

Emil Haverinen

Konenäkö EMC-testien valvontaan

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

Insinöörityö

4.2.2015

Tekijä(t) Otsikko	Emil Haverinen Konenäkö EMC-testien valvontaan
Sivumäärä Aika	33 sivua 4.2.2015
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	elektroniikka
Ohjaaja(t)	tekninen päällikkö Jari Merikari yliopettaja Matti Fischer
<p>Insinööriyössä oli tavoitteena automatisoida EMC-laboratoriossa testattavien laitteiden monitorointi immunititeettitestien aikana. Automatisointi tuli suorittaa mahdollisimman pienellä budjetilla ja mahdollisimman yhteensopivaksi EMC-laboratoriossa jo käytössä olevien laitteiden kanssa.</p> <p>Työssä luotiin järjestelmä, johon voitiin kytkeä useita erilaisia kameroita. Järjestelmän osaksi tehty ohjelma toimi useilla eri tietokoneilla. Uutena investointina työhön ostettiin yksi A/D-muunnin, jonka tarkoitus oli muuntaa analoginen PAL-signaali digitaaliseen muotoon ohjelman käsiteltäväksi. Lisäksi ostettiin tavallinen web-kamera EMC-huoneen ulkopuolella tapahtuvien testien valvontaan.</p> <p>Valmista järjestelmää testattiin monitoroimalla tavallista kameraa säteilevän RF-immunititeettitestin aikana, jossa sähkökentän voimakkuus asetettiin korkeammaksi kuin normaalien kameroiden tulisi kestää. Testin aikana kameran kuva häiriintyi ja ohjelma kirjasi rajanylitykset lokitiedostoihin äänimerkin kera.</p> <p>Tuloksista voitiin päätellä, että järjestelmä voidaan ottaa testikäyttöön laitteiden immunititeettitesteihin ja sen saaman käyttäjäpalautteen perusteella päätetään sen laajemmasta käytöstä tai kehityksestä.</p>	
Avainsanat	konenäkö, EMC, immunititeettitesti, monitorointi

Author(s) Title	Emil Haverinen Machine Vision for Monitoring EMC Tests
Number of Pages Date	33 pages 4 February 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electronics
Instructor(s)	Jari Merikari, Technical Manager Matti Fischer, Principal Lecturer
<p>The objective of this thesis was to create an automated monitoring system for the EMC laboratory's use. Requirements for the monitoring system were that it would be able to monitor simple products during EMC immunity testing and it would be compatible with equipment which already existed in EMC laboratory. All this was required to be done with minimal budget.</p> <p>In this thesis, a monitoring system which is able to handle cameras of different kind was created. The program that was made as part of the system was made so that it will work with all test computers that the EMC laboratory has. As a new investment an AD-converter was bought to serve as a digitizer of PAL signal for the program's use. Also a web camera was bought for monitoring tests which will occur outside the EMC chamber.</p> <p>When the automated monitoring system was complete, it was tested by placing an ordinary camera into radiated immunity test, where the electrical field strength was set higher than normal. During the test the camera was effected by the field and the monitoring system correctly logged the events which exceeded the limits and gave a sound alarm.</p> <p>The results show that the system can be used for monitoring EMC immunity tests. User feedback will define whether the system will be used on regular basis or get further development.</p>	
Keywords	Machine vision, EMC, Immunity test, Monitoring

Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Sähkömagneettiset häiriöt	2
2.1	Luonnolliset häiriöt	2
2.2	Tekniset häiriöt	3
2.2.1	Tahattomat häiriöt	3
2.2.2	Tietoisesti tuotetut häiriöt	3
2.3	Häiriöiden kytkeytyminen	4
2.3.1	Galvaaninen kytkeytyminen	4
2.3.2	Kapasitiivinen kytkeytyminen	4
2.3.3	Induktiivinen kytkeytyminen	5
2.3.4	Säteilyn kytkeytyminen	5
3	Sähkölaitteiden vaatimustenmukaisuus	7
3.1	Sähkölaitteiden direktiivit ja standardit	9
3.2	Immuneettitestit	10
3.2.1	Immuneettitestien arviointimenettely	10
3.2.2	Sähköstaattinen purkaus	11
3.2.3	Johtuva RF-häiriö	12
3.2.4	Säteilevä RF-kenttä	13
3.2.5	Syöksyjännitteet	14
3.2.6	Nopeat transientit	16
3.2.7	Jännitealenemat- ja katkokset	17
3.2.8	Magneettikentät	18
4	Monitorointijärjestelmä	19
4.1	Monitorointijärjestelmän osat	19
4.1.1	Monitorointijärjestelmän kamera	19
4.1.2	Kuitumuunnin	20
4.1.3	A/D-muunnin	22

4.1.4	Tietokoneohjelma	22
4.2	Monitorointijärjestelmän käyttö	22
5	Monitoriohjelman	23
5.1	Monitoriohjelman perustiedot	23
5.2	Monitoriohjelman keskeiset elementit	24
5.3	Monitoriohjelman lokikansio	25
5.4	Monitoriohjelman hälyttäminen	25
5.5	Monitoriohjelman käyttö	26
6	Ohjeita monitorointiin	27
6.1	Valojen monitorointi	27
6.2	Pyörivien osien monitorointi	27
6.3	Äänien monitorointi	27
7	Monitorointijärjestelmän testaus	28
8	Yhteenveto	31
	Lähteet	32

Lyhenteet

AE	Auxiliary Equipment; oheislaitteet
CDN	Coupling/Decoupling Network; kytkentäverkko
EFT	Electrical Fast Transient; nopeat transientit
EMC	Electromagnetic Compatibility; sähkömagneettinen yhteensopivuus
ESD	Electrostatic Discharge; sähköstaattinen purkaus.
EUT	Equipment under Test; testattava laite
IEC	International Electrotechnical Commission; sähköalan kansainvälinen standardisoimisjärjestö
IO	Input/Output; tiedonsiirto
ITE	Information Technology Equipment; tietotekniikkalaitteet
LCD	Liquid Crystal Display; nestekidenäyttö
LED	Light-Emitting Diode; puolijohdekomponentti, joka säteilee valoa
PAL	Phase Alternate Line; analogisen videokuvan koodaus ja värijärjestelmä
RF	Radio Frequency; radiotaajuus
RFID	Radio Frequency IDentification; radiotaajuinen etätunnistus
USB	Universal Serial Bus; sarjaväyläarkkitehtuuri, joka on tehty oheislaitteiden liittämiseksi tietokoneeseen

1 Johdanto

Sähkölaitteiden vaatimustenmukaisuuteen vaikuttava tekijä Euroopassa on EMC-direktiivi (Electromagnetic Compatibility; sähkömagneettinen yhteensopivuus) 2004/108/EY, jonka yhtenä päätavoitteena on, että laitteistot kestävät ulkopuolelta tulevia radiohäiriöitä riittäväällä tasolla siinä käyttöympäristössä, johon laite on suunniteltu. Laitteiden vaatimustenmukaisuudesta voidaan varmistua testaamalla laitetta, joko itse tai kolmannen osapuolen avustuksella.

Suomessa toimiva SGS Fimko Oy on osa maailman johtavaa tarkastus-, verifiointi-, testaus- ja sertifiointiyritystä nimeltä SGS, ja se palvelee asiakkaitaan suorittamalla standardien mukaisia testejä sähkölaitteille kolmantena osapuolena.

Tässä insinööriyössä selvitetään, miksi immunitetestit ovat sähkölaitteille tarpeellisia, miten laitteiden kestävyyttä radiohäiriöitä vastaan testataan ja mitkä ovat ilmiöt ja syyt häiriöiden takana. Lisäksi käsitellään sähkölaitteiden markkinoille asettamisen vaatimuksia Euroopassa. Päätavoite on kuitenkin luoda järjestelmä immunitestien aikaisen monitoroinnin automatisoimiseksi mahdollisimman kustannustehokkaasti ilman kalliita investointeja.

2 Sähkömagneettiset häiriöt

Sähkömagneettisia häiriöitä esiintyy kaikkialla: niitä voidaan havaita luonnosta tai niitä voidaan tuottaa keinotekoisesti joko tahallaan tai tahattomasti. Häiriöt voivat olla kertaluontoisia tai jatkuvia riippuen niiden syntyperästä. Ihmisen aiheuttamia sähkömagneettisia häiriöitä kutsutaan teknisiksi häiriöiksi. Laitteen aiheuttamaa tahatonta häirintää voidaan välttää hyvällä elektroniikkasuunnittelulla ja laitteen oikeaoppisella koteloinnilla. Hyvä suunnittelu kannattaa myös siksi, että laitteen sietokyky sähkömagneettisia häiriöitä vastaan paranee, koska laitteessa antennina toimivat osat ovat resiprookkisia eli vastavuoroisia sen lähettämien häiriöiden kanssa. [1, s. 17 - 18; 2, s. 153.]

2.1 Luonnolliset häiriöt

Luonnossa häiriöitä esiintyy kaikkialla, mutta niiden voimakkuus on usein hyvin pieni verrattuna ihmisen aikaansaamiin kenttiin. Maapallolla vaikuttaa tälläkin hetkellä staattinen sähkö- ja magneettikenttä, joka muuttuu hyvin hitaasti olosuhteista riippuen. Magneettikenttä syntyy maapallon pyörimisestä syntyvistä sähkövirroista ja sähkökenttä positiivisesti varautuneesta kerroksesta ilmakehässä, joka synnyttää voimakkuudeltaan noin 100 - 130 V/m suuruisen kentän. Edellä mainitun magneettikentän voimakkuus Suomessa on normaalisti 51 - 53 μT .

Yksi merkittävimmistä luonnossa esiintyvistä häiriölähteistä on ukkonen, joka on kaikkein voimakkaimpien sähkömagneettisten kenttien aiheuttaja luonnossa. Ukkospilvien ja maan välinen jännite-ero aiheuttaa voimakkaan sähkökentän ja salaman iskiessä nopeat virran ja jännitteen muutokset aiheuttavat nopeasti muuttuvia voimakkaita sähkö- ja magneettikenttiä. Nämä kentät kytkeytyvät sähkölaitteisiin rikkoen suojaamattomat laitteet. Salamoiden haitat eivät ole vain paikallisia, sillä ionosfäärin ja maankuoren välissä olevassa aaltoputkessa on sähkömagneettisen säteilyn helppo edetä jopa tuhansia kilometrejä.

Toinen merkittävä luonnossa esiintyvä häiriölähde on kosminen säteily. Haitallisimpia ovat avaruuden taustasäteily ja auringonpilkut, jotka ovat haitaksi erityisesti radiolaitteiden toiminnalle. [1, s. 18; 3, s. 363 - 366.]

2.2 Tekniset häiriöt

Ihmisen aiheuttamat häiriöt voidaan luokitella kahteen luokkaan: tahattomat- ja tietoisesti tuotetut häiriöt. Molemmissa luokissa häiriölähteenä toimivat usein ihmisen tekemät sähkölaitteet, jotka lähettävät sähkömagneettista säteilyä.

2.2.1 Tahattomat häiriöt

Tahattomat häiriöt ovat usein laajakaistaisia, mikä tarkoittaa että häiriön spektri leviää laajalle taajuuskaistalle. Tämä johtuu hyvin nopeista virran tai jännitteen muutoksista. Ihmisen aiheuttamista häiriöistä yksi tuhoisimmista ja yleisimmistä on ESD-purkaus (Electrostatic Discharge; sähköstaattinen purkaus). Ihmisen valmistamat keinokuiduista tehdyt kangasmateriaalit voivat hankautuessaan aiheuttaa jopa yli 10 kV potentiaalini, joka purkautuu sähkölaitteeseen, kun sitä kosketetaan. Energiämäärä riittää hajottamaan laitteen herkkiä puolijohdekomponentteja. Suojaamattoman laitteen rikkoutuminen voi tapahtua heti tai vasta laitteen ikääntyessä. ESD-purkauksen luokittelu luonnollisiin tai teknisiin häiriöihin on vaikeaa, koska se on osittain luonnon ja osittain ihmisen aiheuttama häiriö.

