



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Juho Heittola

LEVYNTYÖSTÖKONEEN EMC-SUOJAUS

Tekniikka
2021

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Juho Heittola
Opinnäytetyön nimi	Levyntyöstökoneen EMC-suojaus
Vuosi	2021
Kieli	suomi
Sivumäärä	36 + 0 liitettä
Ohjaaja	Jani Ahvonen

Opinnäytetyön tavoitteena oli löytää keinoja mitata levyntyöstökoneen sähkömagneettisia häiriöitä standardien EN 61000-6-2 sekä EN 61000-6-4 mukaisesti. Löytää tarvittavat mittausvälineet sekä selvittää oikeat mittaustavat johtuville häiriöille ja löytää mahdolliset parannuskohteet. Mahdollisuus mitata johtuvia häiriöitä auttaisi tulevaisuuden tuotesuunnittelussa. Mittaukset on tarkoitus pystyä suorittamaan Finn-Power Oy:n tiloissa, mikä sulkee pois säteilevien häiriöiden mittaukset EMC-mittaushuoneen puutteen vuoksi.

Työ keskittyy sähkömagneettisen säteilyn luonteeseen ja antaa lukijalle pienen kosketuksen sähkömagnetismin teoriaan. Finn-power Oy ei omistanut opinnäytetyön aikana tarvittavia mittavälineitä mittausten suorittamiseksi, joten parannusehdotukset ovat täysin teoreettisia.

Avainsanat

EMC, levyntyöstökone, standardi, suojaus, sähkömagneettinen yhteensopivuus

ABSTRACT

Author	Juho Heittola
Title	Sheet Metal machinery EMC-protection
Year	2021
Language	Finnish
Pages	36 + 0 Appendices
Name of Supervisor	Jani Ahvonen

The purpose of this thesis was to discover ways to measure the electromagnetic interference of a sheet metal machinery in accordance with the standards EN 61000-6-2 and EN 61000-6-4. Find the necessary measuring instruments, measuring methods for conducted emissions and to find possible areas for improvement. Being able to measure the resulting disturbances would help in future product design. The measurements are to be able to be performed at Finn-Power Oy's premises, which excludes measurements of radiated disturbances due to the lack of an EMC-measurement room.

The work focuses on the nature of electromagnetic radiation and give the reader little insight on the theory of electromagnetism. During the thesis Finn-Power Oy did not own the necessary measuring instruments to perform the measurements, so the suggestions for improvement are completely theoretical.

Keywords EMC, sheet metal machine, standard, protection, electromagnetic compatibility

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

LYHENTEET JA MERKINNÄT

LIITELUETTELO

1	JOHDANTO.....	9
2	MIKÄ ON LEVYNTYÖSTÖKONE?.....	10
3	SÄHKÖMAGNEETTINEN SÄTEILY	11
	3.1 Säteilyn historia.....	11
	3.2 Säteilyn teoria	11
	3.3 Säteilyn eteneminen	12
	3.4 Säteilyn vaikutukset	12
4	SÄHKÖMAGNEETTINEN YHTEENSOPIVUUS	14
	4.1 Johtuvat emissiot	14
	4.1.1 Differentiaalitila (Differential mode)	16
	4.1.2 Yhteismuotoinen tila (common mode).....	17
	4.2 Säteilevät emissiot	17
5	SUOJAUSTAVAT	19
	5.1 Suodattimet	19
	5.2 Alipäästösuodatin	19
	5.3 Kaapeliferriitti	21
	5.4 Kaapelin säteily	21
	5.5 Kotelointi.....	22
	5.6 Suodattimen asennus	22
6	LEVYNTYÖSTÖKONEEN EMC	24
	6.1 Säädökset	24
	6.2 Standardien raja-arvot	24

6.3	Sähkömagneettiset häiriölähteet	25
6.3.1	Sähkökaapit	25
6.3.2	Kaapelikourut ja reitit	26
6.3.3	Servokortit.....	27
7	MITTAJÄRJESTELMIEN KUVAUS.....	28
7.1	Keinoverkko	28
7.2	Mittausvastaanotin	29
7.3	Spektrianalysointilaite	29
7.4	Mittausten toteutus.....	30
7.4.1	Yhteismuotoisten virtojen mittaus kaapeleista	30
7.4.2	Johtuvien häiriöiden mittaus	32
8	YHTEENVETO	33
9	LÄHTEET	34
10	LIITTEET.....	36

KUVA-, TAULUKKO- JA KAAVALUETTELO

Kuva 1. Shear Genius 16.2 lävistyskone. /2/	10
Kuva 2. Sähkömagneettisen säteilyn reagointi materiaan.	12
Kuva 3. Johtuvien häiriöiden rajat. (CISPR 22)	15
Kuva 4. Häiriön eri muodot. /15/	16
Kuva 5. Differentiaalinen kytkeytyminen.	16
Kuva 6. Yhteiskytyminen.	17
Kuva 7. Säteilevien häiriöiden rajat. (CISPR22)	18
Kuva 8. Alipäästösuodatin. (LC)	20
Kuva 9. Snap-on kaapeliferriitti, Starelec Oy	21
Kuva 10. Suodattimen väärä asennus.	22
Kuva 11. Suodattimen oikea asennus.	23
Kuva 12. Päävirransyöttö.	25
Kuva 13. Kaapelikouru sekä ylärungon kaapelireitti.	26
Kuva 14. Servokortit.	27
Kuva 15. R&S ENV 432 32A ja LISN piirikaavio. /7/	28
Kuva 16. R&S mittausvastaanotin ESRP3. /8/	29
Kuva 17. R&S Spektrianalysaattori FSL. /8/	30
Kuva 18. Korkeataajuinen pihtianturi.	31
Kuva 19. Yhteismuotoisen virran mittaus. /9/	31
Kuva 20. Johtuvien häiriöiden mittaus lohkoaviona. /9/	32
Taulukko 1. EMC-käyttöjen luokitus.	24
Taulukko 2. Johtuvien häiriöiden mittaustulokset L1	36
Taulukko 3. Johtuvien häiriöiden mittaustulokset L2	36
Taulukko 4. Johtuvien häiriöiden mittaustulokset L3	36

LYHENTEET JA MERKINNÄT

EMC	Electromagnetic Compatibility, sähkömagneettinen yhteensopivuus
EMI	Electromagnetic Interference, Sähkömagneettinen häiriö
ESD	Electrostatic discharge, Sähköstaattinen purkaus
EUT	Equipment under test, testattava laite
LISN	Line Impedance Stabilization Network
RFI	Radio-frequency interference, Radiotaajuinen häiriö
QP	Quasi-peak mittaustapa
dB	Desibeli

LIITELUETTELO

LIITE 1. Kolmannen osapuolen mitaamat häiriöt.

1 JOHDANTO

Finn-Power Oy on maailmanlaajuisesti toimiva levytyökoneisiin ja valmistusjärjestelmiin erikoistunut yritys, jonka toimitilat sijaitsevat Seinäjoella. Yritys perustettiin vuonna 1969, minkä jälkeen sinisiä koneita on toimitettu yli 70 maahan. Vuonna 2017 viennin osuus tuotannosta oli 90,6 %. Suomessa Finn-Powerilla työskentelee 400 henkeä. Finn-Power on osa Milanon pörssissä noteerattua Prima Industrie -konsernia, joka on 450 miljoonan euron liikevaihdolla alansa suurimpia yrityksiä maailmassa. Finn-Power Oy valmistaa Prima Power -tuotemerkillä koneita. /2/

Tehtäväni tässä työssä oli selvittää levyntyöstökoneelle mahdolliset EMC-mittaustavat standardeja noudattaen, mittaustavan kuvaus sekä tarvittavat mittausvälineet.

