



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Petri Kleimola

TUOTANNON VIKAMEKANISMIEN
VAIKUTUKSET SUOJARELEEN
TOIMINTAAN

ABB Oy, Medium Voltage Products

Tekniikka ja liikenne
2015

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Petri Kleimola
Opinnäytetyön nimi	Tuotannon vikamekanismien vaikutukset suojaraleen toimintaan
Vuosi	2015
Kieli	suomi
Sivumäärä	43 + 1 liite
Ohjaaja	Olavi Mäkinen

Tutkimus toteutettiin ABB Medium Voltage Products -yksikköön. Suojareleiden ja niiden korttien romutusten määrää on yritetty vähentää yksikössä kaikella tavalla ja tutkimuksessa on tarkoituksena etsiä tuotannosta johtuvia vikamekanismeja. Tuotantoprosessin parantaminen, jolla saadaan joko vähennettyä ylimääräisiä romutuskustannuksia tai yksinkertaistettua tuotantotyöntekijöiden työskentelyä, auttavat lyhentämään valmistusaikaa ja säästämään rahaa.

Tutkimuksessa keskityttiin pääasiassa asiakaspalautuksiin ja näistä etsittiin toistuvia vikoja, jotka voisivat aiheutua tuotantoprosessista. Asiakaspalautusten tutkimisessa menttiin aivan moduulitasolle asti ja testattiin moduuleja testilaitteissa uudelleen. Tutkimusta tukivat myös asiakkaan antamat vika-analyysit yksittäisten moduulien vioista ja kokonaisten releiden osalta asiakkaan antama vika-analyysi varmistuu, kun laatutiimi on ehtinyt tarkistaa releen. Teoriaosuudessa on läpikäytynä erilaisia vikamekanismeja, joita elektroniikan komponenteissa ilmenee. Tutkimuksessa on käytetty aineistoina internet-lähteitä sekä ABB:n sisäisiä tietokantoja.

Tutkimuksissa havaittiin, että suuri osa asiakkaalla ilmenneistä vioista aiheutuu tuotannosta johtumattomista syistä. Hyvin pieni osa vioista aiheutuu tuotannosta ja nämä aiheutuvat pääasiassa materiaalin väärästä käsittelystä tai kuljetuksen ja säilytyksen aikana, jolloin suojarale altistuu mahdollisesti tärinälle ja kosteudelle. Näitä on tosin hyvin vaikeaa tutkimuksilla osoittaa, mutta kokemuspohjaisesti arvioiden parannusehdotuksia tuotantoprosessiin on löytynyt. Tutkimuksessa saatiin yritykselle enemmän tietoa siitä, mistä asiakkaalla ilmenneet viat voisivat aiheutua ja samalla saatiin korjattua joitain tuotannossa olevia vääriä toimintatapoja ja jopa vikamekanismeja.

ABSTRACT

Author	Petri Kleimola
Title	Effects of Production Fault Mechanisms on Relays Functionality
Year	2015
Language	Finnish
Pages	43 + 1 Appendix
Name of Supervisor	Olavi Mäkinen

The research was implemented for the ABB Medium Voltage Products –division. The unit wants to reduce the scrap quantities and the purpose of this research was to look for fault mechanisms which are due to production process. All kinds of production improvements which reduce scrap quantities or makes the work of employees easier could help to save time or money.

The main focus of this research was on customer returns. These were looked into to find summary faults which could be due to the production process. The customer returns were disassembled to the module level and after that the modules were re-tested in the test stations. Also the customers own fault analysis helped in the research and the customer fault analyses for the entire protection relays are confirmed when they have been quick checked by the ABB Quality team. Various types of common electronic components fault mechanisms are also discussed. Internet- and ABB internal sources were used as sources.

The result of the research was the observation that the biggest part of faults that found in customer returns were not caused by the production process. Only a small part of faults are caused by the production process and the main reason for these faults are wrong material handling or vibration and humidity during transportation and storing. These faults are very hard to point out by research but some production process improvements were found during the research. More information was found about the main reasons for the customer faults and also some wrong working habits in the production process and even fault mechanisms were corrected during this research.

Keywords	Protection relay, Relion, fault mechanisms, customer return, production process
----------	---

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

MERKINNÄT JA LYHENTEET

1	JOHDANTO.....	8
2	RELION	9
	2.1 615-sarja ja standardikonfiguraatiot	9
	2.2 615-sarjan tekniset ominaisuudet.....	12
3	VIKAMEKANISMIT ELEKTRONIIKASSA.....	14
	3.1 Luotettavuustekijät.....	14
	3.1.1 Sähköinen kuormitus (ylikuormitus)	14
	3.1.2 Lämpötila	14
	3.1.3 Ilmankosteus	16
	3.1.4 Mekaaninen rasitus.....	16
	3.1.5 Staattinen sähkövaraus (ESD).....	17
	3.1.6 Toistuvan kuormituksen vaikutukset	17
	3.2 Vikamekanismit	17
	3.2.1 Ajasta riippuva eristeen läpilyönti (TDDB).....	17
	3.2.2 Lämpötilan epävakaas vastasuuntaisessa esijännitteessä (NBTI).....	18
	3.2.3 Elektronivyöry (AHC)	18
	3.2.4 Ohimenevä vika	19
	3.2.5 Luotettavuusongelma flash-muistiin.....	19
	3.2.6 Elektromigraatio (EM).....	19
	3.2.7 Kuormituksen muutos (SM).....	20
	3.2.8 Kuparikaapelin luotettavuus.....	20
	3.2.9 Korroosio	20
	3.2.10 Passiivinen hajoaminen.....	21
	3.2.11 Kasvanut Au/Al-yhdistelmä.....	21
	3.2.12 Toisioläpilyönti	21
	3.2.13 Terminen väsymys	21

3.2.14 Ionimuutos	22
3.2.15 Tinaviikset.....	22
3.2.16 Koteloissa aiheutuvat säröt	22
3.2.17 Elektrostaattinen purkaus (ESD).....	22
3.2.18 Latchup.....	23
3.3 Juotokset	23
3.4 Tyypitestit	24
4 RELEIDEN TUOTANTOPROSESSI.....	25
4.1 Tilausprosessi.....	25
4.2 Valmistus alihankkijoilla	25
4.3 Releen valmistus ja testaus	26
4.3.1 Kokoonpano	27
4.3.2 Testaus.....	29
4.4 Toimitus	31
4.5 Asennus.....	31
5 ASIAKASPALAUTUKSET	33
6 TUTKIMUKSET.....	35
6.1 Romutuksen vähentäminen.....	35
6.2 Vikojen luokittelua.....	35
6.3 Asiakkaan vika-analyysit asiakaspalautuksissa	37
6.4 Asiakaspalautusten moduulitestaus	38
7 PARANNUSEHDOTUKSET	40
LÄHTEET.....	43
LIITTEET	

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Pistoyksikön irrotus. /6, 14/	s.11
Kuva 2. Pistoyksikön kiinnitys. /6, 16–17/	s.12
Kuva 3. Komponenttien elinikäennusteita eri aktivointienergioilla /3, 4/.	s.15
Kuva 4. Alihankkijalla tapahtuvat testaus- ja valmistusvaiheet.....	s.27
Kuva 5. ABB:llä tapahtuvat testaus- ja valmistusvaiheet.	s.27
Kuva 6. Releen taustapuoli ja liittimien numeroinnit /7, 73/.	s.29
Kuva 7. Asiakaspalautusten kiertokulku.	s.33
Kuva 8. Vikojen luokitteluryhmät.	s.35
Taulukko 1. REF615-standardikonfiguraatiot. /2, 16/	s.10
Taulukko 2. 615-sarjan moduulien paikkakohtaiset sijoitukset.....	s.28

MERKINNÄT JA LYHENTEET

IEC 61850	Suojareleiden kommunikaatioprotokolla.
IEC 61850-9-2 LE	Suojareleiden kommunikaatioprotokolla.
Modbus	Suojareleiden kommunikaatioprotokolla.
DNP3	Suojareleiden kommunikaatioprotokolla.
Profibus	Suojareleiden kommunikaatioprotokolla.
GOOSE	Releiden välinen viestintämekanismi. Generic Object Oriented Substation Events (yleinen kohdesuunnattu sähköaseman tapahtuma).
MOSFET	Eristehilatransistori. Metal-oxide-semiconductor field-effect transistor.
TDDB	Elektroniikan vikamekanismi. Time dependent dielectric breakdown (Ajasta riippuva eristeen läpilyönti).
NBTI	Elektroniikan vikamekanismi. Negative bias temperature instability (Lämpötilan epävakaus vastasuuntaisessa esijännitteessä).
AHC	Elektroniikan vikamekanismi. Avalanche hot carriers (Elektronivyöry).
EM	Elektroniikan vikamekanismi. Electromigration (Elektromigraatio).
SM	Elektroniikan vikamekanismi. Stress migration (Kuormituksen muutos).
HAL	Piirilevyn loppupinnoite. Hot air level (kastotinaus).
ESD	Elektroniikan vikamekanismi. Electrostatic discharge (Elektrostaattinen purkaus).
BGA	Koteloitu piiri. Ball Grid Array
CMOS	Mikropiiritekniikka. Complementary Metal Oxide Semiconductor
NPN	Transistorityyppi.
PNP	Transistorityyppi.
EMS	Elektroniikkatuotteiden valmistaja. Electronic Manufacturing services
PSM	Relion-tuoteperheen suojareleiden virtalähdekortti.
COM	Relion-tuoteperheen suojareleiden kommunikaatiokortti.
AIM	Relion-tuoteperheen suojareleiden analogiakortti.
BIO	Relion-tuoteperheen suojareleiden binaarikortti.
CPU	Relion-tuoteperheen suojareleiden keskusyksikkökortti.
BLP	Relion-tuoteperheen suojareleiden takalevykortti.
HMI	Relion-tuoteperheen suojareleiden näyttö.

1 JOHDANTO

Työn tarkoituksena on etsiä ja mahdollisesti poistaa ABB Medium Voltage Productsissa suojarleen tuotannosta johtuvia vikaantumisen syitä. Työ on tärkeä kyseiselle yhtiölle siksi, että kaikki vikamekanismit, jotka voidaan kytkeä pois, ovat suoraan säästöä rahallisesti ja parantavat yrityksen mainetta. Lähteinä on käytetty ABB:n sisäisiä tietokantoja sekä internet-lähteitä.

Yksittäiset releen moduulitkin ovat sen verran kalliita, että toistuvien vikojen poisto voi parhaassa tapauksessa johtaa suuriin säästöihin, kun tuotantomäärät ovat suuria. Tässä työssä keskitytään nimenomaan vikoihin, jotka voisivat aiheutua tuotantolinjoilla eli kokoonpanossa ja valmistuksessa. Vikoina voi olla mm. erinäisiä käsittely- ja juotosongelmia.

Medium Voltage Products valmistaa keskijänniteverkon käyttöön erilaisia ohjaus- ja suojalaitteita. Suojareleet automatisoivat keskijänniteverkon johto- sekä moottorilähtöjen suojaukset. Sähköverkon vikatilanteessa releet havaitsevat vian, viestivät siitä eteenpäin ja suojaavat näin ihmishenkiä ja laitteita sekä edistävät katkotonta sähkönsaantia. /1/

Suojareleiden lisäksi Vaasassa kehitetään Suomessa kehitettyä kaukokäytön ohjauksessa ja valvonnassa käytettävää MicroSCADA-käytönvalvontajärjestelmää. Tämä ohjelma on laajasti käytössä Suomessa teollisuudessa sekä energiayhtiöillä ja se helpottaa vian ennakoitua ja paikallistamista sekä edistää vielä katkotonta sähkönsaantia asiakkailta. /1/

Suojareleiden tärkeimpinä asiakkaina voidaan pitää sähkölaitoksia, petrokemian laitoksia sekä muita teollisuuden haaroja. ABB:n sisäisiä kojeistotehtaita käytetään yleensä myyntikanavina näille haaroille. Jokaiseen keskijännitekojeiston kennoon tulee suojarle, eli releiden määrä on suhteellisen suuri. Kehittyvät maat ovat tulevaisuudessa uusia asiakkaita eli näissä markkinat tulevat olemaan suuret. Kehittyneet maat taas joko kehittävät järjestelmiään uudempaan tai pysyvät vielä vanhassa järjestelmässä.

