

SAVONIA

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIKAN JA LIIKENTEEN ALA

JOHTUVIEN RADIO- TAAJUUSHÄIRIÖISTEN SI- ETOMENETELMIEN KALUSTO- HANKINNAN TEKNINEN MÄÄRIT- TELY

Koulutusala Valitse luettelosta	
Tutkinto-ohjelma Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Niko Remes	
Työn nimi Johtuvien radiotaajuushäiriöisten sietomenetelmien kalustohankinnan tekninen määrittely	
Päiväys 28 Tou 2023	Sivumäärä/Liitteet 26
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Savonia-ammattikorkeakoulu	
Tiivistelmä <p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä tekninen arviointi ja määrittely hankittavan mittalaitteiston tarjouskilpailua varten. Työn tilaajana toimi Savonian EMC-laboratorio, jonne ollaan hankkimassa johtuvien radiotaajuushäiriöiden sietotestilaitteistoa.</p> <p>Työ vaati syvää perehtymistä kyseiseen mittausmenetelmään ja sen eri mittausmetodeihin sekä teoriaan ilmiöstä, jota menetelmä jäljittelee. Myös määrittelyyn vaikuttavia tuote- ja tuoteperhestandardeja oli paljon luettavana, niin kotitalous- kuin teollisuuslaitteiden sekä usein korkeita vaatimuksia määritteleviä medikaali- ja ajoneuvopuolen standardeja. Työssä selvitettiin mittalaitteistoon kuuluva kalusto sekä tarpeelliseksi määrittelyjen standardien asettamat testitasot. Selvitystyö tapahtui enimmäkseen standardeja lukemalla ja tutkimalla laitevalmistajien tuotteita. Hankinnan määrittelyä ohjaavat standardit valittiin laboratorion asiakassuuntautuneisuuden perusteella.</p> <p>Tämän opinnäytetyön tulos on tekninen määrittely hankittavalle testilaitteistolle ja loppuraportti, joka toimii ohjeena tarjouspyynnön tekijälle.</p>	
Avainsanat EMC	

Field of Study Choose Field of Study	
Degree Programme Degree Programme in Electrical and Automation Engineering	
Author(s) Niko Remes	
Title of Thesis Technical definition of the equipment procurement of conductive radio frequency interference immunity methods	
Date 29 May 2023	Pages/Appendices 26
Client Organisation /Partners Savonia university of applied sciences	
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was to make a technical evaluation and definition for competitive bidding concerning the measuring system to be acquired. The thesis was commissioned by Savonia EMC laboratory. Savonia EMC laboratory is purchasing a measuring system of conductive radio frequency interference immunity methods.</p> <p>Discussed measurement methods and also the theory of the phenomena, which the methods are imitating, require a deep orientation and familiarization. There were also a lot of product standards to read concerning the definition. The equipment included in the measuring system and test levels of the most critical standards were clarified. Research was done mostly by reading the standards and studying the products of the equipment manufacturers. The defining standards of the purchase were chosen based on the customer orientation of the laboratory.</p> <p>As a result of this thesis a technical specification for the test equipment to be acquired and a final report that serves as a guideline for the author of the tender request was drawn up.</p>	
Keywords EMC	

ESIPUHE

Haluan kiittää Savonia-ammattikorkeakoulua ja Savonia EMC-laboratoriota opinnäytetyöaiheesta. Kiitos Asmo Jakorinteelle ja Marko Sorsalle sekä ohjaavalle opettajalle, yliopettaja Arto Toppiselle opinnäytetyön ohjaamisesta.

Kuopiossa 29.05.2023

Niko Remes

SISÄLTÖ

JOHDANTO	6
SÄHKÖMAGNEETTINEN YHTEENSOPIVUUS.....	7
2.1 Säteilevät häiriöt.....	7
2.1.1 Aaltoimpedanssi	8
2.2 Johtuvat häiriöt.....	8
2.3 Häiriön etenemismuoto	9
2.3.1 Eromuotoinen häiriö	9
2.3.2 Yhteismuotoinen häiriö	10
2.4 Modulaatio	11
2.4.1 Amplitudimodulaatio	11
2.5 Lisälaitteet ja häiriösignaalin kytkeminen	12
2.5.1 CDN.....	13
2.5.2 EM-Clamppi.....	14
2.5.3 BCI.....	15
2.5.4 TWC	16
VAATIMUKSET	17
3.1 EMC-direktiivi.....	17
3.2 Harmonisoidut standardit	18
LAITTEISTON TEKNINENMÄÄRITTELY.....	19
4.1 ISO 11451-4 Kokonaiset ajoneuvot	19
4.2 ISO 11452-4 Ajoneuvokomponentit.....	20
4.3 EN 61000-4-6 Yleinen menetelmästandardi	20
4.4 Testausmenetelmät ja hankittavat laitteet	20
4.5 Testitasovaatimukset.....	21
POHDINTA.....	22
LÄHTEET	23
LIITTEET	24

JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on johtuvien radiotaajuushäiriöiden sietomenetelmän kalustohankinnan tekninen määrittely. Opinnäytetyö on tehty Savonia ammattikorkeakoulun EMC-laboratoriolle, joka on akkreditoitu laboratorio, joka tekee EMC testejä yritysasiakkaille. Vuonna 2000 perustettu laboratorio ylläpitää ja päivittää testikalustoa huomioiden vallitsevat teknologiset suuntaukset ja asiakkaiden tarpeet.

EMC testaus on kokonaisuudessaan laaja aihe, koska siihen liittyy lukuisia eri testimenetelmiä ja jokaiselle testattavalle laitteelle on tehtävä määrittely, mitkä testit koskevat kyseistä laitetta ja millä testitasoilla. Tämä opinnäyte on rajattu käsittelemään lähinnä hankittavaan laitteistoon liittyvään teoriaan ja testilaitteisiin. Eli johtuvat radiotaajuushäiriöt ja laboratorion määrittelemät standardit, joiden perusteella hankittavan laitteiston ominaisuuksia määritellään.

Opinnäytetyössä kerrotaan menetelmään liittyvästä teoriasta sekä mittalaitteistoon liittyvistä komponenteista. Työssä kerrotaan myös hieman vaatimuksista ja standardeista, jotka ohjaavat testattavien laitteiden testausvaatimuksia ja sitä kautta testilaitteistoilta vaadittavia ominaisuuksia.

SÄHKÖMAGNEETTINEN YHTEENSOPIVUUS

EMC (electromagnetic compatibility) tarkoittaa sähkömagneettista yhteensopivuutta sähköisten laitteiden välillä. EMC-laboratoriossa testattavan EUT: n (equipment under test) häiriötasot (emissio) eivät saa ylittää käytettävän standardin asettamia rajoja. Toisaalta sen on kestettävä käytettävän standardin määrittämän häiriötasot (immunitaetti).

