



TEKNIikka JA LIIKENNE

Tietotekniikka

Tietoliikennetekniikka

INSINÖÖRITYÖ

ADSL/POTS-jakosuodin

Työn tekijä: Jari Kekki
Työn ohjaaja: Olavi Aho

Työ hyväksytty: __. __. 2008

Olavi Aho
yliopettaja



ALKULAUSE

Tämä insinööriytyö tehtiin Metropolia ammattikorkeakoulun tekniikan ja liikenteen tietotekniikan koulutusohjelmalle. Kiitän työni ohjaajaa yliopettaja Olavi Ahoa hänen antamastaan opastuksesta ja neuvoista.

Helsingissä 16.10.2008

Jari Kekki

INSINÖÖRITYÖN TIIVISTELMÄ

Tekijä: Jari Kekki	
Työn nimi: ADSL/POTS-jakosuodin	
Päivämäärä: 16.10.2008	Sivumäärä: 40 s.
Koulutusohjelma: Tietotekniikka	Suuntautumisvaihtoehto: Tietoliikennetekniikka
Työn ohjaaja: yliopettaja Olavi Aho	
<p>Tässä insinööriyössä suunniteltiin ja rakennettiin ADSL/POTS-jakosuodin. Työ tehtiin Metropolia Ammattikorkeakoululle.</p> <p>Aluksi työssä perehdyttiin puhelinverkon historiaan. Lisäksi tutkittiin puhelinverkon rakennetta ja keskushierarkiaa. Perehdyttiin puhelinverkon sähköisiin ominaisuuksiin ja puhelinverkkoon liitettävälle päätelaitteille asetettuihin vaatimuksiin. Lisäksi otettiin selvää ADSL-modeemin ja lankapuhelimen käyttämistä taajuusalueista. Perehdyttiin myös puhelinkeskusten kehitykseen ensimmäisestä käsikäyttöisestä keskuksesta nykyiseen täysdigitaaliseen keskukseen.</p> <p>Suunniteltiin jakosuodin. Tutkittiin myös, missä jokapäiväisissä teknisissä sovelluksissa suodattimia käytetään. Perehdyttiin erilaisiin suodatintyyppeihin kuten alipäästön, ylipäästön, kaistanpäästön, ja kaistanestoon. Lisäksi selvitettiin analogisen, passiivisen, aktiivisen, ja digitaalisen suodattimen eroavaisuuksia. Perehdyttiin käsitteisiin, kuten rajataajuuksiin, dekadisiin ja astelukuun.</p> <p>Lisäksi työssä perehdyttiin Aplac-piirisimulointiohjelmaan, jolla myös simuloitiin suunniteltu suodatin ennen sen rakentamista. Aplacilla simuloitiin jakosuodattimen läpimenovaimennukset, heijastusvaimennukset ja heijastukset ADSL- ja POTS-liitäntöjen välillä. Näiden simulointien lisäksi syntyivät käyttöohjeet Aplac-piirisimulointiohjelmalle.</p> <p>Lisäksi selostettiin jakosuotimessa käytettyjen elektronisten komponenttien toiminta. Seuraavaksi suunniteltu jakosuodin rakennettiin ja mitattiin eri mittalaitteilla läpimenovaimennukset, heijastusvaimennukset ja heijastukset ADSL- ja POTS-liitäntöjen väliltä. Näitä mittaustuloksia verrattiin aikaisemmin Aplacilla simuloituihin. Tämän jälkeen ADSL/POTS-jakosuodin kytkettiin puhelinverkkoon ja testattiin jakosuotimen toimivuus.</p> <p>Insinööriyön lopputuloksena saatiin toimiva ja päätelaitteelle asetetut sähköiset ominaisuudet täyttävä jakosuodin.</p>	
Avainsanat: ADSL, POTS, jakosuodin, Aplac, läpimenovaimennus, heijastusvaimennus	



ABSTRACT

Name: Jari Kekki	
Title: ADSL/ POTS Splitter	
Date: 16th October 2008	Number of pages: 40
Department: Information technology	Study Programme: Telecommunication
Instructor: Olavi Aho, Principal Lecturer	
<p>The purpose of this final project was to design and build an ADSL/POST Splitter. This project was carried out for Helsinki Metropolia University of Applied Sciences.</p> <p>This study based on a review of the history of telephone network whereby the structure of the telephone network and hierarchy of telephone exchange were studied. An analysis was made of the electric specifications of the telephone network as well as demands for terminal devices required for the telephone network. Also, frequency bands for telephones and ADSL modems were explored along with the milestones of exchanges from early manual versions to present completely digitalized ones.</p> <p>Based on the specifications a splitter was designed. The study explains different types of filters such as low pass, upper pass, band pass and band stop filters utilized in technical applications. Concepts such as active, passive, digital and analogue were clarified together with cut-off frequencies, decade and scale of degrees.</p> <p>This study also explored circuit simulating application called APlac. APlac was used to simulate concepts such as return loss, transducer loss and reflections between ADSL and POTS interfaces. A manual was written on how to use APlac. An explanation was provided on how the electric components function in the splitter. Then the splitter was built and several measurements were made. The measurement results were compared with the simulations results. Finally the splitter was hooked in telephone network and several tests were performed.</p> <p>This study was successful in building an effective splitter which also complies with the requirements for terminal devices.</p>	
Keywords: ADSL, POTS, a splitter, transducer loss, return loss	

SISÄLLYS

ALKULAUSE

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

LYHENTEET

1	JOHDANTO	1
2	PUHELINVERKON HISTORIAA	2
2.1	Puhelinverkot maailmalla	2
2.2	Automaattinen puhelinkeskus	3
2.3	Puhelinverkot Suomessa	5
3	PUHELINVERKON RAKENNE	6
3.1	Puhelinverkon rakenne	6
3.2	Puhelinverkon numero- ja keskushierarkia	8
3.3	Puhelinverkon sähköinen rakenne	8
4	SUODATTIMET	9
4.1	Analogiset suodattimet	16
4.2	Digitaaliset suodattimet	16
5	JAKOSUODATTIMEN SUUNNITTELU	17
6	JAKOSUODATTIMEN SIMULOINTI	24
7	MITTAUS JA TESTAUS	27
8	JAKOSUODATTIMEN TOIMINTA	30
9	MITTAUS- JA SIMULOINTITULOKSET	30
10	YHTEENVETO	38
	LÄHTEET	40

LYHENTEET

ADSL	<i>Asymmetric Digital Subscriber Line</i> ; kierrettyä parikaapelia hyödyntävä digitaalinen tiedonsiirtoyhteys
CAD	<i>Computer Aided Design</i> ; tietokoneavusteinen suunnittelu
GPIB	<i>General Purpose Interface Bus</i> ; tiedonsiirtoväylä mittalaitteissa, jota käytetään mittalaitteiden ohjaamiseen
ISDN	<i>Integrated Services Digital Network</i> ; piirikytkentäinen järjestelmä, joka on suunniteltu digitaalisen puheen ja datan siirtoon
POTS	<i>Plain old telephone service</i> ; perinteinen puhelinpalvelu
PCM	<i>Pulse Code Modulation</i> ; sähköinen menetelmä ääni-informaation näytteenottoon

1 JOHDANTO

Insinööriyössä syvennytään suodattimien suunnitteluun. Erityisesti selvitetään suodatinsuunnittelussa tarvittavat matemaattiset ja muut huomioivat asiat. Perehdytään siihen, miten suodattimen voi suunnitella ja testata CAD-ohjelmien avustuksella. Lyhenne CAD tulee englannin kielen sanoista Computer Aided Design.

Tavoitteena on rakentaa ADSL/POTS-jakosuodin ja testata jakosuotimen toiminta. Mitataan heijastusvaimennus ja vaimennus päästökaistalla. Saatujamittaustuloksia verrataan CAD-ohjelmilla saatuihin tuloksiin. Lyhenteet ADSL ja POTS tulevat englannin kielen sanoista Asymmetric Digital Subscriber Line ja Plain old telephone service.

Lisäksi selvitetään, minkälaisia ADSL/POTS-jakosuotimia markkinoilta löytyy. Perehdytään, miten kaupoissa myytävät ADSL/POTS-jakosuotimet on toteutettu.

Tutustutaan erilaisiin suodattimiin kuten

- Besseliin
- Butterworthiin
- Tshebysheviin

Selvitetään käsitteet kuten

- aktiivisuus
- analogisuus
- digitaalisuus
- passiivisuus.

Selvitetään käsitteitä, jotka ovat oleellisia suodatin suunnittelussa, kuten

- -3 dB:n alaraja- ja ylärajataajuus
- dekadit
- suodattimen astelukku.

Perehdytään, missä arkipäivän sovelluksissa ja millä tietoliikennetekniikan alueella suodattimia esiintyy ja mikä on niiden käyttötarkoitus.

Perehdytään, miten ADSL-modeemi ja lankapuhelin toimivat ja selvitetään niiden käyttämät taajuusalueet. Selvitetään, minkälainen puhelinverkko on sähköisiltä ominaisuuksiltaan, ja selvitetään, mitä sähköisiä ominaisuuksia puhelinverkkoon liitettäviltä päätelaitteilta vaaditaan.

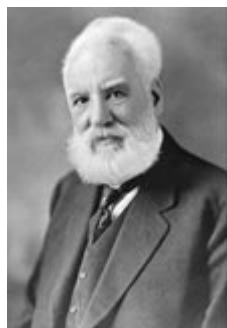
Tavoitteena on myös tutkia, onko viranomaisia tai muita kansainvälisiä tahoja, jotka antavat määräyksiä tai suosituksia puhelinverkko- ja ADSL-tekniikkaan liittyvissä asioissa. Selvitetään suodattimiin, puhelinverkkoon ja ADSL-tekniikkaan liittyviä historiallisia näkökohtia.

2 PUHELINVERKON HISTORIAA

2.1 Puhelinverkot maailmalla

Ennen Alexander Graham Bellin ensimmäistä puhelinta useat tutkijat olivat jo ehtineet esittää puhelinta koskevia teoreettisia kuvauksia.

Puhelimen ensimmäisen toimivan prototyypin patenttihakemuksen jättivät samanaikaisesti Alexander Graham Bell (kuva 1) ja Elisha Gray 14.2.1876. Oikeustaistelun jälkeen asia kuitenkin ratkesi Bellin hyväksi, koska Bell oli ehtinyt jättää patenttihakemuksensa pari tuntia aikaisemmin kuin Gray.

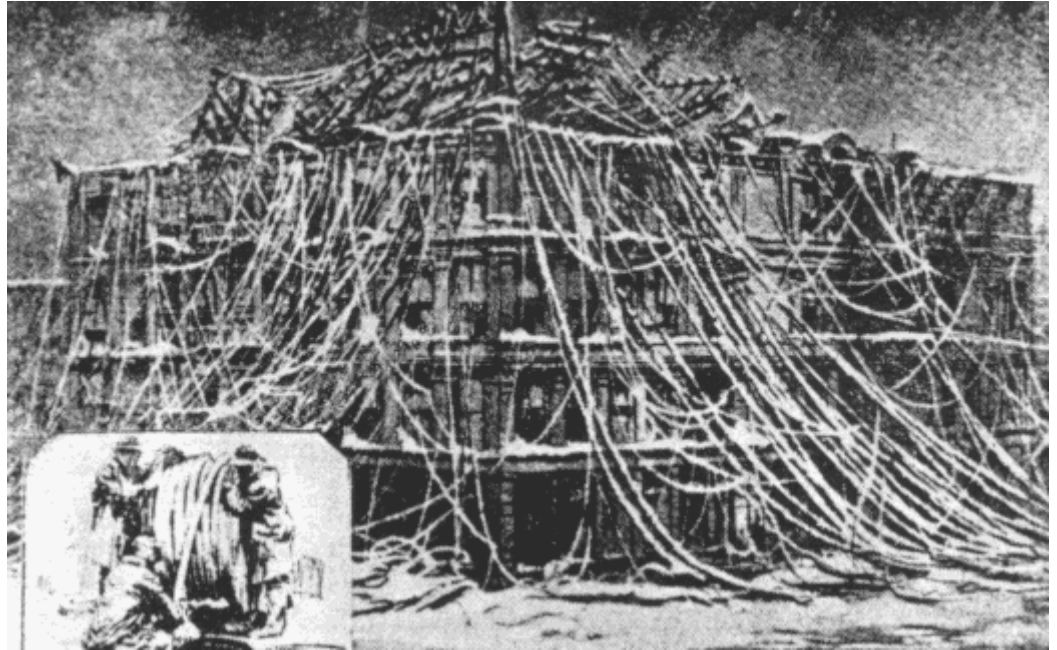


Kuva 1. Alexander Graham Bell [4.]

Maailman ensimmäinen puhelinkeskustelu käytiin 10.3.1876 Yhdysvalloissa Bostonissa, kun Bell kutsui apulaistaan puhelimella.

Ensimmäiset puhelimet käsittivät kuulokkeen, mikrofonin, veivin sekä pariston. Yhteys otettiin keskuksen veivaamalla veiviä. Paristoa tarvittiin mikrofonin ja kuulokkeen virransyöttöä varten.

Puhelimien määrä kasvoi nopeasti, tämän takia tarvittiin keskuksia (kuva 2). Vuonna 1878 otettiin käyttöön Yhdysvaltojen ensimmäinen ja samalla maailman ensimmäinen puhelinkeskus. [1; 2.]



Kuva 2. Bostonin puhelinkeskus vuonna 1881 lumimyrkyn jälkeen [8.]

Vuonna 1906 keksittiin elektroniputki. Tämä mahdollisti vahvistimet, joten pitkällä etäisyyksillä kuuluvuus parani. Saksassa ja Englannissa otettiin 1930-luvulla käyttöön kaukokirjoittimet eli telexit. [3; 5].

Vuonna 1947 keksitty transistori ja vuonna 1959 kehitetty mikropiiri mahdollistivat aikajakoisen tekniikan. Vuonna 1969 esitettiin ensimmäisen kerran ajatus ISDN:stä. ISDN tulee englannin kielen sanoista Integrated Services Digital Network. [8.]

