

Sami Oksanen

SiteMarshalin EMC-testaus

Insinööri (AMK)

Tieto- ja viestintäteknikka

Kevät 2018



KAJAANIN
AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tiivistelmä

Tekijä(t): Oksanen Sami

Työn nimi: SiteMarshalin EMC-testaus

Tutkintonimike: Insinööri (AMK), tieto- ja viestintäteknikka

Asiasanat: EMC, standardi, EMI, testaussuunnitelma

EMC:n (electromagnetic compatibility) tarkoituksena on varmistaa, että sähköiset laitteet pystyvät toimimaan yhdessä aiheuttamatta häiriötä toisilleen, ja sitä säännellään EMC-direktiivin avulla. Langattomasti toimivien laitteiden yleistymisen myötä on direktiivin noudattamiseenkin kiinnitetty entistä enemmän huomiota, jotta laitteiden välinen toimivuus paranisi.

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Herman IT, joka on kajaanilainen konesalipalveluihin erikoistunut yritys. Yhtenä yrityksen tuotteista on SiteMarshal-laite, jonka avulla pystytään etävalvomaan erilaisia laitetoja sekä tekemään paikallista ohjausta. Opinnäytetyön tavoitteena oli laatia kyseiselle laitteelle EMC-testaussuunnitelma ja toteuttaa sen avulla laitteen EMC-testaus. Lisäksi mahdollisille ongelmille tuli esittää korjausehdotuksia.

Työn alussa tutustuttiin EMC:n perusteisiin ja työssä tarvittaviin standardeihin. Testaussuunnitelman tekemisessä käytettiin SiteMarshalia koskevia perus- ja yleisstandardeja, joissa määriteltiin testeissä käytettävät testausmenetelmät ja raja-arvot. Testaussuunnitelman avulla laitteelle suoritettiin EMC-testit Kajaanin ammattikorkeakoulun EMC-laboratoriossa.

Testeissä ilmeni ongelmia varsinkin SiteMarshalin lämpötila-antureiden kanssa eikä laite näin ollen läpäissyt kaikkia sille tehtyjä testejä. Ongelmat johtuvat siitä, että häiriösignaalit pääsevät kulkemaan vapaasti lämpötila-antureiden liitännöissä ja niiden kulkua voisi estää ferriittien avulla.

Ongelmien tarkempi selvittäminen vaatii jatkotutkimuksia SiteMarshal-laitteelle ja tarkempaa perehtymistä sen kytkentöihin.

Abstract

Author(s): Oksanen Sami

Title of the Publication: EMC Testing of SiteMarshal

Degree Title: Bachelor of Engineering, ICT engineer

Keywords: EMC, standard, EMI, test plan

EMC's (electromagnetic compatibility) purpose is to ensure that electrical equipment can operate together without causing interference for each other and it is regulated with the EMC Directive. Due to the wireless devices becoming more general, more attention has been paid to ensure that the devices fulfill the compliance of the EMC Directive to improve their interoperability.

This thesis was commissioned by Herman IT, a Finnish company that specializes in data center services. One of the company's products is SiteMarshal device, which allows remote monitoring and local control of different equipment spaces. The objective of this thesis was to design an EMC test plan for the device and perform the EMC testing of SiteMarshal with the plan. In addition, suggestions for correction had to be made for potential problems.

At the beginning of the thesis, the EMC's basics and the standards needed for the job were familiarized. Making of the test plan, basic and generic standards were used to define test methods and limits for testing. The test plan was used to perform the EMC tests at the Kajaani University of Applied Sciences EMC laboratory.

During the test there appeared to be problems especially with SiteMarshal's temperature sensors and the device did not pass all the tests that were planned for it. Problems occurred because the interference signals were able to move freely in the connections of the temperature sensors and it could be prevented by using the ferrites.

More detailed analysis of the problems would require further examination of the SiteMarshal and more familiarization of the device's connections.

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Sähkömagneettinen yhteensopivuus EMC	2
2.1	EMC-direktiivi	3
2.2	CE-merkintä	4
3	EMC-standardit	5
3.1	ETSI – European Telecommunication Standards Institute.....	6
3.1.1	ETSI EN 301 489-1.....	6
3.2	IEC – International Electrotechnical Commisiion	7
3.2.1	CISPR 22 ja CISPR 16-2-3.....	7
3.2.2	IEC 61000 -sarja.....	8
4	Testaussuunnitelma	9
4.1	Häiriöpäästötestit	10
4.1.1	Johtuvien RF-häiriöiden päästöttestaus virta- ja verkkoliitännöille.10	
4.1.2	Säteilevien RF-häiriöiden päästöttestaus	12
4.2	Häiriönsietotestit.....	13
4.2.1	Säteilevien RF-häiriöiden sietotestit	14
4.2.2	Sähköstaattisten purkauksien sietotestit	15
4.2.3	Nopeiden transienttien sietotestit	16
4.2.4	Johtuvien RF-häiriöiden sietotestit	18
4.2.5	Syöksyaallon sietotestit.....	19
5	Testitulokset ja päätelmät.....	20
5.1	Säteilevien RF-häiriöiden päästötestit	20
5.2	Säteilevien RF-häiriöiden sietotestit	24
5.3	Johtuvien RF-häiriöiden päästötestit	25
5.4	Johtuvien RF-häiriöiden sietotestit.....	26
5.5	Nopeiden transienttien sietotestit	28
5.6	Syöksyaallon sietotestit	30
5.7	Sähköstaattisten purkauksien sietotestit.....	31
6	Yhteenveto.....	32
	Lähteet.....	33

Liitteet

SiteMarshal-laitteen EMC-testaussuunnitelma

Symboliluettelo

AMN	Artificial Mains Network
CDN	Coupling/Decoupling Network
CISPR	International Special Committee on Radio Interference
DC	Direct Current
EMC	Electromagnetic Compatibility
EMI	Electromagnetic Interference
ETSI	European Telecommunication Standards Institute
Hz	hertsi
IEC	International Electrotechnical Commission
ISN	Impedance Stabilization Network
RF	Radio Frequency

1 Johdanto

Työn tilaajana toimiva Herman IT Oy on vuonna 2011 perustettu kajaanilainen IT yritys, joka on erikoistunut konesalipalveluihin. Yritys tarjoaa myös erilaisia IT-palveluita ja ohjelmistoratkaisuja monelle eri alustalle. Herman It on osa KPO-konsernia, joka on yli 100 vuotias tietoliikenne- ja tekniikkapalveluihin keskittynyt konserni. [1.]

Yksi Herman IT:n tuotteista on SiteMarshal-niminen laite, jolla pystytään etävalvomaan erilaisia laiteloja sekä tekemään paikallista ohjausta. Laitteen tyypillinen käyttöympäristö on matkapuhelinoperaattorien tukiasemien laitetilat, joissa se ohjaa releiden avulla sähköverkkoon kytkettyjä kuormia, kuten sähköpattereita, sähkömoottoreita, valaistusta sekä ilmalämpöpumppuja. Laite on alun perin suunniteltu Rihotec Oy:ssä, josta se konkurssi-pesän oston kautta siirtyi KPO-konsernille ja myöhemmin Herman IT:lle.

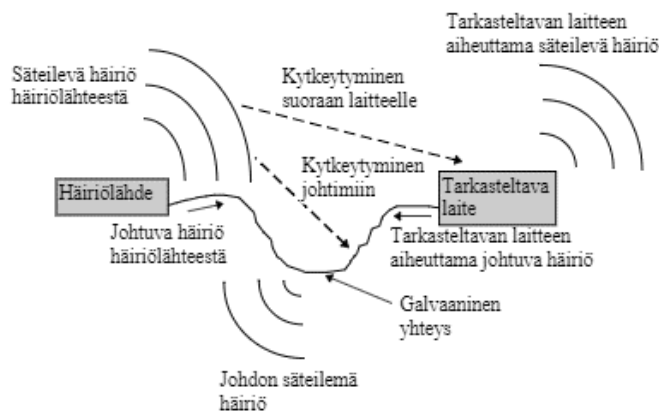
Keväällä 2017 SiteMarshalille tehtiin laitekehitystä mm. vanhentuneiden komponenttien vaihdon muodossa, johon itsekin osallistuin työharjoitteluni aikana Herman IT:llä. Komponenttien vaihdosten ja kytkentämuutosten vuoksi laitteelle onkin hyvä tehdä EMC-testit (electromagnetic compatibility), jotta nähdään, ovatko muutokset vaikuttaneet SiteMarshalin EMC:hen.

Työn tavoitteena on todeta SiteMarshal-laitteen tilanne EMC:n näkökulmasta ja löytää lämpötilan mittauksia haittaava signaalirakenne. Aluksi täytyy suunnitella laitteen EMC-testaus, joka sen jälkeen toteutetaan Kajaanin ammattikorkeakoulun EMC-laboratoriossa. Testeistä saatujen tulosten avulla selvitetään mahdollisesti löytyneiden ongelmien syy ja laaditaan esitys niiden korjaamiseksi

2 Sähkömagneettinen yhteensopivuus EMC

Sähkömagneettisella yhteensopivuudella eli EMC:llä tarkoitetaan sitä, että sähkölaite pystyy toimimaan sille tarkoitetussa ympäristössään aiheuttamatta muille laitteille suurempia sähkömagneettisia häiriöitä kuin on sallittua. Laitteen pitää myös pystyä sietämään ympäristössään olevia sähkömagneettisia häiriöitä määritetyillä raja-arvoilla. Laitteen EMC:hen voivat vaikuttaa parhaiten elektroniikka-, mekaniikka- ja ohjelmistosuunnittelijat tuotekehitysvaiheessa noudattamalla EU:n direktiivien määrittelemiä standardeja. [2.]

Sähkömagneettiset häiriöt eli EMI:t (electromagnetic interference) voidaan eritellä niiden etenemistavan mukaisesti johtuviin häiriöihin ja säteileviin häiriöihin. Aina häiriöiden rajat eivät ole kuitenkaan selviä, sillä johtuva häiriö voi aiheuttaa säteileviä häiriöitä ja säteilevät häiriöt voivat kytkeytyä johtimiin. Johtuvissa häiriöissä vastaanottavan laitteen ja häiriölähteen välillä on galvaaninen yhteys, kun taas säteilevissä häiriöissä ei galvaanista kontaktia ole. Kahden laitteen välisiä johtuvien ja säteilevien häiriöiden yhdistelmää on kuvattu sähkömagneettisessa ympäristössä kuvassa 1. Häiriöongelman poistamiseksi tarvitsee tehdä muutoksia joko häiriölähteeseen, häiriön kytkeytymistiehen tai häiriintyvään laitteeseen. [2.]



Kuva 1. Kahden sähkölaitteen aiheuttama sähkömagneettinen ympäristö [2, s. 7]

Sähkömagneettiset häiriöt voidaan jaotella myös kapeakaistaisiin ja laajakaistaisiin häiriösignaalien taajuuskaistan leveyden mukaan. Johtimissa etenevät häiriöt voivat olla joko differentiaalisia häiriöitä, joita esiintyy johtimien välillä, tai yhteismuotoisia (common mode), jotka esiintyvät molemmissa johtimissa samanaikaisesti. Kaikki häiriöt ovat joko tarkoituksellisia tai tahattomia, joten aina ei riitä, että sähkölaitteiden lähettämät häiriöt eli

emissiot saataisiin pieniksi. Laitteen immuniteetin eli kyvyn sietää häiriötä pitää olla tarpeeksi hyvä suojautuakseen tarkoituksellisilta häiriöiltä, kuten radiolähetyksiltä sekä myös luonnonilmiöiltä, kuten salaman ja staattisten purkausten häiriövaikutuksilta. [2.]

2.1 EMC-direktiivi

EU:n laatima EMC-direktiivi (89/336/EEC) koskee sähkömagneettista häiriösuojausta, ja se astui voimaan 1992. Direktiiviä on täytynyt noudattaa vuoden 1996 alusta lähtien, sillä sen soveltamisen siirtymäkausi päättyi 31.12.1995. Nykyisin voimassa oleva direktiivi on 2014/30/EU, joka korvasi vuonna 2014 vanhan direktiivin 2004/108/EY. Periaatteita, joiden mukaan EMC-direktiivi on laadittu, kutsutaan New Approach- ja Global Approach periaatteiksi. Niiden mukaan direktiivissä ei määritellä kuin olennaiset häiriövaatimukset sähkölaitteille. Tarkempien teknisten vaatimusten kohdalla viitataan erilaisiin standardeihin, jotka vaihtelevat laitteiden ja käyttöympäristöjen mukaan. [3.]

EMC-direktiivillä pyritään takaamaan tuotteiden vapaa liikkuvuus, ja sen tavoitteena on luoda hyväksyttävä sähkömagneettinen ympäristö. Sen avulla suojataan sähkö- ja tietoliikenneverkkoja sekä radioliikennettä sähkömagneettisilta häiriöiltä. Laitteistot eli loppukäyttäjälle tarkoitetut laitteet tai kiinteät asennukset, jotka voivat aiheuttaa sähkömagneettista säteilyä, kuuluvat direktiivin pariin. Näiden välistä sähkömagneettista yhteensopiavuutta säännellään EMC-direktiivin avulla. [4.]

Vaatimuksena EMC-direktiivin noudattamiselle on, ettei laite säteile ei-toivottuja sähkömagneettisia häiriöitä ja sen on siedettävä niitä tiettyyn rajaan asti muista lähteistä. Todisteena edellä mainittujen vaatimusten toteutumisesta direktiivi määrää valmistajan laatimaan dokumentaation, joka osoittaa niiden täyttymisen. Tämän jälkeen valmistaja voi pistää tuotteeseensa CE-merkin ja valmistella vaatimuksenmukaisuusvakuutuksen. [5.]

Näyttääkseen tuotteen olevan EMC-direktiivin vaatimusten mukainen, tulee valmistajan tehdä EMC-arvio sille. Tämä on tekninen analyysi, joka perustelee, että tuote on vaatimusten mukainen. Toisena vaihtoehtona EMC-arviolle on tehdä testejä, jotka todistavat tuotteen noudattavan EMC-direktiivin vaatimuksia. Testit on jaettu viiteen eri luokkaan, jotka ovat seuraavanlaisia:

- Säteilevät emissiot: Varmistaa, ettei tuote säteile ei-toivottuja radio signaaleja.

- Johtuvat emissiot: Varmistaa, ettei tuote lähetä ei-toivottuja signaaleja pitkin tehonsyöttöliitäntöjä tai liitäntöjä, jotka on kytketty toiseen laitteeseen.
- Säteilyherkkyys: Varmistaa, että tuote sietää tiettyyn rajaan asti sähkömagneettisia häiriöitä.
- Johtumisherakkyys: Varmistaa, että tuote sietää tiettyyn rajaan asti häiriöitä sen liitäntöissä.
- Sähköstaattinen purkaus: Varmistaa, että tuote on vastustuskykyinen kohtuulliselle määrälle staattista sähköä.

Testeissä käytettävät tarkemmat menetelmät ja vaatimukset on esitetty eurooppalaisissa harmonisissa standardeissa, joiden nimet on merkattu EN tunnuksella. [5.]

2.2 CE-merkintä

Monet EU:n alueella myytävät tuotteet on leimattu CE-merkillä ja tästä osoituksesta tuli pakollista vuonna 1990. Kirjaimet C ja E tulevat sanasta 'Conformité Européenne', joka tarkoittaa EU:n lainsäädännön mukaista. Ulkonäöltään sen on oltava kuvan 2 mukainen. Merkattu tuote todistaa, että se täyttää EU:n direktiivien ja säännösten vaatimukset, jotka kyseistä tuotetta koskevat. CE-merkki myös takaa sen, että tuotetta voi myydä vapaasti Euroopan talousalueella (EEA), joka on yksi sen ensisijaisista tavoitteista. [6.]



Kuva 2. Oikeanlainen CE-merkki [6.]