Emissiot ja immunitaetit testataan sekä ilmaa pitkin säteilevinä häiriöinä, että johtimia pitkin johtuvina häiriöinä. Seuraavissa kappaleissa käsitellään tarkemmin näitä häiriön kytkeytymistapoja. Muita kytkeytymistapoja ovat induktiivinen ja kapasitiivinen kytkeytyminen.

Lisäksi käsitellään häiriöiden etenemismuotoja.

2.1 Säteilevät häiriöt

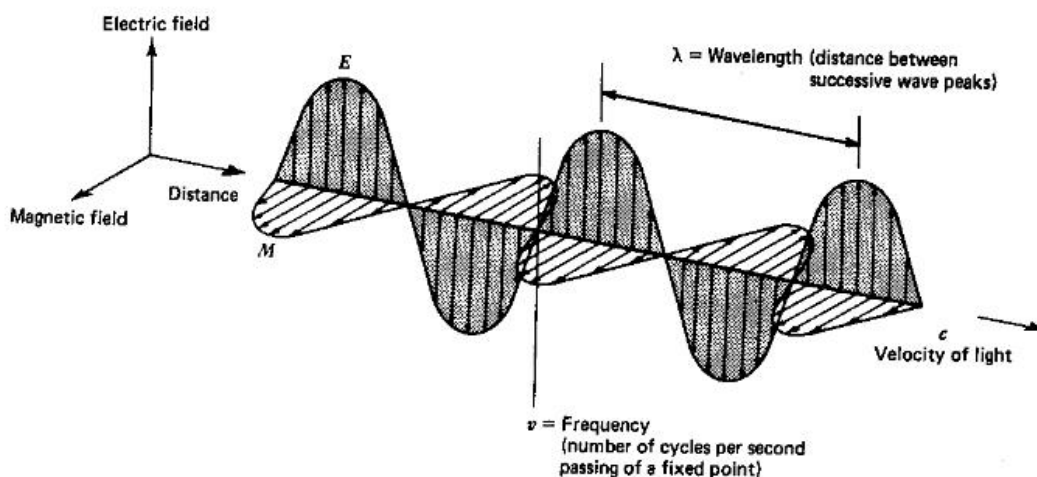
Ympäristössämme olevat sähkömagneettiset kentät koostuvat luonnollisista lähteistä kuten kosmisesta taustasäteilystä sekä keinotekoisesti tuotetuista kentistä kuten radioviestintälähteistä esimerkiksi radio-, ja televisiolähetysistä, matkapuhelinpalveluista ja tukiasemaverkoista. Lyhyemmän kantaman säteilylähteitä ovat matalatehoisemmat radiolaitteet sekä käytännössä mikä tahansa sähköinen laite, laitteen säteily määrä riippuu laitteen sähköisistä ominaisuuksista, toimintaperiaatteesta ja komponenteista.

Sähkömagneettinen kenttä koostuu sähkökentästä sekä magneettikentästä.

Sähkökenttä muodostuu kahden eri potentiaalissa olevan johtimen välille. Kenttää mitataan yksiköllä voltia per metri (V/m). Sähkökentän voimakkuus on verrannollinen johtimien väliseen etäisyyteen.

Magneettikenttä muodostuu virrallisen johtimen ympärille. Kenttää mitataan yksiköllä ampeeria per metri (A/m). Magneettikentän voimakkuus on verrannollinen virtaan jaettuna etäisyydellä johtimesta.

Sähkömagneettinen kenttä on siis näiden kahden yhdistelmä. Sähkömagneettista säteilyä voidaan kuvata aaltomallin avulla.



Kuva 1. Sähkömagneettisen aallon aaltomalli. (Kiefer)

Aaltomallista näemme sähkö- ja magneettikenttien välisen kulman sähkömagneettisen säteilyn edessä kohtisuorasti poispäin liikkeessä olevasta pistevarauksesta. Maxwellin yhtälöiden perusteella tiedämme, että pistevarauksesta sähkömagneettinen aalto kantaa mukanaan energiaa ja näin ollen sähkö- ja magneettikentät ylläpitävät toisiaan, kun muuttuva magneettikenttä indusoi sähkökentän ja muuttuva sähkökenttä puolestaan magneettikentän

2.1.1 Aaltoimpedanssi

Aaltoimpedanssi kuvastaa sähkökentän ja magneettikenttien voimakkuuksien välistä suhdetta kaavalla:

$$Z_w = \frac{E}{H} \quad 2.1$$

aaltoimpedanssi on aallon tärkeä parametri, koska se määrittää kytkeytymisen tehokkuuden toiseen johtavaan rakenteeseen.

Riippuen aallon etäisyydestä verrattuna sen lähteeseen, puhutaan lähikentästä ja kaukokentästä.

Määritelmän mukaan, jos etäisyys d on suurempi kuin aallonpituus $\lambda / 2\pi$, on kyseessä kaukokenttä. Jos taas $d < \lambda / 2\pi$, on kyseessä lähikenttä.

Kaukokentässä säteily esitetään tasoaaltona, jonka sähkö- ja magneettikentät vaimenevat samassa suhteessa etäisyyden kasvaessa. Näin ollen impedanssi on vakio ja aallon etenemiseen vaikuttaa väliaineen ominaisuudet, kaavan mukaisesti:

$$Z_0 = \sqrt{\mu_0 / \epsilon_0}$$

, jossa μ_0 on väliaineen permeabiliteetti ja ϵ_0 on väliaineen permittiivisyys.

Lähikentässä aaltoimpedanssi määräytyy säteilylähteen ominaisuuksien perusteella. Säteilylähteen ollessa pienivirtainen, mutta suurijännitteinen (esimerkiksi dipoli -antenni), tuottaa se pääasiassa suurimpedanssisen sähkökentän. Säteilijän ollessa suurivirtainen, mutta matalajännitteinen (esimerkiksi looppi -antenni), tuottaa se pääasiassa matalaimpedanssisen magneettikentän.