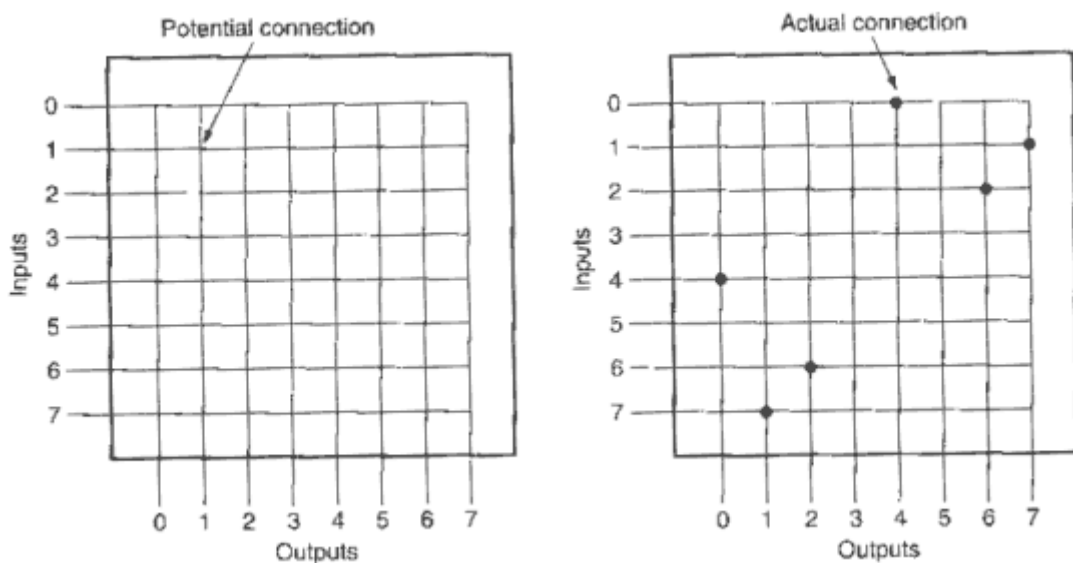
2.2 Automaattinen puhelinkeskus

Automaattinen puhelinkeskus keksittiin vuonna 1891. Keskus toimi siten, että A-tilaaja asetti puhelimen valintalevyllä keskuksessa olevan sähkömekaa-

niset valitsimet oikeisiin asentoihin. Valitsimien ollessa oikeassa asennossa puhelu yhdistyi B-tilaajalle.

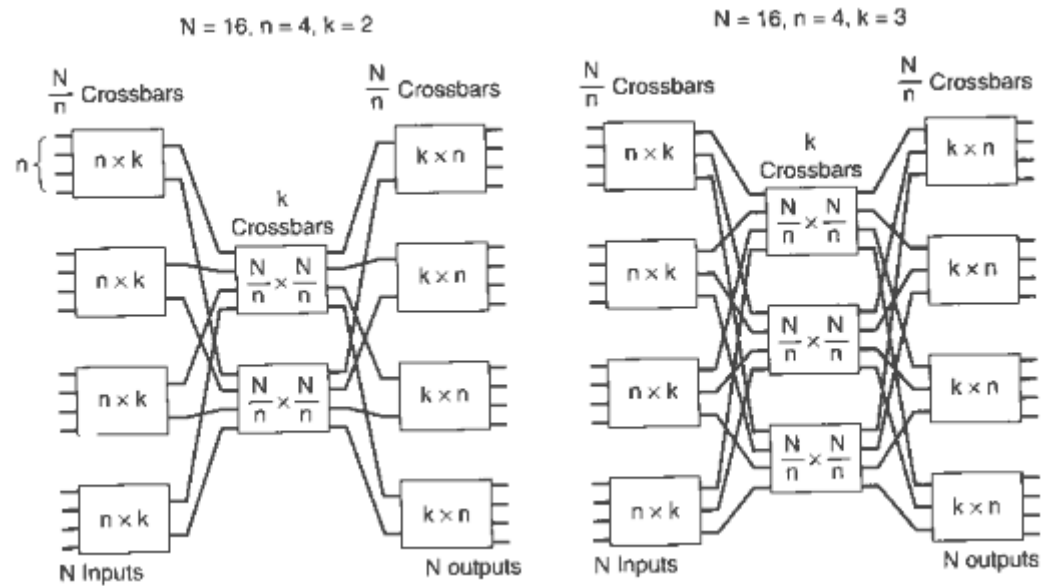
Vuonna 1908 kehitettiin ratkaisu, jossa puhelinnumerot tallennettiin rekisteriin, joten tilaaja ei enää ohjannut itse keskustaa. A-tilaajan valitessa numeroa keskus tallensi sen ja vertasi sitä rekisterin tietoihin ja yhdisti puhelun rekisteritietojen perusteella.

Vuonna 1912 syntyi idea koordinaattikeskuksista, mutta lopullinen läpimurto tapahtui vasta vuonna 1950. Koordinaattikeskuksissa sisään tulevat linjat olivat ristissä ulos menevien linjojen kanssa eli kyse oli matriisista (kuva 3). Jokaisessa linjan risteyskohdassa oli rele, jonka tilaa muuttamalla voitiin yhteys muodostaa tai purkaa. Releitä ohjattiin kiskojen päällä matriisin yläpuolella liikkuvilla valitsimilla.



Kuva 3. Koordinaattikeskuksen toimintaperiaate [8.]

Koordinaattikeskuksia seurasivat tilajakokeskukset. Tilajakokeskuksissa on useita reittivaihtoehtoja keskuksen läpi (kuva 4). Lisäksi tilajakokeskusten etuna tilantarve verrattuna koordinaattikeskuksiin vähenee. Tilajakokeskuksissa on enemmän laskentaa verrattuna koordinaattikeskukseen. Keskus myös päättää valittavan reitin sen hetkisen kuormitustilanteen mukaan. Eli tilajakokeskuksen rakentamiseksi tarvittiin jo jonkinlainen tietokone.



Kuva 4. Tilajakoisen keskuksen toimintaperiaate [8.]

Tilajakoisten keskuksien jälkeen tulivat keskuksat, joita ohjattiin digitaalisesti, mutta niiden välittämä tieto oli edelleen analogista. Tällaisia keskuksat tunnettiin SPC-keskuksina. Lyhenne SPC tulee englannin kielen sanoista Stored Program Control.

SPC-keskuksien jälkeen alkoivat yleistyä täysdigitaaliset keskuksat esimerkiksi Suomessa Nokian valmistamat DX-sarjan keskuksat. Täysdigitaaliset keskuksat perustuvat aikajakoiseen tekniikkaan. [8.]

2.3 Puhelinverkot Suomessa

Vuoden 1877 joulukuussa ensimmäinen puhelinlinja rakennettiin Helsinkiin metallitehtailija Johan Nissisen konttorin ja myymälän välille. Suomessa ensimmäinen puhelinkeskus aloitti toimintansa Turussa vuonna 1881. Vuotta myöhemmin Daniel Johannes Wadén sai luvan perustaa puhelinlaitoksen Helsinkiin. [1; 2.]

Keskusparistojärjestelmän käyttöönotto 1910-luvulla mahdollisti puhelimen omasta veivistä ja paristosta luopumisen. Suomessa kaukokirjoittimet eli telexit otettiin käyttöön vasta toisen maailmansodan jälkeen. [5; 6]

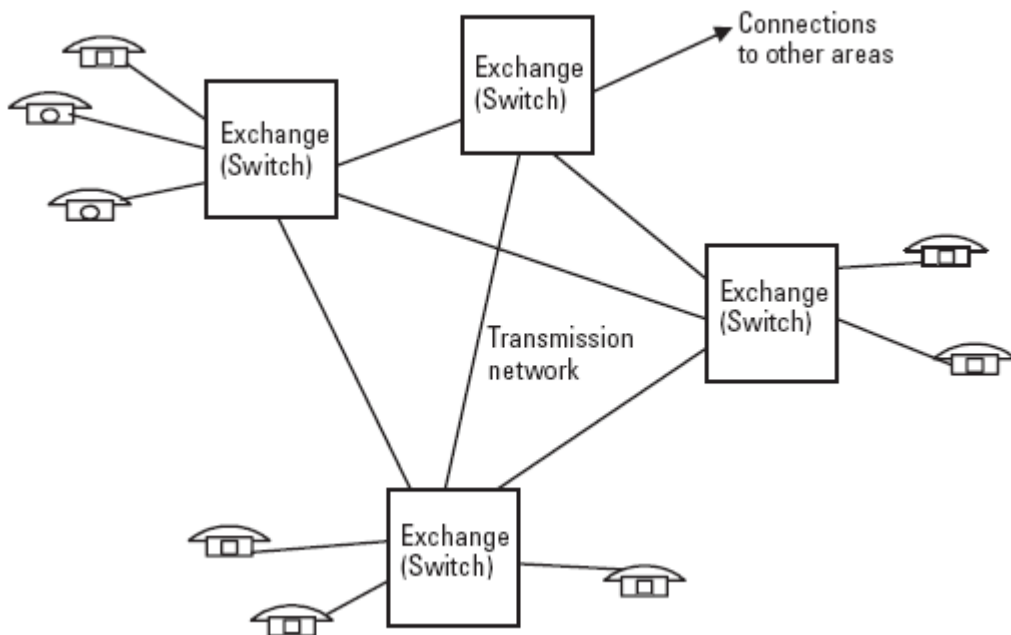
Merkittäviä tapahtumia olivat 1950-luvulla käyttöön otettu radiolinkkiyhteys, kantoaaltolaitteet ja 1960-luvun loppupuolella PCM-järjestelmät. Lyhenne PCM tulee englannin kielen sanoista Pulse Code Modulation. Ensimmäinen valokuituyhteys tuli 1970-luvulla lisäksi telefax-palvelut tulivat tällöin käyttöön.

Suomessa ensimmäinen täysdigitaalinen puhelinkeskus otettiin käyttöön 1970-luvun lopulla Korppoossa. Viimevuosituhannen kahdella viimeisellä vuosikymmenellä 1980- ja 1990-luvuilla yleistyivät nopeat tietoliikenneyhteydet. Ensimmäiset yhteydet toteutettiin aluksi ISDN-tekniikan avulla, jonka korvasi ADSL-tekniikka. [7; 8.]

3 PUHELINVERKON RAKENNE

3.1 Puhelinverkon rakenne

Puhelinverkko rakentuu toisiinsa kytketyistä keskuksista ja niihin liitetystä tilaajalinjoista (kuva 5).



Kuva 5. Perinteinen puhelinverkko [9, s. 21.]

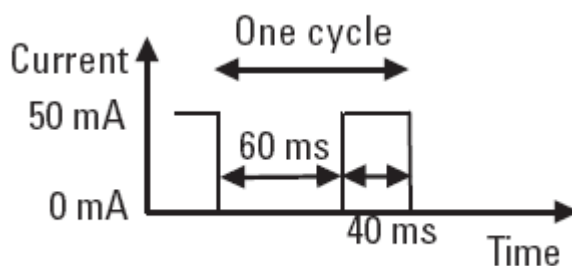
Puhelu muodostetaan nostamalla lankapuhelimen luuri ja valitsemalla numero. Numeron valintaan on olemassa kaksi tapaa: äänitaajuusvalinta ja pulssi-valinta.

Äänitaajuusvalinnassa näppäimen painallus tuottaa äänen, joka on muodostettu kahdesta taajuudesta (kuva 6). Kaikki muodostuvat äänet ovat taajuusalueen 300 - 3 400 Hz sisällä.

		1,209	1,336	1,477	1,633
697	1	2	3	A	
770	4	5	6	B	
852	7	8	9	C	
941	*	0	#	D	

Kuva 6. Näppäin- ja taajuusmatriisi [9, s. 27.]

Esimerkiksi näppäimen 1 painallus tuottaa taajuuksista 697 ja 1 209 Hz muodostuneen äänen. Näppäimiä A, B, C ja D ei käytetä normaalissa tilaajalinjassa.



Kuva 7. Pulssi [9, s. 26.]

Pulssivalinnassa lankapuhelimessa on valintakiekko, sormi laitetaan valittavan numeron kohtaan ja pyöräytetään kiekkoa myötäpäivään ja vapautetaan kiekko. Valintakiekkolla varustettu puhelin tuottaa noin 100 millisekunnin pi-

tuisia pulsseja (kuva 7), joissa on 60 millisekunnin pituinen tauko esim. valittaessa numeroa yhdeksän puhelin tuottaa 9 kpl noin 100 millisekunnin mittaisia pulsseja. [9, s. 20 - 41.]

3.2 Puhelinverkon numero- ja keskushierarkia

Puhelinnumero on enimmillään 13 numeron pituinen numerosarja. Ensimmäiset 2 - 3 numeroa muodostavat maatunnuksen esim. Suomessa 358 tai Saksassa 44. Maatunnusta käytetään vain silloin, kun halutaan soittaa ulkomaanpuhelu. Seuraavat 2 numeroa muodostavat suuntanumeron, esim. Helsingin verkkoryhmän alueella 09. Loput 6 - 8 numeroa muodostavat tilaajan numeron.

Ulkomaanpuhelua soittaessa ensimmäiseksi valitaan jokin ulkomaanpuheluita välittävän operaattorin numero tai näppäillään 00. Matkapuhelimesta soittaessa riittää +-merkki ennen maatunnusta. Lisäksi ulkomaille soittaessa jätetään ensimmäinen suuntanumeron numero valitsematta, koska ulkomailta tulevat puhelut välitetään aina kaukoliikennekeskuksen läpi.

Eli puhelinoperaattorin verkossa on kolmenlaisia keskuksia kuten

- paikalliskeskus
- kaukopuhelukeskus
- ulkomaanpuhelukeskus.

Puhelu välittyy seuraavanlaisesti, jos B-tilaajan numero ei kuulu A-tilaajan keskuksen alaisuuteen tai sen alapuolella olevien keskuksien alaisuuteen, puhelu välitetään yläpuolella olevalla keskukselle. Näin kauan jatketaan, kunnes löytyy keskus, johon tai jonka alapuolelle B-tilaajan numero kuuluu. [9, s. 20 - 41.]

3.3 Puhelinverkon sähköinen rakenne

Äänipuhelut puhelinverkossa ovat taajuusalueella 300 - 3400 Hz. Puhelinverkkoon liitettävät päätelaitteiden impedanssin on oltava 600 ohmia. Lisäksi päätelaitteen läpi kulkeva virta on puhetilassa 20 - 50 mA.

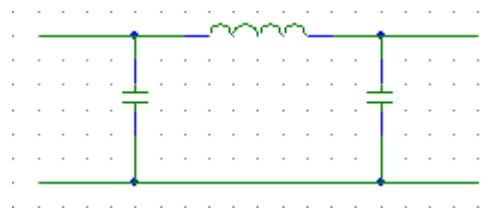
Päätelaitteiden heijastusvaimennus on oltava 10 dB. Lisäksi päätelaitteiden on kestävä soittosignaali, joka on tehollisarvoltaan 90 V:n ja taajuudeltaan 25- tai 50 Hz:n vaihtojännite. Vaihtojännite on summautunut tasajännitteen kanssa.

Automaattisen puhelinkeskuksen linjaan syöttämä jännite on 48 - 60 V:n välillä. Normaalisti puhelinlinjaan syötettävä jännite on 48 V puhelimen luurin ollessa paikallaan. Luuria nostettaessa linjaan syötettävä jännite putoaa noin 6 - 10 V:n. [10.]

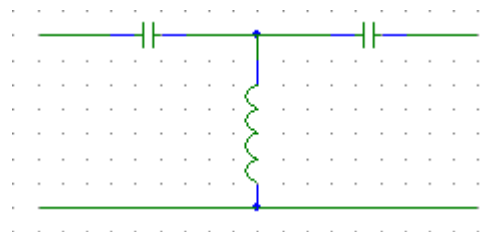
4 SUODATTIMET

Suodattimet ovat elektronisista komponenteista valmistettuja piirejä, joiden avulla voidaan muokata signaalia. Tavallisempia suodattimien sovelluksia on tietyn taajuisen signaalin valitseminen ja sen poistaminen tai päästäminen.

Tyypillinen jokapäiväinen suodattimista koostuva sovellus on stereolaitteiston kaiuttimet. Esimerkkinä kolmitiekaiuttimessa tarvitaan bassokaiuttimelle alipäästösuo datin, kaistanpäästösuo datin keskiäänikaiuttimelle ja ylipäästösuo datin diskanttikaiuttimelle. [11; 13.]

