

Petri Pulkkinen

EMC-LABORATORION KYTKENTÄYKSIKKÖ

Insinööri
Kajaanin ammattikorkeakoulu
Tekniikan ala
Tietotekniikan koulutusohjelma
Kevät 2012



Koulutusala Tekniikka ja liikenne	Koulutusohjelma Tietotekniikka
Tekijä(t) Petri Pulkkinen	
Työn nimi EMC laboratorion kytkentä yksikkö	
Vaihtoehdotiset ammattiopinnot	Ohjaaja(t) Heino Jukka
	Toimeksiantaja Kajaanin ammattikorkeakoulu, EMC-laboratorio
Aika Kevät 2012	Sivumäärä ja liitteet 28 + 3
<p>Tässä insinöörityössä tutustuttiin EMC-testauslaitteistoon ja korkeataajuuksisten signaalien ohjaukseen ohjelmallisella ohjainyksiköllä. Tarkoituksena oli etsiä sopivat komponentit ohjelmalliselle ohjainyksikölle, joka tulisi ohjaamaan EMC-testauslaitteiston laitteita ja niiden signaaleita, sekä suunnitella ja toteuttaa tämä yksikkö Kajaanin ammattikorkeakoulun EMC- ja olosuhdelaboratorion käyttöön.</p> <p>Työssä pääsi tutustumaan muutamisiin signaalinohjaukseen tarkoitettuihin komponentteihin ja niiden ominaisuuksiin. Päädyttäessä Radiallin toimittamiin korkealaatuisiin RF-releisiin tärkeimpinä kriteereinä olivat kustannukset, varma ja luotettava toiminta ja helppokäyttöisyys. Ohjainmoduulia valittaessa tärkeää oli LabVIEW-ohjelmointiympäristön tuki, ja joko GPIB tai USB-liitettävyyden olivat vaatimuksena laitteelle.</p> <p>Kytkentäyksikön testaus toteutettiin piirianalysointilaiteilla. Testaustulokset olivat rohkaisevia ja niitä tarkastelemalla voidaan turvallisesti todeta, että laite ei tule häiritsemään EMC-testejä eikä muita laitteita ympärillään.</p> <p>Lopputuloksena saatiin toimiva EMC-mittauslaitteiston signaaleita ohjaava releohjainyksikkö jota ohjataan LabVIEW-ohjelman avulla. Insinöörityö täytti työlle asetetut kriteerit ja vaatimukset.</p>	
Kieli	Suomi
Asiasanat	EMC, PIN-diodi, RF-rele, korkea taajuus
Säilytyspaikka	<input checked="" type="checkbox"/> Verkkokirjasto Theseus <input checked="" type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto



School School of Engineering	Degree Programme Information Technology
Author(s) Petri Pulkkinen	
Title An EMC Laboratory Connecting Unit	
Optional Professional Studies	Instructor(s) Mr. Heino Jukka
	Commissioned by Kajaani University of Applied Sciences, EMC- and Environment Laboratory
Date Spring 2012	Total Number of Pages and Appendices 28 + 3
<p>The purpose of this Bachelor's thesis was to build a programmed controller unit for EMC test facilities. Building the controller unit was commissioned by the EMC and Environment Laboratory at the Kajaani University of Applied Sciences. Building the unit was based on the need to prevent any damage that could originate from changing the cables manually. The goal was to provide a fully functioning controller unit with a manual.</p> <p>This thesis studied a few possible ways to build the controller unit. The first step was to study different possibilities to implement the unit and then design and build the device. The design includes both the software and hardware. The relays were delivered by the company called Radiall Finland and the controlling unit for the relays by Computer Measurements. The testing for the unit was done by a network analyzer with two separated tests.</p> <p>In the testing, the controller unit provided encouraging grades. When comparing the results, it is safe to say that the unit would not disturb any other devices surrounding it. The thesis itself was complicated and versatile. Gathering the information, designing and testing offered real challenges.</p> <p>As a result, there is a fully functioning controlling unit for the EMC test facilities including the manual. All the requirements set on the thesis were met.</p>	
Language of Thesis	Finnish
Keywords	EMC, High frequency, Relay, PIN diode
Deposited at	<input checked="" type="checkbox"/> Electronic library Theseus <input checked="" type="checkbox"/> Library of Kajaani University of Applied Sciences

ALKUSANAT

Tässä insinööriyössä toteutettiin releohjattu kytkentäyksikkö ohjeineen. Työn tilasi Kajaanin ammattikorkeakoulun EMC- ja olosuhdelaboratorio. Haluan kiittää ammattikorkeakoulua tästä opettavaisesta työstä sekä laboratorion ylläpitäjää ja työn tilaajaa, Ari Pulkista mielenkiintoisesta työstä ja avuista työn tekovaiheessa.

Haluan myös kiittää Jukka Heinoa työn valvomisesta, Eero Soinista kielenhuollosta ja Kaisu Korhosta englannin kielen tuesta.

Kajaanissa 17.4.2012

Petri Pulkkinen

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 KYTKINVAIHTOEHTOJEN VERTAILU	2
2.1 PIN-diodin perusominaisuuksia	3
2.2 RF-releiden perusominaisuuksia	4
2.3 Kytkimien valinta	5
3 INSINÖÖRITYÖN SUUNNITTELU	6
3.1 Komponenttien valinta ja tilaaminen	6
3.2 Kotelon suunnittelu	8
3.3 Releiden sijoittelun ja johdotuksen suunnittelu	8
3.4 Ohjelman suunnittelu	10
4 TYÖN TOTEUTUS	11
4.1 Kotelon rakentaminen	11
4.2 Releiden sijoittaminen ja johdattaminen	13
4.3 Ohjainmoduulin lisääminen	15
4.4 Ohjelman toteutus	18
4.5 Laitteen liittäminen toimintaympäristöönsä	19
5 TESTAUS	21
5.1 Ohjelman testaus	21
5.2 Darlington-kytkennän testaus	21
5.3 Kytkentäyksikön testaus	21
5.4 EMC-testauslaitteiston testaus ja kalibrointi	23
6 ANALYSOINTI	24
7 YHTEENVETO	25
LÄHTEET	26
LIITTEET	28

LYHENNELUETTELO

AlGaAs = Aluminium gallium arsenide, Alumini GalliumArseeni, puolijohdeyhdiste

CNC = Computer Numerical Control, työkonetta jota ohjataan numeerisesti tietokoneella

DUT = Device Under Test, testauksen kohteena oleva laite

GaAs = Gallium Arsenide, Gallium Arseeni, puolijohdeyhdiste

RF = Radio Frequency, radiotaajuus, taajuusalue noin 3,0 kHz – 300 GHz

1 JOHDANTO

Tämän insinööriyön aiheena oli rakentaa ohjelmallinen ohjainyksikkö EMC-testausjärjestelmälle (Electromagnetic Compatibility). Työn tilaajana toimi Kajaanin ammattikorkeakoulun EMC- ja olosuhdelaboratorio.

Kajaanin ammattikorkeakoulun tietotekniikan koulutusohjelma tarjoaa muun muassa ajoneuvotietojärjestelmien suuntautumisvaihtoehdon. Kuten muihinkin koulutusohjelmiin, myös tähän kuuluu työharjoittelujakso. Jakson laajuus on 20 opintopistettä, joka vastaa noin 800 työtuntia. Käytännössä tämä tarkoittaa noin viiden kuukauden yhtämittaista työharjoittelujaksoa. Työharjoittelu on sijoitettu tietotekniikan opintosuunnitelmassa kolmannen opiskeluvuoden keväälle. Kajaanin ammattikorkeakoulun tiloihin on sijoitettu yksi Suomen EMC- ja olosuhdelaboratorioista, jossa myös suoritin työharjoitteluni.

Testuslaitteistossa signaalit lähtevät signaaligeneraattorilta vahvistimille sekä antennille. Koska vahvistimia ja antennia on useita, signaaleita tulee aina muuttaa. Tämä on tähän asti toteutettu käsin, mutta koska kaapeleita siirrellään, kaapeleiden ja näiden liittimet kulumat näin aiheuttaen häiriöitä. Tämän seurauksena liittimien kontaktit heikkenevät ja testituloksiin syntyy epätarkkuuksia. Kiinteät liitännät ja uudet kaapelit tuovat oikeampia tuloksia, eikä fyysistä rasitusta kohdistu enää näihin kaapeleihin.

Että jokainen signaali pääsee oikeaan paikkaansa ja mahdollisimman puhtaasti (ilman häiriöitä), on hyvä kartoittaa erilaisia vaihtoehtoja. Suurin mielenkiinto kohdistui korkealaatuisiin RF-releisiin, mutta insinööriyössä tuli miettiä myös muita mahdollisia vaihtoehtoja.

2 KYTKINVAIHTOEHTOJEN VERTAILU

Koska mahdollisia testausympäristöjä on lukuisia määriä, myös testauslaitteiston asettamia vaatimuksia on todella suuri määrä. Mitä ja miten testataan ja kuinka usein testiä tai testattavaa laitetta vaihdetaan, ovat testauslaitteiston ylläpitäjän tärkeimpiä kysymyksiä testausympäristön suunnittelu ja rakennus vaiheessa. Koska vaihtoehtoja on niin paljon, myös kytkinvaihtoehtoja on useita ja jokainen toimii toisista poiketen eri tavoin. [1.]

EMC-testien yhteydessä testattava laite (Device Under Test, DUT) joutuu yleensä vaativien olosuhteiden armoille. Olosuhteiden luomiseksi ja ylläpitämiseksi testauslaitteistolta syötettävien signaalien muodot tulee syöttää virheettömästi DUT:lle. Kaikki vaatimukset koskevat myös kytkentäyksiköitä testauslaitteen ja DUT:in välillä. [1.]

Insinööriyössä oli määritelty vain kytkentäyksikön liitettävyyden ja ohjaukseen käytettäväksi, LabVIEW-ohjelmaa. Selvitettäväksi jäi siis paras vaihtoehto, josta voitaisiin toteuttaa mahdollisimman luotettava ja helposti ohjattava kytkentäyksikkö.

EMC-testauslaitteiston taajuudet pystyivät kasvamaan parhaillaan jopa 18 GHz:iin asti ja tehot jopa sataan wattiin asti, joten tämä asetti tietyt vaatimukset laitteille. Kuitenkin kytkettävät laitteet tulevat olemaan aina odottavassa tilassa, jolloin signaaleja ei liiku laitteiden välillä, eikä näin aiheuta lisävaatimuksia kytkentäyksikölle. Käytettäväksi liittimiksi oli suotavaa saada BNC-liittimet, sillä jo olemassa olevat kaapelit käyttävät tätä liittintyyppiä.

Vertaillessa erilaisia kytkinvaihtoehtoja parhaimmiksi valikoituivat RF-releet ja PIN-diodit. Korkean taajuuden kestävyys ja suhteellisen korkea tehontarve karsi useimmat kytkinvaihtoehdot. Näistä kahdesta tuli valita parhaiten EMC-testausympäristön asettamien vaatimukset täyttävä vaihtoehto.

2.1 PIN-diodin perusominaisuuksia

PIN-diodi on kuin normaali PN-diodi, mutta P- ja N-kerrosten välissä on leveä ”intrinsic”-kerros. Tätä aluetta kutsutaan itseispuolijohdavaksi alueeksi, ja se koostuu täysin puhtaasta puolijohdemateriaalista. Estosuuntaisella jännitteellä ohjattuna diodista tulee johtamaton. Kytkenälle P- ja N-kerrokset näkyvät etäisinä kondensaattorin elektrodeina. Kun diodia ohjataan myötäsuentailla jännitteellä, alkaa se johtaa kohtuullisen hyvin. [2.]

PIN-diodin toimintaa voidaan kuvailla kuten täyttyvää vesiasiaa, jonka seinässä on reikä. Kun vesi saavuttaa reiän, alkaa se valua reiän kautta pois. Näin käy PIN-diodin itseispuolijohdealueelle: kun elektroneja on yhtä paljon kuin aukkoja, alkaa se johtaa. Koska kyseessä on korkean tason kytkeytyminen (high level injection), mikä itsessään on ehtymisprosessi, sähkökenttä laajentuu melkein koko itseispuolijohdealueen suuruiseksi. Tämä nopeuttaa varauksen kuljettajien toimintaa ja tämän takia on myös sopiva korkeataajuisille operaatioille. [3.]

PIN-dioodeja käytetään laajalti muun muassa antennikytkiminä, vaiheensiiirroissa ja vaimentimina mikro- ja radiotaajuussovelluksissa [4]. GaAs PIN-diodia käytetään yleisimmin mikroaaltotaajuuksisissa kaupallisten ja militaarijärjestelmien ohjaukseen [5].

Bandgap-tekniikka viittaa energiaeroon valenssivyön ja johtumisvyön välillä eristeissä ja puolijohdekomponenteissa. Tämä energiamäärä esitetään elektronivoltina. Bandgap esittää, kuinka suuren energiaa tarvitaan vapauttamaan elektroni uloimmalta elektronikuorelta ja muuttamaan varauksenkuljettajaksi kiinteässä aineessa. [6.]

