisiin käyttää monella eri piirikortilla. Konseptissa käsiteltävien asioiden helpomman ymmärtämisen kannalta, on konseptissa kerrottu myös jonkin verran teoriataustaa.

Suunnittelua aloittaessa usealla erilaisella piirikortilla on oma testeri ja testispesifikaatioissa on eroavaisuuksia. Konseptiajattelumallilla pyritään selkeyttämään ja yhdenmukaistamaan testausprosessia siten, että mahdollisimman monella eri piirikortilla voitaisiin käyttää samaa testeriä, vain pienin muutoksin sekä testispesifikaatiot noudattaisivat samaa kaavaa. Näin saavutettaisiin säästöä testauskustannuksissa, sekä testispesifikaation laatiminen helpottuisi, kun pohjana olisi aina sama testausmalli. Konseptimallin avulla voitaisiin myös nopeuttaa tulevaisuudessa uusien tuotteiden markkinoille tuloa, koska tuotannon testauksen suunnittelu veisi vähemmän aikaa.

5.2 Testispesifikaatio

Konseptissa keskitytään ensimmäiseksi testispesifikaatioon, joka on olennaisin osa tuotannontestausta. Testispesifikaatiosta on pyritty tekemään mahdollisimman selkeä, joka etenee samassa järjestyksessä, kuin testausprosessi. Kullekin piirikortille voidaan luoda oma testispesifikaatio käyttäen hyväksi kyseistä mallia, josta voidaan jättää ne kohdat pois, jotka eivät ole relevantteja kyseisen piirikortin tuo-

tannontestauksessa. Mallissa on kerrottu joitain mittauksia, jotka olisi hyvä suorittaa kaikille piirikorteille, testattavan piirikortin ja testilaitteiston vaurioiden välttämiseksi, sekä turvallisuuden vuoksi.

Testispesifikaation rakenne vaiheittain:

Versio historia (Revision History)

1. Testattava laite (Device under test DUT)
2. Laitteen tekniset tiedot (Technical information of DUT)
3. Laitteen testausmenetelmät (Test methods of DUT)
4. Testisekvenssi (Test sequence)
 - 4.1 Visuaalinen tarkastus/AOI/AXI (Visual test/AOI/AXI)
 - 4.2 Passiiviset mittaukset (Passive measurements)
 - 4.3 Toiminnantestaus (Functional test)
 - 4.3.1 Käyttöjännitteet (Supply voltages)
 - 4.3.2 IEEE 1149.1
 - 4.3.3 Ohjelmisto ja identifiointi (Software and identification)
 - 4.3.4 Käytännön testi (Practical test)
5. Testipisteiden kuvaus (Test point description)
6. Ohjelmiston määrittely (Software definitions)
7. Muuta (Other)

Ensimmäisenä testispesifikaatiossa on versiohistoria, johon merkitään kaikki muutokset, joita dokumenttiin on tehty. Versiohistoria on tärkeä osa testispesifikaatiota, koska sen avulla voidaan myöhemmin seurata dokumenttiin tehtyjä muu-

toksia, sekä sitä koska ja kuka muutokset on tehnyt. Lisäksi versiohistoriasta voidaan varmistaa, että piirikorttien tuotannon testauksessa käytetään testispesifikaation viimeisintä versiota. Versiohistoria määritellään kuten taulukossa 1

Taulukko 1. Versiohistoria.

VERSIOHISTORIA: (REVISION HISTORY)			
VERSIO (REV)	PÄIVÄMÄÄ- RÄ (DATE)	TEKIJÄ (AUTHOR)	KUVAUS (DESCRIPTION)
A	dd.mm.yyyy		Kerrotaan mitä muutoksia tai lisäyksiä dokumenttiin on tehty.

Testispesifikaation testattava laite -kohdassa kerrotaan yleinen kuvaus testattavasta laitteesta, esimerkiksi mihin laitetta käytetään, sekä lyhyesti laitteen toiminnasta.

Testitiedot -kohdassa määritellään piirikortin tyyppi ja sarjanumerot, jotka testataan kyseisellä testispesifikaatiolla. Sarjanumeroita voi olla useita, koska usein piirikortin erilaiset kalustusvaihtoehdot omaavat kukin oman sarjanumeronsa. Lisäksi listataan piirikorttiin liittyvien tiedostojen nimet, joista löytyy piirilevy, kytkentäkaavio, osaluettelo ja testipistelistaus. Testitietojen määrittely on kuvattu taulukossa 2.

Taulukko 2. Testitiedot

Dokumentti (Document)	Tunnus (Code)
Tyyppi (Board type)	Esimerkiksi PROFIBUS DP
Tuote (Product)	VBxxxx tai VBxxxx
Piirilevy (PCB)	PCxxxx
Piirikaavio (Schematic Drawing)	SCxxxx
Osaluettelo (Part List)	PLxxxx
Testipistelistaus (Test Points)	TPxxxx

Testausmetodeissa määritellään testausmenetelmät, joilla laitetta testataan. Lisäksi kerrotaan myös lyhyesti, mitä kullakin menetelmällä testataan.

Visuaalinen tarkistus on testaussekvenssin ensimmäinen vaihe, joka kannattaa pitää lähes aina mukana. Tarkistuksen laajuutta voidaan muuttaa riippuen testattavasta piirikortista ja muista suoritettavista testeistä. Mikäli tarkistettavia asioita on paljon, kannattaa testi suorittaa AOI:n avulla, mutta pääsääntöisesti muutaman asian tarkistukseen riittää manuaalinen tarkistus. Esimerkiksi optiokortti, josta tarkistetaan liittimet ja jumpperit, tällöin voidaan käyttää manuaalista tarkastusta, koska tarkistettavia kohtia on vähän ja ne on helppo huomata. Näin ollen AOI-tarkistusta ei välttämättä tarvita. Mikäli tarkistettavien komponenttien määrä kasvaa, kannattaa ehdottomasti käyttää AOI:ta. Mikäli piirikortilla on paljon komponentteja esimerkiksi ohituskondensaattoreita, joita ei mitata ICT-mittauksilla, eikä niiden puuttuminen välttämättä ilmene käytännön testissä. Tällöin komponenttien ladonta kannattaa tarkastaa AOI:lla ja näin voidaan jo osittain varmistua toiminnasta, vaikka komponenttien arvoja ei mitattaisikaan. Määrittelyrakenne visuaaliselle tarkastukselle on kuvattu taulukossa 3

Taulukko 3. Visuaalisen tarkastuksen määrittäminen

Testinumero (Step)	Tuotevariaatio (Product variant)	Testattava komponentti (Test object)	Hyväksymiskriteeri (Test limits)
Juokseva numerointi	Jos testi on erilainen eri tuotevariaatioilla merkataan kenttään tuotteen tilauskoodi	Esimerkiksi liitin - x11	Asennettu/ei asennettu

Visuaalista tarkastusta seuraavat passiiviset ICT-mittaukset, joilla kannattaa testata ainakin maadoitusvastukset ja -kondensaattorit sekä kenttäväyläkorteilla väyläpäätevastus. Maadoitusvastukset ja -kondensaattorit mitataan, koska ne ovat sähköturvallisuuden kannalta tärkeitä komponentteja, jotka suojaavat laitetta ja laitteen käyttäjää. Väyläpäätevastus mitataan, koska testattava laite voi olla kenttäväyläsegmentin alku- tai loppupäässä, jolloin tarvitaan päätevastus estämään signaalin heijastumista. Myös mahdolliset kenttäväylän biassoitivastukset kannattaa mitata, mikäli käytössä on esimerkiksi RS-485 -piiri. EMC:n kannalta oleelliset komponentit kannattaa myös mitata ICT-mittauksilla. Myös muita toiminnan kannalta kriittisiä mittauksia voidaan suorittaa passiivisilla mittauksilla, joita ei voida mitata enää, kun piirikortilla on käyttöjännitteet.

Passiiviset ICT-mittaukset määritellään testispesifikaatioon taulukon 4 osoittamalla tavalla.

Taulukko 4. Mittausten määrittely, sekä esimerkki käytöstä.