Tahattomiksi häiriölähteiksi luokitellaan myös laitteet, joiden tarkoitus ei ole säteillä sähkömagneettista energiaa. Näitä ovat esimerkiksi sähkömoottorit tai hitsausvälineet, joiden ohjaus aiheuttaa suuria virran muutoksia ja näin suuria magneettikenttiä. Myös korkealla taajuudella toimivat komponentit säteilevät piirilevyllä olevista vedoista aiheuttaen häiriöitä. [1, s. 18.]

2.2.2 Tietoisesti tuotetut häiriöt

Tähän kategoriaan luokitellaan laitteet, joiden toiminta perustuu kokonaan sähkömagneettisen energian lähettämiseen. Matkapuhelimet, tutkat, televisio-, radio- ja RFID-lähettimet (Radio Frequency IDentification; radiotaajuinen etätunnistus) ovat esimerkkejä laitteista, joiden toiminta perustuu tietoisesti tuotettuun sähkömagneettisen energian lähettämiseen ja vastaanottamiseen tai molempiin.

Tietoisesti tuotettujen häiriöiden taajuuskaista on lähes poikkeuksetta hyvin kapea toisin kuin tahattomien häiriöiden. Poikkeuksena sodissa käytettävät sähkömagneettiset pulssit, joiden tarkoitus on hajottaa vihollisen sähkölaitteita. Laaja taajuuskaista on tarpeen, jotta saadaan katettua mahdollisimman monta eri taajuuksilla toimivaa antennia vihollisen laitteissa. [1, s. 18.]

Radiolaitteiden taajuuskäyttöä valvotaan ja kontrolloidaan viranomaisten toimesta ympäri maailman ja vain harvat taajuusalueet ovat käytettävissä radiolaitteille, jotka eivät vaadi erillistä lupaa niiden käyttöön. Luvasta vapautuksen edellytyksenä kuitenkin on, että laite toimii ainoastaan sille varatuilla taajuuksilla ja täyttää tekniset vaatimukset koskien muun muassa lähetystehoa, tehokasta kaistan käyttöä ja sähkömagneettista yhteensopivuutta. Tehokas valvonta ja määräykset vähentävät laitteiden turhaa häiritsemistä. [4.]

2.3 Häiriöiden kytkeytyminen

Sähkömagneettiset häiriöt etenevät ilmassa tai johtimessa ja niillä on neljä eri tapaa kytkeytyä laitteeseen: galvaaninen, kapasitiivinen, induktiivinen ja säteily. Kytkeytyminen voidaan estää poistamalla häiriölähde, eliminoimalla kytkeytymistapa tai suojaamalla häiriintyvä kohde. [1, s. 21.]

2.3.1 Galvaaninen kytkeytyminen

Galvaaninen kytkeytyminen tarkoittaa, että häiriösignaali tulee suoraan johtavaa materiaalia pitkin kohteeseen. Sitä voidaan estää suodattamalla tai valitsemalla johtoja, joissa on matala kytkentäimpedanssi. Myös galvaaninen erottaminen optoerottimen avulla on yksi tapa estää häiriötä kytkeytymästä. [1, s. 21 - 22.]

2.3.2 Kapasitiivinen kytkeytyminen

Eri potentiaalissa olevien pisteiden välissä on aina sähkökenttä, joten kahden eri potentiaalissa olevan johtimen välissä on sähkökenttä. Jos toisessa johtimessa on korkeataajuisia häiriöitä, ne kytkeytyvät kapasitiivisesti toiseen johtoon keskinäiskapasitanssin

kautta. Kapasitiivisesti kytkeytyviä häiriöitä voidaan poistaa suojaamalla johdin ja maadoittamalla suojavaippa häiritsevän taajuuden mukaan, kasvattamalla johtimien välistä etäisyyttä tai lisäämällä kahden johtimen välisen aineen permittiivisyyttä. [1, s. 22 - 23.]

2.3.3 Induktiivinen kytkeytyminen

Induktiivisessa kytkeytymisessä pääroolissa ovat magneettikentät, jotka kytkeytyvät piirin johdinsilmukoihin. Johdinsilmukat voivat olla pitkiä vetoja piirilevyllä tai signaalijohtojen meno-paluureittejä. Induktiivista kytkeytymistä voidaan estää esimerkiksi käyttämällä kierrettyä johtoa, jolloin silmukan pinta-ala on pieni, kasvattamalla silmukoiden välistä etäisyyttä tai kääntämällä häiriintyvä silmukka niin, ettei häiritsevä magneettikenttä pääse lävistämään silmukkaa suurelta pinta-alalta. [1, s. 23 - 24.]

2.3.4 Säteilyn kytkeytyminen

Sähkömagneettiseksi kentäksi kutsutaan kenttää, jonka sähkö- ja magneettikentän välinen suhde eli aaltoimpedanssi on vakio. Tämä tapahtuu, kun etäisyys säteily lähteestä kasvaa tarpeeksi suureksi suhteessa säteilyn aallonpituuteen. Aaltoimpedanssi tyhjiössä voidaan laskea kaavalla 1.

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} \approx 377 \Omega \quad (1)$$

μ_0 = tyhjiön permeabiliteetti

ε_0 = tyhjiön permittiivisyys

Tarpeeksi pitkän etäisyyden, eli kaukokentän, laskemiseen on olemassa kaksi määrittelmää. Maxwellin kriteerin mukaan etäisyys lasketaan kaavalla 2, kun taas Rayleigin kriteeri määrittelee etäisyyden kaavan 3 (ks. seuraava sivu) mukaisesti.

$$d > \frac{\lambda}{2\pi} \quad (2)$$

d = etäisyys

λ = aallonpituus

$$d > \frac{2D^2}{\lambda} \quad (3)$$

d = etäisyys

D = antennin fyysiset mitat

λ = aallonpituus

Maxwellin kriteeri ei ota huomioon tilannetta, jossa antenni on liian iso ollakseen piste-mäinen lähde. Isojen antennien kanssa on suositeltavampaa käyttää Rayleighin kriteeriä.

Tarkasteluetäisyyttä, joka on pienempi kuin Maxwellin tai Rayleighin kriteerillä saatu arvo, kutsutaan lähikentäksi. Lähikentässä kentistä joko sähkö- tai magneettikenttä on vallitsevassa roolissa riippuen lähettävästä säteilylähteestä. Säteilylähteen ollessa monopoli- tai dipoliantenni vallitsee sen lähellä suuri impedanssinen sähkökenttä, kun taas silmukan muotoisen antennin lähikentässä vallitsee pieni impedanssinen magneettikenttä. Kaukokentässä magneetti- ja sähkökenttä vaimenee samassa suhteessa, jolloin voidaan laskea toisen kentän suuruus, kun toinen tiedetään.

Sähkömagneettinen säteily kytkeytyy herkästi laitteen sisäisiin johdinsilmukoihin tai ulkoisiin liityntäjohtoihin, koska ne toimivat eräänlaisina antennina, jotka vastaanottavat sähkömagneettista energiaa. Herkimmin energiaa vastaanottavat kaapelit tai vedot, joiden resonanssitaajuus on sama kuin häiriösignaalin taajuus. Johtimissa tämä tarkoittaa, että niiden pituus on $\lambda / 4$ tai $\lambda / 2$. [2, s. 161 - 162; 1, s. 25.]

3 Sähkölaitteiden vaatimustenmukaisuus

Sähkölaitteiden vaatimuksia Euroopassa säädellään erilaisten direktiivien, asetusten ja päätösten avulla. Kun Euroopan parlamentti ja neuvosto antavat direktiivin, on jokaisen EU-jäsenmaan saatettava direktiivi osaksi omaa lainsäädäntöänsä. Tuloksena tästä syntyy mahdollisimman yhtenäinen kokonaisuus, joka mahdollistaa sähkölaitteiden vapaan liikkumisen, sekä turvallisuuden EU-alueella.

Suomessa sähkölaitteiden vaatimustenmukaisuutta valvoo turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukes, jonka yhtenä tarkoituksena on löytää vaatimustenvastaiset tuotteet ja suorittaa toimenpiteitä asian korjaamiseksi. Pahimmassa tapauksessa laite joudutaan vetämään kokonaan pois markkinoilta, kun taas lievempi rike pystytään hoitamaan huomautuksella. Rankaisutoimenpiteet riippuvat rikkeen luonteesta: ohjekirjan pienet puutteet eivät välttämättä ole niin vakava asia kuin tuotteet, jotka aiheuttavat hengenvaaran. Käytössä on kaksi yleistä tapaa, joilla markkinoita valvotaan. Ensimmäisessä viranomaisen pyytää toiminnanharjoittajilta teknisiä asiakirjoja ja vaatimustenmukaisuusvakuutuksen vaatimustenmukaisuuden todistamiseksi. Teknisissä asiakirjoissa on oltava:

- kuvaus sähkölaitteesta
- suunnittelu- ja valmistuspiirustukset
- kaaviot osakokoonpanoista ja piireistä
- kuvaukset ja selitykset piirustusten ja kaavioiden ymmärtämiseksi
- luettelo standardeista, joita on sovellettu kaikilta osin tai osittain
- selvitykset, miten direktiivin vaatimukset on täytetty, jos standardeja ei ole käytetty. Esimerkkinä laskelmat ja tarkastukset
- testiraportit ja -sertifikaatit.

Toiminnanharjoittajien velvollisuus on säilyttää teknisiä asiakirjoja ja vaatimustenmukaisuusvakuutusta 10 vuotta sen jälkeen, kun laite on saatettu markkinoille ja luovuttaa ne viranomaiselle pyynnöstä. Laitteella tarkoitetaan siis yhtä laitetta, vaikka sitä olisikin tuotettu sarjatuotantona. Eli käytännössä 10 vuoden säilytysaika alkaa, kun sarjatuotannon viimeisen valmistettavan erän viimeinen laite on ajettu tehtaan portista ulos markkinoille.

Toinen tapa on yksinkertaisempi ja antaa ehkä paremman kuvan markkinoilla olevien laitteiden vaatimustenmukaisuudesta. Tukes käy valvontakäynnillä sähkölaitteita myyvässä liikkeessä, valmistajalla tai maahantuojalla tarkoituksenaan hankkia laitteita testausta varten. Testien ja tarvittaessa teknisten dokumenttien avulla osataan sanoa, onko laite vaatimustenmukainen vai ei. Jos laite todetaan vaatimustenvastaiseksi, joudutaan sen markkinoilla oloa rajoittamaan riippuen rikkeen vakavuudesta.

Laitteiden saattaminen markkinoille ei Suomessa vaadi erillistä ennakkolupaa tai testausta Tukesilta, mutta asettaa saattajan vastuuseen tuotteesta. Valmistajan velvollisuus on saattaa vaatimustenvastaiset tuotteet vaatimustenmukaisiksi.

Yleisimpiä syitä vaatimustenvastaisuuteen ovat: laitteeseen tehdyt rakenteelliset muutokset, vanha laite ei vastaa uusimpia yhdenmukaistettuja standardeja, puutteellinen tai kokonaan puuttuva vaatimustenmukaisuusvakuutus, käyttöohjeita ei ole tehty kahdelle viralliselle kielelle, verkkojännitteisten osien puutteellinen eristys, verkkoliitäntälaitteen hakkuriteholähde ei täytä vaatimuksia, olosuhdekestävyys on eri kuin on ilmoitettu ja puutteelliset merkinnät laitteessa. [5.]

Taulukossa 1 esitellään Tukesin tekemien EMC-testien tuloksia tyyppillisille sähkölaitteille vuonna 2012.

Taulukko 1. Tukesin EMC-testien tuloksen vuonna 2012

Testitulos	kpl	%
Vaatimusten mukainen	42	51,2
Vähäisiä puutteita	12	14,6
Huomattavia puutteita	28	34,5

Taulukosta 1 nähdään, että kaikkiaan 82 testatusta laitteesta vain 42 laitetta täytti direktiivin vaatimukset. Tulos osoittaa, että Tukes löytää suhteellisen tehokkaasti puutteelliset laitteet ja, että vaatimustenvastaisia tuotteita on markkinoilla paljon. Vaatimustenvastaisista laitteista 3 asetettiin toimituskieltoon ja 15 myyntikieltoon. Palautusmenettelyä ei tarvinnut toteuttaa yhdellekään laitteelle. [6.]