Käytettäessä bandgap-tekniikkaa muuttuu kaava, joka määrittää P⁺-anodin ja itseispuolijohdealueen välistä virran kytkeytymistä, sekä P⁺-anodin ja itseispuolijohdealueen rekombinaatioarvomuutosta. Näitä suhteita muuttamalla voidaan saavuttaa paljon korkeampi varauksenkuljettajien toiminta, samalla vähentäen radiotaajuuksien vastusta itseispuolijohdealueella. Muutoksilla on myös vaikutusta kytkennän eristävyteen; mitä pienempi sisäinen vastus PIN-diodille saavutetaan, sitä suurempi eristyskyky saavutetaan. [5.]

GaAs-valmisteisten ja GaAs-johdannaisien PIN-diodien rakenne on suunniteltu toimimaan jopa 50 GHz:n tajuudella. Diodien väliset kytkentäjohdot on pyritty pitämään mahdollisimman lyhyinä, tarkoituksena pitää kaikkien häiriöiden kytkeytyminen mahdollisimman pienenä. Myös shunt-diodi on valittu tarkoin kytkentäkapasitanssin

parantamiseksi johtavassa tilassa ja kytkimen koko taajuuskaistan erityistyvyyden parantamiseksi. [5.]

Moniporttikytkimien järjestelmissä AlGaAs PIN-diodin edut ovat selkeitä kunhan huomioidaan, että kytkentäkaapeleiden diodikytkimien välillä tulee olla sähköisesti yhtä pitkiä. Tämä sähköinen etäisyys yhdessä diodin kapasitanssin kanssa määrää taajuuskaistan, jolla kytkin toimii. Tämän takia diodin estotilan kapasitanssin pitämisestä saadaan valtava hyöty; kytkin saadaan toimimaan jopa 70 GHz:n taajuudella saakka. [5.]

2.2 RF-releiden perusominaisuuksia

Nykypäivän telekommunikaatiossa yhä suurempia määriä tietoa tulee siirtää yhä nopeammin ja nopeammin. Nopeampien siirtonopeuksien mahdollistuminen vaatii lisää kaistanleveyttä, siitäkin huolimatta, että suurin osa tiedosta on digitaalista. Yleisimmin kytkiminä käytetään mekaanisia RF-releitä, PIN-diodeja ja GaSFET-puolijohdekytkimiä. [7.]

Korkea käyttöikä (laboratoriokäytössä), pieni koko, kytkentänopeus ja verrattaen edullinen hinta ovat GaAs FET:n ja PIN-diodin etuja. Yleensä sähkömekaaniset releeratkaisut omaavat korkeamman eristyvyyden ja pienemmän kytkentähäviön koko taajuuskaistan sisällä. Myös nämä releet voivat kytkeä DC- ja RF-signaaleja päällekkäin ja siirtää suurempia RF-tehoja. [7.]

Sähkömekaanisten releiden hyvä eristävyys voidaan saavuttaa ympäröivästä lämpötilasta huolimatta, koska eristys on tehty ilmasta tai muovista. Metalliset kytkinpinnat tuottavat pienimmän mahdollisen kytkentähäviön ja nämä releet voivat johtaa RF-signaalia ilman häiriöitä, kuten amplitudi- sekä vaihesiirtohäiriöitä, tai signaalin moduloitumista lämpötilasta riippumatta. [7.]

Tutkittaessa RF-releiden kulumista käytössä on käynyt ilmi, ettei releiden eristävyys heikkene käytössä tapahtuvan kulumisen yhteydessä. Riippuen kytkettävistä tehoista ja taajuuksista tapahtuu releiden kytkentäpintojen häviöissä pientä kasvua. Tämä johtuu kytkinkontaktien pienestä kulumisesta. Erot uusien ja käytettyjen releiden kytkentähäviöiden välillä, joilla oli tehty noin miljoona kytkentää, eivät olleet merkittäviä. [7.]

2.3 Kytkimien valinta

RF-releiden valinta kytkimiksi oli selvä alusta alkaen. Niiden sähköiset ominaisuudet olivat todella vaikuttavia ja juuri käyttökohdetta ajatellen sopivimpia kytkentäyksikön käyttöön. RF-releet pystyvät kytkemään useita kymmeniä watteja hyvin suurilla taajuuksilla (useiden gigahertsien), ilman signaalin vääristymistä. Kytkentäyksikkö tullaan suunnittelemaan siten, että EMC-testauslaitteet aloittavat testit vasta, kun signaalitiet ovat kunnossa, jolloin testausympäristö on suojattu haitallisilta signaaleilta.

Suurimmat taajuudet jäivät alle 20 GHz:n alueelle, joten PIN-diodeilla olisi ollut paljon enemmän kapasiteettia siltä osin. Myös PIN-diodien johdinkaapeleiden symmetrisyys ja sähköinen yhtäläisyys olisi voinut tuoda suurempiakin ongelmia varsinkin käsin tehdessä.

Selvät erot löytyivät takaisinheijastuvien häiriöiden kohdalla. Yleisesti RF-releiden VSWR-arvo on 1,2:1, kun PIN-diodeilla tämä tuntui olevan 1,6:1, ellei jopa korkeampikin. Kytkentänopeudella ei ollut merkitystä, sillä kytkentä tapahtui testien ollessa pois päältä.

3 INSINÖÖRITYÖN SUUNNITTELU

Työn ensimmäisessä vaiheessa tehtävänä oli selvittää, mikä olisi paras vaihtoehto laitteen toteuttamiseen, etsiä yritys, joka toimittaisi tarvittavat laitteet, ja rakentaa toimiva laite. Hyvin nopeasti kävi selväksi, että paras vaihtoehto on rakentaa laite korkealaatuisista RF-releistä ja ohjata näitä sopivalla USB-porttiin kytkettävällä I/O-moduulilla (Input/Output). Releiden toimittajia oli Suomessa useita, mutta niiden löytäminen oli hieman hankalaa.

Releitä valittaessa tuli huomioida niiden vaatimukset, jotka tulivat EMC-testausjärjestelmässä käytettävistä kovista taajuuksista ja tehoista. Koska laitteisto mittaa häiriöitä ja niiden käyttäytymistä muissa järjestelmissä, myös tämä vaikutti suunnitteluvaiheessa valittaviin komponentteihin.

Vaikkakin kytkentä tapahtuu releissä mekaanisesti, niiden fyysiset sekä sähköiset ominaisuudet säilyvät hyvin. Releiden datakirjoista löytyy kytkentäkertojen minimiarvot. Näiden arvojen sisällä kytkentävastuksen ei tulisi kasvaa 1Ω :ia suuremmaksi [8].

Kytkenäyksikköä etsittäessä tuli huomioida mahdollisimman helppokäyttöinen pöytätietokoneeseen liitettävyyttä. Myös ohjelma tuli olla tehtävissä LabVIEW-ohjelmointiympäristön avulla.

3.1 Komponenttien valinta ja tilaaminen

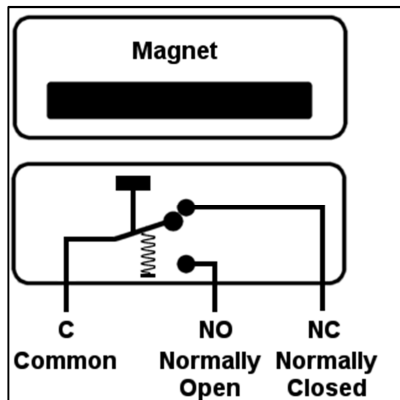
Tehtävänannon perusteella pystyttiin piirtämään laitteistosta kytkentäkaavio, joka on esitetty liitteessä 1. Etsintöjen ja yhteydenottojen jälkeen päädyttiin Radiallin valmistamiin korkealaatuisiin RF-releisiin ja kaapeleihin.

Koska laitteistossa kulkevat signaalit voivat nousta jopa 15 GHz:n taajuudelle, kaapeleiden, kaapeleiden liittimien ja releiden valitsemisen kanssa tuli olla todella tarkkana. Yrityksen konsultti kävi valintojen kanssa ja valaisi huomioon otettavista asioista.

Kaapeliksi valittiin Sucoform-tyyppistä taipuvaa kaapelia, sillä helposti muokattavuus oli suuri valtti releitä kaapeloidessa. Kaapelit kestivät näissä kulkevat taajuudet ja tehot, mutta liittimiä jouduttiin vaihtamaan taajuusalueen mukaan. Mittalaitteilta lähtevien liittimien tuli kestää aina 18 GHz:n alueelle asti, kun muiden liittimien tuli kestää vain 3 GHz:n taajuudet.

Lopulliseksi tarpeeksi laskettiin 19 kappaletta 25 cm:n mittaisia sekä 3 GHz:n taajuuteen yltävää kaapelia, joiden toisessa päässä oli N-tyypin liitin ja toisessa päässä BNC-tyypin liitin. Lisäksi tarvittiin seitsemän kappaletta 25 cm:n mittaisia 18 GHz:n taajuuden kestäviä N- ja BNC-tyypin liittimillä varustettuja kaapeleita. Tämän lisäksi tarvittiin vielä kaksi kappaletta 50 cm:n mittaista välikaapelia pelkillä N-liittimillä varustettuna ja näiden liittimien tuli kestää 18 GHz:n taajuus.

Measurements Computing tarjosi juuri sopivaa USB-ERB24-ohjainyksikköä releille. Tästä moduulista löytyi 24 kappaletta releiden ohjaukseen tarkoitettuja portteja. Jokaista porttia kohden oli kolme liitintä, jotka olivat NC, C ja NO. Nämä lyhenteet tulevat englannin kielen sanoista ”Normally Closed”, ”Common” ja ”Normally Open”. Suomenkieliset vasteet lyhenteille ovat: NC:tä vastaa ”avautuva kosketin” ja NO:ta ”sulkeutuva kosketin”. Ohjainyksikön yksittäisen portin toimintaperiaate on esitetty kuvassa 1. Laite vaatii myös 9,0 V:n tasajännitelähteen.



Kuva 1. Ohjainmoduulin toimintaperiaate [9].

3.2 Kotelon suunnittelu

Kotelon suunnittelu alkoi heti alkukesästä 2011 Autodeskin valmistamalla Inventor-3D-CAD-suunnitteluohjelmalla. Vaihtoehtojen pohdintojen jälkeen materiaaliksi valittiin 1,5 mm paksu alumiinilevy. Kotelon rakenne koostui neljästä osasta: kansi, yhtenäiset pohja- ja seinälevyt sekä etu- ja takapaneelit. Tukirakenteena toimi neljä kappaletta kotelon päästä päähän ulottuvaa alumiinitankoa. Tähän tankoon tultaisiin myös kiinnittämään kansi- sekä päätyosat.

Kotelon ulkoiset mitat muodostuivat laitekaapin ja laitepaikan koon mukaan. EMC-testausjärjestelmä on sijoitettu 19” laitekaappiin. Laitetilan korkeus ilmoitetaan U-yksikköinä, joka on 44,45 mm. [10]

Kotelon korkeudeksi tuli siis 3U-yksikköä, eli noin 130 mm. Leveydeksi muodostui 480 mm ja pituudeksi mitattiin noin 545 mm. Etu- ja takalevyt olivat siis 130 mm korkeita, mutta itse laitekotelon mitat olivat hieman ohuempia. Tämä johtui releiden kiinnikerautojen kiinnityksestä pohjaan ruuveilla. Myös kahdelle 120 mm tuulettimelle tuli tehdä reiät etu- ja takaseinään.