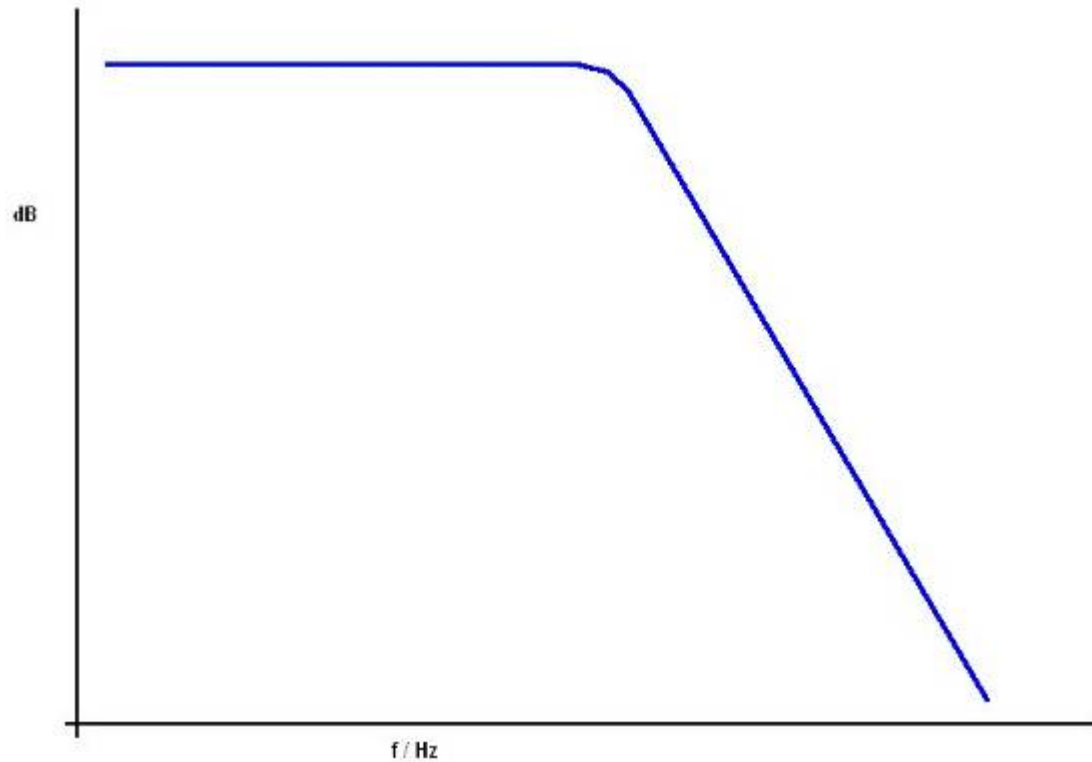


Kuva 8. PII-rakenne [14.]



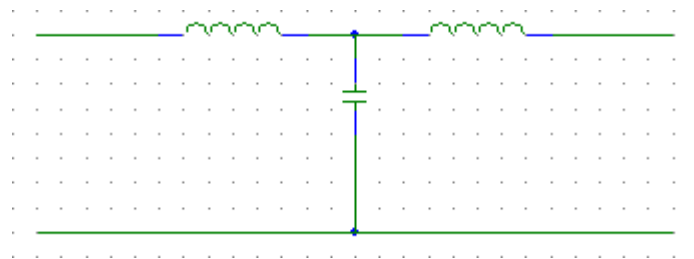
Kuva 9. T-rakenne [14.]

Suodattimet voidaan jakaa toteutustavan perusteella digitaalisiin ja analogisiin. Suodattimia on kaiken kaikkiaan neljä erilaista tyyppiä. Lisäksi suodattimilla on kaksi perusrakennetta: Pii-rakenne (kuva 8) ja T-rakenne (kuva 9). Esimerkiksi tässä insinööriyössä valmistettu ADSL/POTS-jakosuodin on rakennettu T-mallin mukaiseksi.



Kuva 10. Alipäästösuodatin [11.]

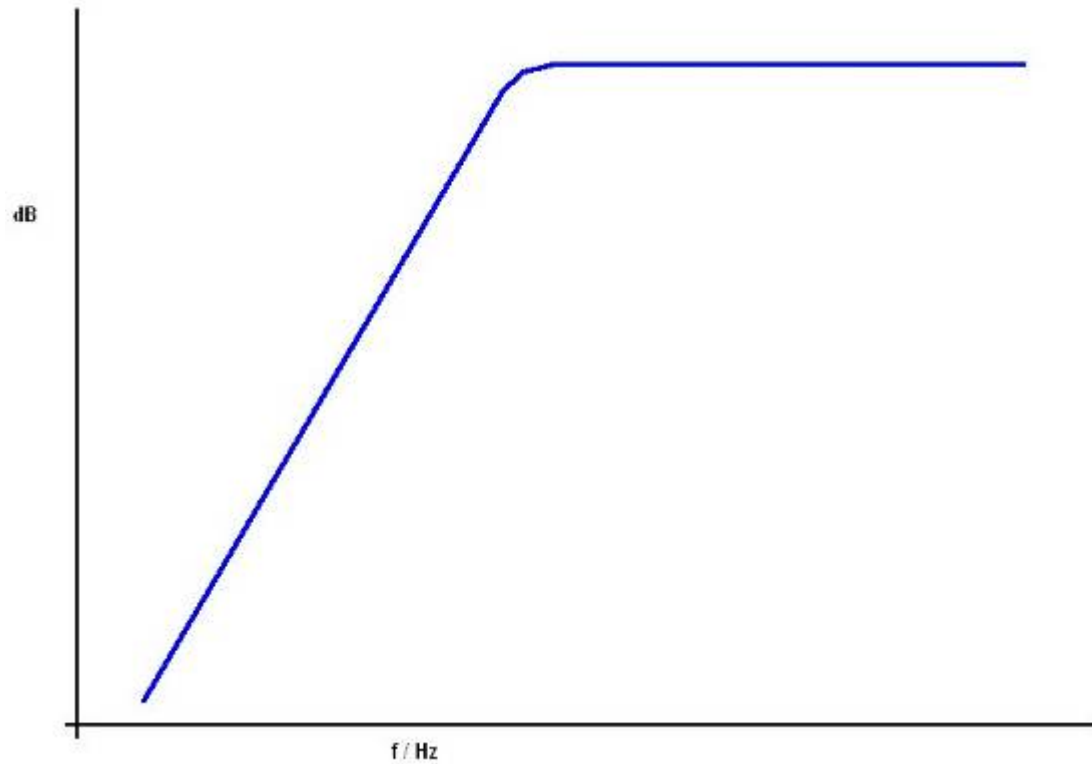
Alipäästösuodattimet (kuva 10) päästävät alempia taajuuksia läpi 3 dB:n alarajataajuuteen saakka.



Kuva 11. T-rakenne alipäästösuodin [11.]

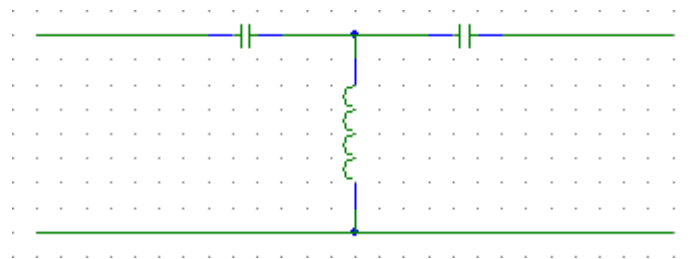
Jos alipäästösuodatin toteutetaan T-rakenteen mukaisesti. Tällöin alipäästösuodatin on rakenteeltaan kahden sarjaan kytketyn kelan ja niiden välissä olevan rinnan kytketyn kondensaattorin kytkentä (kuva 11). Jos alipääs-

tösuodatin suunnitellaan Pii-rakenteen mukaisesti, tällöin ensimmäinen komponentti on rinnan kytketty kondensaattori, seuraava komponentti on sarjaan kytketty kela ja kolmas komponentti on toinen rinnan kytketty kondensaattori.



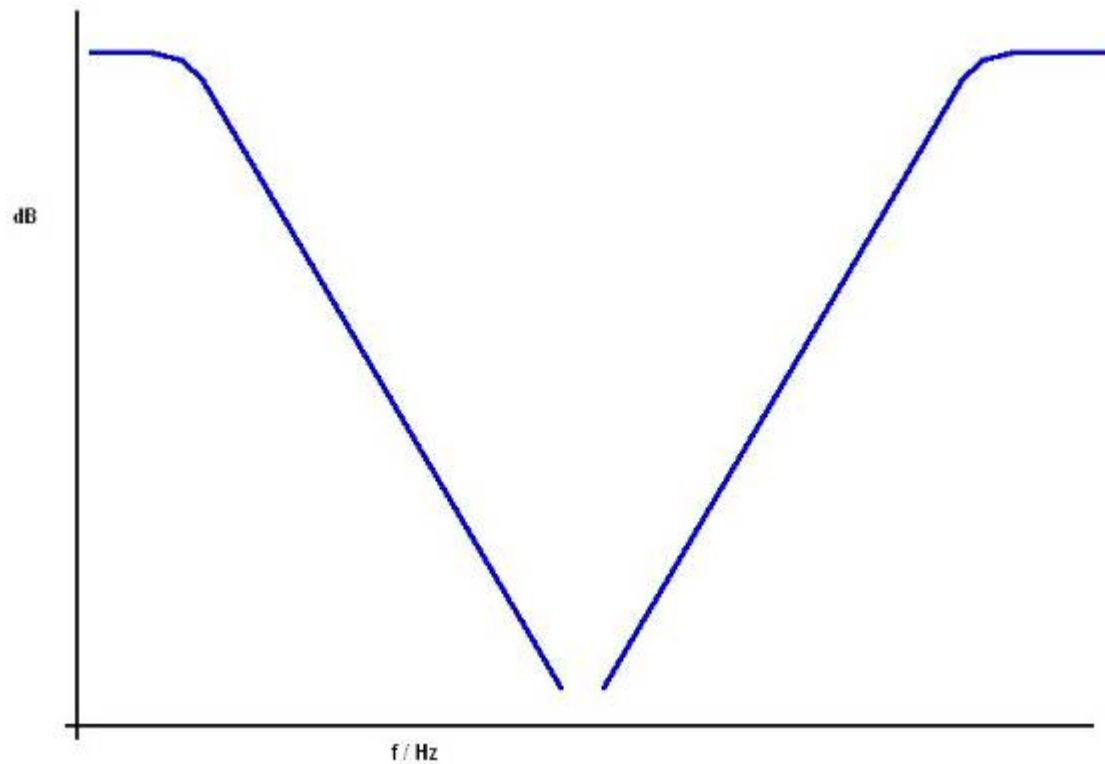
Kuva 12. Ylipäästösuodatin [11.]

Ylipäästösuodattimet (kuva 12) estävät alempien taajuuksien läpikäynnin ja päästävät lävitseen taajuuksia, jotka ovat suurempia kuin 3 dB:n ylärajataajuus.



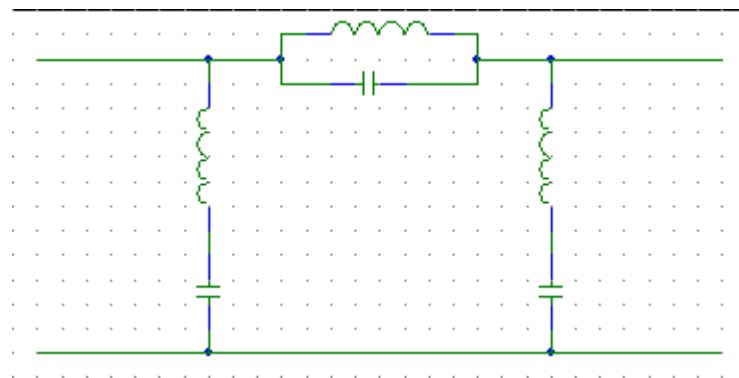
Kuva 13. T-rakenne ylipäästösuodatin [11]

Yksinkertaisimmillaan ylipäästösuodatin rakentuu yhdestä sarjaan kytketystä kondensaattorista ja yhdestä rinnan kytketystä kelasta (kuva 13).



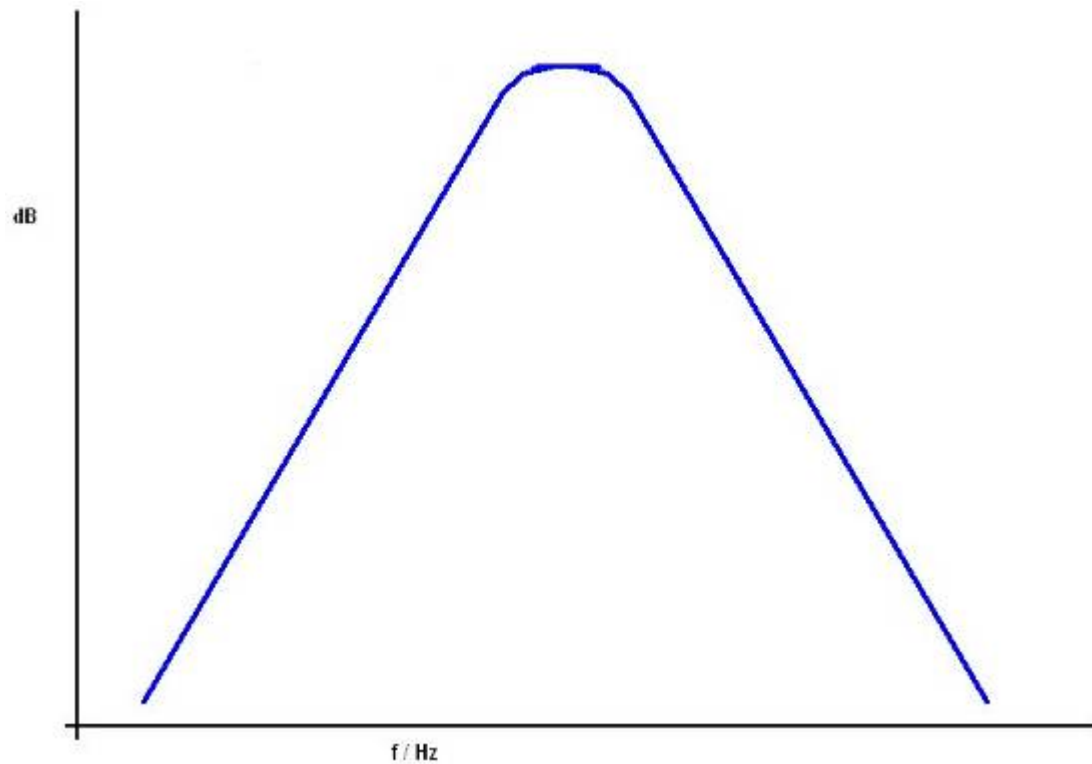
Kuva 14. Kaistanestosuodatin [11.]

Kaistanestosuodattimet (kuva 14) estävät määritellyn taajuusalueen ja päästävät muut tämän taajuuden ylä- sekä alapuolella olevat taajuudet lävitseen.