2 RELION

Medium Voltage Productsin tärkein ja uusin tuoteperhe on Relion-tuoteperhe. Relion-tuoteperheen laitevalikoimasta löytyy laitteet kaikkien sähköjärjestelmien suojaukseen, ohjaukseen, mittaukseen sekä valvontaan. Laitteiden parametroiintiin ja konfigurointiin käytetään Protection and Control IED Manager PCM600 – ohjelmointityökalua. Relion-tuoteperheeseen kuuluvat Vaasassa valmistettavista releistä 610/611-, 615-, 620- ja 630-sarjat. Työssä käsitellään Relion-tuoteperheen 615-sarjaa sekä myös 620-sarjaa, joka käyttää pääasiassa samoja moduuleita 615-sarjan kanssa.

2.1 615-sarja ja standardikonfiguraatiot

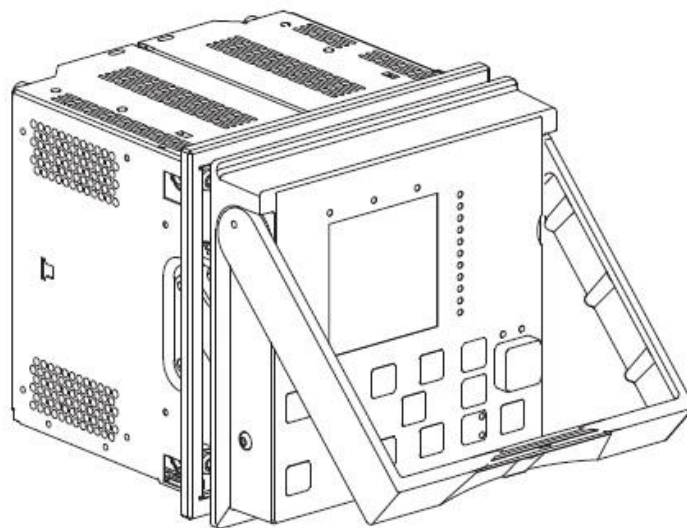
Relion 615-sarja tarjoaa suojan monelle eri sähköverkon suojauksen sovellutukselle, kuten johtolähdön-, linjan-, muuntajan- sekä moottorin suojaukseen. Relion 615-sarja omaa samassa paketissa suojauksen, ohjauksen, mittaukset sekä valvonnan. Perusasettelujen jälkeen rele on heti valmis toimimaan.

Relion 615-sarja tarjoaa monia eri konfiguraatioita eri sähköverkon käyttötilanteita varten. Esimerkkinä johdonsuojarele REF615 omaa 12 eri peruskonfiguraatiota eri tilanteita varten. Taulukossa 1 on esitetty REF615-johdonsuojareleen eri konfiguraatiot. Kaikkiin konfiguraatioihin on saatavilla lisäksi valokaarisuoja, joka on liitetty kommunikaatiokortin ominaisuuksiin. /2/

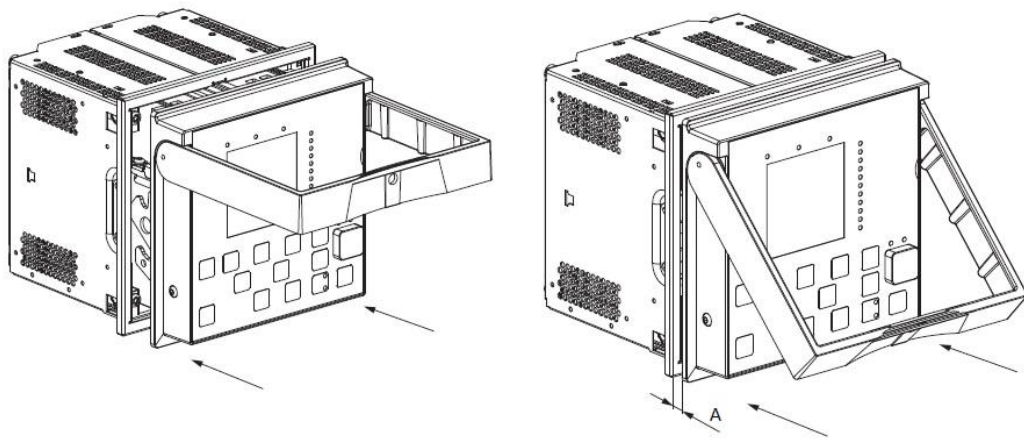
Taulukko 1. REF615-standardikonfiguraatiot. /2, 16/

Kuvaus	Konfi- guraa- tio
Suuntaamaton ylivirta, suunnattu maasulkusuoja ja katkaisijan ohjaus	A
Suuntaamaton ylivirta, suunnattu maasulkusuoja, katkaisijan kunnon monitorointi sekä ohjaus, ylimääräinen I/O moduuli ohjaamaan kahta verkon kohdetta	B
Suuntaamaton ylivirta, suuntaamaton maasulkusuoja ja katkaisijan ohjaus	C
Suuntaamaton ylivirta, suuntaamaton maasulkusuoja, katkaisijan kunnon monitorointi sekä ohjaus, ylimääräinen I/O moduuli ohjaamaan kahta verkon kohdetta	D
Suuntaamaton ylivirta, suunnattu maasulkusuoja vaihejännitteeseen perustuvalla mittauksilla, katkaisijan kunnon monitorointi sekä ohjaus	E
Suunnattu ylivirta, suunnattu maasulkusuoja vaihejännitteeseen perustuvalla mittauksilla, ali- ja ylijännite suojat, katkaisijan kunnon monitorointi sekä ohjaus	F
Suunnattu ylivirta, suunnattu maasulkusuoja, vaihejännitteeseen perustuva suoja ja mittausfunktiot, katkaisijan kunnon monitorointi sekä ohjaus ja sensori sisääntulot vaihe virtoihin ja -jännitteisiin	G
Suuntaamaton ylivirta, suuntaamaton maasulkusuoja, vaihejännitteeseen ja taajuuteen perustuva suoja ja mittausfunktiot, synkronointi-tarkastus, katkaisijan kunnon monitorointi sekä ohjaus	H
Suunnattu ylivirta, suunnattu maasulkusuoja, vaihejännitteeseen ja taajuuteen perustuva suoja ja mittausfunktiot, synkronointi-tarkastus, katkaisijan kunnon monitorointi sekä ohjaus	J
Suunnattu ylivirta, suunnattu maasulkusuoja, korkea impedanssisia maasulkuja rajoittava suoja, vaihejännitteeseen ja taajuuteen perustuva suoja ja mittausfunktiot, synkronointi-tarkastus, katkaisijan kunnon monitorointi sekä ohjaus ja vian paikantaja	K
Suunnattu ylivirta, suunnattu maasulkusuoja, vaihejännitteeseen ja taajuuteen perustuva suoja ja mittausfunktiot, katkaisijan kunnon monitorointi sekä ohjaus, sensori sisääntulot vaihe virtoihin ja jännitteisiin ja vian paikantaja	L
Suunnattu ja suuntaamaton ylivirta- ja maasulkusuoja, vaihejännitteeseen ja taajuuteen perustuva suoja ja mittaukset, synkronointi-tarkastus, katkaisijan kunnon monitorointi sekä ohjaus ja vian paikantaja	N

Asiakas valitsee taulukon 1 mukaisista standardikonfiguraatioista omaan tarpeeseen sopivan ja tämän valinnan perusteella tulee releeseen oikeanlaiset moduulit. Rele koostuu perusmoduuleista, jotka ovat sähkötekniisesti virtalähde, keskusyksikkö, kommunikaatiokortti, näyttö sekä tietty määrä analogisia sekä binäärisiä tuloja ja lähtöjä. Mekaanisia komponentteja ovat kotelo, liittimet ja ruuvit. Mekaanisesti Relion-sarja on edistyksellinen, koska kotelo ja moduulit on liitetty toisiinsa pistoasennustyyppisesti. Tämä tarkoittaa sitä, että kotelo voidaan liittää ja johdottaa keskukseen jo ennen kuin itse relemoduuli on tullut. Tämä helpottaa todella paljon asennusta sekä testausta kentällä. Pistoyksikön irrotus tapahtuu yksikertaisesti vain nostamalla näytön kahva ylös 90 asteen kulmaan, jolloin moduulit irtoavat liittimistä ja vetämällä pistoyksikkö pois kotelostaan (**Kuva 1.**). Pistoyksikön kiinnitys tapahtuu taas vastakkaisesti työntämällä pistoyksikkö koteloonsa ja painamalla näytön kahva alas, kun on painanut pistoyksikköä riittävästi sisään (**Kuva 2.**).



Kuva 1. Pistoyksikön irrotus. /6, 14/



Kuva 2. Pistoyksikön kiinnitys. /6, 16–17/

2.2 615-sarjan tekniset ominaisuudet

Rele tarvitsee 2 fyysistä binaarisääntuloa ja kaksi fyysistä binaariulosmenoä ohjatakseen päätelaitetta. Sisääntuloilla rele näkee päätelaitteen indikoinnit (kiinni/auki) ja ulosmenoilla rele ohjaa päätelaitetta (kiinni/auki). /2/

Releen funktioita voidaan ohjata joko paikallisesti releen näytöltä tai kauko-ohjauksella. Releen näyttö on graafinen LCD, jossa on ominaisuutena myös yksi vaiheesitys johtolähdöstä. Tästä nähdään paikallisesti johtolähdön rakenne ja katkaisijan indikoinnit. Myös mittaukset näkyvät releen paikallisella näytöllä, mutta myös ohjelmointityökalussa kaukokäytöllä. Rele myös tallentaa häiriöt ja tapahtumat releen muistiin, joista voi jälkeenpäin tarkkailla, mitä on tapahtunut releen hälyttäessä. /2/

Riippuen valitusta perusfunktiosta releet on varustettu erilaisilla analogiatuloilla. Suuntaamattomassa suojareleessä on oletuksena mittaukset kolmelle vaihevirrälle sekä summavirrälle. Suunnatussa suojareleessä on näiden mittausten lisäksi vielä nollajännitteen mittausta. Virranmittaukset ovat 1/5 A tuloja. Releet on varustettu myös kolmella jännitetulolla, joihin voi liittää joko vaihejännitteet tai pääjännitteet. Jännitemittaukset ovat 60–210 V tuloja, mutta normaalisti käytetään 110 V tulojännitettä. /2/

Releen kommunikaatio sisältää IEC 61850-, IEC 61850-9-2 LE-, Modbus- ja DNP3-protokollat. Profibus on myös mahdollinen, mutta tarvitsee erillisen muuntajan. Releiden väliset kommunikaatiot tukevat vain IEC 61850-protokollaa. Samaa protokollaa käytetään myös funktioiden valvontaan, asetusten muuttamiseen, vikalokeihin ja ohjaukseen. IEC 61850 täysi tuki tarkoittaa myös sitä, että rele pystyy kommunikoimaan teollisuuden muiden laitteiden kanssa. Ethernet-yhteyksiin 615-sarja tarjoaa joko 2 optista tai 2 galvaanista ethernetväylää. Relion-sarja tukee myös GOOSE-viestintää. /2/

3 VIKAMEKANISMIT ELEKTRONIIKASSA

Elektroniikka on hyvin herkkää erilaisten ulkoisten vaurioiden aiheuttajien suhteen. Varsinkin yrityksissä, joissa tehdään monimutkaisia tuotteita, on vaikeaa huomioida kaikki mahdolliset vikaantumisen syyt. Tämä johtuu siitä, että vaatimukset elektroniikkatoimittajalle ovat kovat ja pitää pysyä koko ajan kehityksessä mukana. Jokaisella eri elektroniikan komponentilla on erilaiset ominaisuudet vastustaa ulkoisia häiriötekijöitä ja puolijohdekomponentit ovat elektroniikan komponenteista herkimmin vaurioituvat. Erilaiset passiiviset komponentit, kuten vastukset, vaativat jo suuria muutoksia, jotka aiheuttaisivat vikaantumisen. Elektroniikan komponenteissa puhutaan usein luotettavuustekijöistä, jotka ainakin lyhentävät elektroniikan komponenttien elinikää. Komponentti katsotaan vikaantuneeksi silloin, kun laite tai komponentti ei toimi halutulla tavalla.