3.1 Sähkölaitteiden direktiivit ja standardit

Direktiivit pitävät sisällään laitteille oleellisia vaatimuksia, joita laitteiden pitää täyttää, jotta ne voidaan asettaa EU-markkinoille. Ne viittaavat harmonisointeihin standardeihin, joiden avulla laitteen vaatimusten täytyminen voidaan osoittaa testaamalla. Lainsäädännön tarkoitus on antaa vain minimivaatimukset laitteille ja palveluille: ne eivät anna vaatimuksia esimerkiksi laitteen kestävyydelle, ohjelmistolle, muotoilulle, käyttäjäystävällisyydelle, hinnalle tai toiminnoille. Vastuu näiden asioiden huolehtimisesta jää valmistajalle ja palautteen niiden puutteista antaa maksava asiakas. [6.]

EMC-direktiivin 2004/108/EY liitteessä 1 on seuraava teksti:

5 ARTIKLASSA TARKOITETUT OLENNAISET VAATIMUKSET

1. Suojausvaatimukset

Laitteisto on suunniteltava ja valmistettava tekniikan taso huomioon ottaen niin, että varmistetaan, että

a) laitteiston aiheuttama sähkömagneettinen häiriö ei ylitä tasoa, jonka ylityessä radio- ja telelaitteet tai muut laitteistot eivät voi toimia tarkoitetulla tavalla

b) laitteiston sille tarkoitetussa käytössä odotettavissa olevan sähkömagneettisen häiriön siedon taso on sellainen, että laitteisto toimii tarkoitetun käytön heikentyttä kohtuuttomasti.

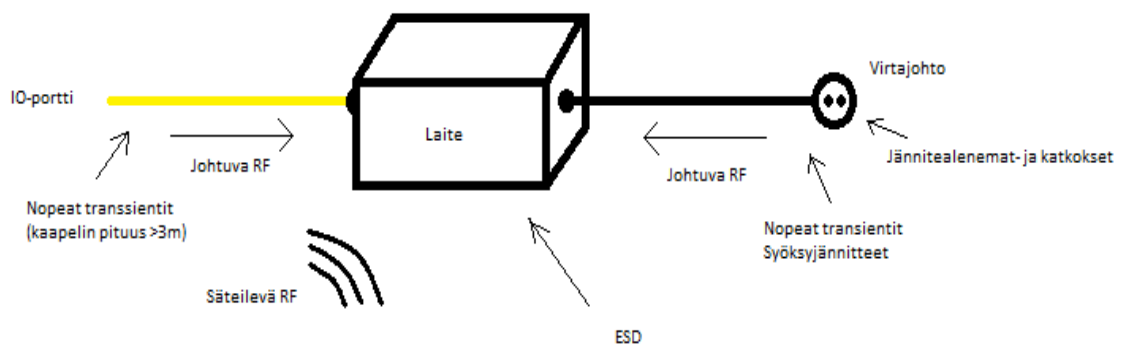
Tässä insinööriyössä tutkitaan edellisen tekstin kohtaa b, jossa mainitaan, että laitteen tulee kestää häiriöitä menettämättä kohtuuttomasti suorituskykyään. Todistaminen onnistuu standardien avulla ja monissa standardeissa suositellaan käyttämään automatisoitua monitorointijärjestelmää testien valvontaan.

Esimerkkinä direktiivin soveltamisesta voidaan ottaa tietokoneen näyttö. Laite kuuluu ainakin EMC-direktiivin alle ja yksi siihen harmonisoitu standardi on ITE-laitteiden (Information Technology Equipment; tietotekniikkalaitteet) immunitaattistandardi EN 55024:2010, jota luettaessa huomataan, että se viittaa standardiin CISPR 24:2010. Tässä standardissa on kerrottu immunitaattitestit, jotka laitteelle tulisi suorittaa. Kun

nämä testit on tehty, ja ne ovat menneet läpi, voidaan sanoa, että direktiivin 2004/108/EY vaatimukset on täytetty liitteen 1, kohdan 1.b osalta. [7.]

3.2 Immuneettitestit

Immuneettitestit kuvaavat tilannetta, jossa laite altistetaan sen tulevalle käyttöympäristölle. Käyttöympäristö määrittää testien tarpeellisuuden ja tason, jolla testi suoritetaan. Testit sisältävät testejä salaman iskujen simuloinnista matkapuhelimen käyttöön laitteen vieressä. Immuneettitestien testiajat vaihtelevat minuuteista jopa pariin päivään.



Kuva 1. Tyypillisiä laitteelle tehtäviä immuneettitestejä

Kuvassa 1 esitetään hyvin yksinkertainen laite ja sille tyypillisesti tehtäviä immuneettitestejä. Kuvan laite käyttää 230 V verkkovirtaa ja siinä on yksi IO-portti (Input/Output; tiedonsiirto) oheislaitteen liittämiseksi. Laitteen testattavia kohteita ovat sisään menevät ja ulos tulevat kaapelit, laitteen kotelo ja sen sisällä oleva elektronikka.

3.2.1 Immuneettitestien arviointimenettely

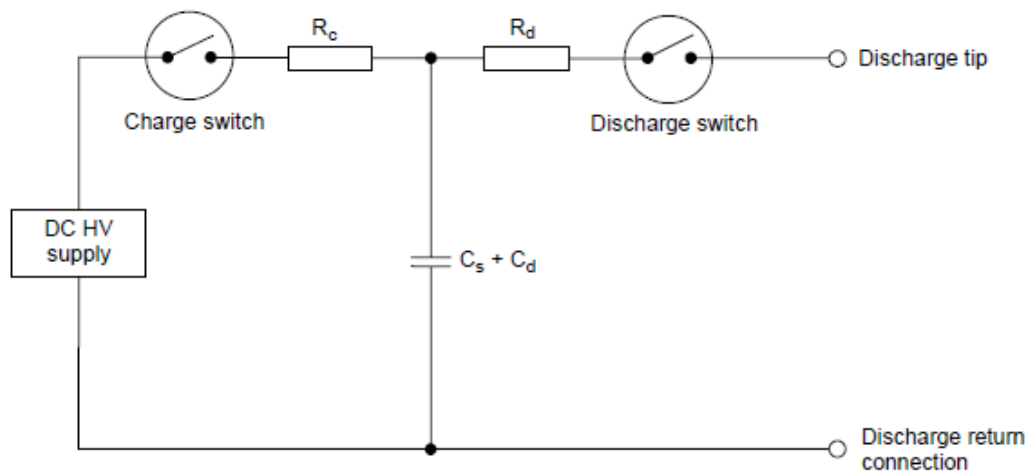
Laitteen toiminta testin aikana arvioidaan sijoittamalla se arviointiluokkaan, joka kuvaa laitteen testin aikaista toimintaa parhaiten. Laittevalmistaja, testauttaja tai laitteen mahdollinen ostaja sopivat, mikä testin aikainen tapahtuma luetaan suorituskyvyn heikkene miseksi tai virheeksi. Laitteen toiminta suositellaan jaettavaksi luokkiin A, B tai C. A-luokassa laitteessa ei havaita minkäänlaista suorituskyvyn häviämistä ja se toimii normaalisti koko testin ajan. B-luokassa laite häiriintyy, mutta sen häiriintyminen loppuu häiriön

loppuessa ja laite jatkaa normaalia toimintaansa ilman käyttäjän toimia. C-luokkaan sijoitetaan laite, joka häiriintyy väliaikaisesti ja vaatii käyttäjän toimia, jotta se voi jatkaa normaalia toimintaansa. Tuotekohtaiset standardit saattavat antaa tarkempia ohjeita ja vaatimuksia suorituskykyluokitteluun. [2, s. 150.]

3.2.2 Sähköstaattinen purkaus

Testin tarkoitus on altistaa laite sähköstaattisille ilmiöille (ESD). Testattavaa laitetta testataan valitsemalla sille pisteitä, jotka ovat käytön aikana kosketuksessa ihmisen kanssa esimerkkinä napit, kotelo ja liittimet. Laitteen johtavat pinnat testataan ESD-generaattorin kontaktikärjellä ja eristeiset osat ilmakärjellä. Lisäksi laitteen toimintaa testataan tilanteessa, jossa ESD-purkaus tapahtuu laitteen vieressä. Vieressä tapahtuva ESD-purkaus vapauttaa sähkömagneettista energiaa, joka voi häiritä testattavaa laitetta. Paikkoja, johon laitteen loppukäyttäjä ei pääse käsiksi tai koskettaa vain harvoin ei ESD-testejä tarvitse suorittaa. Esimerkiksi kauko-ohjaimen paristopesää ei tarvitse testata.

Perusstandardi ESD-testeille on IEC 61000-4-2 (International Electrotechnical Commission; sähköalan kansainvälinen standardisoimisjärjestö), josta löytyy yksinkertainen piirikaavio ESD-generaattorille, joka esitetään kuvassa 2.



Kuva 2. Tyypillinen ESD-generaattorin piirikaavio

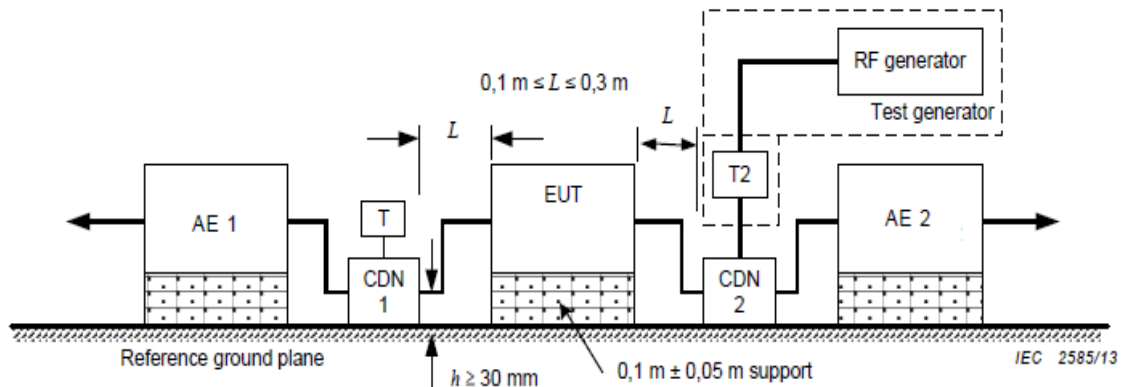
Kuvasta 2 voidaan havaita, kuinka generaattori käyttää suurta tasavirtajännitettä kondensaattorin lataamiseen. Kun kondensaattoria on ladattu tarpeeksi, se puretaan kytkimen avulla testattavaan laitteeseen. Kondensaattorien $C_s + C_d$ kapasitanssi ja vastuksen

R_d arvot vaikuttavat ulostulevan pulssin muotoon, joka määrätään standardissa erikseen. C_d on hajakapasitanssi generaattorin ja ympäristön välillä.

Testin aikana laitetta monitoroidaan vikatilojen havaitsemiseksi. ITE-laitestandardi antaa laitteen suoriutua testistä luokan B mukaisesti eli laite saa häiriintyä, mutta sen tulee jatkaa normaalia toimintaansa ilman käyttäjän puuttumista tilanteeseen. Laite ei myöskään saa mennä rikki tai tulla vaaralliseksi. [8; 9, s. 16 - 18.]