Teoriaosuudessa selvitetään sähkömagneettisen säteilyn luonnetta, sen fysikaalisia ominaisuuksia ja niiden vaikutusta komponentteihin.

Standardeissa keskitytään tehdasympäristöön säädettyihin standardeihin EN 61000-6-2: 2005(sähkömagneettinen yhteensopivuus, yleinen standardi) Sähköstaattinen purkaus (ESD), sekä sähköinen transientti- ja syöksyaaltosietotesti. EN 61000-6-4:2007 + A1(2011) Johtuvat emissiot.

2 MIKÄ ON LEVYNTYÖSTÖKONE?

Shear Genius 16.2 (SG) (Kuva 1.) on Finn-Powerin sähköservotoiminen NC-ohjattu ohutlevylävistyskone, missä on integroitu lävistys ja kulmaleikkaus. Ohutlevypeltiä lastataan sekä puretaan automaattisesti. Kone käsittelee ohutlevypeltiä pitäen siitä kiinni koordinaattipöydän kynsillä ja iskemällä siihen reikiä tai muotoja iskutyökaluilla. Työkalurevolveriin on mahdollista valita haluamansa työkalut, jolla isketään ohutlevypellin läpi reiät tai muodot. Kulmaleikkuri mahdollistaa neliskanttisten osien suoran leikkauksen levystä. Levyntyöstökoneeseen pystytään liittämään erilaisia konekokonaisuuksia, tarjoten monipuolisia vaihtoehtoja yrityksille.



Kuva 1. Shear Genius 16.2 lävistyskone. /2/

3 SÄHKÖMAGNEETTINEN SÄTEILY

3.1 Säteilyn historia

Nykypäivänä sähkömagneettinen yhteensopivuus on yleinen ongelma suunnittelussa sekä yhteiskunnassa. Sähkömagneettinen yhteensopivuus ei kuitenkaan ollut iso ongelma ennen 1930-lukua, koska silloin vielä mikään muu laite ei tuottanut sähkömagneettista säteilyä kuin luonnollisista syistä johtuvia häiriöitä, kuten salamaniskuista tai auringonpilkuista. Tuona aikana sähkömagneettiseen säteilyn tutkimiseen käytettiin vain vähä vaivaa. 1930-luvulta eteenpäin alkoi ihmisten rakentamat säteilyä tuottavat laitteet yleistyä. Tämä aiheutti sen, että sähkömagneettista yhteensopivuutta alettiin tutkia tarkemmin.

Vuonna 1933 perustettiin ensimmäinen kansainvälinen sähkömagneettiseen säteilyyn puuttuva komitea. (kansainvälinen radiohäiriöiden erityiskomitea CISPR) /9/

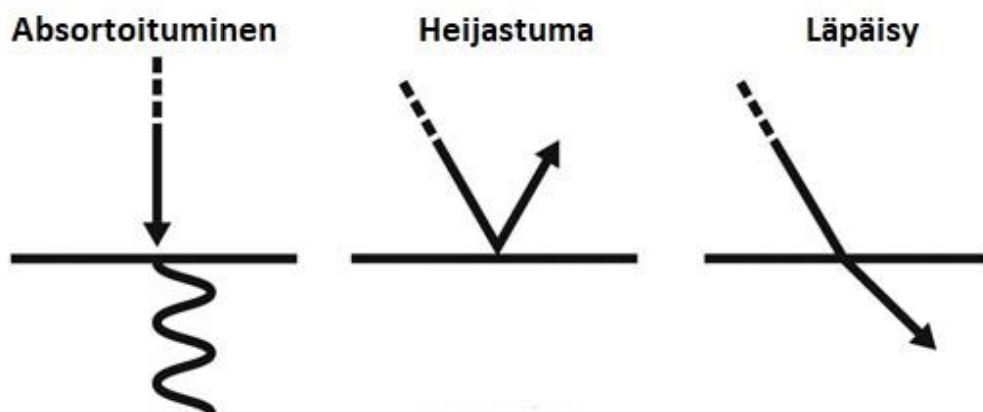
3.2 Säteilyn teoria

Sähkömagneettinen säteily on poikittaista säteilyä, joka etenee suoraviivaisesti valon nopeudella tyhjiössä, $c=299\,792\,458\text{ m/s} \approx 3 \times 10^8\text{ m/s}$. Sähkömagneettisen säteilyn syntymekanismeja on useita: sähkökentän jarruttama varaus synnyttää jarrusäteilyä, magneettikentässä kiertävä varaus aiheuttaa synkrotronisäteilyä jne. Nimensä mukaan sähkömagneettinen säteily koostuu ”värähtelevästä sähkö- ja magneettikentästä, jotka ovat 90-asteen kulmassa toisiinsa ja etenemissuuntaansa nähden, värähtelyn taajuus on f ja aallonpituus $\lambda=c/f$. Sähkömagneettisen energiapaketin, eli kvantin energiamäärä E on $E=hf$, jossa $h = 6,6256 \times 10^{-34}\text{ Js}$ on Planckin vakio. Sähkömagneettinen säteily onkin vain hienompi nimitys valolle, sille valolle, joka antaa värit luonnolle kuin myös sille valolle, jota emme näe, mutta tunnemme lämpönä auringon paistaessa.” /1,16/

3.3 Säteilyn eteneminen

Sähkömagneettinen säteily etenee värähtelevänä energiapakettina, jota voidaan erilaisissa tapauksissa käsitellä joko liikkuvana pistemäisenä objektina tai joissain tapauksissa etenevänä aaltona. Aalto-hiukkasdualismi on nimitys säteilylle, joka etenee samalla tavalla kuin pisara tiputettaisiin veteen, eli aaltomaisesti. Kumpikin yllä mainituista säteilyn etenemistavoista reagoi eteen tulevaan materiaan tyhjiössä tai muussa väliaineessa ja on vuorovaikutuksessa sen kanssa. /9/

”Siitä miten sähkömagneettinen säteily on vuorovaikutuksessa materian kanssa, riippuu säteilyn taajuudesta f , sen energiasta E , sekä materian atomi- ja molekyyli-rakenteesta, jonka kanssa fotonit ovat vuorovaikutuksessa. Säteily (Kuva 2.) voi törmätä materiaan ja heijastua takaisin, se voi myös absorboitua esteeseen, osittain tai kokonaan, jonka seurauksena säteily pääsee myös kulkemaan materian läpi, osittain tai kokonaan.” /1,16/



Kuva 2. Sähkömagneettisen säteilyn reagointi materiaan.

3.4 Säteilyn vaikutukset

”Sähkömagneettisen säteilyn luonne ja kaavat pätevät sähkömagneettiseen spektriin kokonaisuudessaan. Opinnäytetyön kannalta ei ole kuitenkaan oleellista käsitellä säteilyä koko spektrin laajuudelta, vaan keskittyä standardeissa määriteltyihin radiotaajuuksiin. Radioaaltojen taajuusalue voidaan rajata alueelle 3 kHz-300 GHz.” /1,16/

Radioaaltojen aallonpituudet eroavat muista sähkömagneettisen spektrin osista. Eroavaisuudet aallonpituudessa vaikuttavat tapaan, jolla aallot vaikuttavat aineeseen. Radioaallon energiakvantti on 1 THz:n taajuudellakin vain 4 meV, kun biologisen aineen molekyylin ionisoimiseen tarvitaan vähintään 12 eV:n energia. Tästä voimme todeta, että radioaallot ovat ei ionisoivia, eli ne eivät aiheuta syöpää, mutta lämpövaikutukset voivat olla vaarallisia sekä haitallisia. /1/