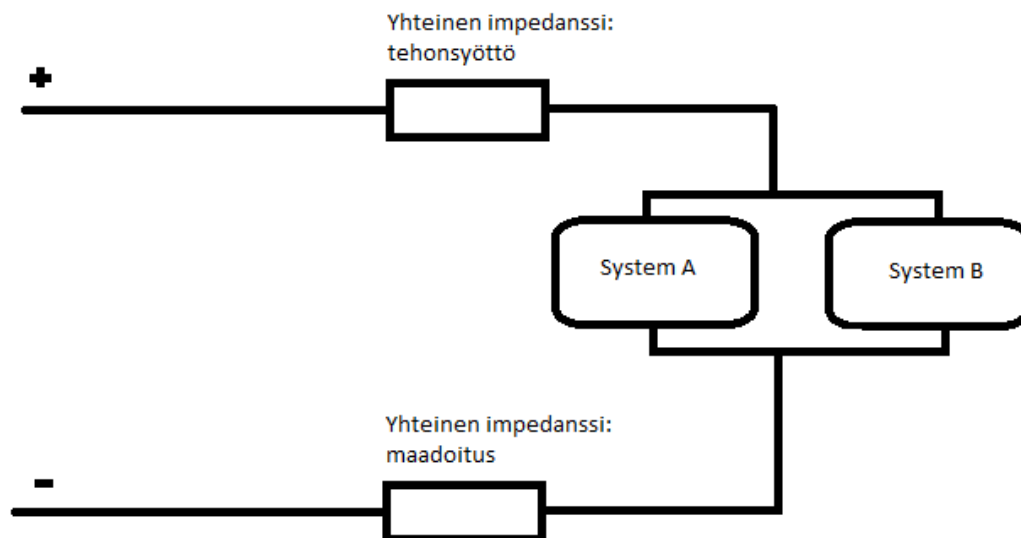
Lähi- ja kaukokentän välissä on siirtymäalue, jonka muoto perustuu lähetysantennin geometriaan ja viritusaallonpituuteen. (Williams, 2017)

2.2 Johtuvat häiriöt

Järjestelmän sisäiset johtuvat häiriöt kulkevat johtimia pitkin ja voivat säteillä laitteesta ulospäin käyttäen johtimia antennina, häiriötaajuutta vastaavalla aallonpituuden mitalla. Ilmaa pitkin säteilevät häiriöt voivat laitteeseen tarttuessaan muuttua johtuviksi häiriöiksi ja edetä johtumalla laitteiston kriittisiin komponentteihin.

Järjestelmän sisäisiin johtuviin häiriöihin ovat usein syyllisiä huonoa suunnittelutapaa noudattavat johdotukset. Tyypillisesti tämä galvaaninen kytkeytyminen tapahtuu maadoituksen tai virransyötön yhteydessä. Yhteisen impedanssin kautta tapahtuva häiriö kytkeytyminen on yleisintä, kun yhteinen impedanssi on fyysisesti läsnä.

Esimerkiksi kahden systeemin yhteinen maaimpedanssi voi toimia yhteisenä impedanssina, jonka välityksellä toisen systeemin toimiessa häiriölähteenä se tuottaa häiriön toiseen järjestelmään. (Williams, 2017)



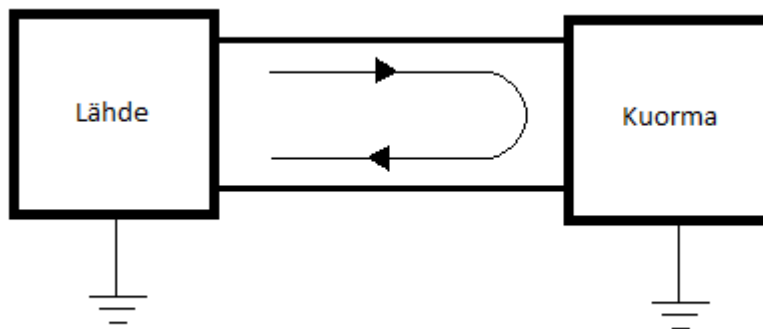
Kuva 2. Yhteisen impedanssin kautta kytkeytyminen

2.3 Häiriön etenemismuoto

Johtuvat häiriöt voidaan jakaa kahteen luokkaan eromuotoiset (differential mode) ja yhteismuotoiset (common mode). Nämä häiriöt käyttäytyvät piirissä eri tavoin ja myös niiden havainnointiin käytetään erityyppisiä mittausmenetelmiä. Eri etenemismuodoille käytetään myös erilaisia suodatusmuotoja. (Williams, 2017)

2.3.1 Eromuotoinen häiriö

Eromuotoisessa häiriössä, häiriö kulkee hyötysignaalin suuntaisesti summautuen siihen. Häiriösignaali siis kulkee kaapelissa edeten yhdessä signaalijohtimessa ja palaten toista pitkin.

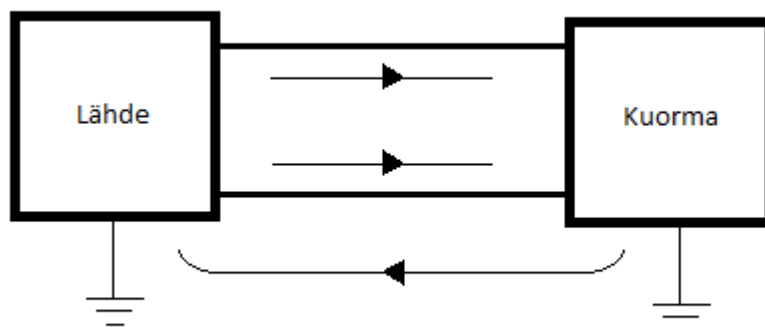


Kuva 3. Eromuotoisen häiriön etenemissuunta

Virtamuuntajan avulla eromuotoinen häiriö voidaan havaita, kun kaapelista mitataan yhtä johdinta ja virtamuuntajan perässä olevalla oskilloskoopilla havaitaan häiriösignaali, joka katoaa laitettaessa kaapelin molemmat johtimet virtamuuntajan läpi, jolloin vastakkaisiin suuntiin kulkevat signaalit kumoavat toisensa. (HackLab Jyväskylä, 2022)

2.3.2 Yhteismuotoinen häiriö

Yhteismuotoisessa häiriössä, häiriö kulkee samaan suuntaa kaikissa johtimissa ja käyttää paluureitinä piirin maatasoa. Nämä häiriövirrat eivät yleensä ole tekemisissä varsinaisen hyötysignaalin kanssa, kuten eromuotoisessa häiriössä tyypillisesti on. Yhteismuotoinen häiriö voi syntyä piiriin esimerkiksi ulkoisen magneettikentän indusoimana.