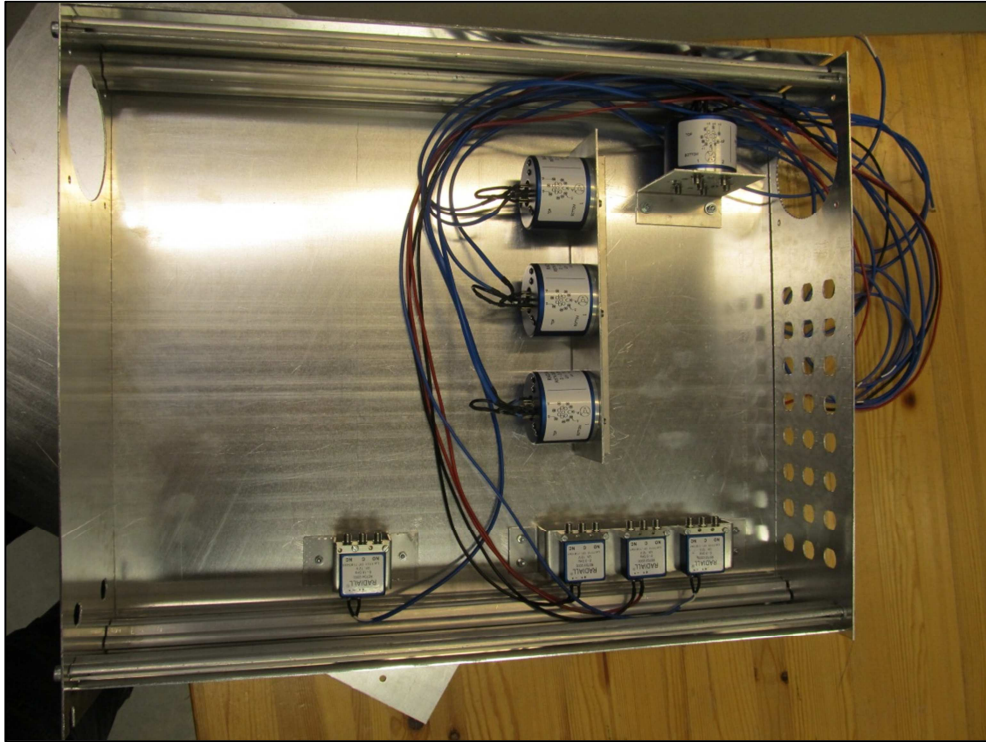
Releiden kiinnikkeiden suunnittelussa tuli ottaa huomioon neljän releen pyöreä muoto, mahdollisimman lyhyet johdotukset ja etu- sekä takapaneeliin kiinnitettävien liittimien selkeä järjestely.

Relekiinnikkeitä tuli olemaan neljä, joista kahteen mahtui kolme relettä kuhunkin, sekä kaksi yhden releen kiinnikettä. Releiden tekniset tiedot löytyivät releiden datakirjoista, Radiallin omilta kotisivuilta. Näitä piirustuksia hyväksikäyttäen tehtiin relekiinnikkeet.

3.3 Releiden sijoittelun ja johdotuksen suunnittelu

Releitä sijoitettaessa tuli huomioida johtojen liittimien selkeä sijoittelu, sekä yhden mittavasttaantottimia ohjaavan releen mahdollinen lämpeneminen. Tämä mahdollisesti lämpiävä rele sijoitettiin tuulettimien väliin yksinään. Kolme muuta isompaa relettä sijoitettiin kotelon takaosaan mahdollisimman lähelle takapaneelia. Näiden viereen 90°:n kulmaan sijoitettiin seuraava rivi, kolme kappaletta neliskulmaisia kahden tilan releitä.

Viimeinen kahden tilan rele sijoitettiin etupaneelin lähelle, koska liitännät edessä olivat lähellä juuri tätä relettä varten. Kuvassa 2 on esitetty, kuinka releet on sijoitettu laitekotelon pohjalle.



Kuva 2. Releiden sijoittelu kotelossa ja alustava johdotus.

Ohjainmoduuli tullaan sijoittamaan laitekaapin takaseinään. Kaapelointi releiden ja ohjainmoduulin välillä tulee tapahtumaan sinivalkoisella parikaapelilla tai mustalla ja punaisella yksittäisellä kaapelilla. Johdot vedetään yhdessä nipussa kotelon takaseinästä läpi ohjainmoduulille. Näin kaapeloinnista tulee siisti sekä ilmankierto häiriintyy mahdollisimman vähän.

Jokaista ohjausnastaa varten joudutaan lisäämään suojadiodi. Tätä diodia kutsutaan Kickback-diodiksi, ja sen tarkoitus on suojata induktiivisia kuormia yllättäviltä ja äkkinäisiltä jännitepiikeiltä (tässä tapauksessa kytkentäpiikeiltä). [11]

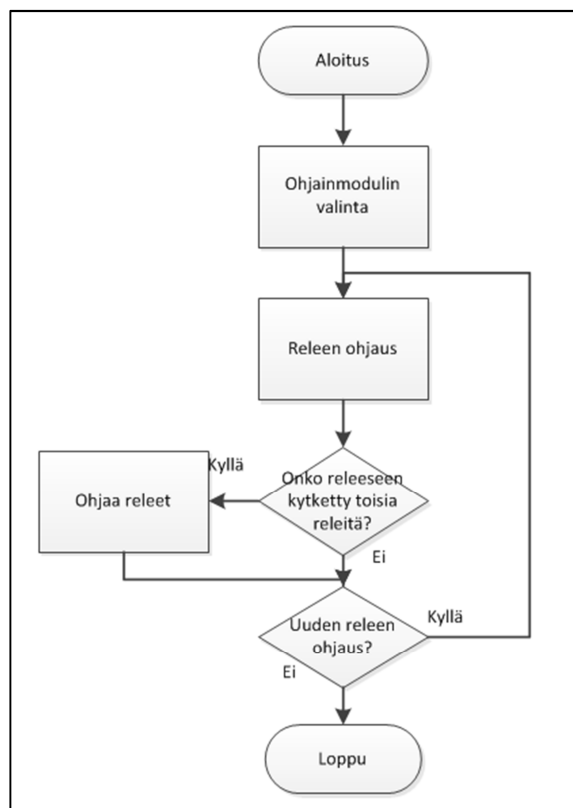
Koska laite toimii EMC-häiriöiden mittausympäristössä, ei se saa aiheuttaa häiriöitä testauslaitteistolle. Projektin suurin uhka olikin ulkoinen jännitelähde. Häiriöiden muodostuminen ja indusoituminen testauslaitteistoon vaatisi kuitenkin jännitelähteen sijoittamisen lähelle signaaleita.

3.4 Ohjelman suunnittelu

Ohjelman suunnittelu lähti käyntiin miettien, mitä ohjelmalta tarvitaan, kuinka siitä saisi mahdollisimman yksinkertaisen ja helppokäyttöisen, sekä olisiko joitakin lisäasetuksia, joille mahdollisesti olisi tarvetta.

Ohjainmoduuli pystyi syöttämään yhteen kanavaan 270 mA virtaa kerrallaan ja koko piiri pystyi tuottamaan 3,0 A virran. Portteja, joilla releiden ohjaus oli mahdollista, löytyi yksiköstä 24 kappaletta. Yksikön turvallisuuden kannalta ohjelma suunniteltiin siten, että vain yhtä relettä pystyi ohjaamaan kerrallaan, jolloin liiallista virtakuormaa ei pääse syntymään.

Ohjausnastan sijoittaminen ohjainmoduuliin tuli miettiä erikseen toisten releiden kannalta. Releet sijoitettiin ryhmissä ohjainmoduuliin, jolloin ohjelmasta saatiin mahdollisimman yksinkertainen ja helppokäyttöinen. Ohjelman yhden releryhmän toiminta on esitetty vuokaavioperiaatetta käyttäen kuvassa 3. Jokaista releryhmää ohjataan kuitenkin samalla tavalla. Koko ohjelma ja sen käyttöliittymä on esitetty liitteessä 2.



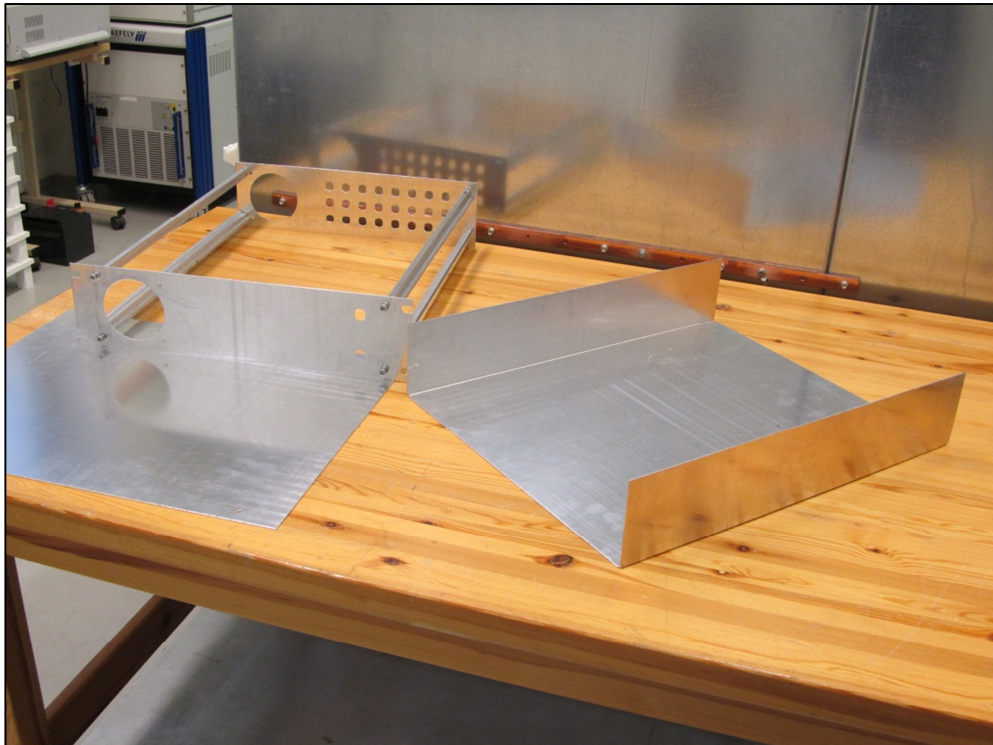
Kuva 3. Releiden ohjaukseen tarkoitetun ohjelman toimintaperiaate.

4 TYÖN TOTEUTUS

Komponenttien raja-arvojen määrittelyn jälkeen valittiin ja tilattiin releet. Releiden perille saapuessa, alkoi laitteen rakentaminen. Toteutusvaiheessa ilmenneet ongelmatilanteet aiheuttivat jatkuvaa suunnittelua myös rakennusvaiheessa.

4.1 Kotelon rakentaminen

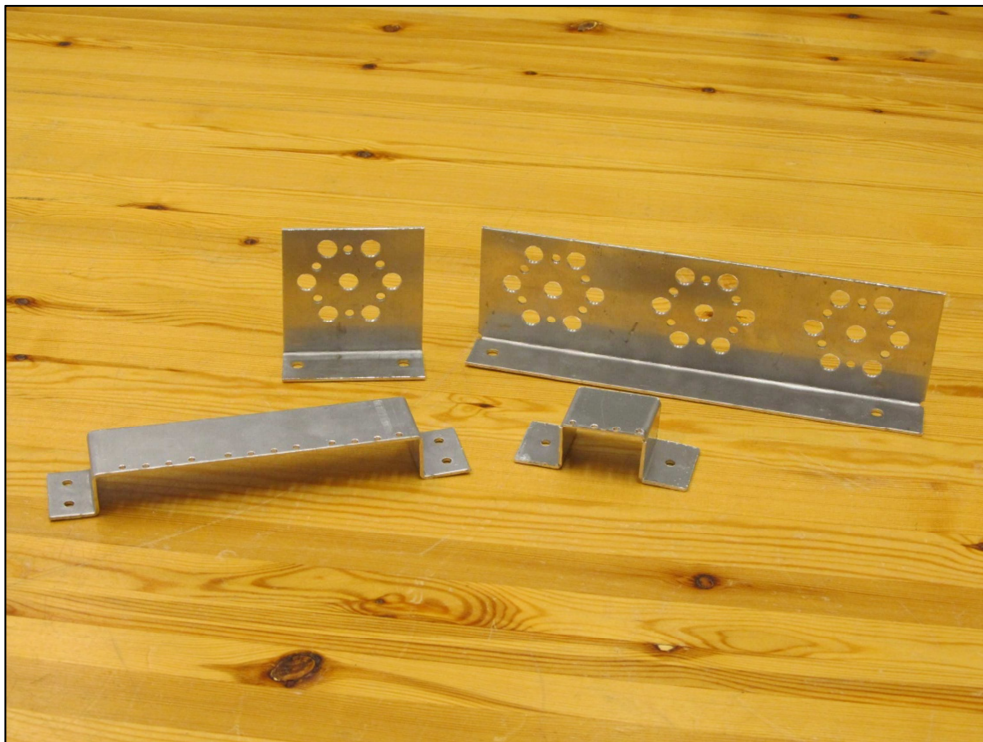
Materiaaliksi valittua alumiinilevyä oli valmiina koulun varastossa, joten rakentaminen pystyttiin aloittamaan heti. Koska kotelon päätylevyihin tuli paljon yksityiskohtia, päätettiin kaikki osat tehdä levytyökeskuksella Protopajalla, joka sijaitsee Kainuun ammattiopiston tiloissa. Levytyökeskuksen avulla kotelon osien teko sujui nopeasti. Kaikki leikatut reunat jouduttiin vielä lopuksi hiomaan käsin viivalla, erinäisten rosoisuuksien ja terävien reunojen poistamiseksi. Jokainen osa jouduttiin tekemään erillisinä. Kuvassa 4 näkyy valmis kotelo.



Kuva 4. Kotelon osat valmiina ja kotelon päädyt kiinni kotelon tukirangassa.

Takapaneelissa on reiät kaiken kaikkiaan 32 liittimelle ja edessä vielä reiät kahdelle liittimelle. Jokaiseen tulisi jokin EMC-mittalaitteen liitäntä.