Fotonin energia elektronivolteina:

$$E(\text{eV}) = 1.24 (\text{eV } \mu\text{m}) \lambda(\mu\text{m}) \quad (2.1) \quad E(\text{eV}) = \frac{1,24(\frac{\text{eV}}{\mu\text{m}})}{\lambda(\mu\text{m})} \quad (1)$$

Missä "arvo 1.24 saadaan kertomalla fotonin energia hc yhdellä elektronivoltilla"/1/, paras nykyisin tunnettu likiarvo on $1 \text{ eV} = 1.602 \ 176 \ 565(35) \times 10^{-19} \text{ J}$

Elektronivoltti (eV) on suuruudeltaan energiamäärä, jonka elektroni saa kulkiessaan tyhjiössä yhden voltin suuruisen potentiaalieron lävitse. Valtioneuvosto on asettanut työntekijöiden suojaksi suosituksia säteilyn määristä. Vuonna 1985 on tullut ensimmäiset säteilylle altistumis- suositukset, uusin asetus on tullut voimaan 1.7.2016 /11/

4 SÄHKÖMAGNEETTINEN YHTEENSOPIVUUS

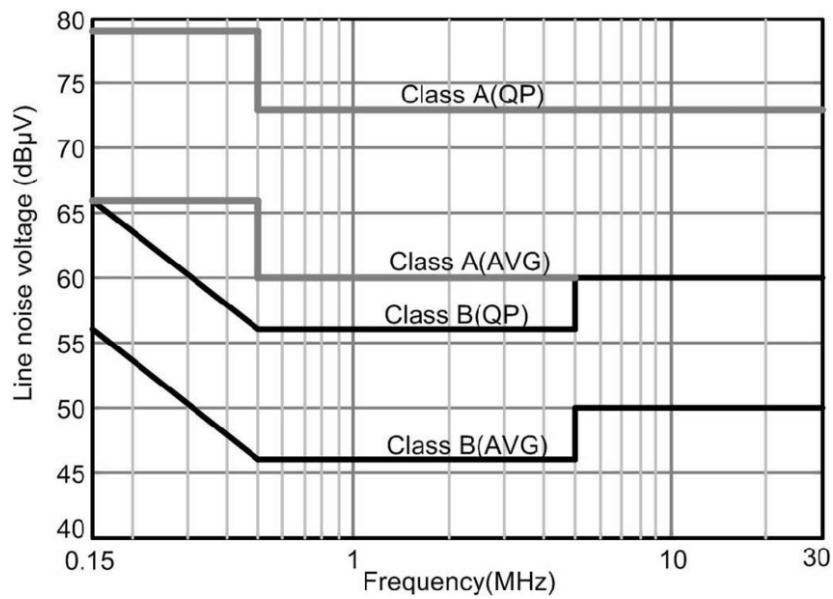
Sähkömagneettista säteilyä kontrolloidaan sähkömagneettisella yhteensopivuudella (EMC). Tämä on määritelty ”laitteen, laiteyksikön tai järjestelmän kykyä toimia tyydyttävästi sähkömagneettisessa ympäristössä aiheuttamatta sietämätöntä sähkömagneettista häiriötä käyttöympäristössään.”
/10/

Suunnitellessa tuotetta on tärkeää tiedostaa käytettävän laitteen käyttöympäristö ja kategoria, mihin valmistettava laite luokitellaan. Teollisuuden sähkölaitteille on EU-direktiivin mukainen EMC-standardi, joka eroaa kuluttajakäyttöön suunnatuille sähkölaitteille. Laitevalmistajan on huomioitava myös kohdemaan, tai -alueen EMC-vaatimukset, että minimistandardit täytyisivät.

Mittauksen ja analyysin helpottamiseksi oletetaan, että säteilypäästöt hallitsevat yli 30 MHz taajuuksissa ja johtuvat päästöt vallitsevat alle 30 MHz taajuuksissa. 30 MHz taajuudessa ei tietenkään ole äkillistä muutosta, mutta tyypilliset kaapelin pituudet yleensä resonoivat yli 30 MHz taajuuksissa. /4/

4.1 Johtuvat emissiot

Johtuva häiriö kytkeytyy kahden laitteen tai osan välillä johtavan galvaanisen, kapasitiivisen tai induktiivisen yhteyden kautta (**Kuva 4.**) Tyypillisesti kyseisten johtuvien häiriöiden yhteys on maajohdin tai tehonsyöttöjohtimet. Häiriöt voivat johtua korkeataajuisista- virroista, jännitteistä tai harmonisista yliaalloista. Siirryttäessä jatkuvasta tilasta toiseen syntyy muutosilmiö, jota kutsutaan transientiksi. Kaapelivaipat, liittimet ja suodattimet maadoitetaan mahdollisimman häiriöttömään maatasoon. Mitattaessa johtuvia häiriöitä kuuluu levyntyöstökone kategoriaan A ja mittaustapa on quasi-peak. /12/



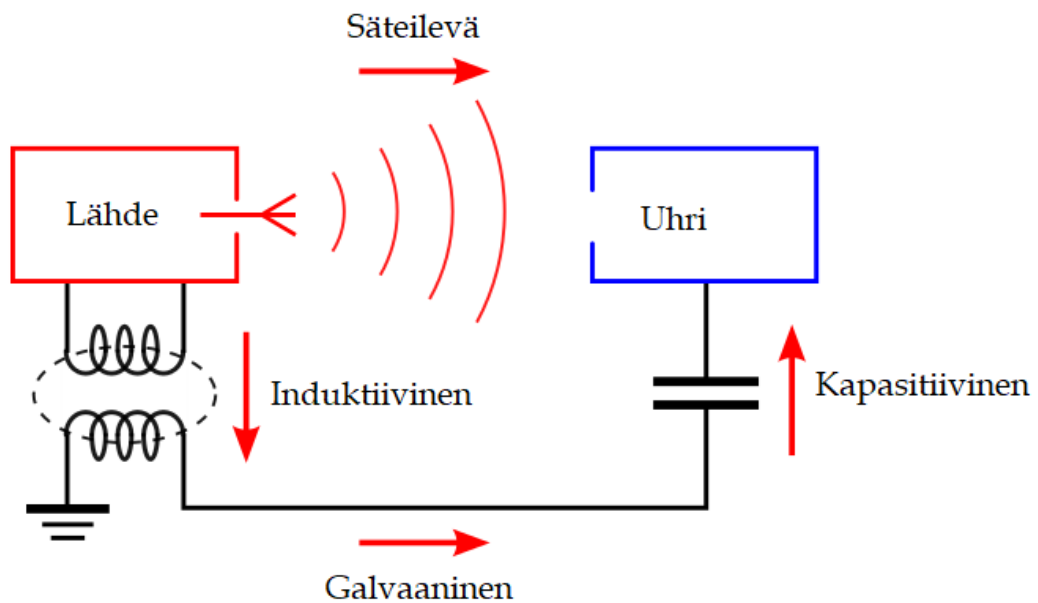
Kuva 3. Johtuvien häiriöiden rajat. (CISPR 22)

Määritetyissä raja-arvoissa (**Kuva 3.**) arvot on annettu muodossa dBμV. Arvot on desibeliarvoja, jotka ovat mitatun jännitteen ja yhden mikrovoltin suhde.