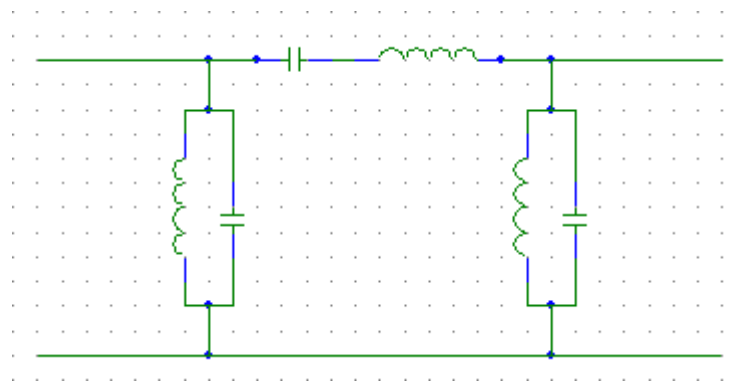
Kuva 15. Pii-rakenne kaistanestosuodatin

Kaistanestosuodattimen rakentuu sarjaan kytketyistä kelasta ja kondensaattorista, jotka ovat rinnan. Tämän lisäksi kytkennässä on sarjassa rinnan kytketyt kela ja kondensaattori (kuva 15).



Kuva 16. Kaistanpäästösuodatin [11.]

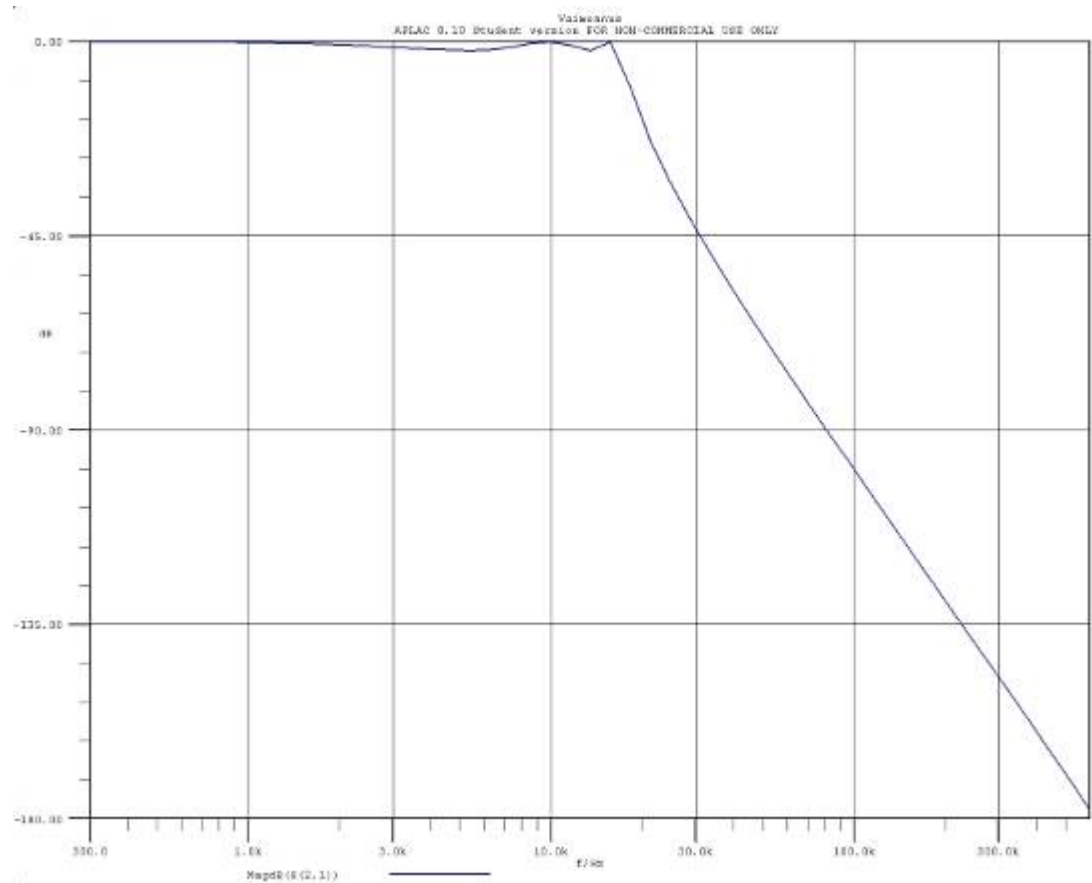
Kaistanpäästösuodattimet (kuva 16) toimivat päinvastoin kuin kaistaestosuodattimet. Ne päästävät vain määritellyn taajuusalueen lävitseen ja estävät muiden taajuuksien läpipääsyn.



Kuva 17. Pii-rakenne kaistanpäästösuodatin

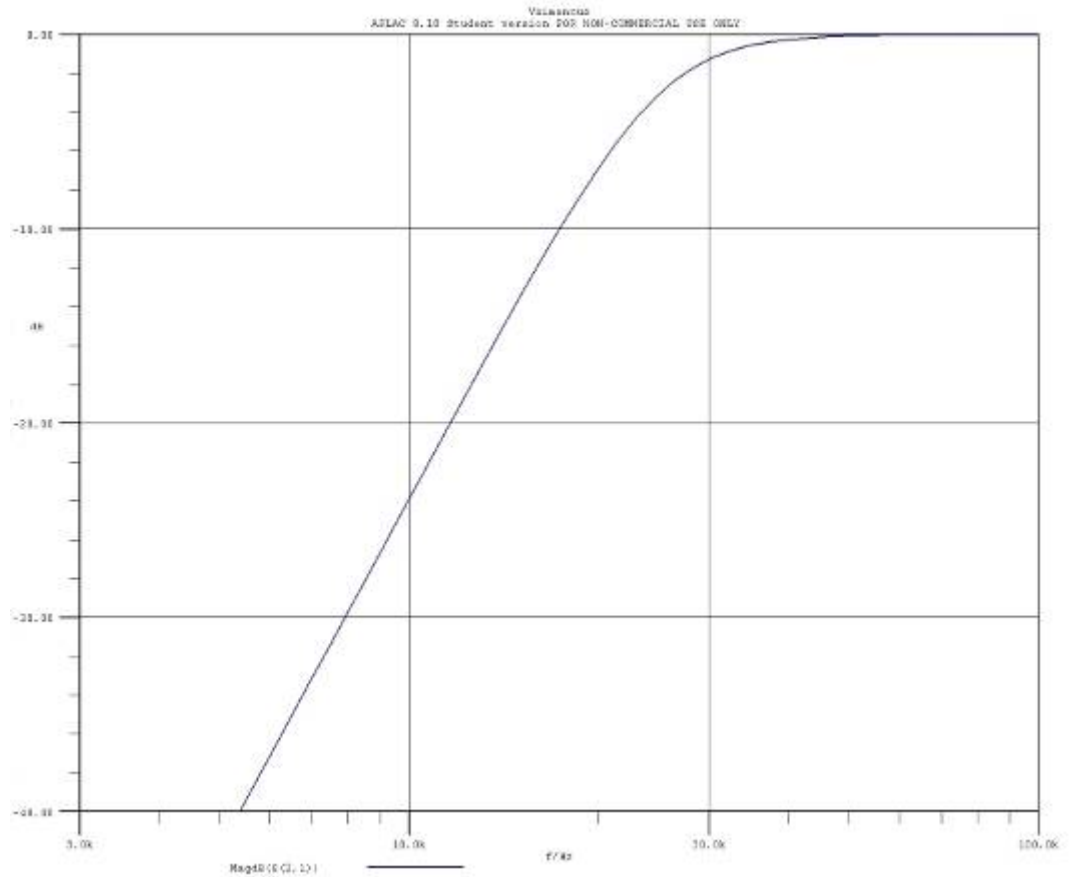
Kaistanpäästösuodattimen rakenne on seuraavanlainen: suodattimessa on ensin rinnan kondensaattori ja kela, näiden komponenttien jälkeen on sarjassa kela ja kondensaattori (kuva 17). Suodatintyyppien lisäksi suodattimia voidaan jaotella päästökaistan käyttäytymisen perusteella. Esimerkiksi jos päästökaista on tasainen, laakalatvainen, on kyse Butterworth-suodattimesta.

Suodattimen asteluvulla tarkoitetaan alipäästörakenteen reaktiivisten komponenttien lukumäärää. Esimerkiksi jos suodattimen asteluku on suuri, kasvaa vaimennus estoalueella nopeasti. Suurimmilla asteluvuilla on omat haittapuolensa, jos suodatin on analoginen. Suodattimen komponentit lisääntyvät ja vievät tilaa. Lisäksi suodatin on paljon monimutkaisempi toteuttaa.



Kuva 18. Tshebyshev-suodatin [13.]

Jos suodattimen päästökaista on tasa-aaltainen, on kyse Tshebyshev-suodattimesta (kuva 18). Asteluvun näkee suoraan kuvaajasta laskemalla suodattimen aaltoilun.



Kuva 19. Butterworth-suodattimen astelukuja [11.]

Butterworth-suodattimen asteluvun tunnistaa tutkimalla suodattimen vaimenemiskäyrää (kuva 19). Jos tiedetään suodattimen asteluku, vaimeneminen saadaan laskettua kaavalla 1:

$$A = N \cdot 20dB \quad (1)$$

jossa A on vaimennus dekadia kohden, N suodattimen asteluku.

Dekadilla tarkoitetaan taajuuden kymmenkertaistumista. Tshebysev-suodattimen asteluvun voi myös selvittää samalla tavalla kuin Butterworth-suodattimen.. Kaikista helpoin tapa tunnistaa suodattimen asteluku on laskea piirikaaviossa tai valmiin suodattimen piirilevyllä olevat sarjaan ja rinnankytketyt komponentit. [11; 14.]

4.1 Analogiset suodattimet

Analogiset suodattimet voidaan jakaa aktiivisiin ja passiivisiin suodattimiin. Analogisten suodattimien haittapuolena on kohinan lisääntyminen. Tähän ovat pääsyynä komponentit, jotka lisäävät signaaliin kohinaa.

Passiiviset suodattimet

Passiivisessa suodattimessa ei ole signaalia vahvistavia komponentteja joten maksimivahvistus on 0 dB:ä. Suodatin on toteutettu passiivisilla komponenteilla kuten

- vastuksilla
- kondensaattoreilla
- keloilla. [11.]

Aktiiviset suodattimet

Aktiivinen suodatin voidaan toteuttaa vahvistavan komponentin avulla, jolloin vahvistus voi olla suurempi kuin 0 dB. Esimerkiksi komponentti voi olla operaatiovahvistin tai transistori. Aktiivinen suodatin tarvitsee toimiakseen ulkoisen virtalähteen.

Yleisin operaatiovahvistimella toteutettua aktiivista suodatinta kutsutaan Sallen-Key-suodattimeksi. Sallen-Key-suodatin on toisen asteen suodatin. Suodattimen etuna on myös se, että selvittää vähäisellä komponenttimäärällä. Jos halutaan suodattimia, jotka ovat parillisia asteluvultaan, tämä onnistuu rakentamalla haluttu määrä Sallen-Key-suodattimia peräkkäin. [11.]

4.2 Digitaaliset suodattimet

Digitaalinen suodatin käsittelee signaalia laskutoimituksien avulla. Digitaalisia suodattimia käytetään nykyisin GSM-puhelimissa ja radiovastaanottimissa. Ainoa rajoittava tekijä digitaalisen suodattimien ominaisuuksien suhteen on laskentateho. Yksinkertaisimmillaan digitaalinen suodatin on tietokoneohjelma. Tämä takia digitaalisiin suodattimiin voidaan lisätä monimutkaisempia toimintoja.

Verrattuna analogisiin suodattimiin, digitaaliset suodattimet eivät lisää signaaliin kohinaa. Kvantinsointikohina on ainoa kohinalähde digitaalisessa suodattimessa, kun analogista signaalia muutetaan digitaaliseen muotoon. Lisäksi digitaaliset suodattimet ovat tarkkoja ja niiden ominaisuudet pysyvät samana koko käyttöajan. [12.]

5 JAKOSUODATTIMEN SUUNNITTELU

Ensimmäisiä asioita suodatinta suunniteltaessa on miettiä suodattimen aseteluku ja 3 dB:n rajataajuus. ADSL/POTS-jakosuodin käsittää kaksi suodatinta; ylipäästö- ja alipäästösuodattimen. Työssä päätettiin asettaa kummallekin suodattimelle 3 dB:n rajataajuudeksi 10 kHz, asteluvuksi kolme ja rakenteeksi T-rakenne. Lisäksi on hyvä tietää kuorma- ja generaattori-impedanssit. ADSL/POTS-jakosuotimen ollessa kyseessä puhelinjan eli generaattorin ja puhelimen impedanssit ovat noin 600 ohmia, kuten luvussa 3.3 kerrottiin. Lisäksi on valittava, onko suodatin laakalatvainen eli Butterworth-tyyppinen suodatin tai tasa-aaltainen eli Tshebyshev-tyyppinen.

Työssä mitoitetaan ADSL/POTS-jakosuodin 100 ohmin generaattori- ja kuormaimpedanssille. 100 ohmia valittiin siitä syystä, että lähiverkkokaapelien ominaisimpedanssi on nykyään 100 ohmia. Suodattimesta tulee laakalatvainen eli Butterworth-suodatin. Ensimmäiseksi tarvitaan prototyypisuodatin alipäästösuodatinta varten. Arvot prototyypisuodattimen komponenteille saadaan laskettua kaavalla 2:

$$g_k = 2 \cdot \sin \left[\frac{(2 \cdot k - 1) \cdot \pi}{2 \cdot N} \right] \quad (2)$$

jossa $g_k = 1 \dots N$.

Lasketaan prototyypisuodattimen komponenttien arvot käyttämällä apuna kaavaa 2. Saadut tulokset taulukoidaan (taulukko 1).

$$g_1 = 2 \cdot \sin\left[\frac{(2 \cdot 1 - 1) \cdot \pi}{2 \cdot 3}\right] = 1$$

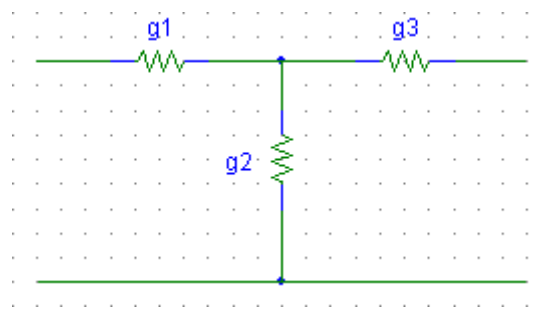
$$g_2 = 2 \cdot \sin\left[\frac{(2 \cdot 2 - 1) \cdot \pi}{2 \cdot 3}\right] = 2$$

$$g_3 = 2 \cdot \sin\left[\frac{(2 \cdot 3 - 1) \cdot \pi}{2 \cdot 3}\right] = 1$$

Taulukko 1. Prototyypisuodattimen komponenttien arvot

g_k	arvo
1	1
2	2
3	1

Kun prototyypisuodattimen komponenttien on laskettu, suunnitellaan prototyypisuodattimen piirikaavio (kuva 20).