Kun kotelo oli valmis, tehtiin vielä relekiinnikkeet. Valmiit kiinnikkeet aiheuttivat ongelmia, sillä releet eivät sopineet täysin oikeille kohdilleen siitäkin huolimatta, että mitat olivat releiden datakirjoista otettu. Tämä ongelma selvitettiin poraamalla isommat reiät releiden liittimille. Itse kiinnitysreiän kohdat olivat oikein, joten niihin ei tarvinnut koskea. Valmiit relekiinnikkeet on esitetty kuvassa 5.



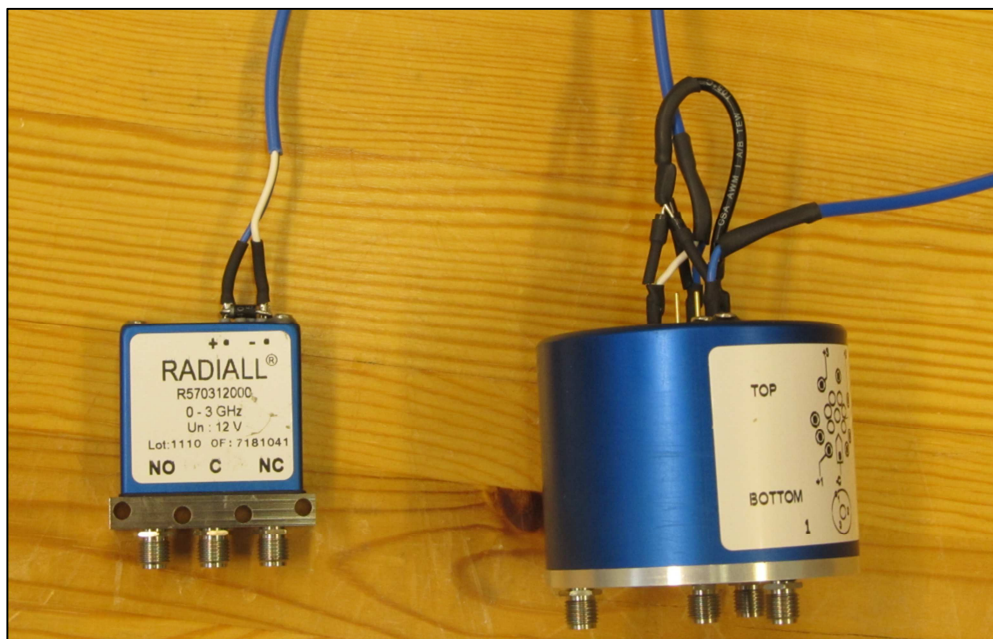
Kuva 5. Releiden kiinnikkeet valmiina, materiaalina oli 1,5 mm paksu alumiinilevy.

Koska relekiinnikkeet sijoitettiin kotelon pohjaan, tuli koteloon porata vielä reiät jokaiselle kiinnikkeelle. Kiinnitykseen käytettiin M3-kierteellä varustettuja pultteja ja muttereita. Tukien sijoitus toteutettiin vasta, kun kaikkien releiden paikat olivat varmistuneet.

4.2 Releiden sijoittaminen ja johdattaminen

Jokaiselle releelle tuli lisätä suojadiodi. Lisääminen tapahtui juottamalla jokaisen ohjausnastan ja maan välille (releissä merkitty c:ksi eli commoniksi). Diodiksi valittiin 1N4007, koska sen ominaisuudet olivat riittävät ja se oli edullinen. Lisäksi niiden nopea saatavuus oli eduksi.

Juotettaessa diodeja apuna käytettiin fluksia sekä johdotus eristettiin kutistesukalla. Kutistesukka on kumista eristemateriaalia, joka kuumailmapuhaltimella lämmitettäessä kutistuu pienemmäksi ja puristuu kohteen päälle. Fluksi on juoksutetta, jota myös juotostinasta löytyy. Juoksutetta voidaan kuitenkin lisätä muun muassa silloin, kun juotoskohtaa lämmitetään useita kertoja ja tällöin se on jopa suositeltavaa. Suojadiodien sijoitus on esitetty kuvassa 6.



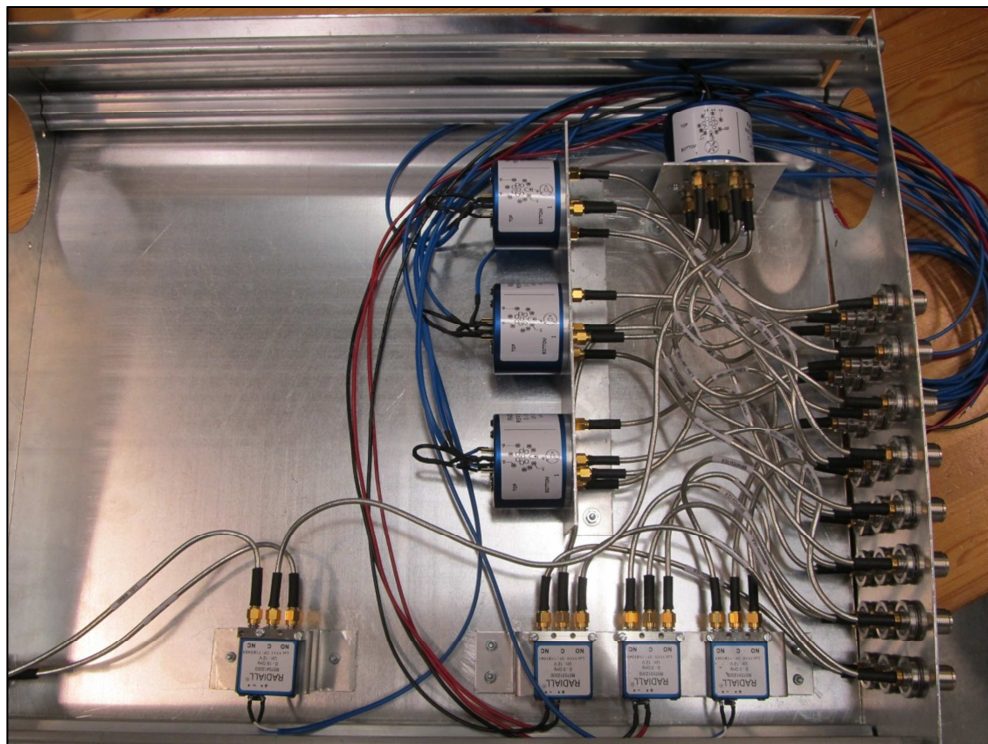
Kuva 6. Releiden suojaaminen kickback-diodilla.

Takapaneelin suuren liitinmäärän ja kytkentäkaapeleiden pituuden takia suurin osa releistä tuli sijoittaa kotelon takaosiin. Vain yksi rele tuli lähemmäksi etupaneelia kuin takapaneelia ja tämä kytkettiin 50 cm välikaapelilla takapaneeliin liitettävään releeseen. Kuten aikaisemmassa kappaleessa todettiin, oli huomioitava myös isoimman releen mahdollinen lämpiäminen ja tämän takia se sijoitettiin edestä katsottuna kotelon vasempaan takareunaan, suoraan tuulettimien väliin.

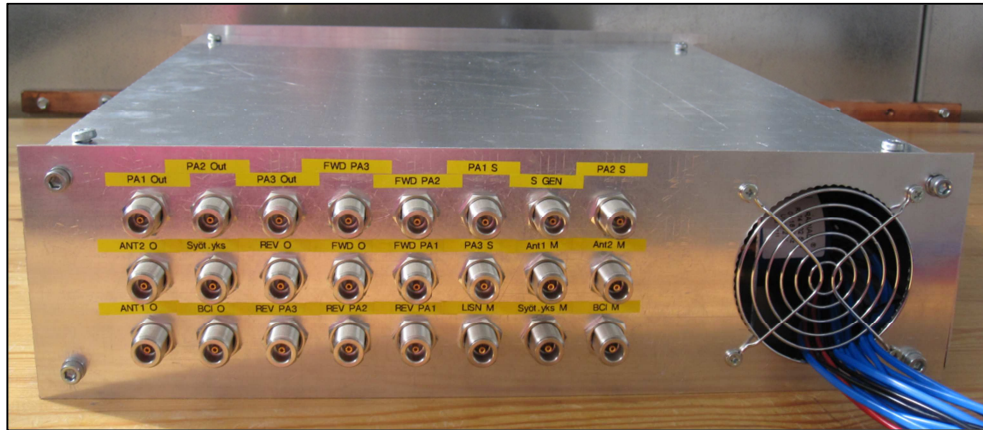
Takapaneelin liittimien tuli olla mahdollisimman hyvässä ja selkeässä järjestyksessä. Releet sijoitettiin ryhmiin siten, että vahvistimien liittimet tulisivat mahdollisimman lähelle toisiaan, mittakohteet olisivat mahdollisimman lähellä toisiaan, sekä tehomittarit olisivat lähellä toisiaan.

Johdotus alkoi kotelon takaa katsottuna vasemmasta nurkasta. Jokainen rele kytkettiin takapaneeliin kiinni kytkentäkaapeleilla ja nämä liittimet nimettiin, jotta mittalaitteiston kytkentä loppuvaiheessa olisi mahdollisimman mutkatonta. Liittimiä ja kaapeleita oli kuitenkin niin paljon, että lopputuloksesta tuli hieman kiemurainen.

Kuvassa 7 on esitetty valmis kytkentäkaapeleiden johdatus kotelon sisältä. Kuvassa 8 on kotelon takapaneelin kuva, jossa on sijoitettu kaikki liittimet paikoilleen ja nimetty tarrakirjoitinta käyttäen.



Kuva 7. Kytkentäkaapeleiden lisääminen releiden ja kytkentäpaneelin välille.



Kuva 8. Releliittimien sijoittelu nimilaatoin varustettuna takapaneelissa.

4.3 Ohjainmoduulin lisääminen

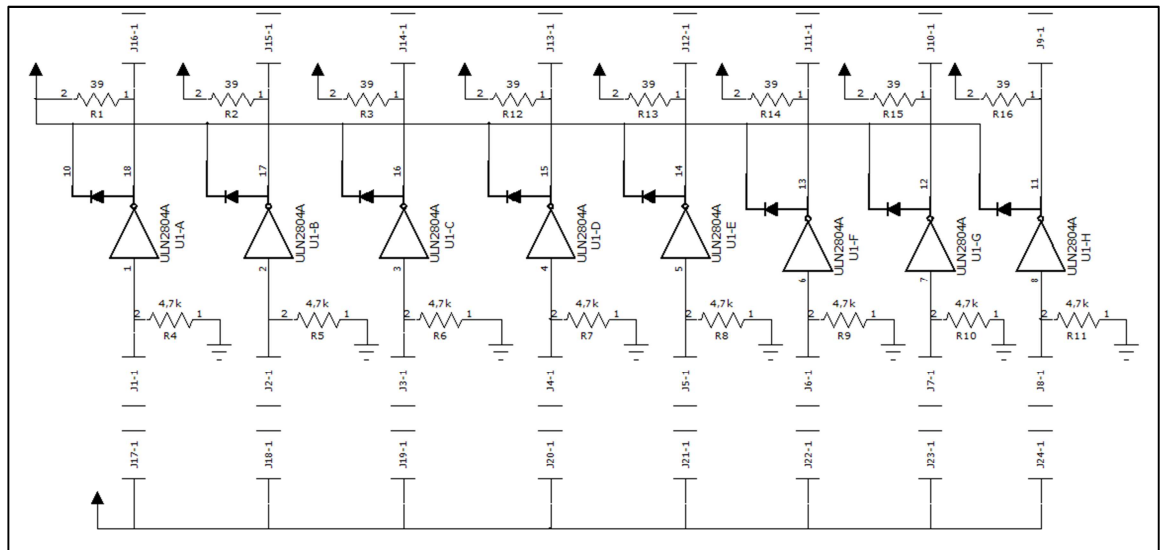
Ohjainmoduulin lisääminen työhön aiheutti useampia ongelmia. Ensimmäiseksi ohjainmoduuliksi suunniteltiin National Instrumentsin tarjoamaa USB-6525-moduuli. Siinä on kahdeksan paria (16 liitintä) releohjaukseen tarkoitettuja portteja ja kahdeksan paria sisääntuloja varten. Releohjaukseen tarkoitettujen porttien virrankesto oli 500 mA, joten sillä oli mahdollista ohjata kahta relettä samasta parista [12].

Tälle yksikölle suunniteltu ohjelma toimi ongelmitta alusta alkaen, mutta releiden lisäsvaiheessa huomattiin, että kaikki releet eivät mahdu kahdeksan parin sisälle. Ongelma säilyi siitäkin huolimatta, että yhdellä parilla pystyttiin ohjaamaan kahta relettä.

