

Kimmo Wallenius

VERKKOSUODATTIMIEN TAAJUUSVASTEEN ANALYSOINTI  
JA MITTAUS

Sähkövoimatekniikan koulutusohjelma

2016

# VERKKOSUODATTIMIEN TAAJUUSVASTEEN ANALYSOINTI JA MITTAUS

Wallenius, Kimmo  
Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Sähkövoimatekniikan koulutusohjelma  
Toukokuu 2016  
Ohjaaja: Pulkkinen, Petteri  
Sivumäärä: 51  
Liitteitä: 1

Asiasanat: Verkkosuodatin, mittaus, simulointi, etäluettava mittarit

---

Lopputyössä tutustuttiin sähköverkossa käytettävään kommunikaatioon eli Power Line Communication (PLC) -tekniikkaan. Tavoitteena oli myös ymmärtää EMC-vaatimuksia 3-148,5kHz taajuusalueella.

Työssä tutustuttiin kahden erilaisen suodattimen spesifikaatioihin ja arvioitiin niiden soveltuvuutta PLC-suodattimeksi. Työssä pohdittiin ja kokeiltiin erilaisia ratkaisuja, miten mitata laite tai suodatin sen omissa käyttöolosuhteissa, jotka ovat eri kuin suunnittelussa. Useimmat mittalaitteet ovat rakennettu toimivaksi 50Ω:n ympäristössä, myös simulointityökaluja käytetään usein 50Ω:lla.

Mittaustulosten varmentamiseksi Bajog-suodatin simuloitiin mahdollisimman todennukaisilla arvoilla. Simuloinnissa käytettävät komponenttiarvot laskettiin suodattimen rakenteen sekä resonanssipisteen taajuuden ja impedanssin perusteella. Simulointien ja mittausten avulla huomattiin impedanssien massiivinen vaikutus suodattimen suodatuskykyyn. Schaffnerin spesifikaatioissa oli saatavissa mittaustuloksia eri impedansseilla. Schaffner-suodattimen vertailumittausten perusteella voitiin verifioida Bajogin mittaukset.

Työssä selvitettiin Bajog-suodattimen olevan suunniteltu PLC suodattimeksi, mutta mittauksilla todettiin Bajog-suodattimen resonanssipisteen väärä taajuus Suomen olosuhteisiin. Työn lopussa saatiin Bajog:lta uusi Suomi suodatin, nyt suodattimen resonanssipiste on pyydetyllä taajuudella.

# ANALYSIS AND MEASUREMENTS OF POWER LINE COMMUNICATION FILTER'S

Wallenius, Kimmo  
Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Degree Programme in Electric power  
May 2016  
Supervisor: Pulkkinen, Petteri  
Number of pages: 51  
Appendices: 1

Keywords: Power Line communication, Filter, measurement, simulation

---

In this thesis work we get familiarized with Power Line Communication (PLC) technique. Main issue is also Electromagnetic compatibility (EMC) requirements and standards in frequencies between 3-148,5Khz.

Caruna have chosen two different kind of filters to filter PLC interferences. In the work filters are compared with specification and target is to understand are these filters suitable to PLC filtering.

Filters engineering work and design have been done in  $50\Omega$  environment. Most of the measuring devices and simulation tools have been done to work in  $50\Omega$  environment. How to measure filters in it's working environment, which are different than it's design environment.

Bajog filter have also been simulated to make sure that measurements have been done correctly. Components which have been used in simulation have been selected according resonance frequency, impedance and filters structure. Bajog filter's exact component values are not known. In Schaffner's specification there is measurement's results with different impedance level. Schaffner filter is also measured same way to verify measurements results against specification.

Measurement results and filter's behavior in different impedance level have been shown in this work with Excel table. With those tables can see impedance levels massive effect to filters attenuation. Different impedance level can even cause voltage kick.

One year later Bajog manufactured new Finland filter with correct resonance point. Resonance point is exactly same what have been specified to Bajog. Also because of this work filter's wrong resonance point was noticed.

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	PLC TEKNIikka.....	6
2.1	Etäluettavat mittarit ja PLC .....	6
2.2	EMC-standardi SFS-EN 50065-1 .....	7
2.3	Kotitalouksien EMC PLC-taajuudella .....	9
3	PLC-SUODATTIMET JA NIIDEN OMINAISUUDET .....	13
3.1	Schaffner FN3256H - 16 - 29 .....	13
3.2	Bajog GB.E4.045A.OFDM.01.x.14.....	17
4	STANDARDOITU MITTAUSMETODI .....	22
4.1	PLC-suodattimen mittaus IEC:n spesifikaation mukaan .....	22
4.2	Impedanssimuunnin .....	22
5	OMIA SIMULOINTEJA JA MITTAUKSIA .....	27
5.1	50 Ω:n suunnitteluympäristö.....	30
5.2	Omia mittausten menetelmiä .....	31
5.3	Lopulliset suodatinmittaukset, Bajog.....	34
5.4	Lopulliset suodatinmittaukset, Schaffner.....	42
6	SUOMI BAJOG -FILTTERI.....	45
6.1	Suomi Bajog -mittaukset.....	45
7	LOPPUPÄÄTELMÄT .....	48
7.1	Kiitokset.....	49
	LÄHTEET .....	50
	LIITTEET	

## 1 JOHDANTO

Työssä tutustutaan Power Line Communication (PLC) tekniikkaan eli tiedonsiirtoon sähköverkossa. Tässä työssä tiedonsiirrolla tarkoitetaan reaaliaikaista sähkönkulutus-tiedon välittämistä asiakkaalta sähköoperaattorille. Verkkoon muodostuu häiriöitä esimerkiksi tasasuuntaajista ja hakkureista, jotka haittaavat varsinaisen halutun tiedon siirtämistä. Suodattimen tarkoituksena on suodattaa näitä kohteesta etäluettavalle mittarille tulevia häiriöitä pois. Tämän työn tavoitteena on ymmärtää PLC-tekniikan ympäristö ja valita siihen soveltuvin suodatin.

Verkkosuodattimet suunnitellaan ja mitataan  $50\Omega$ :in järjestelmässä, mikä ei kuitenkaan ole niiden aito toimintaympäristö. Työn tavoitteena on selvittää, miten voidaan jäljitellä todellista toimintaympäristöä ja saada mittaamalla kuva suodattimien käyttäytymisestä oikeassa ympäristössä. Työhön on valittu tarkasteltavaksi kaksi erilaista sähköverkoissa kokeiltua suodatinratkaisua. Suodattimien toimintamittauksien verifiointiseksi suodatin simuloidaan parhaimman arvion mukaisilla komponenttiarvoilla.

Suodattimien soveltuvuutta on arvioitava niiden spesifikaatioiden perusteella, koska suodattimissa käytettyjen komponenttien arvoja ei ole saatavilla toimintamittausten perusteeksi. Komponenttiarvoja on mahdollista kartoittaa erilaisin mittauksin sekä laitteen rakennetta tutkimalla. Suodattimien rakenteen ymmärtämiseksi suodattimia on tarpeen röntgenkuvata. Rakenteen selvittämisen jälkeen voidaan arvioida suodattimessa käytettyjä komponentteja sekä myös suodattimien fyysistä sijoituspaikkaa.

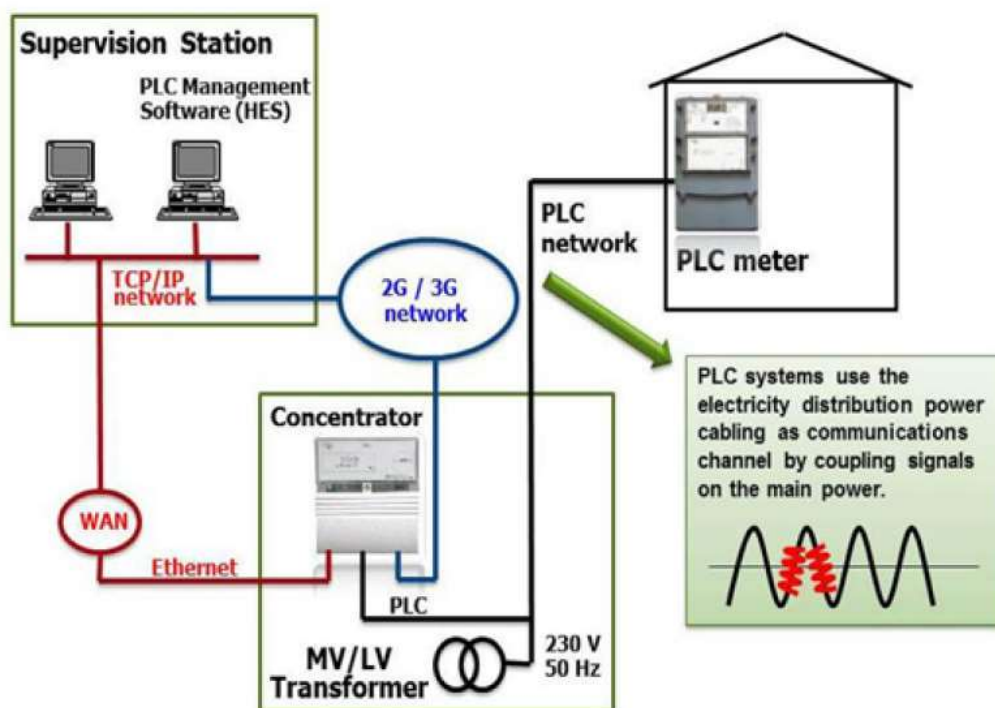
Työssä on tarkoitus esittää IEC:n standardeissa kuvattua mittaustapaa CISPR17 ja myös kokeilla simulointiohjelmalla mahdollisuutta simuloida CISPR17:n mukaisia mittauksia. Mittausten perusteella voidaan arvioida, miten suodattimen ominaisuudet ja käyttäytyminen muuttuvat eri impedanssitasoissa.

## 2 PLC TEKNIikka

### 2.1 Etäluettavat mittarit ja PLC

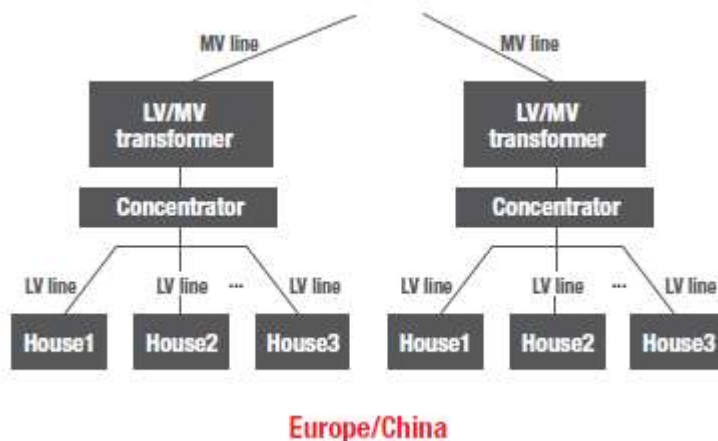
Varsinais-Suomessa Caruna Oy käyttää PLC:llä toimivia etäluettavia mittareita ja yksi näistä mittareista on Echelon MTR3000. PLC:llä toimivan mittarin toimintaperiaate verkon kannalta näkyy alla olevasta kuvasta 1.

### PLC Communication



Kuva 1. PLC kommunikaatio. (Landisgyr www-sivut 2016)

Kuva 1 näyttää PLC-tekniikan rakenteen sähköjakeluympäristössä ja vihreässä laatikossa oleva teksti esittää PLC:stä olennaisen asian. PLC on siis johtuvaa kommunikointia, mikä on moduloitu 230V jännitteensyötön päälle. Kommunikoinnissa käytetään hyväksi jo valmiina olevaa sähköjakeluverkkoa.



Kuva 2. PLC verkon rakenne. (Texas Instruments www-sivut 2016)

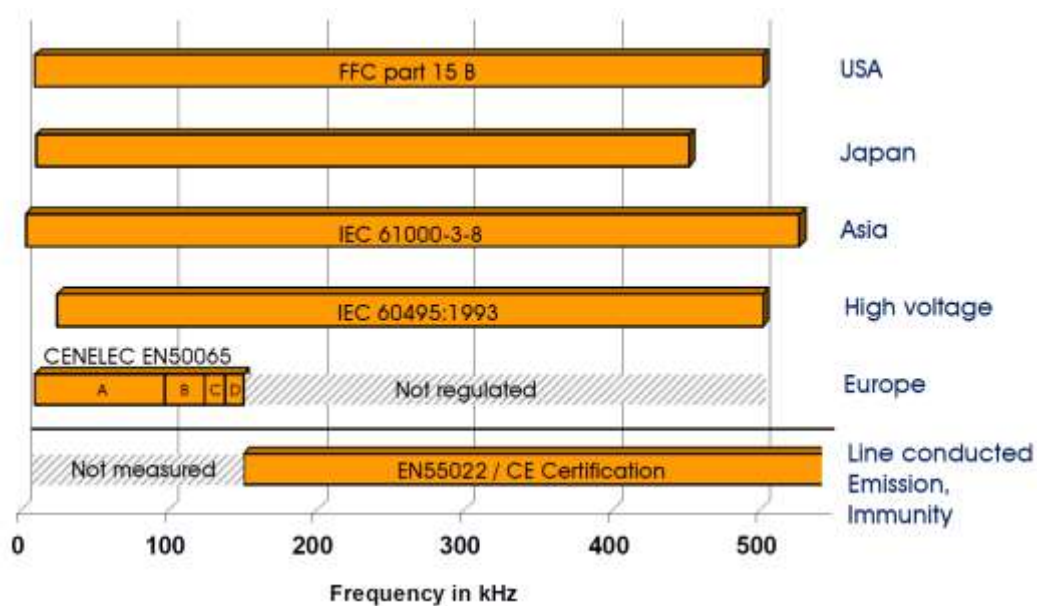
Verkko voidaan vielä esittää yksinkertaistettuna kuvan 2 mukaisesti. Jokainen kotitaloudessa oleva mittari kommunikoi Concentrator:n eli keskittimen kanssa. Keskittimistä informaatio lähetetään sähköyhtiölle langallisesti tai langattomasti.

## 2.2 EMC-standardi SFS-EN 50065-1

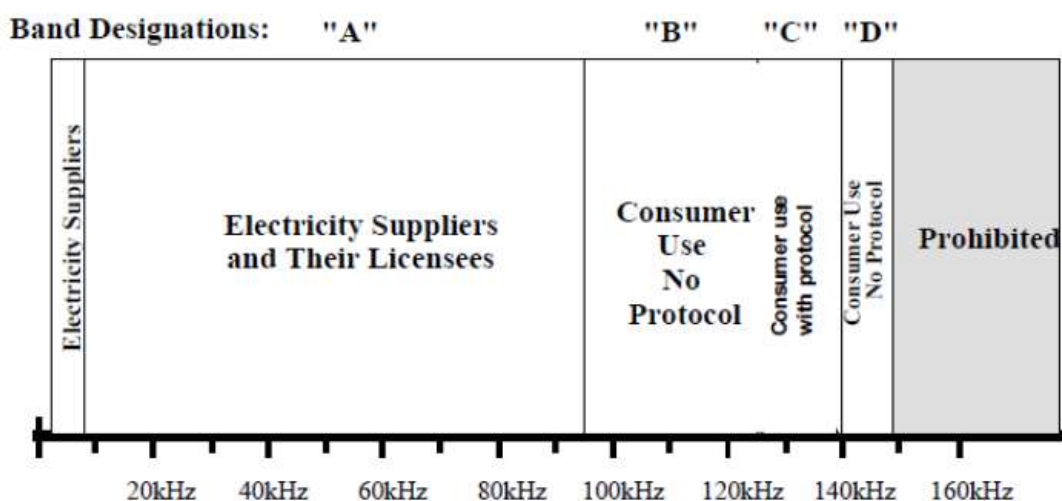
(EMC (Electromagnetic Compatibility) eli sähkömagneettisella yhteensopivuusstandardilla on pyritty standardoimaan laitteiden häiriönsietoa ja niiden aiheuttamaa häiriötasoa. Kyse on siitä, miten laitteet toimivat toistensa läheisyydessä. Sähkömagneettiset häiriöt hidastavat PLC-signaalin siirtonopeutta ja pahimmillaan estävät sen käytön.

EN 50065 on eurooppalainen standardi, jonka eurooppalainen sähköalan standardoimisjärjestö Cenelec on hyväksynyt 21.03.2011. Standardi koskee sähkölaitteita, joiden viestiliikenne toimii 3-148,5 kHz:in taajuusalueella. (SFS-EN 50065-1, 2.)

EN 50065 standardin aiemmat luonnokset perustuivat jo olemassa oleviin teollisuusdokumentteihin ja kansallisiin standardeihin. Näissä taajuusalueet oli jaettu neljään eri alueeseen: A-alue 3 kHz – 95 kHz, B-alue 95 kHz – 125 kHz, C-alue 125 kHz -140 kHz ja D-alue 140 kHz – 148,5 kHz, katso Kuva 3 ja 4. Teollisuudessa näitä nimityksiä käytetään edelleen, mutta SFS-EN 50065 näistä nimityksistä on luovuttu, tosin taajuusalueet ovat vielä samoja. (SFS-EN 50065-1, 8.)



Kuva 3. PLC taajuuksien säädöksiä. (IEEE Communicatios Society www-sivut 2016)



Kuva 4. Cenelec taajuusalueet. (Texas Instruments www-sivut 2016.)

A-alue on varattu ainoastaan sovelluksiin, jotka valvovat tai ohjaavat pienjännitejake-luverkkoa. A-alueen sovellukset sisältävät tietoja tilojen ja kytkettyjen laitteiden ener-giankulutuksista, eli tyypillinen sovellus on etäluettavat mittarit ja niiden kommuni-kaatio. B-, C- ja D-alue on käytettävissä vain analogisille ja digitaalisille sovelluksille kotona, kaupallisessa tai teollisuusympäristössä, sekä asennettujen laitteiden tai pien-jänniteverkkoon tilan ulkopuolella kytkettyjen laitteiden ohjaukseen ja valvontaan. (SFS-EN-50065-1, 9.)