Laskukaava desibeliarvoille on:

$$dB\mu V = 20 \log_{10} \left[\frac{V}{1.0\mu V} \right] \quad (2)$$

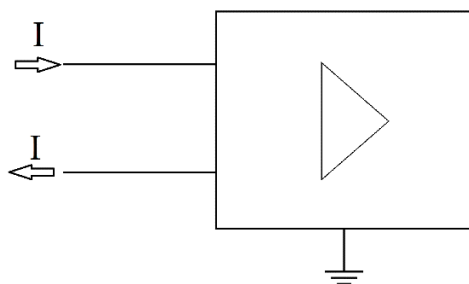
Mitatun jännitteen ja mikrovoltin suhde /5/



Kuva 4. Häiriön eri muodot. /15/

4.1.1 Differentiaalitila (Differential mode)

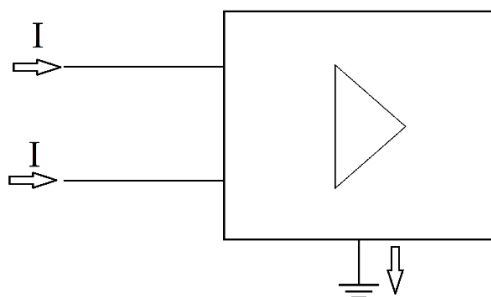
Differentiaalitulassa johdin kuljettaa signaalia kahden eri laitteen välillä kahdessa johtimessa, jotka ovat lähellä toisiaan (**Kuva 5.**) Sähkömagneettinen kenttä voi yhdistää nämä kaksi johdinta ja aiheuttaa johtimissa sähkövirran, sekä ei-toivottuja signaaleja. Ainoastaan johtimien välillä voi tapahtua differentiaalinen kytkeytyminen. /4/



Kuva 5. Differentiaalinen kytkeytyminen.

4.1.2 Yhteismuotoinen tila (common mode)

Yhteismuotoisessa tilassa kaapelin virrat kulkevat samansuuntaisesti läheisissä johdoissa (**Kuva 6.**) Ulkoinen sähkömagneettinen säteily voi aiheuttaa johdoissa sähkövirran, joka kulkee silmukkamaisessa kytkennässä johdon, maadoituspuoleen tai usean liitännäpuoleen kautta laitteen ja maan välillä. Kapasitanssi ja induktanssi, jotka liittyvät johdotuksiin ja laitteen runkoon ovat olennainen osa yhteiskytkentäpiiriä ja ovat isossa osassa amplitudin sekä spektrijakauman määrittämää yhteismuotoisia virtoja. /4/



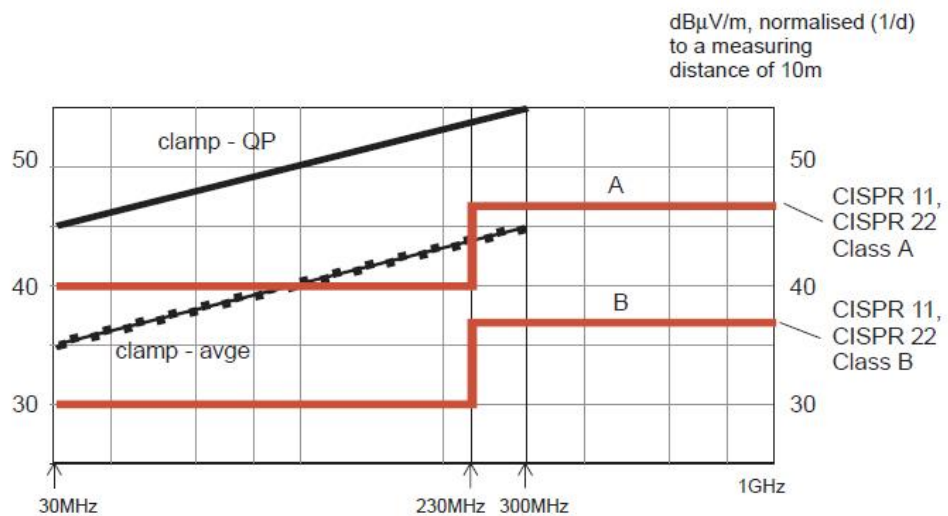
Kuva 6. Yhteiskytkentäpiiri.

4.2 Säteilevät emissiot

Kapeakaistaisia ja laajakaistaisia häiriöitä kutsutaan radiotaajuisiksi häiriöiksi (RFI) Erilaiset radiolähteet tuottavat kapeakaistaisia häiriöitä, jotka ovat puhtaita kantaaltoja. Suurin osa sähkölaitteista tuottaa laajakaistaisia häiriöitä. /12/ Vaikka johtuvia ja säteileviä emissioita käsitellään erikseen ovat ne silti liitoksissa toisiinsa. Sähkömagneettinen häiriö pystyy muuttamaan muotoansa johtuvista säteileviksi sekä toisinpäin. Jos häiriöenergia johtuu johdinta pitkin, syntyy sähkömagneettinen kenttä, josta säteilee häiriötä. Jos johtimen sekä toisen johtimen välillä on keskinäisinduktanssia tai kapasitiivista kytkentäpiiriä, säteilevä

häiriö muuntautuu takaisin johtuvaksi häiriöksi. Tästä voimme päätellä, että mikä tahansa johdin voi muuttua antenniksi ja aiheuttaa säteileviä häiriöitä. /5/

Säteilevien häiriöiden mittaaminen on paljon monimutkaisempaa kuin johtuvien häiriöiden, koska mitattavat signaalit ovat yli 30 MHz taajuuksissa. Mittalaitteilta sekä mittauspaikalta vaaditaan paljon enemmän. /5/



Kuva 7. Säteilevien häiriöiden rajat. (CISPR22)

5 SUOJAUSTAVAT

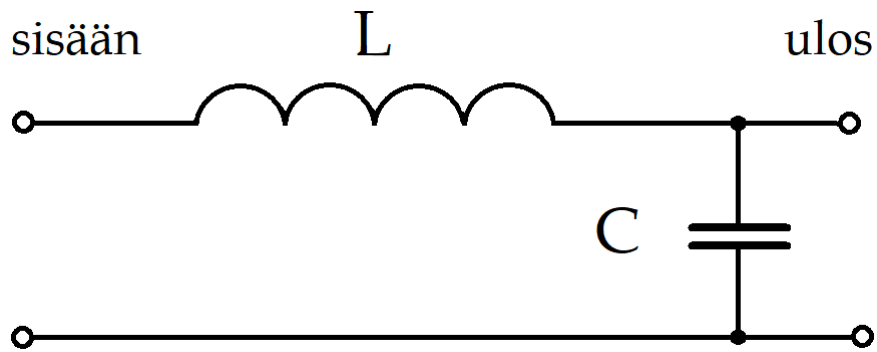
Suojaustavat säteileviltä sekä johtuvilta häiriöiltä voidaan jakaa kahteen eri kategoriaan: Aktiiviseen ja passiiviseen suojaukseen, aktiivista suojausta tulisi suosia ensisijaisesti. Suojaus aktiivisella tavalla keskittyy häiriölähteiden vaimentamiseen, jolloin vähennetään häiriötä sen alkupisteessä. Aktiivisia suojauksia ovat, esimerkiksi suodattimien käyttö, kotelointi sekä kaapeleiden häiriösuojaus. Passiivinen suojaaminen keskittyy häiriintyneen laitteen suojaamiseen. Passiivisessa suojauksessa suojaustavat ovat samoja kuin aktiivisessa suojauksessa. /9/

5.1 Suodattimet

Häiriöitä ei pystytä täysin eliminoida, koska häiriöt johtuvat laitteista tai laitteiden liitäntäjohtoja pitkin. Suodattimet on kehitetty vaimentamaan tiettyjen taajuusalueita. Suodattimet koostuvat yleensä yksittäisistä komponenteista mitkä voidaan liittää virtapiirien, verkkojen tai laitteiden väliin. Komponenttien yhteiskäyttö ohjaa häiriösignaalit maahan, josta energia haihtuu lämpönä pois. /3/