Testinumero (Step)	Kuvaus (Description)	Tuotevariaatio (Product variant)	Testipisteet (Test point)		Hyväksymiskriteeri & suure (Value, incl. limits & unit)
			(+,a)	(-,c)	
Juokseva numerointi	Vastus R10	vb1111	X1	X2	100Ω±10%
		vb1112	X3	X4	

Passiivisia ICT-mittauksia seuraa toiminnan testaus. Toiminnan testaus voi pitää sisällään useita eri testausmenetelmiä. Ennen muita toiminnan testejä piirikorttiin tulee kytkeä käyttöjännitteet kontrolloidusti, tarkkailemalla piirin ottamaa kokonaisvirtaa ja mikäli virta ylittää määritellyn rajan täytyy testi keskeyttää välittömästi. Näin voidaan välttyä vaurioilta, joita ylivirta ja oikosulut saattaisivat aiheuttaa, mikäli testiä jatketaan. Käyttöjännitteet mitataan kokonaisvirran pysyessä sallituissa rajoissa ja piirikortin ollessa aktiivitilassa. Kyseinen testi kannattaa tehdä kaikilla piirikorteilla. Mikäli piirikortilla on isoja kondensaattoreita, täytyy suorittaa turvallisuustesti, jolla taataan kondensaattorien varauksen purkautuminen, kun piirikortilta katkaistaan käyttöjännitteet.

Toiminnan testaukseen voidaan käyttää myös Boundary scan -menetelmää, joka on oma testausmenetelmä, mutta testispesifikaatiossa se sisällytetään toiminnan testaukseen. Boundary scan menetelmää on syytä käyttää piirikorteilla, joissa on paljon sisään- ja ulostuloliityntöjä. Näitä ovat esimerkiksi mittakortit ja kontrolkortit.

Toiminnan testauksen sähköiset mittaukset ja Boundary scan -mittaukset määritellään testispesifikaatioon taulukon 4 mukaisesti. Liitteessä 6 on vertailua erilaisten testausmenetelmien välillä, joka auttaa oikean testausmenetelmän valinnassa.

Toiminnan testauksen jälkeen piirikortin tunnistetiedot tallennetaan EEPROM-muistiin. Tunnistetiedot sisältävät muun muassa piirikortin sarjanumeron, tehtaan tuotekoodin, testausajankohdan, piirikortin tyyppin.

Bootloader- ja sovellusohjelmistojen lataus piirikortille kannattaa suorittaa sen jälkeen, kun piirikortin rauta on testattu toimivaksi. Näin voidaan välttyä tilanteelta, jossa ohjelmiston lataus epäonnistuu virheellisen piirikortin vuoksi. Turhasta ohjelmiston lataukseen kulutetusta ajasta aiheutuu turhia lisäkustannuksia. Mikäli piirikortin testaukseen käytetään Boundary scan menetelmää, voidaan myös ohjelmistot ladata Boundary scanin avulla. Tämä ei kuitenkaan aina ole mahdollista, koska erilliset IC-piirit saattavat aiheuttaa ongelmia, kuten Boundary scan -tuen tai JTAG-liitynnän puuttuminen. Joskus voidaan päätyä tilanteeseen, jossa boot-ohjelmisto ladataan Boundary scanin avulla JTAG-liitynnästä ja varsinainen sovellus-ohjelmisto jonkin muun, kuten sarjaliitynnän kautta.

Käytännön testi toimii parhaiten monilla optiokorteilla, joiden toiminta on riittävän yksinkertainen, ja sisään- ja ulostuloliityntöjä ei ole paljoa. Esimerkiksi control-korteilla ei kannata suorittaa käytännön testiä, vaikka sillä saataisiinkin testattua kaikki liitynnät, kuluisi siihen liian paljon aikaa. Mikäli käytännön testissä ilmenee vikoja, niin tällöin on käytetty turhaan testausaikaa ennen testiä suoritettuun ohjelmistojen lataukseen. Käytännön testaus määritellään testispesifikaatioon taulukon 5 osoittamalla tavalla.

Taulukko 5. Käytännöntestin määrittely, sekä esimerkki sen käytöstä.

Testinumero (Step)	Kuvaus (Description)	Kohde (Target)	Testidata (Test data)	Hyväksymiskriteeri (Approval criteria)
Juokseva numerointi	Kysy laitteen tyyppi	Tässä kentässä voidaan määrittellä jumppeiden yms. asento ennen testiä	40 00 10 00	Isäntälaitte lähettää määritellyn datan
	Lue vastaus			Orjalaite vastaa. 43 00 10 00 92 01 01 00

Testipisteiden kuvausosiossa kerrotaan testipisteiden sijainti piirikortilla, joista mittaukset tullaan suorittamaan. Yleensä testipisteiden sijainnit toimitetaan eri dokumentissa, jolloin testispesifikaatiossa viitataan tähän dokumenttiin.

Testispesifikaation kohdassa, ohjelmiston määrittely, kuvataan kaikki testikomennot ja datarakenteet, joita käytetään toiminnan testauksessa. Eri tiedostojen kuvaamiseen käytetään taulukon 6 osoittamaa mallia.

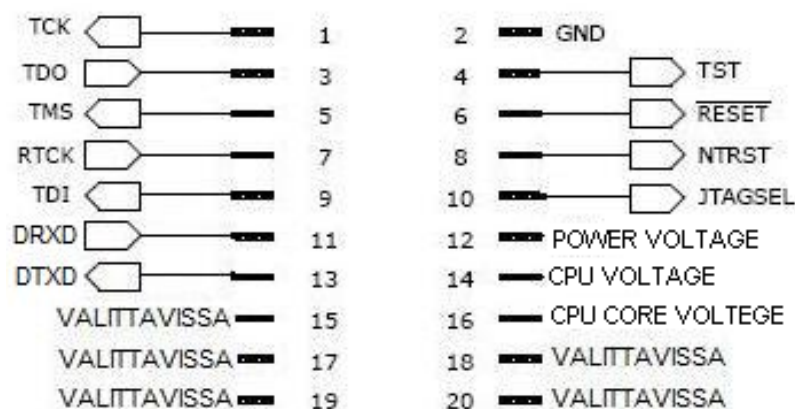
Taulukko 6. Tiedostojen kuvaus.

Tiedoston kuvaus (File Description)	Tiedoston nimi (Name of file(s))	Kommentti (Comment)
Määritellään mitä tiedosto tekee, esimerkiksi boot.	Tiedoston nimi ja -päätte, esimerkiksi mboot_MC56F8037.elf	

Testispesifikaation lopussa määritellään piirikortille tehdasasetukset. Tehdasasetuksia voi olla esimerkiksi jumpperien sijainti ja kytkimien asento. Myös mahdollisten piirikortille liimattavien tarrojen sijainti voidaan määrittää testispesifikaatiossa, sekä ohjeistaa kortin paketoinnissa. Fyysisten asetusten määrittämisessä kannattaa käyttää selventäviä kuvia.

5.3 Liitynnät

Piirikorteille kannattaa suunnitella yhteinen testiliityntä, jota voidaan käyttää korttien tuotannontestauksessa. Yhteinen testiliityntä helpottaa saman testerin käyttöä vain pienin muutoksin. Liitynnässä kannattaa säilyttää ainakin käyttöjännitteet samoilla paikoilla, sekä mahdolliseen JTAG-liityntään tarvittavat pinnit. Testiliityntään on hyvä myös varata muutamia vapaasti valittavia pinnejä, joita voidaan käyttää tarpeen mukaan. Kuvassa 6 on esitelty testiliityntä, joka sisältää JTAG IEEE 1149.1.



Kuva 6. Testi- ja IEEE 1149.1 -liityntä

Kuvan 6 testiliitynnän avulla pystytään mittaamaan piirikortilta eri käyttöjännitteet ja käyttämään JTAG:n ominaisuuksia, esimerkiksi etsimään vikoja ohjelmistosta, sekä käyttämään Boundary scania. Selitykset kuvan 6 lyhenteille löytyy liitteestä 1.

5.4 Hyväksymiskriteerit ja toleranssit

Hyväksymiskriteereillä ja toleransseilla määritellään sallitut rajat, joiden sisällä täytyy mittaustuloksen pysyä, jotta testi voidaan läpäistä hyväksytysti. Erilaisten piirikorttien välillä kannattaa testispesifikaatiossa käyttää yhteisiä toleransseja niin paljon kuin mahdollista, näin pystytään yhdenmukaistamaan testausta ja sen määrittelyä.