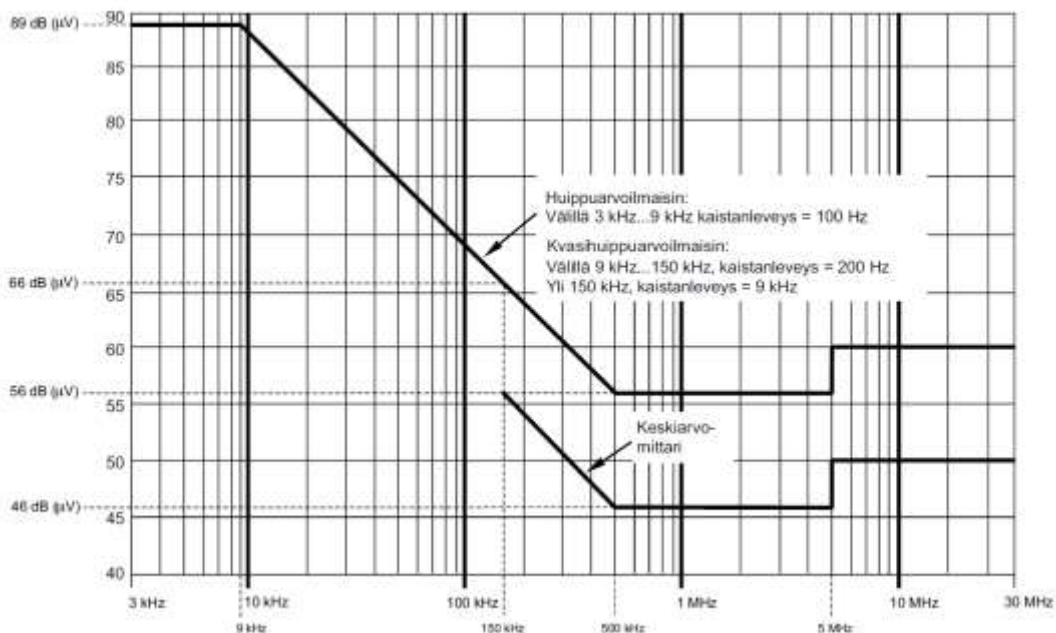
Standardissa on määritelty lähetettävien laitteiden mittaukset ja ympäristön impedanssitasot, joissa laitteet mitataan. Standardissa määritellään myös maksimilähetystasot etäluettavalle mittarille. Tasot laskevat lineaarisesti taajuuden logaritmin funktiona 9kHz:stä (134dBuV, 7Vpeak) taajuuteen 95kHz (120dBuV, 1,4Vpeak), käyttäen kapeakaistaista lähetystä vain yhdellä vaiheella. (SFS-EN-50065-1, 26.) Caruna Oy:n käyttämät etäluettavat mittarit käyttävät PLC-kommunikaatiossa 86 kHz:in taajuutta ja varmuuskanavan taajuus on 75kHz.

### 2.3 Kotitalouksien EMC PLC-taajuudella

EU-alueella EMC-vaatimukset on harmonisoitu EMC-direktiivillä 2004/108/EC, joka on ollut voimassa 20.7.2007 alkaen. CE-merkintä osoittaa, että laite täyttää EMC-direktiivin olennaiset suojausvaatimukset ja että valmistaja on laatinut laitteesta vaatimustenmukaisuusvakuutuksen. Kiinteät asennukset eivät tarvitse CE-merkintää, mutta niiden asennuksissa on noudatettava hyviä teknisiä käytäntöjä. Selvitetessä käytännössä sähkömagneettisia suojausvaatimuksia tulee asennuksen haltijalla olla dokumentit, joista selviää suojausvaatimuksien toteutus käytännössä ja niiden huomioiminen. (ST-KÄSIKIRJA 37 2008, 12.)

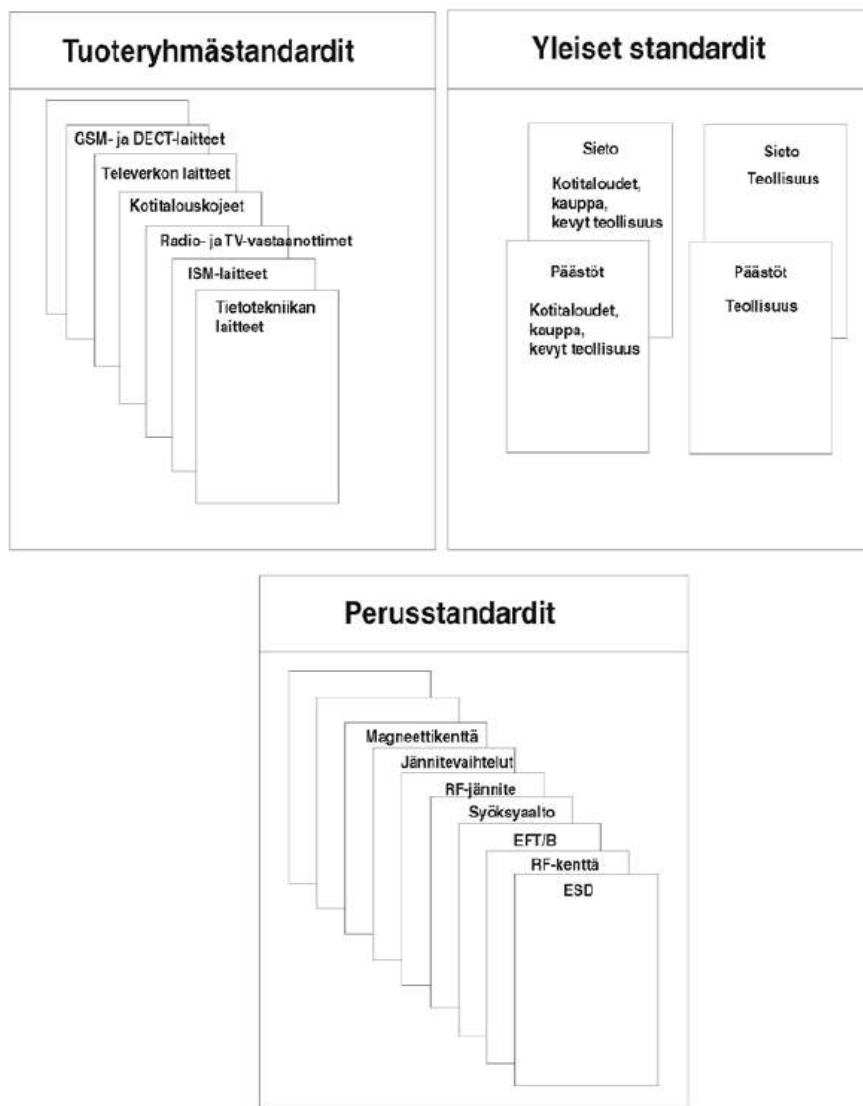
EMC-direktiivin liitteen I mukaisia vaatimuksia täytettäessä pitää huomioida komponenttien aiottu käyttötarkoitus. Direktiivin liitteen I mukaan olennaiset vaatimukset ovat emissio ja immunitaetti. Emissio eli laitteen sähkömagneettinen häiriö ei saa estää muita laitteita toimimasta. Immunitaetti eli laitteen häiriön sieto puolestaan tarkoittaa, että laitteisto ei saa reagoida sähkömagneettiseen häiriöön kohtuuttomasti. (ST-KÄSIKIRJA 37 2008, 12-13.)

Kotona ja teollisuudessa PLC-kommunikointia käytettävien laitteiden häiriötasojen raja-arvot ovat määritelty osakaistojen ulkopuolisille taajuuksille. Eli A-luokan lähintä käyttävän laitteen häiriötasojen mittaukset suoritetaan B-, C-, ja D-alueilla kuvan 5 mukaisesti.



Kuva 5. Johtuvat häiriöjännitetasot. (SFS-EN-50065-1, 28.)

Yleiset tuoteryhmästandardit Kuva 6 häiriönpäästöistä kattavat lähes kaikki sähkö- ja elektroniikkalaitteet. CENELEC on julkaissut kaksi yleistä häiriönpäästöstandardia kotitalouksille ja kevyeen teollisuuteen. Kotitalouksille standardi EN 61000-6-3 ja teollisuusympäristöön 61000-6-4 näitä käytetään, jos ei ole olemassa tuotetta koskevia tuoteryhmästandardeja. CENELEC standardien etu on, että nämä sisältävät sekä pien- taajuus- että radiotaajuusilmiöt. (ST-KÄSIKIRJA 37 2008, 18.)



Kuva 6 EMC standardien jakautuminen, (ST-KÄSIKIRJA 37 2008, 15.)

Yleiset häiriönsietostandardit on julkaistu Euroopassa samoille käyttöympäristöille kuin häiriöpäästöstandardit. EN61000-6-1 kotitalous ja kevyen teollisuuden sietostandardi, kun taas EN 61000-6-2 on teollisuusympäristöön. (ST-KÄSIKIRJA 37 2008, 27.)

EN 61000-4-5 on määritelty syöksyaallon siedon testaus. Ulkoisiin sähkö ja telejohtoihin syöksyaaltoja aiheuttaa suurjänniteverkon ja ukkosen kytkentäjännitteet. Myös yli 10m pitkiin sisäjohtoihin saattaa myös indusoitua syöksyaaltoja.

TN-S-järjestelmään asetetut vaatimukset ovat asennusympäristöön liittyviä standardeja. Kaapelien suojausominaisuuksia käsittelevät standardit liittyvät puolestaan asennuksiin ja järjestelmiin. Näillä standardeilla on liittymäkohtia EMC-ilmiöihin, varsinaisiksi EMC-standardeiksi käsitetään vain laitteiden häiriönpäästö ja häiriönsietoa koskevat standardit. EMC-perusstandardit ovat yleisiä standardeja ja laitekohtaisia tuoteryhmä- tai tuotestandardeja. (ST-KÄSIKIRJA 37 2008, 13.)

### 3 PLC-SUODATTIMET JA NIIDEN OMINAISUUDET

Suodattimen tavoitteena on suodattaa tai puhdistaa haluttu taajuusalue muista häiriöistä. Esimerkiksi lähettimessä suodattimella estetään muiden laitteesta tulevien häiriöiden pääsy ulos laitteesta (emissio) ja vastaanottimessa laitteeseen halutaan päästää sisään vain ainoastaan haluttu taajuus (immunitaetti).

Tässä kappaleessa käsitellään kahta erilaista suodatinratkaisua PLC-taajuusalueen suodatukseen. PLC-suodattimella estetään asiakkaalta tuleva häiriö etäluettavalle mittarille, jolloin etäluettavan mittarin keskittimelle lähettyvä signaali pysyy puhtaampana. Suodatin estää myös etäluettavan mittarin lähettämän signaalin pääsyn kotitalouksiin pitäen kotitalouksien jännitteet puhtaampana.

#### 3.1 Schaffner FN3256H - 16 - 29

Schaffner-suodattimen FN3256H-16-29 virran kesto 50°C asteessa on 16A, joka voidaan päätellä Kuva 8. Suodattimen nimessä esiintyvä 16 perustuu tähän ominaisuuteen. Numerosarja 29 puolestaan ilmoittaa liittimien ja johtojen pinta-alan kuvan 9 mukaisesti. Virran keston perusteella tämä suodatin pitää asentaa suoraan häiriölähteen yhteyteen, mikä on suodattimen oikea sijoituspaikka. Haasteena on ymmärtää mahdolliset häiriölähteet ja saada ne kaikki suodattimen taakse. Vaihtoehtoisesti jokaiselle häiriölähteelle pitää asentaa oma suodatin, joka nostaa kokonaisratkaisun hintaa.






Kuva 7. Schaffner-suodatin ja tyyppikilvessä olevat testitalojen merkinnät.

Filter	Rated current @ 50 °C (40 °C)	Leakage current* @ 480 VAC/50 Hz	Power loss @ 25 °C/50 Hz	Input/Output connections	Weight
	[A]	[mA]	[W]		[kg]
FN 3256H-8-29	8 (0.8)	<1	2.7	-29	0.6
FN 3256H-16-29	16 (1.75)	<1	5.0	-29	0.7
FN 3256H-25-33	25 (2.7)	<1	9.8	-33	1.1
FN 3256H-36-33	36 (3.9)	<1	11.3	-33	1.2
FN 3256H-64-34	64 (7.0)	<1	17.2	-34	2.3

Kuva 8. Schaffnerin virrankestot, tässä FN3256H-16-29. (Schaffner www-sivut, 2016.)

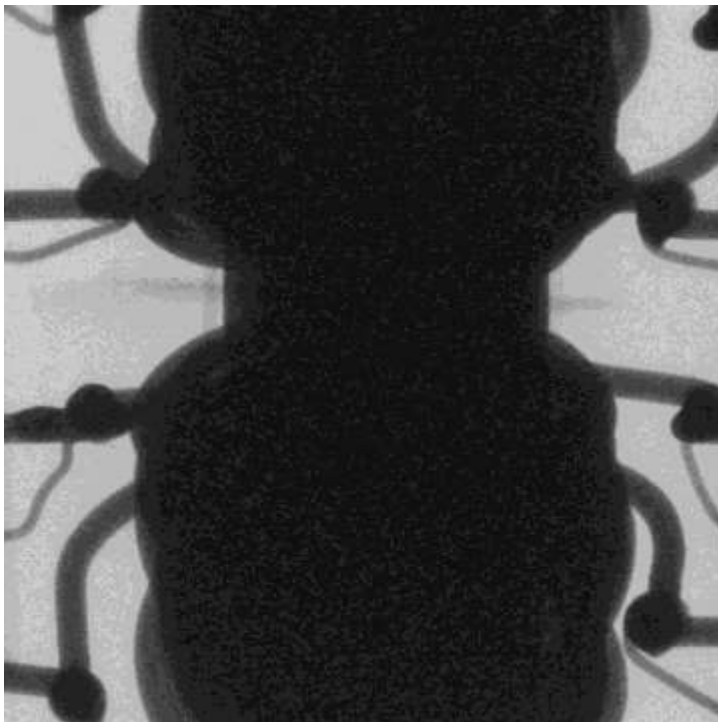
#### Filter input/output connector cross sections

	-29	-33	-34
			
Solid wire	6 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	35 mm <sup>2</sup>
Flex wire	4 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>
AWG type wire	AWG 10	AWG 6	AWG 2
Recommended torque	0.6-0.8 Nm	1.5-1.8 Nm	4.0-4.5 Nm

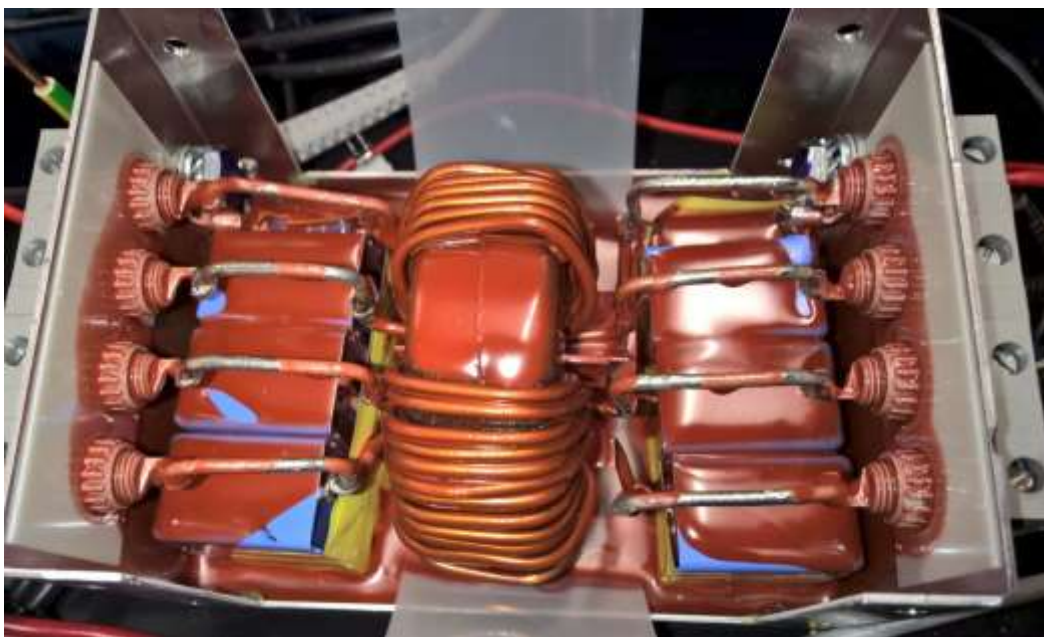
Please visit [www.schaffner.com](http://www.schaffner.com) to find more details on filter connectors.

Kuva 9. Schaffnerin liittimet ja niiden koko. (Schaffner www-sivut, 2016.)

Rakenteen ymmärtämiseksi suodatin kuvattiin Microsoftilla olleilla röntgenkuvauslaitteilla. Kuvasta 10 huomattiin, että kolmivaihesuodatus on rakennettu toroidilla. Tämä ratkaisu tekee suodattimesta erittäin kevyen ja suodatuskyvyltään varsin tehokkaan. Mittausten jälkeen Schaffner-suodatin vielä purettiin, jolloin saatiin varmistus suodattimen rakenteesta, Kuva 11.



Kuva 10. Schaffner röntgenkuvattuna.



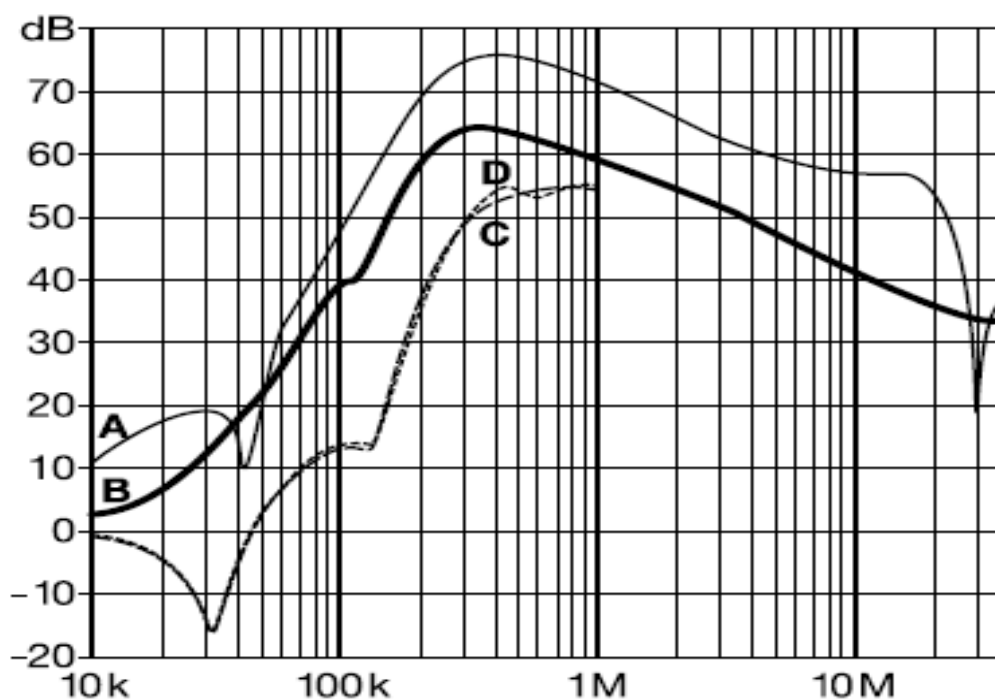
Kuva 11. Schaffner avattuna.

Schaffnerin voidaan Kuva 12 perusteella soveltuvaan yli 100kHz:in häiriölähteisiin, joten PLC-suodattimeksi ei Schaffnerin kuvan perusteella soveltu. Lisäksi Kuva 13 ja Kuva 13 huomataan kondensaattoreiden sijaitsevan toroidin molemmilla puolilla, eli periaatekytkentä on väärä PLC-suodattimeksi. Kondensaattorit molemmilla puolilla laskevat suodattimen LINE ja LOAD -puolen impedanssit alas. Koska etäluettavan mittarin näkemä impedanssi on alhainen, se pienentää lähetettä heikentäen signaali-kohinasuhdetta. Jos suodatin asennetaan oikeaan sijoituspaikkaan suoraan häiriölähteen viereen, linjaimpedanssit vaikuttavat sarjaimpedanssin tavoin ja saattavat nostaa PLC-mittarin näkemää impedanssia parantaen signaali-kohinasuhdetta.