Kuva 20. Prototyypisuodatin

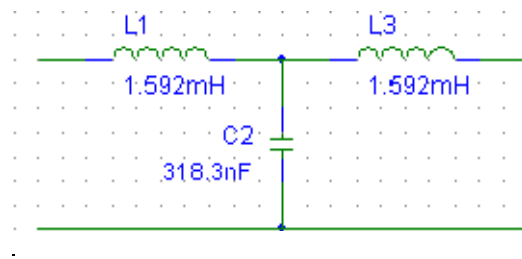
Tämän jälkeen lasketaan alipäästösuodattimen (kuva 21) komponenttien arvot. Käytetään laskutoimituksiin kaavoja 4 ja 5. Alipäästöprototyypisuodattimen osalta, kun käytössä on T-rakenne, g_1 ja g_3 vastaavat prototyypisuodattimen keloja L ja g_2 vastaa kondensaattoria C .

$$C = \frac{C}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot R} \quad (4)$$

$$L = \frac{L \cdot R}{2 \cdot \pi \cdot f} \quad (5)$$

$$L_1 = L_3 = \frac{1 \cdot 100\Omega}{2 \cdot \pi \cdot 10000\text{Hz}} = 1,592 \cdot 10^{-3} \text{H} \approx 1,592\text{mH}$$

$$C_2 = \frac{2}{2 \cdot \pi \cdot 10000\text{Hz} \cdot 100\Omega} = 3,183 \cdot 10^{-7} \text{F} \approx 318,3\text{nF}$$



Kuva 21. Alipäästösuodatin

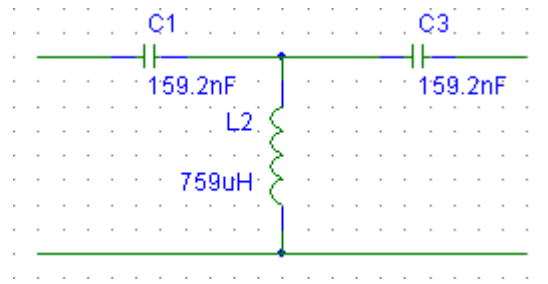
Ylipäästösuodattimen (kuva 22) suunnitteluun käytetään hyväksi aiemmin suunniteltua prototyypisuodatinta (kuva 20). Ylipäästösuodattimen komponentti arvojen laskemiseen käytetään kaavoja 6 ja 7. [11; 15.]

$$L = \frac{R}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} \quad (6)$$

$$C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \cdot R} \quad (7)$$

$$C_1 = C_3 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 10000\text{Hz} \cdot 1 \cdot 100\Omega} = 1,592 \cdot 10^{-7} \text{F} = 159,2\text{nF}$$

$$L_2 = \frac{100\Omega}{2 \cdot \pi \cdot 10000\text{Hz} \cdot 2} = 7,95 \cdot 10^{-4} \text{H} \approx 795\mu\text{H}$$



Kuva 22. Ylipäästösuodatin

Lopuksi yhdistetään molemmat suodattimet ja muunnetaan ne symmetrisiksi (kuva 23) ja taulukoidaan (taulukko 2) lopulliset komponenttien arvot. Alipäästösuodattimen tapauksessa symmetriamuunnos saadaan jakamalla keloille laskettu arvo kahdella. Ylipäästösuodattimen tapauksessa kondensaattoreille laskettu arvo kerrotaan kahdella kaavat 8 ja 9. Symmetriamuunnoksessa tarkoitetaan vain komponentteja, jotka ovat sarjaan kytkettyjä, ei rinnan kytkettyjä. [17.]

$$YLIPÄÄSTÖ_{sym} = 2 \cdot C \quad (8)$$

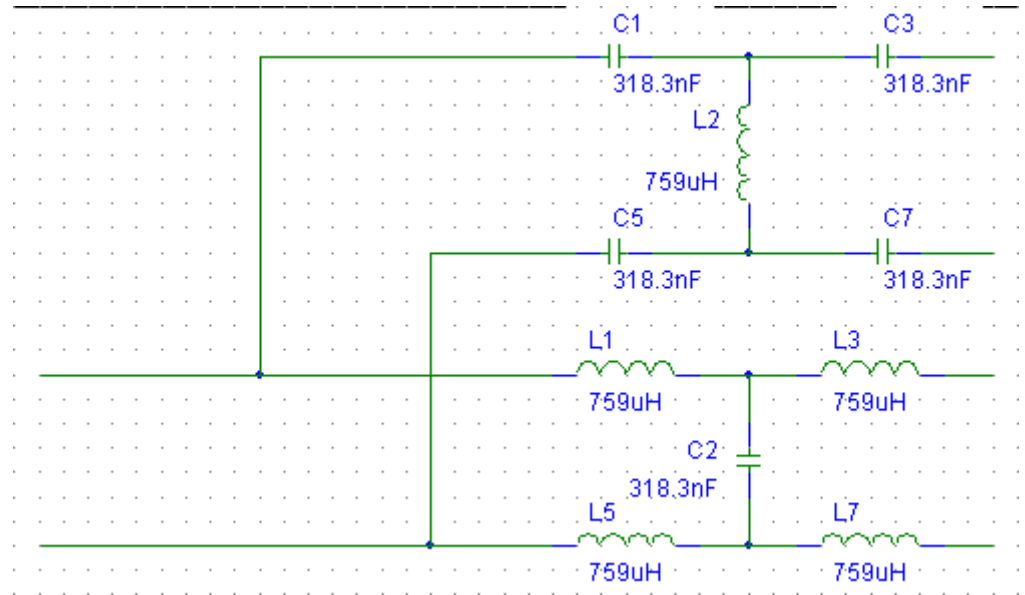
$$ALIPÄÄSTÖ_{sym} = \frac{L}{2} \quad (9)$$

$$YLIPÄÄSTÖ_{sym} = 2 \cdot 159,2nF = 318nF$$

$$ALIPÄÄSTÖ_{sym} = \frac{1,592mH}{2} = 0,795mH = 795\mu H$$

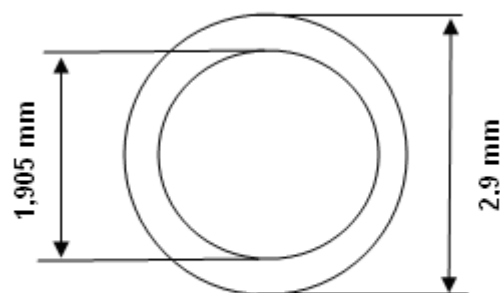
Taulukko 2. Lopulliset komponenttien arvot

Alipäästö	
L1, L2, L3, L4	795 μ H
C5	318 nF
Ylipäästö	
C1, C2, C3, C4	318 nF
L5	795 μ H



Kuva 23. Jakosuodin

Luvussa 3.3 kerrottiin, että päätelaitteen on kestävä enimmillään 50 mA:n virta. Tämä asettaa vaatimuksia lähinnä kelojen suhteen. Päätelaitteen läpikulkevan virran suhteen kokeillaan 100 mA:a. Kelojen on oltava materiaaliltaan sellaisia, että ne eivät kyllästy virran kasvaessa eli kelan induktanssi ei saa romahtaa. Vertailtiin erilaisia kelasydämiä ja päädyttiin Amidonin valmistamaan toroidin muotoiseen FTT-114 tyyppin kelaan, jonka suhteellinen permeabiliteetti μ_r on 2000.



Kuva 24. Toroidi

Toroidin (kuva 24) ulkoreunojen välinen halkaisija on 0,029006 m ja sisäreunojen välinen halkaisija 0,01905 m. Seuraavaksi selvitettiin kuinka monta

kierrosta käämilankaa toroidin ympärille käämitään. Kierrosmäärän laskemiseen käytettiin kaavaa 10,

$$Kierroksia = 1000 \cdot \sqrt{\frac{L}{A_L}} \quad (10)$$

$$Kierroksia = 1000 \cdot \sqrt{\frac{0,795H}{1140H}} = 26,4$$

jossa L on kelan arvo (mH) ja A_L (mH / 1000 kierrosta) induktanssikerroin, jolle valmistaja on antanut arvoksi 1140.

Aiempana käsiteltyyn suhteelliseen permeabiliteettiin päädyttiin laskemalla toroidissa vaikuttava kentän voimakkuus H kaavalla 11,

$$H = \frac{N \cdot I}{l} \quad (11)$$

$$H = \frac{26,4 \cdot 0,1A}{0,01905m} = \frac{2,64A}{0,01905m} = 138,5 \frac{A}{m} \approx 139 \frac{A}{m}$$

jossa I on virta ja l on toroidin sisähalkaisija. Seuraavaksi verrattiin kentänvoimakkuuden arvoa magnetoitumiskäyrään. Tästä saatiin magneettivuon tiheydelle B arvoksi noin 0,4 T ja suhteelliseen permeabiliteettiin μ_r päädyttiin kaavalla 13, joka johdettiin kaavasta 12.

$$B = \mu \cdot H = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot H \quad (12)$$

Ensimmäiseksi jaetaan kaava 12 magneettikentän voimakkuudella. Tämän jälkeen jaetaan tyhjiön permeabiliteetilla ja lopputuloksena kaava suhteelliselle permeabiliteetille.

$$B = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot H : H$$

$$\frac{B}{H} = \mu_r \cdot \mu_0 : \mu_0$$

$$\frac{B}{\mu_0 \cdot H} = \mu_r$$

$$\mu_r = \frac{B}{\mu_0 \cdot H} \tag{13}$$

$$\mu_r = \frac{0,4 \frac{Vs}{m^2}}{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am} \cdot 139 \frac{A}{m}} = 1717$$

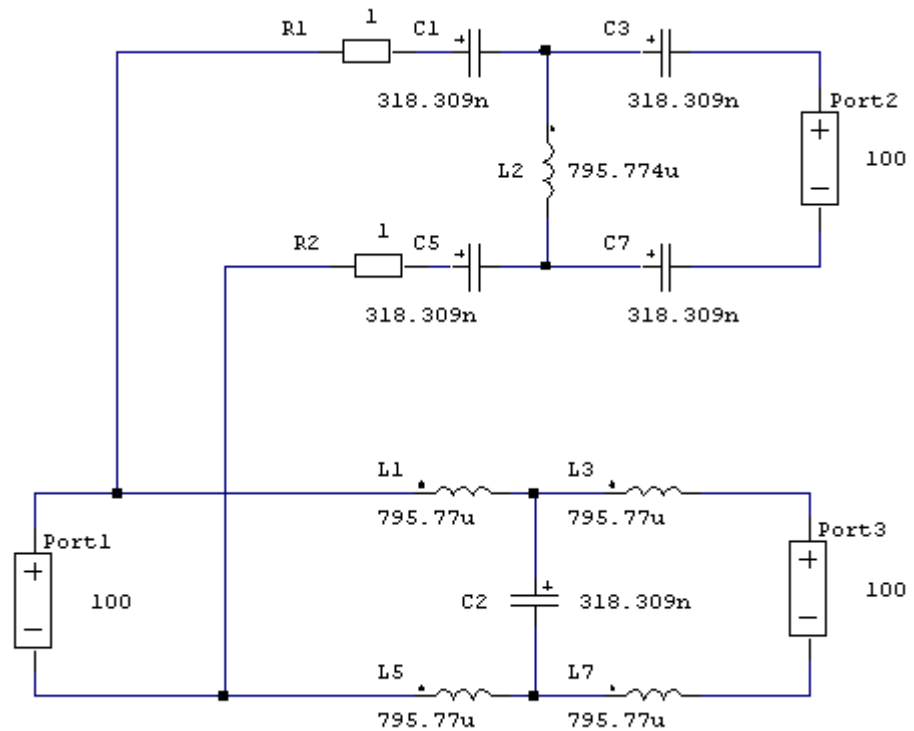
Lopuksi lasketaan magneettivuon tiheys B (kaava 12) suhteellisen permeabiliteetin ollessa 1717.

$$B = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am} \cdot 1717 \cdot 139 \frac{A}{m} = 0,299 \frac{Vs}{m^2} \approx 0,3 \frac{Vs}{m^2}$$

Tulokseksi saatiin 0,3 Teslaa, joten tuloksia vertailemalla toroidi Amidon FTT-114 riittää, koska magneettivuon tiheys jää pienemmäksi kuin 0,4 T. [16; 18.]

6 JAKOSUODATTIMEN SIMULOINTI

Ennen varsinaista suodattimen rakentamista suunnitellun kytkennän (kuva 25) toiminta simuloitiin Aplac-nimisellä piirisimulointiohjelmalla. Aluksi tehdään pieni johdatus Aplac-ohjelmaan.



Kuva 25. Valmis jakosuodin

Aplac käynnistyy samalla lailla kuin mikä tahansa Windows-ohjelma eli klikkaamalla ohjelman kuvaketta. Aplac-ohjelman käynnistyessä näytölle ilmestyy about-ikkuna, josta klikataan painiketta ok tai painetaan enter-näppäintä, tämän jälkeen päästään editor-tilaan.

Komponenttien sijoitteluun on olemassa kaksi tapaa: Mennään Insert-valikkoon ja valitaan sieltä valinta Component tai näppäinyhdistelmällä ctrl+L. Tämän jälkeen avautuu Component library ikkuna, josta voi selaamalla valita halutun komponentin. Halutun komponentin löydyttyä klikataan close-painiketta. Seuraavaksi havainnoidaan, että hiiren kursorin viereen on ilmestynyt haluttu komponentti ääri viivoiltaan vihreän värisenä. Toinen tapa komponentin sijoittamiseen on klikata hiiren oikeata painiketta, jolloin avau-

tuu lista, jossa komponentit on lajiteltu ryhmittäin. Esimerkiksi vastukset löytyvät Basic valinnan takaa nimellä Res, kondensaattorit Cap ja kelat Ind.

Kun komponentit on sijoitettu editor-ikkunaan, täytyy komponenteille asettaa oikeat arvo ja johdottaa ne toisiinsa. Arvojen asetus komponenteille tapahtuu seuraavasti: klikataan komponenttia kaksi kertaa, jolloin avautuu Component editor ikkuna. Ikkunassa Attributes-kohdan tekstikenttään kirjoitetaan haluttu komponentin arvo. Lähes jokaisen komponentin tapauksessa numeerisen arvon jälkeen voidaan käyttää kirjaimia. Esim. 1 kilo-ohmin vastusta voidaan ilmaista kirjoittamalla 1k tai 1000, 1 nF:n kondensaattoria 1 n, taikka 10 mH:n kela 10 m. Johdotus tapahtuu menemällä Wire-valikkoon ja klikkaamalla valintaa Start wiring tai näppäinyhdistelmä ctrl+W. Johdotuksen voi käynnistää myös toisellakin tapaa: Editor-ikkunassa viedään hiiren osoitin tyhjään kohtaan ja tuplaklikataan hiiren vasenta painiketta.

ADSL/POTS-jakosuodinta simuloitaessa tarvitaan viisi kela ja viisi kondensaattoria. Nämä saatiin sijoiteltua aiemmin kuvatuilla toimenpiteillä. Kelojen ja kondensaattorien lisäksi tarvittiin kolme Port-komponenttia. Port on eräänlainen mittapää, joka tarvitaan simuloinnissa. Suodattimen ollessa kyseessä halutaan nähdä molempien suodattimien päästökaistan käyttäytyminen ja lisäksi heijastukset linjaliitintään sekä POTS- ja ADSL-liitintöjen välillä.