CE-merkin täytyy olla selvästi näkyvällä paikalla tuotteessa tai tilan puutteen vuoksi sen voi myös merkata pakkaukseen. Merkin käyttäminen perustuu itse tehtävään arviointiin ja vain joillekin vaarallisille tuotteille tehtävissä todistuksissa täytyy konsultoida tiettyjä ilmoitettuja organisaatioita. CE-merkkäus tapahtuu valmistajan tai hänen maahantuojansa toimesta ja ongelmien sattuessa heidän täytyy pystyä todistamaan, että tuote täyttää sille asetetut vaatimukset. [6.]

3 EMC-standardit

Standardeja käytetään huomaamattakin päivittäisen elämän jokaisella osa-alueella, kuten viestinnässä, mediassa, terveydenhuollossa, kuljetuksessa, rakennuksessa, energiassa yms. Varmistamalla asioiden olevan standardien mukaisia tekee niistä turvallisempia ja luotettavampia. Niiden avulla myös varmistetaan, että laitteet toimivat keskenään ja ympäri maailmaa samalla tavoin. Standardit luovat vankan pohjan, jonka ympärille voi luoda uusia teknologioita tai parantaa jo olemassa olevia käytäntöjä. Teknologian kehittyessä nopeaa tahtia tarvitaan koko ajan uusia standardeja ja jotkin vanhat standardit jäävät pois käytöstä. [7.]

Yhtenä tapana osoittaa laitteen EU:n EMC-direktiivinmukaisuus on käyttää eurooppalaisten standardiorganisaatioiden (ESO) vahvistamia harmonisia standardeja sen suunnittelussa ja testauksessa. Näihin organisaatioihin kuuluvat Euroopan standardointikomitea (CEN), Euroopan sähkötekniikan standardointikomitea (CENELEC) ja Euroopan telealan standardointilaitos (ETSI). Maakohtaiset standardoinnista vastaavat kansalliset standardointielimet julkaisevat ja vahvistavat kansallisia standardeja. Niiden tehtävänä on todeta, etteivät kansalliset standardit ole ristiriidassa eurooppalaisten standardien kanssa sekä saattaa kansallisiksi standardeiksi vastaavat eurooppalaiset standardit. Suomalaisista standardoinnista vastaa Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. [8.]

EMC vaatimuksia on määritelty useiden eri komiteoiden ja organisaatioiden julkaisemissa standardeissa, joita on monia erilaisia riippuen tuotteesta ja se käyttöympäristöstä. Tiettytyypisille EMC-testeille on myös omat standardinsa. Standardit on jaoteltu neljään eri ryhmään. Ensimmäiseen ryhmään kuuluvat perusstandardit, jotka kuvaavat ja määrittelevät tietyn häiriön sekä sen testaamiseen tarvittavat testausvälineet. Lisäksi niissä annetaan ohjeistusta, kuinka testaukset tulee suorittaa ja dokumentoida. Toiseen ryhmään kuuluvat yleiset standardit, joissa määritellään testien tasot tietyille laitejoukolla ja tietyissä ympäristöissä käytettäville laitteille. Yleisissä standardeissa annetaan vähimmäisvaatimukset testien hyväksymiselle, mutta niissä viitataan yksityiskohtaisempien kuvauksien kohdalla perusstandardeihin. Kolmanteen ryhmään kuuluvat tuoteperhestandardit, joissa määritellään tiettyyn tuoteperheeseen kuuluvien tuotteiden testitasot ja toimintavaatimukset. Tuoteperhestandardit voivat itsessään sisältää testausmenetelmiä joillekin testeille tai niissä voidaan myös viitata perusstandardeihin tarkempien menetelmien kohdalla. Viimeiseen ryhmään kuuluvat tuotestandardit, jotka antavat tiukat vaatimukset tietyille tuotteille ja niissä määritellään EMC vaatimusten lisäksi myös erityiset testimenetelmät. [9.]

3.1 ETSI – European Telecommunication Standards Institute

ETSI on yksi kolmesta Euroopan unionin arvostamasta eurooppalaisesta standardiorganisaatiosta, joka keskittyy pääasiassa telealaan liittyviin standardeihin. Organisaatio perustettiin vuonna 1988 CEPT:in (European Conference of Postal and Telecommunication Administration) toimesta ja on ollut siitä lähtien voittoa tavoittelematon, joten kaikki sen standardit ovat ilmaisia. Se saa rahoituksensa muun muassa jäseniltään vuosittaisena jäsenmaksuna sekä Euroopan unionilta. Organisaatioon kuuluu yli 800 jäsentä 66 eri maasta, mikä kuvastaa hyvin viestintämarkkinoiden kasvavaa globalisaatiota ja ETSI:n avainroolia sen mahdollistamisessa. Lisäksi mikä tahansa yritys tai organisaatio voi liittyä ETSI:n jäseneksi ja voi osallistua suoraan työn jokaiseen vaiheeseen, jolloin pienet ja suuret yritykset voivat työskennellä yhdessä. Organisaation jäseniin kuuluu useita eri toimialoja, kuten tuottajia, verkko-operaattoreita, kansainvälisiä viranomaisia, yliopistoja ja tutkimuslaitoksia. [10.]

ETSI julkaisee joka vuosi 2000–2500 standardia ja on perustamisestaan lähtien julkaissut niitä yhteensä jo yli 30000. Näihin kuuluvat esimerkiksi standardit, jotka mahdollistavat 3G, 4G ja GSM menetelmät. Standardointi on vapaaehtoistyötä ja kaikki halukkaat jäsenet voivat osallistua niiden tekemiseen. ETSI työskentelee hyvin läheisessä yhteistyössä kahden muun ESO:n kanssa, jotta standardien käytännöt olisivat EU:n direktiivin mukaisia ja välttäisi päällekkäisyyksiltä. [10.]

3.1.1 ETSI EN 301 489-1

ETSI EN 301 489-1 on ETSI:n teknisen komitean ERM:n (Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters) luoma harmoninen eurooppalainen standardi (EN). Kyseinen standardi on ensimmäinen osa moniosaisesta standardista radiolaitteille ja siinä on määritelty yleiset teknilliset vaatimukset EMC emissioille ja immuniteteille. Dokumentti määrittelee soveltuvat EMC-testit, mittausmenetelmät, raja-arvot ja suorituskykyvaatimukset radiolaitteille ja niihin liittyville lisälaitteille. Standardin EMC vaatimukset on valittu siten, että varmistetaan asianmukainen yhteensopivuus laitteiden kanssa, joita on tarkoitus käyttää asuin-, kevytteollisuus-, teollisuus- ja kauppaympäristöissä sekä ajoneuvoympäristöissä tai tietoliikennekeskusympäristöissä. [11.]

3.2 IEC – International Electrotechnical Commission

IEC on vuonna 1906 perustettu organisaatio, joka valmistaa ja julkaisee kansainvälisiä standardeja kaikille sähköisille, elektronisille laitteille ja niihin liittyville teknologioille. Lähes 20000 asiantuntijaa teollisuudesta, kaupankäynnistä, hallinnosta, testi- ja tutkintalaboratorioista sekä kuluttajaryhmistä osallistuu IEC:n standardointityöhön. IEC on yksi kolmesta maailmanlaajuisesta sisarorganisaatiosta (IEC, ISO, ITU), jotka kehittävät kansainvälisiä standardeja. Varmistaakseen maailmanlaajuisen standardien yhteensopivuuden IEC tekee yhteistyötä ISON:n (International Organization for Standardization) ja ITU:n (International Telecommunication Union) kanssa. IEC:n tavoitteena on edistää kansainvälistä yhteistyötä kaikissa sähkö- ja elektroniikka-alojen standardointiin liittyvissä asioissa. [12.]

IEC:n jäseniä ovat kansalliset komiteat, joita voi olla vain yksi kustakin maasta. Kansallisella komitealla ei ole määrättyä rakennetta, mutta siinä on hyvä olla edustajia useilta eri toimialoilta, jotta mahdollisimman monen alan asiat tulevat otettua huomioon standardien suunnittelussa. Jäsenet voivat olla mukana IEC:n standardien luonnissa taatakseen oman maansa huomioon ottamisen niitä suunniteltaessa. Organisaatioon kuuluu myös alakomiteita, kuten CISPR (International Special Committee on Radio Interference). Komitean tehtävänä on laatia standardeja, kontrolloidakseen sähkömagneettisia häiriöitä sähkö ja elektroniikkalaitteissa yli 9 kHz:n taajuusalueelle. [12.]

3.2.1 CISPR 22 ja CISPR 16-2-3

Kansainvälisen tuotestandardin CISPR 22 on valmistellut CISPR:n alakomitea CIS/I, ja siinä käydään läpi EMC:n emissiovaatimukset multimedialaitteille. Standardi sisältää muun muassa laitteen luokittelun sen käyttöympäristön perusteella sekä johtuvien häiriöiden ja säteilevien häiriöiden raja-arvot tietyissä liitännöissä. Lisäksi CISPR 22 standardissa esitetään tavat ja tarvittavat laitteistot kyseisten häiriöiden mittaamiselle. [13.]

CISPR 16-2-3 on CISPR:n alakomitea CIS/A:n laatima perusstandardi, jossa määritellään säteilevien häiriöiden mittaamisen menetelmiä 9 kHz:n – 18 GHz:n taajuusalueella. Kyseisessä standardissa määritellään tarkemmin minkä tyyppisille häiriöille käytetään mitkin mittauslaitetta. Lisäksi erityyppisille mittausympäristöille, kuten radiokaiuttomalle huoneelle ja avoimelle mittausalueelle on eritelty omat testausmenetelmät. [14.]

3.2.2 IEC 61000 -sarja

IEC 61000 on IEC:n julkaisema standardien sarja, jonka on tarkoitus olla yhdeksän osainen. Tällä hetkellä osat 7 ja 8 ovat avoinna. Sarjan osat käsittelevät aiheita, jotka ovat olennaisia EMC julkaisuissa. Osa 1 käsittelee EMC:n yleisasioita, kuten peruskäsitteitä, terminologiaa, määritelmiä, käytännön turvallisuutta sekä mittausepävarmuutta. Osassa 2 kuvataan ja luokitellaan ympäristöjä sekä määritellään niille yhteensopivuustasot. Osan 3 standardeissa on esitelty emissio ja immunitettiraja-arvot. Standardisarjan 4. osassa käydään läpi erilaisia mittaustekniikoita ja niissä käytettäviä välineitä. Osa 5 sisältää standardeja, joissa annetaan asennussuosituksia sekä lievennystapoja ja laitteita. Osa 6 on varattu yleisille standardeille, joissa annetaan emissio- ja immunitettivaatimuksia tietyissä ympäristöissä. Osat 7 ja 8 ovat vielä avoinna. Osan 9 standardeissa käsitellään sekalaisia asioita. [15.]

4 Testaussuunnitelma

SiteMarshalin EMC-testaussuunnitelman tekemisessä on sovellettu yleisstandardeina ETSI EN 301 489-1, IEC 61000-6-1 ja IEC 61000-6-3, sillä kyseiset standardit on tarkoitettu SiteMarshalin kaltaisille radiolaitteille, jotka toimivat tietoliikennekeskusympäristöissä. ETSI EN 301 489-1 -standardissa käsitellään samoja asioita kuin molemmissa IEC:n standardeissa ja näin ollen sen standardin mukaan toimitaan tietyn asian suhteen, jossa on tiukemmat vaatimukset. Tarkempien testausmetodien kanssa yleisstandardeissa viitataan seuraaviin perus- ja tuotestandardeihin:

- Johtuvat RF-häiriöpäästötestit: EN 55032/CISPR 22
- Säteilevät RF-häiriöpäästötestit: CISPR 16-2-3
- Säteilevät RF-häiriösietotestit: EN 61000-4-3
- Sähköstaattinen purkaus: EN 61000-4-2
- Nopeat transientit: EN 61000-4-4
- Johtuvat RF-häiriösietotestit: EN 61000-4-6
- Syöksyaalto: EN 61000-4-5

SiteMarshalille tehtävät testit ja testattavat liitännät on valittu ETSI EN 301 489-1 -standardin kohdan 7 taulukon 1 ja 2 mukaan laitteelle, joka on tarkoitettu määrättyyn käyttöön. Lisäksi testaussuunnitelmassa on sovellettu IEC 61000-6-1 -standardin taulukoita 1,2 ja 3 sekä IEC 61000-6-3 -standardin taulukkoa 1, jos niissä on ollut jotain lisäyksiä ETSI EN 301 489-1 -standardiin tai tiukempia raja-arvovaatimuksia. Kaikkia edellä mainituissa taulukoissa esitettyjä testejä ei SiteMarshal-laitteelle tarvitse kuitenkaan suorittaa, kuten AC-tehonsyötölle tarkoitetut testit, sillä kyseisessä laitteessa on vain DC-syöttö. SiteMarshal-laitteen testit tehdään asiaankuuluvien perusstandardien kuvaamissa olosuhteissa, jos valmistaja ei ole tarkemmin määritellyt kosteus-, lämpötila- tai käyttöjänniterajoja laitteelle. Testeissä käytettävä testaussuunnitelma löytyy opinnäytetyön liitteestä 1, jossa on määritely, mille liitännöille testit tehdään, käytettävät testitasot, testausjärjestelmäesimerkit, toimintavaatimukset häiriönsietotestien jälkeen sekä mitä standardeja testien tekemisessä noudatetaan. Lisäksi liitteen 1 testaussuunnitelmassa on kuvattu testattavan laitteen perustiedot, kuten käyttöjännite, laitteen koko, erilaiset liitännät ja kaapelien pituudet.

Testit on tarkoitettu suoritettavaksi Kajaanin ammattikorkeakoulun EMC-testauslaboratoriossa, joten lopulliset testit eivät välttämättä ole täysin identtisiä testaussuunnitelman kanssa, vaan osaksi kyseisessä laboratorioissa olevasta laitteistosta. Koulun laboratorio-laitteisto ja tilat ovat kuitenkin tässä testaussuunnitelmassa käsiteltävien standardien mukaisia, joten niitä voidaan pitää yhteensopivina testaussuunnitelman kanssa, jos eroavaisuuksia tapahtuu.

4.1 Häiriöpäästötestit

Häiriöpäästö- eli emissiotestien tarkoituksena on varmistaa, että testattavan laitteen emissiot eivät ylitä laitteen käyttöympäristölle laadittuja raja-arvoja eivätkä näin ollen häiritse muiden samassa tilassa toimivien laitteiden toimintaa. Emissiomittaukset tulee tehdä laitteen ollessa toimintatilassa, joka tuottaa eniten emissiota tutkittavalla taajuusalueella. Testattava laite konfiguroidaan sekä laitteen antenni tulee olla kiinnitettynä siten, että se vastaa laitteen tyyppillistä toimintatilaa. Jos laitteella on useita samantyyppisiä liitäntöjä, ei testejä tarvitse tehdä kuin yhdelle kyseisistä liitännöistä.

4.1.1 Johtuvien RF-häiriöiden päästöttestaus virta- ja verkkoliitännöille

Johtuvien RF-häiriöiden päästöttestaus virtaliitännälle on kuvattu ETSI EN 301 489-1 -standardin kohdassa 8.3, joka on sovellettavissa laitteelle, jonka DC-kaapelin pituus on yli 3 metriä, kuten SiteMarshalissa on. Varsinaiset testit suoritetaan liitteen 1 testaussuunnitelman kohdan 3.1 mukaan. Testin tarkoituksena on mitata SiteMarshalin DC-virtaliitännän sisältämän sähköisen kohinan tasoa. ETSI EN 301 489-1 määrittelee käytettäväksi testausmenetelmäksi CENELEC EN 55032 -standardissa määriteltyä tapaa, jota käytetään AC-virtaliitännöiden mittaukselle. Tässä testaussuunnitelmassa on kuitenkin käytetty CISPR 22 -standardia sen helpomman saatavuuden vuoksi. Kyseinen standardi vastaa CENELEC EN 55022 -standardia, joka on vanhempi versio EN 55032 -standardista. Raja-arvot ovat samat edellä mainituissa standardeissa, joten vanhemman version käytöllä ei ole testien kannalta merkitystä. Verkkoliitännättestit on kuvattu ETSI EN 301 489-1 -standardin kohdassa 8.7, ja niiden testausmenetelmänä tulee käyttää CISPR 22 -standardin kohdassa 9.6 kuvattua menetelmää. Varsinaiset testit liitännöille tehdään myös liitteen 1 testaussuunnitelman kohdan 3.1 mukaan.