5.2 Alipäästösuodatin

EMC termeissä suodatin tarkoittaa lähes aina alipäästösuodatusta. Suodattimen tehoon vaikuttaa suodatettavan verkon impedanssit molemmissa päissä. Alipäästösuodatin (**Kuva 8.**) rakentuu kondensaattorista, mikä on kytketty maan ja lähteen välille (rinnan), sekä kelasta, joka on kytketty lähteeseen (sarjaan). Keraamiset kondensaattorit ovat parhaita suodatinkäyttöihin. Kun lähteen taajuus kasvaa, kondensaattorin vastus pienenee, eli kapasitiivinen reaktanssi (X_C) on taajuudesta riippuvainen. Kelan toiminta on päinvastoin, eli kun lähteen taajuus kasvaa kelan induktiivinen reaktanssi (X_L) suurenee. Komponenttien määrää lisäämällä saadaan lisää suodatintehoa. Yhdistellen näitä komponentteja saadaan häiriösignaalit ohjattua maahan. /13/



Kuva 8. Alipäästösuodatin. (LC)

Kapasitiivinen reaktanssi /13/

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

X_C = Kapasitiivinen reaktanssi (Ω)

f = lähteen taajuus (Hz)

C = Kondensaattorin kapasitanssi (F) (3)

Induktiivinen reaktanssi /13/

$$X_L = 2\pi f L$$

X_L = Induktiivinen reaktanssi (Ω)

f = lähteen taajuus (Hz)

L = kelan induktanssi (H) (4)

5.3 Kaapeliferriitti

Yhteismuotoisessa tilassa kaapeleiden suojavaipat ovat syylliset suureen osaan säteilevistä häiriöistä. Yleisesti käytössä oleva tapa on lisätä kaapeliferriitti (**Kuva 9.**) kaapelin ympärille, normaalisti juuri ennen kaapelin poistumista kotelosta. Kaapeliferriitti kasvattaa tehokkaasti kaapelin korkeataajuisista impedanssia yhteismuotoisissa virroissa vaikuttamatta differentiaalitilan (signaalin) virtoihin. /4/ Kaapeliferriitti on helppo lisätä jo olemassa oleviin johdotuksiin, useat ferriitit pystytään halkaista ja asentaa suoraan kaapelin ympärille.



Kuva 9. Snap-on kaapeliferriitti, Starelec Oy

5.4 Kaapelin säteily

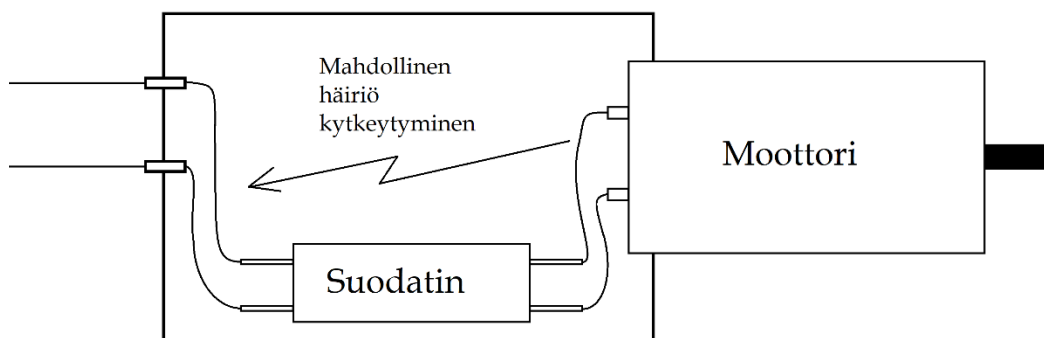
Yleisin yhteismuotoisen tilan säteily häiriö on kaapelin säteily. Säteilevät taajuudet määräytyvät yhteismuotoisen tilan potentiaalista (yleensä maan jännite). Yhteismuotoisen tilan säteily ei välitä minkälaiseen tarkoitukseen kaapelia käytetään, vain sillä on väliä, että kaapeli on kytketty järjestelmään ja kaapeli on jollain tavalla yhteydessä maahan. Säteilevien häiriöiden taajuudet eivät ole liitoksissa kaapelissa kulkevien tarkoituksellisten signaalien kanssa. Yhteismuotoisia häiriöitä kaapeleissa voidaan kuvata dipolisina tai monopolisina antennina. Johtimet toimivat sekä säteilyn lähetys- että vastaanottoantennina. Antennivaikutus on tehokkain taajuuksilla, ”joilla johtimen pituus on signaalin aallonpituuden neljäsosan monikerta $(n \frac{\lambda}{4})$ ”/12/. Turvallinen johtimen pituus on alle $1/20$ suuritaajuisimman signaalin aallonpituudesta. Suurin sallittu yhteismuotoisen tilan virta 1 m pituisessa kaapelissa on $15 \mu\text{A}$ /9/

5.5 Kotelointi

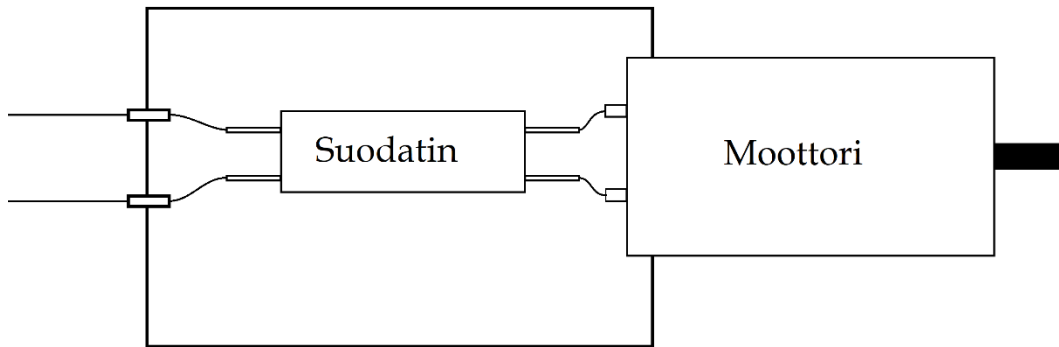
Kotelointia voidaan käyttää ohjaamaan sähkömagneettisten kenttien etenemistä. Säteileviä häiriöitä pystytään pienentämään metallisten suljettujen koteloiden avulla. Kotelointeja suunniteltaessa pitää ottaa huomioon häiriön vuotaminen aukkopaikoista sekä liitoskohdista. Turvallisuusmääräykset vaativat, että sähkölaitteiden metallikuori tai muut kosketeltavissa olevat metalliosat ovat maadoitettuja. Sähkömagneettisen yhteensopivuuden kannalta tulee kone ottaa huomioon kokonaisuutena. Yhdenkin piirin puutteellinen maadoitus saattaa pilata koko järjestelmän toiminnan. /12/

5.6 Suodattimen asennus

Suodatin tulisi asentaa mahdollisimman lähelle kaapelin sisääntuloa ja suodattimen hyvä maadoitus on kriittistä. Suodattimen oikea asennuspaikka (**Kuva 10.**) estää häiriöiden säteilyn kaapelista viereisiin johtimiin. Jos suodatin asennetaan väärään paikkaan (**Kuva 11.**), voi se pahimmassa tapauksessa olla sama kuin ei olisi suodatinta lainkaan. /9/



Kuva 10. Suodattimen väärä asennus.



Kuva 11. Suodattimen oikea asennus.

6 LEVYNTYÖSTÖKONEEN EMC

6.1 Säädökset

Tässä työssä keskitymme Johtuvien häiriöiden mittaamiseen päävirransyötöstä EN 61000-6-4 conducted emissions, mittaustavan määrää standardi EN 55011. ESD-sietotesti mitataan standardin EN 61000-4-2 sekä Transientti- ja syöksyaaltotesti EN 61000-4-4 mukaan. Säädöksissä määrätään myös säteilevien häiriöiden mittaaminen, mutta se ei ole mahdollista ilman tarkasti valvottua ympäristöä.