3.1 Luotettavuustekijät

Elektroniikalla on monia luotettavuustekijöitä, jotka vaikuttavat jollain lailla elektronisten komponenttien toimintaan tai elinikään. Luotettavuustekijät ovat itseasiassa vikamekanismien aiheuttajia, ainakin altistuessaan suuresti jollekin tekijälle.

3.1.1 Sähköinen kuormitus (ylikuormitus)

Tilanteet, joissa jännite, virta tai teho nousevat liian suuriksi, voivat aiheuttaa varsinkin puolijohdekomponentteihin vaurioita välittömästi virta- tai jännitepiikkien myötä. Myös lämpötilan nousu on näissä vaarana, jos teho nousee pitkäksi aikaa liian suureksi. Jännitteellä on myös toinen ääripää asiassa, jos jännite on todella pieni verrattuna suositeltuun jännitteeseen. Tällöin vikoja voi tulla operoinnin yhteydessä. Tärkeää on ylläpitää jännitteen suositeltuja arvoja ja pitää virta mahdollisimman pienenä, jolloin teho pysyy myös pienenä /3./

3.1.2 Lämpötila

Elektroniikalla on tiukat lämpötilarajat, joita tulee ehdottomasti noudattaa. Nopeat tai asteittaiset lämpötilan muutokset aiheuttavat komponenttien ikääntymistä /vau-

rioitumista ja ajan kanssa voivat aiheuttaa toimintahäiriöitä. On todistettu, että varsininkin puolijohdekomponenttien elinikä on verrannollinen Arrheniuksen yleiskäyrään, joka on esitetty alla. /3/

$$L = A \exp\left(\frac{E_a}{kT}\right) \quad (1)$$

Missä, L = elinikä

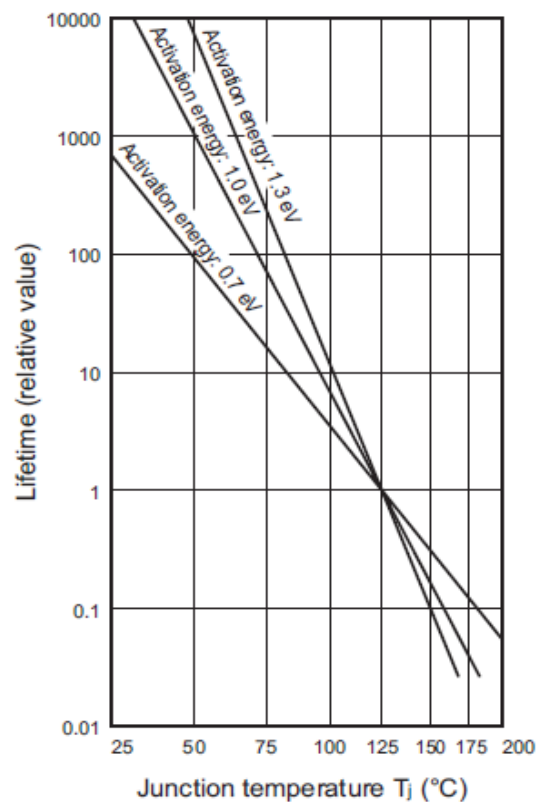
A = vakio

E_a = aktivointienergia (eV)

k = Boltzmannin vakio (8,6 x 10⁻⁵ eV/K)

T = absoluuttinen lämpötila

Suunnittelussa on täten otettava huomioon, että laitteen elinikäennuste ei mene heti pieleen tämän faktan osalta. Kuvassa 3 on esitetty esimerkkikäyriä laitteen elinikälle lämpötilan funktiona eri aktivointienergioilla. E_a eli aktivointienergia riippuu siitä mihin vikamekanismiin halutaan kulloinkin viitata. /3/



Kuva 3. Komponenttien elinikäennusteita eri aktivointienergioilla /3, 4/.

3.1.3 Ilmankosteus

Ilmankosteus ei ole yleensä ongelma yksittäisille komponenteille, koska ovat hyvin suojattuja. Enemmän ilmankosteus vaikuttaa piirilevyn liitoskohtiin juotosprosessissa. Tosin varsinkin tilanteissa, joissa on pitkän aikaa suuri lämpötila ja suuri ilmankosteus, on vaarana, että yksittäiset komponentitkin vaurioituvat. Myös vaurioitilanteita aiheuttavat tilanteet, joissa laitetta käsitellään monessa eri ilmanalassa. Kosteat komponenttikotelot ja yleensäkin kosteat juotokset aiheuttavat ongelmia, kun rele asennetaan jännitteiseksi suoraan kosteasta tilasta. /3/

3.1.4 Mekaaninen rasitus

Elektroniikan komponentit ovat aina vaarassa mekaaniselle rasituksella. Myös pieni mekaaninen rasitus voi aiheuttaa komponenttien vikaantumista. Komponentit ja komponenttilevyt ovat alttiina kaikenlaisille ulkoisille ärsykeille kuljetuksen, valmistuksen, asennuksen aikana ja jopa asennuskohteen vaikutuksesta. Tästä syystä kaikenlaiset tärinät, taivutukset ja liiallinen voiman käyttö voivat aiheuttaa mekaanisen rasituksen. Tämä tulee ottaa huomioon jo suunnittelussa, koska jotkut loppuasiakkaan asennuskohteet ovat jatkuvasti alttiina tärinälle ja suojarahat ja niiden komponentit ovat logistiikan alaisuudessa joskus todella pitkiä aikoja. /3/

Myös piirilevyn komponenttien sijoituksella on merkitystä. Varsinkin asennettaessa mekaanisesti herkkiä komponenttia, kuten keraamisia komponentteja piirilevyn reunaan, niillä on suuri vaara hajota pienestäkin piirilevyyn kohdistuvasta taivutuksesta.

Mekaanisia vaurioita voi myös aiheuttaa yleinen piirilevysuunnittelu, jossa piirilevyn kuparitasapaino ei ole riittävä. Kuparia käytetään myös vahvistamaan piirilevyä. Ellei piirilevyä ole vahvistettu tarpeeksi, niin juotosprosessissa altistuessaan kuumuudelle, piirilevy voi taipua ja suoristuessaan aiheuttaa hyvin todennäköisesti komponenttien hajoamista.

3.1.5 Staattinen sähkövaraus (ESD)

Sähköstaattiset purkaukset aiheutuvat kun kaksi eri potentiaalin ja eri sähkövarauksen omaavaa materiaalia koskettavat toisiaan. Jotkin vaatteet keräävät sähkövarausta enemmän kuin toiset, esim. villassa kehitty sähkövarausta ja tällöin koskettaessa metallia sähköstaattinen purkaus on lähes varma. Purkausvirta voi olla jopa niin suuri, että komponenttilevyjen komponentit vaurioituvat. Purkausvirtaa ei välttämättä ihminen edes huomaa, mutta se voi silti aiheuttaa elektroniikan komponenteille suurta vahinkoa. Tästä johtuen kaikkia elektroniikan komponentteja tulee käsitellä erittäin varoen ja oikeilla ESD-työvälineillä, jotta komponentit eivät vahingoittuisi missään vaiheessa tuotanto- ja asennusprosessia. /4/

3.1.6 Toistuvan kuormituksen vaikutukset

Kaikenlaiset toistuvat toiminnot, kuten suuri lämpötilavaihtelu, voivat aiheuttaa pitkällä aikavälillä komponenteille vikaantumisia. Tätä ilmenee varsinkin silloin, kun toiminnot omaavat jonkinlaisen syklin. /3/

3.2 Vikamekanismit

Erilliset vikamekanismit, jotka voivat aiheutua edellä esitetyistä luotettavuustekijöistä, on esiteltynä seuraavaksi. Liitteessä 1 nähdään taulukot, joissa on esitetty tarkemmin mitä vikoja mikäkin vikamekanismi voi aiheuttaa. Liitteessä on esitetty vikamekanismit ja niistä aiheutuvat vikatyypit. Liitteissä on myös esitetty mihin tekijään vika kehittyy komponentissa. Liitteen toisessa osassa on myös esitetty, mitkä ympäröivät tekijät vaikuttavat vikojen muodostumisen kehitykseen. Tässä on eroteltu sekä pää- että alisytyt. Alla on esitetty joitain yksittäisiä vikamekanismeja vähän tarkemmin.

3.2.1 Ajasta riippuva eristeen läpilyönti (TDDB)

Ajasta riippuva eristeen läpilyönti on pääasiassa MOSFET-(Metal-oxide-semiconductor field-effect transistor) piirin vikamekanismi, jossa hilaoksidikalvo on tullut erittäin ohueksi integraatioiden seurauksena. Käyttöjännitteet ovat pienentyneet, mutta komponenttien pienentymisen ja tehokkuuden parantamisen seurauksena

suurempi sähkökenttä menee hilaoksidikalvon läpi. Tämän takia hilaoksidin luotettavuus on tullut todella tärkeäksi /5./

Hyvälaatuisilla hilaoksidoilla on todella hyvä dielektrinen kestävyys, mutta ajan kanssa nämä hajoilevat jopa alhaisimmilla sähkökentillä. Tämä voi olla seurausta lämpötilojen tai sähkökentän suurista vaihteluista. Sähkökenttä voi ajan kanssa aiheuttaa jopa reikiä hilaoksidiin. Tämä vika voidaan todeta hylättynä korttina jännitelujuustestissä. Tämä vikamekanismi tulee ottaa huomioon moduulin suunnitteluvaiheessa. /5/

3.2.2 Lämpötilan epävakaas vastasuuntaisessa esijännitteessä (NBTI)

Lämpötilan epävakaas vastasuuntaisessa esijännitteessä on varsinkin MOSFET-piireissä oleva vika, joka ilmenee piitä sisältävissä piireissä. Tämä aiheutuu siitä, että hilaoksidikalvolle on kerääntynyt erivarauksellisia elektroneja. Tämä voi aiheuttaa muutoksia kynnsarvojännitteessä ja sen vuoksi mittavirheitä voi esiintyä. Tämä on seurausta myös komponenttien pienentämisestä ja tästä aiheutuvasta sähkökentän kasvamisesta hilaportin alueella. Tämä vikamekanismi tulee myös ottaa huomioon moduulin suunnitteluvaiheessa. /3/

3.2.3 Elektronivyöry (AHC)

Puolijohdelaitteiden teknologian kehittyessä myös laitteen tiheys on kasvanut ja tällöin on tullut ongelmaksi elektronivyöry. Alemman käyttöjännitteen vuoksi se aiheuttaa ristiriitoja järjestelmän vaatimusten ja sisäisten signaalien vähentämisen skaalauksessa. Komponenttien pienentämisen lisääntyminen ilman käyttöjännitteen skaalausta nostaa laitteiden sisäisten elementtien sähkökenttää /5./

Elektronit tai aukot, jotka virtaavat kohti vahvaa sähkökenttää, ovat johdatettuna suuren energian ja vahvan sähkökentän vaikutuksesta. AHC aiheutuu, kun elektronin kineettinen energia nousee potentiaalivallia suuremmaksi. Elektronin varaus voi muuttaa transistorin karakteristikkaa lopullisesti. Ongelmia aiheutuu varsinkin silloin, kun elektronivyöry kulkeutuu hilaoksidikalvolle, jolloin se voi muuttaa tämän ominaisuuksia. Tämä vikamekanismi tulee myös ottaa huomioon moduulin suunnitteluvaiheessa. /3/

3.2.4 Ohimenevä vika

Ohimenevä vika on seurausta siitä, että joissain pakkausmateriaaleissa ja johtimissa on jäämiä todella pienistä määristä radioaktiivista ainetta. Muistien suurentuessa tai muistikenttien pienentämisestä johtuen nämä radioaktiiviset aineet (uraani ja torium) voivat sekoittaa elektronipareja. Tämä voi aiheuttaa hetkellisiä virheitä ja epänormaalia toimintaa, kun elektroniparit ovat sekoittuneet. Tämä vikamekanismi tulee ottaa huomioon moduulin sekä pakkauksen suunnittelussa. /3/