Passiivisissa ICT-mittauksissa voidaan käyttää apuna komponentin valmistajan ilmoittamia toleransseja, joita muutetaan väljemmiksi vaatimusten mukaan, mikäli kohde ei ole kriittinen. Toleranssi voi kuitenkin olla maksimissaan komponentti-valmistajan ilmoittamalla tasolla.

Toiminnan testauksessa toleranssien määrittäminen aloitetaan tutustumalla testattavalle piirikortille jo kehitysvaiheessa tehtyihin mittaustuloksiin ja määrityksiin. Lisäksi apuna käytetään komponenttien datalehtiä, joista nähdään sähköiset ominaisarvot, joilla komponentti toimii suunnitellusti. Esimerkiksi käyttöjännitteiden toleranssit tulee määritellä sen komponentin mukaan, jolle komponentin valmistaja on määritellyt pienimmän vaihtelalueen. Toiminnan testauksessa virtojen ja jännitteiden toleranssit määritellään vähintään 2% tiukemmiksi, kuin datalehdissä olevat valmistajan ilmoittamat arvot, jolloin saadaan lisävarmuutta piirikortin toiminnalle erilaisissa olosuhteissa. Piirikorttien tuotannon testauksessa ei käytetä yhtä tiukkoja toleransseja, kuin piirikorttien kehitysvaiheessa suoritettavassa testauksessa. Näin ollen toiminnan testiin sopivat toleranssit löytyvät usein suunnitteluvaiheessa käytettyjen toleranssien ja komponenttien valmistajan ilmoittamien toleranssien väliltä.

Taulukossa 7 on määritelty esimerkkejä ICT- ja toiminnanmittauksissa käytettävistä yhteisistä toleransseista ja hyväksymiskriteereistä.

Taulukko 7. Esimerkkejä toleransseille ja hyväksymiskriteereille

ICT		Toleranssi
Maadoitus vastus, monissa tapauksissa voidaan käyttää myös muille vastuksille.		$\pm 10\%$
Maadoitus kondensaattori		$-30\% \dots +50\%$
Toiminnallinen testaus		Toleranssi
Ulkoinen jännitelähde piirikortille	esimerkiksi 24V	$\pm 5\%$
Piirikortin jännitelähde	5V	$\pm 3\%$
*CPU:n jännite	3.3V	$\pm 3\%$
*CPU:n ytimen jännite	1.8V	$\pm 3\%$
*Digitaalinen I/O, jännite ylätila		$+0.5\%$
*Digitaalinen I/O, jännite alatala		-5.0%
*Atmel AT91SAM -sarjan mikroprosessori		

5.5 Tuotannon testauskustannukset

Tuotannon testauskustannuksilla tarkoitetaan kuluja, joita aiheutuu piirikortin toiminnan takaamiseksi. Testauskustannukset muodostuvat erilaisista tekijöistä, kuten testauksen suunnittelusta ja määrittämisestä, testauslaitteistosta, varsinaisesta testauksesta ja siihen käytetystä ajasta.

Testauksen suunnittelu kannattaa tehdä huolella, koska hyvin ja oikein suunnitellulla testauksella voidaan saada aikaan suuria säästöjä. Testauksesta kannattaa laatia suunnitelma, jossa analysoidaan erilaisten testausmenetelmien tai niiden yhdistelmien sopivuutta kullekin tuotteelle, sekä kuinka kattava testi kannattaa suorittaa.

taa. Piirikortin testaus tulisi ottaa huomioon jo tuotteen kehitysvaiheessa, näin voidaan taata testauksen kannalta riittävät testipisteet ja liittynät. Usein piirikortin testilaitteiston valmistaa testispesifikaation pohjalta toinen osapuoli. Testispesifikaatio tulee laatia tarkasti, jotta kaikki haluttu ja tarvittava tulee testattua.

Piirikorttitesterin määrittelyssä tulee huomioida mahdollisuus, että samaa testeriä voidaan käyttää useammalla samantyyppisellä piirikortilla. Erilaiset liittytävävaihtoehdot, kuten myös eri käyttöjännitevaihtoehdot tulee määrittellä testispesifikaatioon.

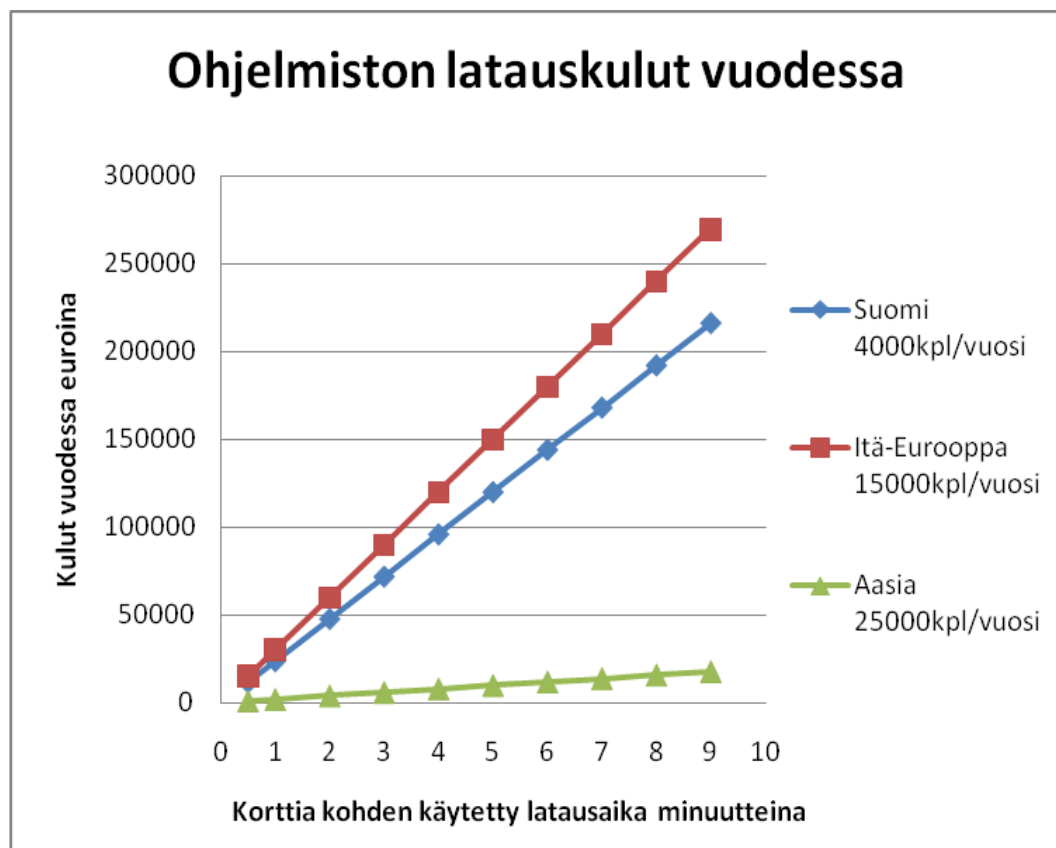
Piirikorteille tehtävä testaus laskutetaan yleensä minuuttihinnalla. Siispä testaukseen kuluvan ajan optimoiminen saattaa olla kannattavaa. Esimerkiksi, jos ohjelmiston latausajat ovat pitkiä, niin täytyy miettiä onko kannattavaa tehdä laajaa toiminnan testausta, jolloin joudutaan käyttämään testausaikaa ohjelmistojen lataukseen. Tuotannon testauksen aikahinnoittelu on taulukossa 8.

Taulukko 8. Testausajan laskutus

Valmistus paikka	Hinta/min
Suomi	noin 60 senttiä/min
Itä-Eurooppa	noin 20 senttiä/min
Aasia	noin 0.80 senttiä/min

Taulukosta 8 nähdään, että piirikortin valmistusmaalla on suuri merkitys testauskustannuksiin. Normaalisti Suomessa kannattaa valmistaa piirikortteja vain pieniä määriä, joiden menekki vuodessa on muutamia tuhansia. Suuremmat tuotantomäärät kannattaa siirtää maihin, joissa työvoima on halvempaa. Mikäli testiajat pystytään pitämään todella lyhyinä ja käsityövaiheita ei ole, tällöin Suomessa voidaan valmistaa kustannustehokkaasti myös suurempia sarjoja, mutta tämä vaatii huippuunsa kehitettyä prosessia. Piirikortin tuleva valmistusmaa vaikuttaa siihen miten paljon kannattaa optimoida, esimerkiksi ohjelmiston latausaikaa. Sillä Suo-

messa minuutin mittainen ohjelmiston lataus maksaa liki 80 kertaa enemmän kuin Aasiassa. Koska eri maissa on piirikorteilla erikokoiset tuotantomäärät, kannattaa tutkia tilannetta kullekin maalle ominaisella myyntimäärällä. Johtuen siitä, että Aasiaan ei taloudellisesti kannata viedä piirikortteja, joita myydään vuodessa vain muutamia tuhansia.