CISPR 22 -standardi luokittelee laitteet kahteen eri luokkaan niiden käyttöympäristön mukaan. SiteMarshall kuuluu luokkaan A, jonka tuotteet on tarkoitettu pääasiassa käytettäväksi tietoliikennekeskuksissa ja teollisuusympäristössä. Luokan A mukaiset raja-arvot virtaliitännöiden emissioille tietyillä taajuusalueilla on esitetty taulukossa 1, josta nähdään myös, että testit suoritetaan taajuusalueella 150 kHz–30 MHz. Taulukossa 2 on esitetty luokan A mukaiset raja-arvot verkkoliitännöiden emissioille tietyillä taajuusalueilla.

Taajuusalue (Hz)	Näennäishuippuarvo (dB μ V)	Keskiarvo (dB μ V)
0,15 MHz – 0,5 MHz	79	66
>0,5 MHz – 30 MHz	73	60

Taulukko 1. Johtuvien RF-häiriöpäästöttestausten raja-arvot virtaliitännöille [13, s. 21]

Taajuusalue (Hz)	Jännitteen näennäishuippuarvo (dB μ V)	Jännitteen keskiarvo (dB μ V)	Virran näennäishuippuarvo (dB μ A)	Virran keskiarvo (dB μ A)
0,15 MHz – 0,5 MHz	97–87	84–74	53–43	40–30
>0,5 MHz – 30 MHz	87	74	43	30

Taulukko 2. Johtuvien RF-häiriöpäästöttestausten raja-arvot verkkoliitännöille [13, s. 23]

Testausjärjestelyn tulee olla liitteen 1 kuvan 1 esimerkin mukainen. Ylijäävät kaapelit niputetaan 30–40 cm pituisiksi silloin, kun niiden paksuus ja jäykkyys ei estä sitä. Tarkemmat testausjärjestelyt tehdään CISPR 22 -standardin kohtien 8.3.1, 9.5.1 ja 9.5.2 mukaan. Häiriöiden mittaamiseen käytetään huippuarvoilmaisinta ja raja-arvojen ylittämät piikit tai riittävän lähelle raja-arvoa menevät piikit mitataan näennäishuippuarvoilmaisimella. Virtaliitännän testeissä käytetään lisäksi AMN:ää (Artificial mains network), jonka nimellisimpedanssi on (50 Ω /50 μ H tai 50 Ω /50 μ H + 5 Ω). Verkkoliitännöiden häiriömittauksissa käytetään ISN:ää (impedance stabilization network), jonka yhteismuotoinen impedanssi on 150 Ω . Testeissä käytetään myös referenssimaatsoa, joka ulottuu 0,5 m testausjärjestelyn reunojen yli, mutta sen vähimmäiskoon on oltava 2 m x 2 m. AMN:n ja ISN:n

referenssimaat kytketään edellä mainittuun referenssi maatasoon mahdollisimman lyhyellä johtimella.

4.1.2 Säteilevien RF-häiriöiden päästöttestaus

Säteilevien RF-häiriöiden päästöttestausta on kuvattu IEC 61000-6-3 -standardin taulukon 1 kohdassa 1, jonka mukaan testeissä käytetään CISPR 16-2-3 -standardia perustandardina. Testausmenetelmän tulee olla edellä mainitun standardin kohdan 8 mukaisesti toteutettu. Varsinaiset testit suoritetaan liitteen 1 testaussuunnitelman kohdan 3.2 mukaan. Näiden testien tarkoituksena on mitata SiteMarshalin säteilevien häiriöiden suuruus ja varmistaa niiden olevan IEC 61000-6-3 -standardin määrittämien raja-arvojen mukaiset, jotka on esitetty taulukossa 3. Taulukosta nähdään myös, että testit tulee suorittaa 30 MHz:n – 1000 MHz:n taajuusalueella.

Taajuusalue (Hz)	Näennäishuippuarvo (dB μ V/m) 10m etäisyydeltä
30 MHz – 230 MHz	30
>230 MHz – 1000 MHz	37
Jos mittaus etäisyytenä käytetään 3m niin käytettävät raja-arvot ovat 10 dB suurempia	

Taulukko 3: Säteilevien RF-häiriöpäästöttestausten raja-arvot [16.]

Säteilevien RF-häiriöidenpäästöttestien testausjärjestelyn tulee olla liitteen 1 kuvan 2 esimerkin mukainen, testattava laite sijoitetaan radiokaiuttomaan huoneeseen. Tarkemmat testeissä käytettävät järjestelyt ovat kuvattu CISPR 16-2-3 -standardin kohdassa 7.4. Häiriöiden mittaamiseen käytetään huippuarvoilmaisinta ja raja-arvojen ylittämät piikit tai riittävän lähelle raja-arvoa menevät piikit mitataan näennäishuippuarvoilmaisimella. Lisäksi häiriöiden mittaamisessa käytetään apuna log-periodista antennia.

4.2 Häiriönsietotestit

Häiriönsieto- eli immuniteettitestien tarkoituksena on selvittää, kuinka hyvin testattava laite sietää ympäristöstään aiheutuvia häiriötä ja miten ne vaikuttavat laitteeseen. Häiriönsietotestien hyväksymisen kriteerinä on se, miten laite toimii testien aikana ja niiden jälkeen. IEC 61000-6-1 -standardissa toimintakriteerit on jaettu kolmeen eri luokkaan, jotka on määritelty seuraavasti:

- Toimintakriteeriluokka A: Laite toimii tarkoituksensa mukaisella tavalla testien aikana ja niiden jälkeen. Suorituskyvyn heikkeneminen tai toimintojen menetys valmistajan määrittelemien suorituskykyrajojen alapuolelle ei ole sallittua, kun laitetta käytetään sen tarkoituksensa mukaisella tavalla. Suorituskykyraja voidaan korvata suorituskyvyn menetyksen sallimisella. [17.]
- Toimintakriteeriluokka B: Laite toimii tarkoituksensa mukaisella tavalla testien jälkeen. Suorituskyvyn heikkeneminen tai toimintojen menetys valmistajan määrittelemien suorituskykyrajojen alapuolelle ei ole sallittua, kun laitetta käytetään sen tarkoituksensa mukaisella tavalla. Suorituskykyraja voidaan korvata suorituskyvyn menetyksen sallimisella. Testien aikana suorituskyvyn heikkeneminen on sallittua, mutta muutokset koskien toimintatilaa ja tallennettua dataa ei ole sallittua. [17.]
- Toimintakriteeriluokka C: Toiminnan väliaikainen menetys on sallittua, edellyttäen, että toiminta palautuu itsestään tai on palautettavissa normaaliksi hallintalaitteiston avulla. [17.]

Lisäksi ETSI EN 301 489-1 -standardi sisältää yleisiä toimintakriteereitä, joita käytetään radiolaitteiden arviointiin. Toimintakriteerit ovat seuraavanlaisia:

- Toimintakriteeri jatkuva-aikaisille ilmiöille, jotka kohdistuvat vastaanottiin ja lähettiin: Laite toimii tarkoituksensa mukaisella tavalla testien aikana ja niiden jälkeen. Suorituskyvyn heikkeneminen tai toimintojen menetys valmistajan määrittelemien suorituskykyrajojen alapuolelle ei ole sallittua, kun laitetta käytetään sen tarkoituksensa mukaisella tavalla. Suorituskykyraja voidaan korvata suorituskyvyn menetyksen sallimisella. Testien aikana testattava laite ei saa tahtomattaan välittää tai muuttaa sen toimintatilaa ja tallennettua dataa. [11.]

- Toimintakriteeri lyhytaikaisille ilmiöille, jotka kohdistuvat vastaanottimiin ja lähetimiin: Laitte toimii tarkoituksensa mukaisella tavalla testien jälkeen. Suorituskyvyn heikkeneminen tai toimintojen menetys valmistajan määrittelemien suorituskykyrajojen alapuolelle ei ole sallittua, kun laitetta käytetään sen tarkoituksensa mukaisella tavalla. Suorituskykyraja voidaan korvata suorituskyvyn menetyksen sallimisella. Testien aikana suorituskyvyn heikkeneminen on sallittua, mutta muutokset koskien toimintatilaa ja tallennettua dataa ei ole sallittua. [11.]

Häiriönsietotesteihin testattava laite konfiguroidaan sekä laitteen antenni kiinnitetään siten, että se vastaa laitteen tyypillistä toimintatilaa. Jos laitteella on useita samantyyppisiä liitäntöjä, ei testejä tarvitse tehdä kuin yhdelle kyseisistä liitännöistä.

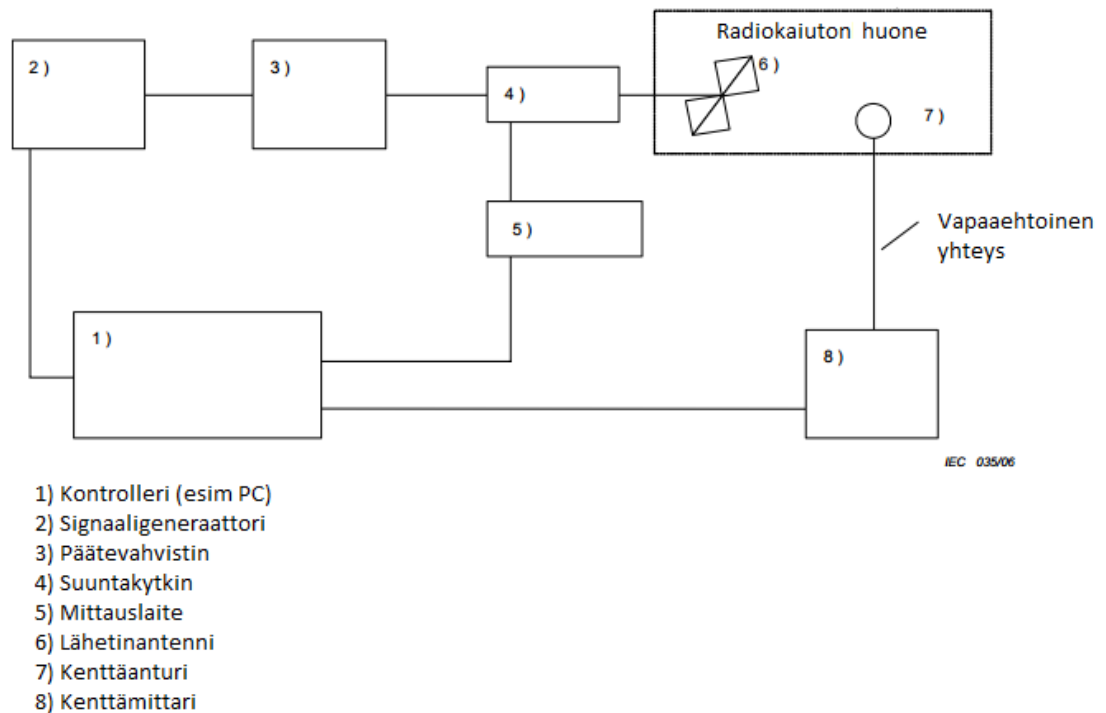
4.2.1 Säteilevien RF-häiriöiden sietotestit

Säteilevien RF-häiriöiden sietotestit on kuvattu ETSI EN 301 489-1 -standardin kohdassa 9.2, ja varsinaiset testit suoritetaan liitteen 1 testaussuunnitelman kohdan 4.1 mukaan. Testi arvioi SiteMarshalin kykyä toimia tarkoituksenmukaisesti säteilevien RF-häiriöiden vaikutuksen alaisena. Tämä säteily on yleensä peräisin radio- ja televisiolähtetä, useista teollisista sähkömagneettisista lähteistä sekä pienistä radiolähtetä-vastaanottimista, joita käyttävät huolto- käyttö- ja turvahenkilöt. Testien tekemisessä käytettävä testausmenetelmä on oltava IEC EN 61000-4-3 -standardin kohtien 7 ja 8 mukainen.

Säteilevien RF-häiriöiden sietotesteissä käytettäväksi testitasoksi on määritelty 3 V/m ja testit tulee suorittaa 80 MHz – 6 GHz taajuusalueella. Testit voidaan rajoittaa tehtäväksi 1,3 GHz:n – 6 GHz:n taajuusalueella siten, että testattaviksi taajuuksiksi valitaan vain taajuuudet, joilla yleiset puhelimet ja muut tarkoituksellisesti RF-säteilyä tuottavat laitteet toimivat. Testisignaalin tulee olla AM-moduloitu, jonka modulointisyvyys on 80 % ja taajuus 1 kHz, jotta se vastaisi oikeita häiriöuhkia. Taajuuskorotuksen tulee olla 1 % hetkellisesti käytettävästä taajuudesta ja tietyllä taajuudella pysyvä aika ei saa olla vähemmän kuin mitä testattavalla laitteella kestää toimia ja vastata. SiteMarshalin säteilevien RF-häiriödensieto on hyväksyttävää, jos sen toiminta on IEC 61000-6-1 -standardin luokan A toimintakriteerin mukainen ja vastaa ETSI EN 301 489-1 -standardissa määriteltyä toimintakriteeriä jatkuva-aikaisille ilmiöille.

Testausjärjestelyn säteilevien RF-häiriöiden sietotesteissä tulee olla liitteen 1 kuvan 3 esimerkin mukainen, kun testattava laite sijoitetaan radiokaiuttomaan huoneeseen. Tarkemmat testeissä käytettävät järjestelyt on kuvattu IEC 61000-4-3 -standardin kohdassa 7.

Testattavan laitteen ja sen kaapeleiden järjestely tulee vastata mahdollisimman tarkasti normaalikäyttöä vastaavaa järjestelyä. Ylijäävät kaapelit niputetaan 30–40 cm pituisiksi, silloin kun niiden paksuus ja jäykkyys ei estä sitä. Testien suorittamisessa käytettävät laitteet ja niiden järjestely on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Säteilevien RF-häiriöiden sietotesteissä käytettävä laitteisto ja sen järjestely. [18, s. 30]

4.2.2 Sähköstaattisten purkauksien sietotestit

Sähköstaattisten purkauksien sietotestit on kuvattu ETSI EN 301 489-1 -standardin kohdassa 9.3 ja varsinaiset testit suoritetaan liitteen 1 testaussuunnitelman kohdan 4.2 mukaan. Testien tarkoituksena on arvioida SiteMarshalin toimivuutta sähköstaattisten purkauksien sattuessa. Testien tekemisessä käytettävä testausmenetelmä on oltava IEC EN 61000-4-2 -standardin kohdan 8 mukainen.