### Typical filter attenuation

Per CISPR 17; A = 50  $\Omega$ /50  $\Omega$  sym; B = 50  $\Omega$ /50  $\Omega$  asym; C = 0.1  $\Omega$ /100  $\Omega$  sym; D = 100  $\Omega$ /0.1  $\Omega$  sym

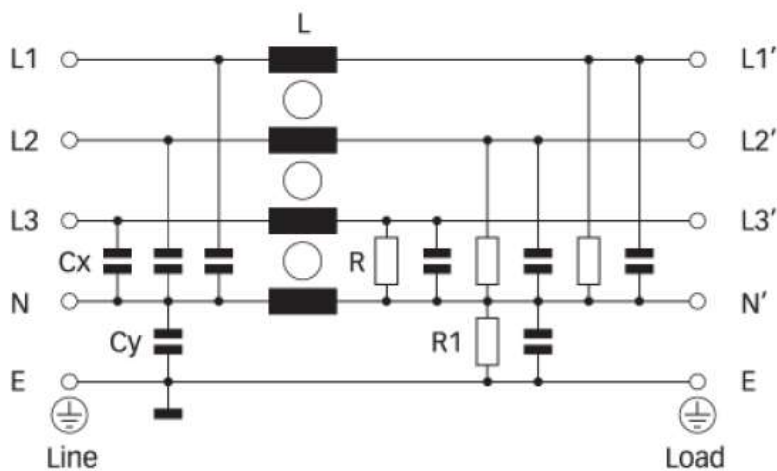
### 8 to 36 A types



Kuva 12. Schaffnerin estokaista, CISPR17 mukainen mittaus. (Schaffner www-sivut, 2016.)



### Typical electrical schematic



Kuva 13. Schaffnerin kytkentä. (Schaffner www-sivut, 2016.)

### 3.2 Bajog GB.E4.045A.OFDM.01.x.14

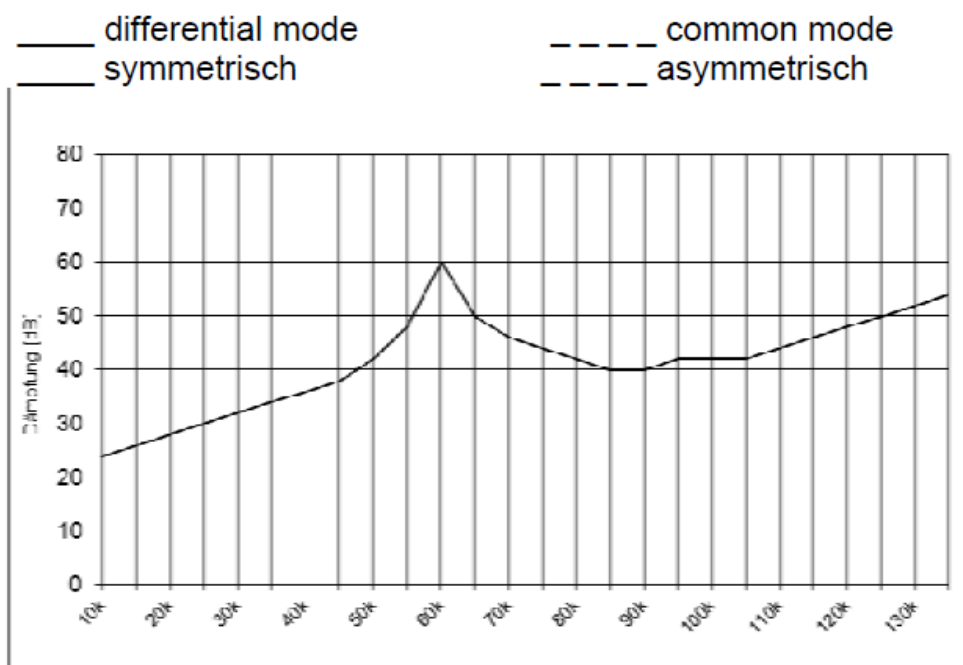
Suodattimen määritelty virrankesto on 45A ja toiminta-alue on 30-95kHz, eli osa Cenelec A-alueesta (3-95kHz). Virrankeston perusteella voidaan yhdellä suodattimella suodattaa koko kohteen aiheuttamat häiriöt pois sähköjakoverkosta.

Suodattimen nimessä on maininta OFDM (Orthogonal frequency division multiplexing), eli suodatin on tarkoitettu laajakaistaiseksi suodattimeksi. Toiminta-alueella suodattimen suodatus on valmistajan mukaan yli 30dB, 50Ω:n ympäristössä simuloina Kuva 14.

## insertion loss at 50Ω

## Einfügungsdämpfungskurve an 50Ω

### Attenuation/Dämpfungskurven:



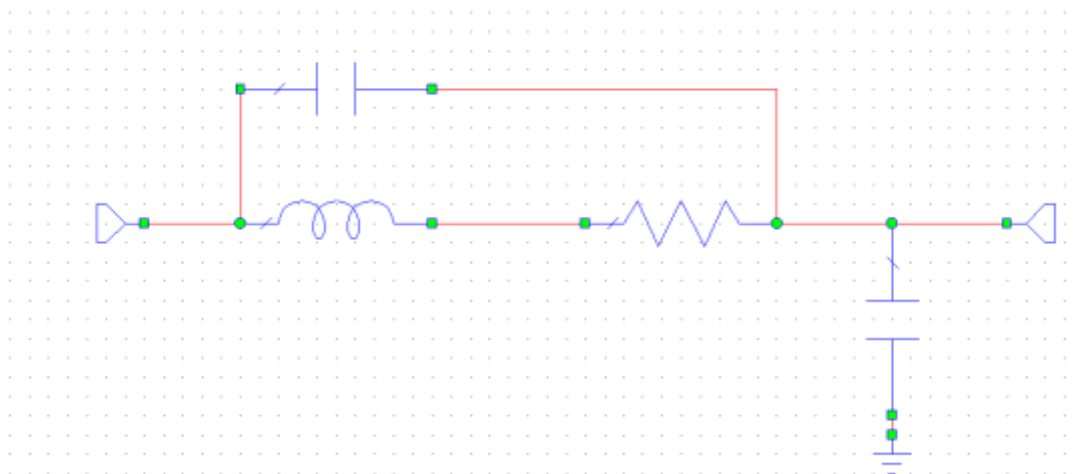
calculated, berechnet:

Kuva 14. Bajog-suodattimen estokaista simuloituna. (Bajog www-sivut, 2015.)

Kuva 14 osoittaa vaimennuksen olevan yli 30dB, kun taajuus on yli 35kHz, mutta alle 30dB:n vaimennus ei laske 95kHz:in taajuudella, vaan menee yli 135kHz:in. Eli spesifikaatiossa on oltava virhe, kun suodattimen estoalueeksi ilmoitetaan 35-95kHz. Kuva osoittaa, että suodattimen korkeinta estokaistaa ei ole mahdollista määrittellä tällä alueella. Kuva 14 nähdään myös resonanssitaajuuden olevan lähellä 60kHz, joka on Ranskassa käytettävä PLC-taajuus.

Bajog-suodattimen spesifikaatiossa mainitaan suodattimen sopivan OFDM (Orthogonal frequency division multiplexing) -signaaleille, eli tarkoittaen suodattimen olevan laajakaistainen. Suodattimen kuvasta 10 voidaan päätellä vain alueen 80kHz – 110kHz olevan hyvä päästökaista OFDM signaaleille, ei 35kHz – 95kHz. SFS-EN 50065-1 standardin kappaleessa 6.3.1.2 kapeakaistaiseksi signaaliksi tulkitaan signaali, jonka kaistanleveys on pienempi kuin 5kHz. Jos signaali on tätä suurempi, sig-

naali tulkitaan laajakaistaiseksi. Standardin mukaan Bajog-suodatinta voi sanoa laajakaistaiseksi, eli voidaan hyväksyä kyseisen suodattimen OFDM-määritelmä, mutta vain alueella 80kHz-110kHz.



Kuva 15. Bajog-suodattimen sijaiskytkentä.

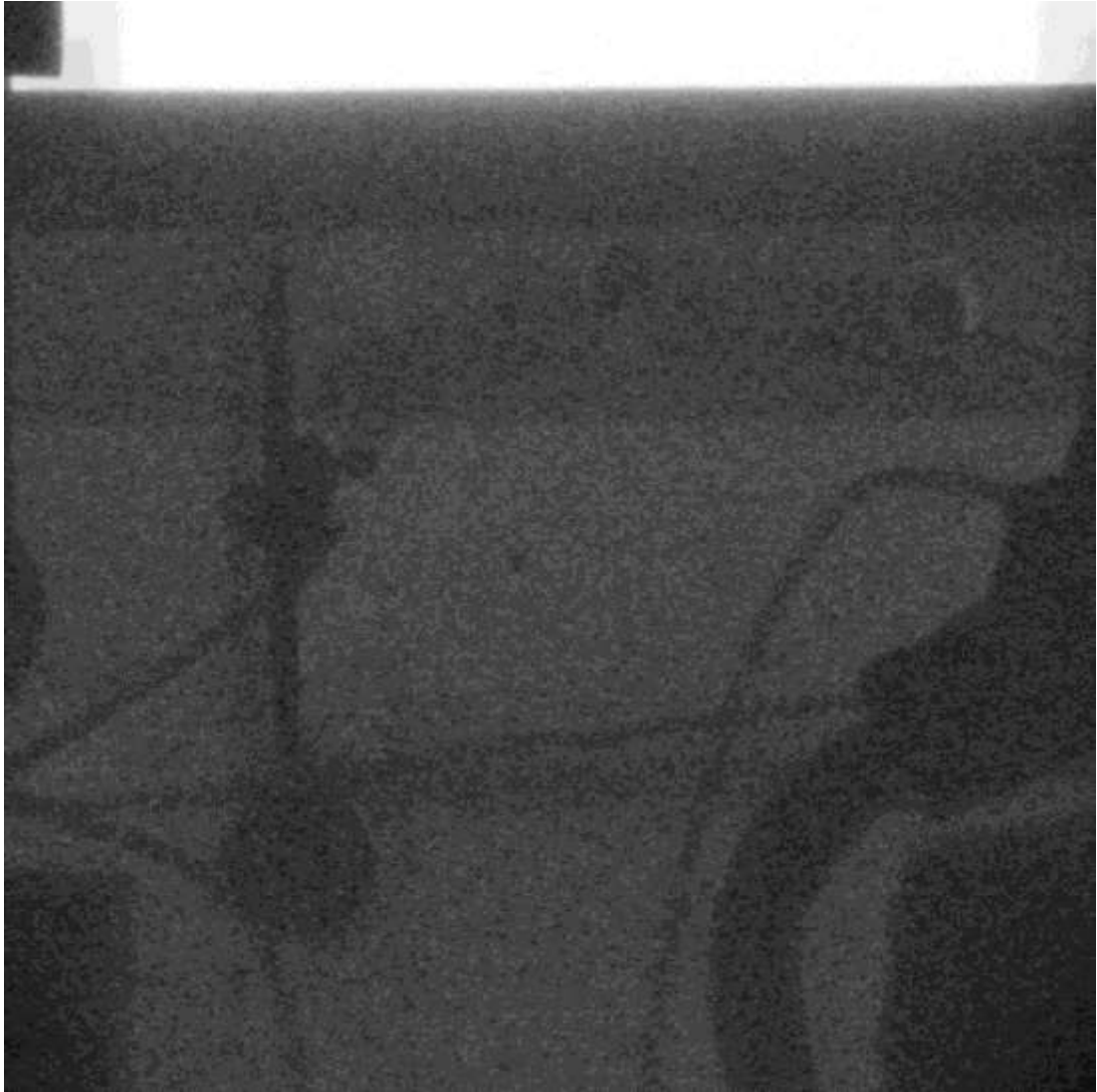
Bajog-suodatin (Kuva 16) on selvästi suunniteltu käytettäväksi etäluettavien mittareiden kanssa, joissa käytetään PLC-kommunikointia. Suodatin näyttää LINE-puolelta RLC-resonaattorilta ja PLC-laitteen näkemä impedanssi on suoraan kelan impedanssi kyseisellä taajuudella, eli resonanssissa L ja C kumoavat toisensa ja vain resonaattorin ohminen arvo näkyy. Tällä kytkennällä PLC-lähetin näkee suodattimen korkea impedanssina ja suodatin ei rasita lähetintä. LOAD-puolelta suodatin näyttää taas suodatinkondensaattorilta, eli kondensaattori on kytketty suoraan maihin. Sijaiskytkennän mukaiset kytkennät ovat L1, L2 ja L3, N:ssä ei ole suodatusta. Suodatin pitää madoittaa oikosulun kestäväällä KEVI-johtimella.



Kuva 16. Bajog-suodatin ja CE merkintä.



Kuva 17. Bajog-suodattimen liitin röntgenkuvattuna.



Kuva 18. Bajogin sisäisiä johdotuksia röntgenkuvattuna.

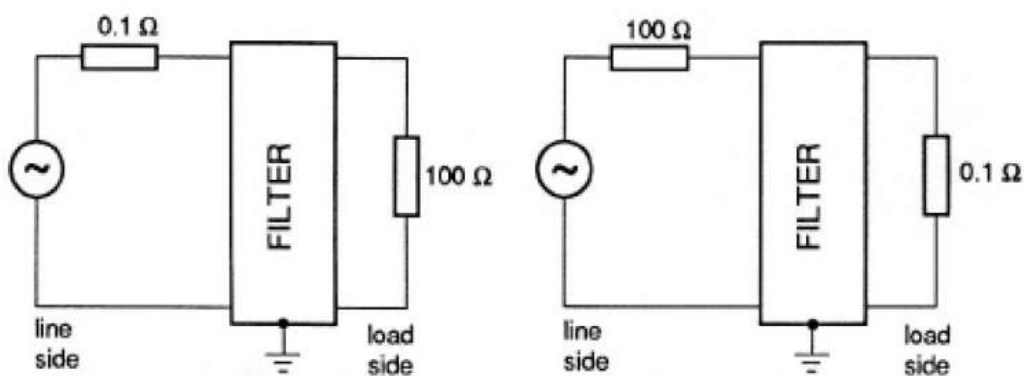
Bajog-suodattimen röntgenkuvista 17 ja 18 on mielenkiintoista huomata pienet johdot, joita suodattimessa on käytetty. Todennäköisesti johdot ovat kytketty LOAD puolen kondensaattoriin. Tämä nostaisi kondensaattorien induktanssia, joka suojaisi kondensaattoria nopeilta jännitemuutoksilta, eli  $du/dt$ .

## 4 STANDARDOITU MITTAUSMETODI

IEC (International Electrotechnical Commission) on maailman laajuinen standardeja valmisteleva organisaatio. IEC on perustanut oman työryhmän CISPR (Comite international special des perturbations radioelectriques), jonka tavoitteena on standardoida EMC-alueen suojauksia, mittauksia, rajoja ja turvamarginaaleja.

### 4.1 PLC-suodattimen mittaus IEC:n spesifikaation mukaan

CISPR17 -standardilla IEC on standardoinut yleisen mittaustavan suodattimille, joiden toimintaympäristö ei ole  $50\Omega$ :ia, esimerkkinä PLC-suodattimet. Tavoitteena on mitata laite maksimi ja minimi -ympäristöissä, eli pahimmissa mahdollisissa tilanteissa. Standardin mukaan mitataan vastusten aiheuttama muutos taajuusvasteeseen ja tämän jälkeen mitataan sama uudestaan suodattimen kanssa. Suodattimen mittaustuloksista vähennetään vastusten aiheuttama muutos, jolloin tiedetään suodattimen oikea taajuusvaste kyseisessä ympäristössä. (IEC:n www-sivut, 2016.)



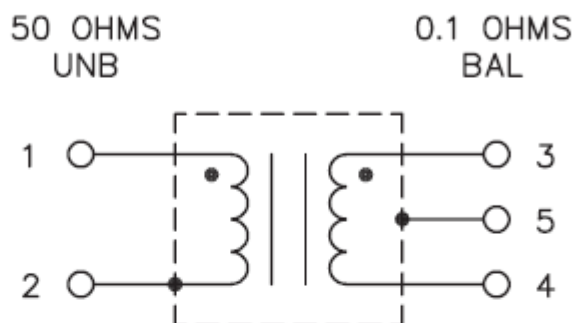
Kuva 19. CISPR17 mukainen muunnin. (IEC:n www-sivut, 2016.)

### 4.2 Impedanssimuunnin

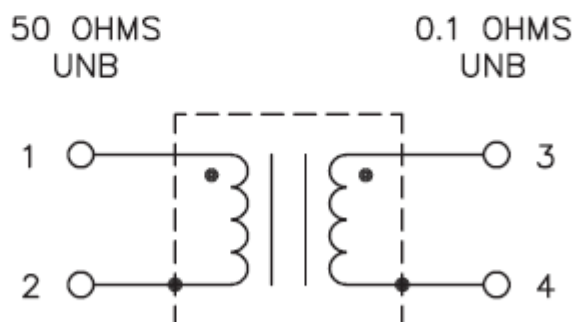
North Hills signalling processing corporation valmistaa impedanssimuuntimia, jotka ovat suunniteltu CISPR17:n mukaisiin mittauksiin. Muuntosuhde näissä NH16434-muuntimissa on  $50/0,1=500$  eli noin 27dB:tä ja yhden NH16434 muuntimen kustannus on 759.00\$ (North Hilllls sähköposti 2.1.2015).

## Simplified Schematics:

Model# NH16434



Model# NH16435



Kuva 20. NH16435-muunnin. (North Hills Signal Processing Corp www-sivut, 2016.)

Lopputyöhön tämä muunnin oli aivan liian kallis hankittavaksi ja joka tapauksessa  $0,1\Omega$  impedanssi voi pitää paikkansa vain suoraan muuntimen lähdössä. Pienikin liitos tai johto lisää impedanssia, jolloin  $0,1\Omega$ :n impedanssimuunnin menettää merkityksensä. Vaihtoehdoksi jäi ainoastaan oman muuntimen rakentaminen. Tavoitteena

ei ollut rakentaa  $50/0,1\Omega$ :n muunninta, vaan muunnin, jonka impedanssit pysyvät vakiona koko käyttöalueella.

Ferriittisydämen materiaaliksi valikoitui 3C90 Kuva 21 ja materiaalin magneettiset ominaisuudet taajuuden mukaan on Kuva 23, tämä materiaali on tarkoitettu matalille taajuuksille ja teknisiltä ominaisuuksiltaan sopiva. Yritys, mittaus ja erehdys -menetelmällä onnistuttiin rakentamaan 16,6dB:n muunnin. Impedanssit pysyivät vakiona alueella 30kHz - 1MHz ja muuntosuhteena on  $16,6\text{dB} = 45,7 = 50/1,1$ . Kuva 24 nähdään muunnin ja sen jälkeen olevissa kuvissa 25 ja 26 muuntimen mittaukset.