3.2.3 Johtuva RF-häiriö

Testin tarkoitus on simuloida tilannetta, jossa RF-signaalit (Radio Frequency; radiotaajuus) taajuusalueella 150 kHz - 80 MHz ovat kytkeytyneet testattavan laitteen pitkiin johdoin. Hyvä esimerkki on kotona oleva sähköverkko, jossa seinien sisällä olevat pitkät johdot toimivat antennina häiriösignaalille ja kytkeytyvät verkossa olevaan laitteeseen. Häiriölähteenä voi toimia myös ulkopuolinen laite, joka on kytketty samaan verkkoon. Testissä käytettävä signaali on 80 % amplitudimoduloitu 1 kHz siniaallolla. Laitteen tulee ITE-standardin mukaan selvittää testistä A-luokan mukaisesti eli laitteen suorituskykyyn ei saa tulla muutoksia testin aikana.



Kuva 3. Testikokoonpano johtuvien häiriöiden sietotestaukseen

Kuvassa 3 nähdään testikokoonpano testin suorittamiseen. Testattavan laitteen eli EUT:n (Equipment under Test; testattava laite) molemmat uloslähtevät johdot on kytketty CDN-kytkentäverkkoihin (Coupling/Decoupling Network; kytkentäverkko). CDN-kytkentäverkkojen tarkoitus on ohjata häiriö laitteeseen päin, etteivät oheislaitteet (AE; Auxiliary Equipment; oheislaitteet) häiriinny. RF-generaattorilta saatava signaali syötetään vaihtimen T2 jälkeen CDN2:lle, joka ohjaa häiriösignaalin laitteelle. CDN1 on päätetty

50 Ω :in päätevastukseen T, jotta häiriösignaali ei heijastu takaisin. Testattava laite ja sen oheislaitteet on kuvassa sijoitettu 10 cm maatasen yläpuolelle.

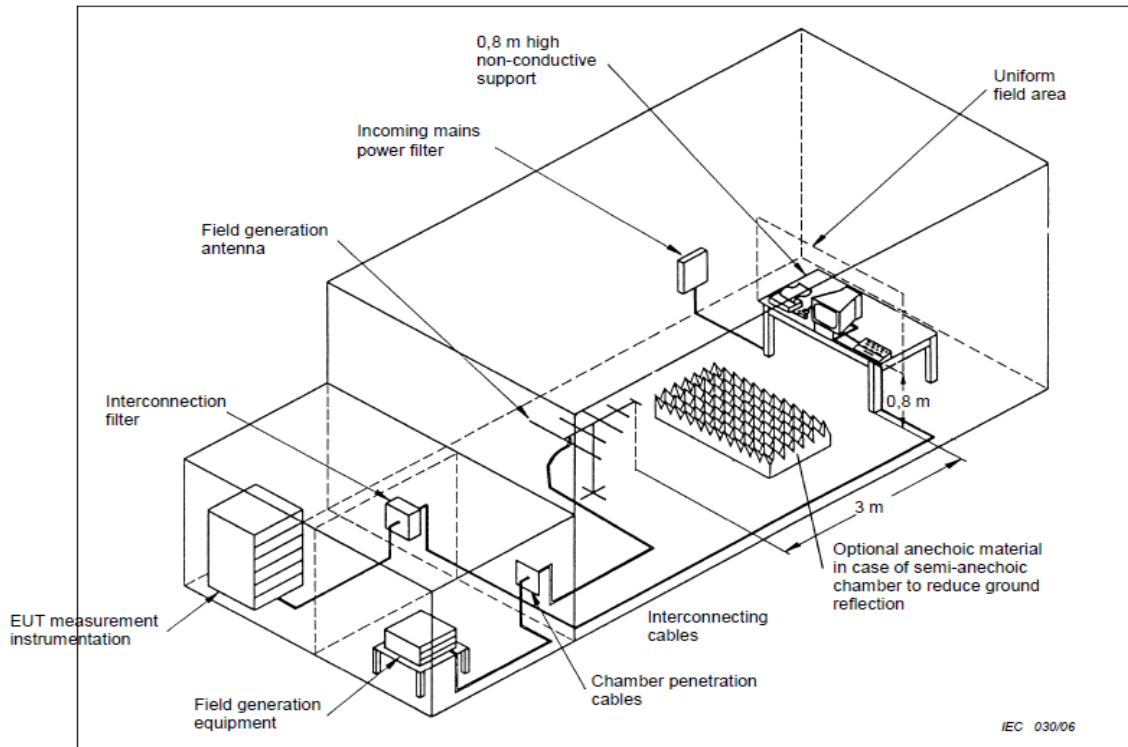
Testin perusstandardissa IEC 61000-4-6 on maininta, jossa suositellaan monitorointijärjestelmän käyttöä. Yleensä monitorointi on parasta toteuttaa laitteen omalla ohjelmalla, mutta yksinkertaisissa laitteissa ohjelman toteuttaminen on mahdotonta ja monitoroitavaksi jää esimerkiksi LED-valo (Light-Emitting Diode; puolijohdekomponentti, joka säteilee valoa) tai LCD-näyttö (Liquid Crystal Display; nestekidenäyttö), jonka monitorointi voidaan suorittaa ulkoisella automatisoidulla järjestelmällä tai katselemalla. [10; 9, s. 16 - 18.]

3.2.4 Säteilevä RF-kenttä

Monet laitteet altistuvat tavalla tai toisella sähkömagneettiselle säteilylle. Voimakkaasti säteilyä tuottavia laitteita ovat esimerkiksi matkapuhelimet, radiolähettimet, tv-lähettimet ja monet teollisuudessa käytettävät koneet. Laitteen käyttäytymistä näissä olosuhteissa on testattava. Testaamaton laite häiriintyessään voi aiheuttaa jopa hengenvaaran lopputuottajalle, kun häiriöt kulkeutuvat esimerkiksi ison moottorin ohjauspiiriin ja kone lähtee toimimaan vastoin annettuja käskyjä. ITE-laitteiden toiminta tulee olla testin aikana A-luokkaa.

Testi suoritetaan radiokaiuttomassa huoneessa, jossa testattava laite asetetaan kalibroituun sähkökenttään 80 cm maatasen yläpuolelle riippuen laitteen koosta. Kentän voimakkuus suhteutetaan laitteen tulevaan käyttöympäristöön, sillä testitasojen kirjo perusstandardissa IEC 61000-4-3 vaihtelee 1 V/m aina 30 V/m asti. Suuremmat tason ovat toki sallittuja, mutta laitteelle asetetut minimivaatimukset tulee täyttää. Testin aikana on hyvä asettaa ylimääräinen vastaanottava antenni huoneen perälle, joka kytketään spektrianalysaattoriin. Ylimääräisellä antennilla voidaan varmistua siitä, että kenttä on olemassa eikä testauslaitteistossa ole minkäänlaista vikaa. Tämä vähentää väärin testaamisen riskiä.

Laite testataan sen kaikilta sivuilta kahdella sähkökentän polarisaatiolla, horisontaalisella ja vertikaalisella, jotta laitteessa mahdollisesti olevat antennit keräisivät mahdollisimman paljon RF-energiaa itseensä. Tällä menetelmällä saadaan simuloitua pahinta mahdollista tilannetta, koska mahdollisen häiriön polarisaatiota ei voida tietää laitteen tulevassa käyttöympäristössä.



Kuva 4. Säteilevän RF-kentän siedon testikokoonpano

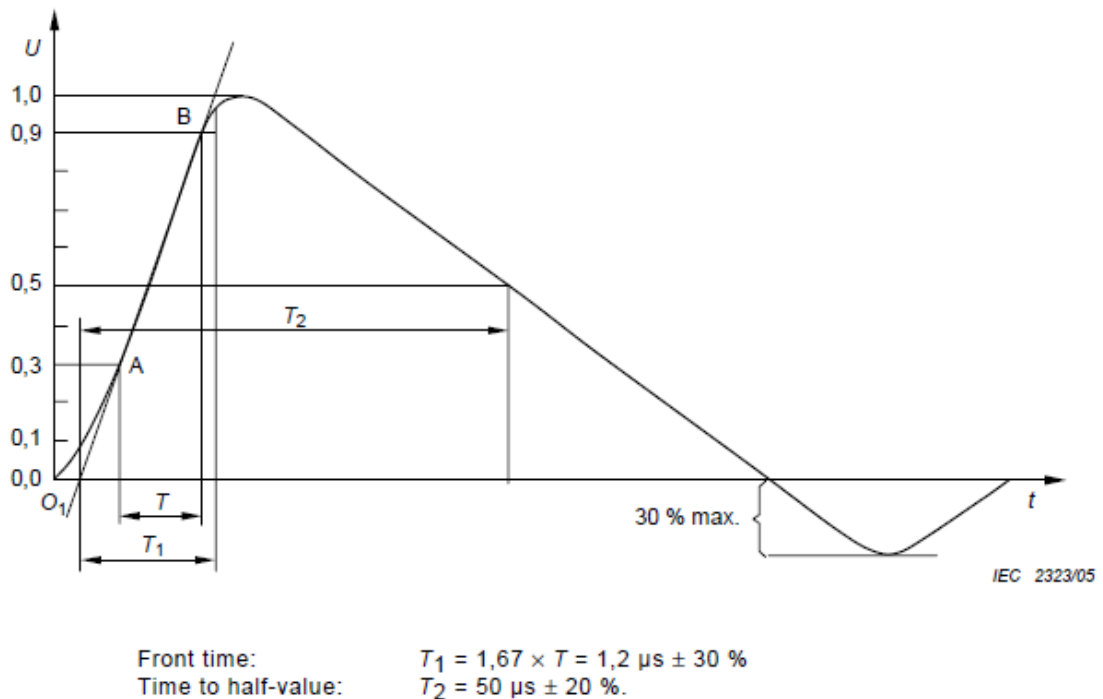
Kuvassa 4 nähdään puolikaiuton huone, testattava laite asetettuna kalibroituun kenttään ja oheislaitteita. Kenttä synnytetään lähettämällä suuritehoista signaalia antennille, joka luo kentän. Kuvassa lattialle on asennettu vaimentimia, joiden tarkoitus on estää heijastusten syntyminen maatasosta. Jos kuvassa nähty huone olisi kokonaan radiokaiuton, lattiavaimentimia ei tarvitsisi käyttää. Seinässä olevat vaimentimet on poistettu kuvan selkeyttämiseksi.

Testi on osittain jatkoa immuniteettitestille, jossa tarkasteltiin laitteen kestävyyttä johtuvia RF-häiriöitä vastaan, sillä taajuusalue on rajattu 80 MHz:stä ylöspäin. Korkeammat taajuudet kytkeytyvät lyhyisiin johtoihin ja piirilevyllä oleviin vetoihin häiriten laitetta. [11; 9, s. 16 - 18.]

3.2.5 Syöksyjännitteet

Testissä altistetaan laite salaman iskun aiheuttamille ilmiöille niin, että salama ei osu suoraan laitteeseen. Näitä tilanteita voi olla esimerkiksi salaman isku maahan, isku pilvien välissä tai isku ulkona oleviin johtoihin. Samanlaisia jännitepiikkejä syntyy myös

suurten kuormien katkaisuoperaatiosta. Perusstandardi 61000-4-5 antaa menetelmät testin suorittamiseen, josta löytyy myös pulssimuoto annettavalle signaalille.



Kuva 5. Syöksyjännitepulssin muoto

Kuvassa 5 nähdään testissä annettavan syöksyjännitepulssin muoto. Vaaka-akselille on annettu aika-arvot kuvitteellisessa skaalassa ja pystyakselille jännitekerroin, joka kerrotaan testitason kanssa. Arvo T kuvaa aikaa, jolloin jännite on noussut 30 %:sta 90 %:iin sen huippuarvosta, ja T1 laskennallista arvoa arvosta T. T2 kuvaa aikaa, jossa jännite on noussut noin 10 % huippuarvosta ja laskenut takaisin puoleen siitä. Kuvan alalaitaan on sijoitettu standardin mukaiset ajat sekä sallitut virherajat.