6.2 Standardien raja-arvot

Standardeissa on määritelty tarkat raja-arvot, joita ei saa ylittää koneen normaalissa käytössä. Levyntyöstökone kuuluu luokkaan C2 (**Taulukko 1.**), eli vaadittavat standardit tulevat teollisuusstandardien puolelta.

Taulukko 1. EMC-käyttöjen luokitus.

Luokka	Käytön kuvaus
C1	Nimellisjännite alle 1000 V. Asennuskohteena ensimmäinen käyttöympäristö.
C2	Nimellisjännite alle 1000 V. Laite ei ole plug-in -tyyppinen eikä siirrettävä. Mikäli laite on tarkoitettu käytettäväksi ensimmäisessä käyttöympäristössä, asennus vaatii ammattilaisen.
C3	Nimellisjännite alle 1000 V. Asennuskohteena vain ja ainoastaan toinen käyttöympäristö.
C4	Nimellisjännite tai -virta vähintään 1000 V / 400 A tai tarkoitettu käytettäväksi toisessa käyttöympäristössä sijaitsevassa monimutkaisessa systeemissä.

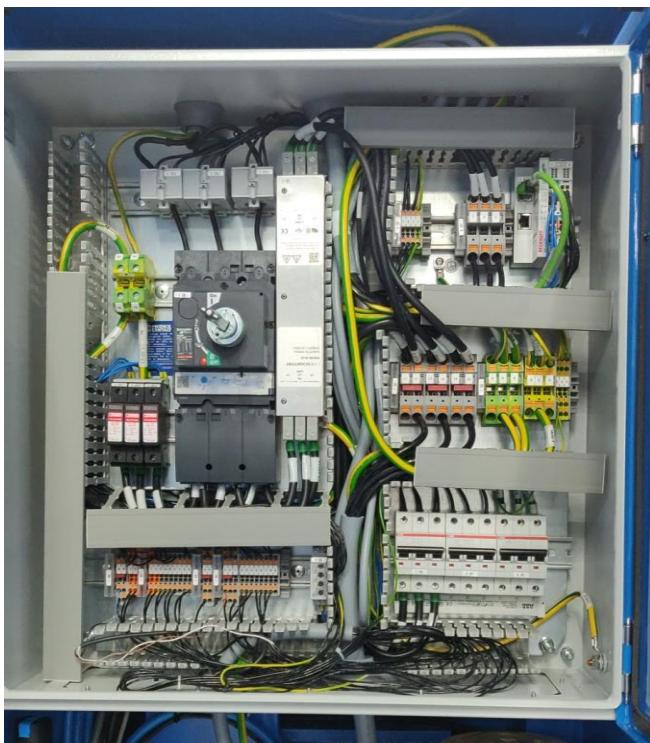
Johtuville häiriöille on annettu standardissa EN 31000-6-4 kuvan 7 mukaiset raja-arvot, class A ja mittaustapa QP. Electrostatic discharge (ESD) -standardin mukaisesti, testattava laite ei saa reagoida annettaviin sähköstaattisiin purkauksiin. Transientti- ja syöksyaalto mittauksissa on samat raja-arvot kuin ESD testauksissa.

6.3 Sähkömagneettiset häiriölähteet

Levytyöstökone koostuu useista eri komponenteista muun muassa, releistä, kontaktoreista, taajuusmuuttajista sekä erilaisista puolijohdekomponenteista. Komponentit on asennettu metallisiin sähkökaappeihin ja osa kiinni koneen rungossa. Sähkömagneettista häiriötä aiheuttavat kaikki sähkökomponentit.

6.3.1 Sähkökaapit

Sähkökaapeissa (**Kuva 12.**) pitää kiinnittää huomiota riittävään maadoitukseen, esimerkiksi sähkökaapin oven maadoitus saranan kautta on riittämätön. Myös johtojen reittivalinnoilla sähkökaapin sisällä on suuri merkitys häiriöiden synnylle. Virtajohtdot mitkä eivät ole menneet vielä suodattimen läpi aiheuttavat häiriöitä johtoihin, jotka ovat suodattimen takana. Kaapeliläpiviennit olisi hyvä tehdä myös EMC-läpivientiholkeilla, jolloin faradayn häkki jatkuu kaapelin sisällä toiseen kaappiin asti. Liian suuret jäähdytysreiät päästävät kotelon läpi säteilyä, useampi pieni reikä on parempi kuin yksi suuri reikä.



Kuva 12. Päävirransyöttö.

6.3.2 Kaapelikourut ja reitit

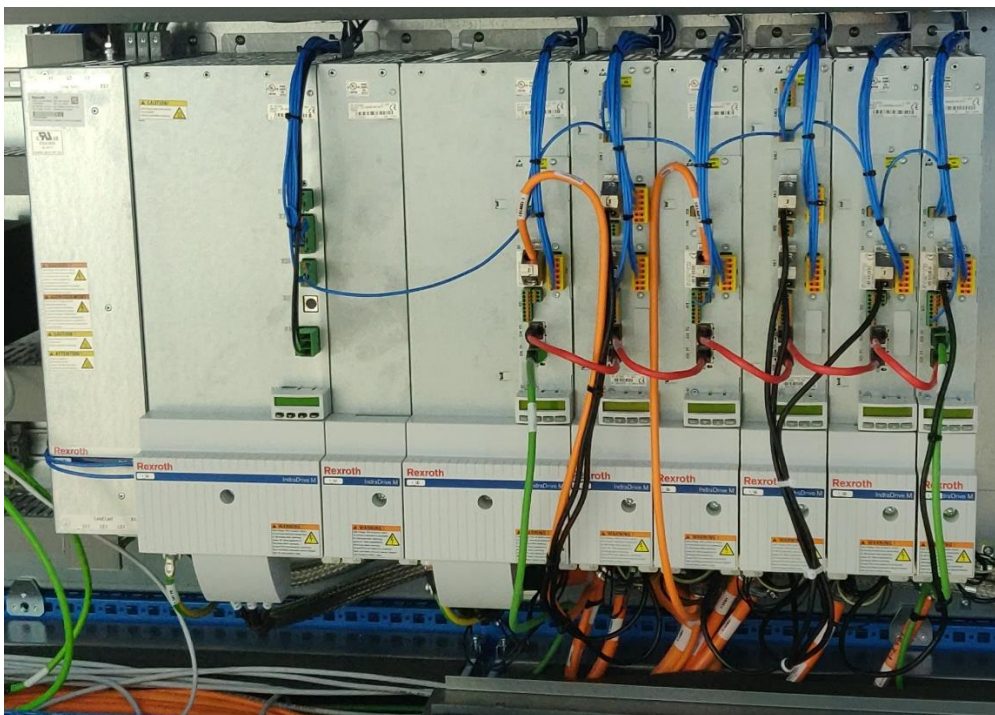
Hyvälle häiriönestolle on tärkeää, että päävirransyöttö on eristetty muista signaali- ja virtajohdoista. Kaapelit pitää erotella kaapelikouruihin (**Kuva 13.**) jännitteiden mukaisesti. Ylipitkät kaapelit on tärkeä lyhentää sopivan mittaisiksi, sillä kiepille jätetyt kaapelit aiheuttavat säteileviä häiriöitä. Kaapelikourujen maadoitus auttaa myös vähentämään säteileviä häiriöitä.



Kuva 13. Kaapelikouru sekä ylärunon kaapelireitti.