### 3C90 SPECIFICATIONS

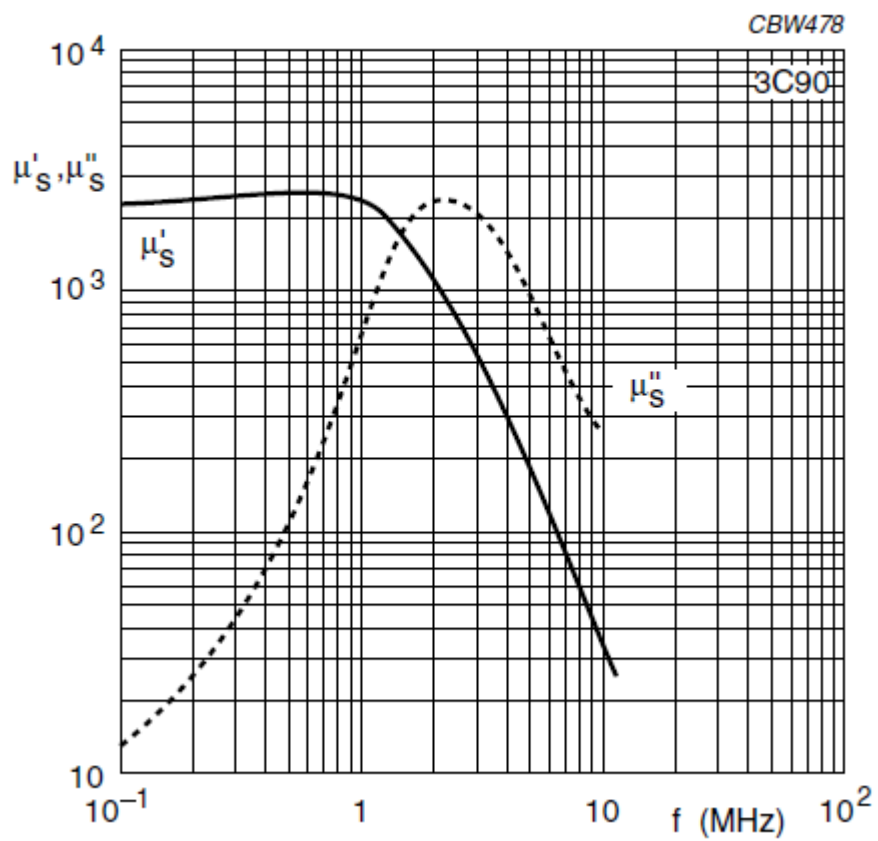
A low frequency power material for use in power and general purpose transformers at frequencies up to 0.2 MHz.

Kuva 21. 3C90-spesifikaatio. (TME www-sivut, 2016.)

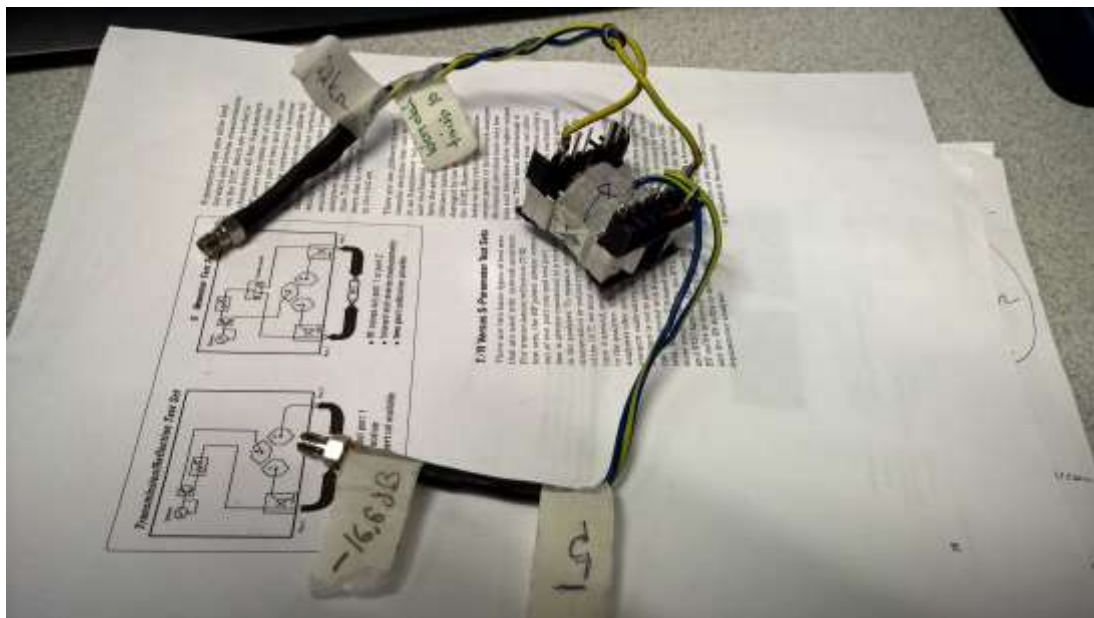
	<b>ETD34-3C90</b> Core: ferrite; ETD; Mat:3C90; 2700nH; 20g; 7640mm <sup>3</sup> ; 97.1mm <sup>2</sup> ; A:35mm   <a href="#">INFO</a>   <a href="#">PDF</a>		
	Valmistaja: <b>FERROXCUBE</b> Tuottajan tunnus: <b>ETD34-3C90</b>		
Määrä: [pcs]	2+	10+	50+
Nettohinta [EUR]:	1.35	1.00	0.56

Kuva 22. ETD34-3C90. (TME www-sivut, 2016.)





Kuva 23. 3C90-ominaisuus taajuuden funktiona. (TME www-sivut, 2016.)

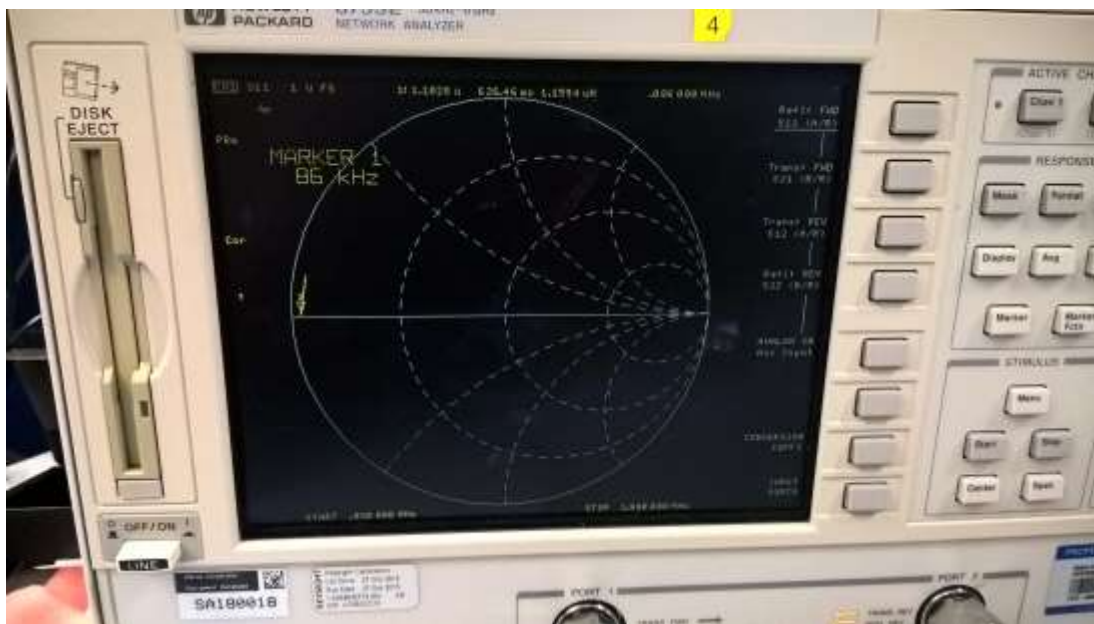


Kuva 24. Oma muunnin.



Kuva 25. Oma muunnin S22, 8753E Network Analyzer HP.

r



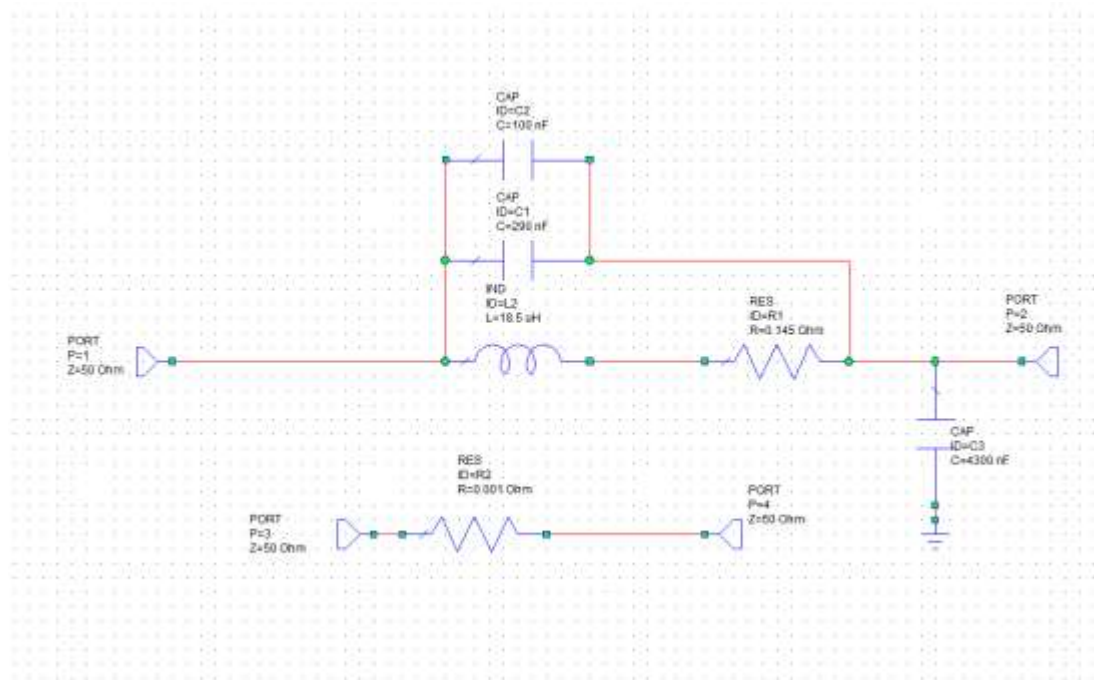
Kuva 26. Oma muunnin S11, 8753E Network Analyzer HP.

Oma muunnin onnistui suhteellisen hyvin, kuten ylläolevista mittauskuvista 25 ja 26 voi päätellä. Kriittiseksi rakentamisessa muodostui oikea ferriitti, kierrosluvun suhteet, sekä käytettävät johdot. Parhaimman muuntimen johdotuksessa käytettiin pohjalla isoimman pinta-alan omaavaa johtoa, mitä hyllyltä löytyi ja päälle kierrettiin kupari-teippiä 10 kierrosta.

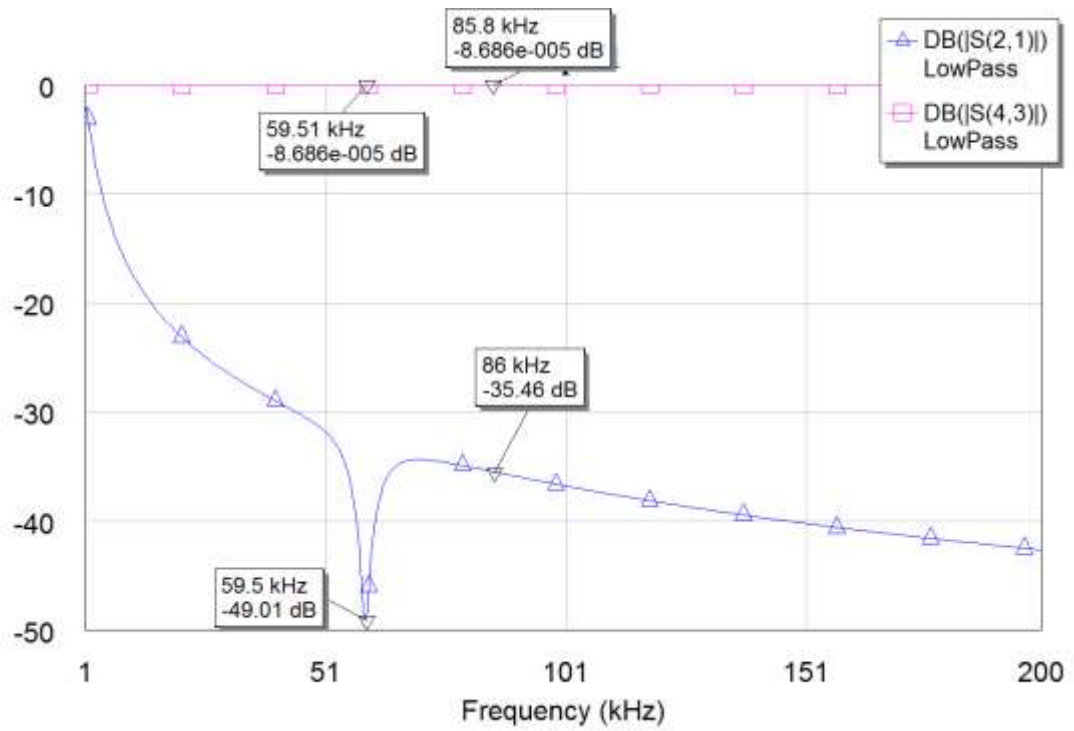
## 5 OMIA SIMULOINTEJA JA MITTAUKSIA

dBW:stä eli tehoista puhuttaessa 3dB:n muutos tarkoittaa tehon kaksinkertaistumista ja vastaavasti jännitteistä eli dBV:stä puhuttaessa kaksinkertaistuminen tarkoittaa 6dB:n lisäystä. Resonanssipisteen impedanssimittauksessa kasvatetaan sarjaresonanssia, kunnes resonanssitaajuuden desibelit tippuvat 6dB. Tämän teorian perusteella Bajog-suodattimen resonanssitaajuuden impedanssiksi mitattiin noin  $330\Omega \pm 10\%$ . Eri linjojen välinen ero nostaa toleranssin 10 %:iin. Puhdas ohminen arvo näkyy vain resonanssitaajuudella, koska L ja C kumoavat toisensa.

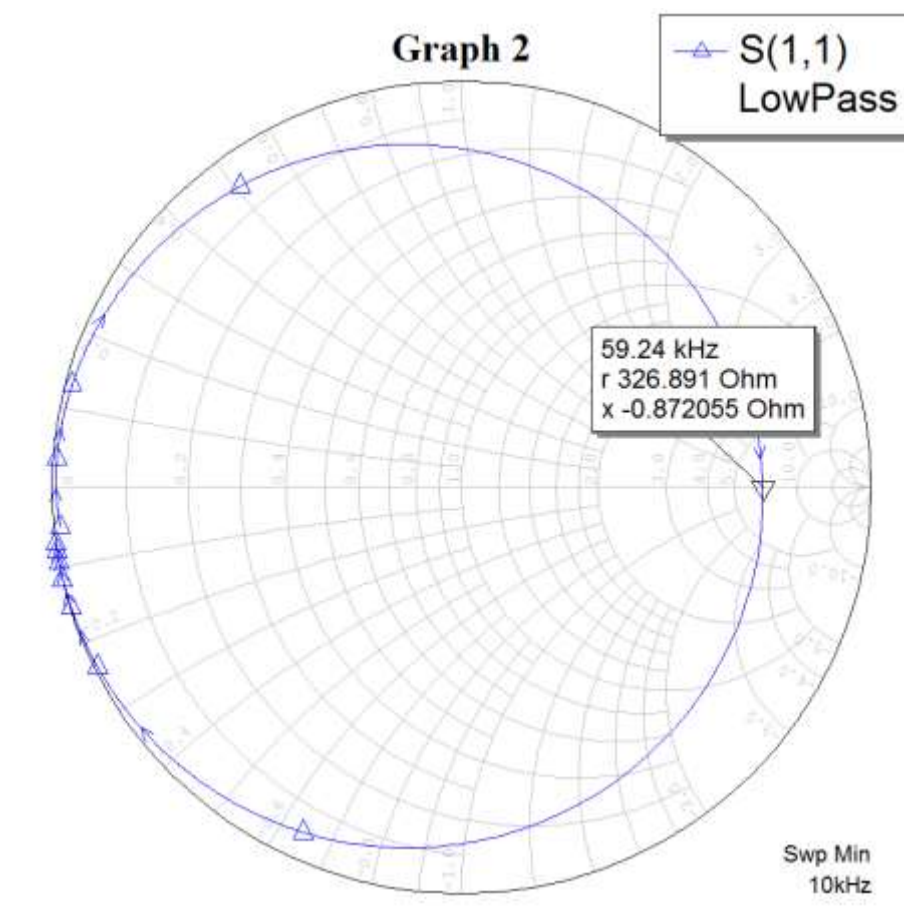
Alhaalla olevissa kuvissa 27 - 32 impedanssin kaksinkertaistuminen on todistettu AWR-simulointiohjelmalla. KytKentä muistuttaa Bajog-suodattimen kytkentää. Kuvissa 27 – 29 on esitetty suodattimen lähtötilanne ja kuvassa 29 Smith:n diagrammilla suodattimen resonanssipisteen impedanssi on  $326,891\Omega$ . Kuvissa 30 – 32 suodattimen kanssa sarjaan on lisätty  $326,891\Omega$ , jolloin nähdään 6dB:n vaimennus tuloksissa.



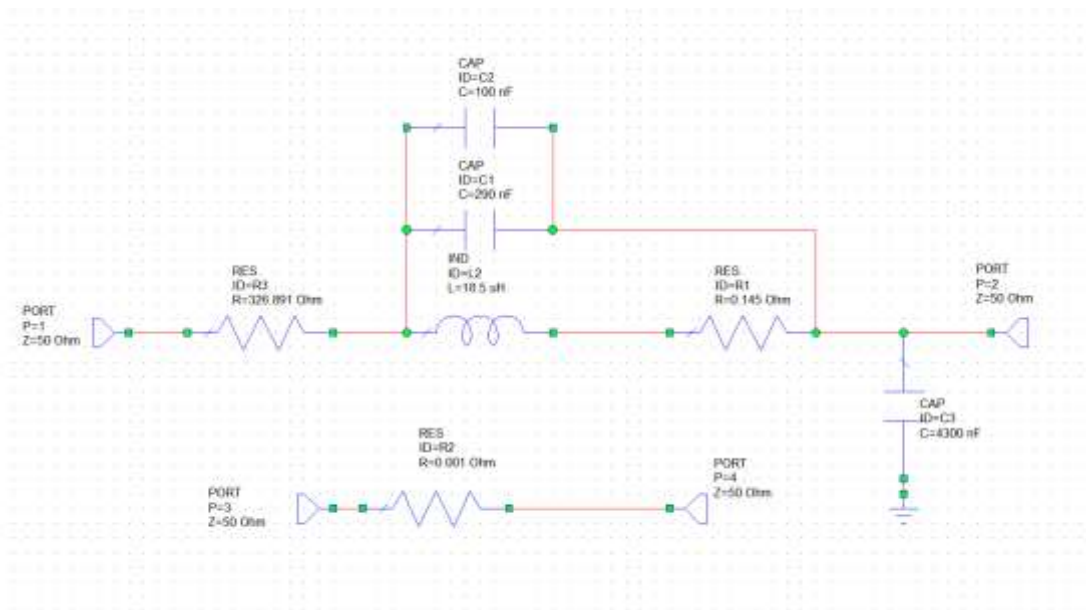
Kuva 27. Bajog-suodattimen kytkentä.