Sähköstaattisten purkauksien sietotestien testitaso kontaktipurkaukselle on ± 4 kV ja ilmaipurkaukselle ± 8 kV. Purkaus tulee kohdistaa SiteMarshalin jokaiseen esillä olevaan pintaan, johon loppukäyttäjä voi koskea laitteen ollessa normaalikäytössään. Ilmapurkaustestiä käytetään eristävillä pinnoille, ja kontaktipurkausta käytetään johtuvilla pinnoille

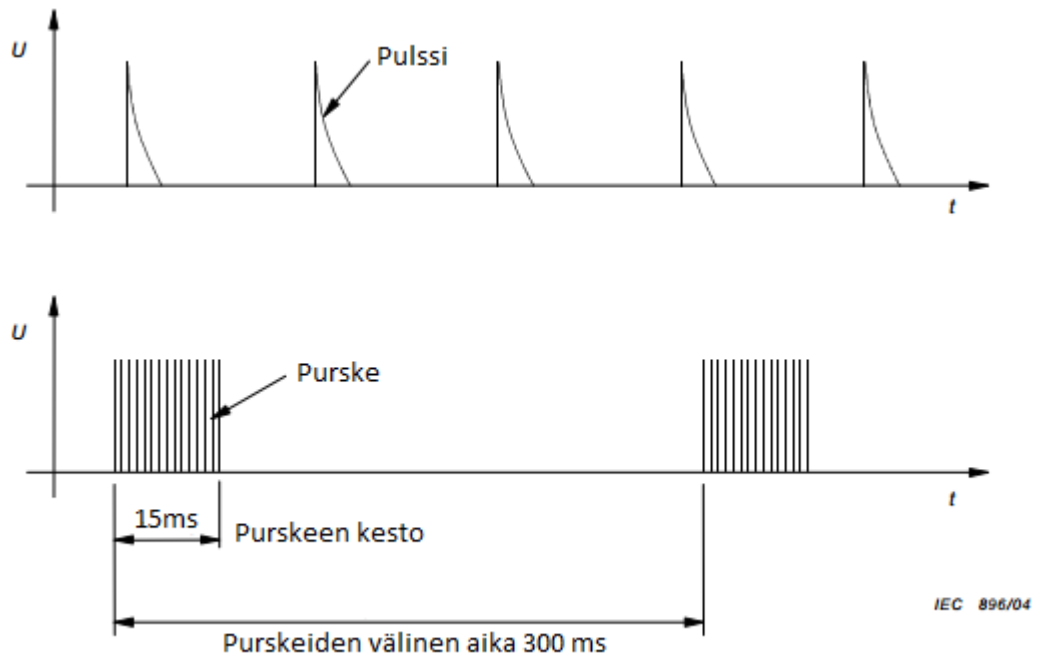
sekä kytkentätasojille. Jos purkaus kohdistetaan pintaan, jota ei ole maadoitettu, tulee varaus poistaa purkauksen välissä. SiteMarshalin sähköstaattisten purkauksien sieto on hyväksyttävää, jos sen toiminta on IEC 61000-6-1 -standardin luokan B toimintakriteerin mukainen ja vastaa ETSI EN 301 489-1 -standardissa määriteltyä toimintakriteeriä lyhytaikaisille ilmiöille.

Testausjärjestelyn sähköstaattisten purkauksien sietotesteissä tulee olla liitteen 1 kuvan 4 esimerkin mukainen. Tarkemmat testeissä käytettävät järjestelyt on kuvattu IEC 61000-4-2 -standardin kohdassa 7.1. Testien suorittamiseen käytetään ESD-generaattoria (electrostatic discharge). Lisäksi testeissä käytetään referenssimatasoa ja voidaan myös käyttää vaaka- ja pystysuoraa kytkentätasoa, jotka maadoitetaan kahdella 470 k Ω vastuksella referenssimatasoon.

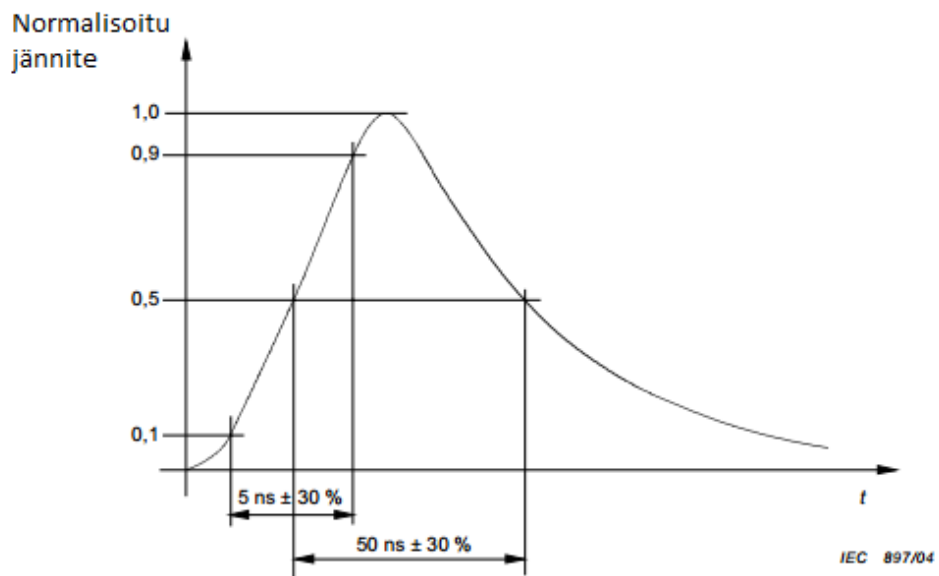
4.2.3 Nopeiden transienttien sietotestit

Nopeiden transienttien sietotestit on kuvattu ETSI EN 301 489-1 -standardin kohdassa 9.4, ja varsinaiset testit suoritetaan liitteen 1 kohdan 4.3 mukaan. Testit tehdään DC virta-, signaali- ja kontrolli- ja verkkoliitännöille, joiden kaapelien pituus on yli 3 metriä. Näiden testien tarkoituksena on arvioida SiteMarshalin toimintakykyä nopeasti toistuvien transienttien esiintyessä input- tai outputliitännöissä. Testien kannalta merkittävää on transienttien korkea amplitudi, lyhyt nousuaika, korkea toistotiheys ja matala energiataso. Näissä testeissä käytettävien testausmenetelmien on oltava IEC EN 61000-4-4 -standardin kohtien 7 ja 8 mukaisia.

Nopeiden transienttien sietotestien testitason DC-virta-, signaali-, kontrolli- ja verkkoliitännöille tehtäville testeille tulee olla $\pm 0,5$ kV 5 kHz:n toistotaajuudella. Testausaika kullakin testitasolla täytyy olla vähintään 1 minuutti. Kuvaaja yleisestä testeissä käytettävästä nopeasta transientista on esitetty kuvassa 4 ja yhden pulssin yleinen kuvaaja on esitetty kuvassa 5. SiteMarshalin nopeiden transienttien sieto on hyväksyttävää, jos sen toiminta on IEC 61000-6-1 -standardin luokan B toimintakriteerin mukainen ja vastaa ETSI EN 301 489-1 -standardissa määriteltyä toimintakriteeriä lyhytaikaisille ilmiöille.



Kuva 4. Yleinen kuvaaja nopeiden transienttien sietotesteissä käytettävästä transientista. [19, s. 41]



Kuva 5. Yleinen kuvaaja nopeiden transienttien sietotesteissä käytettävän transientin yhdestä pulssista. [19, s. 43]

Testausjärjestelyn nopeiden transienttien sietotesteissä tulee olla liitteen 1 kuvan 5 esimerkin mukainen. Tarkemmat testeissä käytettävät järjestelyt on kuvattu IEC 61000-4-4 -standardin kohdassa 7.2. Virtaliitännän testien suorittamisessa käytetään testigeneraattoria ja siihen sisältyvää kytkentäverkkoa. Muiden testattavien liitännöiden testit tehdään kapasitiivisella syöttöyksiköllä, jonka toiminta ei vaadi galvaanista yhteyttä testattavan laitteen liitännöille. Lisäksi testeissä käytetään referenssimaatasoa.

4.2.4 Johtuvien RF-häiriöiden sietotestit

Johtuvien RF-häiriöiden sietotestit on kuvattu ETSI EN 301 489-1 -standardin kohdassa 9.5, ja varsinaiset testit suoritetaan liitteen 1 kohdan 4.4 mukaan. Testit tehdään DC-virta-, signaali-, kontrolli- ja verkkoliitännöille, joiden kaapelien pituus on yli 3 metriä. Tällä testillä arvioidaan SiteMarshalin kykyä toimia tarkoituksenmukaisesti, kun sen input tai outputliitännöissä esiintyy radiotaajuisia häiriöitä. Nämä häiriöt voivat vaikuttaa koko testattavan laitteen kaapelien pituudella ja ne ovat usein lähtöisin tarkoituksellisista RF-lähetimistä. Testien suorittamiseen käytettävä testausmenetelmä tulee olla IEC 61000-4-6 -standardin kohdan 8 mukainen.

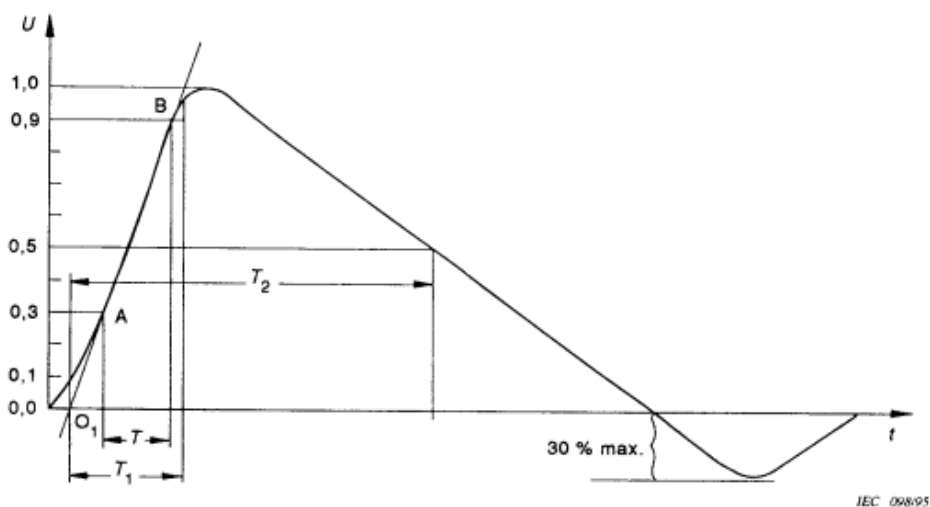
Johtuvien RF-häiriöiden sietotesteissä käytettävän testaustason tulee olla 3 V ja testit tulee suorittaa 150kHz:n – 80 MHz:n taajuusalueella. Testisignaalin tulee olla AM-moduloitu, jonka modulointisyvyys on 80 % ja taajuus 1 kHz, jotta se vastaisi oikeita häiriöuhkia. Taajuuskorotuksen tulee olla 1 % hetkellisesti käytettävästä taajuudesta ja tietyllä taajuudella pysyvä aika ei saa olla vähemmän kuin mitä testattavalla laitteella kestää toimia ja vastata. SiteMarshalin säteilevien RF-häiriöidensieto on hyväksyttävää, jos sen toiminta on IEC 61000-6-1 -standardin luokan A toimintakriteerin mukainen ja vastaa ETSI EN 301 489-1 -standardissa määriteltyä toimintakriteeriä jatkuva-aikaisille ilmiöille.

Testattava laite tulee asettaa testien ajaksi 0,1 metriä korkealle eristeelle, joka sijoitetaan referenssimaatason päälle. Laitteen kaapeleiden täytyy olla vähintään 30 mm päässä referenssimaatasosta ja käytettävien kytkentälaitteiden täytyy olla 0,1-0,3 m päässä testattavasta laitteesta. Tarkemmat testeissä käytettävät järjestelyt ovat kuvattu IEC 61000-4-6 -standardin kohdassa 7. Virtaliitäntätestien suorittamiseen käytetään testigeneraattoria ja kytkentäverkkoa (CDN). Muiden liitännöiden testit tehdään EM- tai virransyöttöyksiköllä. Molempien testauslaitteiden kanssa käytetään referenssimaatasoa.

4.2.5 Syöksyaallon sietotestit

Syöksyaallon sietotestit verkkoliitännöille on kuvattu ETSI EN 301 489-1 -standardin kohdassa 9.7, ja virtaliitännöille IEC 61000-6-1 -standardin taulukossa 3. Varsinaiset testit suoritetaan liitteen 1 kohdan 4.5 mukaan. Testien tarkoituksena on arvioida SiteMarshalin kykyä toimia tarkoituksenmukaisesti yksisuuntaisen syöksyaallon tapahtuessa virta- tai verkkoliitännöissä. Syöksyaallon voi aiheuttaa ylijännite, joka on peräisin vaihtokytkennästä tai salaman transientista. Testien suorittamiseen käytettävä testausmenetelmä tulee olla IEC 61000-4-5 -standardin kohdan 8 mukainen.

Syöksyaallon sietotesteissä käytettävä testitaso tulee olla $\pm 0,5$ kV ja pulssi, jonka testigeneraattori välittää on oltava $1,2/50$ μ s. Kyseisen pulssin muoto on esitetty kuvassa 6 ja sen saavuttamiseksi käytettävän testigeneraattorin on oltava yhdistelmäaaltogeneraattori, jonka ulostulo impedanssi on 2Ω . Aika testien välillä tulee olla vähintään 1 minuutti. SiteMarshalin syöksyaaltojen sieto on hyväksyttävää, jos sen toiminta on IEC 61000-6-1 -standardin luokan B toimintakriteerin mukainen ja vastaa ETSI EN 301 489-1 -standardissa määriteltyä toimintakriteeriä lyhytaikaisille ilmiöille.



Kuva 6. Syöksyaallon sietotesteissä käytettävän pulssin kuvaaja [20, s. 43]

Testien suorittamiseen käytetään testigeneraattoria ja siihen sisältyvää kytkentäverkkoa. Lisäksi tehonsyöttöliitännän testissä käytetään kapasitiivista kytkentää, ja verkkoliitännöiden testeissä käytetään arrestori kytkentää. Testattavan laitteen ja kytkentäverkon etäisyys toisistaan tulee olla kaksi metriä, jos ei toisin määrätä.

5 Testitulokset ja päätelmät

SiteMarshalin EMC-testaukset suoritettiin Kajaanin ammattikorkeakoulun EMC-laboratoriossa, josta löytyy kattavat testausvalmiudet sieto- ja emissiotestaukseen. Laboratoriossa käytettävät testilaitteistot kalibroidaan säännöllisin väliajoin ja testit suoritetaan standardien ja direktiivien mukaisesti. Testit on tehty pääosin tämän opinnäytetyön testaus suunnitelman mukaisesti. Testien suorittamista johti Kajaanin ammattikorkeakoulun kehitysinsinööri Ari Pulkkinen. Mukana oli myös itseni lisäksi Herman IT:ltä Jukka Rajaniemi, joka vastaa SiteMarshaliin liittyvistä asioista. Testit suoritettiin 24.5.2018 ja 25.5.2018 kello 8.00-16.00 välisenä aikana.

SiteMarshal-laite oli testien aikana sellaisessa kokoonpanossa, kuin sitä on normaalisti tarkoitettu käytettävän. Laitteen seuranta tapahtui langattoman yhteyden avulla, sillä langallisessa yhteydessä oli, jotain ongelmia eikä sen kautta päässyt palvelimelle, johon laitteen mittaamat tiedot ja tilat tallentuivat. Laitteen seuranta tapahtui tietokoneen kautta selaimella.