Kuva 7. Ohjelmiston latauskulut vuodessa, laskettuna kullekin maalle tyypillisellä tuotantomäärällä.

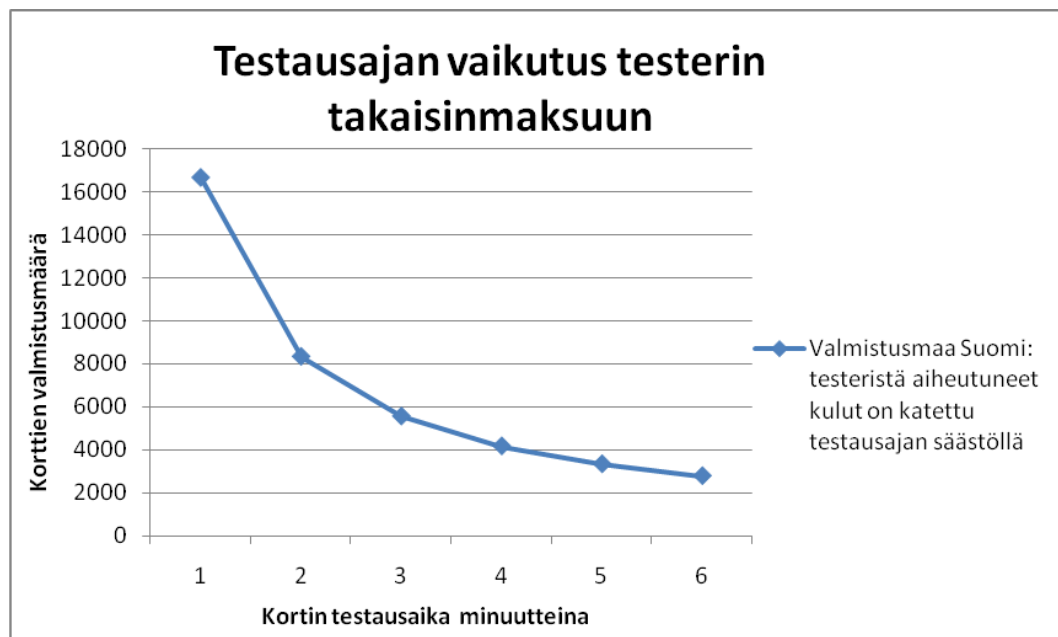
Kuvasta 7 voidaan havaita, että Aasiassa ei suurista tuotantomääristä huolimatta ole juurikaan vaikutusta ohjelmiston optimoinnilla, sillä saavutetut taloudelliset säästöt ovat pieniä. Eniten latausaikojen optimoinnista on hyötyä Itä-Euroopassa ja Suomessa valmistetuissa piirikorteissa. Optimointitarpeeseen vaikuttaa myös se, kuinka pitkä on ohjelmiston latausaika verrattuna koko testin pituuteen. Esimerkiksi piirikortti, jolle tehdään vähän ICT- ja toiminnanmittauksia, mutta suoritetaan lyhyt käytännön testi, niin tällöin optimoinnilla saavutetaan enemmän hyötyä, koska ohjelmiston lataus kestää suuremman osan koko testausajasta. Sille,

kuinka kauan ohjelmiston lataus saa enimmillään kestää, ei ole tarkkaa aikarajaa. Sillä tämä on aina tapauskohtainen riippuen siitä, kuinka suuri hyöty käytännön testillä saavutetaan. Kuitenkaan yli 30% koko testausajasta ohjelmiston lataus ei saa kestää.

Ohjelmistojen latausaikaa voidaan optimoida käyttämällä J-link -emulaattoria. Emulaattorin avulla voidaan JTAG-liitynnän kautta ladata ohjelmistot levykopiona suoraan flash-muistiin, käyttäen apuna PC:tä ja sen usb-liityntää. Tämä tapahtuu siten, että suoritetaan normaalisti yhdelle piirikortille erikseen boot-ohjelmiston ja sovellus-ohjelmiston lataus. Tämän jälkeen piirikortin flash-muistista tehdään levykopio, jota ladataan suoraan muille piirikorteille JTAG-liitynnän kautta. Näin pystytään lataamaan kaikki ohjelmistot samanaikaisesti, sekä samasta liitynnästä, jolloin voidaan lyhentää testausaikaa. Lisäksi testausaikaa voidaan lyhentää tarkistamalla flash-muistin tila aina ennen ohjelmiston latausta. Sillä flash-muistin ollessa jo valmiiksi tyhjä, voidaan ohjelmiston lataus suorittaa suoraan, ilman muistin tyhjennystä. Joten flash-muistin tyhjennystä ei kannata tehdä systemaattisesti kaikilla piirikorteilla, koska tyhjennys vie paljon aikaa. Seggerin valmistama ohjelma J-Flash on kätevä työkalu flash-muistin tilan automaattiseen tarkastamiseen, tarvittaessa tyhjäykseen ja ohjelmiston lataukseen.

Tuotannon testauksen vaiheistamisella on myös merkitystä testauskustannuksiin, eli onko testi yksi- vai monivaiheinen. Testauksen ollessa yksivaiheinen voidaan piirikortin testaus suorittaa usein lyhyemmässä ajassa, koska aikaa ei kulu testauskokoonpanon muuttamiseen ja piirikortin siirtelyyn. Monivaiheisessa testissä sen sijaan voidaan testausta suorittaa peräkkäin, eli kun piirikortin testauksen ensimmäinen vaihe on suoritettu ja kortti siirretään toiseen testivaiheeseen, niin tällöin voidaan ottaa uusi piirikortti vapautuneelle testerille. Piirikorttien monivaiheisesta testaamisesta voi olla hyötyä etenkin silloin, kun piirikorteille ladataan kauan ohjelmistoja. Ohjelmiston latautumisen aikana testaaja voi aloittaa jo seuraavan piirikortin testauksen ja näin testausaikaa ei kulu ohjelmiston latautumisen odotteluun. Monivaiheisessa testissä voidaan käyttää helpommin jo olemassa olevaa testauskalustoa, sillä yksivaiheisessa testauksessa testerin on yleensä enemmän yksilöity tietyn tyyppiselle piirikortille.

Seuraavaksi vertaillaan piirikorttien testausta yksitellen ja ladonta-aihoittain. Piirikorttien testauksella ladonta-aihoittain voitaisiin säästää testausaikaa, mikäli testeri pystyisi testaamaan kaikkia ladonta-aihion kortteja samanaikaisesti. Tämä vaatisi monimutkaisempaa testeriä. Menetelmästä olisi hyötyä suurilla tuotantomäärillä, jolloin testausajan säästöstä saatu taloudellinen hyöty olisi suurempi, kuin monimutkaisemmasta testeristä aiheutuneet kulut. Käytännössä tämä tarkoittaa useampaa samanlaista testeriä, jotka toimivat samanaikaisesti rinnan. Esimerkkinä testeri, joka on maksanut 20 000€. Kun tästä testeristä teetätetään toinen kopio, niin tällöin suunnittelun osuus jää pois, joka on noin puolet alkuperäisen testerin hinnasta. Näin pystytään lähes puolittamaan testaukseen kuluva aika. Kustannusten kannalta voidaan todeta, että tämä testeripäivitys maksaa itsensä takaisin noin 3400 testatun piirikortin jälkeen, mikäli testiaika on noin viisi minuuttia ja piirikortin valmistusmaa on Suomi. Kuvassa 8 on kuvattu testausajan vaikutus siihen, kuinka nopeasti esimerkkitapauksen 10 000€ hintainen testeripäivitys saadaan katettua testausajan säästöllä. Useamman testerin käytöstä olisi hyötyä myös mahdollisissa vikaatilanteissa, jolloin yksi testeri on vikaantunut. Tällöin piirikorttien toimitus ei loppuisi täysin, koska testausta voitaisiin jatkaa vielä toisella testerialla.