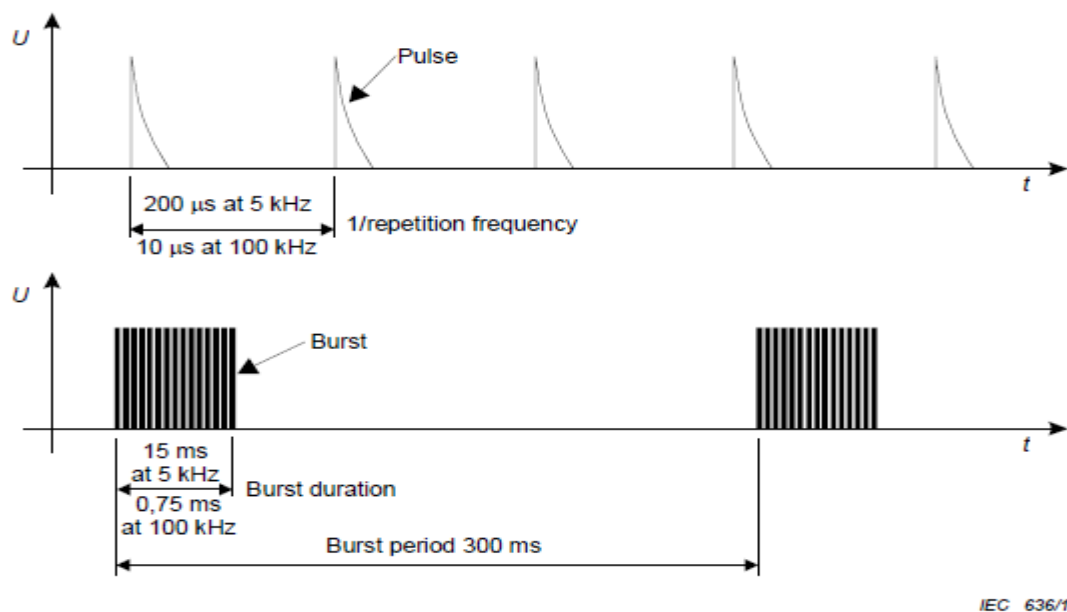
Kuvasta 5 nähdään myös, miten suurienerginen pulssi on, kun ottaa huomioon myös aika-akselin vääristymän. Suojaamattoman laitteen herkät komponentit hajoavat, mutta myös liian voimakkailta syöksyjännitteiltä suojattuja laitteita voi hajota, jos laitteen suojaavat komponentit eivät reagoi syöksyjännitetestin matalammilla jännitetasoilla. ITE-laitteiden tulee läpäistä testi arviointiluokan B tai C mukaisesti riippuen testattavasta liitännästä.

Testi on kestoaltaan todella pitkä, koska laitetta suojaavia komponentteja ei haluta rikkoa kuumentamalla niitä liikaa. Siksi iskut suoritetaan minuutin välein käyden läpi kaikki linjat.

Tämä tarkoittaa, että pisimmillään testi voi kolmivaiheisille laitteille kestää useita tunteja. Testin pitkäkestoisuuden vuoksi automatisoitu monitorointijärjestelmä parantaa tuottavuutta vapauttaessaan testaajan muihin töihin testin ajaksi. [12; 9, s. 16 - 18.]

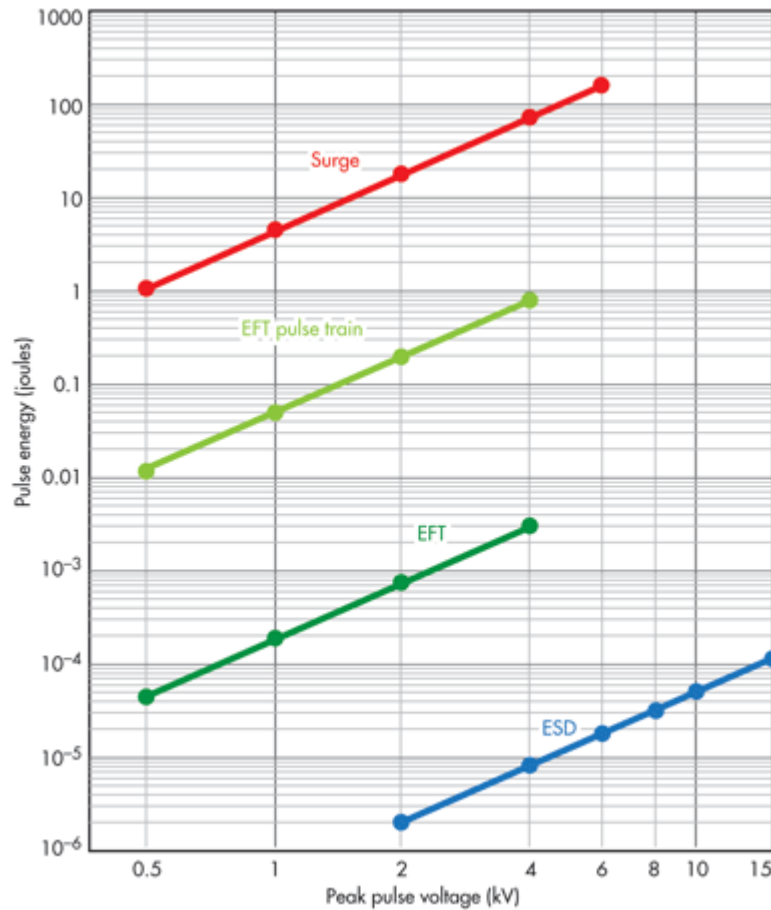
3.2.6 Nopeat transientit

Testin tarkoitus on demonstroida, miten laite kestää kytkeytyviä häiriöitä, jotka johtuvat esimerkiksi induktiivisten kuormien ohjauksesta tai relekytkennöistä (EFT; Electrical Fast Transient; nopeat transientit). Testi on syöksyjännitetestin kanssa hyvin samankaltainen, mutta kytkettävän signaalin energia on huomattavasti pienempi. Testisignaalin pääominaisuudet ovat korkea jännite, lyhyt nousuaika, lyhyt laskuaika ja lyhyt toistotaajuus.



Kuva 6. EFT-pulssit ja EFT-purskeet kuvattuna jännite ajan funktiona

Kuvassa 6 nähdään EFT-pulssin pieni energia, mutta suuri toistotaajuus. Ihannekesto yhdelle pulssille on perusstandardin IEC 61000-4-4 mukaan 50 ns, kun jännite on nousut 10 % maksimiarvosta ja laskenut sen jälkeen 50 %:iin kun kuormana käytetään 50 Ω :in vastusta. ITE-laitteiden tulee selvittää testistä arviointiluokan B mukaisesti eli laite saa häiriintyä, mutta sen tulee selvittää häiriötilasta itsestään. [13; 9, s. 16 - 18.]



Kuva 7. Tyypillisiä transienttien energiapitoisuuksia [14.]

Kuvassa 7 nähdään erilaisten transienttien energiapitoisuuksia. Suurten energiapitoisuuksien takia suojaamattomalla laitteella on huomattavasti pienemmät mahdollisuudet selviytyä transientista kuin suojatulla laitteella. Vaikka laitteeseen suunnitellut piirit olisivatkin datalehden mukaan korkeajännitteisen ESD-pulssin kestäviä, eivät ne välttämättä selviä korkeaenergistä EFT-purskeesta. Tämä johtuu suojaavien komponenttien ylikuumenemisesta, kun ne muuttavat sähkövirtaa lämmöksi. Syöksyjännitteitä on kuvattu kuvassa sanalla surge. [14.]

3.2.7 Jännitealenemat- ja katkokset

Jännitealenemat ovat verkossa tapahtuvia hetkellisiä tapahtumia, jotka voivat johtua verkossa olevasta oikosulusta ja suurista kuorman vaihteluista. Testin tarkoitus on simuloida tämänkaltaisia tilanteita mahdollisimman tarkasti. Laitteeseen tulevaa käyttöjännit-

teen amplitudia lasketaan hetkellisesti perusstandardin IEC 61000-4-11 mukaisesti. Laitetta monitoroidaan testin ajan. ITE-laitteiden tulee läpäistä testi luokan B tai C mukaisesti riippuen testitasosta. [15; 9, s. 16 - 18.]

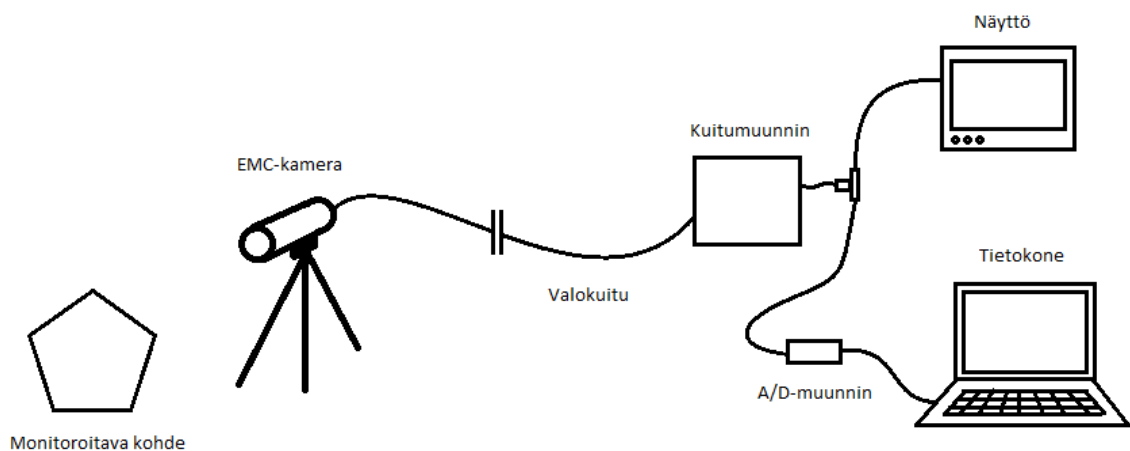
3.2.8 Magneettikentät

Testissä laite altistetaan voimakkaille muuttuville magneettikentille, jotka syntyvät suuria virtoja kuljettavien kelojen vieressä. Esimerkiksi muuntajat synnyttävät lähelleen suuren muuttuvan magneettikentän ja niiden läheisyydessä on mahdollista, että testaamaton laite häiriintyy. Perusstandardi IEC 61000-4-8 antaa menetelmät ja testitason testin suorittamiseen. Laitteet, jotka eivät sisällä magneettikentille herkkiä osia, ovat yleensä vapautettu tästä testistä. Laitetta monitoroidaan testin ajan ja sen tulee läpäistä testi A luokan ehtojen mukaan. [16; 9, s. 16 - 18.]

4 Monitorointijärjestelmä

4.1 Monitorointijärjestelmän osat

Monitorointijärjestelmän muodostavat kamera, muuntimet, tietokone ja näyttö. Näyttö haluttiin jättää paikoilleen immunitetitestien ajaksi, sillä tietokoneen käynnistämisessä menee oma aikansa. Jos testattava laite on hyvin monimutkainen ja automatisoidulla monitorointijärjestelmällä laitetta ei pystytä monitoroimaan, tulee monitorointi suorittaa katselemalla.



Kuva 8. Monitorointijärjestelmän kytkentäkaavio

Kuvassa 8 esitetään järjestelmän kytkentä kokonaisuudessaan. Monitoroitavaa kohdetta kuvataan kameralla, joka on yhdistetty kuitumuunttimeen valokuidun avulla. Kuitumuuntimelta saadaan ulos 75 Ω :in linjasta analoginen signaali, joka jaetaan jakajan avulla näytölle ja A/D-muuntimelle. A/D-muunnin on kytketty tietokoneen USB-väylään.

4.1.1 Monitorointijärjestelmän kamera

Tavallisten kameroiden käyttö voimakkaissa sähkömagneettisissa häiriökentissä on mahdotonta, koska kentät aiheuttavat suojaamattomille kameroille kuvavääristymistä ja jopa rikkoontumista. Kuvassa saattaa esiintyä runsaasti kohinaa, jolloin itse kohteen monitorointi ei onnistu. Automatisoidulla laitteistolla häiriintynyt monitorointikuva aiheuttaisi väärän hälytyksen. Siksi tässä insinööriyössä käytettiin Pulse Power & Measurement

Ltd:n valmistamaan Mini Scout EMC-kameraa, jossa on tarvittava suojaus häiriöitä vastaan. Kamera on koteloitu kauttaaltaan metallilla ja se saa virtansa ladattavasta akusta. Kamerasta tuleva kuva lähetetään valokuidulla muuntimelle häiriintyvyyden minimoimiseksi.