Kuva 4. Yhteismuotoisen häiriön etenemissuunta

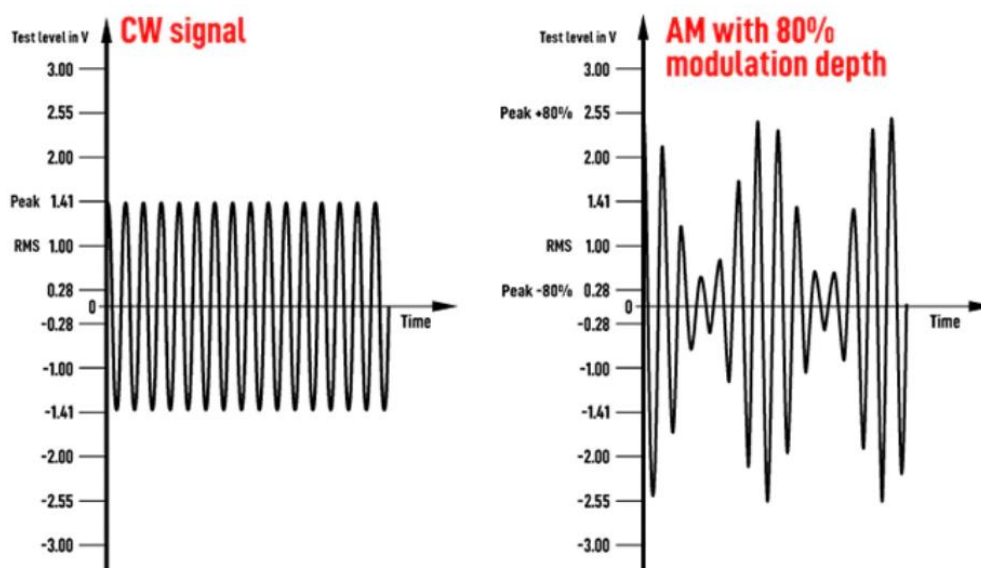
Virtamuuntajan ja oskilloskoopin avulla voidaan havaita yhteismuotoinen häiriö. Kaapelin yksittäistä johdinta mittaamalla havaitaan häiriösignaali. Kaapelin yksittäisiä johtimia yhtä aikaa mittaamalla havaitaan voimistuva signaali, johtuen samansuuntaisten häiriöiden summautumisesta. (HackLab Jyväskylä, 2022).

2.4 Modulaatio

Johtuvassa radiotaajuushäiriöisessä immuuteettitestissä häiritävään kaapeliin tai johtimeen kytetään häiriösignaali, joka sisältää tietyn modulaation. Häiriösignaalille on olemassa kantaalto (Continuous wave), jota moduloidaan tietyllä modulointitavalla. Häiriösignaalia tehdessä simuloidaan modulointitapaa, jolle laite saattaisi omassa käyttöympäristössään altistua. Käytössä oleva standardi määrittelee tämän modulaatiotavan.

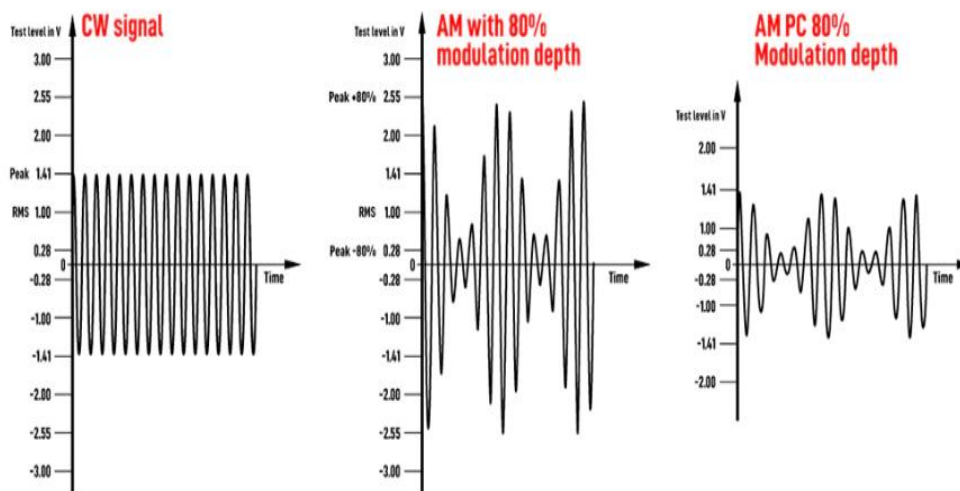
2.4.1 Amplitudimodulaatio

Amplitudimodulaatiossa kantaalto (CW) määrittelee signaalin voimakkuuden. Datasignaali, joka normaalitilanteessa sisältäisi välitettävän informaation, sisällytetään kantaaltoon. Amplitudimodulaatiota määritellään kahdella parametrillä, jotka ovat modulaatiosyvyys ja modulaatiotaajuus. Tässä työssä käsiteltävät standardit sisältävät kaikki parametrivaatimuksen: 80 % AM, 1 kHz, jossa 80 % on modulaatiosyvyys verrattuna kantaaltoon ja 1 kHz on modulaatiotaajuus.



Kuva 5. Kantaalto ja amplitudimodulaatio (Transient Specialist, 2021)

Edellä esitetty modulointitapa on yleisin modulointitapa johtuvassa rf-sietotestissä. Toinen versio amplitudimoduloinnista on AM PC (amplitude modulation peak conservation), eli signaalin huippuarvon säilyttävä modulaatio. Kuvassa 6, nähdään, että moduloidun signaalin huippuarvo ei nouse kantaallon (CW) huippuarvoa korkeammalle vaan modulaatio tapahtuu huipusta huippuun-arvojen sisällä.



Kuva 6. Kantaalto, amplitudimodulaatio ja peak conservation amplitudimodulaatio (Transient Specialist, 2021)

2.5 Lisälaitteet ja häiriösignaalin kytkeminen

Mittausmenetelmän mukainen kytkentä vaatii kytkemiseen sekä irtikytkemiseen tarkoitettuja laitteita. Radiotaajuinen häiriö kytketään testattavaan linjaan mieluiten CDN: n (coupling decoupling network) kautta. Myös häiriön paluureitti tehdään mieluiten CDN: n kautta. Kaikki laitteesta uloslähtevät linjat esimerkiksi monitorointia varten, tarvitsevat CDN: n väliin, jottei aiheutettu häiriösignaali lähde hallitsemattomasti purkautumaan apulaitteen kautta esimerkiksi sähköverkkoon päin.

Jos CDN: n käyttö ei ole jollekin linjalle mahdollista käytetään clamppia, johon häiriösignaali johdetaan ja josta se johtuu indusoitumalla häiritävään kaapeliin tai linjaan.



Kuva 7. RF-generaattorin lähtöön kytkettävä vaimennin

2.5.1 CDN

CDN (coupling decoupling network) on kytkentälaite tai kytkentäverkko, joka sisältää sisääntuloportin ja ulostuloportin sekä häiriösignaalin syöttöön tarkoitetun portin. Sisääntuloportin yhteydessä on suodatinkytkeä, joka estää syötettävän häiriön johtumisen piirin tulopuolelle.

Häiriötä syötettäessä CDN: n kytketään testattavan laitteen syöttöpuolelle, syöttökaapelin ja laitteen väliin. CDN: iä, on olemassa erilaisilla kytkentäporttivaihtoehdoilla, riippuen testattavan portin mallista sekä sen käyttämästä virrasta. Lisäksi voidaan käyttää liitännäadaptoreita. CDN: n päällä on BCI-liitin, jonka kautta radiotaajuinen häiriösignaali kytketään testattavaan piiriin.



Kuva 8. CDN: t, banaaniliitin-, ethernet- ja sarjaliikennekytkennöille.