Kuva 8. Testerin takaisinmaksu

Riskin tälle testaustavalle asettaa se, että piirikortit täytyy irrottaa ladonta-aihiosta testauksen jälkeen, jolloin on riski piirikortin vaurioitumiseen.

Piirikorteille haluttu muoto tehdään piirilevyn valmistusvaiheessa, joko cnc-jyrsimellä tai cnc-urituskoneella. Jyrsintää käytettäessä piirilevy voidaan jyrsiä suoraan haluttuun muotoon tai jättää piirilevy pieniltä alueilta kiinni aihioon. Vuratekniikalla piirilevyille tehdään pitkiä suorita uria, joista se voidaan myöhemmin taittaa irti aihiossa. Monikerrospiirilevyjä ei kuitenkaan saa taittaa, vaan ne täytyy leikata irti aihiossa. Molemmilla menetelmillä syntyy runsaasti likaa ja pölyä, joten piirilevyt täytyy puhdistaa huolellisesti. /2/

Paras irrotusmenetelmä testauksen kannalta on, piirilevytehtaalla tehty cnc-jyrsintä, jossa piirikortti jätetään kiinni aihioon kannaksistaan. Tällöin piirikortit voitaisiin testata aihiossa ja irrottaa varovasti testauksen jälkeen, jolloin piirikorttiin ei kohdistuisi vääntöä, kuten käytettäessä uritusmenetelmää. Piirikortin taivuttaminen saattaa vaurioittaa etenkin BGA-piirien juotoksia. Helpon aihiossa irrottamisen kannalta olisi tärkeää, että piirikorttien kannakkeet on sijoitettu siten, että ne on helppo katkaista. Kannakkeita ei tule sijoittaa esimerkiksi liittimien alle, jolloin liittin saattaa vaurioitua irrotusvaiheessa, koska leikkaussaksilla ei pääse kunnolla kannakkeeseen käsiksi.

Tuotannon testauksesta olisi hyvä kerätä dataa tapahtuneista virheistä. Näin voitaisiin painottaa tuotannon testautta entistä tarkemmin sellaisiin vikatyyppeihin, joita esiintyy eniten. Tuotannon testauksen jatkuvan kehityksen suhteen olisi hyötyä, jos piirikorttien toimittaja raportoisi tapahtuneista virheistä tilaajalle.

6 PROFIBUS-TESTERIN TOTEUTUS

6.1 Profibus

Profibus on avoin kenttäväylästandardi, jota käytetään monissa teollisuuden sekä prosessi- että rakennusautomaatiosovelluksissa. Avoimuuden ja riippumattomuuden takaa Profibus-standardi EN 50170. Profibus-väyläarkkitehtuuri mahdollistaa tietokoneiden ja kenttälaitteiden välisen keskustelun ja eri valmistajien laitteiden välisen kommunikoinnin ilman liitäntämuutoksia. Profibus-väylää voidaan käyttää sekä nopeaan aikakriittiseen tiedonsiirtoon, että laajoihin monimutkaisiin kommunikaatiotehtäviin. /11/ /12/

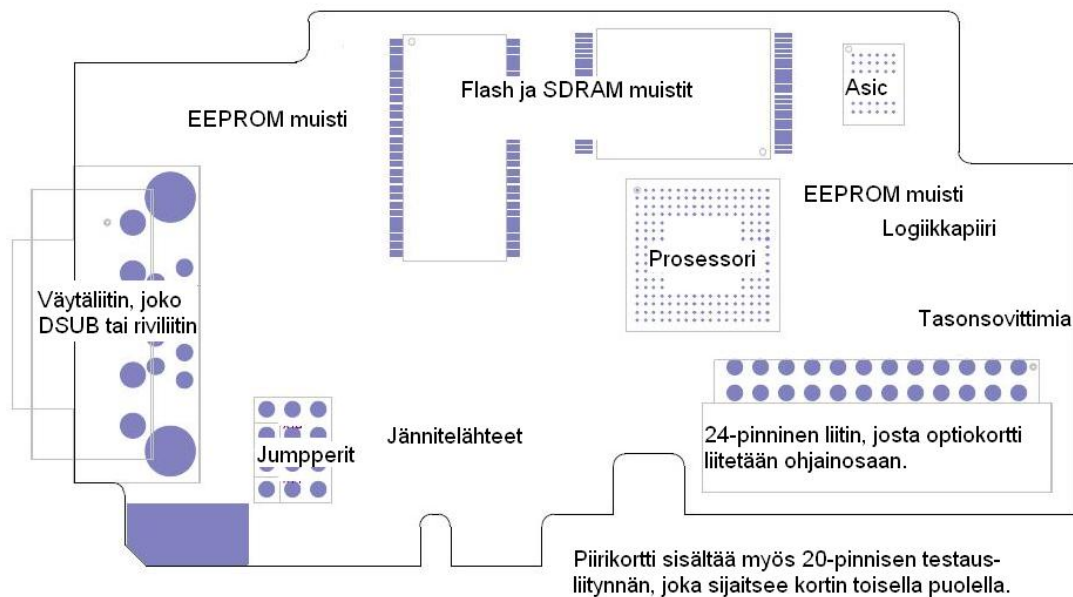
Profibus koostuu kolmesta yhteensopivasta versiosta. Profibus DP on tarkoitettu nopeaan tiedonsiirtoon ja laitteiden edulliseen yhteenkytkentään, joka on suunniteltu erityisesti kommunikointiin automaatiojärjestelmän ja hajautetun laitetason välille. Profibus PA on suunniteltu erityisesti prosessiautomaation tarpeisiin, jonka avulla voidaan yhteen yhteiseen väylään liittää antureita ja toimilaitteita. Profibus FMS on yleiskäyttöinen ratkaisu kommunikointitehtäviin tehdashierarkian solu- ja kenttätasolla, FMS:n tehokkaat palvelut sopivat moneen sovellukseen ja ovat hyvin joustavia. /12/

Profibus määrittää kenttäväyläjärjestelmän toiminnalliset ja tekniset piirteet, joilla laitteita voidaan verkottaa. Profibussissa laitteet jaetaan isäntä- (aktiiviasema) ja orjalaitteisiin (passiiviasema). Isäntälaitteet määrittävät väylällä kulkevan tiedonsiirron. Isäntälaitteet voi lähettää viestejä ilman ulkoista pyyntöä, jos sillä on väylänkäyttövaltuudet. Orjalaitteet ovat oheislaitteita; tyypillisesti I/O-laitteita, venttiileitä ja mittauslähettäjiä. Orjalaitteilla ei ole väylänkäyttövaltuuksia ja ne ainoastaan kuittaavat saapuneita viestejä tai lähettävät isäntälaitteelle viestejä tämän niitä pyydettyä. /12/

Laitteet liitetään Profibusiin väylärakenteella. Yhteen segmenttiin voidaan liittää jopa 32 laitetta (isäntää tai orjaa). Väylä terminoidaan aktiivisella päätevastuksella joka segmentin alussa ja lopussa. Mikäli käytössä on yli 32 laitetta, on syytä käyttää toistimia väyläsegmenttien yhteenliittämiseksi. /12/

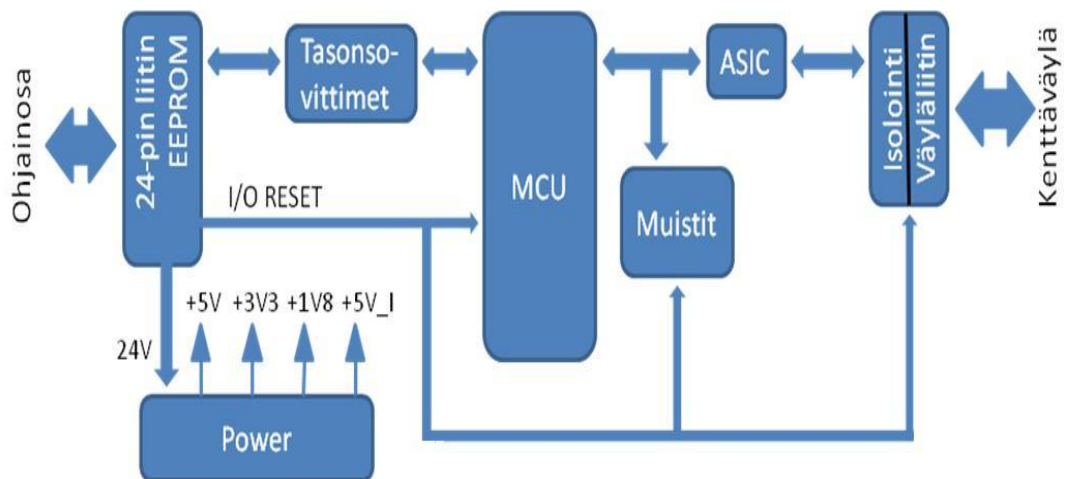
6.2 Profibus DP -optiokortti

Profibus DP -optiokortti on kenttäväyläkortti, Vaconin NX-, Vacon 10- ja Vacon 100-sarjan taajuusmuuttajille. Kenttäväyläkorttia käytetään taajuusmuuttajan ohjaukseen, seurantaan ja konfigurointiin. Kuvassa 8 on kuvattu kortin komponenttirakennetta sekä liityntöjä.