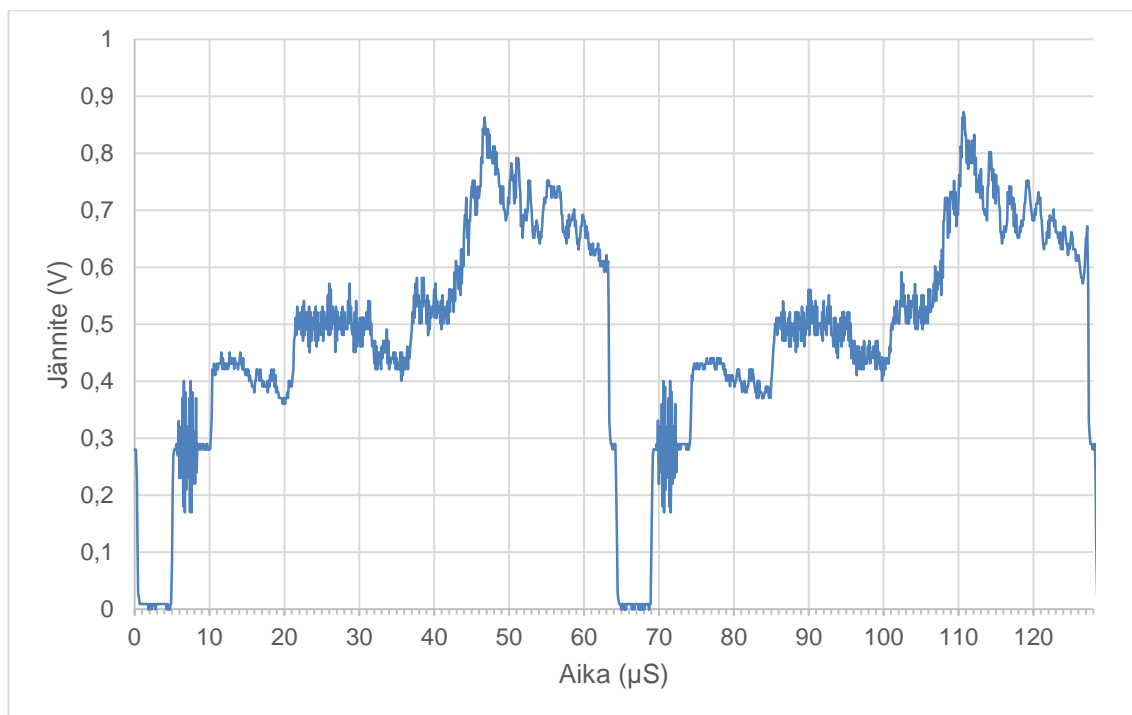
Hyvä suojaus häiriöiltä ei ole ainoa EMC-kameran tuoma etu. Tavalliset kamerat aiheuttavat itse sähkömagneettisia häiriöitä, jolloin emissiotestien aikana ei voida varmistua, onko häiriö kamerasta vai itse testattavasta laitteesta. Monitorointi emissiotesteissä tulee kyseeseen, jos laitteen tulee olla jossain ennalta määrättyssä tilassa koko emissiotestin ajan. Esimerkkinä laturi, joka testataan sen ollessa lataustilassa. Pitkän emissiotestin aikana akku täyttyy ja lataustila loppuu, jolloin laitteen sähkömagneettiset ominaisuudet muuttuvat ja testi ei anna oikeaa tulosta.

Uudet EMC-suojatut normaalikäyttöön tarkoitetut kamerat kestävät jopa 200 V/m suuruisia sähkökenttiä aina 18 GHz:n taajuuteen asti, mutta tarjolla on myös aina 1 000 V/m asti kestäviä kameroita sotateollisuuden erikoissovelluksien ja lentokonetekniikan testien valvontaan. [17.]

4.1.2 Kuitumuunnin

Muuntimen tarkoitus on muuntaa kameralta tuleva optinen signaali sähköiseksi signaaliksi. Tämä sähköinen signaali voidaan syöttää monitorin analogiseen sisääntuloon olettaen, että monitori tukee muuntimelta tulevaa PAL-signaalia (Phase Alternate Line; analogisen videokuvan koodaus ja värijärjestelmä). Insinööriyössä käytetty muunnin on Meridian Technologies -yhtiön valmistama PT-100M-optinen-lähetin-vastaanotin.

Muuntimen avulla voidaan lähettää tai vastaanottaa videosignaalia jopa useiden kilometrien etäisyyksillä, koska valokuitu ei reagoi sähkömagneettisiin häiriöihin ja valon vaimeeminen valokuidussa on hyvin pientä. Lisäksi valokuidun käyttö estää radiosignaalien pääsyn radiokaiuttomaan huoneeseen paremmin kuin tavalliset koaksiaalikaapelit, jotka saattavat toimia antennina huoneen ulkopuolella kuljettaen häiriöitä sisälle. [18, s. 57 - 59.]



Kuva 9. Kaksi PAL-signaalin värijuovaa

Kuvassa 9 nähdään kuitumuuntimelta A/D-muuntimelle siirtyvää analogista PAL-koodattua signaalia. Signaalin alussa juova tahdistetaan ja värit synkronoidaan, jonka jälkeen tulee kuvainformaatio yhdelle riville. Näitä rivejä toistetaan niin kauan kunnes kaikki kuvavaruudella olevat rivit on käyty läpi ja rivien luku aloitetaan alusta. Tätä aikaa kutsutaan kuvasammutusajaksi. Taukoa kahden juovan välissä apukantoaaltopurskeen kanssa kutsutaan juovasammutusajaksi. Kuvasta nähdään, että juovasammutusajan kesto on 12 μs . Yksi juova kestää kokonaisuudessaan 64 μs .

Kaikki tämä tapahtuu niin nopeasti, ettei paljas silmä pysty näkemään kuvan päivittymistä. PAL-järjestelmän kuvassa koko ruudun päivitysnopeus on 25 kuvaa sekunnissa, mikä tietysti rajoittaa monitorointijärjestelmän päivitysnopeudeksi saman arvon. Toisin sanoen monitorointijärjestelmä ei kykene havaitsemaan tapahtumia, jotka tapahtuvat nopeammin kuin 40 ms, koska kamerakaan ei näe sitä. Tilannetta voitaisiin parantaa nopeammalla kameralla, jonka ruudunpäivitysnopeus olisi korkeampi. Tämä tietysti vaatisi myös muiden järjestelmän osien päivittämistä. [18, s. 41 - 44.]

4.1.3 A/D-muunnin

Koska kuitumuunnin ei muuta kuvaa digitaaliseen muotoon, tarvitaan kuvan analysoinnin helpottamiseksi myös A/D-muunnin, joka muuntaa signaalin digitaaliseksi. Tätä tehtävää hoitamaan valittiin kaupallinen Gigabyte V-Catch, joka kytketään tietokoneen USB-väylään (Universal Serial Bus; sarjaväyläarkkitehtuuri, joka on tehty oheislaitteiden liittämiseksi tietokoneeseen). Sisääntuloina laitteeseen on mahdollista kytkeä analoginen video ja ääni. Tähän päädyttiin, koska kaupallinen muunnin oli edullisempi, kuin itse tehty ja muuntamiseen tarvittavat digitaalipiirit olivat lähes poikkeuksetta massatuotantotavaraa, jota voitiin tilata vain suurissa erissä. Lisäksi piirien suuri jalkamäärä ja suuret tiedonsiirtonopeudet olisivat saattaneet aiheuttaa ongelmia laitteen valmistukseen käytettävissä olevilla laitteilla.

A/D-muuntimelta tuleva bittivirta on liian nopea, jotta sitä voitaisiin lähettää sellaisenaan sulavasti USB-väylää pitkin. Siksi ennen syöttöä USB-väylään kuva pakataan reaaliajassa kevyempään muotoon. Kaupallisessa laitteessa tämä on hoidettu piirillä EM2980, joka hoitaa kaiken A/D-muunnoksesta kuvan pakkaamiseen.

4.1.4 Tietokoneohjelma

USB-väylään kytketty A/D-muunnin näkyy koneelle videonkaappauslaitteena, kuten web-kamera. Tämä mahdollistaa ohjelman monipuolisen käytön, koska tarvittava bittivirta saadaan kaapattua ohjelmaan mistä tahansa laitteesta, jonka Windows ymmärtää videonkaappauslaitteeksi. Ohjelman käyttöä ei siis tarvitse rajoittaa vain EMC-immuniteettitestien valvontaan, vaan sitä voidaan käyttää esimerkiksi liikkeentunnistukseen tai laadunvalvontaan.

4.2 Monitorointijärjestelmän käyttö

EMC-kamera asetetaan kuvattavan kohteen viereen ja säädetään valotus- ja tarkkuusarvot oikeiksi. Testattava laite laitetaan päälle ja tietokoneohjelmasta kaapataan referenssikuva. Referenssikuvalla tarkoitetaan kuvaa, johon järjestelmä vertaa videokuvan ruutuja. Tämän jälkeen tietokoneohjelma alkaa monitoroida testattavaa laitetta ja ilmoittaa suurista kuvan muutoksista.

5 Monitorointiohjelma

5.1 Monitorointiohjelman perustiedot

Ohjelma kirjoitettiin C#-ohjelmointikielellä hyödyntäen Visual Studio-ohjelmankehitysympäristöä ja Silverlight-ohjelmointiympäristöä. Silverlightiin päädyttiin, koska se sisältää monipuolisesti komentoja ja funktioita medialaitteille. Ohjelma toimii millä tahansa selaimella, joka tukee Silverlightia.

Taulukko 2. Monitorointijärjestelmän tuki eri selaimille [19.]

Operating System	IE 11	IE 10	IE 9	IE 8	IE 7	IE 6	Firefox 12+	Safari 4+	Chrome 12+
Windows 8.1 Desktop	X								X
Windows 8 Desktop		X							X
Windows 7			X	X					X
Windows 7 SP1	X	X	X	X					X
Windows Vista SP2			X	X	X				X
Windows XP SP3				X	X				X
Macintosh OS 10.5.7+ (Intel-based)							X	X	

Taulukossa 2 Silverlight 5 yhteensopiva käyttöjärjestelmän ja selaimen yhdistelmä on merkattu X-kirjaimella. Taulukosta nähdään, että ohjelmaa voidaan käyttää myös hyvin vanhoissa, Windows-pohjaisissa käyttöjärjestelmissä. Myös Googlen Chrome-selain on hyvin tuettu.

Ohjelma tehtiin Silverlightin aikaisemmalle versiolle 4, joka on mahdollista saada myös vielä vanhemmille käyttöjärjestelmille. Silverlightin viides versio on yhteensopiva ohjelmien kanssa, jotka on tehty Silverlightin aikaisemmalle versiolle. [19.]

Silverlight-ohjelmia on mahdollista ajaa myös omana ohjelmiana ilman selainta ja siksi ohjelmasta tehtiin myös toinen versio, johon lisättiin lisätoimintoja parempaa monitorointikokemusta varten. Ohjelman ajaminen omassa ikkunassa antaa korkeammat käyttöi-keudet ja näin mahdollistaa kuvakaappauksen ottamisen kuvasta, joka ylittää ohjel-
massa säädetyt arvot. Toisin sanoen se mahdollistaa vikatilojen tarkastamisen jälkikä-teen, koska käyttäjä voi katsoa kuvista, mikä meni vikaan.