Aplacissa analyysin asettelu tapahtuu seuraavasti. Mennään insert-valikkoon ja valitaan sieltä Control Object. Tämän jälkeen avautuu kaksi ikkunaa Object list ja Object Editor. Valitaan haluttu analyysin tyyppi Object alaspudotusvalikosta. Suodatinta simuloitaessa tarvitaan Sweep-analyysiä. Valmis analyysi saadaan ajettua menemällä simulation-valikkoon, josta valitaan Simulation tai näppäinyhdistelmällä ctrl+S.

Ensimmäiseksi kirjoitetaan lainausmerkkeihin, jokin sopiva nimi, joka kuvastaa hyvin suoritettavaa analyysiä tai kytkentää. Tällöin oikean analyysin erottaa Object list-ikkunassa helpommin. Sitten määritellään Loop-käskyllä numeerisesti, kuinka monta mittapistettä otetaan mukaan esim. Loop 1101. Hyvänä sääntönä voidaan pitää seuraavaa: mitä enemmän mittapistettä sitä tarkempi tulos. Loop-käskyn perään määritetään, millä taajuusalueella analyysi

tapahtuu. Tämä tapahtuu käskyllä Freq. Esim Freq 300 2meg, jossa 300 aloitustaajuus 300 Hz:iä ja 2meg lopetustaajuus 2 MHz:iä.

Seuraavaksi määritellään ikkunat, joissa simuloinnin tulos kuvaajana näkyy. Esimerkkinä seuraava käsky:

```
WINDOW = 0 Y "heij" "dB" -40 0 GRID TITLE "Heijastus"
```

WINDOW = 0, määrittää ikkunan numerolta 0. Y "heij" "dB" määrittävät tekstin, joka tulee Y-asteikolla. Luvut -40 0 määrittävät y-asteikoin alueen tässä esimerkissä asteikko alkaa 0 ja päättyy -40 dB:n. GRID on vapaavalintainen, koska käsky tuottaa tulokseen apuviivaston. Vapaavalintainen on myös TITLE-käskyn jälkeen lainausmerkkeihin voi laittaa haluamansa otsikon, joka tulostuu tulokseen.

Ikkuna täytyy saada vielä näkymään sen mahdollistaa seuraava käsky,

```
SHOW W = 0 Y MagdB(S(1,1)) WIDTH 2
```

jossa SHOW W = 0 Y näytetään ikkunan numero 0, MagdB(S(1,1)) käskyllä piirretään S(1,1):n itseisarvo dB-asteikolle. Käskyllä WIDTH säädetään piirretyn käyrän leveyttä, leveyttä säädellään numerolla. Esimerkkinä edellisellä käskyllä saatiin heijastusvaimennuksen kuvaaja taajuusalueelta 300 Hz - 2 MHz. Jakosuodin simuloitiin seuraavalla (kuva 26) listauksella.

```
Sweep
"Jakosuodin"
Loop 5111 FREQ LOG 100 4meg
WINDOW = 0 Y "REFL" "dB" -40 0 GRID TITLE "Heijastus"
WINDOW = 1 Y "Atten" "dB" -40 0 GRID TITLE "Vaimennus POTS- ja ADSL-osa"
Y2 "Atten" "dB" -40 0
WINDOW = 2 Y "Atten" "dB" -40 0 GRID TITLE "POTS-tilaaja ja ADSL-tilaaja"

SHOW W = 0 Y MagdB(S(1,1)) WIDTH 2
+W = 1 Y MagdB(S(3,1)) WIDTH 2
+W = 1 Y2 MagdB(S(2,1)) WIDTH 2
SHOW W = 2 Y MagdB(S(2,3)) WIDTH 2

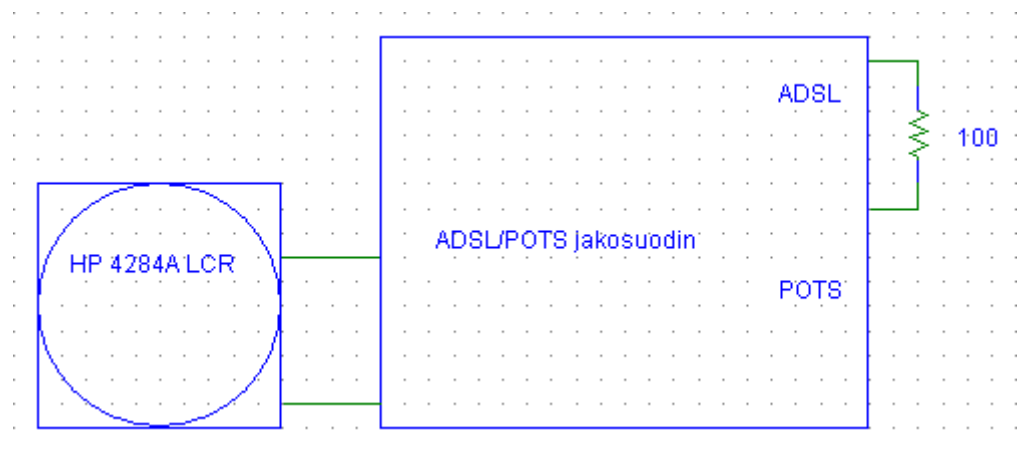
EndSweep
```

Kuva 26. Simuloinnin aplac-listaus

7 MITTAUS JA TESTAUS

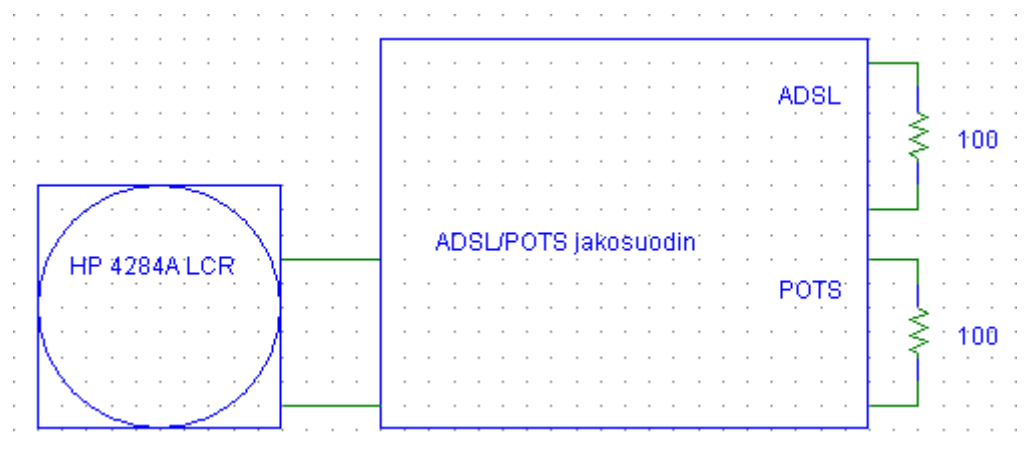
Aplac-simulaatioiden jälkeen oli vuorossa jakosuodattimen rakentaminen. Tämän jälkeen suoritettiin lopulliset mittaukset jakosuotimelle. Heijastusvaimennuksen mittaamiseen käytettiin HP 4284A LCR-mittaria, läpäisyvaimennuksen mittaamiseen käytettiin HP 8903B-audioanalysaattoria.

Heijastusvaimennusta mitattaessa mittauskytkentä oli seuraavanlainen (kuva 27).



Kuva 27. Heijastusvaimennus ADSL-osa

Kytetään jakosuotimen linjaliitäntä mittalaitteeseen ja ADSL-liitäntään asetettiin 100 ohmin vastus, joka simuloi ADSL-modeemia. POTS-liitäntä jätettiin vapaaksi. Lisäksi mitataan heijastusvaimennus tilanteessa, jossa POTS- ja ADSL-liitännöissä on kuormitusta. Aiempaa mittauskytkentää muutetaan lisäämällä toinen 100 ohmin vastus POTS-liitäntään (kuva 28).



Kuva 28. Heijastusvaimennus ADSL- ja POTS-osa

Lisätty vastus simuloi käytössä olevaa lankapuhelinta. Mitataan impedanssi taajuusalueelta 300 - 3400 Hz sekä 25 000 - 1 000 000 Hz (taulukko 3). Mitatut impedanssit täytyi muuttaa desibeleiksi kaavalla 14,

$$RL(dB) = 20 \cdot \log_{10} \left(\left| \frac{Z_O - Z_L}{Z_O + Z_L} \right| \right) \quad (14)$$

jossa Z_O puhelinverkon impedanssi ja Z_L päätelaitteen impedanssi.

Taulukko 3. Mittaustulokset

f / kHz	ADLS ja POTS kuormitettu		ADSL kuormitettu POTS vapaa	
	impedanssi / Ω	RL / dB	impedanssi / Ω	RL / dB
0,3	99,07-6,28i	-29,9	99,43-3,17i	-37,7
0,4	98,60-8,31i	-27,5	99,28-4,21i	-33,4
0,5	98,03-10,3i	-25,5	99,09-5,24i	-33,3
0,6	97,53-12,24i	-24,0	98,88-6,27i	-29,9
0,7	96,59-14,08i	-22,8	98,62-7,30i	-28,5
0,8	95,71-15,92i	-21,5	98,33-8,29i	-27,4
0,9	94,71-17,72i	-20,5	97,97-9,32i	-26,3
1,0	93,69-19,32i	-19,6	97,61-10,25i	-25,4
1,5	87,42-26,28i	-16,3	95,17-14,87i	-22,0
2,0	80,23-30,96i	-13,9	91,98-18,95i	-19,4
2,5	72,92-33,55i	-12,2	88,03-22,38i	-17,6
3,0	66,04-34,42i	-10,9	83,61-25,09i	-16,0
3,1	64,42-34,42i	-10,8	82,45-25,65i	-15,5
3,2	64,01-34,40i	-10,5	82,14-25,79i	-15,4
3,3	62,37-34,30i	-10,3	80,88-26,32i	-15,0
3,4	60,93-34,14i	-10,0	79,73-26,75i	-14,7
25	47,90+39,04i	-7,4	68,13+28,84i	-12,0
26	49,46+39,60i	-7,6	70,42+28,65i	-12,5
30	57,23+40,62i	-8,8	76,98+27,35i	-14,0
40	71,31+38,68i	-11,2	86,51+23,04i	-17,0
50	79,78+34,84i	-13,2	91,14+19,37i	-19,1
60	85,07+31,08i	-14,7	93,70+16,59i	-20,8
70	88,95+27,34i	-16,2	95,43+14,21i	-22,4
80	90,92+24,98i	-17,2	96,27+12,80i	-23,4
90	91,96+23,62i	-17,8	96,70+12,01i	-24,0
100	93,86+20,69i	-19,1	97,47+10,38i	-25,3
200	98,01+10,95i	-25,0	99,08+5,44i	-31,1
300	98,10+7,48i	-28,2	99,38+3,85i	-34,2
400	99,10+5,78i	-30,6	99,57+3,05i	-36,2
500	99,25+4,82i	-32,2	99,57+2,71i	-37,2
600	99,34+4,20i	-33,4	99,61+2,52i	-37,9
700	99,38+3,88i	-34,1	99,63+2,35i	-38,5
800	99,42-3,45i	-35,1	99,66+2,20i	-39,0
900	99,45+3,16i	-35,9	99,69+2,07i	-39,6
1000	99,46+3,11i	-36,0	99,70+2,02i	-39,8

Läpäisyvaimennusta mitattaessa audioanalysaattoria ohjattiin kannettavalla tietokoneella, johon oli kytketty GPIB-lisäkortti. Lisäkortista lähti kaapeli audioanalysaattoriin. Varsinainen ohjaus tapahtui Matlab-ohjelmalla ja siihen tehdyllä listauksella. Lyhenne GPIB tulee englannin kielen sanoista General Purpose Interface Bus. Audioanalysaattorissa lähtö- ja tuloliitäntöjen impedanssit olivat poikkeavia. Analysaattorin lähtöimpedanssi oli 50 ohmia, joten jakosuotimen linja puolelle täytyi asettaa sarjaan 50 ohmin vastus. Vastaavasti tuloimpedanssi oli 100 kilo-ohmia. Tämän takia ADSL- tai POTS-liitäntöihin on lisättävä 100 ohmin vastus rinnan. Tämän lisäksi mitataan ylikuuluminen POTS- ja ADSL-liitäntöjen välillä, jolloin linjaliitäntään liitettiin 100 ohmin vastus ja POTS- ja ADSL-liitännät kytkettiin audioanalysaattorin tulo- ja lähtö-liittimien väliin. Viimeksi mainittu mittausta tehtiin sen takia, että varmistetaan siitä, että kukaan ei pysty huutamalla lankapuhelin luuriin katkaisemaan ADSL-yhteyttä.

Mittauksien jälkeen jakosuodin testattiin liittämällä suodatin puhelinverkkoon ja kuormittamalla sitä tavallisilla puheluilla sekä tiedostojen siirrolla. Ensin jakosuodattimeen kytkettiin pelkkä ADSL-modeemi. Tämän jälkeen tehtiin havainto, että ADSL-modeemi sytytti hetken miettimisen jälkeen ledin, joka ilmaisi, että yhteys on kunnossa. Tämän jälkeen avattiin tietokone ja tarkistettiin, että yhteys toimii moitteettomasti.

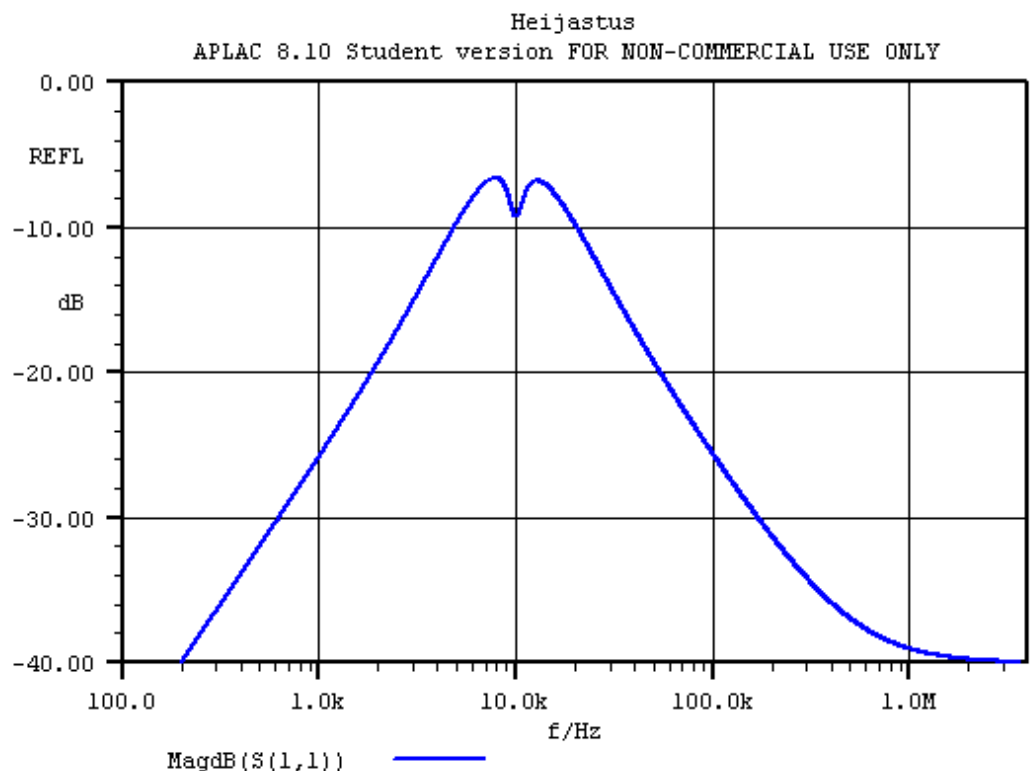
Seuraavaksi ADSL-modeemi kytkettiin irti ja testattiin jakosuotimen toimivuutta pelkällä lankapuhelimella, tehtiin useita testisoittoja GSM- ja lankapuhelinliittymiin. Tehtiin seuraavia havaintoja, kun asuinsoitteessani olevaan lankapuhelinliittymään soitettiin: puhelin hälytti normaalisti, vastattaessa soittajan ääni kuului selvästi sekä puhelu katkesi normaalisti laskettaessa luuri. Soitettaessa vastaajan ääni kuului selvästi ja puhelu katkesi normaalisti. Lopuksi kytkettiin ADSL-modeemi sekä lankapuhelin suodattimeen kiinni ja tehtiin taas useita testisoittoja sekä kuormitettiin internetyhteyttä tiedostojen siirrolla.