3.2.5 Luotettavuusongelma flash-muistiin

Muistissa tapahtuvat ongelmat sotkevat katkotonta muistia luku- ja kirjoitustilanteissa. Ne voivat aiheuttaa varauksen menetyksen tai saannin, mitkä johtuvat hajonneesta hilaoksidista, tietojen menetyksestä, mikä johtuu ionisaastumisesta, liiallisen sähkönsäilytyksestä tai liian monista kirjoitus- ja poistokäskyistä. Nämä viat aiheuttavat ongelmia kelluvassa hilassa, joka ei kuljeta tietoa ohjaushilalle. Tämä vikamekanismi tulee ottaa huomioon valmistus-, tuotanto- ja muissa käsittelyvaiheissa, joissa epäpuhtauksia on mahdollista siirtyä moduuliin /5/

3.2.6 Elektromigraatio (EM)

Virran kulkeminen komponentissa voi aiheuttaa metallisten ionien liikkumista, mitä kutsutaan elektromigraatioksi. Alumiinissa varsinkin ionit liikkuvat samaan suuntaan kuin virta ja lopulta voivat aiheuttaa aukon katodin puolelle ja tämä voi aiheuttaa avoimen virtapiirin. Tätä tapahtuu myös piirilevyssä, jolloin erivarukselliset pisteet muodostavat metalli-ionista siltaa toistensa välille ja aiheuttavat lopulta oikosulun. Tämä vikamekanismi tulee ottaa huomioon kaikessa käsittelyyn liittyvässä valmistusvaiheissa, koska epäpuhtaudet piirilevyllä edesauttavat tätä vikamekanismia. Epäpuhtauksia esiintyy varsinkin epäpuhtaissa juotosprosesseissa, joihin kuuluvat aalto- ja manuaalijuotos. /3/

3.2.7 Kuormituksen muutos (SM)

Komponenttien pienentymisen johdosta alumiinijohtimien leveys on kaventunut ja tästä syystä katkeaminen voi tapahtua lämpötilan tai jännityksen vaikutuksesta tilanteissa, kun kuormitusta muutellaan. Tämä voi tapahtua ilman virran kulkemista toisin kuin elektromigraatiossa. Tämä vikamekanismi aiheutuu käytössä varsinkin vaativissa olosuhteissa, mutta tämä voidaan myös ottaa huomioon suunnitteluvaiheessa ja tätä tukevat moduuleille ja kokonaisille suojuureille tehtävät tyyppitestit.

/3/

3.2.8 Kuparikaapelin luotettavuus

Kuparikaapelin luotettavuus on herättänyt kysymyksiä, kun komponenttien kokoa on pienennetty, myös kapasitanssi johtimien välillä ja johtimien resistanssi on kasvanut. Tämä voi aiheuttaa viivettä signaalien lähetyksessä. Tästä syystä on alettu käyttää jossain tilanteissa kuparijohtimia alumiinin tilalle. Tämä vikamekanismi tulee ottaa huomioon moduulin suunnitteluvaiheessa. /3/

3.2.9 Korroosio

Ellei tyhjiöpakkauksia käytetä komponenteissa, voi niihin aiheutua helposti korroosioita, kun komponentti altistuu kosteudelle. Lopulta korroosio voi aiheuttaa hajoamisia. Myös koko sarjatuotannossa tehtävä juotosprosessi voi olla pahimmassa tapauksessa sotkuinen ja siinä käytetään runsaasti kemikaaleja ja vettä ja nämä taas aiheuttavat erilaisten epäpuhtauksien kerääntymisen piirilevyille. Nämä kaikki yhdessä aiheuttavat helposti korroosio-ongelmia jäädessään piirilevyille valmistusvaiheessa. Piirilevyjen pesu on yksi vaihtoehto, mutta tässäkin epäpuhtaudet vain kertyvät ahtaiden komponenttien alle. Puhtaita juotosprosesseja ovat pintaliitos (reflow) sekä pressfit-juotokset. Tämä vikamekanismi tulee ottaa huomioon kaikissa suojuureiden valmistuksen käsittelyvaiheissa ja suunnitteluvaiheessa tulee ottaa tyyppitestit huomioon. /6/

3.2.10 Passiivinen hajoaminen

Hartsin ja muiden täyteaineiden käyttö suojana voi aiheuttaa passiivisia hajoamisia esimerkiksi lämmön vaikutuksesta. Se voi joissain tilanteissa aiheuttaa aukkoja piirilevyllä. Tämä vikamekanismi tulee ottaa huomioon suunnitteluvaiheessa ja siinä huomioida varsinkin luvatut käyttölämpötilojen raja-arvot. /3/

3.2.11 Kasvanut Au/Al-yhdistelmä

Kasvanut kullan ja alumiinin yhdistelmä piirilevyjen juotoksissa (juotospiste alumiinia ja puolijohdesirun johdin on kultapäällysteinen) on johtanut siihen, että alkuaineiden ominaisuuksista johtuvista seikoista eri aineet voivat aiheuttaa aukkoja piirilevyssä. Tämä on yleistä varsinkin, kun siirrytään suuriin lämpötiloihin ja juotetaan piirilevyjä manuaalisesti. Ongelma on poistunut suurimmalta osin automaattisten juotosprosessien myötä eli tämä vikamekanismi tulee ottaa huomioon varsinkin juotosvaiheessa. ABB:llä käytetään oikeastaan vain kulta- ja HAL-päällysteisiä (Hot air level) piirilevyjä, joten puhtaan alumiinin ongelmaa ei ole. HAL-päällysteisissä piirileveissä ongelmia voi aiheuttaa liian ohut kerros ja tällöin välimetallikerroksia voi muodostua. Kulta itsessään voi aiheuttaa ongelmia, jos kulta ei ole laadukasta. /3/

3.2.12 Toisioläpilyönti

Toisioläpilyönti on tehotransistorien vikamekanismi, jossa liitoskohdassa tapahtuu suuria jännitteen ja virran muutoksia. Tämä voi aiheuttaa paikallista lämpenemistä ja voi polttaa reiän piirilevyyn. Tämä vikamekanismi tulee ottaa huomioon suunnitteluvaiheessa. Tällöin jäähditys tulee todella tärkeäksi toteuttaa hyvin, jos mahdollisuus toistuviin virran- ja jännitteenmuutoksiin. /3/

3.2.13 Terminen väsymys

Jos laite toistuvasti kytketään päälle ja pois, niin tämä voi aiheuttaa eri komponenteille termistä väsymystä. Tämä voi aiheuttaa erinäisiä ongelmia komponenteille ja lopulta jopa aukkoja piirilevyyn. Tämä vikamekanismi tulee esille vasta käyttövaiheessa. /3/

3.2.14 Ionimuutos

Ionimuutoksia ilmenee, kun elektrolyyttejä on olemassa elektrodien välillä. Tällöin jännitekäyttö elektrodien välillä aiheuttaa sen, että elektrodit luovuttavat metalli-ioneita elektrolyyteistä. Tämä aiheuttaa lopulta oikosulkuja. Tämä vikamekanismi tulee esille vasta käyttövaiheessa, mutta epäpuhtaudet moduulissa edesauttavat tätä vikamekanismia. /3/

3.2.15 Tinaviikset

Juotoksissa lämpötilat ovat kasvaneet, kun lyijyllinen tina on kielletty EU:n toimesta ja tästä johtuen uusien tinayhdisteiden etsinnässä on tullut vastaan, että tina aiheuttaa tinaviiksiä, jotka voivat yhdistää kaksi liitospistettä yhdeksi ja aiheuttaa täten oikosulun. Tämä vikamekanismi tulee ottaa huomioon juotosvaiheessa ja käytettävän juotospastan valinnassa. ABB:llä käytetään tinassa hopean ja kuparin yhdisteitä ja tämän ei ole huomattu aiheuttavan minkäänlaisia ongelmia liittyen tinaviikkiin. /3/

3.2.16 Koteloissa aiheutuvat säröt

Komponentit koteloidaan usein piirilevyllä ja näiden sisällä voi aiheutua kaikenlaisia säröjä. Tähän vaikuttavat usein lämpötila, kosteus ja asennustavat. Esimerkiksi BGA-koteloiduissa (Ball Grid Array) piireissä käytetään juotoksissa juotospalloja, jotka voivat väärän juotosprosessin seurauksena aiheuttaa aukkoja juotoksissa ja oikeaa kontaktia ei synny. Tämä vikamekanismi tulee ottaa huomioon suunnittelu- ja juotosvaiheessa. /3/

3.2.17 Elektrostaattinen purkaus (ESD)

Tästä on kerrottu jo tarkemmin kappaleessa 3.1.5. Tämä vikamekanismi tulee ottaa erittäin tarkasti huomioon moduulin valmistus- sekä kokoonpanovaiheessa, kun yksittäisiä komponentteja tai moduuleja käsitellään.

3.2.18 Latchup

CMOS-(Complementary Metal Oxide Semiconductor) laitteet sisältävät passiivisia NPN- ja PNP-transistoreja sisään- ja ulosmenopiireissä ja nämä voivat aiheuttaa latchup:ksi kutsutun ilmiön. Nämä sisään- ja ulosmenopiirit muodostavat passiivisen tyristorin, joka käyttöjännitteen asettamisen jälkeen ulkoisen latauksen vaikutuksesta voi aiheuttaa tyristorin aktivoitumisen ja tämä taas aiheuttaa liiallisen suuren virran virtalähteen läpi. Tällöin virta kasvaa liian suureksi ja tämä voi aiheuttaa epänormaalia käytöstä komponenteissa. Tämä vikamekanismi tulee ottaa huomioon suunnittelussa ja käyttöönotossa, mutta kaikenlaiset epäpuhtaudet edesauttavat vikamekanismia. /3/

3.3 Juotokset

Yleisesti juotoslämpötiloilla on suuri osuus vikamekanismeissa. Komponentin valmistaja asettaa omat rajansa juotoslämpötiloille ja ABB asettaa omat juotoslämpötilansa alihankkijoille kokonaisten moduulien osalta. Tämä valinta tehdään yleensä moduulikohtaisesti ja rajat voidaan asettaa esimerkiksi niin, että koko moduulin kaikki komponentit juotetaan alimman juotoslämpötilan omaavan komponentin mukaan. Tämä johtuu alihankkijoiden juotosprosesseista, joissa komponenttilevyjen komponentit juotetaan piirilevyyn kiinni käyttämällä ns. aaltojuotosta. Tätä voi edeltää piirilevyn esilämmitys ja juotoksen jälkeen voi tulla jäähdytys. Tästä saadaan sekä esilämmitykselle että jäähdytykselle kulmakerroin, jonka tulee olla tilanteeseen sopiva. Tähän esilämmitykseen ja jäähdytykseen tosin ABB ei ota itse kantaa vaan antaa alihankkijan määrittää parhaan mahdollisen tilanteen juotoksille.

Juotoslämpötiloihin vaikuttaa myös lyijyttömän tinan käyttö, jolloin juotoslämpötilat tulee olla korkeammat. Tämä johtuu siitä, että lyijytön tina omaa korkeamman sulamislämpötilan kun lyijyllinen tina. Tämä voi taas aiheuttaa kylmiä juotoksia tai herkkien komponenttien vikaantumisia johtuen korkeammasta lämpötilasta. Ledit ja elektrolyyttikondensaattorit eli elkot ovat hyvin herkkiä liialle lämmölle.

Juotoksiin vaikuttaa myös piirilevyn tyyppi. Piirilevyjä on yksi- tai kaksikerrosrakennetta, joita käytetään yksinkertaisissa piireissä sekä erillinen monikerrosrakennetta. Kaikissa ABB:n monimutkaisissa piirilevyratkaisussa käytetään monikerrosrakennetta. Juotoksen luotettavuus paranee mitä enemmän kuparointikerroksia on. Juotoksien luotettavuuteen vaikuttaa myös läpivientien ympärille toteutettu johdinrenas eli juotostäplä. Juotostäplää voidaan parantaa pyöristämällä täplästä lähtevää johtimen liitoskohtaa, jolloin sen pinta-ala suurenee ja täten mekaanisen rasituksen riski pienenee. Tätä tyyliä kutsutaan kyyneltäpläksi.