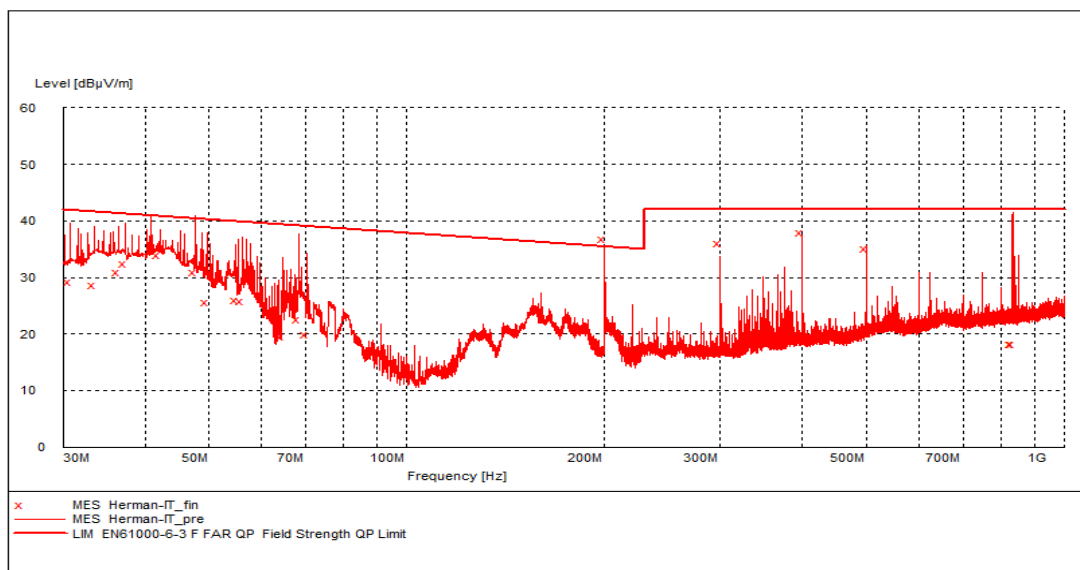
5.1 Säteilevien RF-häiriöiden päästötestit

Ensimmäisenä testeistä suoritettiin säteilevien RF-häiriöiden sietotestit, jotka tehtiin opinnäytetyön kohdan 4.1.2 mukaan. SiteMarshal sijoitettiin radiokaiuttoman huoneen pöydälle ja koko testausjärjestely on esitetty kuvassa 7. Kuvassa näkyvä antenni oli kytketty huoneen ulkopuolella oleviin mittauslaitteisiin ja testausta ohjattiin niihin kiinnitetyllä tietokoneella.



Kuva 7. Säteilevien RF-häiriöiden emissiotestausten järjestely.

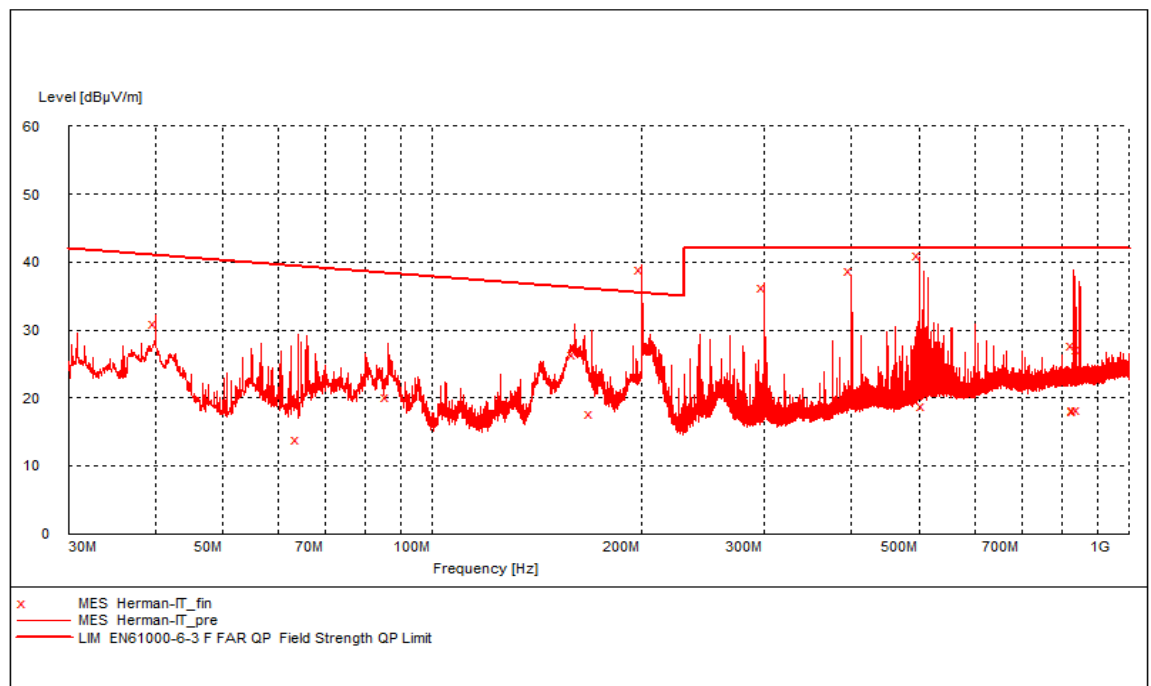
Aluksi testit tehtiin kuvan 7 mukaisesta suunnasta 30 MHz:n – 1000 MHz:n taajuusalueella ja häiriöt mitattiin huippuarvoilmaisinta käyttäen. Tämän jälkeen pöytää käännettiin 90 astetta ja mitattiin uudestaan. Sama tehtiin vielä kaksi kertaa, jotta mittaussuuntia oli yhteensä neljä. Mittausten aikana häiriöt piirtyivät kuvaajaan ja aina suuntaa vaihdettaessa vain suurimmat arvot jäivät näkymään siihen riippumatta mittaussuunnassa. Saadut tulokset näkyvät kuvan 8 kuvaajassa. X:llä merkatut piikit ovat taajuuksia, jotka on mitattu uudelleen näennäishuippuarvoilmaisimella siitä suunnasta, jossa häiriö on ollut suurimmillaan, sillä ne ovat olleet lähellä sallittua raja-arvo tai sen yli.



Kuva 8. Säteilevien RF-häiriöiden päästöttestauksen tulokset antennin ollessa pystysuorassa

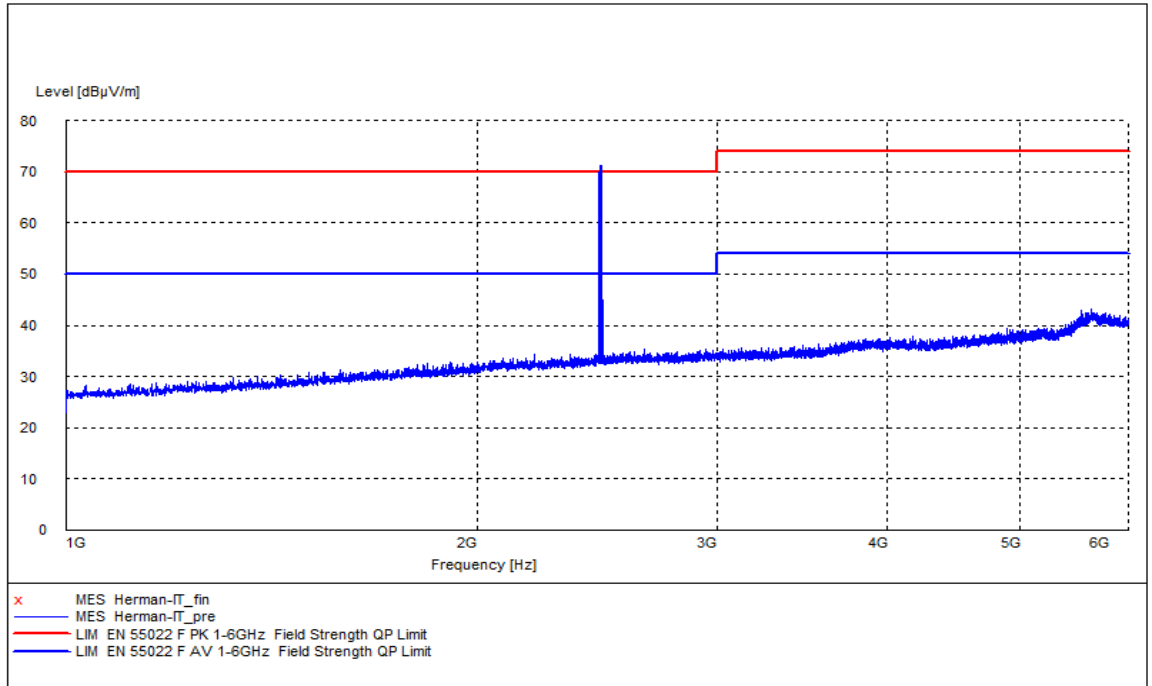
Kuvan 8 kuvaajasta nähdään, että 200 MHz taajuudella häiriöt ylittivät niille sallitut raja-arvot, jolle ei löydetty varmaa lähdettä. Epäilyksenä kuitenkin oli, että häiriöt olisivat säteilleet ethernet piiristä, sillä irrotettaessa kyseisen piirin häiriöt pienuivat huomattavasti.

Seuraavaksi mittausantennin polarisaatiota vaihdettiin vaakasuoraksi ja testit suoritettiin edellä mainitun tavan mukaan. Mittauksista saadut tulokset on esitelty kuvassa 9, josta nähdään 200 MHz:n häiriöiden ylittävän sallitut raja-arvot myös antennin ollessa vaakasuorassa. Kyseisten häiriöiden voidaan päätellä johtuvan samasta lähteestä kuin edellisissäkin testeissä, mutta täysin varmaa lähdettä niille ei löytynyt testien aikana.

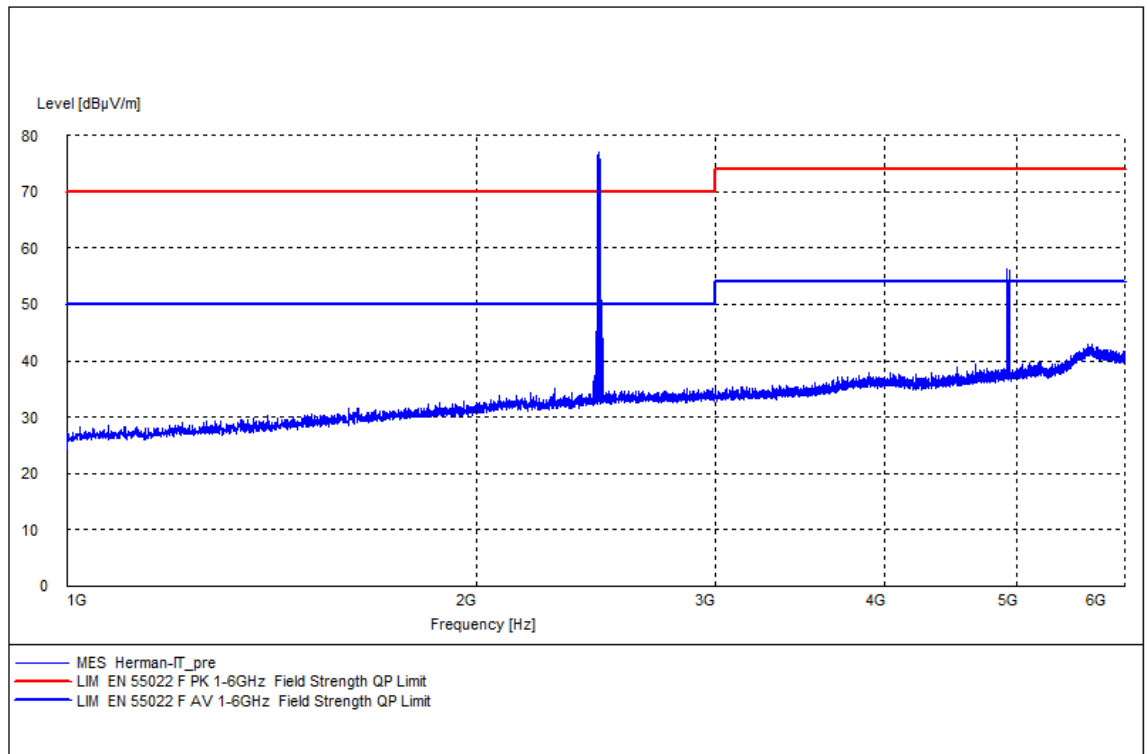


Kuva 9. Säteilevien RF-häiriöiden päästöttestauksen tulokset antennin ollessa vaakasuorassa

Säteilevien RF-häiriöiden testit tehtiin samalla myös 1 GHz:n – 6 GHz:n taajuusalueella, vaikka niitä ei testaussuunnitelmassa ollut määrätty. Mittaukset tehtiin molemmille antennin polarisaatioille ja niistä saadut tulokset nähdään kuvissa 10 ja 11, joissa näkyvä piikki 2,4 GHz:n kohdalla on peräisin SiteMarshalin WLAN:ista. Kyseinen piikki on hyötysignaali, eikä sitä lasketa häiriöksi.



Kuva 10. Säteilievien RF-häiriöiden päästöttestauksen tulokset antennin ollessa pystysuorassa



Kuva 11. Säteilievien RF-häiriöiden päästöttestauksen tulokset antennin ollessa vaakasuorassa

Testeissä selvinneen 200 MHz:n häiriön raja-arvon ylityksen vuoksi SiteMarshalin säteilevien RF-häiriöiden emissiot eivät olleet täysin sille asetettujen raja-arvojen mukaiset, joten laite ei läpäissyt kyseistä testiä. Jatkokehityksenä laitteelle voisikin ehdottaa kyseisen häiriön tarkan aiheutumissyyn etsimistä, perehtymällä enemmän SiteMarshalin kytkentöihin, johon ei tässä opinnäytetyössä riitä aika.

5.2 Säteilevien RF-häiriöiden sietotestit

Säteilevien RF-häiriöiden sietotestit tehtiin opinnäytetyön kohdan 4.2.1 mukaan ja testausjärjestely oli myös kuvan 7 mukainen. Ainoana erona kuvaan 7 oli se, että SiteMarshalin antenni tuotiin radiokaiuttoman huoneen ulkopuolelle, sillä laitteen toimintaa piti pystyä seuraamaan testien aikana tietokoneen selaimen kautta.

Testit tehtiin aluksi kuvan 7 osoittamasta suunnasta antennin polarisaation ollessa pystysuorassa, jonka jälkeen pöytää pyöritettiin 90 astetta, kunnes testit oli tehty neljästä eri suunnasta. Kuvan anteeniin syöttiin AM-moduloitua testisignaalia tietokoneen ja testilaitteiston välityksellä. Antenni lähetti RF-häiriöitä SiteMarshalia kohti 80 MHz:n – 1000 MHz:n taajuusalueella. Testaussuunnitelmassa määrätty aika tietyllä taajuudella olisi pitänyt olla vähintään 45 sekuntia, sillä laitteen tilat päivittyivät palvelimelle siihen tahtiin. Testien suorittaminen olisi kestänyt kyseistä aikaa käyttämällä, jopa muutamia päiviä, joten testeissä tietyllä taajuudella pysyvä aika oli kaksi sekuntia. Näin ollen testeissä ei pystytty näkemään nopeita muutoksia tai tarkan taajuuden aiheuttamia muutoksia laitteen tiloissa, eikä testit olleet täysin tarkat.

Seuraavaksi antennin polarisaatiota käännettiin ja samat testit suoritettiin neljästä eri suunnasta. Tämän jälkeen molemmilla antennin polarisaatioilla suoritettiin vielä testit 1 GHz:n – 3 GHz:n taajuusalueella. Testaussuunnitelman mukaan testit olisi pitänyt suorittaa 6 GHz:n taajuuteen asti, mutta koulun EMC-laboratorion laitteistolla ei päästy kuin 3 GHz:n taajuuteen.