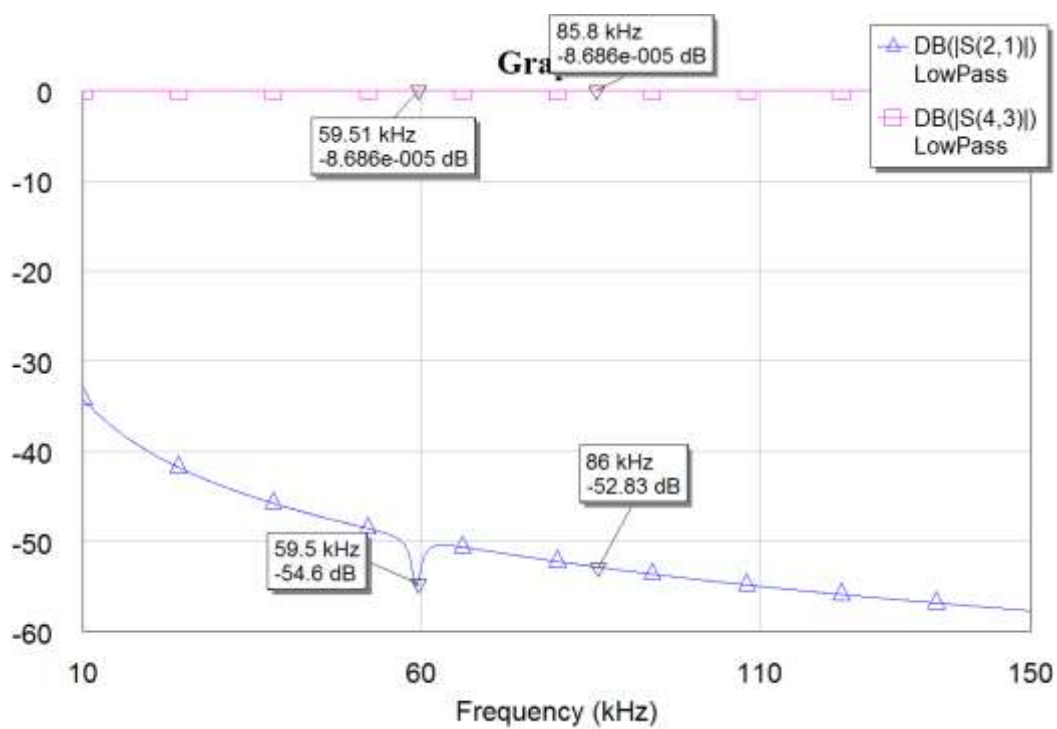
Kuva 28. Vaimennus resonanssitaajuudella on 49dB.



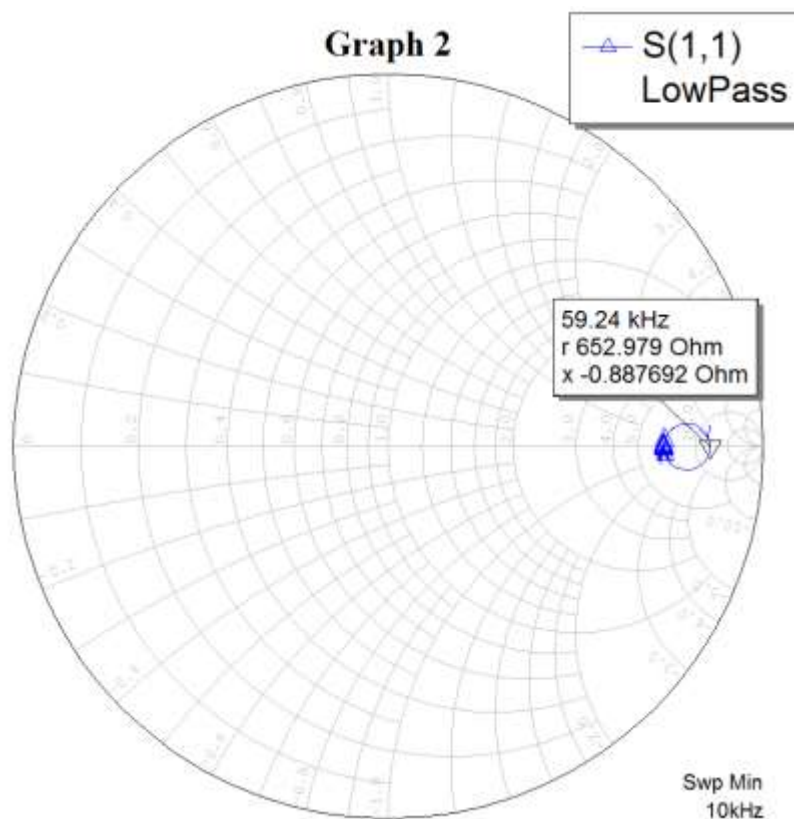
Kuva 29. Smithin diagrammilla maksimi-impedanssi on 326,891Ω.



Kuva 30. Suodattimen eteen on lisätty sarjaan  $326,891\Omega$ .



Kuva 31. Resonanssitaajuuden vaimennus kasvaa 49dB:stä 54,6dB:iin eli noin 6 dB.



Kuva 32. Uuden kytkennän maksimi-impedanssi on 652,979 ( $2 \cdot 326,891 = 653,782$ ).

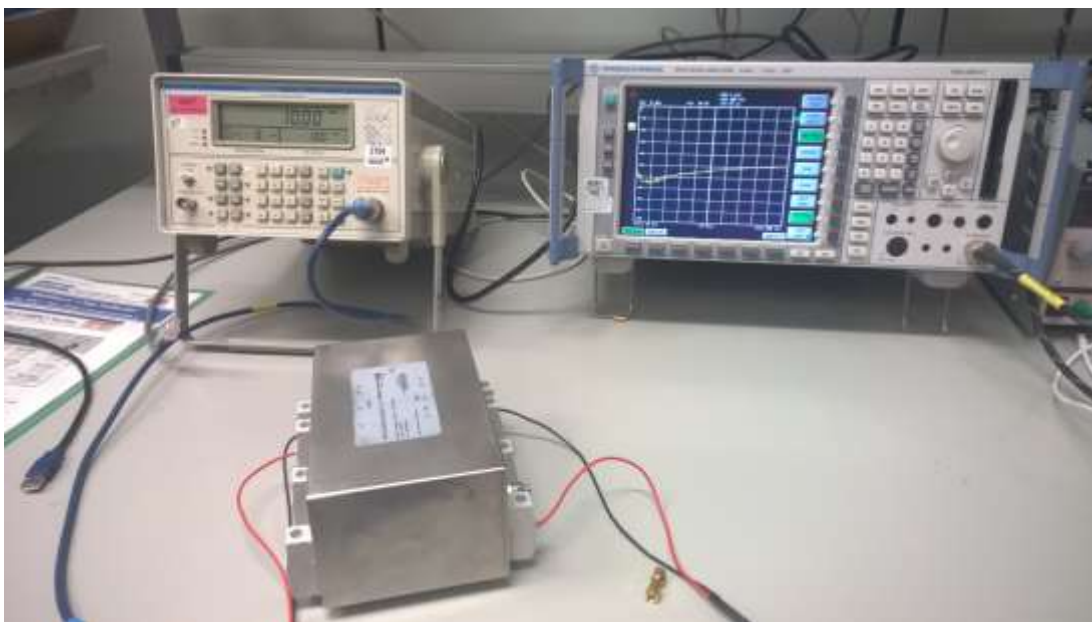
### 5.1 50 $\Omega$ :n suunnitteluympäristö

Suodattimet suunnitellaan, simuloidaan ja mitataan 50 $\Omega$ :n ympäristössä, esimerkiksi suurin osa RF-mittalaitteista valmistetaan 50 $\Omega$ :n ympäristöön toimivaksi. Tällöin ongelma muodostuu suodattimen toiminnan ymmärtäminen todellisessa toimintaympäristössään, joissa impedanssit vaihtelevat asennuskohtaisesti sekä taajuuskohtaisesti. Tuntemattomat impedanssitasot aiheuttavat ongelmia hyvän PLC-suodattimen valintaan ja suodattimen omat taajuusriippuvaiset impedanssit vaikuttavat esimerkiksi etäluettavien mittareiden toimintaan. Esimerkiksi Schaffnerin suodatuskondensaattorit maihin aiheuttavat liian matalat impedanssitasot etäluettavalle mittarille, jolloin mittarin informaatio häviää suodattimeen.

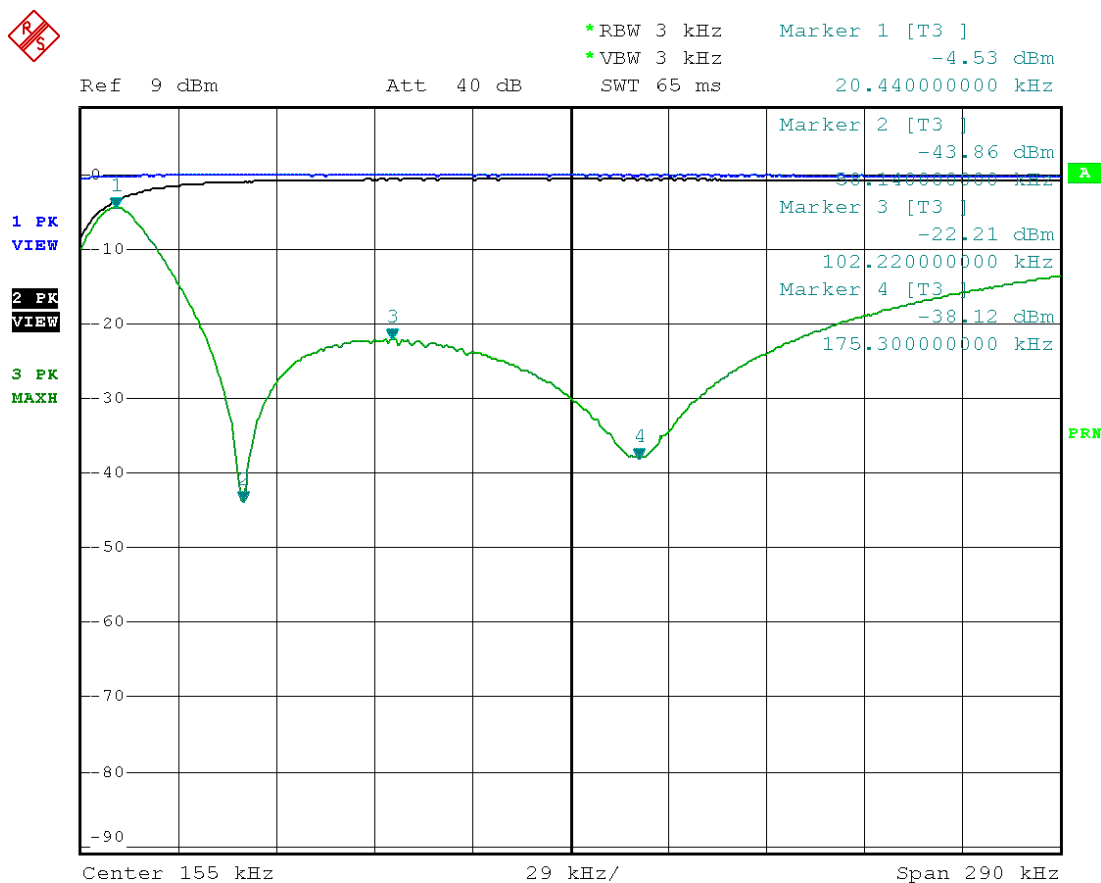
## 5.2 Omia mittausmenetelmiä

Omiin mittausteknisiin kysymyksiin vastaaminen oli varsin haastavaa, varsinkin ilman erillisiä ohjeita. Millä mittalaitteella suodatinta kannattaisi mitata? Miten mitata suodatin omassa käyttöympäristössään ja millaisia käyttöympäristöt ovat? Miten impedanssit vaikuttavat suodattimeen? Millä ja miten tehdään impedanssimuunnokset? Miten impedanssimuunnokset toimivat? Miten impedanssien aiheuttama muutos saadaan eriteltyä? Korkeaimpedanssinen mittapää ja mittalaitteen käyttö?

Taajuusvasteen mittausmetodeja tuli tämän työn edetessä käytettyä useita. Ensimmäiset mittaukset suodattimesta tehtiin alla olevan Kuva 33 mukaisilla mittalaitteilla. Kuva 33 generaattorin Marconi 2022D kautta syötettiin signaali ensin suoraan spektrianalysaattoriin ja sen jälkeen suodattimen kautta, josta tulokset nähtävillä Kuva 34. Ongelmaksi tai kysymykseksi muodostui, kuinka paljon mittalaitteet imevät häiriöitä verkosta, sekä mahdollisten maavirtojen vaikutus mittauksiin?



Kuva 33. Suodatinmittausta.



Date: 30.DEC.2014 15:59:54

Kuva 34. Rhode Schwarz -spektrianalysaattorin mittaus.

Kuvassa 34 sininen viiva on Marconin syöttämä signaalin taso, musta viiva esittää suodattimen syötössä olevaa signaalin tasoa ja vihreä on suodattimen vaste 50Ω:iin. Kuvasta huomataan suodattimen näkyvän alhaisena impedanssina generaattorille tiputtaen jo suodattimen lähdössä olevaa signaalin tasoa (musta viiva). Eli impedansseilla on ratkaiseva merkitys mittausmenetelmiin.

Syöttöimpedanssia voidaan nostaa sarjaresistanssilla ja tiputtaa rinnakkaisimpedanssilla, kuormaimpedanssia voidaan muuttaa vastaavasti. Ajatuksena tämä tuntui epäluotettavalta ja vastusjako tiputtaa mitattavat tasot erittäin pieneksi, jolloin ongelmaksi muodostuu mittalaitteiden herkkyyks. Eli tarvitaan impedanssimuunnin, kuten CISPR17:ssa on mainittu.



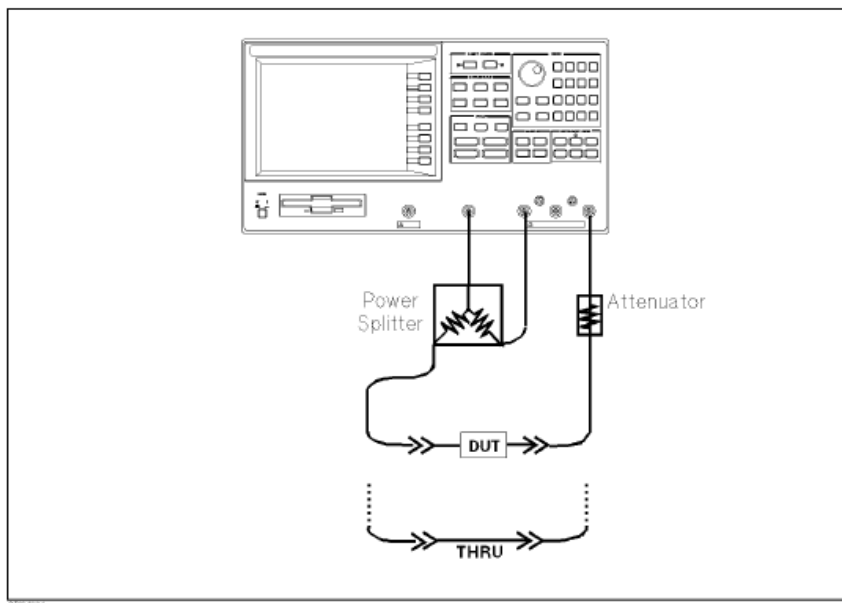
Suodattimen mittaus piirianalysointilaitteella ei onnistunut, koska piirianalysointilaitteen toiminta sekosi mittauksen aikana ja mittalaite piti käynnistää uudestaan. Eli mitä tapahtui? Suodatin on periaatteeltaan LC-resonaattori, eli suodatin lähti resonanssiin kaartaen mittalaitteen. Käynnistämisen jälkeen piirianalysointilaitteella oli kunnossa, mutta suodatinta ei enää piirianalysointilaitteeseen suoraan kytketty, ja tämä mittaustapa unohdettiin.

Lukuisien testien, mittausten ja sattumien jälkeen parhaimmaksi mittalaitteeksi valikoitui kuvassa 35 näkyvä Agilent 4395A. Kyseiseen mittalaitteeseen voidaan liittää korkeaimpedanssinen mittapää, jolloin mittapään oma impedanssi ei vaikuta suodattimen ominaisuuksiin. Mielenkiintoiseksi oli muodostunut mittaus yhdellä mittalaitteella, joka toimii sekä generaattorina että analysointilaitteena. Näin mahdollisesti ulkopuolelta tulevat häiriöt saadaan minimoitua, eikä myöskään tarvitse huomioida mahdollisia mittalaitteiden välisiä maavirtoja ja niiden vaikutuksia herkkyysmittauksiin.



Kuva 35. Agilent 4395A.

Mittauksessa käytetään Kuva 36 olevaa THRU-mittausta. Tämän työn mittauksissa heijastus ei ole oleellinen informaatio, vaan kiinnostuksen kohteena on suodattimen läpäisymittaus.



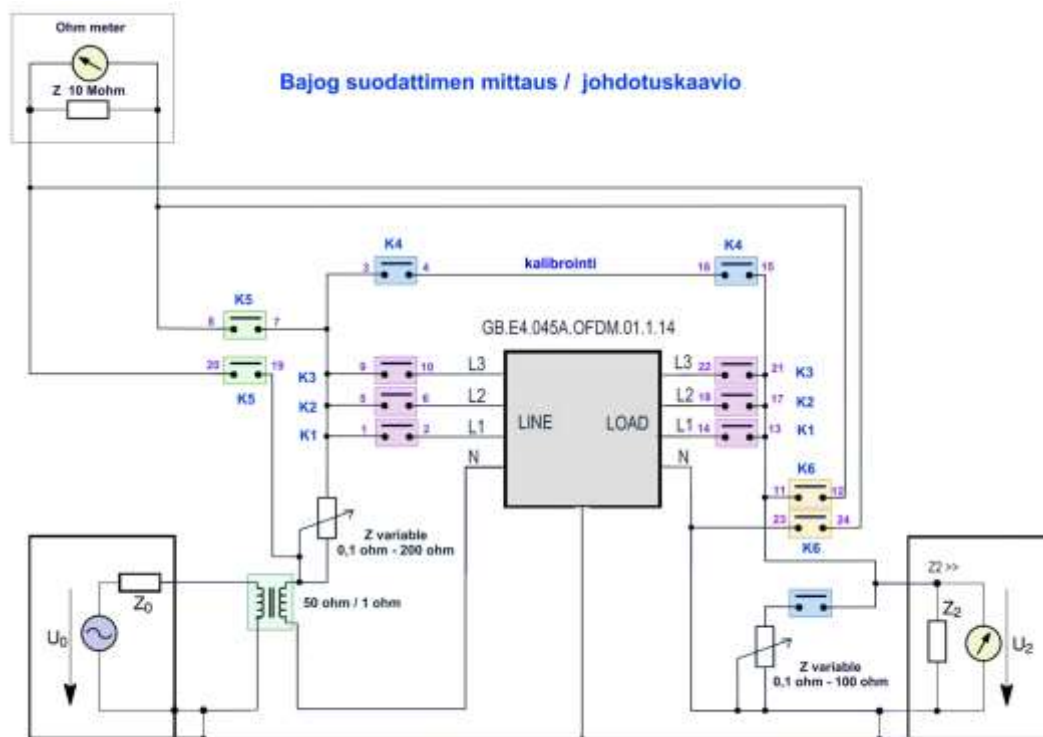
Kuva 36. Agilentin kytkentä THRU-mittaukselle (Agilent 4395A 2003, 292.)