3.4 Tyypitestit

Tyypitestit ovat myös tärkeä osa vikamekanismeja etsiessä. Tyypitesteillä yritetään kartoittaa mahdollisia käyttö- ja asennusolosuhteita. Näitä ovat mm. tärinätestaus, suolasumu- ja monikaasutestit. Tyypitesteissä yritetään löytää jopa mahdollisia maksimirajoja, mitä releet ja moduulit kestävät.

Tärinätesti on testi, jossa tuotteeseen tehdään satunnaistärinä- tai jatkuvatärinätestejä. Tärinätestaus paljastaa huonot juotokset ja vaatii jatkuvaa visuaalista tarkastelua ja jopa röntgeniä. Suolasumutestissä sumutetaan erilaisia standardisuoloja vesiliuoksina laitteiden päälle ja tämän jälkeen laitteita säilytetään kosteassa tilassa useimpia päiviä tai jopa viikkoja. Suolasumutestissä saadaan selville erilaisia korroosiokestävyyden tietoja. Monikaasutestissä laite altistetaan erilaisille kaasuille ja pidetään yllä korkeaa lämpötilaa ja kosteutta samanaikaisesti. Monikaasutesteissä saadaan myös esille pinnoitteiden korroosioriskit. /6/

4 RELEIDEN TUOTANTOPROSESSI

Releiden valmistusprosessiin liittyy monia eri tekijöitä ja toimittajia. Yksittäiset moduulit valmistetaan erillisillä alihankkijoilla. Itse tuotanto ja toimitus toteutetaan ABB:n tehtailla. Tämän jälkeen asiakkaalla toteutetaan releen asennus ja käyttöönotto.

4.1 Tilausprosessi

Prosessi alkaa normaalisti moduulien tilausprosessista, jonka suorittaa yrityksen ostohenkilöstö. Yrityksessä tilataan normaalisti moduuleja ja mekaniikkaa alihankkijoilta vain tarpeeseen eli tilauskannan mukaan. Poikkeuksen tähän aiheuttaa Relion 615-sarjan luvattu toimitusaika asiakkaalle. Tämä luvattu aika on 2 viikkoa tilauksesta. Mm. tämän takia vaaditaan tehtaalle jonkinlaiset turvarajat kaikelle materiaalille. Turvarajana käytetään yleensä noin kuukauden tarvetta eli pienenlainen ennustaminen tulee tässä tilanteessa mukaan. Turvarajat ovat myös sitä varten, jos sattuu jokin tuotannollinen tai muu ongelma jossain moduulissa. Tämän jälkeen joudutaan joissakin tilanteissa asettamaan moduulille jopa toimituskielto, ennen kuin havaittu vika on korjattu. Turvarajat luovat tässäkin tilanteessa lisävaihtoehtoja.

4.2 Valmistus alihankkijoilla

Alihankkijat tekevät moduulit ja mekaniikan eri osat ABB:n asettamien teknisten tietojen perusteella. ABB velvoittaa alihankkijat valmistamaan elektroniikkamoduulit IPC-A-600- ja IPC-A-610-standardien mukaan. Alihankkijat valmistavat tuotteista 0-sarjat, jotka lähetetään ABB:lle testaukseen ja hyväksyntään ennen varsinaisen sarjatuotannon aloittamista. Tätä edeltää yksittäisten komponenttien valinta ja niiden hyväksyntä. ABB ylläpitää alihankkijoille erillistä komponenttilistausta sallituista komponenteista. Joissakin komponenttityypeissä on yleensä monenkin eri valmistajan hyväksytty komponentti. Tällöin alihankkija saa itse valita, mitä komponenttia käyttää ja jonkun komponenttivalmistajan saatavuus- tai laatuongelmat eivät suoraan vaikuta tuotantoon.

Alihankkijat valmistavat komponenttilevyjä tilausten perusteella, mutta ne tekevät myös ostoennusteiden perusteella omia varastojaan ja turvaavat myös omalta osin omaa toimitusvarmuuttaan. Tämä on myös hyvä apu epätasaisen suojareleiden myynnin tueksi. Suojareleiden myynti on hyvin asiakaspainotteista. Yksittäiset asiakkaat ostavat isoja määriä suojareleitä eli tasaista viikoittaista myyntiä ei ole.

Moduulien kehityksen sivussa valmistellaan koko ajan jokaiselle moduulille omaa testilaitetta eli moduulitesteriä. Jokainen moduuli testataan alihankkijalla toiminnallisella testillä, jossa on jokaiselle eri moduulille eri testit mitä testeri testaa. Testit luovutetaan alihankkijoille valmiiksi asennettuna. Asennuksessa on valmiina testirajat kullekin testille eli mitä arvoja testilaitteen tulisi saada, jotta testi menisi läpi. Kaikki testiraportit tallentuvat automaattisesti verkkoon ABB:n työntekijöiden nähtäväksi. Jokainen moduuli testataan sen omalla sarjanumerolla, jolloin jälkeensä jäljitys onnistuu helposti.

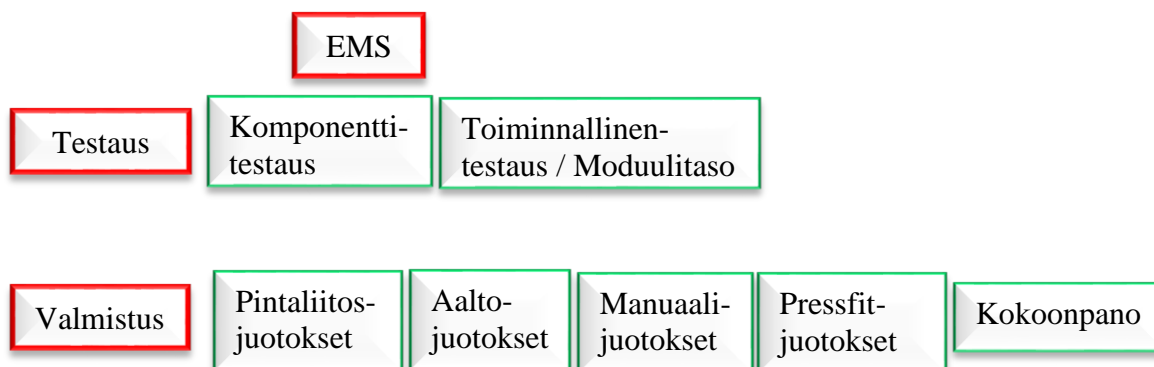
Valmistuksessa on monenlaisia kriittisiä vaiheita, joissa on vikaantumisriskejä. Muuntajien käämintä on tästä hyvä esimerkki. Muuntajien kierrokset ovat todella pienestä kiinni ja tämä käämintä toteutetaan vielä nykyäänkin osittain käsityönä. Väärä muuntosuhde aiheuttaa heti ongelmia suojareleen toiminnassa ja näitä ei välttämättä huomata kuin vasta asiakkaalla.

4.3 Releen valmistus ja testaus

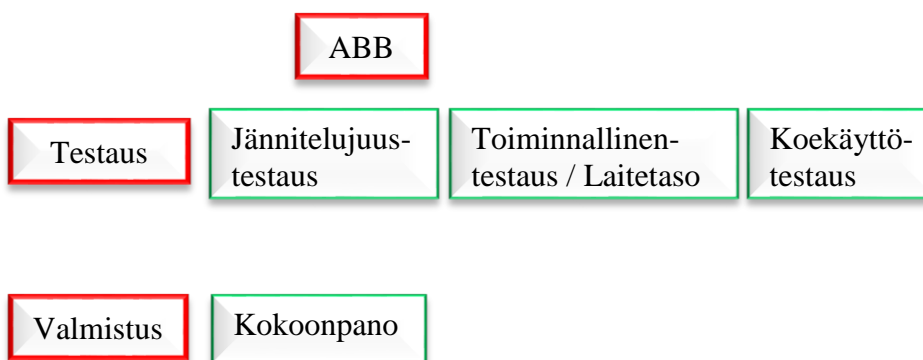
Kun halutut komponentit on saatu tehtaalle, alkaa tehtaassa itse releen kokoonpano ja siihen liittyvät toimenpiteet. Kokoonpanolinjastoilla on erittäin tärkeää yleinen turvallisuus. Tämä johtaa siihen, että linjastot pidetään hyvin siisteinä ja testilaitteet ovat hyvin suojattuja, ettei jännitteisiin osiin ole pääsyä.

Tärkeä asia koko tuotantolinjalla on myös otsikon alla 3.1.5 mainittu elektroniikalle vaarallinen ESD (Electrostatic discharge eli sähköstaattinen purkaus). Koko tuotantoalue on ESD-suojattu eli lattia on lakattu ESD-lakalla tai käytetään ESD-mattoa. Tuolit, pöydät ja työskentelyalustat ovat ESD-suojattuja ja jokaisella työntekijällä tuotantolinjalla on ESD-vaatteet (vähintään takki ja kengät). Myös työskennellessä työpisteillään jokainen henkilö käyttää maadoitusranneketta, joka on liitettyinä

ESD-työpöytiin. Myös jokaisella työpöydällä on ionisaattori, joka tasoittaa jänniteeroja. Nämä edellä esitetyt tuotantolinjalla käytetyt ESD-välineet estävät sähköstaattista purkausta menemästä komponenttilevyihin. Täten purkaukset menevät suoraan maahan. Testauksen ja valmistuksen eri vaiheet ja vastualueet on esitetty kuvissa 4 ja 5.



Kuva 4. Alihankkijalla tapahtuvat testaus- ja valmistusvaiheet.



Kuva 5. ABB:llä tapahtuvat testaus- ja valmistusvaiheet.

4.3.1 Kokoonpano

Kokoonpanolinjasto koostuu monesta eri osasta. Ensin kootaan mekaaniset osat, kuten kotelo ja siihen kuuluvat liittimet. Samalla kootaan releelle näyttö liittämällä siihen muovinen pistoyksikkö, johon on liitetty CPU-moduuli ja takalevy. Releen moduulien asennus tehdään asiakkaan tilauksen perusteella.

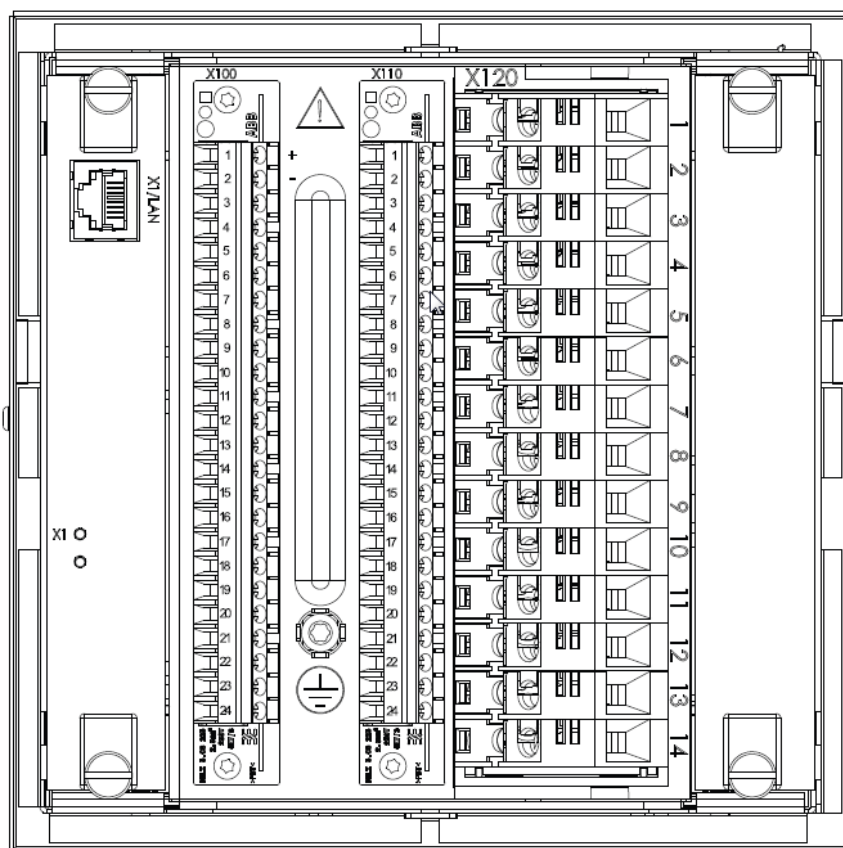
Asennus alkaa sijoittamalla releen pistoyksikköön asiakkaan valitseman konfiguraation (**Taulukko 1.**) vaatimia kortteja. Tässä tilanteessa tulee esille se, montako

analogista tai digitaalista tulo- ja lähtöporttia tarvitaan ja mitä kommunikaatiotapaa asiakas haluaa käyttää. Taulukosta 2 nähdään releen moduulien paikkakohtaiset sijoitukset releen sisällä ja vastaavasti kuvasta 6 nähdään releen taustanäkymä, missä nähdään liittinnumeroinnit. Kuvan 6 liittimen X100 vasemmalla puolen on taulukon 2 mukainen liitinpaikka X000 = X90 (paikka 4) ja liittimen X120 oikealla puolen on taulukon 2 mukainen liitinpaikka X130 (paikka 0). Nämä kaksi liitinpaikkaa ovat irrotettavissa pikaliitännöillä suoraan takalevystä.