2.5.2 EM-Clamppi

EM-clamppia käytetään, jos järjestelmän testattavissa linjoissa on portteja, joihin ei ole käytettävissä sopivaa CDN: ää. Tällöin radiotaajuushäiriö kytketään suoraan kaapeliin clampin avulla. Clampin rakenne perustee useisiin vierekkäin sijoitettuihin yksittäisiin ferriitticlamppeihin, joiden väliin häiritävä kaapeli asetetaan. Clampissa on BCI-liitin, jonka kautta häiriö voidaan kytkeä kaapeliin.

Johtuvan radiotaajuishäiriön sietotestiä tehtäessä syötetylle häiriösignaalille on kytkettävä myös paluureitti maapotentiaaliin. Standardi antaa prioriteettijärjestyksen takaisinkytkentä vaihtoehdoille. Yleensä kytkeminen tapahtuu kuitenkin CDN: n kautta, johon on kytketty päätevastus. Tarvittaessa kytkentä voidaan tehdä myös clampin kautta, jossa on päätevastus.

EM-clamppia käytetään pääasiassa EN 61000-4-6 standardia soveltavissa testeissä esimerkiksi mediakaali- ja kotitalouslaitteiden testauksessa. EM-clampissa on pieni sisähalkaisija ja sen sisään on tarkoitettu yksi johdin tai kaapeli kerrallaan. BCI- ja TWC-clamppeja taas käytetään lähtökohtaisesti ajoneuvopuolen testeissä. BCI-clampin suurempi sisähalkaisija mahdollistaa myös johtosarjojen testaamisen.



Kuva 9. Laboratorion vanha EM101 -clamppi

2.5.3 BCI

BCI (bulk current injection) on johtuvan immunitetin mittaustesti, jossa häiriösignaali syötetään kaapelin tai kaapelinipun ympärille asetettavaan BCI-probeeseen, josta se induoituu häiritävään kaapeliin. BCI: llä testi voidaan suorittaa joko ennen testiä tehtävän häiriö signaalin voimakkuuden kalibrointiin perustuvalla tekniikalla tai suljetun piirin tekniikalla, jossa monitorointi-probella seurataan ja säädetään syötettävän häiriösignaalin voimakkuutta.

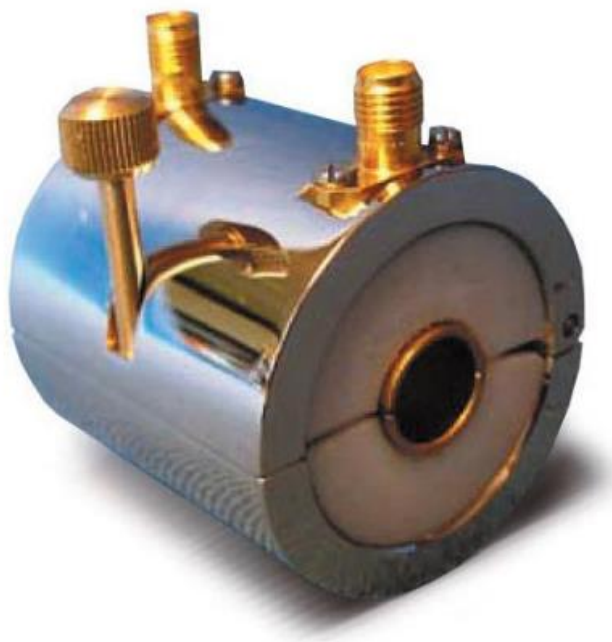
BCI on tehokas menetelmä tehdä immunitettitestiä testattavalle laitteelle. Kytkentään voidaan liittää tehovahvistin, jolla syötettävää häiriötehoa saadaan entisestään voimistettua, esimerkiksi ajoneuvostandardien testeissä, joissa altistamistasot voivat olla suuria.



Kuva 10. BCI-clamppi ajoneuvopuolen testaukseen (The EMC Shop, 2023)

2.5.4 TWC

TWC (tubular wave coupler) on johtuvan immunitetin mittaustesti, joka perustuu häiritävään johtosarjaan kytkeytyvään aaltokytteeseen. TWC-kytkentäyksikkö on periaatteessa kuin lyhyt koaksiaalikaapeli, jossa on ontto sisäjohtin. Onton sisäjohtimen sisään asetettuun häiritävään kaapeliin tai johtosarjaan kohdistuu TEM-aaltomuotoinen häiriö, joka on kohtisuorassa kaapelin hyötysignaaleihin nähden. Tätä mittaustestiä käytetään lähinnä ajoneuvopuolen korkeiden taajuuksien sietokykyä testattaessa.



Kuva 11. TWC-clamppi ajoneuvopuolen testaukseen. (The EMC Shop, 2023)

VAATIMUKSET

Standardointiorganisaatiot ovat luoneet sähkömagneettisia häiriöitä varten standardit, jotka määrittelevät mittausmenetelmät, emissiotesteille vaatimusrajat ja immunitestiteille käytettävät vähimmäissietotasot. Ympäristössä olevat häiriöt sekä ympäröivät sähköiset järjestelmät kehittyvät ja muuttuvat, joten standardeja päivitetään, jotta uusille sähköisille tuotteille tehtäisiin riittävän vaativat testit. Riittävän vaativat testit takaavat laitteen luotettavan toiminnan, jotta se ei häiriinny sähkömagneettisessa käyttöympäristössään eikä aiheuta muille ympärillä oleville laitteille liikaa sähkömagneettista häiriötä.

3.1 EMC-direktiivi

Kun valmistaja laittaa tuotteeseensa CE-merkinnän, valmistaja vakuuttaa tuotteen olevan EMC-direktiivin vaatimusten mukainen tuote. Euroopan parlamentti ja neuvosto on antanut EMC-direktiivin, jonka tarkoitus on varmistaa, ettei sähkölaitteet tai laitteistot häiritse tai häiriinny toisistaan sähkömagneettisesti. Direktiivistä tuodaan asioita kansalliseen lainsäädäntöön, mutta usein vain viitataan alkuperäiseen standardiin.

IEC (International Electrotechnical Commission) ja ISO (International Organization for Standardization) ovat kansainvälisiä organisaatioita, joiden komiteat valmistelevat kansainvälisiä standardeja. Kansainvälisistä standardeista yleensä johdetaan kansallisia tai alueellisia standardeja. Esimerkiksi Euroopan standardointi komitea Cenelec tekee kansainvälisestä standardiversiosta oman vedoksen komiteoissaan, josta Suomen standardoimisliitto SFS saattaa julkaista vielä suomen kansallinen standardointijärjestö SESKO: n valmisteleman version.