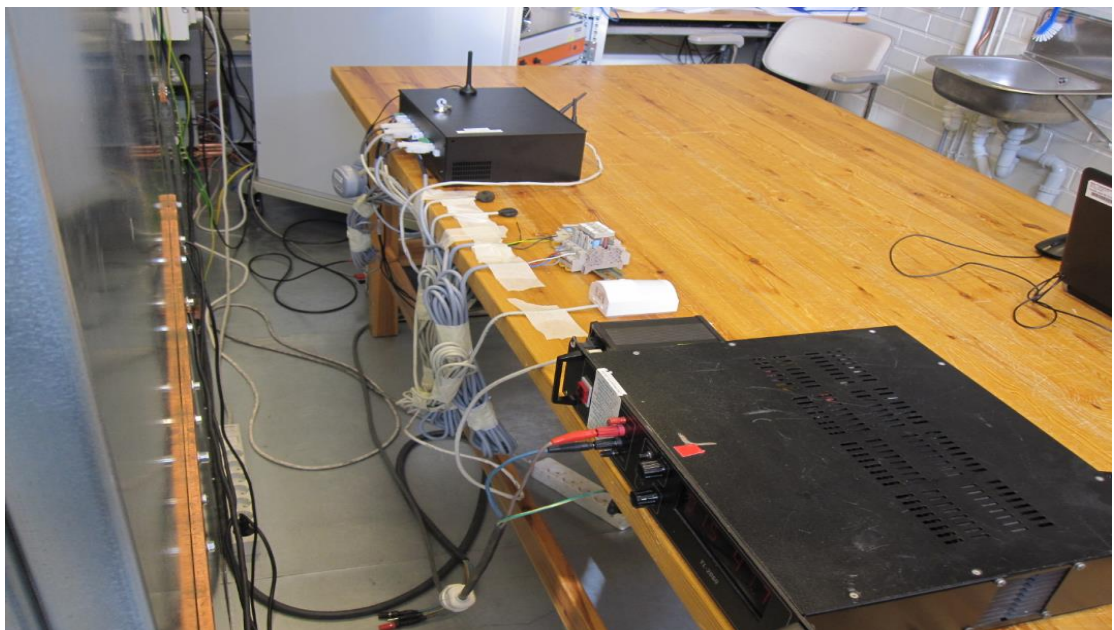
1 GHz:n – 3 GHz:n taajuusalueella SiteMarshal-laite toimi testien aikana normaalisti, mutta 80 MHz:n – 1000 MHz:n taajuusalueella ilmeni selviä ongelmia. Antennin polarisaation ollessa pystysuorassa, häiriintyi ulko- ja sisälämpötilanmittaus 83 MHz:n – 97 MHz:n taajuusalueella, kun mittaussuunta oli 90 astetta tai 180 astetta alkuperäiseen mittaussuuntaan nähden. Lisäksi paine-eromittaus häiriintyi 150 MHz:n – 250 MHz:n taajuusalueella, kun mittaussuunta oli 180 astetta. Antennin polarisaation ollessa vaakasuorassa, ulko- ja sisälämpötilanmittaus häiriintyi 80 MHz:n – 90 MHz:n taajuusalueella 180

ja 0 asteen mittaussuunnassa. Paine-eromittaus häiriintyi samalla taajuusalueella kuin lämpötilanmittaus ja lisäksi myös 150 MHz:n – 250 MHz:n taajuusalueella mittaussuunnan ollessa 180 ja 0 astetta.

SiteMarshalin toimintakriteerien piti olla IEC 61000-6-1 -standardin luokan A mukaiset säteilevien RF-häiriöiden sietotesteissä, eikä tilanmuutoksia saanut tapahtua mittausten aikana. Näin ollen laite ei läpäissyt sille määriteltyjä säteilevien RF-häiriöiden sietotestejä, sillä lämpötila- ja paine-eroarvot heittelevät testien aikana. Jatkokehityksenä SiteMarshal-laitteelle voisikin suunnitella esimerkiksi ferriittien lisäämistä lähelle antureiden liitäntöjä, joihin häiriöt vaikuttivat. Jos ferriiteistä ei ole apua, voitaisiin lämpötila-antureissa käyttää paremmin suojattua kaapelia. Tarkemmat korjaussuunnitelmat vaatisivat enemmän perehtymistä laitteen kytkentöihin ja seuraamalla esimerkiksi oskilloskoopilla signaalin tarkempaa kulkua laitteessa.

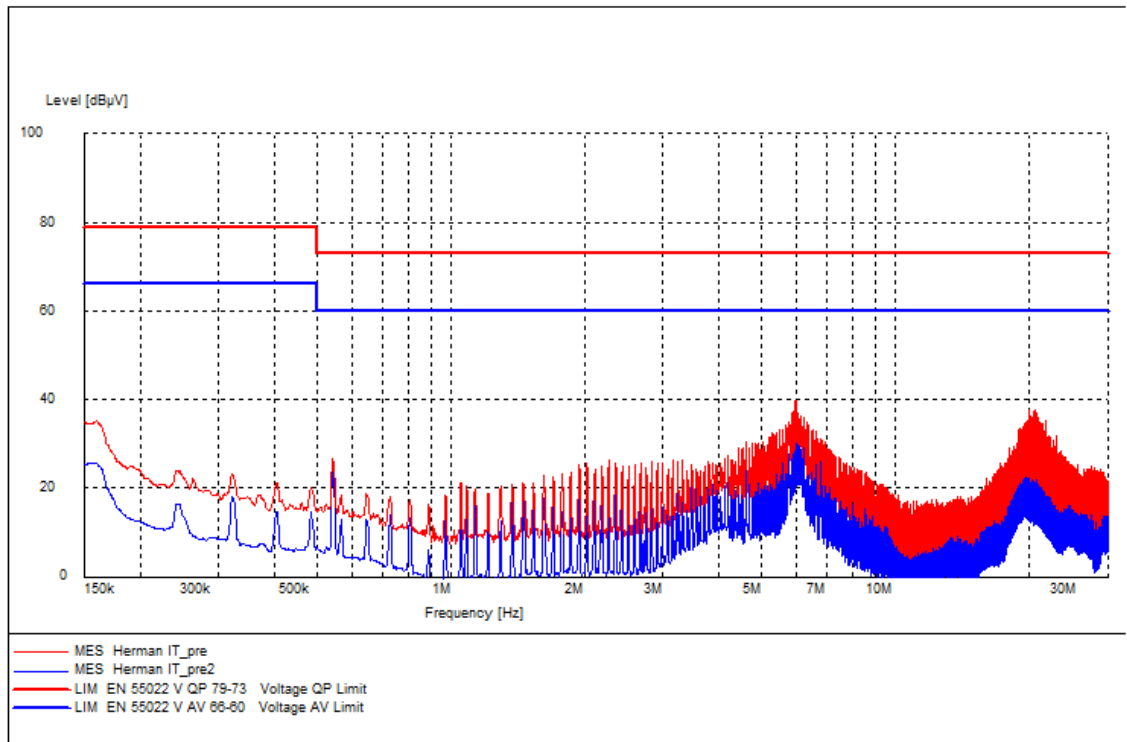
5.3 Johtuvien RF-häiriöiden päästötestit

Johtuvien häiriöiden päästötestit tehtiin opinnäytetyön kohdan 4.1.1 mukaan ja testausjärjestely on esitetty kuvassa 12. Testit oli tarkoitus suorittaa virtaliitännälle ja verkkoliitännöille, mutta testien aikana päätettiin, ettei verkkoliitännöille tehtäisi kyseistä testiä. Syy oli se, että SiteMarshalissa sisällä oleva modeemi on valmis kaupallinen malli ja lisäksi liitännöiden kaapelit eivät kuulu laitteen pakettiin vaan asiakkaat käyttävät omia kaapeleitaan. Näin ollen testit suoritettiin vain virtaliitännälle.



Kuva 12. Johtuvien RF-häiriöiden emissiotestausten järjestely

Testeissä SiteMarshalin virtaliitin kiinnitettiin AMN:ään, jonka kautta laitteen emissiot mitattiin huippuarvoilmaisimella 150 kHz:n – 30 MHz:n taajuusalueella. Emissioiden arvot eivät käyneet lähelläkään laitteelta sallittuja raja-arvoja, joten näennäishuippuarvoilmaisinta ei tarvinnut edes käyttää. Saadut tulokset on esitetty kuvan 13 kuvaajassa. Tuloksista voidaan päätellä, että SiteMarshalin johtuvien RF-häiriöiden päästö virtaliitännälle on siltä vaaditulla tasolla eikä vaadi näiltä osin mitään parannuksia.



Kuva 13. Johtuvien RF-häiriöiden päästöttestausten tulokset virtaliitännälle

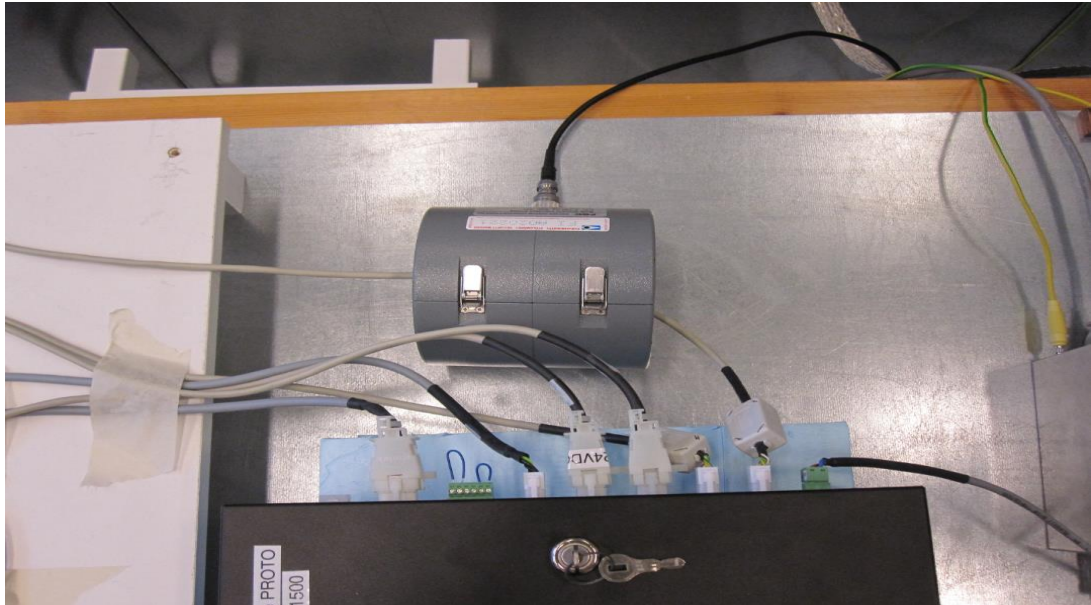
5.4 Johtuvien RF-häiriöiden sietotestit

Johtuvien RF-häiriöiden sietotestit tehtiin opinnäytetyön kohdan 4.2.4 mukaan ja testausjärjestely on esitetty kuvassa 14. Testit suoritettiin virta-, ulkolämpötila-, IR-anturi-, paineroanturi- ja A/C-releiliitännälle. Testeihin valittiin vain kyseiset liitännät, jotta jokaista erityyppistä liitaintä olisi vähintään yksi mukana testeissä. Testaussuunnitelman mukaan testit olisi pitänyt suorittaa myös verkkoliitännöille, mutta samasta syystä kuin johtuvien RF-häiriöiden päästöttesteissä niitä ei testattu.



Kuva 14. Johtuvien RF-häiriöiden sietotestien järjestely

Ensimmäiseksi johtuvien RF-häiriöiden sietotestit suoritettiin virtaliitännälle ja se kytkettiin kytkentäverkon kautta testigeneraattoriin. Generaattori syötti laitteella AM-moduloitua testisignaalia 150kHz:n – 80 MHz:n taajuusalueella tietokoneen ohjelman avulla. Testaus suunnitelmassa määrätty aika tietyllä taajuudella olisi pitänyt olla vähintään 45 sekuntia, mutta samasta syystä kuin säteilevien RF-häiriöiden sietotesteissä kyseinen aika oli 2 sekuntia. Näin ollen testit eivät olleet täysin tarkkoja. Virtaliitännän testauksen jälkeen suoritettiin yksitellen samat testit lopuille liitännöille, mutta tällä kertaa testisignaali syötettiin virransyöttöyksikön kautta kuvan 15 mukaisesti.



Kuva 15. Virransyöttöyksikön kytkentä

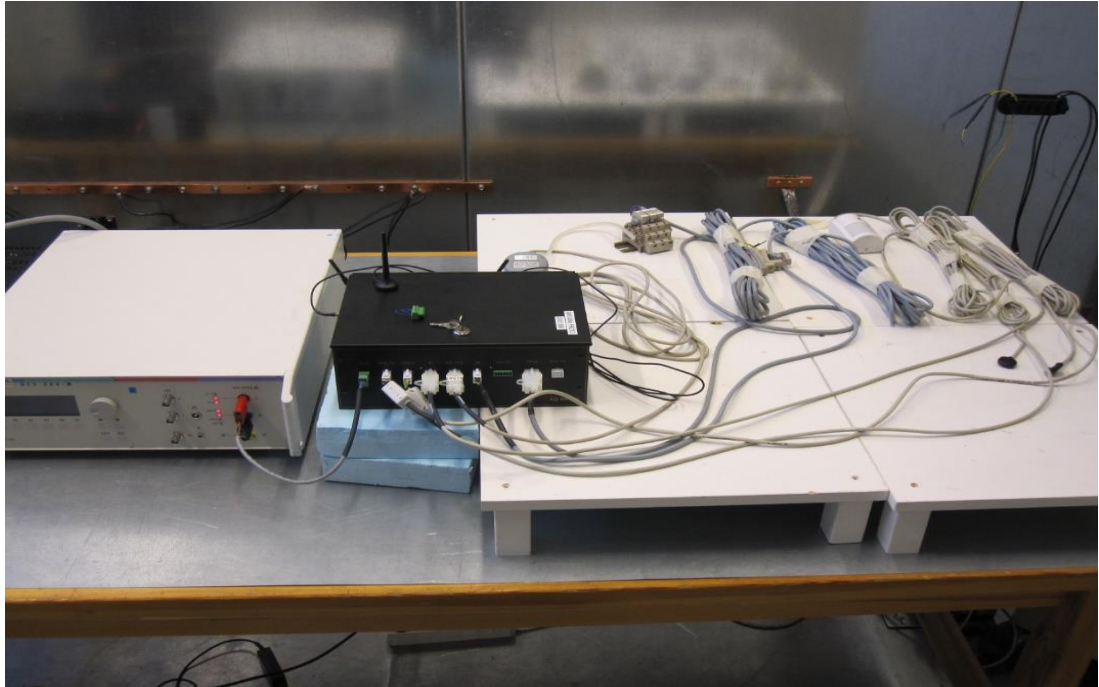
Virta- ja A/C-releiliitännöiden testien aikana ja niiden jälkeen laite toimi normaalisti, mutta muiden liitännöiden kohdalla esiintyi ongelmia. Lämpötila-anturiliitännän testeissä näkyi pieniä lämpötilanmuutoksia 200 kHz:n – 300 kHz:n taajuusalueella. Paine-eroanturiliitännän testeissä ei näkynyt häiriöitä paine-eromittauksissa, mutta ulkolämpötilamittauksessa ilmeni häiriöitä 200 kHz:n – 400 kHz:n ja 25 MHz:n – 35 MHz:n taajuusalueilla. IR-anturiliitännän testeissä näkyi myös häiriöitä ulkolämpötilamittauksissa 6,5 MHz:n – 7,5 MHz:n taajuusalueella, mutta itse IR-anturi toimi normaalilla tavalla.

SiteMarshalin toimintakriteerien piti olla IEC 61000-6-1 -standardin luokan A mukaiset johtuvien RF-häiriöiden sietotesteissä, eikä tilanmuutoksia saanut tapahtua mittausten aikana. Näin ollen laite ei läpäissyt sille määriteltyjä johtuvien RF-häiriöiden sietotestejä. Testeissä kuitenkin selvisi, että vain lämpötila-anturi liitännässä oli ongelmia ja niitä voisi helpottaa ferriittien käytöllä, kuten säteilevien häiriöidenkin kohdalla tai käyttämällä paremmin suojattu kaapelia lämpötila-antureille.