Moduulien sijoittamisen jälkeen pistoyksikköönsä rele on kokoonpanoltaan valmis ja pistoyksikkö liitetään tämän jälkeen koteloonsa ja rele on valmis testausprosessiin. Jokaisesta releeseen liitetystä osasta tulee releeseen pistoyksikön kylkeen tarra, mistä nähdään ja voidaan lukea liitettyjen moduulien lajimerkit, selitykset ja sarjanumerot. Nämä luetaan järjestelmään lopputestausvaiheessa ja yksikköpakkausvaiheessa kyseiset moduulit ja mekaaniset osat vähenevät varastomääristä järjestelmässä.

Taulukko 2. 615-sarjan moduulien paikkakohtaiset sijoitukset.

5-Paikkaa (615-sarja):		
Paikka	Liitin	Moduuli
Paikka 0	X130	Valinnainen kortti:
		BIO0003
		AIM0003
		AIM0006
		AIM0007
RTD0001		
Paikka 1	X120	- AIM
Paikka 2	X110	- BIO
Paikka 3	X100	- PSM
Paikka 4	X000 = X90	- COM



Kuva 6. Releen taustapuoli ja liittimien numeroinnit /7, 73/.

4.3.2 Testaus

Testaus koostuu Vaasan tehtaalla kolmesta eri testistä. Aluksi releelle suoritetaan jännitelujuustesti, jossa testataan releen kaikkien eri moduulien jännitelujuutta. Jännitelujuus tarkoittaa ominaisuutta, joka kertoo sen miten suuri jännite vaaditaan, jotta materiaalissa tapahtuu läpilyönti. Testauslaite syöttää moduuleihin korkeajännitteen (2,2 kV) yhden sekunnin ajaksi. Kommunikaatioväyliin käytetään vain 500 voltin jännitettä. Suojareleiden tulee kestää tästä aiheutuva jänniterasitus. Tämä tarkoittaa sitä, että virta ei saa nousta liian suureksi. Yleisesti ottaen 0,1 mA on alaraja ja 5 mA on yläraja, tosin paria poikkeusta lukuun ottamatta. Näissäkin virran sallittu maksimiarvo on vain 15 mA. Jännitelujuustestissä käytetään standardin IEC 60255-27 mukaisia jännitearvoja. /8/

Jännitelujuustestin jälkeen releelle tehdään releen lopputestaus, jossa testataan releen lopullinen toiminta ja mittaustarkkuus. Lopputestauksessa simuloidaan releen

kommunikaation sekä tulojen ja lähtöjen toiminta ja ladataan releeseen asiakkaan haluama peruskonfiguraatio. Lopputestauksessa pitäisi jäädä kiinni kaikki vialliset kortit. Jos testiasema pysähtyy jonkun tietyn testin kohdalla, se voi kertoa, että kyseinen kortti on vikaantunut. Näin ei tosin aina ole, koska yksittäisen kortin ongelmat voivat aiheutua myös releen keskusyksiköstä tai takalevystä ja sen huonoista kontakteista, johon kaikki moduulit liittyvät. Tämä selviää oikeastaan vain eri moduuleita vaihtamalla ja testaamalla uudelleen. Tällä tavalla pystytään kartoittamaan vikaantunut kortti.

Vikojen varmistaminen löydetyistä mahdollisista vikaantuneista moduuleista voidaan tehdä testaamalla yksittäinen moduuli uudelleen moduulitestiasemassa. Tätä ennen on hyvä tehdä moduulille visuaalinen tarkastus, jossa suljetaan pois mahdolliset komponenttien visuaaliset havaittavat vikaantumiset. Näistä tuloksista voidaan päätellä, mistä vika mahdollisesti johtuu ja miten se voidaan korjata.

Näihin tuotantoprosessissa havaittuihin vikoihin on toteutettu tehtaalla uusi prosessi, jossa tuotantolinja kerää testereissä hylätyt kortit ja luovuttaa ne tuotannon laatutiimille. Tuotannon laatutiimi testaa yksittäiset moduulit uudelleen moduulitestiasemassa kaksi kertaa ja jos ne menee molemmilla kerroilla läpi, niin moduulit lähetetään uudelleen tuotantolinjalle. Jos moduuli ei mene testilaitteesta läpi, moduuli tutkitaan ja tämän jälkeen löytynyt vika korjataan tai siirrytään jatkoimennepiteisiin moduulien toimittajan puoleen.

Tuotannon laatutiimi toteuttaa myös otantatarkastuksia kiinnostaville moduuleille, joissa on huomattu vikoja. Tämä tarkoittaa sitä, että joistain toimittajalta saapuneista eristä otetaan satunnaisesti pari laatikkoa moduuleita ja testataan nämä moduulitestiasemassa. Tällä suljetaan pois toimittajalla mahdollisesti aiheutuneet viat joissain erissä. Vikaantuneen erän löytymisen todennäköisyys on todella pieni, koska vikaantuneiden moduulien prosentuaalinen määrä ei ole merkittävä. Tosin silloin jos otantatarkastuksessa löytyy edes muutamia vikaantuneita moduuleita, se voi usein tarkoittaa, että koko erä on vikaantunut ja tällaiset löydöt ovat todella merkittäviä. Otantatarkastukset, varsinkin versiomuutosten jälkeen, ovat todella hyvä menetelmä varmistaa toimittajan laatu.

Viimeisenä testinä releelle suoritetaan testiajo lämpökaapissa, jossa simuloidaan releen ääriolosuhteita asetellulla lämpötilalla. Tätä ajoa olisi hyvä suorittaa 24 tuntia, jotta saadaan ääriolosuhteet mahdollisimman hyvin testattua, mutta tuotannossa käytetään yleensä 12 tuntia. 12–24 tunnin kuluttua releestä luetaan rekisterit ja katsotaan onko mitään epäilyttävää tapahtunut. Lämpäistyään nämä edellä mainitut testit, rele on valmis ja voidaan lähettää asiakkaalle.

4.4 Toimitus

Releen valmistuttua kokoonpanolinjalta se menee kahden pakkausaseman kautta lähettämöön. Ensin rele pakataan yksikköpakkaukseensa ja tämän jälkeen saman asiakkaan releet ja muut tilauksen sisältämät osat kootaan yhdeksi ryppääksi ja pakataan loppupakkauksessa lavoille tai isompiin laatikkoihin. Tätä seuraa lähettämö, josta paketit lähtevät asiakkaille ympäri maailmaa.

Toimituksessa on monenlaisia riskejä vikaantumisille. Laitteiden pakkaukset tulevat olla tiiviitä ja hyvin pehmustettuja, että kestävät esim. mahdolliset pudotukset ja tärinät. Pakkauksissa on myös mahdollista käyttää erilaisia indikaattoreita. Indikaattorit toimisivat hyvänä tukena takuun kanssa. Indikaattorit pakkauksien sisällä näyttäisivät, onko pakkaus (suojarele) altistunut kovalle kosteudelle tai pudotuksille ja nämä tiedot voitaisiin vaatia asiakkaan ilmoittamaan mm. takuutilanteissa.

Lähettämössä on tarkat suojatoimenpiteet johtuen lentorahtin tunnetun lähettäjän vaatimuksista. Tunnettu lähettäjä sanonta liittyy siihen, että lentorahtia saa suorittaa vain tunnettujen lähettäjien toimesta. Saadakseen tunnetun lähettäjän statuksen tulee yrityksen läpäistä siihen liittyvät vaatimukset. Tästä syystä lähettämö on ovilla eristetty paikka, johon on oikeutettuja menemään vain lentorahtikoulutuksen käyneet työntekijät. Lentorahti on kallein kuljetusmuoto ja tässä on myös tosi tarkat turvallisuuskriteerit kaikenlaisten uhkien varalta, kuten terroriuhkat. /9/

4.5 Asennus

Releiden saavuttua asiakkaalle alkaa releiden asennus ja tähän liittyvät käyttöönototestaukset. Tässä on yleensä yhtenä huonona puolena se, että asiakkaat tilaavat

releet työmaille jo hyvissä ajoin ennen projektin asennusvaihetta, että kaikki olisivat valmiina, kun niitä tarvitaan. Tämä johtaa siihen, että releet voivat olla jossain varastoissa/konteissa pitkiäkin aikoja ennen kuin ne asennetaan käyttöön ja tämä voi aiheuttaa ongelmia. Itse ongelmat aiheutuvat varsinkin silloin, jos ilmastossa on epäpuhtauksia tai lämpötiloissa on suuria vaihteluita.

Asennuksessa aiheuttavat vikaantumisriskejä myös kaikenlaiset roskat ja johdonpätkät. Kaikenlaiset asennuksesta aiheutuvat johdonpätkät voivat joutua suojareleen kotelon sisään ja pahimmassa tapauksessa voi aiheuttaa oikosulun. Tämä aiheutuu siitä, että suojareleen kotelossa on nykyään monia pieniä reikiä jäähdytyksen vuoksi ja näistä voivat huonossa tapauksessa mennä johdonpätkät ja roskat kotelon sisään.

Vikaantumisriskejä aiheutuu myös tilanteessa, kun työmaalla vaihdellaan suojareleeseen yksittäisiä moduuleja. ESD-suojaus tulee tässä vaiheessa mukaan tilanteeseen ja työmaalla se on usein vaikeaa toteuttaa. ABB:llä on myynnissä ESD-suojia, jotka ovat käteviä työalustoja kun vaihdellaan yksittäisiä moduuleita. Työmailla voi olla usein huolimattomuutta ja välinpitämättömyyttä, kun yksittäisiä moduuleita vaihdellaan, ja tällöin voi tulla ESD:stä aiheutuvia ongelmia. Pahimmassa tapauksessa voi montakin suojareleen moduulia vahingoittua.

5 ASIAKASPALAUTUKSET

Jokainen takuupohjainen asiakaspalautus tulee takaisin asiakkaalta Vaasaan Medium Voltage Service - yksikköön, jossa ne käydään läpi yksitellen, jotta saadaan tieto mahdollisimman nopeasti mahdollisista toistuvista vioista. Myös asiakaspalveluun kuuluu, että asiakas saa mahdollisimman nopeasti selityksen/vika-analyysin takuupalautuksesta. Kuvassa 7 on esitetty asiakaspalautusten kiertokulku ABB:llä.



Kuva 7. Asiakaspalautusten kiertokulku.

Asiakaspalautuksien releet käydään läpi kahdessa eri tarkastuksessa. Ensimmäinen läpikäyminen on niin sanottu nopea tarkastus, jossa releeseen laitetaan sähköt päälle ja todetaan asiakkaan ilmoittama vikadiagnoosi oikeaksi tai vääräksi. Asiakkaat ilmoittavat takuupalautuksen yhteydessä jokaiselle sarjanumerolle oman vikadiagnoosin, mikä auttaa laatutiimiä jatkotutkimuksissa. Nopean tarkastuksen jälkeen asiakkaalle ilmoitetaan vikadiagnoosi, jos asiakas niin on halunnut ja tämän jälkeen rele jää odottamaan lopullista tarkastusta, jossa tutkimuksissa mennään moduulitasolle asti. Tässä vaiheessa rele puretaan osiin ja etsitään näin lopullinen juurisyy moduulitasolla.