Direktiivi on kansallisesti toimeenpantu seuraavasti:

- Sähköturvallisuuslaki 1135/2016

- sähkölaitteita koskevat vaatimukset
- asennuksia koskevat vaatimukset

- Valtioneuvoston asetus 1436/2016

- laitteita koskevat tarkemmat vaatimukset

- Laki eräitä tuoteryhmiä koskevista ilmoitetuista laitoksista 278/2016

- laitoksia koskevat vaatimukset

- Laki eräiden tuotteiden markkinavalvonnasta 1137/2016

- markkinavalvontapykälät

(Tukesinfo, 2022)

3.2 Harmonisoidut standardit

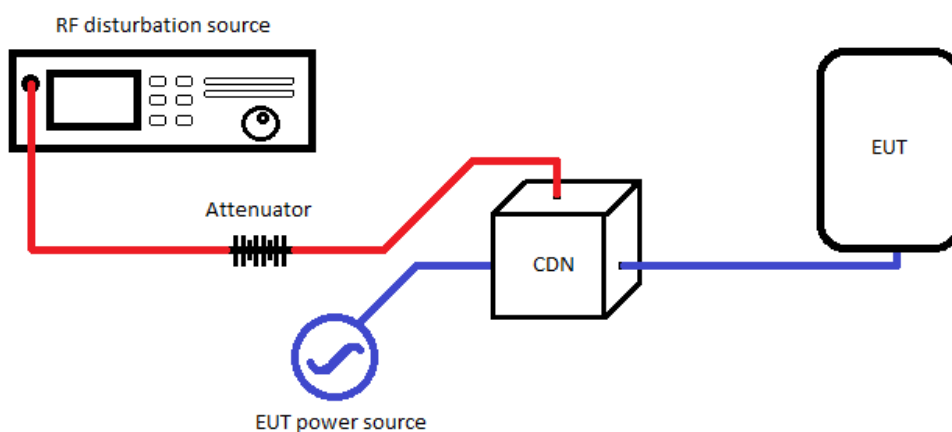
EMC-direktiivi ei itsessään määrittele testattavalle laitteelle asetettuja vaatimuksia, mutta EU komission verkkosivuilta on löydettävissä harmonisoitujen EMC-standardien lista, joita käyttämällä tuotteen valmistaja voi saavuttaa vaatimustenmukaisuusolettaman.

Kullekin laitteelle tai laiteryhmälle sopivaa standardia etsittäessä tutkitaan, löytyykö harmonisoitujen standardien listalta kyseiselle tuotteelle sopivaa tuotestandardia tai tuoteperhestandardia. Jos kyseiselle tuotteelle ei löydy suoraan kumpaakaan, käytetään yleisstandardia. Nämä standardit kertovat yleensä vaadittavat testitasot sekä raja-arvot, joihin tuotteen häiriöiden on jätävä. Lisäksi on perustandardeja, jotka kertovat tarkat yksityiskohdat testimenetelmän suorittamista varten.

(SESKO, ei pvm)

LAITTEISTON TEKNINENMÄÄRITTELY

Tässä opinnäytetyössä oli tavoitteena määritellä tekniset vaatimukset johtuvien sähkömagneettisten häiriöiden testilaitteistolle. Kyseisellä menetelmällä testaaminen on pakollista suurelle osalle sähkölaitteita. Aiemmissa kappaleissa on kuvattuna laitteistoon liittyviä yksittäisiä komponentteja. Todellisessa testitilanteessa testauslaitteisto koostuu näiden komponenttien yhdistelmästä, riippuen käytetystä mittausmetodista. Kuva 12 havainnollistaa mittausasetelman periaatteen, kun testattavan laitteen porttiin syötetään häiriötä CDN:n kautta. EUT saa käyttöjännitteensä CDN:n läpi, jolloin syöttövirta kulkee suodattimen läpi eikä vuoda häiriötä sähköverkkoon. Radiotaajuushäiriölähteestä syötetään häiriö vaimentimen kautta CDN:n porttiin, josta se kytkeytyy EUT:lle menevään linjaan. Näin EUT altistuu syötettävälle häiriölle ja EUT:n toimintaperiaatteesta riippuen sen toimintaa pyritään monitoroimaan ja tätä kautta havainnoimaan mahdollisia häiriövaikutuksia.



Kuva 12. Havainnekuva testiasetelmasta, kun häiriö syötetään EUT:lle, CDN:n kautta.

Laboratorion sisäisten testausuuntausten perusteella valittiin tärkeimmät standardit, joiden vaatimukset laitteiston on täytettävä.

Hankittava laitteisto toteuttaa geneerisenpuolen (EN-61000-4-6) ja ajoneuvopuolen (ISO 11452-4 & ISO 11451-4) menetelmiä. Näitä menetelmiä toteuttaa tuoteperhestandardit, jotka antavat testitasovaatimukset.

Seuraavassa kappaleissa kuvaillaan tämän opinnäytetyön kannalta merkittäviä standardeja, joiden perusteella laitehankinta tehdään.

4.1 ISO 11451-4 Kokonaiset ajoneuvot

Menetelmästandardi ISO 11451-4 määrittelee kokonaisten henkilöautojen ja hyötyajoneuvojen sähkömagneettisen häiriön sietotestauksen, johtosarjoihin kohdistuvilla menetelmillä.

Standardi määrittelee käytettäväksi BCI-testimenetelmää taajuusalueella 100 kHz – 1 GHz ja TWC-menetelmää 400 MHz – 3 GHz taajuusalueella. Laboratorion puolikaiutonkammio on varustettu kolmen metrin mittapaikalla, joten fyysiset kokorajoitteet vaikuttavat testattavien laitteiden kirjoon. Kol-

men metrin mittapaikalle pystytään tuomaan pienikokoinen kokonainen ajonauvo tai tuotekehitys-testaukseen ajoneuvon osakokoonpano tai pienempään runkoon rakennettu ajoneuvon mukaelma täydellä sähköjärjestelmällään. Standardi antaa myös ohjeita ja mittoja testiasetelman reunaehdoista, nii TWC – kuin BCI-menetelmälle.

4.2 ISO 11452-4 Ajoneuvokomponentit

Menetelmästandardi ISO 11452-4 määrittelee johtimiin kohdistuvaa testimenetelmää ja menettelyä henkilöautojen ja hyötyajoneuvojen sähkökomponenttien häiriönsietokyvyn määrittämiseksi käyttövoimajärjestelmästä riippumatta. Kyseisen menetelmä suorittamista soveltaa eri ajoneuvo- ja ajoneuvoelektronikan tuoteperhestandardit ja direktiivit. BCI menetelmää voidaan käyttää taajuusalueella 10 kHz – 400 MHz ja TWC menetelmää taajuusalueella 400 MHz – 3 GHz.

4.3 EN 61000-4-6 Yleinen menetelmästandardi

Menetelmästandardi EN 61000-4-6 määrittelee yleisemmin sähkölaitteita koskevaa johtuvien häiriöiden testausta ja antaa ohjeita menetelmän suorittamiseen taajuusalueella 150 kHz – 80 MHz. Menetelmästandardi kuvailee testattavaa ilmiötä ja siihen liittyviä yksityiskohtia esimerkiksi testiasetelmien osalta. Tuote- tai tuoteperhestandardit antavat usein omat vaadittavat testitasot, soveltaen tämän menetelmästandardin antamia ohjeita testaamiseen liittyen.