8 JAKOSUODATTIMEN TOIMINTA

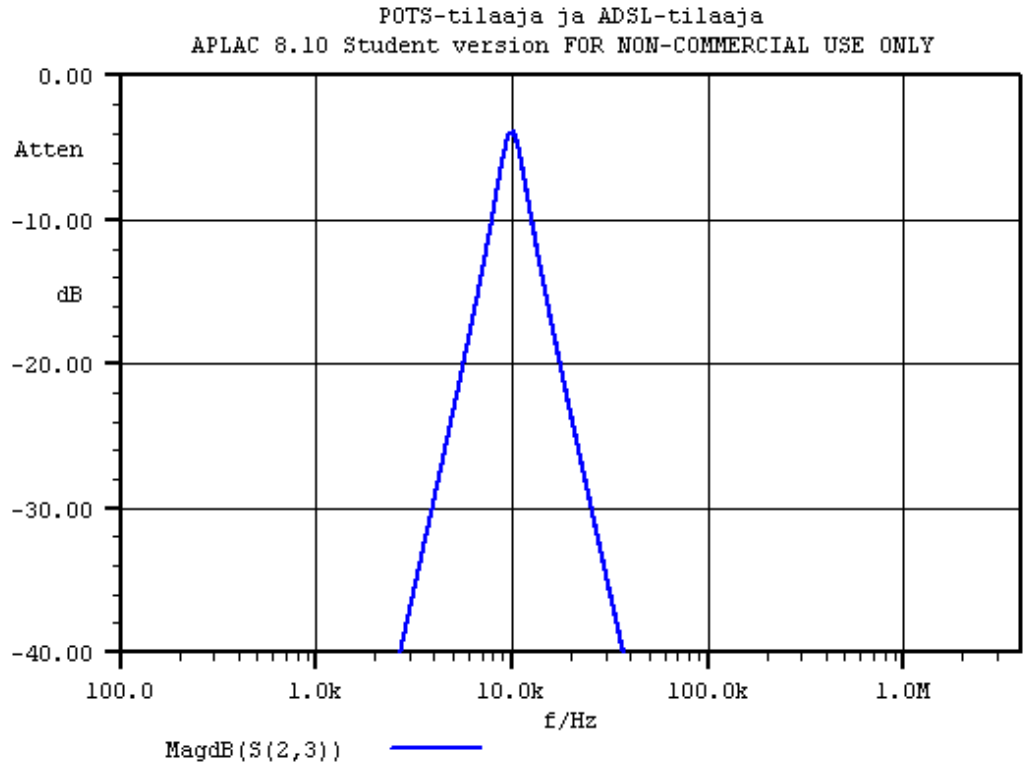
Rakennettu jakosuodattimen POTS-osa eli alipäästösuodatin toimii seuraavasti. Kytkennässä olevat kelat ovat oikosulkuja. Lisäksi kytkennästä löytyvä kondensaattori toimii oikosulkuna suuremmilla taajuuksilla tarkalleen taajuudesta 10 kHz ylöspäin. Suodattimen ADSL-osa eli ylipäästösuodattimessa olevia kondensaattoreita pidetään oikosulkuina taajuudesta 10 kHz. Lisäksi kondensaattoreille on ominaista pysäyttää tasavirran kulku.

9 MITTAUS- JA SIMULOINTITULOKSET

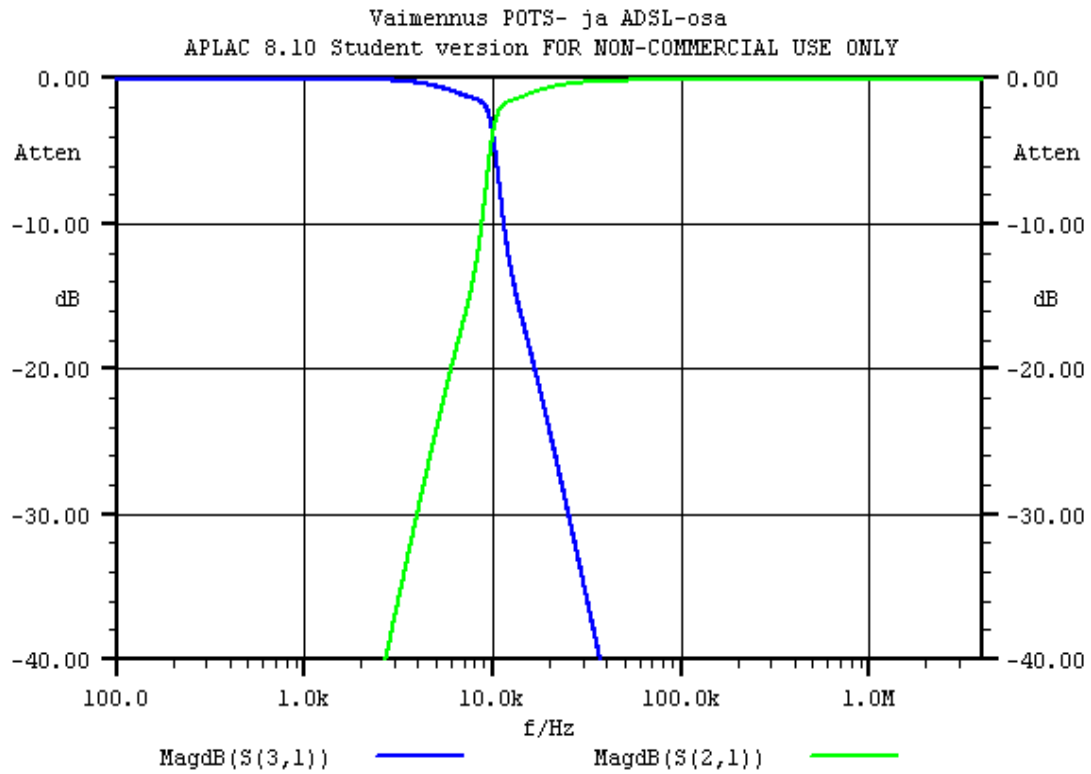
Jakosuodattimelle APlacilla tehdyt simulaatiot osoittavat, että heijastusvaimennukset (kuva 29) ovat suuremmat kuin luvun 3.3 mukaan vaadittu 10 dB. Lisäksi läpimeno vaimennus on 0 dB:tä ja 3 dB:n rajataajuudet löytyvät taajuudella 10 kHz (kuva 30).



Kuva 29. Heijastusvaimennus ADSL ja POTS kuormitettu

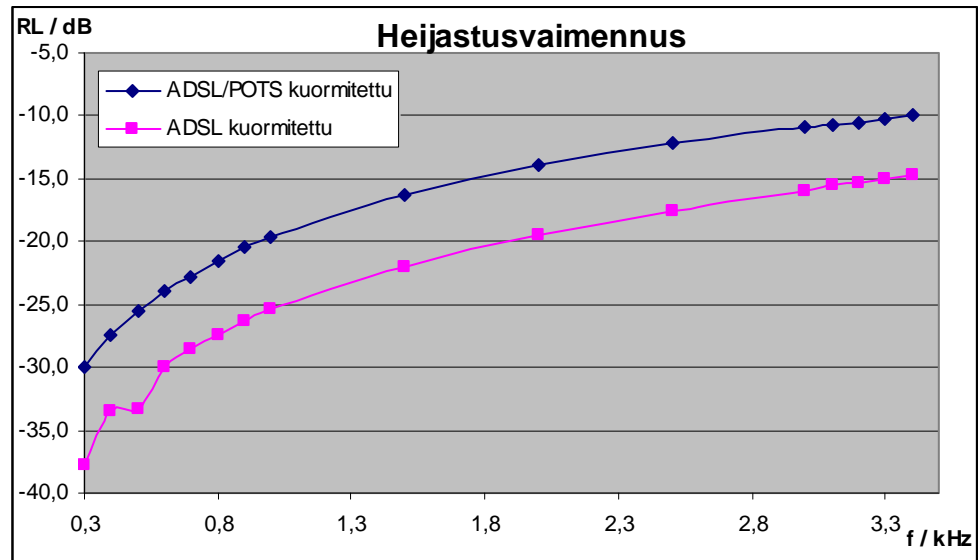


Kuva 30. Ylikuuluminen ADSL- ja POTS-liitännät

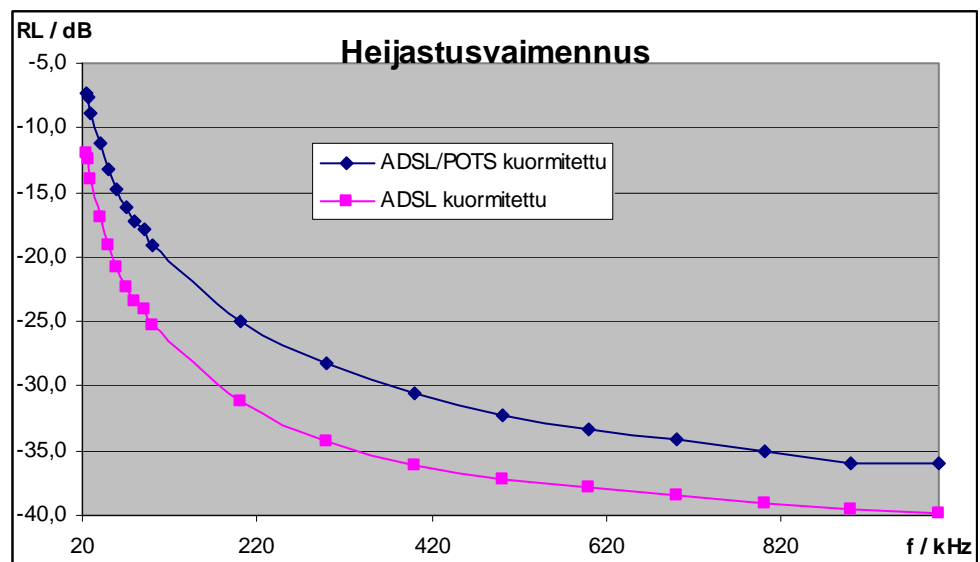


Kuva 31. Lämpimovaimennus ADSL ja POTS kuormitettu

Onnistuneiden Aplac-simulointien jälkeen siirryttiin mittaamaan jakosuodinta. Ensimmäiseksi mitattiin jakosuotimen heijastusvaimennukset taajuuksilla 300 - 3 400 Hz (kuva 32) ja 25 - 1 000 kHz (kuva 33). ADSL-taajuuskaistan loppuun 2,2 MHz:n ei päästy, koska HP 4284A LCR-mittarin toimintakaista ulottui vain 1 MHz:n.



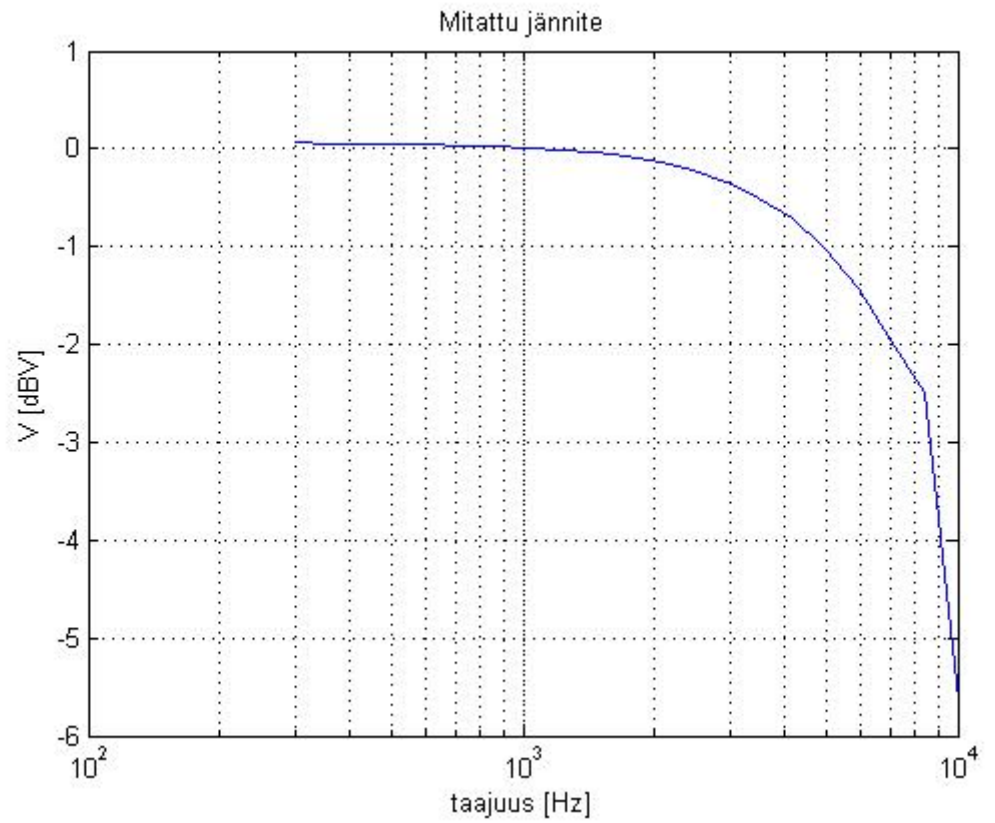
Kuva 32. Heijastusvaimennus 300 - 3 400 Hz