Kuva 9. Profibus DP -optiokortti

Optiokorttia on saatavilla kahdella eri kalustusvaihtoehdolla, joissa kenttäväyläliitin on joko DSUB-liitin tai ruuvattava riviliitin. Optiokortissa on 24-pinninen liitin, josta se liitetään ohjainosaan. Jumpereilla pystytään valitsemaan optiokortille eri maadoitusvaihtoehtoja, sekä kytkemään väylän päätevastus käyttöön. Piirikortin toimintaa ja signaalien kulkua erilaisten komponenttien välillä on kuvattu karkeassa lohkokaaviossa kuvassa 9.



Kuva 10. Profibus DB -piirikortin karkea lohkokaavio

6.3 Testispesifikaatio Profibus DP -optiokortille

Profibus DP -optiokortille kirjoitetaan testispesifikaatio, jonka pohjalta voidaan teettää piirikortille tuotannontestauslaite. Testispesifikaatio kirjoitetaan siten, että se kattaa Profibus DP -piirikortin kaksi erilaista kalustusvariaatiota, jolloin sama piirikortitesteri toimii molemmilla variaatioilla. Lisäksi suunnittelussa on huomioitava piirikortin Modbus kalustusvariaatio, joka on hyvin samankaltainen kuin Profibus DB. Tarkoitus on, että Profibus DP:n testispesifikaatiota ja sen pohjalta valmistettavaa testeriä voidaan hyödyntää myös Modbus optiokortilla.

6.3.1 Mittaukset

Tuotannon testaus Profibus DP -piirikortille suoritettiin käyttämällä ICT-testaus ja toiminnan testaus -strategiaa, sekä suorittamalla muutamia visuaalisia tarkistuksia. Testaus päätettiin painottaa toiminnalliseen testiin, koska piirikortilla on kriittisiä juotoksia muun muassa BGA MCU, BGA ASIC ja isoitu RS485-ohjain, joiden testaaminen on ICT:llä haastavaa. Negatiivista tämän tyypisessä testistrategiassa on ohjelmistojen lataus ennen piirikortin demokäyttöä. Myös mahdollisen vian paikallistaminen voi olla haastavaa. Nämä asiat kuitenkin tiedostettiin ja päätettiin siihen, että kyseinen testistrategia on sopivin Profibus DB -piirikortille, koska toiminnan testillä pystytään takaamaan niin suuri osa komponenttien, juotosten ja reititysten toimivuudesta.

Piirikortin testaus aloitetaan visuaalisella tarkastuksella. Ensin tarkastetaan jumpperien asetukset. Jumpperit määritellään siten, että tulevat mittaukset voidaan suorittaa mahdollisimman pitkälle jumppereita liikuttamatta, näin voidaan lyhentää testiaikaa. Seuraavaksi tarkastetaan kaikki liittimet. Visuaaliselle tarkastukselle riittää manuaalinen tarkastus, koska tarkastettavia komponentteja on vähän ja ne ovat helposti havaittavissa. Lisäksi AOI:n käyttö tarkoittaisi alihankkijalla piirikortin liikuttelua tuotantolinjojen välillä, joten AOI:n käytöstä ei ole niin suurta etua, että tämä olisi kannattavaa.

Visuaalista tarkistusta seuraa passiiviset ICT-mittaukset. Mittaukset aloitetaan maadoitusvastusten ja kondensaattoreiden mittaamisella, seuraavaksi mitataan kenttäväylän päätevastukset. Nämä komponentit täytyy mitata, koska ne ovat tärkeitä laitteen oikeanlaisen toiminnan kannalta erilaisissa olosuhteissa, lisäksi näiden komponenttien toimintaa ei voida testata enää toiminnallisen testin aikana.

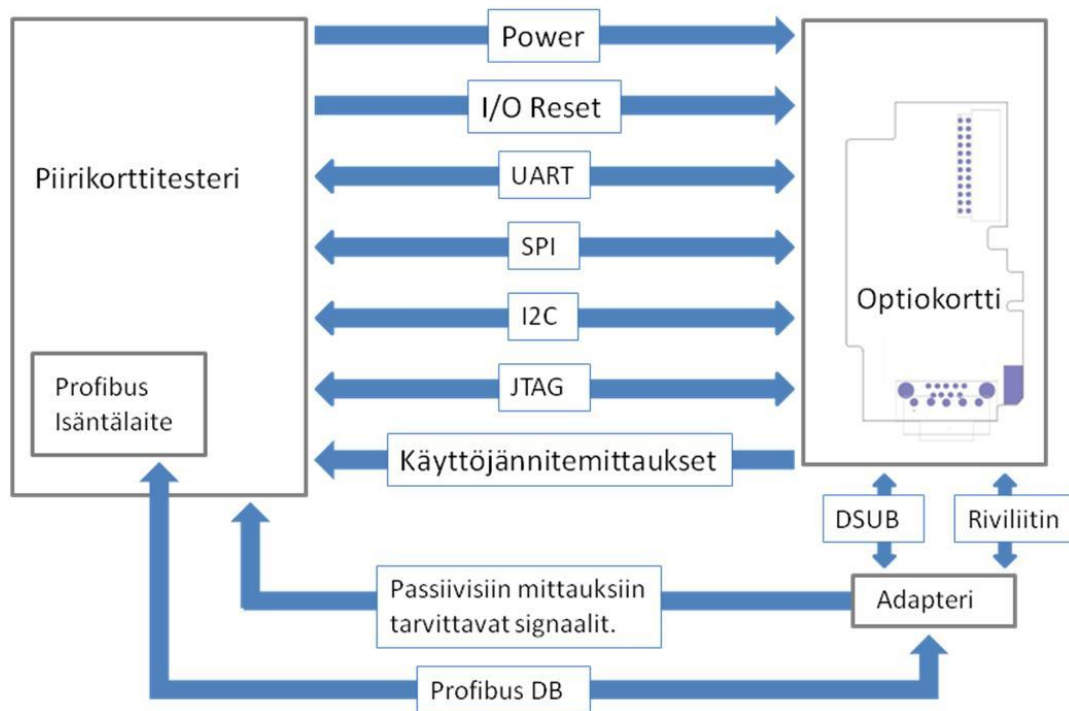
Passiivisten mittausten jälkeen suoritetaan toiminnallinen testaus. Mittaus aloitetaan mittaamalla piirikortin ottama kokonaisvirta, sekä kaikki erilaiset käyttöjännitteet. Nämä mittaukset suoritetaan kappaleessa 5.2 määriteltyjen kriteerien mukaisesti. Mikroprosessorin käyttöjännitteestä mitataan myös aaltoisuus eli rippelijännite, jolloin voidaan taata jännitteen riittävä tasaisuus ilman huojuntaa, näin varmistetaan mikroprosessorin vakaa toiminta. Lisäksi mitataan piirikortilla olevan logiikan toiminta, joka on tärkeä osa piirikortin toimintaa, liitettäessä piirikortti ohjainosaan. Seuraavaksi aloitetaan ohjelmistojen lataus, lataamalla tehdään tunnistetiedot EEPROM-muistiin, ohjainosaan tulevan liittimen kautta. Tämän jälkeen piirikortille ladataan ohjelmistot levykopiona, JTAG-liitynnän kautta. Ladatakoppio sisältää boot-ohjelman ja sovellus-ohjelman. Onnistuneiden ohjelmistojen latauksen jälkeen piirikortille suoritetaan lyhyt demokäyttö, jossa testataan piirikortin suunniteltu toiminta. Testi kattaa piirikortin toiminnan ohjainosan kanssa, sekä kommunikoinnin Profibus-isäntälaitteen kanssa, myös I/O-reset liitynnän toiminta testataan. Kuvassa 4 on kuvattu vastaavan kaltainen testikokoonpano ja testitilanne. Testien suorittamisen jälkeen piirikortille asetetaan tehdasasetukset, kuten jumpperien asennot.