Standardi antaa ohjeet testiasetelmaan, määrittäen laitteiden ja apulaitteiden korkeudet maapotentiaalista sekä maksimijohdinpituudet testattavan laitteen ja kytkentäyksiköiden välillä. Standardi määrittelee CDN: ien käytön kytkentä ja erotus tilanteissa.

Menetelmää voidaan suorittaa virtaclampilla, EM-clampilla tai kytketyillä suoraan häiritävään porttiin CDN: n välityksellä. Standardissa käydään kaikki vaihtoehdot läpi ja annetaan ohjeet asettelu ja kytkentä ehtoihin.

Hankittavaa mittalaitteistoa voidaan tarvittaessa käyttää myös laboratorion ulkopuolella, jos testattava asetelma on kiinteä tai se on liian iso tuotavaksi laboratorioon. Tämä seikka on tiettyihin rajoihin asti otettava teknisessä määrittelyssä huomioon.

4.4 Testausmenetelmät ja hankittavat laitteet

Geneeristen laitteiden sekä ajoneuvolaitteiden testaukseen tarvitaan yhteiseksi testikeskukseksi, joka sisältää mm. RF-generaattorin ja sopivat porttilähdöt testien kytkemisen suorittamiseen. Generaattorille tarvitaan mittaohjelmisto, jolla testausta suoritetaan ja ohjataan.

Ajoneuvo- ja ajoneuvoelektronikkastandardien laitteistoon on tavoite hankkia sekä BCI-metodin, että TWC-metodin tarvikkeet. Näin ollen häiriötä syöttävän BCI-clampin ja TWC-clampin lisäksi hankittavaksi tulee kalibrointiin tarvittava kalibrointiteline, kuormavastus, vaimentimet, impedanssisovittimet sekä tarvittavat kaapelit. Lisäksi monitorointiprobet, joiden avulla voidaan suorittaa suljetun piirin mittausta tai voidaan verifioida testin aikaista testitasoa, mikäli testi suoritetaan metodilla, jossa laitteiston kalibrointi tehdään etukäteen ennen testiä. Hankkimalla myös TWC-laitteisto pystytään palvelemaan asiakkaita laajemmalla taajuusalueella, etenkin tilanteissa, joissa säteilevän immu-

niteetin testit ovat hankalat toteuttaa. Riittävän korkeiden testitasojen saavuttamiseksi on todennäköistä, että RF-generaattorin perään joudutaan hankkimaan RF-tehovahvistin, jonka avulla haluttujen testitasojen saavuttaminen on mahdollista.

Geneeristen testien puolella arvioidaan eri kytkentäominaisuuksien omaavien CDN: ien tarvetta ja vanhojen CDN: ien sekä EM-clampin standardin mukaisuutta. Lisäksi uudet kalibrointi- ja verifiointitarvikkeet joudutaan investoimaan.

4.5 Testitasovaatimukset

Laboratorio pyrkii tekemään laitehankinnan järkevissä määrin yläkanttiin mitoitettuna, jotta laitteisto kattaisi mahdollisimman laajalti eri standardien vaatimukset. Laboratorion asiakaskunnan perusteella on tehty listaus standardeista ja niiden vaatimista testitasoista, joka ohjaa laitteiston tarjouskilpailun vaatimuksia.

EN 61000-4-6 menetelmästandardia soveltavien standardien listalta, teollisuuden safety standardi vaatii suurimmat testitasot, 20 V. LIITE 1.

Ajoneuvopuolella standardia ISO 11452-4, soveltavista standardeista, suurimmat testitasot vaativat metsäkone-standardi, jonka testitasovaatimukset perustuvat vielä kehitysversiovaiheessa oleviin vaatimuksiin. LIITE 2.

POHDINTA

Tämän opinnäytetyön perusteella Savonian EMC-laboratorio käynnistää tarjouskilpailun hankittavalle radiotaajuisten johtuvien häiriöiden sietotestilaitteistolle. Laitteiston hankinnan jälkeen opinnäytetyö tulee olemaan pohjadokumenttina ja teoriatiivistelmänä laitteiston käyttöönotolle sekä varsinaiselle testikäytölle.

Laboratorion laitehankinnat tehdään aina perustellusti ja harkiten. Laitteistot ovat merkittäviä rahallisia investointeja ja niiden testaus ominaisuudet on määriteltävä tarkasti etukäteen, jotta laitteisto toimii laboratoriolle palvelukykyisenä myös pitkälle tulevaisuuteen. Tämä opinnäytetyö antaa tarpeellista ja käyttökelpoista tietoa kyseistä laitehankintaa varten.

Opinnäytetyö auttaa lisäämään syvällisempää ymmärrystä kyseisen testimenetelmän teoriaa kohtaan sekä antaa tiiviin kuvauksen siihen liittyvistä komponenteista.

Opinnäytetyön tärkein tavoite oli tuottaa selkeä taulukko, laitteiston hankintaan vaikuttavista standardeista ja niiden vaatimista testitasoista. Tältä osin opinnäytetyön tulokset olivat onnistuneet ja taulukot ovat nähtävissä liitteissä (LIITE 1 & LIITE 2).

Opinnäytetyön tärkeimpinä työkaluina toimi eri menetelmä- sekä tuotestandardit, jotka olivat pääosin saatavilla työn aloituksesta lähtien. Muutamia standardeja hankittiin työn edetessä ja työn loppupuolella huomattiin laitteiston testimetodeja tutkittaessa, että kokonaisten ajoneuvojen menetelmästandardia ei ollut tähän mennessä otettu määrittelyssä lainkaan huomioon. Kyseinen standardi hankittiin ja saatiin mukaan opinnäytetyöhön ja laitteiston määrittelyyn.