5.5 Nopeiden transienttien sietotestit

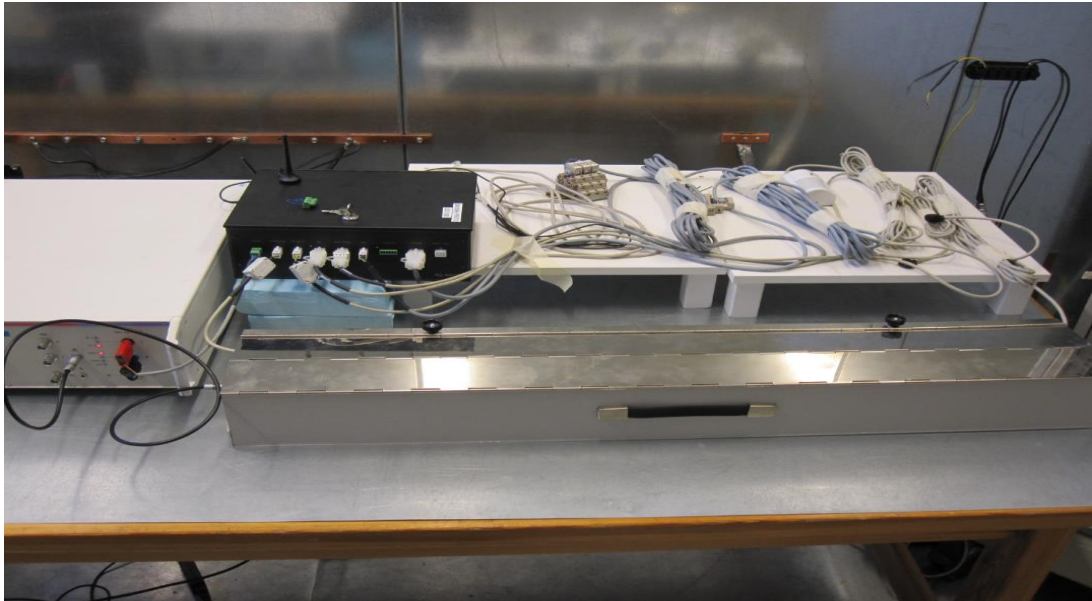
Nopeidentransienttien sietotestit tehtiin opinnäytetyön kohdan 4.2.3 kohdan mukaan ja käytetty testausjärjestely oli kuvan 16 mukainen. Testit suoritettiin virta-, ulkolämpötila-, IR-anturi-, paine-eroanturi- ja A/C-releiliitännälle. Testeihin valittiin vain kyseiset liitännät,

jotta jokaista erityyppistä liitännää olisi vähintään yksi mukana testeissä. Testaussuunnitelman mukaan testi olisi pitänyt suorittaa myös verkkoliitännöille, mutta samasta syystä kuin edellisissäkin testeissä niitä ei suoritettu.



Kuva 16. Nopeiden transienttien sietotestien järjestely

Ensiksi nopeiden transienttien sietotestit suoritettiin virtaliitännälle kytkemällä se kiinni testigeneraattoriin, joka syötti SiteMarshaliin nopeita transientti purskeita. Niiden taso oli $\pm 0,5$ kV ja toistotaajuus 5 kHz. Tämän jälkeen testit tehtiin yksitellen lopuille liitännöille samoilla arvoilla, mutta transientin syöttämiseen käytettiin kapasitiivista syöttöyksikköä kuvan 17 mukaisella tavalla.



Kuva 17. Kapasitiivisen syöttöyksikön käyttö

Jokaisen liitännän testien aikana lämpötilamittaukset sekoilivat pahasti, mutta releet toimivat niiden aikana suunnitellusti. Lämpötilojen arvot palautuivat mittausten jälkeen kuitenkin normaaleiksi ja koko SiteMarshalkin toimi normaaliin tapansa. Näin ollen laitteen toiminta pysyi IEC 61000-6-1 -standardin luokan B toimintakriteerin mukaisena, mitä siltä vaadittiinkin. Tästä voimme päätellä, että SiteMarshalin nopeiden transienttien sieto on tarpeeksi hyvällä tasolla eikä tarvitse paranteluja sen suhteen.

5.6 Syöksyaallon sietotestit

Syöksyaallon sietotestit tehtiin opinnäytetyön kohdan 4.2.5 mukaan ja testausjärjestely oli sama kuin kuvassa 16 esitetty järjestely nopeiden transienttien sietotesteille. Testit tehtiin vain virtaliitännälle, vaikka testaussuunnitelman mukaan olisi pitänyt testata myös verkkoliitännät. Niitä ei kuitenkaan testattu samasta syystä, kun edellisissäkin kohdissa.

Syöksyaallon sietotesteissä testigeneraattori syötti SiteMarshalin virtaliitäntään 1,2/50 μ s:n pulssin, jonka taso oli $\pm 0,5$ kV. Testien aikana laite toimi normaaliin tapansa eikä häiriöitä ilmennyt testien jälkeenkään. Näin ollen SiteMarshalin toiminta pysyi IEC 61000-6-1 -standardin luokan A toimintakriteerin mukaisena, vaikka testien läpäisemiseksi vaadittiin vain B. Testien tuloksista voidaan päätellä, että SiteMarshalin syöksyaaltojen sieto on erittäin hyvällä tasolla eikä vaadi sen osalta muutoksia.

5.7 Sähköstaattisten purkauksien sietotestit

Sähköstaattisten purkauksien sietotestit tehtiin opinnäytetyön kohdan 4.2.2 mukaan ja testausjärjestelmä oli liitteen 1 kuvan 4 mukainen. Testit kohdistettiin SiteMarshalin jokaiseen esillä olevaan pintaan, johon loppukäyttäjä voi koskea sen normaali käytössä ollessaan ja laitteelle suoritettiin kontakti- ja ilmapurkaustestit.

Kontaktipurkauksessa käytetty testitaso oli ± 4 kV ja purkaukset kohdistettiin SiteMarshalin kotelon ulkopuolella oleviin ruuveihin, kannessa olevaan lukkoon ja verkkoliittimiin, jotka näkyvät kotelon reistä. Kontaktipurkausten aikana laitteen mittausarvot sekoilivat, mutta mitään muuta näkyvää ongelmaa ei niissä ilmennyt. Ilmapurkauksessa käytetty testitaso oli ± 8 kV ja testit kohdistettiin SiteMarshalin sivuihin ja kanteen. Muutaman kanteen kohdistuneen purkauksen jälkeen laitteesta kuului poksahdus ja virrat menivät pois päältä. Laite ei mennyt takaisin päälle uudelleen käynnistyksessä ja kannen avattua selvisi, että laitteen sulake oli mennyt testien aikana rikki. Silmämääräisesti ei selvinnyt oliko muita osia vaurioitunut samalla vaan se olisi vaatinut sulakkeen vaihtoa ja laitteen toimintojen testausta. Mukana ei kuitenkaan ollut varasulaketta, joten testit päätettiin siihen.

Testeissä ilmeni, että SiteMarshalin sähköstaattisten purkauksien sieto ei riittänyt siltä vaadittuun IEC 61000-6-1 -standardin luokan B toimintakriteeriin, joten laite ei läpäissyt kyseisiä testejä. Tuloksista selvisi, että sulakkeen rikkonut sähköstaattinen purkaus kohdistui SiteMarshalin kanteen ja johtui sitä kautta muualle laitteeseen. Jatkokehityksenä laitteelle olisi hyvä varmistaa, että sen kotelo on maadoitettu piirilevyihin vain yhdestä pisteestä, jottei purkaukset kulje piirilevyjen kautta maahan. Lisäksi olisi hyvä selvittää rikkoiko purkaus muuta kuin laitteen sulakkeen, joka voisi paremmin valaista mitä kautta purkaus kulki. Jos ei mikään muu auta, voi eristeen lisääminen olla yksi vaihtoehto sähköstaattisilta purkauksilta suojautumiseksi.

6 Yhteenveto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä SiteMarshal-laitteelle EMC-testaussuunnitelma ja suorittaa laitteen EMC-testaus kyseisen suunnitelman avulla. Laitteen tilanne piti selvittää EMC:n näkökulmasta ja laatia parannusehdotuksia mahdollisten löytyneiden ongelmien ratkaisemiseksi. Lisäksi työssä tuli selvittää laitteen lämpötilanmittauksia haittaava signaalirakenne ja esittää sille ratkaisuehdotus.

Työn alussa tutustuttiin EMC:n perusteisiin sekä direktiivien ja standardien soveltamishierarkiaan. Testaussuunnitelman laatimisessa käytettiin SiteMarshalia koskevia yleis- ja perusstandardeja, joiden avulla selvitettiin mitkä testit laitteelle tarvitsi suorittaa ja millä raja-arvoilla. Testaussuunnitelman valmistumisen jälkeen laitteelle suoritettiin EMC-testit Kaajan ammattikorkeakoulun EMC-testauslaboratoriossa. Testituloksien perusteella annettiin suuntaa-antavia korjaus ehdotuksia niiden testien osa-alueelta, joita SiteMarshal ei läpäissyt.

Työ oli kokonaisuudessaan mielenkiintoinen, koska siinä pääsi jatkamaan työntekoa laitteelle, johon oli työharjoittelun aikana jo vähän tutustunut. Lisäksi testien suorittaminen EMC-laboratoriossa oli kiinnostavaa ja siellä oppi enemmän asioista, joista oli lukenut standardeista testaussuunnitelmaa tehdessään. Henkilökohtaisena tavoitteena työlle oli tutkivan ja kehittävän työtavan kehittäminen ja omien vahvuuksien ja heikkouksien tunnistaminen, jotka täytyivät mielestäni hyvin. Työssä tuli varsinkin esille kysymisen tärkeys sellaisissa tilanteissa, joista ei tuntunut pääsevän eteenpäin sekä aikatauluista sopiminen mahdollisimman aikaisin, silloin kun sovitaan asioista monen eri ihmisen kanssa.

Opinnäytetyölle asetetut tavoitteet täyttyivät lähes kokonaan. SiteMarshalin tilanne saatiin todettua EMC:n näkökulmasta ja häiriörakenteiden korjaamiseksi annettiin suuntaa-antavia korjaus ehdotuksia. Tarkempien korjausesitysten laatimiseksi olisi täytynyt perehtyä laitteen kytkentöihin paljon tarkemmin, joka ajan puutteellisuuden vuoksi jäi tekemättä.

Lähteet

- 1 Haettu 26.3. 2018, Herman IT: kotisivustolta: <http://www.hermanit.fi/?lang=fi>
- 2 Oulun yliopisto. EMC-suunnittelu ja -testaus [Kalvoesitys]. Haettu 28.3.2018 internetsivulta: <http://docplayer.fi/7019958-Emc-suunnittelu-ja-testaus.html>
- 3 Ari Lehtiö (16.11.2007). EMC-direktiivi ja standardihierarkia. Haettu 29.3.2018 internetsivulta: <http://www.kamk.fi/loader.aspx?id=8cc7b383-d4e8-4ccf-b673-b8da8f616e4e>
- 4 Tukes. EMC – Sähkömagneettinen yhteensopivuus. Haettu 29.3.2018 internetsivulta: <http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Sahko-ja-hissit/Sahkolaitteet1/Sahkolaitteiden-vaatimukset/EMC---sahkomagneettinen-yhteensopivuus/>
- 5 Conformance – Electromagnetic Compatibility (EMC) Directive. Haettu 21.5.2018 internetsivulta: <https://www.conformance.co.uk/adirectives/doku.php?id=emc>
- 6 Nordic – What is CE marking?. Haettu 21.5.2018 internetsivulta: http://www.cemarkingnordic.se/pdf/english/what_is_ce_marking.pdf
- 7 ETSI – Why we need standards. Haettu 10.5.2018 internetsivulta: <http://www.etsi.org/standards/why-we-need-standards>
- 8 Sinun Eurooppasi – Standardointi Euroopassa. Haettu 10.4.2018 internetsivulta: https://europa.eu/youreurope/business/product/standardisation-in-europe/index_fi.htm
- 9 EM TEST – The structure of EMC standards. Haettu 11.4.2018 internetsivulta: http://www.emtest.com/what_is/standards.php
- 10 ETSI – About ETSI. Haettu 16.4.2018 internetsivulta: <http://www.etsi.org/about>
- 11 ETSI EN 301 489-1 V2.2.0 (2017-03). Haettu internetsivulta: http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/301400_301499/30148901/02.02.00_20/en_30148901v020200a.pdf
- 12 IEC – About the IEC. Haettu 17.4.2018 internetsivulta: <http://www.iec.ch/about/?ref=menu>

- 13 CISPR 22: IEC:2005.
- 14 CISPR 16-2-3: IEC; 2005
- 15 IEC – Structure of IEC 61000. Haettu 17.4.2018 internetsivulta:
http://www.iec.ch/emc/basic_emc/basic_61000.htm
- 16 IEC 61000-6-3: IEC; 2006
- 17 IEC 61000-6-1: IEC; 2005
- 18 IEC 61000-4-3: IEC; 2012.
- 19 IEC 61000-4-4: IEC; 2004.
- 20 IEC 61000-4-5: IEC; 2000

Liitteet

SiteMarshall-laitteen EMC-testaussuunnitelma

Tekijä: Sami Oksanen

Päivämäärä: 21.5.2018

1. Testattavan laitteen ominaisuuksia ja testeissä käytettävät standardit

- Laitteen koko 24,5 cm x 31 cm x 15 cm
- Käyttöjännite -48VDC, plus napa maadoitettu
- Lähettimen toiminta taajuudet: 850 MHz, 900 MHz, 1,8 GHz ja 2,1 GHz
- Laitteen releliitännät ovat identtisiä, joten vain yksi niistä tarvitsee testata
- Ulko-, ja sisälämpötilaliitännät ovat identtisiä, joten vain yksi niistä tarvitsee testata
- Lisäksi liitännät liiketunnistimelle, paineanturille ja tasasuuntaajalle/hälytykselle
- Kolme erilaista ethernet-liitäntää
- Kaapeliennpituudet:
 - Virtajohto 10m
 - Relekaapeli 10m
 - Liiketunnistimen kaapeli 8m
 - Paineanturin kaapeli 4m
 - Tasasuuntaaja/hälytys kaapeli 10m
 - Lämpötila-anturien kaapelit 8m ja 4m
 - Antennikaapeli 8m

Testauksessa toimitaan ETSI EN 301 489-1, IEC 61000-6-1 ja IEC 61000-6-3 yleisstandardien mukaan ja perusstandardit ovat seuraavat:

- Johtuvat RF-häiriöpäästötestit: CISPR 22
- Säteilevät RF-häiriöpäästötestit: CISPR 16-2-3
- Säteilevät RF-häiriösietotestit: EN 61000-4-3
- Sähköstaattinen purkaus: EN 61000-4-2
- Nopeat transientit: EN 61000-4-4
- Johtuvat RF-häiriösietotestit: EN 61000-4-6

- Syöksyaalto: EN 61000-4-5

2. Toimintakriteeriluokat häiriönsietotesteille

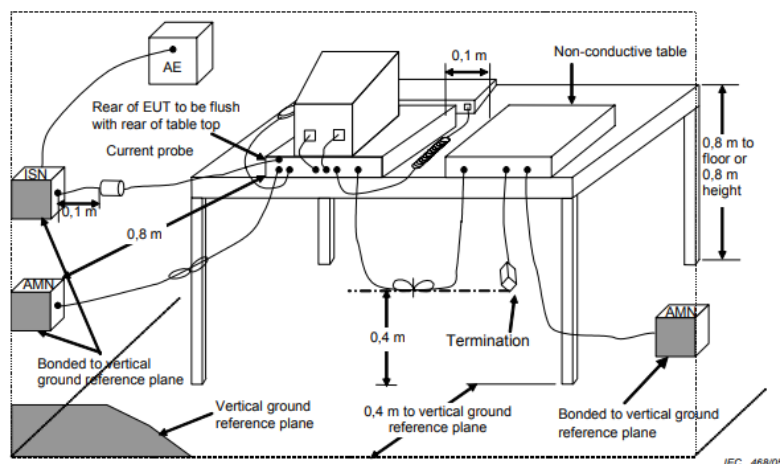
IEC 61000-6-1 -standardissa toimintakriteerit on jaettu kolmeen eri luokkaan, jotka on määritelty seuraavasti:

- Toimintakriteeriluokka A: Laite toimii tarkoituksensa mukaisella tavalla testien aikana ja niiden jälkeen. Suorituskyvyn heikkeneminen tai toimintojen menetys valmistajan määrittelemien suorituskykyrajojen alapuolelle ei ole sallittua, kun laitetta käytetään sen tarkoituksensa mukaisella tavalla. Suorituskykyraja voidaan korvata suorituskyvyn menetyksen sallimisella.
- Toimintakriteeriluokka B: Laite toimii tarkoituksensa mukaisella tavalla testien jälkeen. Suorituskyvyn heikkeneminen tai toimintojen menetys valmistajan määrittelemien suorituskykyrajojen alapuolelle ei ole sallittua, kun laitetta käytetään sen tarkoituksensa mukaisella tavalla. Suorituskykyraja voidaan korvata suorituskyvyn menetyksen sallimisella. Testien aikana suorituskyvyn heikkeneminen on sallittua, mutta muutokset koskien toiminta tilaa ja tallennettua dataa ei ole sallittua.
- Toimintakriteeriluokka C: Toiminnan väliaikainen menetys on sallittua, edellyttäen, että toiminta palautuu itsestään tai on palautettavissa normaaliksi hallintalaitteistoin avulla.