Yleensä nopean tarkastuksen jälkeen saadaan kokonaiskäsitys siitä, meneekö hajonnut rele/moduuli takuun piiriin vai johtuuko viat esim. asiakkaan vääristä käytötavoista eli rele on hajonnut asiakkaan toimesta. Joidenkin moduulien yksittäisten osien osalta jopa toimittaja on luvannut komponenteille muutaman vuoden takuun, jos komponentti vikaantuu. Tähän kuuluvat näyttöjen LCD-paneelit, jos esimerkiksi näytöstä puuttuu pikseleitä. Joka tapauksessa asiakas saa uudet moduulit/releet vahingoittuneiden tilalle, joko takuun piiriin tai ei.

Takuupalautuksena saapuu tehtaalte myös yksittäisiä moduuleita, mutta tämä on vain ABB:n sisäisten kojeistotehtaiden toimintaa. Yksittäisiä irrotettavia moduulikortteja kuten BIO-, AIM-, RTD- ja PSM-kortteja saavat isot ABB:n sisäiset kojeistotehtaat vaihtaa itsekin. Näytöt kuuluvat myös sallittuihin vaihtoprosesseihin. Nämä yksittäiset moduulit ovat priorisoinnissa aika alhaalla, koska kokonaiset releet menevät näiden edelle. Tämä johtuu siitä, että kokonaisten releiden palautukset tulevat usein ABB:n ulkoisilta loppuasiakkailta.

6 TUTKIMUKSET

6.1 Romutuksen vähentäminen

Romutuksen vähentäminen on koko teollisuuden alalla tällä hetkellä ajankohtainen aihe. Kuluja yritetään karsia joka osa-alueelta ja varsinkin romutusprosentti pitäisi saada todella pieneksi, koska jokaisen kortin/releen romutus on joka kerta hukkaan heitettyä rahaa. Romutukset aiheutuvat yleensä erilaisista tuotannosta ja valmistuksesta johtumattomista vioista, mutta osa vioista voi aiheutua myös kuljetuksessa, tuotteen käsittelyssä, valmistuksessa tai kokoonpanossa. Tosin suuri osa romutuksista on myös tietoisia romutuksia, jotka aiheutuvat erilaisista revisiomuutoksista yms. Tämä tarkoittaa yleensä sitä, että romutus tulee halvemmaksi kuin tuotteen revisiomuutokset. Tämän työn pohjana on tutkia nimenomaan Relion 615-sarjan vikoja, jotka voisivat aiheutua valmistus- tai tuotantoprosessista. Tutkimuksessa on otettu huomioon materiaaliikohtaiset romutukset ja niiden kustannukset puolen vuoden ajalta (kesäkuu – marraskuu 2014) ja näitä tietoja on hyväksikäytetty ABB:n sisällä.

6.2 Vikojen luokittelua

Vikojen luokittelua lähdettiin tutkimaan vähän eri suunnasta kun normaalisti. Tarkoituksena on käydä läpi asiakaspalautukset, jotka ovat saapuneet tehtaalle takuupalautuksena viimeisen puolen vuoden aikana. Viat voidaan luokitella ihanneta-pauksessa kuvan 8 mukaisesti.



Kuva 8. Vikojen luokitteluryhmät.

Tutkimuksen tarkoituksena on nimenomaan keskittyä yksittäisiin moduuleihin, koska näitä ei normaalisti laatu tiimi ehdi tarkistaa kovin perusteellisesti. Tämä johtuu siitä, että priorisointi on näissä keskitetty niin, että asiakas on aina tärkein ja tämän jälkeen vasta itse ABB:n sisäiset asiat ja nekin kiinnostavuusjärjestyksessä.

Tämä tarkoittaa sitä, että toistuvat viat tutkitaan yksittäisiä vikoja ennen. Tämä on tutkimusmielessä tärkeää, koska toistuvista vioista voi löytyä prosessista johtuvia vikoja, mitkä tulee korjata mahdollisimman nopeasti. Yksittäisistä moduuleista ei ole informaatiota etukäteen muuta kuin se, mitä asiakas on antanut omalla vika-analyysillään.

Myös sellaisten korttien tutkimukset kiinnostavat, mitä asiakas ei saa itse vaihtaa. Näihin kuuluvat CPU- sekä takalevy-kortti, joista varsinkin CPU-kortista on huomattu löytyvän mahdollisesti tuotannosta aiheutuvia vikoja. Näissä korteissa ei ole myöskään suurta vaaraa siihen, että asiakas olisi itse vahingoittanut kortteja, koska näihin kortteihin ei pääse helposti käsiksi. Näistä korteista löytyy myös tuotannosta hylättyjä kortteja eli näitä olisi helpompi alkaa tutkia kuin asiakaspalautuksia. Asiakaspalautuksista tulisi rele kerrallaan purkaa CPU- ja takalevy-kortit.

Jokaisen kortin ja releen asiakasvika-analyysit löytävät ERP-järjestelmästä (SAP) asiakkaan ostotilausnumeroiden perusteella omasta transaktiostaan. Vika-analyysissä näkyy kunkin kortin sarjanumerot ja lajimerkit. Järjestelmä osaa myös ajaa excel-tiedoston kaikista järjestelmässä olevista takuupalautuksista halutulta aikaväliltä tuoteperheittäin. Tutkimuksessa tutkittiin vain Relion 615-sarjaa ja samalla 620-sarjaa, koska nämä kaksi sarjaa käyttävät samoja moduuleita.

Excel-tiedoston ajamisen jälkeen joudutaan manuaalisesti käymään läpi jokainen excel-tiedoston rivi ja käymään läpi asiakkaan ilmoittama vika-analyysi ja lisäämään tämä excel-tiedostoon. Kokonaisten releiden osalta nopean tarkastuksen läpikäydyissä releissä asiakkaan vika-analyysi kirjoitetaan tarkastajan toimesta järjestelmän eri kohtaan, jolloin se näkyy myös excel-tiedostossa ja huomataan samalla, että nopea tarkastus on tehty. Takuupalautuksena tulleiden yksittäisten korttien, eikä releidenkään määrä ole kovin suuri, joten tulosten oikeellisuudesta ei ole varmuutta. Tulee myös muistaa, että vika-analyysit ovat asiakkaiden antamia, joten siihenkin täytyy suhtautua kriittisesti.

6.3 Asiakkaan vika-analyysit asiakaspalautuksissa

Kokonaisvaltaisesti ajateltuna yksittäisissä moduuleissa olevat viat ovat osin jo tiedossa ja suurin osa vioista aiheutuu yleensä suunnittelu- tai komponenttivirheistä. Tutkimuksessa on käytetty näitä asiakkaan antamia vika-analyysijä ja näitä on vertailtu testilaitteiden antamiin vika-analyysihin ajalta kesäkuu – marraskuu 2014. Yksittäisten näyttöjen vika-analyysit kertovat siitä, että suurin osa vioista aiheutuu jonkinlaisesta näytön LCD:n ongelmasta, jolloin kontrastin kanssa on ongelmia tai yksittäisiä pikseleitä puuttuu. Joitain näyttöjä on myös tullut vastaan missä LCD on kokonaan rikki. Tästä voidaan tehdä päätelmiä siitä, että tuotannosta aiheutuvat viat voisivat olla kaikki muut kuin LCD-paneelista johtuvat, esim. etukommunikaatioportin toimimattomuus on hyvä esimerkki tällaisista vioista. Tämä taas voi johtua tuotannon tai käyttöönoton kovakouraisista käsittelytavoista mm. RJ45-liitintä irrotettaessa testilaitteista.

Moduulikorttien kanssa ilmenneet viat ovat kutakuinkin kyseisen kortin käyttötarkoituksen toimimattomuus. Esimerkkinä ovat kommunikaatiokortin toimimattomuudet eri porteista, AIM-kortin analogia mittausvirheet/-viat, BIO-kortin binaaritulo- ja lähtökanavien ongelmat sekä virtalähdekorttien toimimattomuus eli rele ei vain yksinkertaisesti lähde päälle. Osa palautuneista korteista ovat jollain tavalla vahingoittuneet näkyvästi, varsinkin virtalähdekortit. Tällöin osa komponenteista ovat yleensä palaneet tai muulla lailla vahingoittuneet. Tämän voi aiheuttaa myös asiakkaan kytkentävirheet käyttöönotossa.

Kun katsotaan palautuneiden korttien ja kokonaisten releiden testauskertojen määrää prosentuaalisesti asiakaspalautuksissa huomataan, että palautuneista korteista/releistä 87 % on mennyt ensimmäisellä testauskerralla läpi. Vähän yli 13 % on vaatinut toisen tai useamman testikerran läpäistäkseen moduulitestauksen yksittäisten moduulien osalta ja tuotantotestauksen (jännitelujuus-/loppu-/koekäyttötestauksen) kokonaisten releiden osalta.

Eriteltyinä testikerrat moduuli- ja tuotantotestaukseen huomataan, että asiakaspalautuksista 12 % on vaatinut enemmän kuin yhden testikerran moduulitestiasemassa ja vastaavasti 17 % on vaatinut enemmän kuin yhden testikerran tuotantotestauksessa,

jossa yleensä useamman testikerran on aiheuttanut lopputestaus. Näistä voidaan päätellä sitä, että moduulin tai releen saadessa hylätyn ensimmäisellä testikerralla, voisi kertoa jo jonkinlaisesta vikaantumisesta. Tämä tosin edellyttää testilaitteiden täydellistä kuntoa ja huoltoa. Yleensä moduuli tai rele menee läpi toisella testikerralla, johtuen nimenomaan testilaitteen adapterien kulumisesta. Yli 3 testikertaa vaativan moduulin osalta voitaisiin jo sanoa, että jonkunlainen vikaantuminen on aiheutunut.

Asiakaspalautuksissa yksittäisten moduulien määrä ei ollut kovinkaan suuri ja tästä johtuen toistuvia vikoja ei ole löydetty niin hyvin kuin oli tarkoitus. Oletusarvoisesti ajateltuna oli oletettu, että toistuvia vikoja löytyisi todistettua enemmän, mutta näin ei valitettavasti ollut. Suurin osa vioista todellakin johtuu tuotannosta tai valmistuksesta johtumattomista vioista ja näiden jäljelle jääneiden vikojen mukaan ei mahtunut juurikaan toistuvuutta.

6.4 Asiakaspalautusten moduulitestaus

Mahdollisuudeksi jäi, että testataan moduulitestausasemassa yksittäisiä moduuleja asiakaspalautuksista. Näiden moduulien vähäisen määrän takia joudutaan purkamaan palautuneita releitä moduulitasolle ja ottamaan sieltä mukaan moduuleita testattavaksi. Reletasolla auttaa se, että suurimmalle osalle releitä on ns. nopea tarkastus tehty ja vika on kaavailtu jollekin alueelle. Tämän takia on helppo kartoittaa haluttuja moduuleja mukaan testiin. Vielä helpommin saatavilla on yksittäiset moduulitason palautukset.

Moduulitasolla joudutaan jättämään moduulitestaus väliin sellaisille korteille missä on silmin nähden havaittavissa olevaa vahingoittumista. Yleensäkin näitä moduuleita on turha tutkia tuotannon vikamekanismeina, koska ne ovat yleensä suunnittelu-, käyttöönotto- tai asennusvirheitä ja näistä ei jälkeenpäin oikein pysty sanomaan mitään. Näihin voidaan lisätä myös satunnaiset juotosviat, jotka yleensä luokitellaan jopa suunnitteluvirheiksi ilman tarkempia tutkimuksia.

Moduulitestauksessa toteutettiin uusintatestit pääasiassa PSM-, BIO- ja AIM-korteille. Kokonaisvaltaisesti huomioiden asiakkaiden hajonneeksi ilmoitetut moduulit

eivät läpäisseet myöskään moduulitestiä, tosin yksi PSM-kortti läpäisi moduulitestin. Vikojen yhteenvedon jälkeen alkoi selvitys, mitä vikoja testerien ilmoittamat toimimattomuudet voisivat olla. Kävi selväksi suhteellisen nopeasti, että joissain tapauksissa se oli suoraan selvästi asiakkaan vääristä toimintatavoista aiheutunut vika. Suurimmassa osassa tosin oli jo tiedossa olevia vikoja, jotka aiheutuvat erinäisistä komponentti-/suunnitteluvirheistä.