LÄHTEET

- HackLab Jyväskylä. (2022). *HackLab Jyväskylä*. Haettu 1. 5 2023 osoitteesta <https://xn--jyvskyl-7wae.hacklab.fi/2022/02/02/yhteismuotoiset-hairiot-ja-maalenkit/>
- IEC International Electrotechnical Commission. (2016). EN 61000-4-6 Standard. European Standard. Haettu 1. 5 2023
- ISO International Standard. (2020). 11452-4. Haettu 1. 5 2023
- ISO International Standard. (2022). ISO 11451-4. Haettu 1. 5 2023
- Kiefer, L. &. (ei pvmm). Lillesand, T.M. & Kiefer, R.W.: Remote Sensing and Image. <https://foto.aalto.fi/opetus/350/k01/luento1/sms.html>. Aalto. Haettu 10. 5 2023
- SESKO. (ei pvmm). www.sesko.fi. Haettu 10. 5 2023 osoitteesta <https://sesko.fi/standardointi/sahkomagneettinen-yhteensopivuus-emc/>
- Sorri, E. (2007). www.kamk.fi. Haettu 12. 5 2023 osoitteesta EMC-Standardit.
- The EMC Shop. (2023). *The EMC Shop*. Haettu 10. 5 2023 osoitteesta <https://www.theemcshop.com/bulk-current-injection-bci-probes/1151-teseq-cip-9136a-bulk-current-injection-test-clamp.html>
- The EMC Shop. (2023). *The EMC Shop*. Haettu 10. 5 2023 osoitteesta <https://www.theemcshop.com/iso-11452-4-tubular-wave-coupler/2223-amplifier-research-bi30526-tubular-wave-coupler.html>
- Transient Specialist. (2021). *Transient Specialist*. Haettu 12. 5 2023 osoitteesta <https://transientspecialists.com/blogs/blog/conducted-rf-testing-overview-methods-equipment>
- Tukesinfo. (2022). *Tunnen tuotteeni: EMC*. Haettu 10. 5 2023 osoitteesta <https://www.youtube.com/watch?v=3YUINiAPr9g>
- Williams, T. (2017). *EMC for product designers*. Elsevier. Haettu 12. 5 2023

LIITTEET

LIITE 1. Testitasovaatimus -taulukko, muille kuin ajoneuvopuolen standardeille

YLEINEN	Uusin versio	Testitaso
Standardi	2016	
EN 61000-4-6 (menetelmä)	2016	20 V
EN 61000-6-7 (safety-related system)	2019	3 V
EN 61000-6-1 (teollisuusimmunitaatio)	2019	10 V
EN 61000-6-2 (teollisuusimmunitaatio)		3 V. & 6V in ISM
EN 60601-1-2 (medical)	SFS-EN 60601-1-2:2015/A1:2021:en	3 V
ETSI EN 301 489-1 (radio equipment)	ETSI EN 301 489-1 V2.2.3 (2019-11)	3 V
ETSI EN 300 386 (tele communication network equipment)	ETSI EN 300 386 V2.2.1 (2022-09)	3 V
EN 60533 (marine)	BS IEC 60533:2015	3 V
EN 61547 (lightning equipment)	EN 61547:2009 (2009, kumottu) -> IEC 61547:2020. O	3 V

0.15 - 80 MHz, 80% AM 1 kHz

LIITE 2. Testitasovaatimus -taulukko, ajoneuvopuolen standardeille

AJONEUVO		Lusin versio		Testitaso
Standard		ISO 11452-4		
ISO 11452-4 (menetelmä)		ISO 11452-4:2020		
E-sääntö nro. 10 (ajoneuvojen tyyppihyväksyntä)		REV 6 + amd 1 & 2		Ei erillisiä testitasoa. Suoritetaan 11452-4 menetelmää noudattaen ESA: 48 mA BCI.
EN 15194 (sähköpyörät)		SFS-EN 15194:2017		48 mA Bci. 22,5 dbm TWC.
ISO 13766-1 (maalla liikkuvat koneet)		ISO 13766-1:2018		
ISO 13766-2 (maalla liikkuvat koneet, safety)		ISO 13766-2:2018		TWC: 20-80MHz 25dBm/AM 80-800MHz 27dbm/AM. 800-1000MHz 27 dbm/PM. According 11452-4 ESA: TWC according 11452-4. 27dBm/AM/PM
ISO EN 14982 (metsäkone EMC)		BS EN ISO 14982:2009 → ISO/DIS 14982-		ISO 11452-4: TWC 400-800MHz Multi: 22,5dBm AM Single 24,5 dBm AM TWC 800-3000MHz Multi: 22,5dBm PM Single 24,5 dBm PM
ISO EN 14982 (metsäkone EMC)		EN ISO 14982:2009 → ISO/DIS 14982-2:3		ISO 11451-4: BCI 20 MHz - 400 MHz Multiple sample: 48 mA, AM Single sample: 60 mA, AM ISO 11451-4: BCI 20 MHz - 800 MHz Multiple sample: 100 mA, AM Single sample: 125 mA, AM BCI 800 MHz - 1000 MHz Multiple sample: 100 mA, PM Single sample: 125 mA, PM type1 type 1
EN 12895 (trukit)		SFS-EN 12895:2015 + A1:2018:en		ESA: ISO 11452-4 BCI 1 MHz - 400 MHz Multi: 100 mA single: 125mA AM TWC 400 MHz -800 MHz Multi: 25 dBm Single 27 dBm AM 800MHz - 3000 MHz Multi: 25 dBm Single 27 dBm PM type 1 2 Note: It is allowable to exceed the 400 MHz frequency limit as defined in ISO 11451-4.

LIITE 3. Yhteenveto laboratoriolle tehdystä loppuraportista.

JOHTUVIEN RADIOTAAJUISHÄIRIÖISTEN SIETOMENETELMIEN KALUSTOHANKINNAN TEK- NINEN MÄÄRITTELY

- laitteiston ja mittausohjelmiston käyttämät menetelmästandardit
 - o IEC EN 61000-4-6 (2016)
 - o ISO 11451-4 (2022)
 - o ISO 11452-4 (2020)
- RF-generaattori / laitteiston testausyksikkö + mahdollinen tehovahvistin
- Menetelmäkohtaiset laitteet
 - o IEC EN 61000-4-6. Testitaso 20 V.
 - EM-clamppi (vanha clamppi std:n mukainen)
 - CDN: t (valittava laitetoimittajan listasta tarvittavat)
 - kalibrintiadapterit (2kpl?, 100ohm?)
 - kuormavastus (50 Ω?)
 - 6 dB vaimennin generaattorin RF-lähtöön
 - kalibrintikaapeli clampille
 - virtaclamp?
 - o ISO menetelmät
 - BCI:
 - BCI -clamppi & Fixture
 - Current Monitoring Probe & Fixture
 - Tarvittava vaimennin ja kuormavastus
 - 150Ω to 50Ω BCI impedanssiadapteri?
 - TWC
 - Tubular wave coupler -clamppi
 - tarvittava vaimennin ja kuormavastus
 - calibration fixture

ISO 11451-4: BCI 20 MHz – 800 MHz Multiple sample: 100 mA, AM Single sample: 125 mA, AM BCI 800 MHz – 1000 MHz Multiple sample: 100 mA, PM type1 Single sample: 125 mA, PM type 1	ISO 11452-4: TWC 400-800MHz Multi: 25,5dBm AM Single 27,5 dBm AM TWC 800-1200MHz Multi: 25,5dBm PM type1 Single 27,5 dBm PM type1	ESA: ISO 11452-4 BCI 1 MHz - 400 MHz Multi: 100 mA single: 125mA AM TWC 400 MHz -800 MHz Multi: 25 dBm Single 27 dBm AM 800Mhz - 3000 MHz Multi: 25 dBm Single 27 dBm PM type 1-2
---	---	--

Taulukko 1. BCI- ja TWC -laitteiden testitasovaatimukset.