3. EMC emissiot

3.1. Johtuvat RF- häiriöt

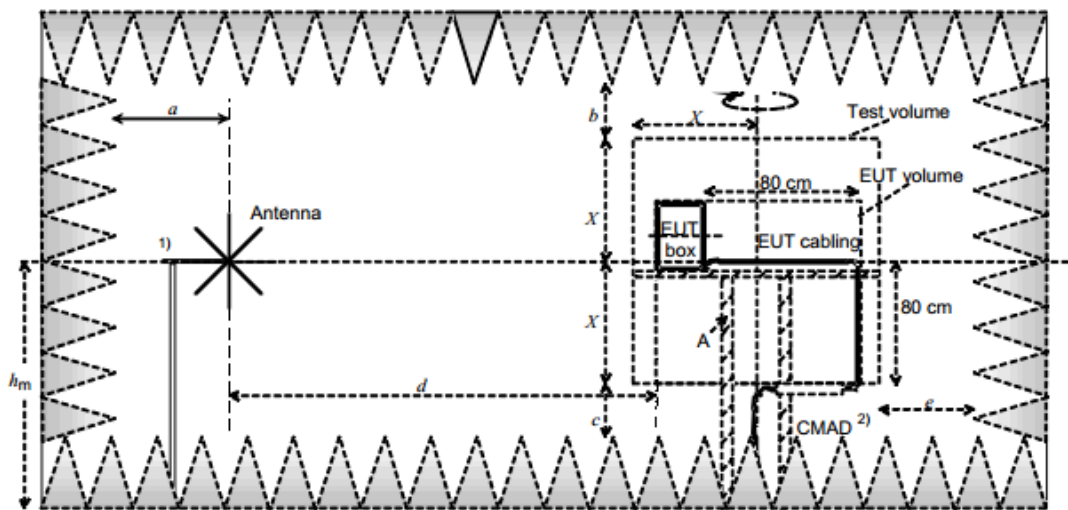
- Testit tehdään DC-input ja output liitännöille sekä verkkoliitännöille.
- Johtuvien häiriöiden mittaukset virtaliitännälle tehdään huippuarvoilmaisimella ja raja-arvojen ylittämät piikit tai riittävän lähelle raja-arvoa menevät piikit mitataan näennäishuippuarvoilmaisimella.
- Lisäksi testissä käytetään Artificial mains network'ia (AMN) jonka nimellisimpedanssi on ($50 \Omega/50 \mu\text{H}$ tai $50 \Omega/50 \mu\text{H} + 5 \Omega$).
- Mittauksissa käytettävät pystysuora tai vaakasuora referenssi maataso tulee ylettyä vähintään 0,5m testiasetelman yli ja liittää mahdollisimman lyhyellä johtimella AMN:ään ja impedance stablation network'iin (ISN:ään)
- Testattavan laitteen virtakaapeli liitetään AMN:ään
- Testausjärjestelyn tulee olla kuvan 1 esimerkin mukainen.
- Virtajohto lenkitetään, jotta sen pituus olisi noin 1m
- Mitatessa virtaliitännästä, kaikki tietoliikenne- ja signaaliitännät terminoidaan.
- Tietoliikenne porttien johtuvien häiriöiden mittaamisessa käytetään ISN:ää-
- Tietoliikenne portti liitetään johtimella ISN:ään



Kuva 2: Johtuvien RF-häiriöiden testausjärjestelyesimerkki

3.2. Säteilevät RF-häiriöt

- Säteilevien häiriöiden mittaukset tehdään huippuarvoilmaisimella ja raja-arvojen ylittämät piikit tai riittävän lähelle raja-arvoa menevät piikit mitataan näennäishuippuarvoilmaisimella.
- Testit tehdään 30 MHz:n – 1000 MHz:n taajuusalueella.
- Testattava laite tulee olla päällä koko testien ajan eikä sitä saa sammuttaa taajuuksien välissä.
- Antennin tulee olla log-periodinen
- Antenni säädetään 1,5 metrin korkeuteen maatasosta
- Testausjärjestely tulee olla kuvan 2 esimerkin mukainen.



IEC 758/10

A turntable and EUT support fixture;

$2X$ 1,5 m, 2,5 m, 5 m – corresponds to test distance used (3 m, 5 m, or 10 m respectively);

h_m middle level of the test volume;

a, b, c, e $\geq 0,5$ m recommended (≥ 1 m is more convenient), the actual value is consistent with the FAR validation procedure of CISPR 16-1-4;

d 3 m, 5 m, or 10 m.

1) The antenna and cable layout shall be validated together and used in the same configuration during the EUT test.

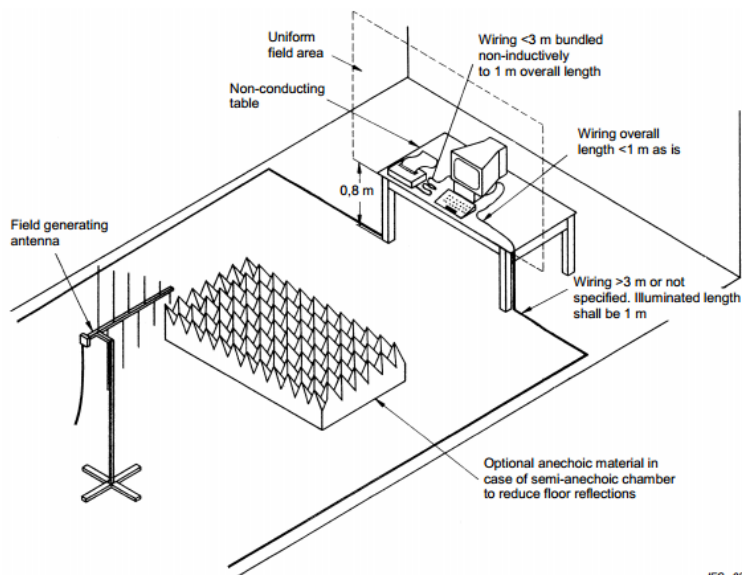
2) CMADs shall be used in accordance with the applicable product standard; use (if required) shall be documented in the test report.

Kuva 3: Säteilevien RF-häiriöiden testausjärjestelyesimerkki

4. Häiriönsieto testit

4.1. Säteilevän RF-häiriön sieto

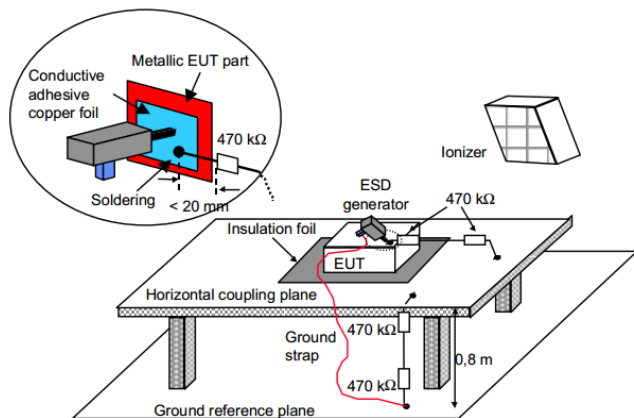
- Testitaso on 3 V/m
- Testisignaali on AM-moduloitu, jonka modulointisyvyys on 80% ja taajuus 1kHz
- Testi suoritetaan taajuusalueella 80MH - 3000MHZ
- Taajuuskorotuksen tulee olla 1% hetkellisesti käytettävästä taajuudesta.
- Testattava laite asetetaan radiokaiuttoman huoneen pöydälle.
- Testilaitteistoon kuuluu: EMI suodatin, RF-signaali generaattori, päätevahvistin ja antenni kentän luontiin,
- Aika tietyllä taajuudella: 2 sekuntia
- Toimintakriteeri täytyy olla IEC 61000-6-1 -standardissa määritetyn luokan A mukainen
- Testausjärjestelyn tulee olla kuvan 3 esimerkin mukainen



Kuva 4: Säteilevän RF-häiriön testausjärjestelyesimerkki

4.2. Sähköstaattinen purkaus

- Kontaktipurkauksen testitaso on ± 4 kV ja ilmapurkauksen testitaso on ± 8 kV
- Sähköstaattinen purkaus tulee kohdistaa testattavan laitteen jokaiseen esillä olevaan pintaan, johon loppukäyttäjä voi koskea sen normaali käytössä ollessaan.
- Testattava laite asetetaan puupöydälle, joka on sijoitettu referenssi maatasoon päälle.
- Pöydälle asetetaan vaakasuora kytkentätaso (1,6m * 0,8m) sekä 0,1m päähän testattavasta laitteesta asetetaan pystysuora kytkentätaso (0,5m * 0,5m), jotka maadoitetaan kahdella 470 k Ω
- Testattava laite ja johdot eristetään kytkentätasosta 0,5 mm paksulla eristävällä jalustalla.
- Jokaiseen kohtaan vähintään kymmenen purkausta, joiden välissä on vähintään 1s aikaa.
- ESD generaattorin purkauksen paluujohto tulee olla vähintään 0,2m päässä testattavasta laitteesta.
- Epäsuorapurkaus kohdistetaan vaaka- ja pystysuoriin kytkentätasoihin 0,1m päähän testattavasta laitteesta. Molempiin kohdistetaan vähintään 10 purkausta.
- Jos purkaus suoritetaan ei maadoitettuun kohtaan, varaus poistetaan purkausten välissä.
- Toimintakriteeri täytyy olla IEC 61000-6-1 -standardissa määritetyn luokan B mukainen
- Testausjärjestelyn tulee olla kuvan 4 esimerkin mukainen

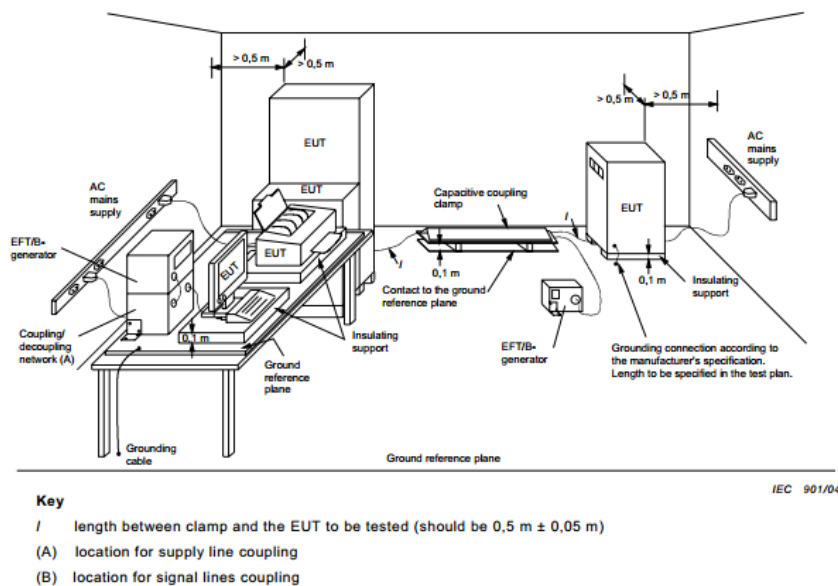


IE 1807/2000

Kuva 5: sähköstaattisen purkauksen testausjärjestelyesimerkki

4.3. Nopeat transientit

- Tehdään DC virta-, signaali- ja kontrolli- ja verkkoliitännöille, joiden kaapelien pituus on yli 3m.
- Signaali-, kontrolli- ja verkkoliitännöiden testitaso on $\pm 0,5$ kV 5kHz:n toistotaajuudella.
- DC-virtaliitännälle testitaso on $\pm 0,5$ kV 5 kHz:n toistotaajuudella.
- Testausaika kullakin testitasolla vähintään 1min.
- Testausvälineisiin kuuluu referenssimaataso, kapasitiivinen syöttöyksikkö, ja testi generaattori.
- Virtaliitännän mittauksessa käytetään testigeneraattoria.
- Signaali-, kontrolli- ja verkkoliitännöiden mittaamiseen käytetään kapasitiivista syöttöyksikköä.
- Testattava laite asetetaan maatason päälle ja eristetään siitä 0,1m eristeellä
- Maataso kytketään suojamaahan.
- Testattavan laitteen etäisyys seinistä ja muista johtavista rakennelmista pitää olla vähintään 0,5m.
- Testattavan laitteen johdot sijoitetaan eristeen päälle.
- Toimintakriteeri täytyy olla IEC 61000-6-1 -standardissa määritetyn luokan B mukainen
- Testausjärjestelyn tulee olla kuvan 5 esimerkin mukainen.



Kuva 6: Nopeiden transienttien testausjärjestelyesimerkki

4.4. Johtuvan RF-häiriön sieto

- Tehdään DC virta-, signaali- ja kontrolli- ja verkkoliitännöille, joiden kaapelien pituus on yli 3m.
- Testitaso 3V
- Testisignaali on AM-moduloitu, jonka modulointisyvyys on 80% ja taajuus 1kHz.
- Testi suoritetaan taajuusalueella 150kHz - 80MHz.
- Taajuuskorotuksen täytyy olla 1% käytettävästä taajuudesta.
- Testilaitteistoon kuuluu testigeneraattori ja EM- tai virransyöttöyksikkö.
- Virtaliittimen testeissä käytetään testigeneraattoria
- Muiden liitännöiden kohdalla käytetään EM- tai virransyöttöyksikköä.
- Testattava laite sijoitetaan 0,1m korkealle eristeelle referenssimatustason päälle ja kaikki testattavan laitteen kaapelit asetetaan vähintään 30mm päähän referenssi matustasosta.
- Kytkeverkot sijoitetaan 0,1m – 0,3m päähän testattavasta laitteesta tai lisälaitteesta, jos sellainen on kytketty.
- Toimintakriteeri täytyy olla IEC 61000-6-1 -standardissa määritetyn luokan A mukainen

4.5. Syöksyaalto (surge)

- Testi tehdään verkkoliitántään tai tehonsyöttöliitántään
- Kytöntämenetelmänä verkkoliitántään käytetään arrestori kytkentää ja tehonsyöttöliitántään kapasitiivista kytkentää
- Testitaso $\pm 0,5\text{kV}$ (avoimen piirin testijännite)
- Käytetään testigeneraattori, joka syöttää $1,2/50 \mu\text{s}$:n pulssin.
- Toimintakriteeri täytyy olla IEC 61000-6-1 -standardissa määritetyn luokan B mukainen