5.2 Monitorintiohjelman keskeiset elementit

Ohjelmassa on keskeisiä elementtejä, joiden avulla ja logiikalla olisi mahdollista ohjelma tehdä myös toisella ohjelmointikielellä.

```
for (i = 0; i != area; ++i)
{
    if (i >= y1 * width && x1 <= i % width && i < y2 * width && x2 > i % width)
    {
        r = Math.Abs(IntToColor(liveFeed.Pixels[i]).R -
            IntToColor(imageTocompare.Pixels[i]).R);
        b = Math.Abs(IntToColor(liveFeed.Pixels[i]).B -
            IntToColor(imageTocompare.Pixels[i]).B);
        g = Math.Abs(IntToColor(liveFeed.Pixels[i]).G -
            IntToColor(imageTocompare.Pixels[i]).G);
    }
    else
    {
        r = 0;
        b = 0;
        g = 0;
    }

    if ((r > sensitivity || b > sensitivity || g > sensitivity))
    {
        changesInpicture.Pixels[i] = wrongColor;
        ++countRed;
    }
    else
        changesInpicture.Pixels[i] = rightColor;
}
}
```

Esimerkkikoodi 1. Koodi värien tunnistamiseen

Esimerkkikoodissa 1 esitetään osa ohjelman koodista, millä se poimii valitulta alueelta kuvan kaikki pikselit yksitellen ja vertailee niiden väriarvoa referenssikuvan samaan pikseliin. Jos yksi väriarvoista, punainen, sininen tai vihreä, muuttuu liikaa referenssikuvaan nähden, järjestelmä piirtää punaisen pikselin muutoskuvaikkunan vastaavaan kohtaan.

Jos punaisten pikseleiden määrä on liian suuri suhteessa monitoroitavan kuvan kokoon, laite antaa hälytyksen.

Kaikki asetukset, kuten väriherkkyys tai varoituserkkyys, on säädettävissä ohjelmassa. Koodissa on myös sisällä analysoitavan alueen rajain, koska ohjelmassa on mahdollista rajata alue kuvasta. Rajauksen tarkoitus on saavuttaa parempi tunnistustarkkuus pienissä kohteissa, kuten ledit tai pienet näytöt.

5.3 Monitorointiohjelman lokikansio

Jos ohjelmaa käytetään korkeammilla käyttöoikeuksilla eli omana ohjelmanaan, on ohjelman mahdollista luoda käynnistyessään lokikansio tietokoneen työpöydälle. Lokikansioon sijoitettava lokitiedosto sisältää tapahtumia testin kulusta aikajärjestyksessä. Siitä voidaan tarkastaa, koska monitorointi on aloitettu tai lopetettu. Myös raja-arvojen ylitykset, ylityksen määrä ja yhteyshäiriöt kirjataan lokitiedostoon. Raja-arvot ylittävistä hetkistä saadut kuvakaappaukset ohjelma nimeää kaappaushetken ajan mukaan ja sijoittaa lokikansioon.

Lokikansiossa olevia kuvia voi selata vaikka monitorointi olisikin käytössä, mutta lokitiedoston tarkasteluun testin aikana on ohjelmassa oma paikkansa.

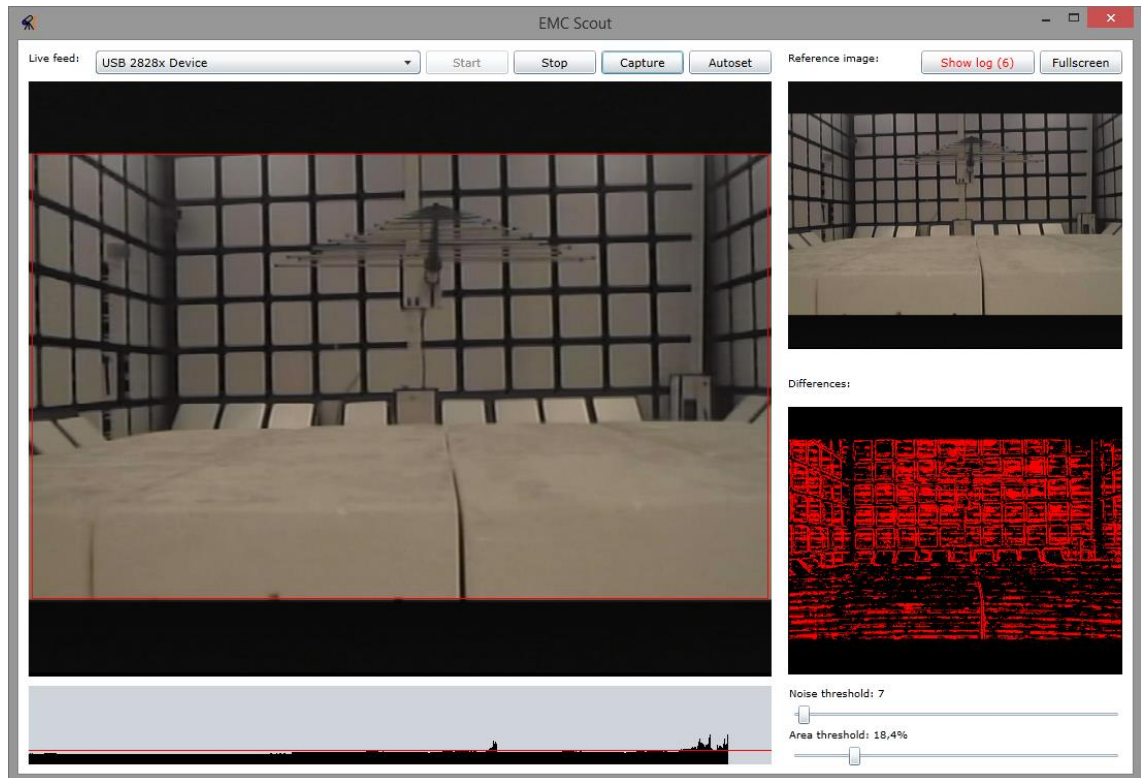
5.4 Monitorointiohjelman hälyttäminen

Ohjelma hälyttää, kun asetetut raja-arvot ylittyvät. Hälytystapoja on useita: kaiuttimista kuuluva äänimerkki, ilmoitus näytössä ja kirjaus lokitiedostoon. Näytössä oleva ilmoitus on tarkoitettu informoimaan käyttäjää uusista rajanylityksistä. Tämä kuitenkin vaatii, että käyttäjä käy välillä tarkastamassa, onko uusia hälytyksiä tullut ja kuittaa ne nähdyiksi. Monitorointia suorittaessa on hyvä varmistaa, että tietokoneen kaiuttimet ovat päällä.

Monitorointiohjelman hälyttämistavaksi ajateltiin aluksi laittaa sähköpostilla toimiva hälytys, mutta testeissä käytettäviä tietokoneita ei haluttu yhdistää verkkoon ja idea sähköpostitse tapahtuvasta hälytyksestä jätettiin toteuttamatta.

5.5 Monitorintohjelman käyttö

Ohjelman käytön helppouteen yritettiin kiinnittää mahdollisimman paljon huomiota. Tavoitteena oli luoda kevyt ja helposti ymmärrettävä käyttöliittymä, mikä käynnistyy nopeasti ja ei vaadi erillistä koulutusta.



Kuva 10. Ruutukaappaus tietokoneella ajettavasta ohjelmasta

Kuvassa 10 esitetään ruutukaappaus insinööriyön ohjelman käyttöliittymästä. Ylhäällä Live feed-ruutuun valitaan kaapattava laite ja painetaan Start-nappia, jonka jälkeen ohjelma aloittaa kuvien vertailun. Kuvasta voidaan valita monitoroitava ala vetämällä hiirellä haluttu kohta tai vaihtoehtoisesti tarkastella koko kuvaa. Väriherkkyys ja muutosrajat on säädettävissä Noise ja Area threshold-liukureista. Ohjelma piirtää muutosten määrää ajan funktiona kamerakuvan alapuolella olevaan harmaaseen laatikkoon.

6 Ohjeita monitorointiin

Laitteita monitoroidessa on hyvä käyttää luovuutta, jotta mahdolliset virhetilat huomataan paremmin. Testauslaboratorion perustarpeista voidaan laitteisiin yhdistämällä luoda paremmin havaittavia toimintoja.

6.1 Valojen monitorointi

Jos laitteessa on monitoroitavia LED-valoja on radiokaiuttomassa huoneessa hyvä sammuttaa valot testin ajaksi. Tämä mahdollistaa automaatiojärjestelmässä suuremman värimuutoksen, jos valo syttyy tai sammuu. Valot sammuttamalla on mahdollista monitoroida myös valaisimien antaman valon intensiteettiä, koska himmeämpi valo aiheuttaa värimuutosta tummempaan suuntaan.

Valoja monitoroidessa on myös syytä pitää huolta siitä, että kameran kuva ei ylivalotu, ja mahdolliset valkotasapainoa tai tarkennusta automaattisesti säätävät toiminnot on kytketty pois päältä. Jos nämä arvot muuttuvat kesken testin, aiheuttaa se järjestelmässä väärän hälytyksen.

6.2 Pyörivien osien monitorointi

Laitteiden pyöriviin osiin on hyvä kiinnittää teippi tai paperi, joka on väriltään vastaväri kameran kuvassa näkyvään muuhun taustaan. Vastaväri parantaa konenäön toimintavarmuutta. Tuulettimien eteen voidaan kiinnittää pala paperia, jotta tuulettimen pyörintä voidaan havaita paremmin.

6.3 Äänien monitorointi

Järjestelmään on mahdollista kytkeä mikrofoni, joka mahdollistaa testattavasta laitteesta tulevien äänien monitoroinnin. Mikrofoonia voidaan käyttää esimerkiksi tilanteessa, jossa tuulettimet on sijoitettu laitteen kotelon sisäpuolelle ja ne eivät ole näkyvissä. Automaatiota äänen monitorointiin ei tässä insinööriyössä tehty.

7 Monitorointijärjestelmän testaus

Monitorointijärjestelmän toimintaa testattiin immunitetitestin avulla, jossa tavallinen Olympus TG-310 -kamera asetettiin kalibroituun sähkökenttään, jonka voimakkuus oli 10 V/m. Kentän voimakkuus asetettiin korkeammaksi kuin ITE-laitteiden immunitetistandardi CISPR24 vaatii, koska voitiin olettaa laitteen läpäisevän standardin vaatiman 3 V/m suuruisen kentän.

Voimakkaampi 10 V/m sähkökenttä on tarkoitettu yleensä raskaaseen teollisuuteen tulevien laitteiden testaamiseen, missä saman vahvuiset kentät ovat mahdollisia jopa niin, että ne voidaan lukea jatkuviksi.