Ratkaisuksi kehitettiin samaisen USB-ohjainmoduulin sisääntulot, joilla oli tarkoitus ohjata Darlington-piiriä ja tätä kautta releitä. Darlington-piiriksi valittiin ULN2804A, joka pystyi tuottamaan jopa 500 mA:n virran ja tämän tulisi riittää jopa kahdelle releelle tarvittaessa [13]. Koko piiri sisälsi kahdeksan Darlington-kytkentää.

Darlington-kytkentä koostuu kahdesta transistorista, jotka on kytketty yhteiskollektori-kytkentään. Ensimmäinen transistori vahvistaa virran, jonka toinen transistori vahvistaa vielä uudelleen. Tässä työssä käytettiin Darlington-piiriä, jossa on kaksi kappaletta NPN-transistoreja. [13.]

Kytkenälle suunniteltiin piirilevy ja valmis tuotos laitettiin testiin. Kuvassa 9 on valmis työssä käytetty kytkentä. Kuvan alareunassa olevat liittimet J17-1 – J24-1 on kytketty 12,0 V:n käyttöjännitteeseen ja samaan liittimeen tulee myös USB-ohjainmoduulin sisääntulojen toinen liitin. Liittimiin J1-1 – J8-1 on kytketty ohjausyksikön toinen osa sisääntulojen liittimistä. Liittimiin J9-1 – J16-1 on liitetty releen ohjausnasta.

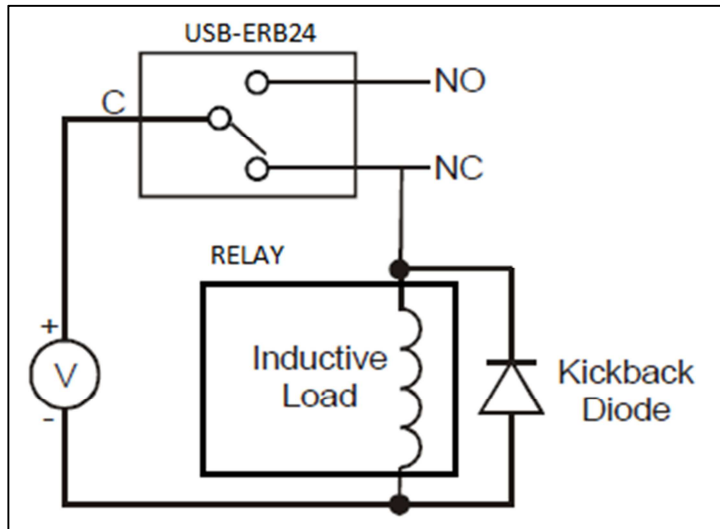


Kuva 9. Työssä käytetty Darlington-kytkentä.

Ideana on ohjausyksikön kautta kulkevan jännitteen hyödyntäminen Darlington-kytkennän aktivoinnissa. Kun kytkentä johtaa ja Darlington-kytkentä aktivoituu, myös releet alkavat johtaa tämän seurauksena ja tapahtuu kytkentä.

Kytkentä toimi testausvaiheessa hetken aikaa, mutta muutaman kytkentätapahtuman jälkeen tehot hävisivät jonnekin, ja mitään ei enää tapahtunut. Toimimattomuus jäi selvittämättä, sillä selvää vikaa kytkennästä ei löytynyt. Jokainen kahdeksasta Darlington-kytkennästä teki saman, joten piti keksiä jotakin tämän tilalle.

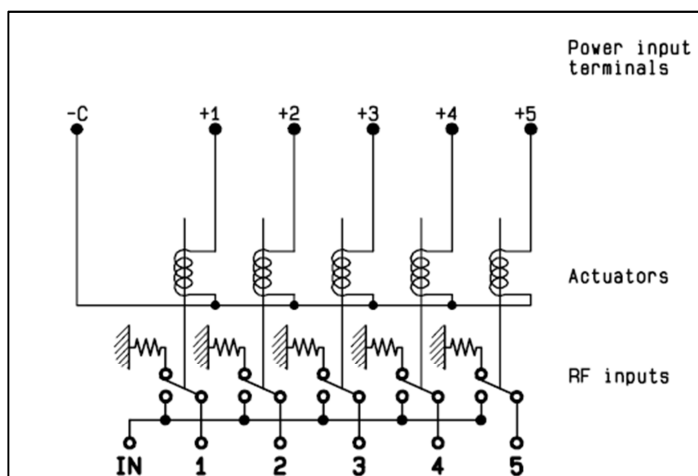
Tämän seurauksena etsittiin vaihtoehtoista ohjausratkaisua ohjainmoduulille ja löytyi Measurement Computing:n valmistama USB-ERB24. Yksikkö sisälsi 24 kappaletta releohjaukseen tarkoitettuja portteja. Kuvassa 10 on esitetty ohjainmoduulin porttien toiminta- ja kytkentäperiaate.



Kuva 10. Releiden kytkentä USB-ERB24-yksikköön.

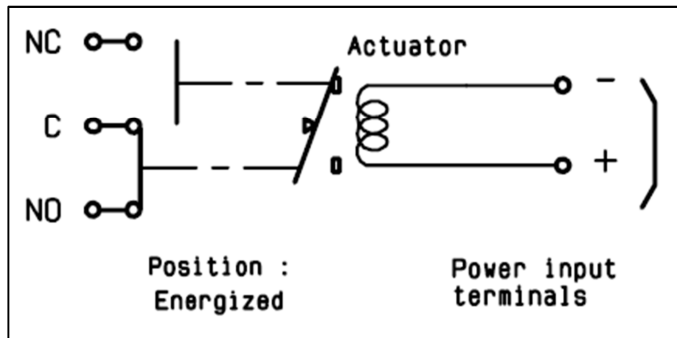
Jokaisen releen yhteinen maajohdin tulee kytkeä ulkoisen jännitelähteen miinuspuolelle. Jännitelähteenä toimi 12,0 V:n ulkoinen tehollähde, joka pystyi tuottamaan 4,0 A:n virran. Halutun portin aktivointi tapahtuu ohjelman käskyn avulla.

Koska useimmissa releissä on useampia ohjausnastoja joita tuli käyttää, kytkettiin jokainen nasta sulkeutuva kosketin -tilaan, jolloin niitä ei voida käyttää ennen ohjelman käskyä. Alkutilanteessa jokaisen releen jokainen portti on irti EMC-testauslaitteistosta, mutta on kuitenkin terminoitu 50 Ω :n päätevastuksella. Tämä sen takia, etteivät käyttämättömät signaaliväylät aiheuta häiriöitä käytössä oleville signaaliväylille ollessaan ”kelluvassa” tilassa eli eivät ole kytkeyntyneet mihinkään. Toimintaperiaate releille, jotka omasivat kolme tai viisi lähtöä, on esitetty kuvassa 11.



Kuva 11. Viisituloisen releen toimintaperiaate. [14]

Releissä, joissa on vain yksi ohjausnasta, käytettiin perustilana sulkeutuva kosketin -tilaa, jolloin vältytään järjestelmää käynnistettäessä turhilta kytkentäkerroilta. Tämä myös suojaa jännitelähdettä ylikuormittumiselta käynnistystilanteessa. Näissä releissä terminointia ei tarvita, koska releet vaihtelevat kahden tilan välillä ja molemmissa tiloissa on kytkettyinä yksi lähtö. Kaksilähtöisten releiden toimintaperiaate on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12. Kaksituloisen releissä toimintaperiaate on hieman erilainen. [15]

4.4 Ohjelman toteutus

Ohjelma koodattiin LabVIEW-ohjelmointiympäristöllä. LabVIEW-ympäristö on graafinen ohjelmistokehitysohjelma, joten varsinaista kirjoitettua ohjelmaa ei nähdä missään vaiheessa, ellei erikseen niin haluta. LabVIEW-ympäristössä pystyi valitsemaan valikoista valmiita ”ohjelmapalasia”. Nämä palaset symboloivat jotakin tiettyä ohjelmallista toimintoa ja niitä lisäämällä muodostui kokonainen ohjelma.

Laitteen ajureiden asennus tuli tehdä ensimmäisenä, sillä ilman näitä ohjelmointi olisi turhaa. Ajurit sisältävät tietokoneelle tarkoitettuja tiedostoja, joiden avulla tietokone voi tunnistaa laitteen ja käyttää sitä oikein. Ajurit sisältävät myös tiedostoja, joita käytetään LabVIEW-ohjelmointiin. Nämä valmiit ohjelmapalaset toimivat olennaisena osana ohjelmaa.

Ohjelmaa alettiin rakentaa vuokaavio-piirroksen avulla. Vuokaaviossa käydään läpi ohjelman toiminta vaihe vaiheelta. Jokainen toiminta kirjataan erilliseen laatikkoon ja mahdolliset vaihtoehtotilanteet on merkitty salmiakkikuviolla. Kun paperilla on toimiva idea, ruvetaan rakentamaan ohjelmaa tietokoneella.

Vuokaavion toiminta siirrettiin tietokoneelle aiemmin esiteltyjen ohjelmapalasiin avulla. Koska ohjelmointi tapahtui graafisesti, oli todella helppo todentaa ohjelman yhteneväisyys vuokaaviossa esitettyyn ohjelman toiminnalliseen versioon nähden.

Koska ohjainmoduuli täytyi vaihtaa, myös ohjelmaan tuli muutoksia sekä ajurit tuli asentaa uudelle laitteelle. Vuokaaviolla piirretty toimintaperiaate oli silti sama kuin aikaisemmassa vaiheessa tehty, joten sitä ei tarvinnut tehdä uudestaan. Ohjelman valmistuttua sitä testattiin releiden kanssa ja todettiin toimivaksi.

4.5 Laitteen liittäminen toimintaympäristöön

Kun ohjelma, ohjainmoduuli ja releet oli todettu toimiviksi, alkoi laitteen kytkeminen sille tarkoitettuun toimintaympäristöön. Releohjainyksikkö sijoitettiin EMC- ja olosuhdelaboratoriossa sijaitsevaan laitekaappiin, johon oli sijoitettu myös EMC-testauslaitteiston tärkeimmät osat. Koska laitekaappi oli jo kohtuullisen täynnä, jouduttiin tilaa raivaamaan hieman. Vahvistimia laskettiin hieman alemmas ja näin saatiin kolmen U:n (yksikön) verran tilaa.

Laitekaapin mukana oli tullut tukirautoja laitteille, joita siihen tulitaisiin lisäämään ja näitä käytettiin myös releohjausyksikön tukena etupaneelin ollessa kohtalaisen ohutta alumiinilevyä. Näille tukirautoille jouduttiin tekemään kiinnikelevyt. Laitekaapin mukana ei tullut näitä, vaan ne jouduttiin kaappia ostaessa tilaamaan erikseen niiden ollessa oheistarvikkeita.

Ennen lopulliseen sijaintiinsa liittämistä varmistettiin vielä kaikki juotokset ja liitännät, laitettiin kansilevy päälle ja merkittiin kaikki liitännät. Jokaiselle liittimelle tehtiin K-Sun BEE3 -tarramerkintäkoneella nimitarrat, joissa luki kunkin liittimen tuleva kytkentäkohde. Tämä helpotti huomattavasti releiden kytkentää testauslaitteiden välillä sekä helpotti yhteneväisyyden tarkistamista ohjelman ja testauslaitteiden välillä.

Releiden ohjausnastoja johdottaessa kaapelit olivat jääneet hieman liian lyhyiksi, ja näitä tuli jatkaa noin 20 – 40 cm. Jatkaminen tapahtui juottamalla ja eristämällä liitos kutistesukalla. Muokkauksien jälkeen ohjainyksikkö laitettiin paikoilleen ja tarkasteltiin vielä mahdollisten muutosten tarve ennen kiinnittämistä. Kiinnitys tapahtui laitekaapin mukana tulleilla

vastinmuttereilla ja ruuveilla, jotka käyttivät M6-kierrettä. USB-ohjainmoduuli sijoitettiin kaapin takaosiin ja kiinnitettiin samoilla ruuveilla ja vastinmuttereilla kuin itse kytkentäyksikkö.

Testauslaitteiden kytkeminen tapahtui laite kerrallaan, jottei mikään lisälaite tai kaapeli jäisi välistä. Osa laitteista jää vielä kytkemättä liian pienen kaapelimäärän takia. Kaapelit tullaan lisäämään myöhemmin laboratorion ylläpitäjän toimesta.

5 TESTAUS

5.1 Ohjelman testaus

Valmista ohjelmaa pystyi testaamaan releillä. Aluksi kytkettiin muutama rele ohjainmoduuliin kiinni ja toimintaa kokeiltiin. Kun kytkentä toimi, liitettiin loputkin releet kiinni ohjausmoduuliin ja testattiin vielä kaikkien releiden ohjauksien toimivuus.