### 5.3 Lopulliset suodatinmittaukset, Bajog

Suodattimien mittaus muodostui varsin monivaiheiseksi. Työn nopeuttamiseksi suunniteltiin Kuva 37 mukaisella kytkimellä Kuva 38 mukainen piirikaavio. Piirikaavion avulla säästettiin aikaa, kun vastusmittauksissa vastuksia ei tarvinnut irrottaa kytkennästä, vaan ne irrotettiin kytkimen avulla. Näin pystyttiin erittelemään vastusten aiheuttama muutos vaimennukseen.



Kuva 37. Kytkin kytkettynä Schaffner-suodattimeen.



Kuva 38. Suodattimen mittaus / johdotuskaavio (Z2 korkeaimpedanssinen probe).

Mittaukset suoritettiin seuraavalla tavalla:

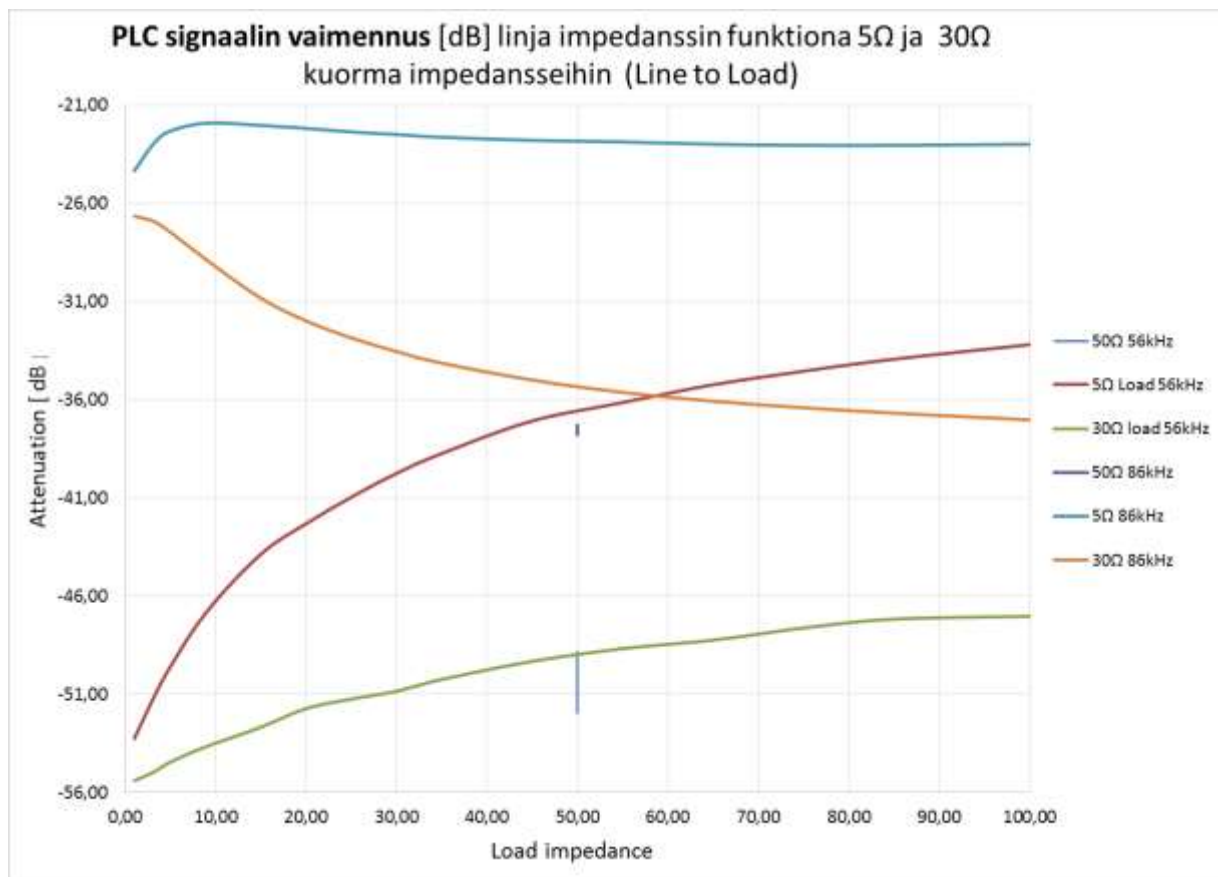
1. Mitataan syöttöimpedanssi yleismittarilla. Mittaukset onnistuvat kytkimen ollessa asennossa 5, jolloin yleismittari on kytketty suoraan syöttöimpedanssiin.
2. Mitataan kuormaimpedanssi yleismittarilla. Kytkimen asennossa 6 yleismittari on kytketty kuormaimpedanssiin.
3. Kalibroidaan impedanssien vaikutus pois mittauksesta, kytkin asennossa 4. Vastusten aiheuttama muutos tulokseen on  $20\log^*(R_{load}/(R_{load}+R_{in}))$ .
4. Suoritetaan suodattimen taajuusvasteen mittaus, kytkimen asennot: 1=L1, 2=L2 ja 3=L3.
5. Mittaustulokset dokumentointiin taulukkoon.

Taulukko 1:stä löytyy mitausten tulokset, sekä AWR-simulointiohjelmalla simuloitut tulokset. AWR-simulointiohjelman komponentit on arvioitu mitaustulosten perusteella, Bajog-suodattimen oikeita komponenttiarvoja ei tiedetä, mutta tulosten perusteella arvio on aika lähellä.

Mittaus	Linja	Bajog suodattimen mittaus / johtotuskaavion mukaisesti				AWR		Rs0.08	
		Z0/line	Z1/load	F ~56kHz	f ^86kHz	56kHz kalib	delta	86 kHz kalib	delta
M1	L3	50	50	52,3	37,8	52,47	-0,17	35,45	2,35
M2	L2	50	50	49	37,3				
M3	L1	50	50	49,3	37,3				
M4	L3	100,00	1,00	19,7	9,90	20,50	-0,80	8,03	1,87
M5	L2	100,00	1,00	17,40	9,70				
M6	L1	100,00	1,00	17,50	10,00				
M7	L3	1,00	98,90	54,30	27,00	57,70	-3,40	26,81	0,19
M8	L2	1,00	98,90	53,30	25,50				
M9	L1	1,00	98,90	53,20	24,90				
M10	L3	1,00	5,00	53,50	24,40	56,28	-2,78	25,35	-0,95
M11	L3	3,16	5,00	51,20	23,00	53,63	-2,43	23,10	-0,10
M12	L3	5,00	5,00	49,30	22,30	51,90	-2,60	21,96	0,34
M13	L3	9,00	5,00	46,50	21,90	49,02	-2,52	20,77	1,13
M14	L3	15,00	5,00	43,80	22,00	46,02	-2,22	20,33	1,67
M15	L3	20,00	5,00	42,30	22,00	44,15	-1,85	20,31	1,69
M16	L3	25,00	5,00	41,30	22,4	42,65	-1,35	20,37	2,03
M17	L3	30,00	5,00	39,9	22,50	41,37	-1,47	20,43	2,07
M18	L3	35,00	5,00	38,50	22,70	40,29	-1,79	20,50	2,20
M19	L3	45,00	5,00	37,00	22,80	38,48	-1,48	20,62	2,18
M20	L3	55,00	5,00	36,00	22,80	37,04	-1,04	20,72	2,08
M21	L3	65,00	5,00	35,20	23,00	35,84	-0,64	20,80	2,20
M22	L3	75,00	5,00	34,40	23,00	34,82	-0,42	20,85	2,15
M23	L3	85,00	5,00	34,10	22,00	33,93	0,17	20,90	1,10
M24	L3	100,00	5,00	33,20	23,00	32,79	0,41	20,96	2,04
M25		1,00	30,00	54,90	26,60	57,51	-2,61	26,61	-0,01
M26		3,16	30,00	54,80	26,90	56,96	-2,16	26,46	0,44
M27		5,00	30,00	54,50	27,40	56,51	-2,01	26,60	0,80
M28		9,00	30,00	53,50	28,90	55,63	-2,13	27,39	1,51
M29		15,00	30,00	52,60	30,8	54,48	-1,88	28,808	1,992
M30		20,00	30,00	51,7	31,90	53,63	-1,93	29,81	2,09
M31		25,00	30,00	51,20	32,80	52,87	-1,67	30,62	2,18
M32		30,00	30,00	50,80	33,50	52,19	-1,39	31,28	2,22
M33		35,00	30,00	50,00	34,10	51,56	-1,56	31,81	2,29
M34		45,00	30,00	49,50	34,90	50,46	-0,96	32,63	2,27
M35		55,00	30,00	48,50	35,70	49,52	-1,02	33,23	2,47
M36		65,00	30,00	48,30	36,10	48,69	-0,39	33,67	2,43
M37		75,00	30,00	47,10	36,40	47,95	-0,85	34,02	2,38
M38		85,00	30,00	47,00	36,70	47,30	-0,30	34,30	2,40
M39		100,00	30,00	47,00	37,00	46,43	0,57	34,63	2,37
M40		100,00	ääretön	59,60	49,00	59,16	0,44	47,36	1,64
M41		1,00	ääretön	55,90	27,00	57,82	-1,92	26,90	0,10
M42		50,00	ääretön	57,50	43,9	58,49	-0,98	41,462	2,438

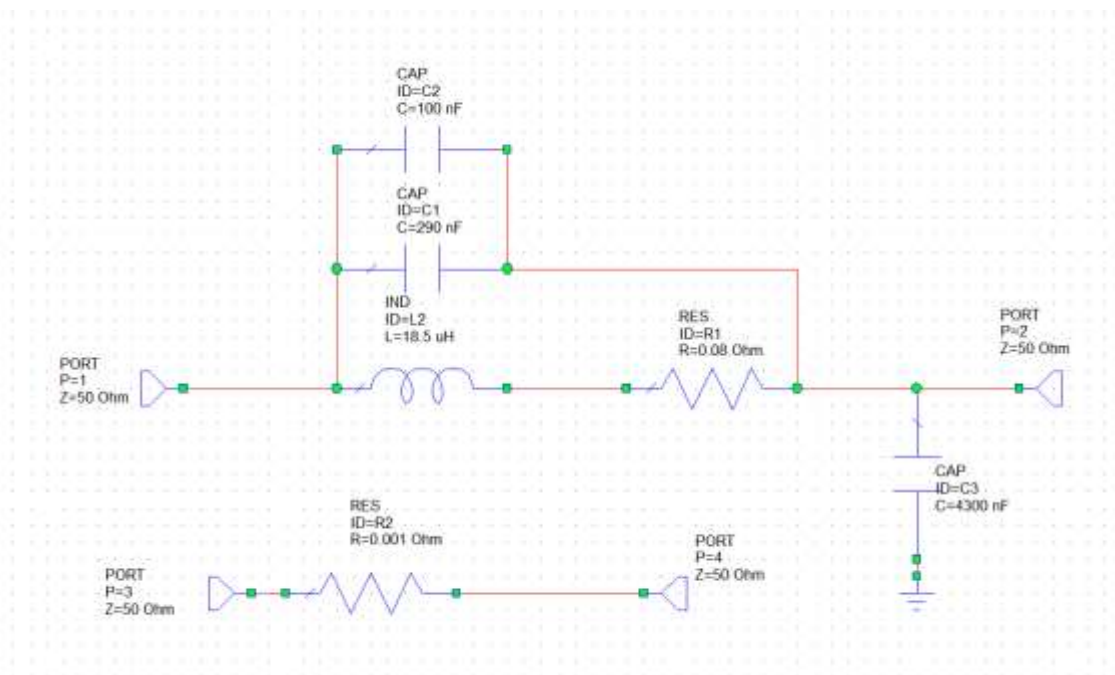
Taulukko 1. Bajog-suodattimen mittaus johtotuskaavion mukaisesti LINE TO LOAD.

Kuva 39 näyttää 56kHz ja 86kHz resonanssin vaimennuskäyrät eri syöttöimpedansseilla; 5Ω, 30Ω ja 50Ω. Suodattimen vaimennus on selkeästi huonompi 5Ω:lla kuin 30Ω:lla ja 50Ω:lla vaimennus ei juuri muutu.

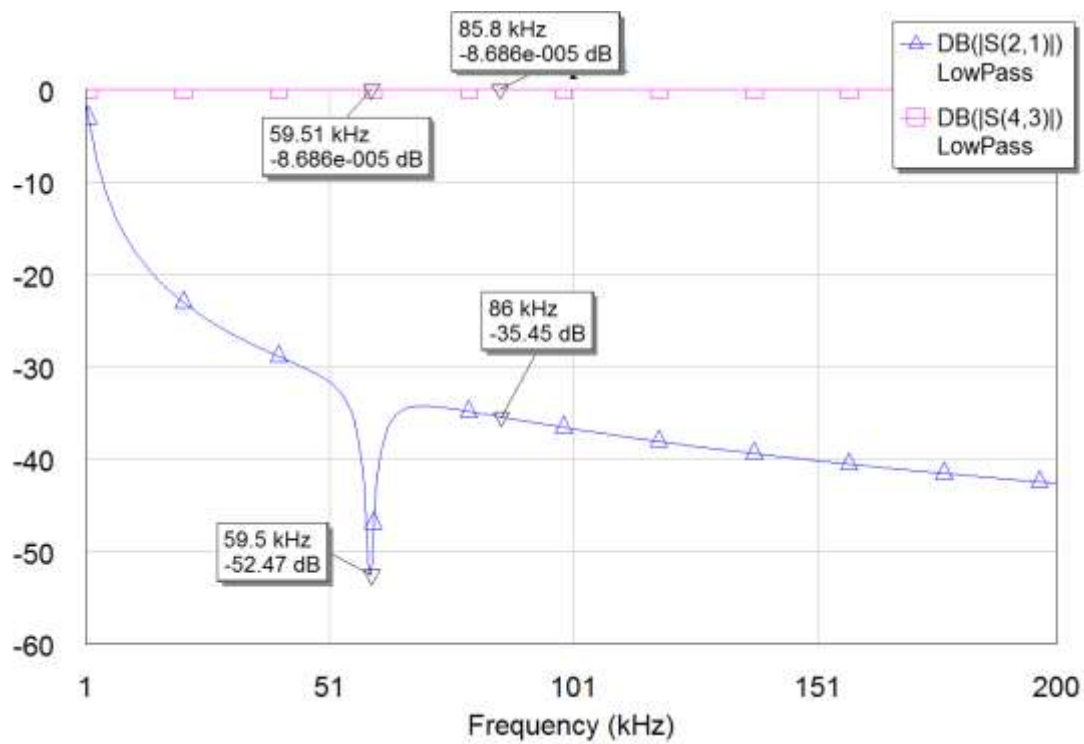


Kuva 39. Signaalin vaimennus LINE TO LOAD.

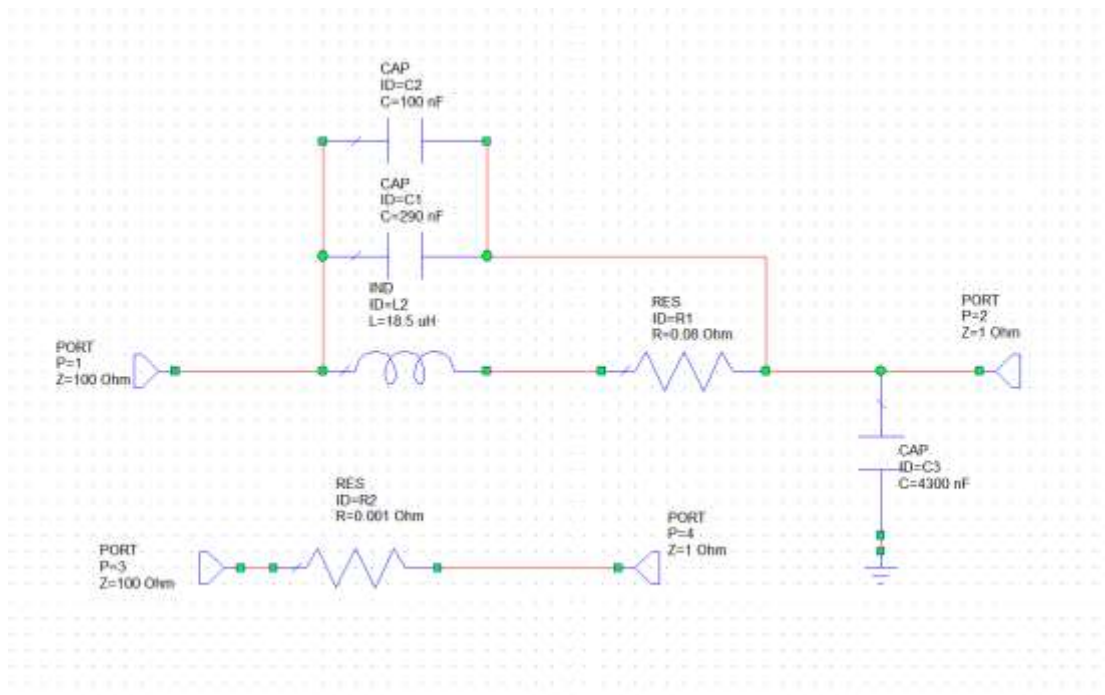
Simulointiohjelmasta on lisätty *Kuva 40* - *Kuva 45* todistamaan CISPR17:n mukaisia simulointituloksia. Kun vastusten aiheuttama muutos vähennetään simuloinneista, jäljelle jää ainoastaan suodattimen vaimennus. Kokonaisvaimennus on 34,57dB ja vastusten aiheuttama vaimennus on 14,07dB, jolloin suodattimen vaimennukseksi jää 20,5dB, mittaamalla tulos oli 19,7dB, katso *Kuva 43*. Simulointitulokset vastaavat CISPR17:n mukaisia mittaustuloksia.