6.3.2 Testipisteet

Testipisteillä tarkoitetaan niitä piirikortilla olevia mittauspisteitä, joista mittaukset suoritetaan. Testipiste voi olla jo suunnitteluvaiheessa piirikortille suunniteltu erillinen mittauspiste testineulaa varten, tai mahdollisesti testipisteinä voidaan käyttää myös komponenttien juotoskantoja, läpivientejä ja piirikortilla olevia liittimiä. Kaikki testerivalmistajat eivät kuitenkaan suostu käyttämään juotoskantoja ja läpivientejä testipisteinä.

Testipisteiden määrittämiselle suunniteltiin kahta erilaista vaihtoehtoa. Vaihtoehdossa yksi, passiiviset ICT-mittaukset suoritetaan väyläliittimen kautta ja muut mittaukset 24-pinnisen ohjainosaan tulevan liittimen kautta, sekä testineuloilla piirikortilta muun muassa testiliitynnästä. Vaihtoehdossa kaksi, kaikki piirikortille tehtävät mittaukset suoritetaan 24-pinnisestä liittimestä ja testineuloilla piirikortilta.

Testipisteet päätettiin määrittellä ensimmäisen vaihtoehdon mukaisesti. Käyttämällä vaihtoehto yhden mukaista määrittelyä pystytään varmistamaan reititysten kunto monipuolisemmin, kuin vaihtoehdolla kaksi. Vaihtoehto kaksi vaatisi testineuloja enemmän, kuin vaihtoehto yksi. Lisäksi näillä testineuloilla täytyisi suorittaa mittauksia paikoista, joista mittaaminen saattaisi olla vaikeaa, muun muassa mahdollisten fluksijäämien vuoksi. Fluksijäämillä tarkoitetaan juotosvaiheessa käytettävästä juoksutteesta aiheutuvia jäämiä. Kuvassa 10 on lohkokaavio vaihtoehto yhden mukaisesta testeristä.



Kuva 11. Piirikorttitesterin lohkokaavio

Testerin ja optiokortin välillä tarvitaan erilaisia väyliä ja rajapintoja. SPI- ja UART -liityntöjä käytetään optiokortin ja ohjainosan väliseen kommunikointiin. I2C-liitynnästä ladataan tehtaan tunnistetiedot EEPROM-muistiin. JTAG-liitynnästä piirikortille ladataan ohjelmistot levykopiona.

6.3.3 Toleranssit

Lähes kaikkien sähköisten mittausten toleranssit päätettiin ilmoittaa prosentteina, lukuun ottamatta piirikortin ottamaa kokonaisvirtaa, jolle määriteltiin virtarajat milliampeereissa. Myös mikroprosessorin jännitteen huojunta päätettiin ilmoittaa millivolteina neliöllisenä keskiarvona.

ICT-mittauksissa tehtäville resistanssimittauksille käytetään $\pm 10\%$ toleranssia. Komponentin valmistaja ilmoittaa vastuksen toleranssiksi $\pm 1\%$, joten $\pm 10\%$ on riittävä, koska se ylittää valmistajan ilmoituksen ja piirikortti toimii suunnitellusti tällä toleranssilla, sillä mitattavat vastukset eivät sijaitse toiminnan kannalta kriittisissä paikoissa. Maadoitus kondensaattoreille voidaan käyttää suurempaa -

30%...+50% toleranssia, koska tämä ei vaikuta piirikortin toimintaan. Sillä riittää, että piirikortilla on oikeaa kokoluokkaa olevat maadoitusvastukset.

Toiminnan mittauksissa suoritettavat käyttöjännitemittaukset, ovat kriittisiä laitteen toiminnan kannalta, joten toleranssit ovat mietittävä tarkoin. Mikroprosessorin +1.8V ytimenjännitteelle ja +3.3V käyttöjännitteelle käytetään $\pm 3\%$ toleranssia, joka on 5% tiukempi, kuin mikroprosessorin valmistajan ilmoittama toleranssi. Nämä toleranssit haluttiin asettaa riittävän tiukoiksi, koska kyseessä on toiminnan kannalta kriittiset jännitteet.

Piirikortilla oleville +5V ja +5V_I käyttöjännitteille, asetettiin myös $\pm 3\%$ toleranssi, jolloin voidaan taata muun muassa logiikan oikea toiminta. Piirikortille syötettävässä +24V käyttöjännitteessä ja herätejännitteissä käytettiin $\pm 5\%$ toleranssia, jonka rajoissa piirikortti toimii normaalisti, ilman vaurioitumisen riskiä.

6.3.4 Testin kattavuus

Piirikortille tehtävässä toiminnallisessa testissä pystytään testaamaan valtaosa piirikortin kriittisistä juotoksista ja reitityksistä, sekä toiminnan kannalta oleellisten komponenttien toiminta. Näitä ovat muun muassa MCU, ASIC, kaikki muistit, jännitelähteet, isoitu RS485-piiri, tasonsovitimet, I/O reset ja logiikkapiiri. Piirikortin erilaiset maadoitusvaihtoehdot testataan ICT:llä lähes 100-prosentin varmuudella, ainoastaan muutamat reititykset maadoitusvastuksille ja kondensaattoreille jäävät mittaamatta, mutta riski niiden vaurioitumiselle on todella pieni. Kenttäväylän terminointi testataan ICT:llä 100-prosentin varmuudella toimivaksi.

Testi ei kata piirikorttiin fyysisesti kohdistuvan rasituksen sietoa, kuten värinää, eikä myöskään olosuhteiden muutoksia, kuten lämpötilan tai ilmankosteuden vaihteluita. Tyypillisesti näitä asioita testataan vain kehitysvaiheessa. Myös osa piirikortin EMC-ominaisuuksista jää testaamatta, kuten ohituskondensaattorit, joiden puuttuminen tai puutteellinen toiminta ei ilmene toiminnan testauksessa. Testaus ei myöskään täysin kata juotosten laadun mittaamista, kuten liian vähän tai paljon juotospastaa. Ennen reflow-juotosta juotospasta on pehmeää ja tahmeaa, joka sisältää kiinteiden juotepartikkeleiden lisäksi pastamaisen juoksutteen eli flu-

xin sekä kantoaineen. Piirikortilla olevan logiikkapiirin toiminta ei myöskään ole aivan 100-prosenttisesti testattu, mutta kuitenkin riittävän tarkasti.

Yleisesti voidaan todeta, että suoritettavat mittaukset ja testit ovat riittäviä piirikortin suunnitellun toiminnan ja ominaisuuksien takaamiseksi.

YHTEENVETO

Työtä aloitettaessa oli tutustuttava tuotannon testauksessa esiintyviin virheisiin sekä erilaisiin testausmenetelmiin. Piirikorttien tuotannon testauksessa esiintyvistä virheistä, sekä virheiden vaikutuksesta tuotteen laatuun oli jo jonkin verran aikaisempaa kokemusta. Näitä oli käsitelty jonkin verran koulussa oppitunneilla ja lisätietoa löytyi helposti verkosta. Tuotannon testausmenetelmät olivat lähes täysin uutta asiaa, joihin täytyi perehtyä huolella. Näistä menetelmistä löytyi kuitenkin kohtuullisen hyvin lähdemateriaalia verkosta, joten testausmenetelmien opiskelu ja kartoitus sujui ilman suurempia ongelmia.

Varsinaisen konseptin suunnitteluun tiedonhankinta oli haasteellisempaa, sillä sopivaa materiaalia oli hankala löytää. Siispä Vaconilta saadut testispesifikaatiot osoittautuivat todella hyödyllisiksi, joista oli suuri apu konseptin suunnittelulle.