Suurimmat ongelmat syntyivät uuden ohjelman testauksen kanssa. Ongelmat paljastuivat kuitenkin nopeasti, sillä aluksi kaikki toimi ja seuraavalla kerralla taas ei. Käyttäjätunnuksien riittämättömät oikeudet aiheuttu hidastelua jokaisen vaiheen aikana. Laboratorion ylläpitäjän käyttäjätunnuksia käytettäessä kaikki toimi, johtuen järjestelmänvalvojan tason tunnuksista. Asiaan saatiin nopeasti muutos ja oikeuksia saatiin tarvittaviin paikkoihin muutosoikeuksien muodossa.

5.2 Darlington-kytkennän testaus

Kytkentää testattiin kytkentäyksikössä käytetyillä releillä. Kytkentä tapahtui alussa normaalisti, mutta muutaman kytkentäkerran jälkeen mitään ei enää tapahtunut. Jokainen testattu Darlington-kytkentä teki saman. Selvää syytä kytkennän pimentymiselle ei löytynyt. Tämän seurauksena uusia ohjainratkaisuja tuli ruveta tarkoittamaan.

5.3 Kytkentäyksikön testaus

Kun laite oli toimintakuntoinen, voitiin mitata laitteen läpi menivien signaalien heijastustumis- ja johtuvat häiriöt piirianalysointilaitteilla. Testit suoritettiin Agilent 8712ET-piirianalysointilaitteilla. Testauksissa ei käyty läpi kaikkia portteja, vaan valittiin sattumanvaraisia releitä ja portteja, joista mittaukset suoritettiin.

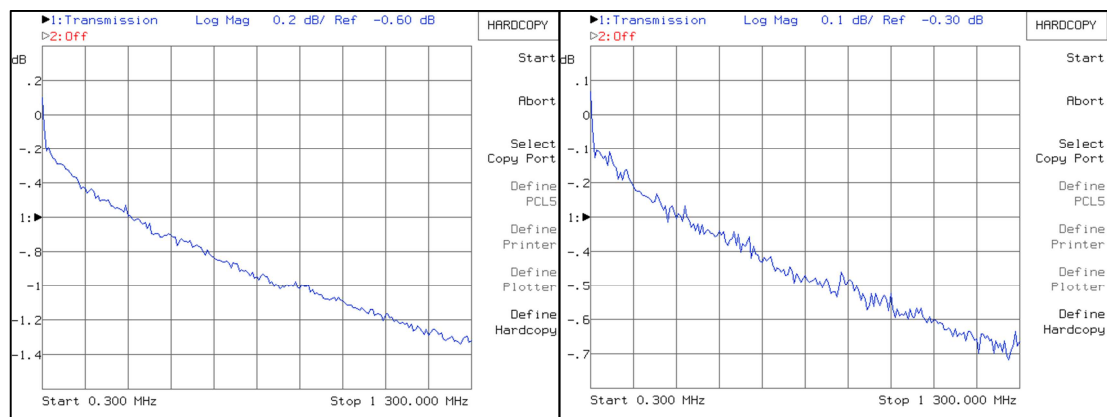
Johtuvien häiriöiden mittauksessa tarkastellaan laitteen kykyä kuljettaa signaali häiriöttä ja mahdollisimman vahvana perille. Heijastuvien häiriöiden mittauksissa käytetään apuna päätevastusta, joka vaimentaa signaalin mahdollisimman hyvin. Mitattaessa katsotaan

takaisintulevan signaalin vaimennus. [16.] Mikäli releessä oli itsessään 50 Ω :n päätevastus, mitattiin se myös erillisen päätevastuksen lisäksi. Näin voitiin todeta myös releen oma eristyskyky.

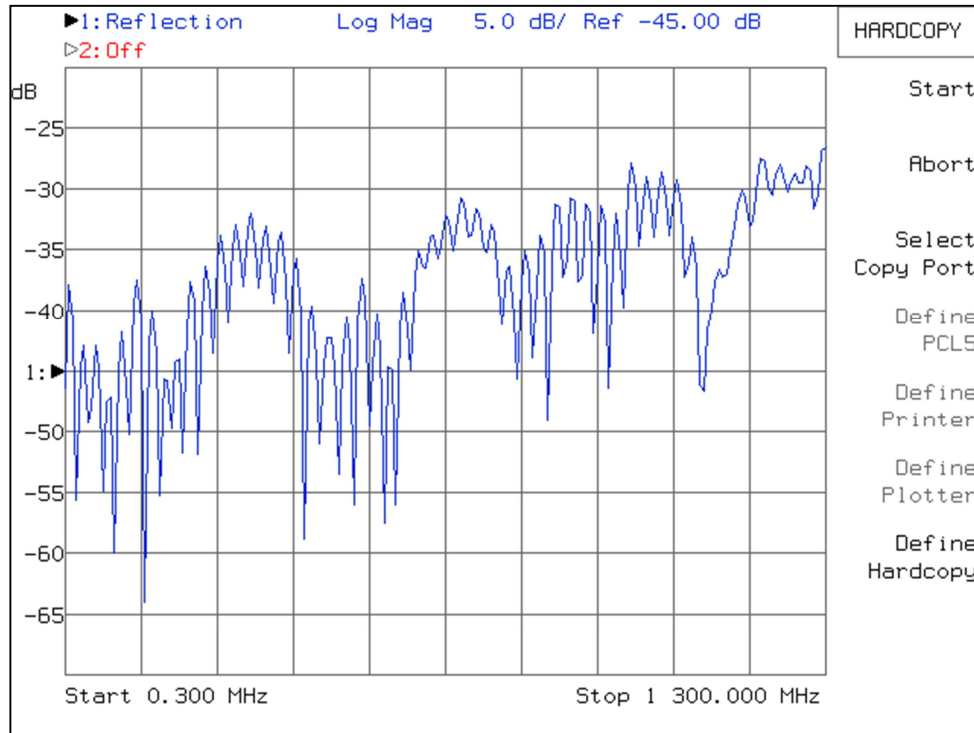
Aluksi ihmetystä aiheuttivat kohtuullisen korkeat arvot johtuvien häiriöiden mittauksissa. Kävi ilmi että yksi mittaускаapeleista vaimensi jo 0,5 dB. Kun tämä otetaan huomioon, tulokset alkavat näyttää järkeviltä. Testeissä tulokset ovat kohtuullisen samanlaisia jokaisella testatulla releellä. Kuvassa 13 on esitetty signaaligeneraattorin ja vahvistin ykkösen väliin tulevan tien johtuva häiriö. Kuvassa 14 on taas esitetty samaisen välin heijastus häiriöt 50 Ω :n päätevastuksella päätettynä.

Johtuvien häiriöiden mittauksissa yleisesti vaimennus jäi 1,3 GHz:llä alle 0,7 dB. Täten voidaan turvallisesti todeta, että signaali pääsee kulkemaan hyvin laitteen lävitse, eikä laite häiritse merkittävästi signaalin kulkua.

Heijastuvia häiriöitä mitattaessa vaimennus erillisellä päätevastuksella oli vähintään -25 dB. Sisäisillä päätevastuksilla vaimennukset olivat yleisesti -30 dB tai alle. Voidaan siis turvallisesti sanoa, että laitteen eristävyys on erinomainen, eikä se häiritse muita signaaleja. Testien muut tulokset löytyvät liitteestä 3.



Kuva 13. Oikeassa kuvassa näkyy mittaustulos koko laitteen läpi. Vasemmassa kuvassa esitetty pelkän siirtojohdon tekemä vaimennus.



Kuva 14. Piirianalysaattorin kuvaaja jossa mitattiin heijastuvia häiriöitä.

5.4 EMC-testauslaitteiston testaus ja kalibrointi

Kun kaikki muu alkoi olla valmista, oli lopullisen toimintatestauksen aika. Kytkentäyksikön ollessa paikallaan ja testauslaitteisto kytketty oikein paikoilleen testattiin vielä, että kytkentäyksikkö toimii oikein. Tästä varmistuttua alkoi EMC-testauslaitteiston kalibrointi. Korjauskertoimien muutokset toteuttaa laboratorion ylläpitäjä jälkeinpäin.

Kun mittauslaitteiston sisälle tehdään muutoksia, joudutaan nämä muutokset ottamaan huomioon tulosten oikeellisuuden takia. Tässä vaiheessa määritetään niin sanotut korjauskertoimet. Näiden kertoimien tarkoitus on hävittää laitteiston aiheuttamat pienet virheet ja korjata testaustulokset oikeiksi.

6 ANALYSOINTI

Laitteen suunnittelu eteni alussa kohtuullisen nopeasti ja vaivattomasti. Kuitenkin jälkikäteen tuli tehdä muutoksia muutamien arvojen ollessa riittämättömiä. Nämä muutokset olisi voinut välttää, mikäli tietotaitoa olisi ollut enemmän. Näinkin iso työ vaati huomattavasti enemmän keskittymistä kuin mikään muu työ aikaisemmin. Tiedonhakuun käytetty aika riitti kyllä hyvin, mutta kaikkea tarvittavaa tietoa ei saanut heti irti, mikä johti vaikeuksiin.

Rakentamisvaiheessa ilmi käyneet ongelmat johtivat aina suunnittelupöydän ääreen. Itse rakentaminen oli helppoa, eikä suurempia ongelmia ilmennyt. Piirilevyjen suunnittelu onnistui jouhevasti, mutta jyrästä tuotti hieman ongelmia piirilevyn pienen koon takia.

Ohjelman suunnittelu tapahtui kokonaisuudessaan kolme kertaa. Jokaisella kerralla ohjelma tuli tehdä täysin uudestaan, komponenttien lisäämisen tai osien vaihtamisen takia. Käyttöliittymästä tuli kohtuullisen yksinkertainen ja helppokäyttöinen.

Loppujen lopuksi saavutettiin valmis kytkentäyksikkö. Ohjainmoduuliin jäi vielä useita ohjainnastoja käytettäväksi, joten laajennusvaraa on tarvittaessa. Tämä vaatisi kytkentäyksikön etu- ja takapaneelin uudelleen suunnittelun sekä releiden uudelleen sijoittelun. Edessä olisi myös kaapeleiden uusiminen sisälle. Suurin osa kaapeleista on tarpeeksi pitkiä, mutta jotkut kaapeleista tulevat jäämään lyhyeksi releen sijoittelun muuttuessa.

7 YHTEENVETO

Tässä insinööriyössä tutustuttiin EMC-testauslaitteistoon ja korkeutaajuuksisten signaalien ohjaukseen ohjelmallisella ohjainyksiköllä. Tarkoituksena oli etsiä sopivat komponentit ohjelmalliselle ohjainyksikölle; joka tulisi ohjaamaan EMC-testauslaitteiston laitteita ja niiden signaaleita, sekä suunnitella ja toteuttaa tämä yksikkö Kajaanin ammattikorkeakoulun EMC- ja olosuhdelaboratorion käyttöön.

Työssä pääsi tutustumaan muutamaiin signaalinohjaukseen tarkoitettuihin komponentteihin ja niiden ominaisuuksiin. Päädyttäessä Radiallin toimittamiin korkealaatuisiin RF-releisiin tärkeimpinä kriteereinä olivat kustannukset, varma ja luotettava toiminta, ja helppokäyttöisyys. Ohjainmoduulia valittaessa tärkeää oli LabVIEW-ohjelmointiympäristön tuki, ja joko GPIB- tai USB-liitettävyys olivat vaatimuksena laitteelle.

Insinööriyö oli haastava ja monipuolinen. Koko opiskeluajan teoriaopinnot kuin myös laboraatioharjoituksissa opitut asiat tulivat tarpeeseen. Haasteita tarjosi niin tiedon etsintä, laitteen suunnittelu kuin myös itse toteutus ja testaus. Jokainen osa-alue opetti paljon uutta. Työ tuotti myös kantapään kautta oppimista, sillä ohjainmoduuli jouduttiin vaihtamaan lopulta toiseen.

Loppujen lopuksi saatiin toimiva EMC-mittauslaitteiston signaaleita ohjaava releohjainyksikkö jota ohjattiin LabVIEW-ohjelman avulla. Insinööriyö itsessään täytti työlle asetetut kriteerit ja vaatimukset.