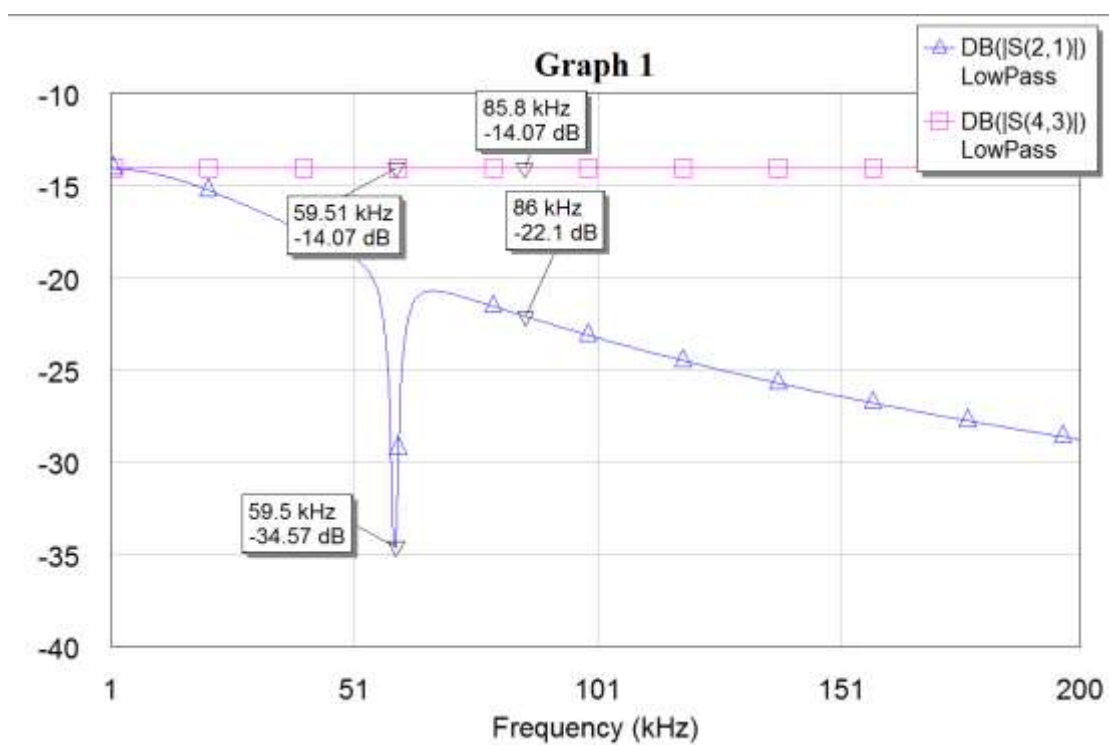
Kuva 40. KytKentä 50Ω/50Ω.



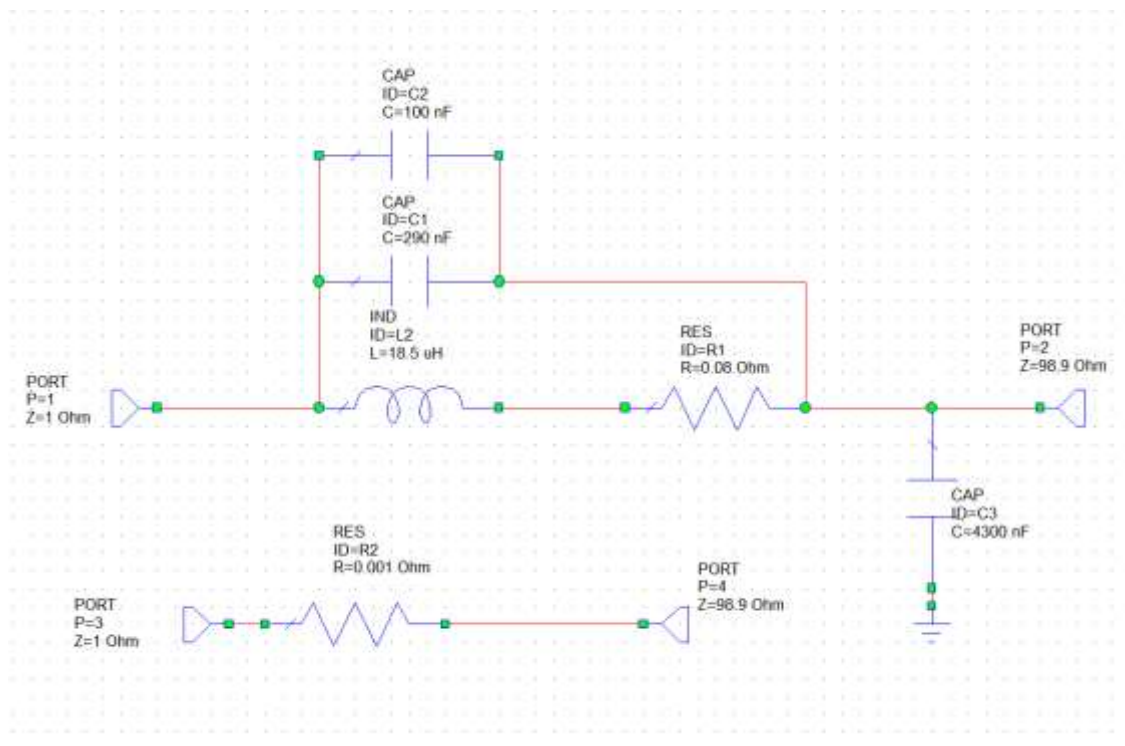
Kuva 41. Tulokset 50Ω/50Ω.



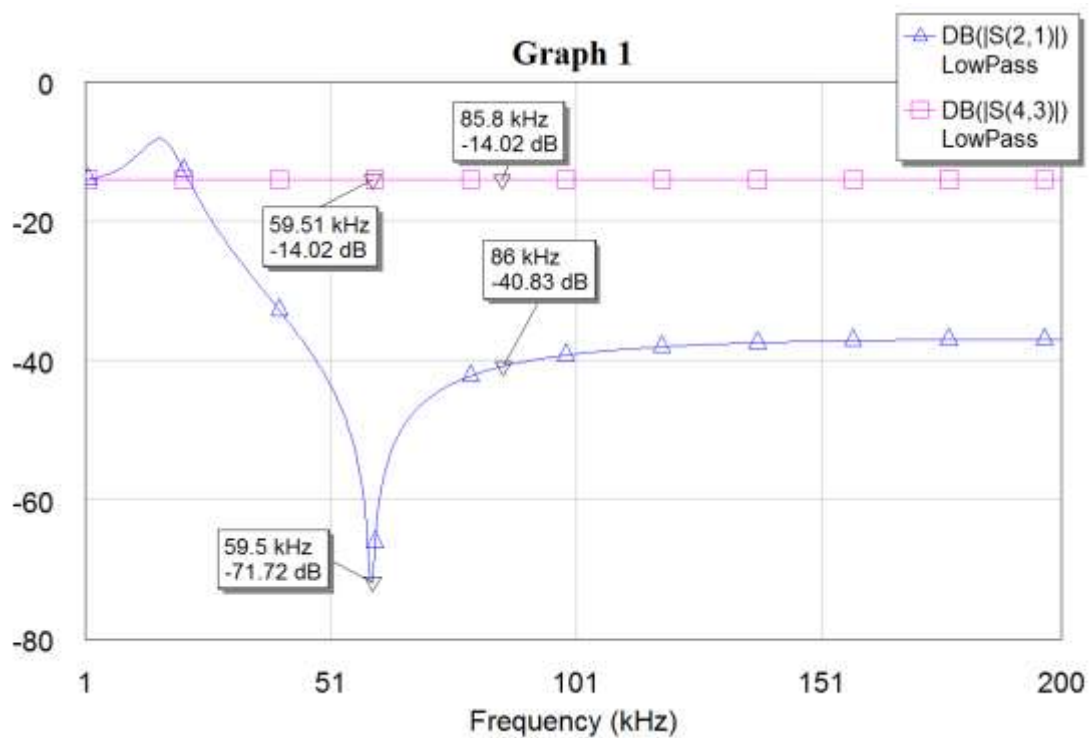
Kuva 42. KytKentä  $100\ \Omega/1\ \Omega$ .



Kuva 43. Tulokset  $100\ \Omega/1\ \Omega$ .



Kuva 44. KytKentä  $1\Omega/100\Omega$ .



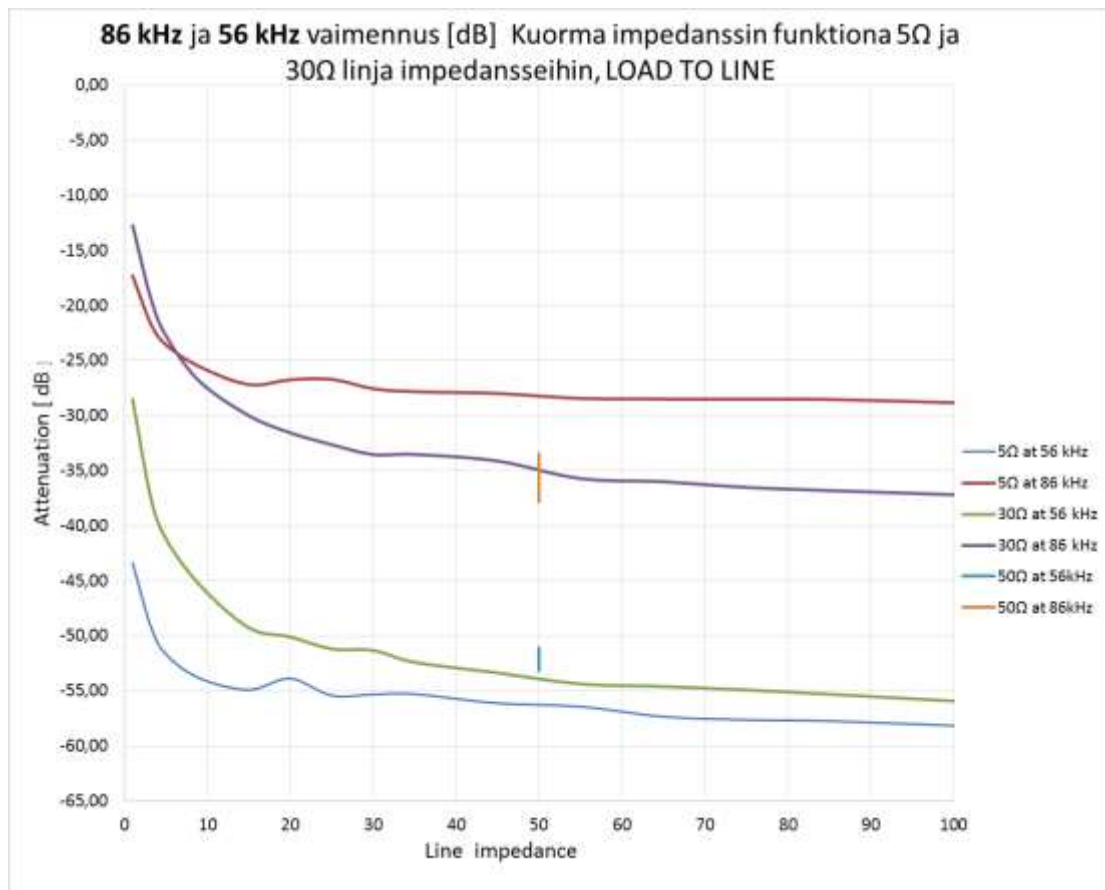
Kuva 45. Tulokset  $1\Omega/100\Omega$ .



Bajog on kytkennältään epäsymmetrinen ja tämän takia suodatin pitää mitata molempiin suuntiin, katso **Virhe. Kirjanmerkin viittaus itseensä ei kelpaa..**

Bajog suodattimen mittaus / johdotuskaavion mukaisesti					
Mittaus	Linja	Z0/line	Z1/load	F ~56kHz	f ^86kHz
A1	L3	50	50	-52,15	33,44
A2	L2	50	50	-53,14	-37,79
A3	L1	50	50	-51,08	-37,38
A4	L3	100	1	-39,65	-26,14
A5	L2	100	1	-34,43	-26,53
A6	L1	100	1	-37,29	-26,69
A7	L3	1	98,9	-25,05	-15,42
A8	L2	1	98,9	-23,02	-14,98
A9	L1	1	98,9	-21,05	-14,86
A10	L3	1	5	-43,38	-17,28
A11	L3	3,16	5	-49,07	-21,59
A12	L3	5	5	-51,65	-23,55
A13	L3	9	5	-53,83	-25,52
A16	L3	15	5	-54,90	-27,18
A14	L3	20	5	-53,88	-26,74
A17	L3	25	5	-55,42	-26,70
A18	L3	30	5	-55,32	-27,54
A20	L3	35	5	-55,29	-27,82
A19	L3	45	5	-56,12	-27,98
A21	L3	55	5	-56,43	-28,43
A22	L3	65	5	-57,34	-28,49
A23	L3	75	5	-57,63	-28,51
A24	L3	85	5	-57,74	-28,53
A25	L3	100	5	-58,16	-28,82
A26		1	30	-28,50	-12,71
A27		3,16	30	-37,33	-19,24
A28		5	30	-41,15	-22,71
A29		9	30	-45,29	-26,83
A30		15	30	-49,26	-29,99
A31		20	30	-50,09	-31,55
A32		25	30	-51,18	-32,63
A34		30	30	-51,32	-33,53
A35		35	30	-52,40	-33,52
A36		45	30	-53,36	-34,12
A37		55	30	-54,37	-35,71
		65	30	-54,60	-36,00
A38		75	30	-54,91	-36,51
		85	30	-55,30	-36,80
A39		100	30	-55,92	-37,18
Mittaus	Linja	Z0	Z1	F ~56kHz	f 86kHz
A40		100	ääretön	-55,17	-49,67
A41		1	ääretön	-18,85	-14,97
A43		50	ääretön	-49,26	-43,71

Taulukko 2. Bajog-suodattimen mittaus johdotuskaavion mukaisesti LOAD TO LINE.



Kuva 46. Bajog-vaimennus kuormasta linjan suuntaan 5Ω, 30Ω ja 50Ω kuormilla .

Kuormasta linjan suuntaan vaimennus huononee pienemmille impedansseille. Kuva 46 perusteella vaimennus LOAD TO LINE-suuntaan huononee, kun impedanssit menevät alle 30Ω:n ja 30Ω:sta ylöspäin mentäessä vaimennus ei muutu merkittävästi.

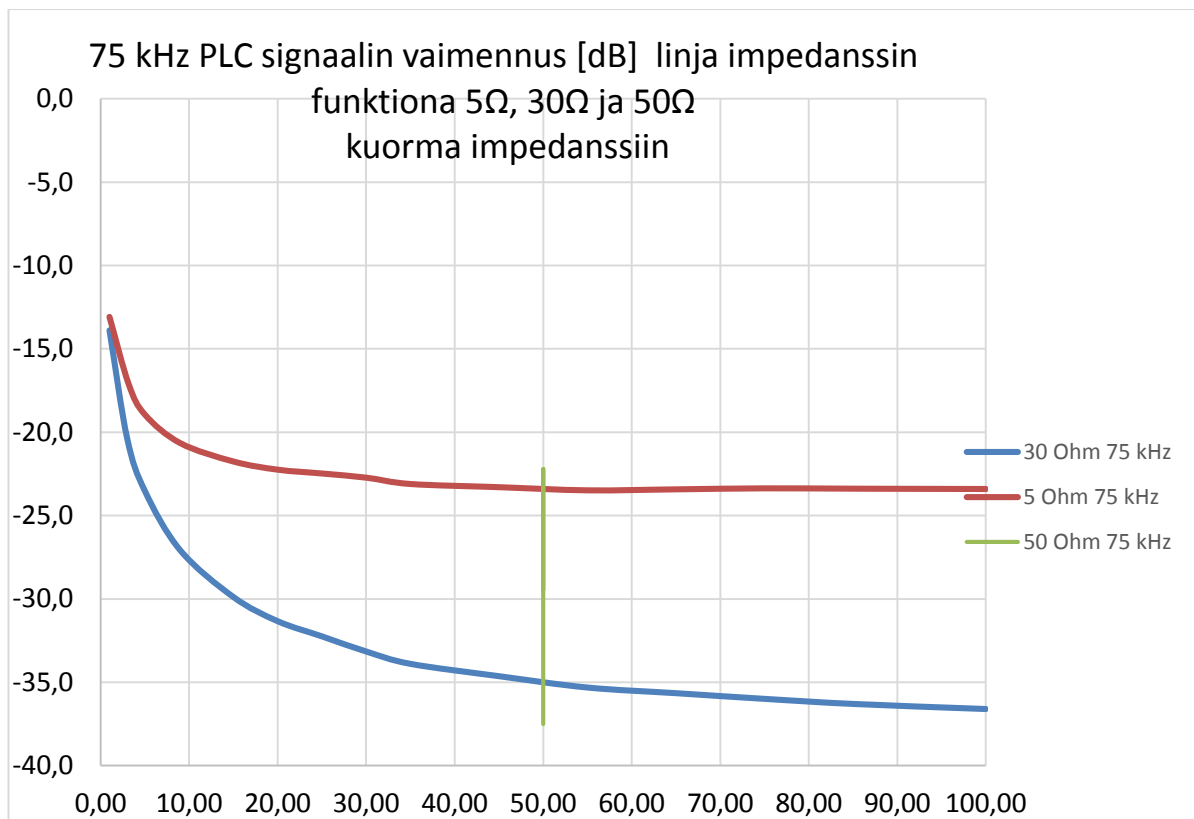
#### 5.4 Lopulliset suodatinmittaukset, Schaffner

Kuten kappaleessa 3.1 todettiin, Schaffneria ei ole suunniteltu PLC-suodattimeksi. Vertailun vuoksi Schaffner kuitenkin mitattiin samalla tavalla kuin Bajog. Schaffner on kytkennältään symmetrinen, joten mittaukset esitetään vain yhteen suuntaan. Schaffner on mitattu valmistajan toimesta CISPR17 mukaisella tavalla ja verrattaessa Kuva 12 sekä Taulukko 3 ero on vain muutaman dB:n. On kuitenkin huomioitava, että tämän työn mittaukset taulukossa 3 on tehty 1Ω/100Ω impedansseilla, eikä kuvan 12 mukaisesti impedansseilla 0,1Ω/100Ω.

Mittaus	Linja	Z0	Z1	f 75kHz	f 86kHz
S1	L3	50	50	-37,51	-32,11
S2	L2	50	50	-22,38	-24,28
S3	L1	50	50	-29,45	-27,81
S4	L3	100	1	-12,27	-7,38
S5	L2	100	1	-12,3	-7,2
S7	L1	100	1	-4,6	-5,18
S8	L3	1	98,9	-15,35	-9,51
S9	L2	1	98,9	-4,12	-4,42
S10	L1	1	98,9	-8,56	-6,34
S11	L3	1	5	-13,1	-7,32
S12	L3	3,16	5	-17,1	-11,5
S13	L3	5	5	-18,9	-13,37
S14	L3	9	5	-20,7	-15,1
S15	L3	15	5	-21,8	-16,25
S16	L3	20	5	-22,2	-16,71
S17	L3	25	5	-22,5	-16,99
S18	L3	30	5	-22,7	-17,22
	L3	35	5	-23,1	-17,5
	L3	45	5	-23,3	-17,6
S19	L3	55	5	-23,5	-17,72
	L3	65	5	-23,4	-17,9
S20	L3	75	5	-23,4	-18,01
	L3	85	5	-23,4	-18,0
S21	L3	100	5	-23,4	-18
S22	L3	1,00	30	-13,9	-8,0
S23	L3	3,00	30	-20,4	-14,8
S24	L3	5,00	30	-23,5	-18,0
S25	L3	9,00	30	-27,1	-21,6
S26	L3	15,00	30	-29,9	-24,5
S27	L3	20,00	30	-31,3	-26,0
		25,00	30	-32,3	-26,9
S28	L3	30,00	30	-33,2	-27,8
		35,00	30	-33,9	-28,5
S29	L3	45,00	30	-34,6	-29,3
		55,00	30	-35,3	-29,9
		65,00	30	-35,7	-30,2
S30	L3	75,00	30	-36,0	-30,5
		85,00	30	-36,3	-31,0
S31	L3	100,00	30	-36,6	-31,4
S32	L3	100 ääretön		-49,04	-44,19
S33	L3	1 ääretön		-14,41	-8,54
S34	L3	50 ääretön		-43,35	-38,18

Taulukko 3. Schaffner-mittaukset johdotuskaavion mukaan.