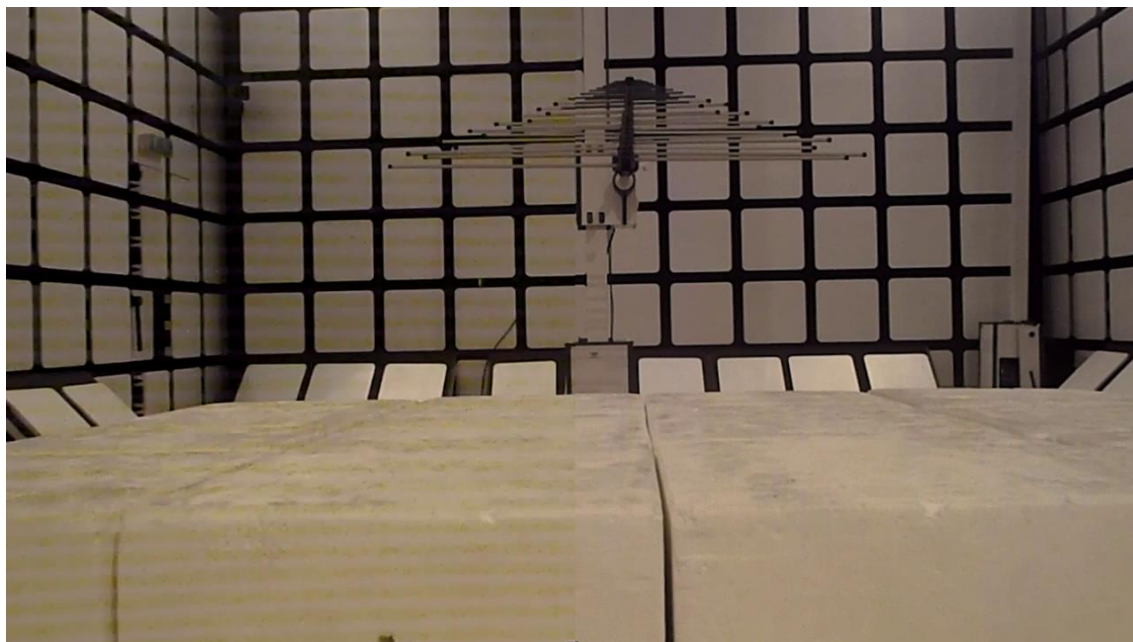


Kuva 11. Tavallinen kamera immunitetitesteissä

Kuvassa 11 esitetään standardin IEC 61000-4-3 mukainen testikokoonpano puolikaiuttomassa huoneessa, jossa testattavana laitteena on tavallinen kamera. Testissä kamera oli asetettu 80 cm maatason yläpuolelle eristeestä tehdyn pöydän päälle. Lattialle asetettiin vaimentavaa materiaalia heijastusten välttämiseksi. Testattavan laitteen kuvaa monitorointiin EMC-kameralla koko testin ajan, jotta testattavaan laitteeseen tulevat mahdolliset häiriöt osattaisiin yhdistää häiritsevään taajuuteen. Tämä ei kuitenkaan kameran pienen näytön takia onnistunut, joten kameran ottama videokuva analysoitiin oh-

jelman avulla testin jälkeen. Laitetta testattiin taajuusalueella 80 - 1000 MHz 1 %:in taajuusnostoilla käyden läpi molemmat antennipolarisaatiot. Jokaista taajuutta pidettiin päällä yhden sekunnin ajan ja laite testattiin vain sen yhdeltä puolelta.

Vaikka järjestelmä sallii myös tavallisen kameran käytön, säteilevän immunitietien testien valvonta on sillä mahdotonta, koska testattavan laitteen testitasot voivat ylittää reilusti tasot, johon tavallinen kamera on suunniteltu.

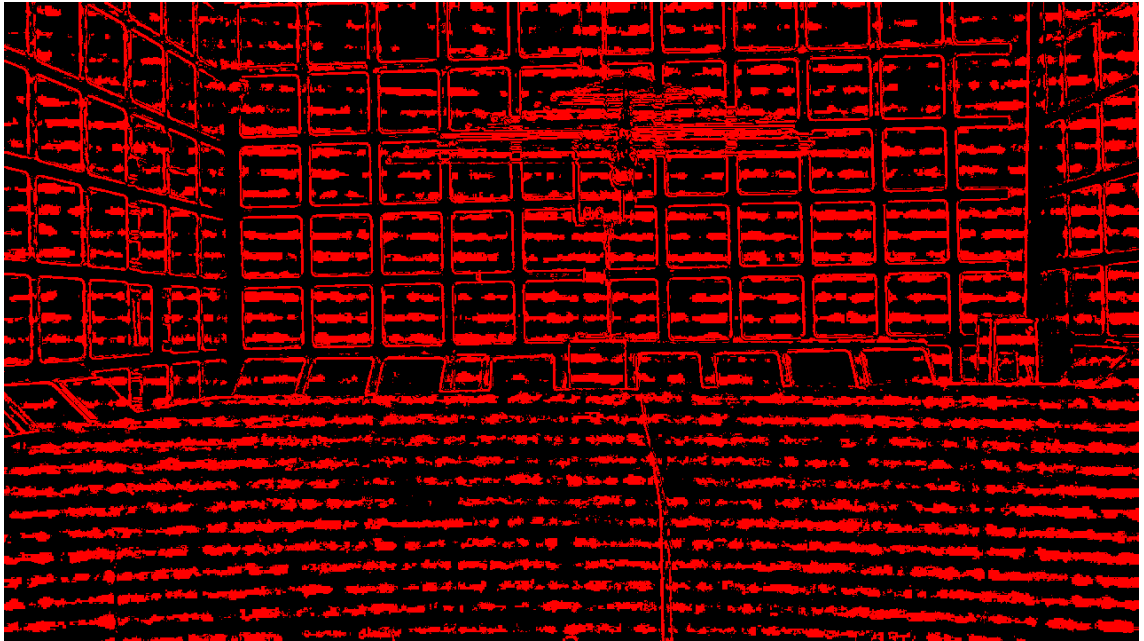


Kuva 12. Vertailukuva häiriintyneen- ja häiriöttömän kameran kuvista

Kuvan 12 vasemmalla puolella nähdään, miten suojaamattoman kameran kuva häiriintyy RF-häiriöiden tunkeutuessa muovisen kotelon läpi laitteen piirilevyille tehden kuvaan häiriötä. Häiriintyminen esiintyi keltaisina raitoina kameran ottamassa kuvassa useilla eri testitaajuuksilla. Kuvan oikealla puolella on esitetty kameran kuvaa kun se ei ole häiriökentässä. Häiriökenttä aiheutti muutoksia myös kameran nauhoittamaan ääneen.

Ohjelmalla kestää analysoitavasta pinta-alasta ja käytettävästä tietokoneesta riippuen, 7 - 80 ms aikaa käydä läpi molempien, sekä referenssikuvan että reaaliaikaisen kuvan pikselit ja laskea niiden välisen erotuksen. Tämä mitattiin tekemällä ohjelman koodiin ylimääräinen ajanottofunktio analysointifunktion ympärille. Suorituskykymittaus suoritettiin kahdella eri koneella, joista heikompitehoisessa oli Intel Core 2 Duo -kaksiydinprosessori, jonka kellotaajuus oli 2,4 GHz. Windowsin tehtävienhallinnan mukaan ohjelma

vei noin 53 % prosessorin laskutehosta, kun monitorointi oli päällä. Keskusmuistia ohjelma käytti pahimmassa tapauksessa noin 1,2 GB.



Kuva 13. Konenäön näkymä kuvien erotuksen jälkeen

Kuvassa 13 nähdään, mitä eroa kone näki kahden kuvan välillä. Ohjelma oli säädetty niin, että se piirtää kuvaan punaisen pikselin kohtaan, jossa analysoitavien pikseleiden välisen punaisen-, sinisen- tai vihreän värin väriarvo muuttui yli 15 yksikköä. Häiriöstä johtuneet keltaiset viivat näkyivät kuvassa selkeämmin, kun paljaalla silmällä katsottaessa. Korkean värikontrastin omaavat kohdat ovat täyttyneet kohinan aiheuttamasta värimuutoksesta, mitä paljaalla silmällä ei pystytty havaitsemaan.

8 Yhteenveto

Insinööriyön tavoitteena oli automatisoida pitkien EMC-testien valvonta yksinkertaisille laitteille, joiden valvonta perinteisillä tavoilla ei ole ollut tehokasta. Järjestelmä piti yrittää luoda mahdollisimman pienellä budjetilla ja mahdollisimman yhteensopivaksi testauslaboratoriossa jo olevien laitteiden kanssa.

Työssä hyödynnettiin laboratorion vanhoja EMC-kameroita ja testikäyttöön tarkoitettua tietokonetta, johon ohjelma asennettiin. Insinööriyötä varten hankittiin yksi A/D-muunnin analogisen PAL-signaalin saamiseksi digitaaliseen muotoon ja lisäksi yksi web-kamera radiokaiuttomien huoneiden ulkopuolella tapahtuvien testien valvontaan. Järjestelmän osat koteloitiin niin, että sen käyttö olisi helpompaa ja liittimet olisivat suoraan yhteensopivia testauslaboratoriossa olevien laitteiden kanssa.

Tavoitteeseen päästiin ja ohjelmaa testatessa voitiin havaita, että häiriintyvä laite aiheutti monitorointijärjestelmässä hälytyksen. Järjestelmän luotettavuutta pitää vielä testata pidemmällä aikavälillä, jolloin voidaan varmistua sen toimivuudesta ja ottaa se vakituiseen käyttöön. Järjestelmän kokonaiskustannukset uusina investointeina olivat yhteensä noin 50 €, jota voidaan pitää edullisena verrattuna vastaaviin kaupallisiin järjestelmiin. Summaan ei ole laskettu työtunteja.

Ohjelmaa voitaisiin kehittää lisäämällä siihen GPIB-väylä, josta ohjelma saisi yhteyden EMC32-ohjelmaan. Näin järjestelmä voisi merkitä rajan ylityksen suoraan häiritsevään taajuuteen. Lisäksi järjestelmään voitaisiin lisätä mahdollisuus äänten monitorointiin niin, että äänten taajuusspektri eli äänisignaalien sisältämien taajuuksien yleiskuvaus saataisiin näkyviin. Hälytysjärjestelmän päivittäminen sähköpostitse tai muulla langattomalla tavalla toimivaan järjestelmään olisi myös suuri parannus nykyisen järjestelmän toimintaan.

Lähteet

- 1 Rajamäki, Jyri. 6/2000. EMC- direktiivin ensimmäiset kymmenen vuotta Suomessa. Verkkodokumentti. <<http://www.tukes.fi/Tiedostot/julkaisut/6-2000.pdf>>. Luettu: 20.9.2014
- 2 Williams, Tim. 2001. EMC for Product Designers third edition. Great Britain: Newnes.
- 3 Nyberg, Heidi & Jokela, Kari. 2006. Sähkömagneettiset kentät. Hämeenlinna: Karisto Oy.
- 4 Viestintävirasto. Luvasta vapautetut radiolaitteet LVR 1 / 2010. Verkkodokumentti. <https://www.viestintavirasto.fi/attachments/LVR_1_2010suomi.pdf> Luettu: 19.11.2014
- 5 Tukes. Sähkölaitteiden valmistus, maahantuonti ja myynti. Verkkodokumentti. <http://www.tukes.fi/Tiedostot/sahko_ ja_hissit/esitteet_ ja_oppaat/sahkolaitteiden_valmistus_maahantuonti_ ja_myynti.pdf> Luettu: 10.10.2014
- 6 SGS Akatemian seminaari. Sähkötuotteiden vaatimustenmukaisuus. 13. - 14.11.2013
- 7 Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2004/108/EY. Verkkodokumentti. <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:390:0024:0037:fi:PDF>> Luettu: 20.9.2014
- 8 IEC 61000-4-2:2008 Ed.2. Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-2: Testing and measurement techniques – Electrostatic discharge immunity test
- 9 CISPR 24:2010 Ed.2. Information technology equipment – Immunity characteristics – Limits and methods of measurement
- 10 IEC 61000-4-6:2013 Ed.4. Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-6: Testing and measurement techniques – Immunity to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields
- 11 IEC 61000-4-3:2006. Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-3: Testing and measurement techniques – Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test
- 12 IEC 61000-4-5:2005 Ed.2. Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-5: Testing and measurement techniques – Surge immunity test

- 13 IEC 61000-4-4:2012 Ed.3. Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-4: Testing and measurement techniques – Electrical fast transient/burst immunity test
- 14 Kugelstadt, Thomas. 2012. How Much On-Chip Transient Protection Is Enough? Verkkodokumentti. <<http://electronicdesign.com/boards/how-much-chip-transient-protection-enough>> Luettu: 18.11.2014
- 15 IEC 61000-4-11:2004 Ed.2. Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-11: Testing and measurement techniques – Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests
- 16 IEC 61000-4-8 Ed.2. Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-8: Testing and measurement techniques – Power frequency magnetic field immunity test
- 17 Pontis EMC Products. Datasheet Cam80P-HIRF. Verkkodokumentti. <http://www.pontis-emc.com/downloads/Pontis_Cam80P-HIRF.pdf> Luettu: 10.10.2014
- 18 Aalto, Seppo & ym. 1999. Videovalvontajärjestelmät. Tampere: Tammer-Paino Oy.
- 19 Microsoft. Get Microsoft Silverlight. System Requirements. Verkkodokumentti. <<http://www.microsoft.com/getsilverlight/Get-Started/Install/Default.aspx>> Luettu 19.11.2014