LÄHTEET

1. Agilent Technologies. Test System Signal Switching. 2003. [PDF-dokumentti] <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5988-8627EN.pdf> (Luettu 1.4.2012)
2. Ham.Fi. PIN diodi. Viimeksi muutettu 25.1.2008. [WWW-dokumentti] <http://wiki.ham.fi/PIN_diodi> (Luettu 2.12.2011)
3. Wikipedia. PIN diode. Viimeksi muutettu 7.3.2012. [WWW-dokumentti] <http://en.wikipedia.org/wiki/PIN_diode> (luettu 2.12.2011)
4. Jang ,B.J. & Yom, I.B. & Lee, S.P. 2003. An Enhanced PIN Diode Model for Voltage-Controlled PIN Diode Attenuator (1), 231-234. (Luettu 30.3.2012) DOI: 10.1109/EUMC.2003.1262260
5. Hoag, D. & Brogle, J. & Boles, T. & Curcio, D. & Russell, D. 2003. Heterojunction PIN diode switch. Microwave Symposium Digest, 2003 IEEE MTT-S International 1, 255-258. (Luettu 30.3.2012) DOI:10.1109/MWSYM.2003.1210928
6. Wikipedia. Band gap. Viimeksi muokattu 16.4.2012. [WWW-dokumentti] <http://en.wikipedia.org/wiki/Band_gap> (Luettu 3.4.2012)
7. Johler, W. 2007. Basic Investigations for Switching of RF Signals. Electrical Contacts - 2007, the 53rd IEEE Holm Conference, 229-238. (Luettu 2.4.2012) DOI: 10.1109/HOLM.2007.4318222
8. National Instruments. Switching Considerations. 2009. [WWW-dokumentti] <<http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/4197#toc0>> (Luettu 14.11.2011)
9. Lalena, M. Tamper Proof Security System / Burglar Alarm Wiring. [WWW-dokumentti] <<http://www.structuredhomewiring.com/TamperProofWiring.aspx>> (Luettu 14.3.2012)
10. Audico. 19” LAITEKAAPIT. [PDF-dokumentti] <http://www.audico.fi/files/628/Audico_laitekaapit_AKM109-AKM339_2009.pdf> (Luettu 16.11.2012)

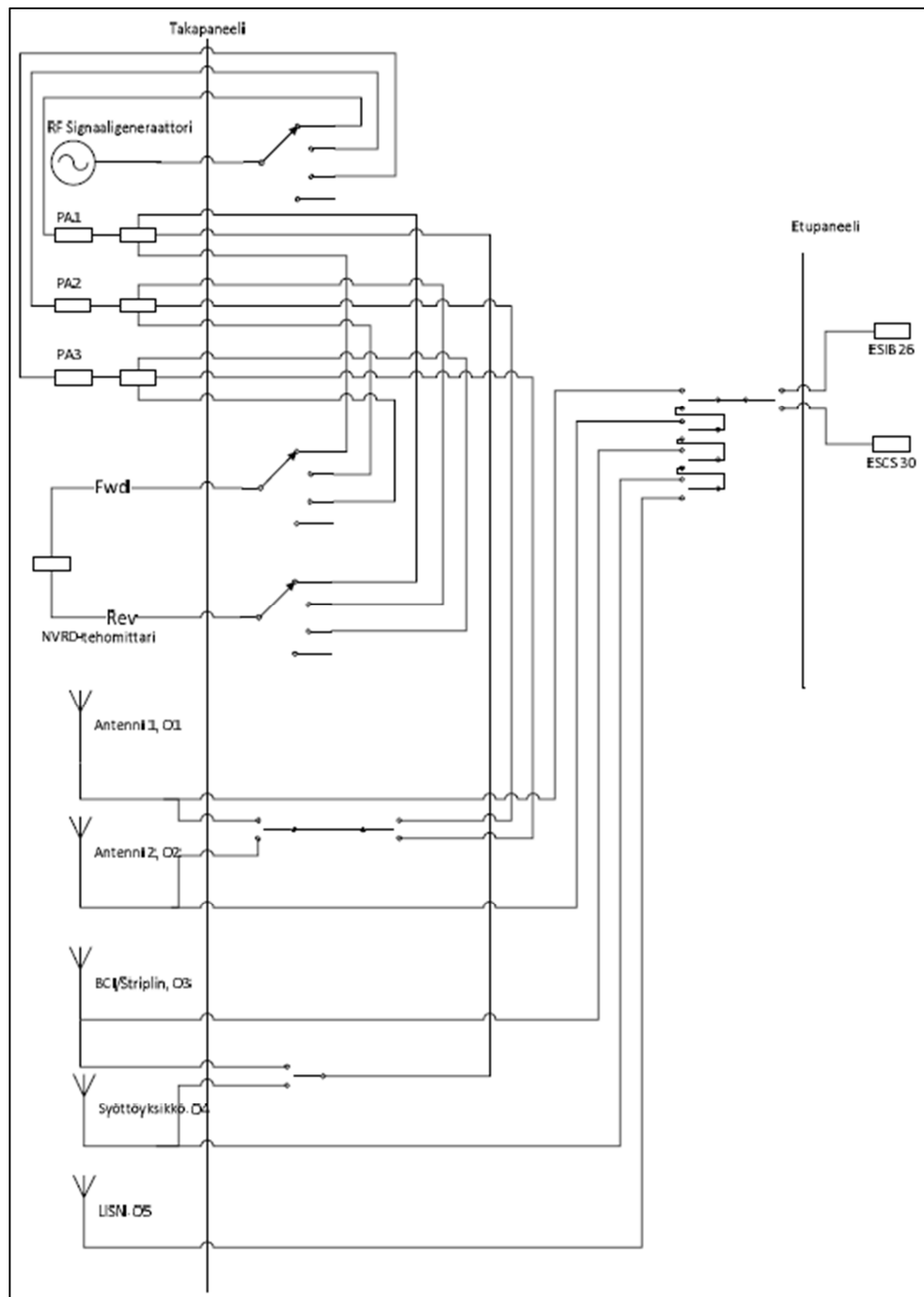
11. All About Circuit. Inductor Commutating Circuits. [WWW-dokumentti]
<http://www.allaboutcircuits.com/vol_3/chpt_3/9.html> (Luettu 15.3.2012)
12. National Instruments. Industrial Digital I/O Device for USB – 60 V, Channel-to-Channel Isolated. Viimeksi muokattu 27.5.2010. [WWW-dokumentti]
<<http://sine.ni.com/ds/app/doc/p/id/ds-137/lang/en>> (Luettu 13.12.2011)
13. Wikipedia. Darlington transistor. Viimeksi muokattu 21.3.2012. [WWW-dokumentti]
<http://en.wikipedia.org/wiki/Darlington_transistor> (Luettu 15.3.2012)
14. Radiall. Product Datasheet. [PDF-dokumentti]
<<http://radiall.applixia.net/catalogue/object.do?dsn=dmsDS&action=datasheet&objobj=2965446>> (Luettu 3.4.2012)
15. Radiall. Product Datasheet. [PDF-dokumentti]
<<http://radiall.applixia.net/catalogue/object.do?dsn=dmsDS&action=datasheet&objec=2953041>> (Luettu 3.4.2012)
16. Agilent Technologies. Reflection Measurements. [WWW-dokumentti]
<http://na.tm.agilent.com/pna/help/latest/Tutorials/Reflection_Measurements.htm> (Luettu 3.4.2012)

LIITTEET

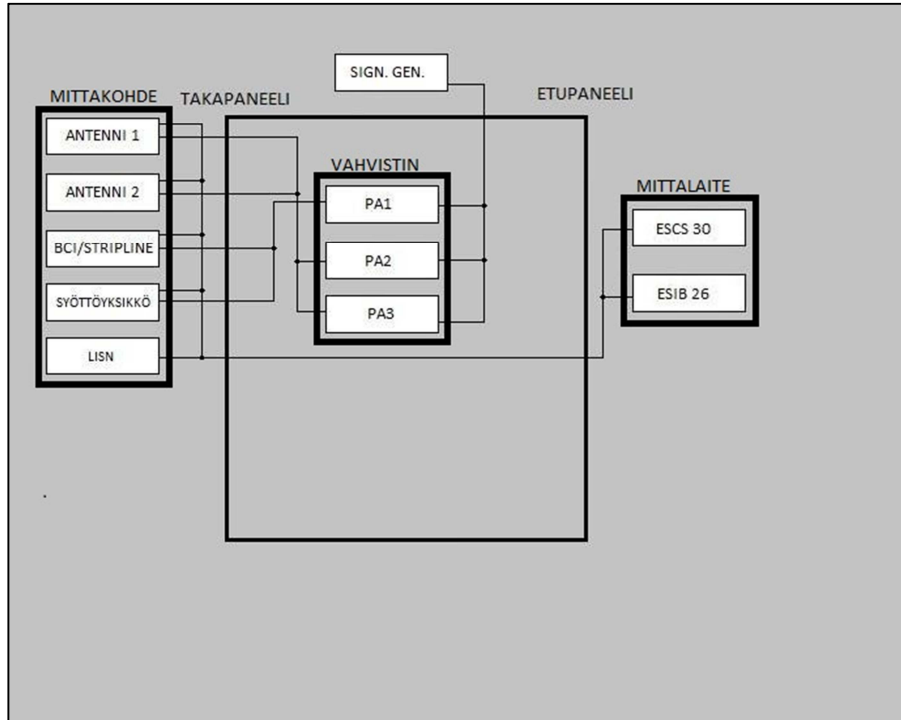
LIITE 1: KYTKENTÄKAAVIO

LIITE 2: LABVIEW-OHJELMA JA KÄYTTÖLIITTYMÄN KUVA

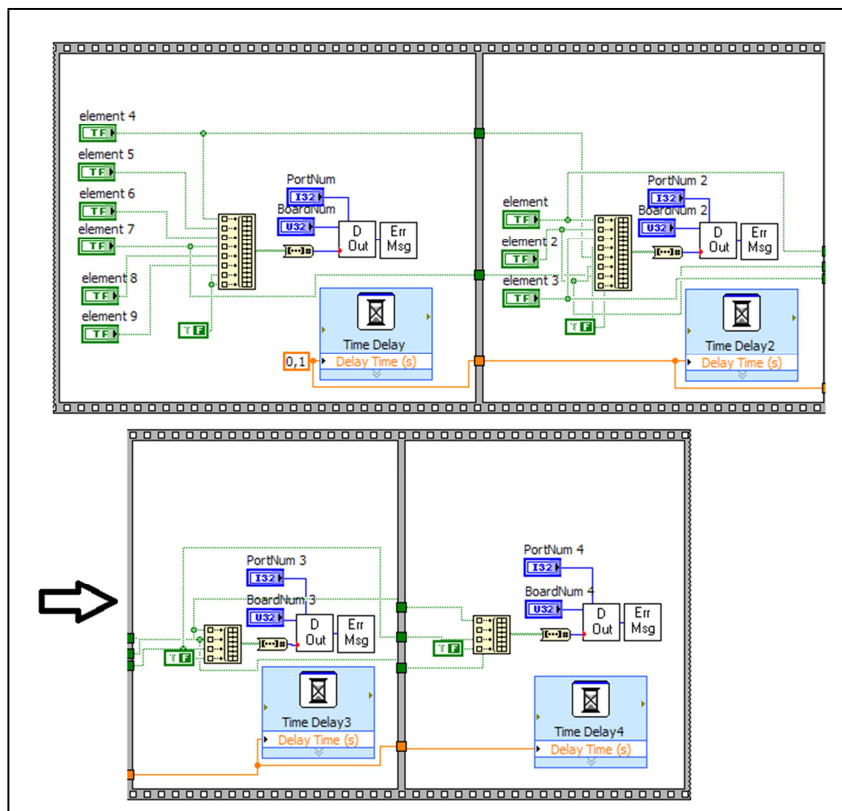
LIITE 3: TESTAUSTULOKSET



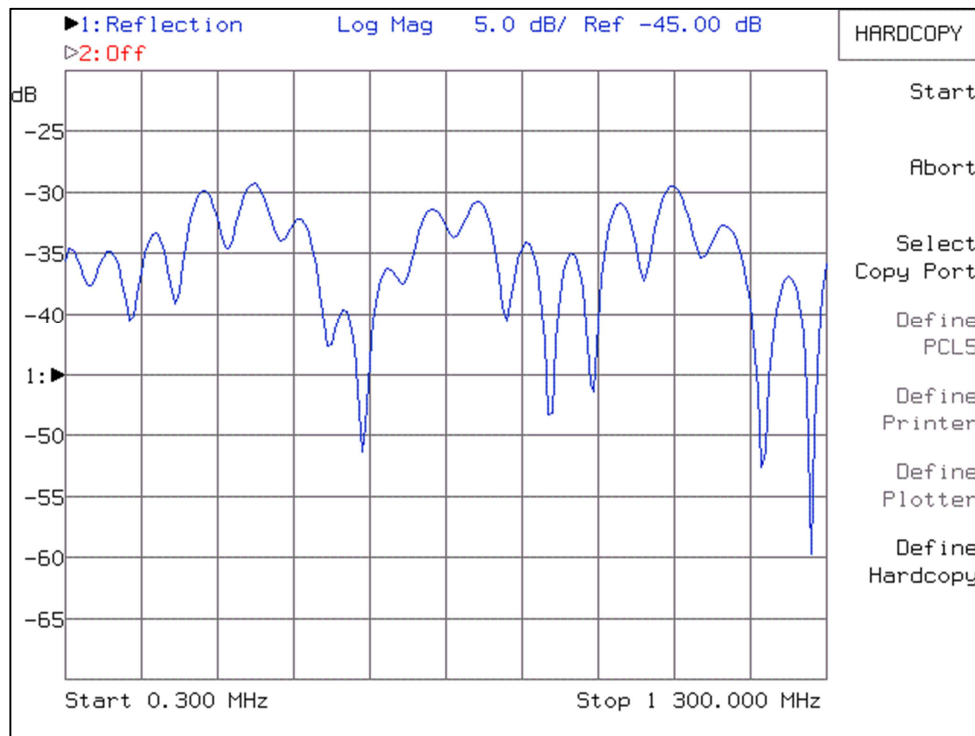
Releiden kytkentäkaavio.