6.3.3 Servokortit

Sähkömagneettiset häiriöt servokorteilla (Kuva 14.) voivat tulla kommunikaatioväylistä, kuten Ethercatista tai CAN-väylästä myös DC/DC-muuntajat tai suuritaajuiset kellot aiheuttavat häiriöitä. Kuitenkin suurin häiriöiden lähde servokorteissa on tehoelektroniikka. Servokorttien virransyöttö on ohjattu saman valmistajan suodattimen läpi. Servokaapelit on kiinnitetty asianmukaisesti, suojavaipan päällä on johtava teippi ja 360 asteen kiinnitys servokorttiin. Hyvät maadoitukset servokorttikäytöissä ovat tärkeitä häiriöiden kannalta. /14/



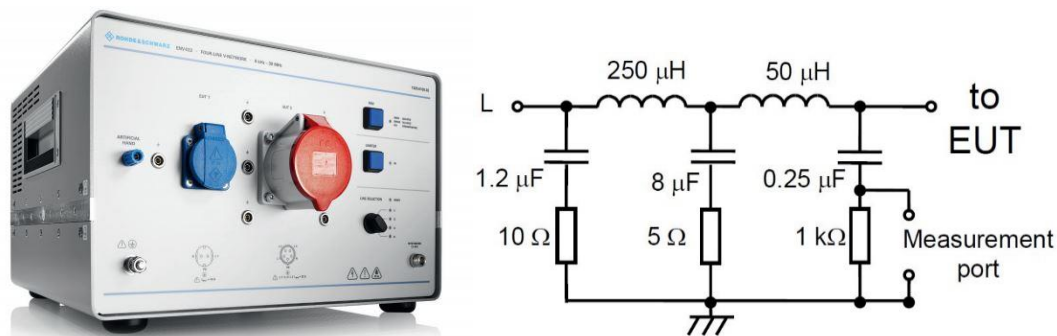
Kuva 14. Servokortit.

7 MITTAJÄRJESTELMIEN KUVAUS

Finn-Power ei omistanut opinnäytetyön aikana EMC-mittaukseen sopivia mittavälineitä, joten käyn läpi tarvittavat mittalaitteet ja mittaustavat. Mietimme aluksi mahdollisuutta tehdä testimittaukset Vaasan ammattikorkean EMC-laboratoriossa, mutta levyntyöstökoneen fyysinen koko tuli esteeksi. Lähetin tarjouspyynnön tarvittavista mittalaitteista laiteita valmistavalle yritykselle ja sain tarjouksen. Tarjous sisälsi mittauksiin tarvittavat mittalaitteet, käytän tässä kappaleessa hyväksi tarjouksesta saamiani tietoja. Mittaustavoissa en käy läpi ESD-, transientti- tai syöksyaallon mittauksia sillä ne ovat vähempiarvoisia kuin johtuvien häiriöiden mittausta.

7.1 Keinoverkko

Jotta pystyttäisiin mittaamaan johtuvia häiriöitä päävirransyötöstä, tarvitaan keinotekoinen päävirtaverkko tai linjan impedanssia vakauttava verkko (LISN), jotta käytössä olisi tiedetty impedanssi ja luotettava mittauspisteiden liittymäkohta, sekä ei-haluttujen häiriösignaalien eristämiseksi mitattavasta kohteesta. LISN impedanssi on $50 \Omega / 50 \mu\text{H}$ jokaisesta johtimesta maahan, myös muita LISN keinoverkko kombinaatioita on käytössä, mutta edellä mainittu on yleisin. Levyntyöstökoneen mittaamiseksi tarvitsemme nelikanavaisen LISN keinoverkon, esimerkiksi R&S ENV 432 32A (**Kuva 15.**) /4,8/



Kuva 15. R&S ENV 432 32A ja LISN piirikaavio. /7/

7.2 Mittausvastaanotin

Vaatimustenmukaiset testimittaukset suoritetaan yleisesti mittausvastaanottimella, mutta ne ovat liian kalliita normaalien yritysten käyttöön. Siksi niitä yleisesti löytyykin vain EMC-testilaboratoriosta. Mittausvastaanottimet on optimoitu EMC-mittauksille. Standardien vaatimien mittausten asettamat vaatimukset ovat: Taajuusalue 150 kHz:stä 30 MHz:iin, 4.5 kHz askelmilla ja kaistanleveyden resoluutio 9 kHz. Mittausvastaanottimen vaatimukset täyttävät R&S ESRP3 (**Kuva 16.**) Ensimmäiset mittausvastaanottimet olivat manuaalisesti viritettäviä ja operaattorin oli otettava mittaustulokset erikseen joka taajuudelta. Nykyään vastaanottimet ovat täysin automatisoituja ja niitä pystytään ohjaamaan PC:n kautta. /4/



Kuva 16. R&S mittausvastaanotin ESRP3. /8/

7.3 Spektrianalysaattori

Spektrianalysaattori (**Kuva 17.**) on huomattavasti halvempi kuin mittausvastaanotin ja se on yleisesti käytetty myös häiriöiden ”nopeaan vilkaisuun”. Spektrianalysaattori käy hyvin tuotekehitysvaiheessa olevien koneiden mittaamiseen. Spektrianalysaattorin taajuusalueen pitäisi olla vähintään 100 kHz - 1 GHz, maksimi pito toiminnolla. Sisääntulo impedanssin pitää olla 50 Ω. Useimmat mittaukset suoritetaan käyttäen peak-mittaustapaa, johtuvat häiriöt

täytyy kuitenkin mitata peak- ja average-mittaustoiminnoilla. Quasi-peak-mittaustapa ei ole pakollinen, vaikka onkin suotava mittaustapa. /4/



Kuva 17. R&S Spektrianalysaattori FSL. /8/

7.4 Mittausten toteutus

Tässä kappaleessa käsittelen yksinkertaisia tapoja mitata johtuvia EMC-häiriöitä. Mittaustavat soveltuvat yrityksen testilaboratorion tarpeisiin ja tarvittavat mittalaitteet ovat suhteellisen edullisia verrattuna testauslaitosten laitteisiin. Tuotekehityksen aikaisessa vaiheessa tehtyjen mittauksien hyviä puolia: /9/

- Mahdollisuudet läpäistä lopullinen vaatimustenmukaisuus testi nousee
- Suunnittelun loppuvaiheessa ei yllätyksiä EMC-mittauksissa.
- Vähentää uusintamittausten määrää testauslaitoksella.

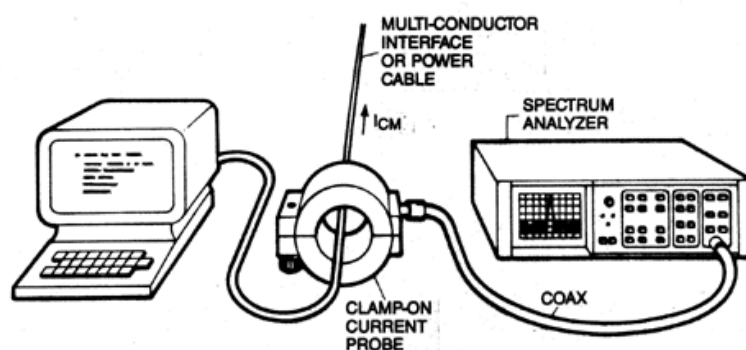
7.4.1 Yhteismuotoisten virtojen mittaus kaapeleista.