Kuvasta 47 voidaan päätellä, että Schaffnerissa mittaus pelkästään 50Ω:n ympäristössä antaa liian hyvät tulokset. Schaffnerin vaimennus huononee, kun impedanssitasoissa lähestytään 0Ω, mikä on lähempänä oikeaa ympäristöä.



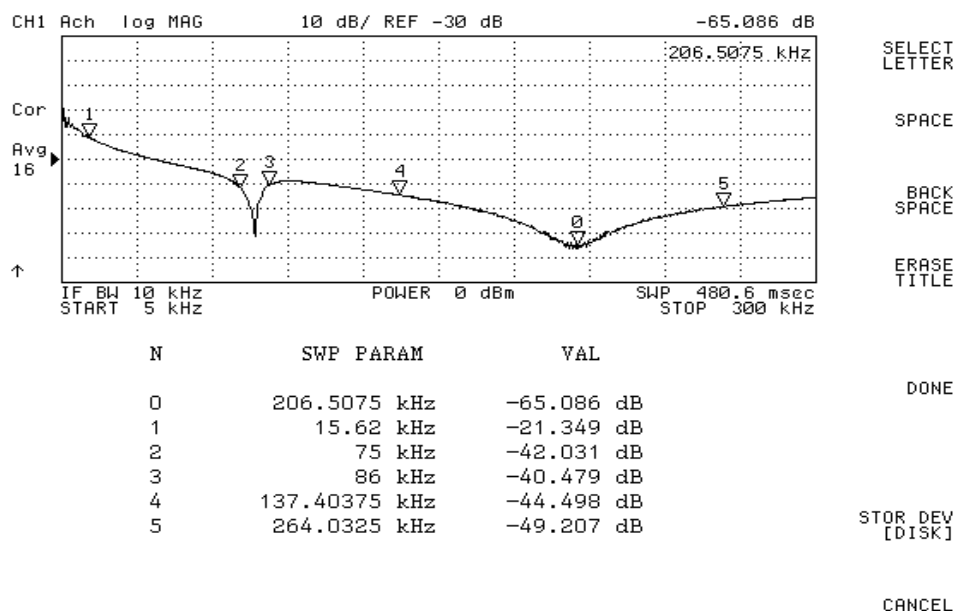
Kuva 47. Schaffner-vaimennus.

## 6 SUOMI BAJOG -FILTTERI

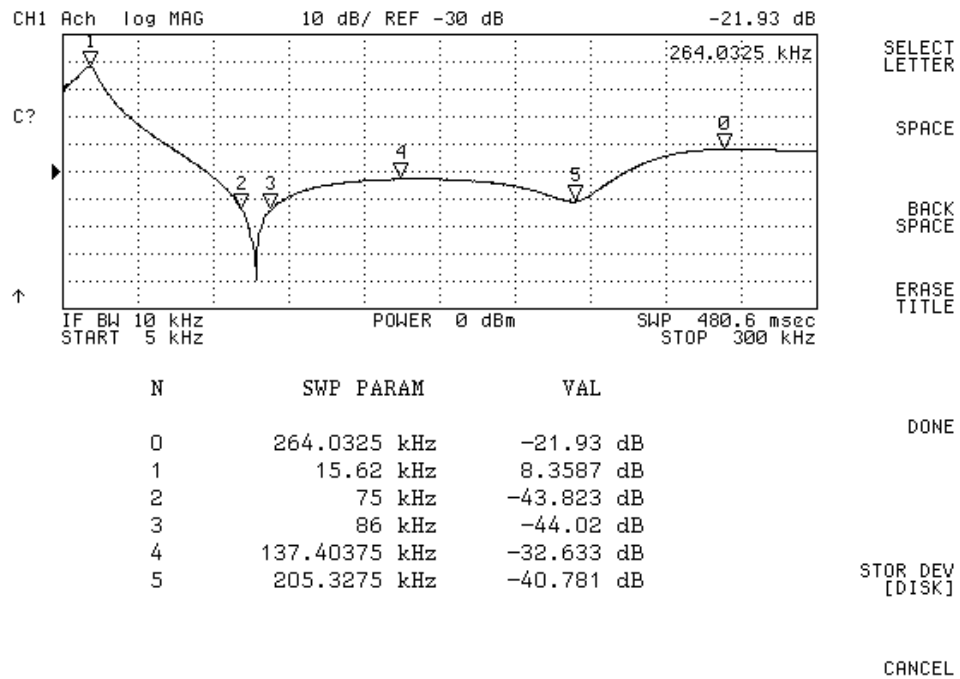
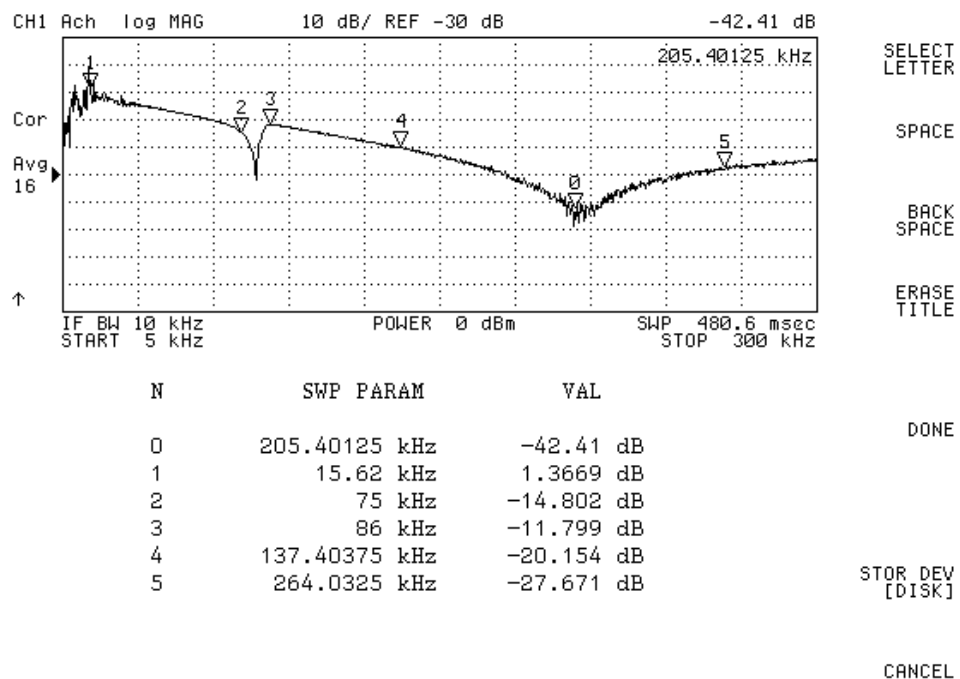
Tämän lopputyön mittausten jälkeen Bajog valmisti Caruna Oy:lle uudet Suomeen suunnitellut suodattimet. Huhtikuussa 2015 määriteltiin Bajog:lle uudet spesifikaatiot ja suodatustaajuudeksi valittiin yhteistyössä Caruna Oy:n kanssa noin 81kHz. Perusteluina olivat suodattimien valmistustoleranssit sekä mahdollinen taajuussiirtymä eri kuormilla ja lämpötiloissa. Taajuuden siirtyessä ylöspäin apukanavan suodatus huononee, mutta 86kHz:in suodatus taas paranee. Taajuuden siirtyminen aiheuttaa aina toisen PLC-kanavan parantumisen, jolloin PLC-kommunikaatio pysyy kunnossa.

### 6.1 Suomi Bajog -mittaukset

Ensimmäiset suodattimet saatiin testattavaksi joulukuun alussa 2015. Nämä mitattiin CISPR17:n mukaisella mittausmetodilla, mutta standardista poiketen 0,1Ω impedanssin tilalla käytettiin noin 1Ω:n impedanssia, katso Kuva 48 - Kuva 51.



Kuva 48. 50Ω/50Ω.

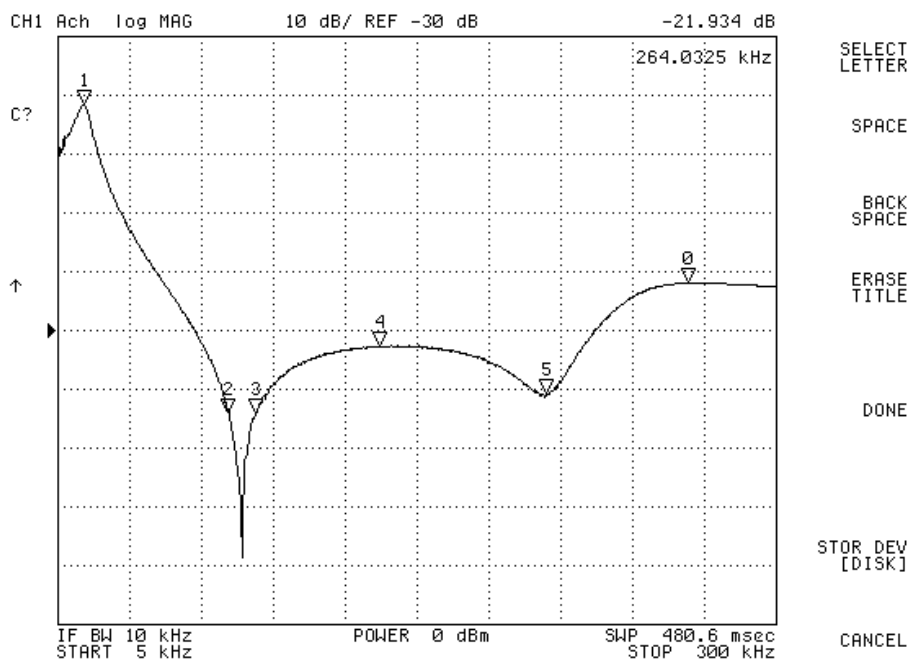
Kuva 49.  $1\Omega/100\Omega$ .Kuva 50.  $100\Omega/1\Omega$ .

Suodattimen vaimennus parani  $50\Omega$ :n mittausympäristössä vähintään 3dB,  $100\Omega/1\Omega$ -mittauksella melkein 2dB:tä ja tärkeimmällä  $1\Omega/100\Omega$ -mittauksella 17dB. Tärkein muutos korjatussa Bajog-suodattimessa on resonanssipisteen sijainti apu- ja pääkanavan välissä, jolloin pienikin resonanssipisteen siirtyminen parantaa toisen kanavan suodatusta parhaimmillaan noin 20dB.

## 7 LOPPUPÄÄTELMÄT

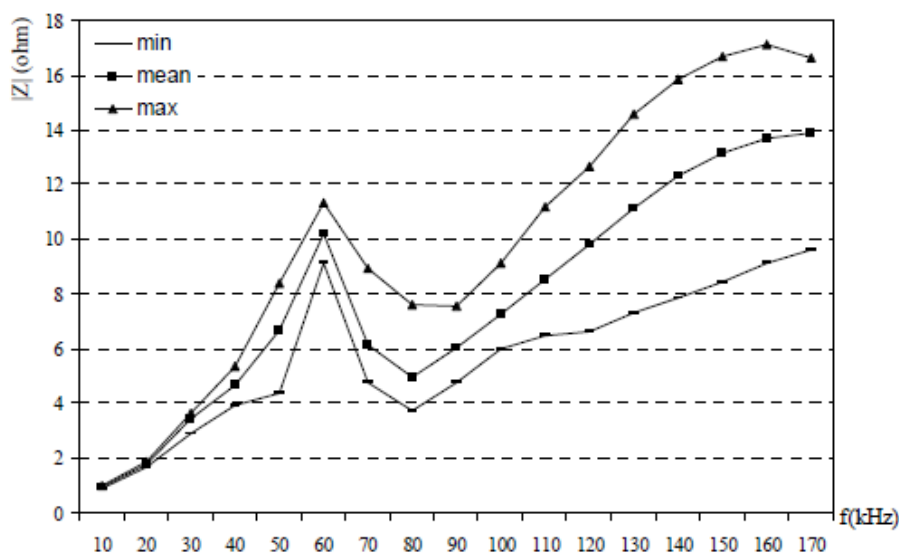
Standaroinnissa on harmaa alue 3 kHz – 150 kHz:n kaistalla. EMC-standardi määrittelee sallitut häiriötasot ja laitteiden yhteensopivuuden taajuusalueella 150 kHz – 30 MHz mutta standardi ei koske alle 150 kHz:n taajuusalueita, joilla mittareiden kommunikaatio-sovellukset toimivat. Häiriöt voivat siten ylittää EN50065-1 standardin määrittämän maksimitason. Kuluttajalaitteille ei tämän vuoksi ole olemassa standardeja, jotka vaatisivat, että sähkölaitteet on testattava mittariluennan käyttämillä taajuuksilla ja sallituilla signaalitasoilla. Pelkkä CE-merkintä ei takaa häiriöttömyyttä ja yhteensopivuutta.

Verkkovirta suodattimet tosiaan kannattaa mitata CISPR17 mukaisella mittaustavalla. Tämä mittaustapa tuo esille impedanssien erittäin suuren vaikutuksen suodattimeen esimerkiksi Kuva 46. Mielestäni toinen erittäin huomion arvoinen asia tässä mittaustavassa on, että se tuo esille suodattimien mahdollisen piikityksen. Tämä mahdollinen jännitepotku ei välttämättä ole aina hyväksi ja sitä ei huomaa 50Ω järjestelmällä, katso Kuva 51.



Kuva 51. 1Ω/100Ω.





Kuva 52. Turkin impedanssit kaupunkialueella. (Cavdar & Karadeniz 2008, 8033)

Kuva 52 perusteella suodattimien impedanssitasojen tarkasteluun riittäisi  $1\Omega$ - $22\Omega$ . Eli itse valmistettu impedanssimuunnin on tämän perusteella riittävä ja riittää tähän työhön. Itse ehdottaisin mittausalueeksi  $1\Omega$ - $50\Omega$  ja  $50\Omega$  tulee ainoastaan mittalaitteiden ominaisuuksista. CISPR17:n mukaiset  $0,1\Omega/100\Omega$  arvot tuntuvat liioittelulta, mutta mittaustapa on oikea, kun tarkastellaan PLC-alueen välisiä taajuuksia.

## 7.1 Kiitokset

Haluan lausua kiitokseni työkaverilleni TkL Jouni Nyqvistille, joka mahdollisti tämän lopputyön. Yhteisenä kiinnostuksen kohteena oli tutkia suodattimien kyvykkyyttä käyttämällä radiotekniikan osaamista verkkosuodattimien mittauksissa. Aikaisemmat kokemukset suodattimista olivat heikkovirtasuodattimista ja lähinnä  $50\Omega$ :n käyttö- ja mittaussympäristöistä. Nyt keväällä 2016 tulee tämän työn kanssa melkein 1,5 vuotta täyteen ja edelleen tämä työ opettaa. Mittauskertoja suodattimista on tullut yli 500, ja ainakin tämän verran kuvia minulla on tietokoneella.

## LÄHTEET

Landisgyr www-sivut.2015. Viitattu 1.5.2015. [www.landisgyr.com](http://www.landisgyr.com)

Texas Instruments www-sivut. 2016. Viitattu 2.1.2016. [www.ti.com](http://www.ti.com)

SFS-EN 50065-1. Viestinsiirto pienjänniteverkossa taajuusalueella 3...148,5 KHZ. Vaatimukset. 2011. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki: SFS.

EMC JA RAKENNUSTEN SÄHKÖTEKNIikka. ST-KÄSIKIRJA 37. 2008. Sähkötieto ry. Tampere: Sähköinfo.

IEEE ComSoc [www.sivut](http://www.sivut). 2015. Viitattu 1.5.2015. <http://www.comsoc.org/>

International Electrotechnical Commission www-sivut. 2016. Viitattu 24.4.2016. <http://www.iec.ch/index.htm>

ISO/IEC 27001:fi. Informaatioteknologia. Turvallisuus. Tietoturvallisuuden hallintajärjestelmät. Vaatimukset. 2006. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki: SFS.

Björkman, M., Honkala, A., Marttila, H., Kettunen, L., Koivisto, P., Konttinen, A., Korppinen, L., Mustonen, H., Taimisto, S., & Ylinen, T. P.2008. ST-Käsikirja 37. Tampere: Tammer-Paino Oy.

North Hills Signal processing corp www-sivut. 2016. Viitattu 2.1.2016. <http://www.nhsignal.com>.

Martinico, A. North Hills Signal Processing Corp. Vastaanottaja: [kimmo.wallenius@live.fi](mailto:kimmo.wallenius@live.fi). Lähetetty 2.1.2015 klo 21.16. Viitattu 2.1.2016

TME www-sivut. 2016. Viitattu 24.4.2016. <http://www.tme.eu>

Agilent 4395A Network/Spectrum/Impedance Analyzer Operation Manual. 2003. Agilent Technologies Japan, Ltd. Viitattu 12.2015.

Bajog [www.sivut](http://www.sivut) 2015. Viitattu 30.4.2015. [www.bajog.de](http://www.bajog.de).

Cavdar, H., & Karadeniz, E. 2008 Measurements of Impedance and Attenuation at CENELEC Bands for Power Line Communications Systems. Sensors 2008, 8027-8036. Viitattu 30.4.2016. <http://www.mdpi.com/1424-8220/8/12/8027/htm>

**Kimmo Wallenius**

---

**Lähtettäjä:** Martinico, Ann <annm@nhsignal.com>  
**Lähetetty:** 2. tammikuuta 2015 21:16  
**Vastaanottaja:** Kimmo Wallenius  
**Aihe:** RE: NH16434

Hello Kimmo

Thank you for your interest in our products The unit costs are as follows:

NH16434 \$759.00 each

NH16435 \$759.00 each

Delivery is 10 – 12 weeks aro

I am not sure what the shipping cost would be to Finland I could estimate at \$250.00 shipping . Payment must be made prior to shipment and you are responsible for all freight and custom charges.

Best regards

Ann Martinico  
North Hills Signal Processing Corp.  
6851 Jericho Turnpike  
Syosset, NY 11791  
516-682-7708 (ph)  
516-682-7704 (fax)

---

**From:** Kimmo Wallenius [mailto:kimmo.wallenius@live.fi]  
**Sent:** Friday, January 02, 2015 6:42 AM  
**To:** NH-Sales  
**Cc:** reps  
**Subject:** Re: NH16434

Could you also mention what would be the price for NH16435?

Thanks,  
Kimmo

**Lähtettäjä:** [Kimmo Wallenius](#)  
**Lähetetty:** perjantai, 2. tammikuuta 2015 13:31  
**Vast.ott:** [nh-sales@nhsignal.com](mailto:nh-sales@nhsignal.com)  
**Kopio:** [reps@northhills-sp.com](mailto:reps@northhills-sp.com)

Hi,

I am finishing my bachelor studies and trying to do my Bachelor's thesis on filters. I found that you have this NH16434 which can be used when doing CISPR measurements.

How much 2 of these would cost to me, when delivering these to Finland?

br,  
Kimmo Wallenius