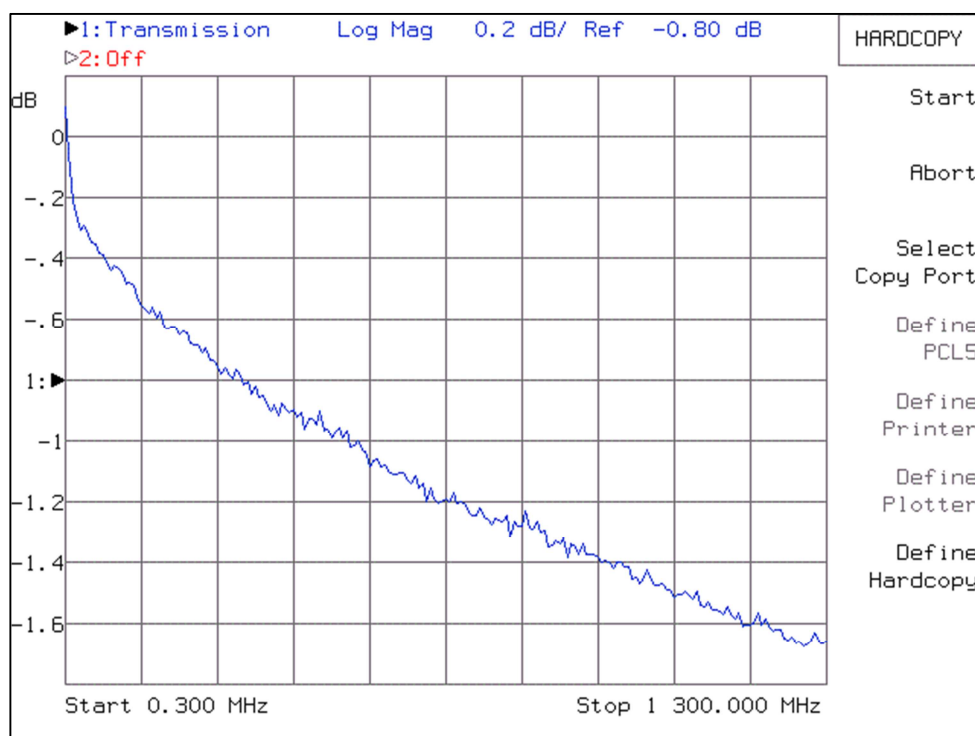
LabVIEW-ohjelman käyttöliittymä



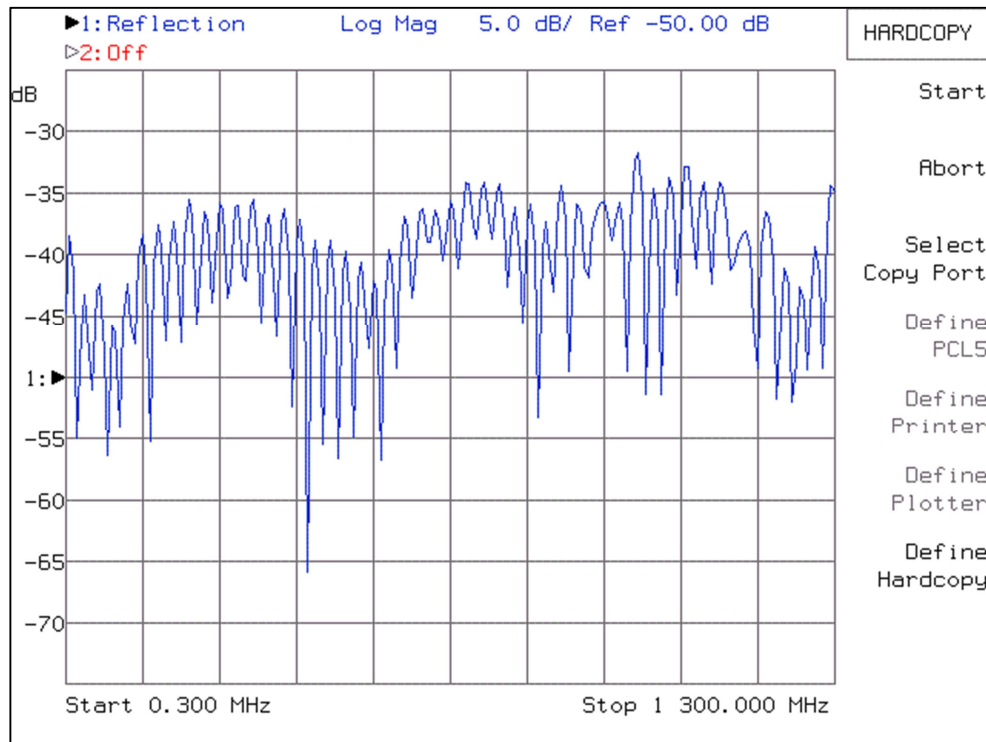
LabVIEW-ohjelma



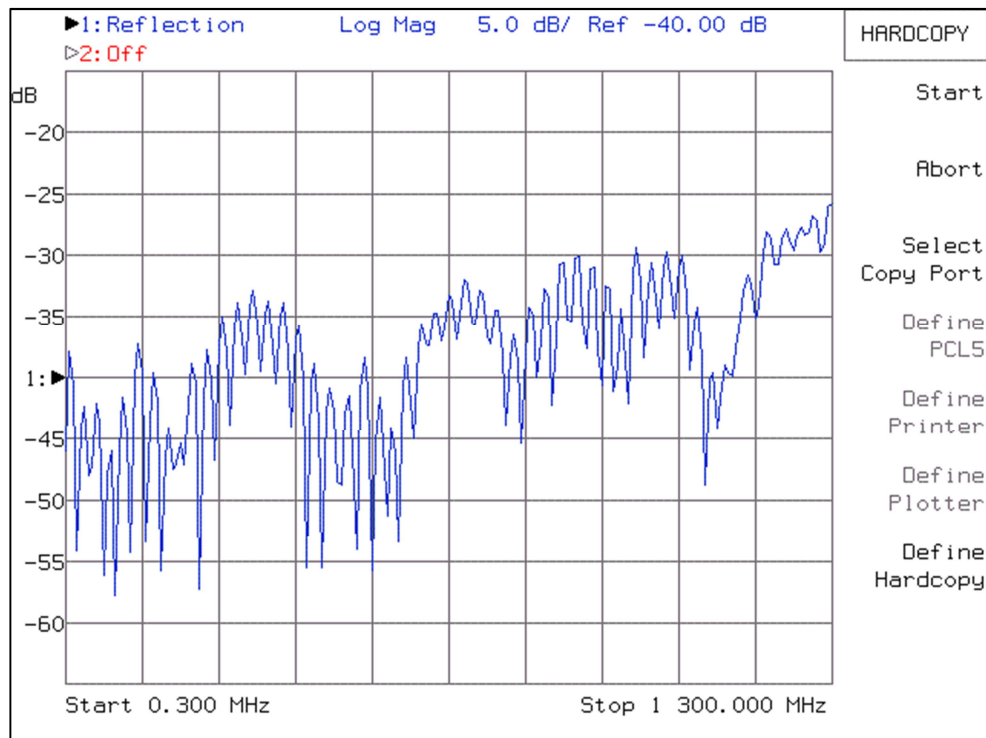
Mittavastaanottimen ohjainreleen heijastuvien häiriöiden mittaus sisäisellä päätevastuksella.



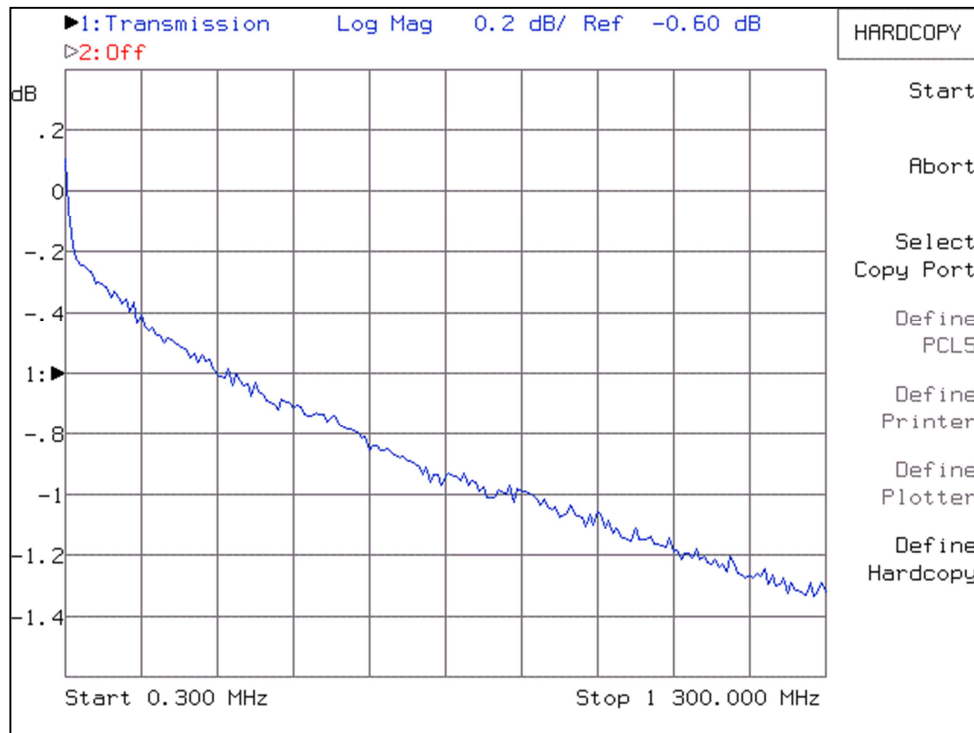
Mittavastaanottimen ohjainreleiden läpi kulkeva johtuvien häiriöiden mittaustulos.



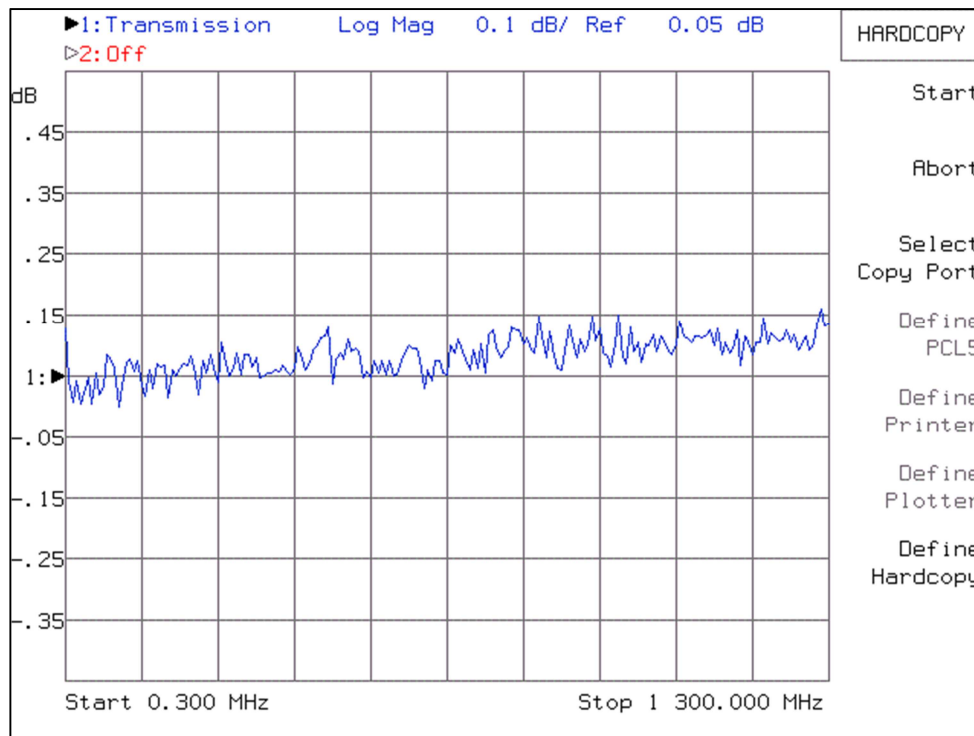
Kolmannen vahvistimen ohjainreleen heijastuvien häiriöiden mittaus sisäisellä päätevastuksella.



Kolmannen vahvistimen ohjainreleen heijastuvien häiriöiden mittaus ulkoisella päätevastuksella.



Kolmannen vahvistimen ohjainreiden läpi kulkeva johtuvien häiriöiden mittaustulos.



Testauksessa käytetyn toisen kytkentäkaapelin johtuvien häiriöiden mittaustulos.