Ylivoimaisesti hyödyllisin mittaus, jonka voi tehdä on mitata yhteismuotoisen tilan virrat kaapeleista, koska kaapelit ovat suuri säteilyn lähde. Yhteismuotoisen tilan virta on helppo mitata korkeataajuisella pihtianturilla (**Kuva 18.**) mikä on liitettynä spektrianalysaattoriin. (**Kuva 19.**) Tavallisesti yhteismuotoisen tilan säteily tapahtuu alle 250 MHz taajuudella, joten tähän mittaukseen käy, esim. F-33-1

Fischercc mitta-anturi. Kaikki koneeseen liitetyt johdot tulisi mitata, koska kaikenlaisista kaapeleista voi vuotaa häiriötä. Tällä mittaustavalla on myös helppo kokeilla kaapeliferriitin vaikutusta säteilyyn. /9/



Kuva 18. Korkeataajuinen pihtianturi.



Kuva 19. Yhteismuotoisen virran mittaus. /9/

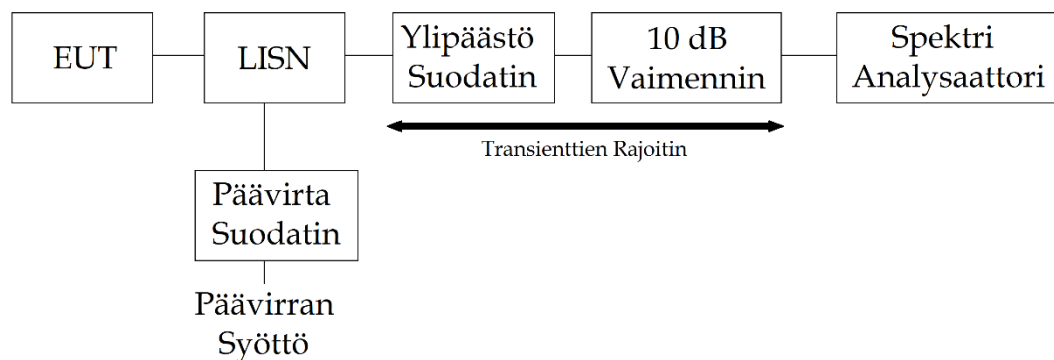
Ennen mittausten aloitusta on hyvä tehdä validointimittaus. Sulje mitattava laite ja mittaa kaapelin virta, sen pitäisi näyttää nolaa. Mittaustapa yhteismuotoisille virroille on seuraavanlainen:

- Mittaa kaapelista yhteismuotoinen virta anturilla.
- Jos virta on yli 15 μA yritä pienentää virtaa suodattimien, kaapeliferriittien tai kaapelisuojausten avulla.
- Siirry seuraavaan kaapeliin ja uusi testi, käy läpi kaikki koneeseen liitetyt kaapelit.
- Kun olet mitannut kaikki kaapelit ja päässyt raja-arvojen sisälle aloita mittaukset uudelleen, sillä virrat ovat voineet siirtyä toiseen kaapeliin.
- Kaapelit voi joutua mittaamaan jopa kolme kertaa.

7.4.2 Johtuvien häiriöiden mittaus

Johtuvien häiriöiden mittaus on myös yksinkertaista. Mittauksiin tarvitaan keinoverkko (LISN), spektrianalysaattori sekä mahdollisesti päävirtasuodatin, ylipäästösuodatin ja 10 dB vaimennin (**Kuva 20.**) Ylipäästösuodatin ja 10 dB vaimennin lisätään keinoverkon ja spektrianalysaattorin väliin estämään verkon äkillisten virtapiikkien, transienttien pääsyn spektrianalysaattorin sisääntulo mittapiiriin ja aiheuttaen vauriota tai vääriä mittatuloksia. Kuten edellisessä mittauksessa myös johtuvien häiriöiden mittaus on hyvä aloittaa validointimittauksella, eli sulje mitattava kone ja varmista ettei spektrianalysaattori näe signaalia. Jos signaali näkyy, vaikka kone on pois päältä, johtuu tämä todennäköisesti ulkoisesta virtakaapeli melusta, tällöin tulisi käyttää päävirtasuodatinta vähentämään melua. Mittaustapa johtuville häiriöille on seuraavanlainen: /9/

- Liitä mitattava kone sekä päävirtasyöttö keinoverkkoon.
- Liitä spektrianalysaattori keinoverkon jännitemittausliittimeen, jos keinoverkossa on toinen mittausliitin liitä siihen 50 Ω vastus.
- Säädä spektrianalysaattorin kaistanleveys resoluutio 10 kHz ja mittaustapa peak tai quasi-peak.
- Mittaa yhteismuotoinen jännite vaiheesta maahan sekä nollasta maahan.
- Vertaa mitattuja arvoja standardi rajoihin.



Kuva 20. Johtuvien häiriöiden mittaus lohkokaaaviona. /9/

8 YHTEENVETO

Tämä opinnäytetyö antaa lukijalle perustietoja sähkömagneettisesta yhteensopivuudesta ja antaa yleisiä neuvoja, kuinka parantaa sitä. Yrityksellä on mahdollisuus hankkia tarvittavat mittalaitteet ja tehdä yhteismuotoisten virtojen sekä johtuvien häiriöiden mittaukset opinnäytetyön ohjeiden mukaisesti.

Mitatuista häiriöistä on mahdollista päätellä raja-arvojen mukaisesti, tarvitaanko lisätoitekehitystä EMC:n osalta.

9 LÄHTEET

- /1/ Räisänen, A. & Lehto, A. 2003. Radiotekniikan perusteet. Uudistettu painos. Helsinki: Otatieto.
- /2/ Finn-Power Oy mediapankki.
- /3/ Schaffner, EMI filter design. Viitattu 5.4.2021
<https://impulse.schaffner.com/en/engineers-guide-to-designing-emi-filter>
- /4/ Williams, T. 1996. EMC for product designers, second edition. Newnes.
- /5/ Mammano, B. & Carsten, B. 2003. Understanding EMC. Viitattu 12.4.2021
http://cache.amobbs.com/bbs_upload782111/files_46/ourdev_678001JR_INN2.pdf
- /6/ Schaffner EMC/RFI suodin
<https://www.schaffner.com/product-storage/datasheets/fn3258/>
- /7/ EMC flex blog. Viitattu 12.4.2021
<http://www.flexautomotive.net/EMCFLEXBLOG/post/2015/09/14/lisn-line-impedance-stabilization-network-or-an-artificial-network>
- /8/ Rohde & Schwarz tuotesivut. Viitattu 7.5.2021
<https://www.rohde-schwarz.com/fi>
- /9/ Ott, H. 2009. Electromagnetic compatibility engineering. Wiley.
- /10/ IEC standards, IEC50 (161): BS4727: Pt 1: Group 09) Electromagnetic compatibility.
- /11/ Finlex 388/2016 Sähkömagneettisista kentistä aiheutuvat vaarat. Viitattu 15.4.2021
<https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20160388>
- /12/ ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Viitattu 25.4.2021
http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/06_0_Ylij%84nnite-%20ja%20h%84iri%94suojaus.pdf
- /13/ Syfer Technology EMI filter hints. Viitattu 26.4.2021.
https://www.mouser.cn/pdfDocs/Syfer_EMI_FilterHintsTips.pdf

- /14/ EMC häiriöt servokäytöissä. Viitattu 16.5.2021
<https://doc.ingeniamc.com/wiki/motion-wiki/electromagnetic-interference-issues-with-servo-drive-systems>
- /15/ Wikipedia, sähkömagneettinen yhteensopivuus. Viitattu 17.5.2021
https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_compatibility
- /16/ Myrskog, J. opinnäytetyö: Standardin MIL-STD mukainen EMC-suojaus. Viitattu 16.5.2021.
<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/171952/Myrskog%20Jesse.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

10 LIITTEET

LIITE 1

Taulukko 2. Johtuvien häiriöiden mittaustulokset L1

Taulukko 3. Johtuvien häiriöiden mittaustulokset L2

Taulukko 4. Johtuvien häiriöiden mittaustulokset L3