Konseptin suunnittelussa haasteellisinta oli testispesifikaatiomallin suunnittelu, koska testispesifikaatiosta täytyi saada sellainen, jota voidaan soveltaa erityyppisille piirikorteille. Tällöin jouduttiin miettimään testisekvenssiä useaan eri kertaan, jotta se saatiin muotoiltua sellaiseksi, että se toimisi erityyppisillä testivariaatioilla ja piirikorteilla. Ongelmia suunnittelussa aiheutti ohjelmistojen lataus ja se missä vaiheessa lataus suoritetaan, oli sitten käytössä mikä tahansa testausmetodi tai niiden yhdistelmä. Tämä ongelma saatiin kuitenkin ratkaistua. Testispesifikaatiomallin pohjana käytettiin jo olemassa olevia testispesifikaatioita, joissa oli paljon eroavaisuuksia toistensa välillä. Testispesifikaatioille saatiin luotua toimiva ja yhtenäinen malli yhdistämällä testispesifikaatioista hyvät ominaisuudet ja suunnittelemalla aikaisemmin puuttuvat osuudet.

Kustannustehokkuutta pystyttiin myös käsittelemään hyvin erilaisissa tapauksissa, jotka oli asetettu ennen työn aloittamista. Myös kustannusten analysointiin tarvittavia testauksen hinnoittelutietoja saatiin piirikorttitoimittajalta, hyvin sujuneen yhteistyön tuloksena.

Testispesifikaation suunnittelussa Profibus DB -optiokortille haasteita asetti se, että Vacon on määritellyt tietyt testausmenetelmät, joita käytetään piirikorttien

tuotannon testauksessa. Näin ollen testispesifikaatio tuli kirjoittaa käyttäen näitä testausmenetelmiä. Koska suunnittelun alkuvaiheessa oli jo selvää, että testispesifikaatio toteutetaan käyttäen laajaa toiminnan testausstrategiaa. Tällöin eniten haasteita asetti testispesifikaation kirjoittaminen siten, että se toimii kaikilla erilaisilla tuotevariaatioilla, joten testipisteiden määrittäminen vei suuren osan suunnitteluajasta. Myös sopivien toleranssien määrittäminen asetti omat haasteensa. Testispesifikaatio kirjoitettiin täysin, käyttäen konseptissa suunniteltua mallia. Mallin soveltaminen Profibus DB -optiokortille sujui ongelmitta.

Opinnäytetyötä palauttaessa Profibus DB -kortin testispesifikaatio on katselmoitu Vaconilla eri suunnittelijoiden toimesta. Katselmoinnissa ei ilmennyt merkittäviä parannus tai korjausehdotuksia, joten testispesifikaatio hyväksyttiin. Testispesifikaation pohjalta voidaan nyt tilata tuotannon testauslaite Profibus DB -optiokortille.

LÄHDELUETTELO

- /1/ Benchmark electronics, AXI [online] [viitattu 10.8.2010]. Saatavilla www-muodossa:
<URL:http://www.bench.com/viewer/services_test-dev_axi.asp>
- /2/ Coombs Clyde F. 2008, Printed Circuits Handbook 6. The McGraw-Hill Companies
- /3/ Corelis, BSDL tutorial [online] [viitattu 10.8.2010]. Saatavilla www-muodossa:
<URL:http http://www.corelis.com/education/BSDL_Tutorial.htm>
- /4/ Corelis, JTAG tutorial [online] [viitattu 10.8.2010]. Saatavilla www-muodossa: <URL:http://www.corelis.com/education/JTAG_Tutorial.htm>
- /5/ IEEE 1149.1, JTAG testability [online] [viitattu 10.8.2010]. Saatavilla www-muodossa:
<URL:http://focus.tij.co.jp/jp/lit/an/ssya002c/ssya002c.pdf>
- /6/ Laadunhallintakurssin oppimateriaali, Miia Ridderstad, Vaasan AMK, v.2010
- /7/ Radio-electronics, Automatic optical inspection [online] [viitattu 10.8.2010]. Saatavilla www-muodossa: <URL:http://www.radio-electronics.com/info/t_and_m/ate/aoi-automatic-automated-optical-inspection.php>
- /8/ Radio-electronics, Automated X-Ray inspection [online] [viitattu 10.8.2010]. Saatavilla www-muodossa: <URL:http://www.radio-electronics.com/info/t_and_m/ate/automated-x-ray-inspection-pcb-bga.php>
- /9/ Radio-electronics, In circuit test tutorial [online] [viitattu 10.8.2010]. Saatavilla www-muodossa: <URL:http://www.radio-electronics.com/info/t_and_m/ate/ict-in-circuit-test-tutorial.php>
- /10/ Vacon Oyj 2010, Vacon NX-käyttöohje [online] [viitattu 5.8.2010]. Saatavilla www-muodossa:
<URL:http://www.vacon.fi/Default.aspx?id=465761>
- /11/ Vacon Oyj 2010, Profibus ajaa vaconeja [online] [viitattu 23.8.2010]. Saatavilla www-muodossa:
<URL:http://www.vacon.com/Default.aspx?Id=461144>
- /12/ Vacon Oyj 2010, Profibus DP-optiokortti käsikirja [online] [viitattu 23.8.2010]. Saatavilla www-muodossa:
<URL:http://www.vacon.fi/Default.aspx?id=465761>

- /13/ Vacon Oyj 2010, Vacon Oyj - Yleistä [online] [viitattu 2.8.2010]. Saatavilla www-muodossa:
<URL:<http://www.vacon.fi/Default.aspx?id=461919>>
- /14/ Vacon Oyj 2010, Vacon - 15 vuotta taajuusmuuttajakisassa [online] [viitattu 2.8.2010]. Saatavilla www-muodossa:
<URL:<http://www.vacon.fi/Default.aspx?id=473322>>

LIITE 1

TESTILIITYNNÄN LYHENTEIDEN SELITYKSET	
Lyhenne	Selitys
RESET	Mikrokontrollerin resetointi
TST	Boundary scan -testitilan valinta
NTRST	Testin resetointi
TCK	Testikello
TDI	Testidata sisään
TDO	Testidata ulos
RTCK	Testikellon paluusignaali, emulaattorin parempaan kellon hallintaan
JTAGSEL	JTAG:n valinta
DRXT	Vastaanotettu debukkaus data
DTXD	Lähetetty debukkaus data
CPU VOLTEGE	Prossessorin käyttöjännite
CPU CORE VOLTEGE	Prossessorin ytimen jännite
POWER VOLTAGE	Jännitelähteen jännite

TESTAUSMENETELMIEN VERTAILU

	AOI	AXI	ICT	BS	Toiminnan testaus
Juotokset					
Avoin piiri	KYLLÄ	KYLLÄ	KYLLÄ	*KYLLÄ	KYLLÄ
Tinasilta	KYLLÄ	KYLLÄ	KYLLÄ	*KYLLÄ	KYLLÄ
Oikosulku	KYLLÄ	KYLLÄ	KYLLÄ	*KYLLÄ	KYLLÄ
Riittämätön juotos	KYLLÄ	KYLLÄ	EI	EI	EI
Juotos kaasukuplat	EI	KYLLÄ	EI	EI	EI
Liiallinen juotos	KYLLÄ	KYLLÄ	EI	EI	EI
Juotoksen laatu	EI	KYLLÄ	EI	EI	EI
Komponentit					
Puuttuja komponentti	KYLLÄ	KYLLÄ	KYLLÄ	*KYLLÄ	**KYLLÄ
Komponentti väärin suunnat- tu/sijoitettu	KYLLÄ	KYLLÄ	KYLLÄ	*KYLLÄ	**KYLLÄ
Komponentti väärän arvoinen	EI	EI	KYLLÄ	*KYLLÄ	**KYLLÄ
Virheellinen komponentti	EI	EI	KYLLÄ	*KYLLÄ	**KYLLÄ
BGA ja CSP Komponentit					
BGA oikosulku	EI	KYLLÄ	KYLLÄ	*KYLLÄ	**KYLLÄ
Avoin liitos	EI	KYLLÄ	KYLLÄ	*KYLLÄ	**KYLLÄ

*Boundary scan menetelmän avulla ei välttämättä pääse piirikortin kaikille alueil-
le

**Mikäli komponentin puuttuminen/arvo vaikuttaa laitteen toimintaa, testaus olo-
suhteissa.