7 PARANNUSEHDOTUKSET

Vaasan kokoonpanolinjalla jokainen releen kokoonpanolinjaston työvaihe on hyvin ohjeistettu, mutta toistuva työ voi pahimmillaan aiheuttaa jonkinlaista huolimattomuutta ja jopa välinpitämättömyyttä. Tämä on aina mahdollista niin kauan kuin ihminen on tuotantolinjalla, jolloin voi tapahtua inhimillisiä erehdyksiä. Tämä voi aiheuttaa monenlaisia mekaanisia vaurioita releeseen. Jos tähän otetaan huomioon vielä hieman kovakourainen releiden sekä myös yksittäisten moduulien käsittely, voidaan saada aikaan suuriakin vahinkoja.

Ohjeissa oleva huonous liittyy siihen, että suurin osa ohjeistuksesta on vain paperisena versiona olemassa, eikä esim. tietokoneen näytöllä, josta voisi katsoa tietyn kokoonpanon korttien järjestyksen. Tässä tilanteessa voitaisiin kuitata aina jokaisen tuotantovaiheen jälkeen ja myös sen jälkeen, kun oikeat moduulit ovat releessä ja saataisiin tuotantoprosessin jokaiseen vaiheeseen henkilö syöttämään henkilönumeronsa tietokoneelle, jolloin kuittaukset olisivat henkilökohtaiset. Nykyään moduulien järjestys tulee suurimmalta osalta muistinvaraisesti ja tarvittavat moduulit luetaan vain tulostetusta osaluettelosta. Henkilönumeron ampuminen voisi auttaa myös suhtautumaan vakavammin työskentelyyn tuotantolinjalla.

Tästä seuraa osana ongelmaa myös se, että ohjeita ei täydellisesti noudateta. Huomattavana seikkana on esimerkiksi, että ohjeiden mukaan vain yhtä relettä tulee koota kerrallaan. Tästä on kuitenkin huomattu olevan poikkeuksia, eli jotkut työntekijät kasaavat monta relettä kerrallaan ja tämä voi aiheuttaa huolimattomuutta varsinkin tilanteissa, jolloin tauot keskeyttävät työskentelyn.

Varsinkin pistoyksikön kokoonpanossa on huomattu kovakouraista käsittelyä mm. liitettäessä CPU-korttia takalevyn liittimeen kiinni. Tällöin CPU-kortti voi taipua liiallisen ja väärin kohdistetun voiman ansiosta ja aiheuttaa täten kortin hajoamisen. Tämä alkukokoonpano aiheuttaa koko tuotantolinjalle turhaa työtä, koska koottu pistoyksikkö voi vasta lopputestauksen vaiheessa tulla huomatuksi. Pahimmassa tapauksessa tällöinkin vaihdellaan kaikki muut moduulit ennen CPU-korttia. CPU-kortin irrotus vaatii myös näytön irrottamisen pistoyksiköstä eli tähän menee paljon

kallista aikaa hukkaan. Takalevy on myös toinen vaikeasti vaihdettava kortti, varsinkin silloin, kun vika huomataan kokoonpanolinjaston loppupäässä.

Testilaitteissa ohjeistus on toteutettu tietokoneen ruudulla, jossa pitää kuitata kriittiset työvaiheet tehdyksi, ennen kuin voi aloittaa testauksen. Tosin tämäkin aiheuttaa sarjatuotannossa ongelmia ja ohjeistukset jää jossain vaiheessa huomiotta ja ohjeet kuitataan vain painamalla Enteriä. Tämä aiheuttaa ongelmia varsinkin silloin, jos releen tyyppi/konfiguraatio vaihtuu kesken kaiken ja vaaditaan jotain erilaisia toimenpiteitä. Tällöin ei välttämättä huomaa, tekeekö jotain väärin ja pahimmassa tapauksessa releen moduulit vahingoittuvat ja/tai joudutaan vaihtamaan moduuleita releeseen väärän toimenpiteen vuoksi. Moduuleiden irrotuksessa ja uudelleenkoonpanossa on aina mahdollista, että esim. takalevyn pinnit vääntyvät ja kontaktit huononevat.

Testilaitteisiin liittyvä parannusehdotus liittyy tuotannon lopputestiasemaan. Kun kokonainen rele saa hylätty-statuksen lopputestiasemassa, tällöin vian etsintä eli käytännössä moduulien vaihto tapahtuu tällä hetkellä vain jokaisen työntekijän omalla tuntumalla. Testi pysähtyy johonkin kohtaan, josta voidaan saada vähän informaatiota, mikä moduuli voisi olla vikaantunut. Tämä ei tosin aina, eikä edes kovin usein, ole ongelman juurisyy. Tästä asiasta on tehty paperisena versiona ohje kuinka toimitaan, jos rele saa hylkäyksen jossain kohdassa. Tämä paperinen ohje voitaisiin jotenkin sisällyttää testilaitteeseen ainakin soveltuvien osien kun se on mahdollista. Tämä poistaisi prosessin eroavaisuuden eri työntekijöiden välillä ja mahdollisesti poistaisi väärin moduulien vaihtamisen releeseen.

Tuotannosta aiheutuvat viat yleisesti johtuvat mm. materiaalin käsittelystä, kokoonpanovirheistä ja testilaitteiden toiminnasta. Tämä on huomattava varsinkin tilanteissa, joissa yksittäisiä kortteja on testattu useita kertoja. Asiakaspalautuksissa on varmasti myös väärin kerättyjä/konfiguroituja releitä ja nämäkin ovat kaikki ylimääräistä kustannusta, kun nämä tulevat asiakaspalautuksina tehtaalte takaisin.

Myös asiakaspalautusten käsittelyssä on paljon parannettavaa. Tällä hetkellä asiakaspalautuksien käsittely kestää aivan liian kauan. Tavoitteena voitaisiin pitää 1 viikko. Toisinaan on tilanteita, että asiakaspalautuksien käsittely venyy yli viikon

ja tähän pitäisi kiinnittää enemmän huomiota. Täydellinen tilanne olisi silloin, jos asiakaspalautusprosessi menisi jokaisen palautuksen osalta maksimissaan viikossa. Tämä tarkoittaa sitä, että vika käytäisiin heti läpi palautuksen tullessa ja tästä seuraisi sitten mahdollisimman nopeasti prosessin jatkavat toimenpiteet. Toimivat moduulit voitaisiin jopa palauttaa tuotantolinjalle ja muut tulisi romuttaa vika-analyysien jälkeen. Tällöin ei ns. romua kertyisi hyllyihin viemään tärkeää varastotilaa.

Pakkauksien täytteitä on yksinkertaistettu yksikköpakkauksen automatisoinnin vuoksi. Pakkausten parannuksina voisi vielä olla jo edellä mainitut kosteus- ja pudotusindikaattorit, joista pystyttäisiin tarkistamaan, onko suojarahetta kohdeltu väärin. Tästä voitaisiin helposti tarkistaa releeseen kohdistunut väärinkäyttö ja asiakkaat eivät voisi hyödyntää takuuta omien virheidensä korjaamiseen.

Elektroniikkatoimittajien (EMS) prosessia tulisi myös vähän tarkkailla enemmän. Satunnaisia juotosongelmia havaitaan jatkuvasti tuotannossa. Näitä voivat estää tarkemmat/tiheämmät EMS-auditoinnit, joissa keskitytään mm. juotospastan sekä yksittäisten komponenttien valintaan. Tätä edesauttaa myös nopeampi asiakaspalautusten läpikäynti, jolloin elektroniikkatoimittaja saa tiedon mahdollisista prosessiin liittyvistä virheistä niin nopeasti kuin mahdollista.

LÄHTEET

- /1/ ABB lyhyesti – Medium Voltage Products. 2015. ABB:n verkkosivut. Viitattu 23.1.2015. <http://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa/yksikot/medium-voltage-products>
- /2/ Feeder Protection and Control REF615 – Product Guide. 2014. ABB:n verkkosivut. Viitattu 9.12.2014. [http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/818f7efb402d8b53c1257cc50023fb97/\\$file/REF615_pg_756379_ENp.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/818f7efb402d8b53c1257cc50023fb97/$file/REF615_pg_756379_ENp.pdf)
- /3/ Semicon – Panasonic Failure Mechanism of Semiconductor devices. 2009. Viitattu 23.1.2015. <http://www.semicon.panasonic.co.jp/cn/aboutus/pdf/t04007be-3.pdf>
- /4/ Electrostatic Discharge (ESD) – Texas Instruments. 2014. Viitattu 18.12.2014. <http://www.ti.com/lit/an/ssya010a/ssya010a.pdf>
- /5/ Renesas Electronics – Semiconductor Reliability Handbook. 2008. Viitattu 26.1.2015. http://documentation.renesas.com/doc/products/oters/ rej2710001_reliabilityhb.pdf
- /6/ VTT - Korroosio ja ilmastolliset vaikutukset elektroniikassa. 2007. Viitattu 20.2.2015. <http://www2.vtt.fi/inf/pdf/publications/2007/P623.pdf>
- /7/ 615 series – Installation Manual. 2014. ABB:n verkkosivut. Viitattu 16.12.2014. [http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/b9509b622eedc07ec1257c6a0047be5f/\\$file/RE_615_inst_756375_ENl.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/b9509b622eedc07ec1257c6a0047be5f/$file/RE_615_inst_756375_ENl.pdf)
- /8/ The Physics Hypertextbook – Dielectrics © 1998–2014 Glenn Elert. Viitattu 9.12.2014. <http://physics.info/dielectrics/>
- /9/ Logistiikan maailma – wiki – lentokuljetus. Viitattu 22.1.2015. <http://www.logistiikanmaailma.fi/wiki/Lentokuljetus>

Failure factor	Failure mechanism	Failure mode								
		Short circuit	Open	Increase in leakage current	Impossible to withstand voltage	V _{th} shift	Unstable operation	Resistance fluctuation	Increase in thermal resistance	Soldering error
Bulk Substrate Diffusion P-N junction Device separation	Crystal defect	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		
	Crack		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		
	Surface contamination			<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		
	Junction deterioration	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>					
	Impurity precipitation	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>				
	Mask deviation	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>			
Oxide film	Movable ion			<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			
	Interface state			<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			
	TDDB (time dependent dielectric breakdown)	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>						
	Hot carrier			<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>				
Metallization Wire Via Contact	Corrosion		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		
	Electro migration	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>					<input type="radio"/>		
	Stress migration		<input type="radio"/>					<input type="radio"/>		
	Alloy pitting	<input type="radio"/>					<input type="radio"/>			
	Al shift caused by resin stress		<input type="radio"/>					<input type="radio"/>		
Passivation Surface protective film Layer insulation film	Pinhole	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			
	Crack	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			
	Contamination			<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		
	Reversed surface			<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		
Die bonding	Crack (stress non-uniformity, void)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>				<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
	Chip peeling (insufficient bonding strength)		<input type="radio"/>				<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
	Thermal fatigue		<input type="radio"/>				<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Wire bonding	Defective substrate		<input type="radio"/>					<input type="radio"/>		
	Peeled bond		<input type="radio"/>					<input type="radio"/>		
	Generation of compound between metals (purple plague)		<input type="radio"/>					<input type="radio"/>		
	Damage under bond, crack	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		
	Bonding position deviation	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>						
	Wire deformation	<input type="radio"/>								
	Wire breakage		<input type="radio"/>							
Package Resin Lead frame Lead plating	Short circuit between wires	<input type="radio"/>								
	Cracked package		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>						
	Moisture absorption (lead frame, resin interface)		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			
	Impurity ion of resin			<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>				
	Surface contamination			<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>				<input type="radio"/>
	Curing stress	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>		
	Corroded or oxidized lead		<input type="radio"/>			<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>
Use environment	Broken or bent lead		<input type="radio"/>							<input type="radio"/>
	Static electricity	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			
	Overvoltage	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			
	Surge voltage	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			
	Latch-up	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>				<input type="radio"/>			
Software error						<input type="radio"/>				