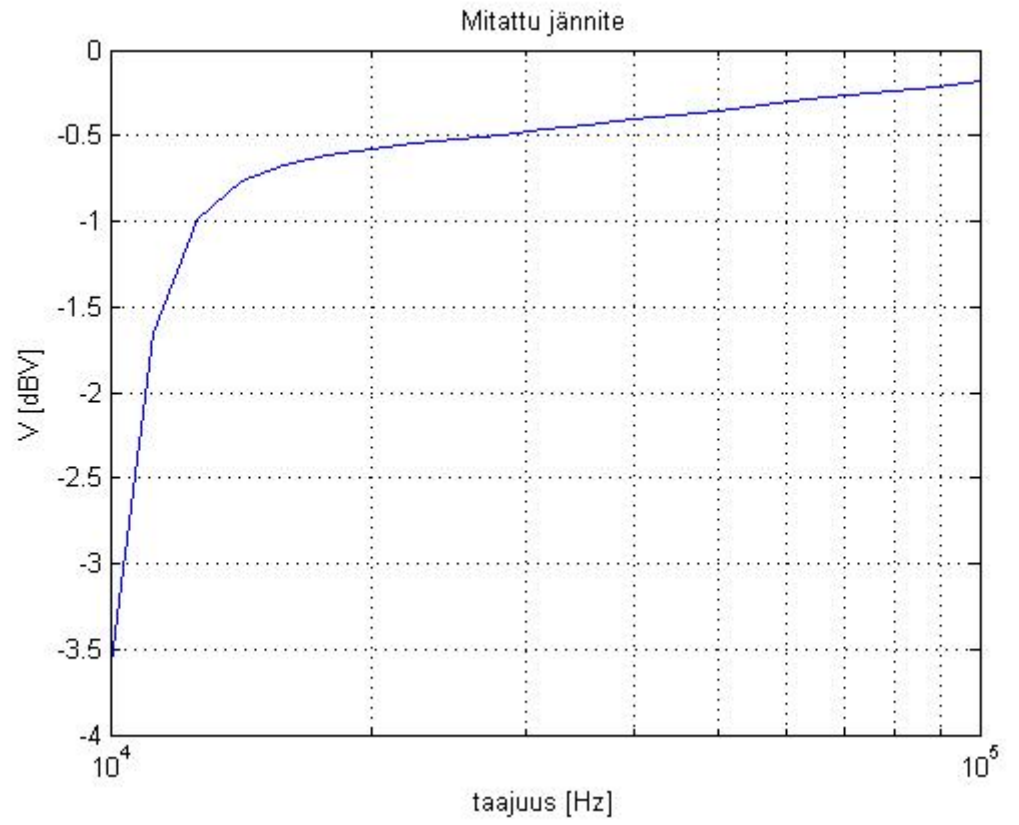
Kuva 33. Heijastusvaimennus 25 - 1 000 kHz

Heijastusvaimennuksien jälkeen oli vuorossa läpimenovaimennukset (kuvat 34 -35) tilanteessa, jossa pelkkä ADSL-liitäntä kuormitettu ja tilanne (kuvat 36 - 37), jossa molemmat ADSL- sekä POTS-liitännät kuormitettu. Tilan-

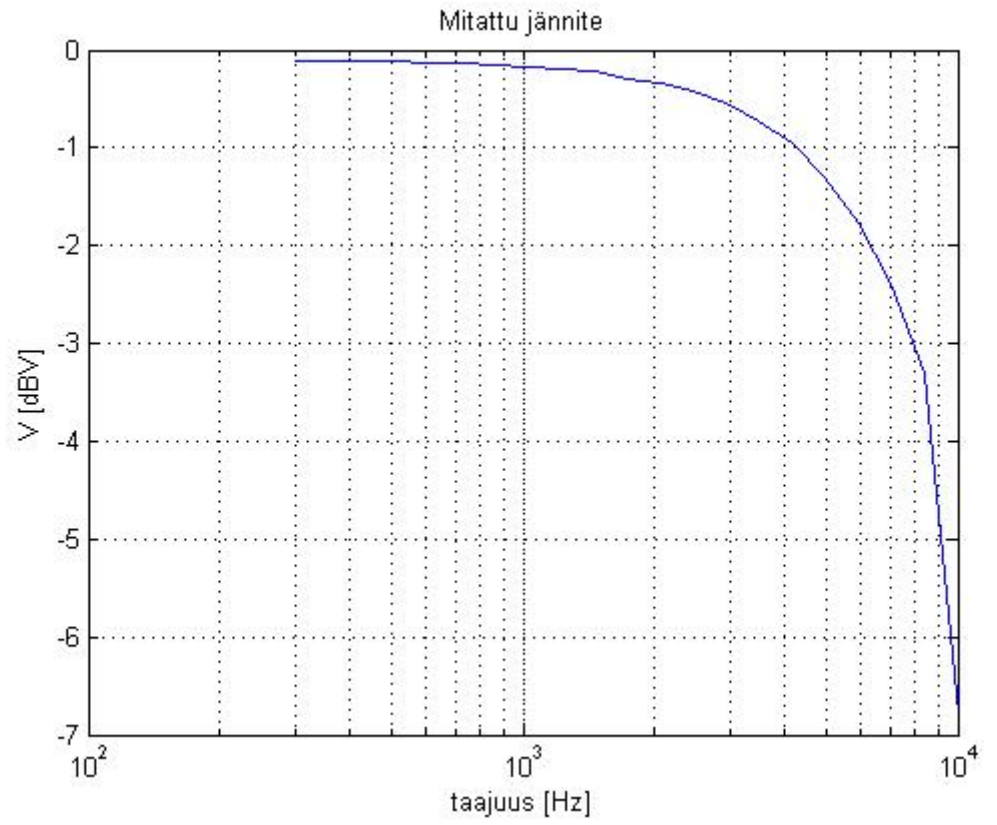
teessa on mitattu Ylikuuluminen ADSL- ja POTS-liitäntöjen väliltä (kuva 38). HP 8903B-audioanalysaattorin toimintakaista riitti vain 100 kHz:n saakka, joka näkyy kuvissa.



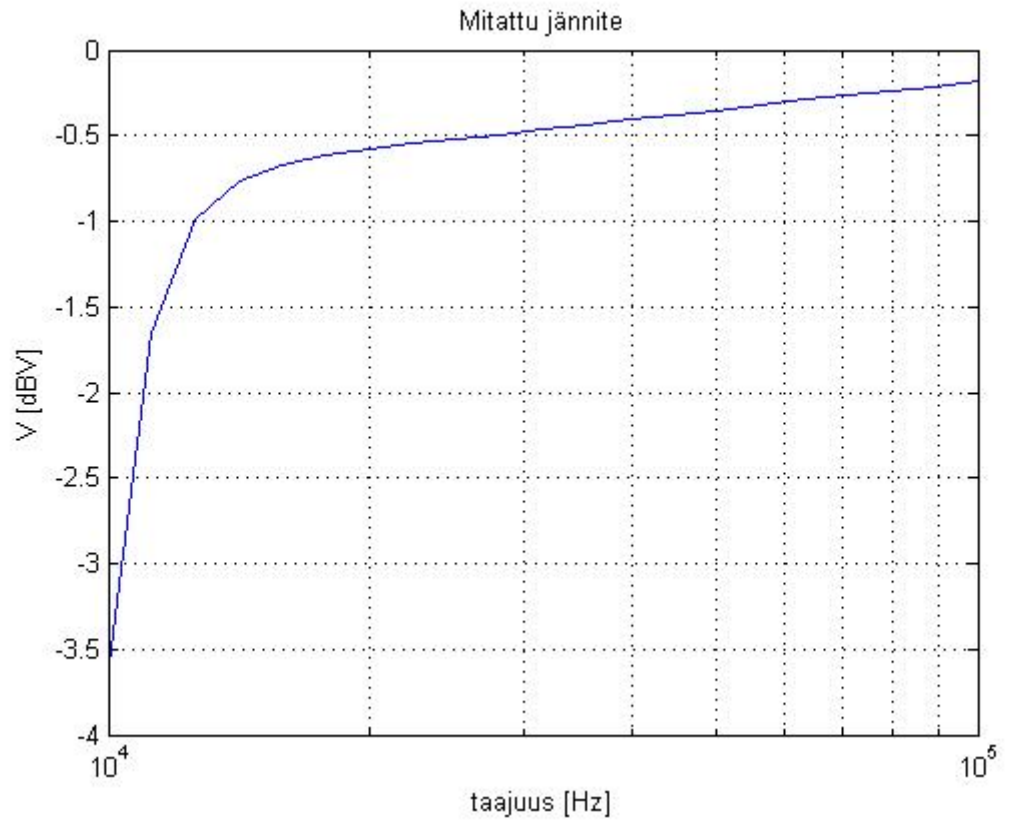
Kuva 34. Vaimennus linjalta POTS-liitymään



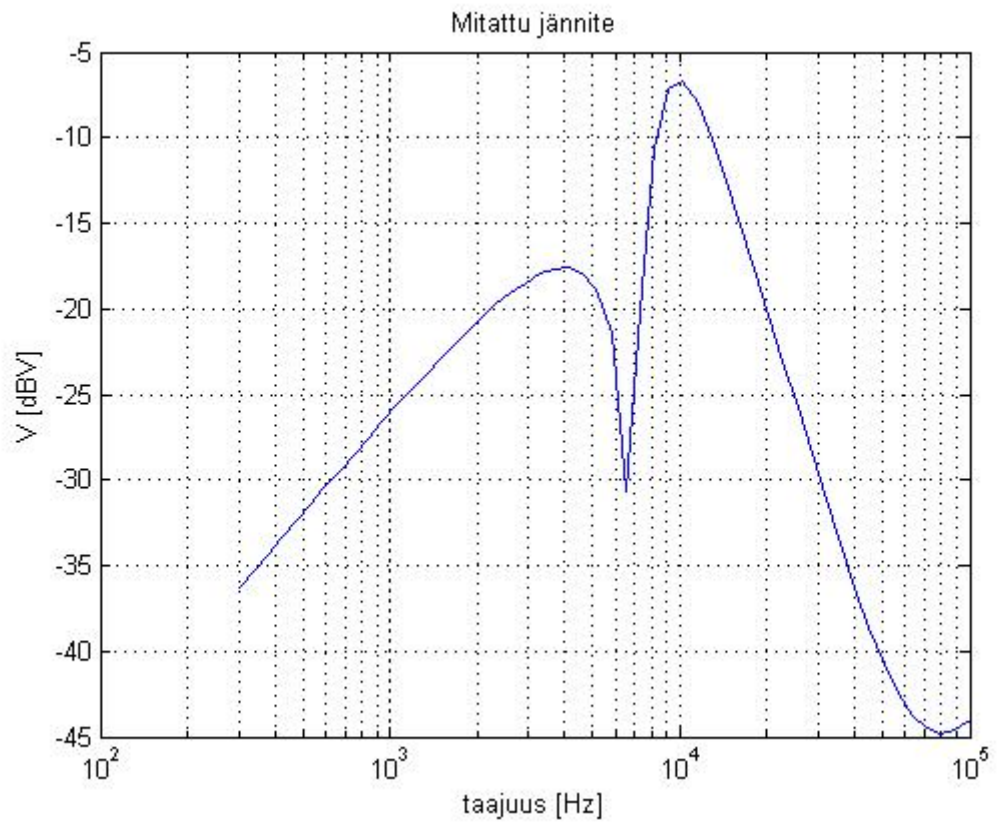
Kuva 35. Vaimennus linjalta ADSL-liitynään



Kuva 36. Vaimennus linjalta ADSL ja POTS kuormitettu



Kuva 37. Vaimennus linjalta ADSL ja POTS kuormitettu



Kuva 38. Ylikuuluminen ADSL- ja POTS-liitännät

Taulukko 4. Vertailu heijastusvaimennukset ADSL ja POTS kuormitettu

f (Hz)	Simuloitu heijastusvaimennus (dB)	Mitattu heijastusvaimennus (dB)
300	36	29,9
1 000	25	19,6
3 000	15	10,9
3 400	13,7	10,0

Ensimmäiseksi vertaillaan Aplacilla simuloituja heijastusvaimennuksia sekä HP 4284A LCR-mittarilla mitattuja heijastusvaimennuksia toisiinsa (taulukko 4). Taulukosta 4 näkee, että ero mitattujen- ja simuloitujen heijastusvaimennuksien välillä on noin 5 dB:ä taajuuksilla 300 - 3 000 Hz, mutta äänitaajuusalueen loppupuolella taajuudella 3400 Hz simuloiduilla ja mitatuilla arvoilla on enää eroa noin 3 dB.

Vertaillaan läpimenovaimennuksia (kuvat 34 - 35), kun POTS-liitäntä on kuormittamaton. 3 dB:n alarajataajuus asettuu noin 8 500 Hz:n ja 3 dB:n ylärajataajuus asettuu noin 10 000 Hz:iin. Lisäksi erityisesti (kuva 34) näkee, että kyseessä on tilanne, jossa POTS-liitäntä on kuormittamaton, koska läpimenovaimennus on noin 0 dB:ssä.

Läpimenovaimennukset, kun ADSL- sekä POTS-liitännät ovat kuormitettuja. 3 dB:n alarajataajuus on 8 000 Hz sekä ylärajataajuus on noin 10 000 Hz. Lisäksi nähdään, että (kuvat 36 - 37) POTS-liitännän läpimenovaimennuksessa on tapahtunut pientä vaimentumista, mutta ADSL-liitännän suhteen vaimeneminen on lähes samankaltaista, kun kuormitettiin pelkkää ADSL-liitäntään.

Lopuksi vertaillaan (kuvat 30 ja 38) ylikuulumista ADSL- ja POTS-liitäntöjen välillä sekä taulukoidaan vaimennukset eri taajuuksilla (taulukko 5). Tutkittaessa (kuvat 30 ja 38) huomataan hieman eroja, jotka kumminkin tasoittuvat, kun päästään taajuudelle 10 000 Hz ja siitä ylöspäin.

Taulukko 5. Ylikuuluminen ADSL- ja POTS-liitännät

f (Hz)	Simuloitu Vaimennus (dB)	Mitattu vaimennus (dB)
3 000	37	26
3 400	34	18
10 000	3	4
25 000	29	23

Mittaustuloksien eroavaisuudet (taulukot 4 - 5) sekä mitatut läpimenovaimennukset (kuvat 34 - 37) johtuvat keloihin käytetyistä toroideista. Valmiin kelan induktanssia mitattaessa huomattiin induktanssin arvon vaihtelua välillä 740 - 820 μH :n. Tämä johtuu toroidin suhteellisen permeabiliteetin μ_r vaihteluista.

10 YHTEENVETO

Insinööriyössä suunniteltiin ja rakennettiin ADSL/POTS-jakosuodin, työ aloitettiin perehtymällä puhelinverkkoon, sen historiaan Suomessa sekä ulkomailla, rakenteeseen, keskushierarkiaan ja sähköisiin ominaisuuksiin. Lisäksi tutustuttiin keskuksien kehityskaareen ensimmäisestä käsivälitteisestä keskuksista nykyajan täysdigitaaliseen keskukseseen. Täysdigitaalisten keskuksien yhteydessä valaistiin muutamalla sanalla Suomen ja Nokian tärkeyttä täysdigitaalisten keskuksien saralla.

Tämän jälkeen pääpaino suuntautui suodattimiin, käytiin läpi käsitteet kuten aktiivisuus, analogisuus, digitaalisuus ja passiivisuus. Tutustuttiin millä tavalla Butterworth- ja Tsebshev-suodattimet käyttäytyvät päästökaistalla. Lisäksi perehdyttiin lyhyesti arkipäivän sovelluksiin, joissa löytyy suodatin. Tämän jälkeen perehdyttiin suodattimen suunnittelussa tarvittavaan matemaatiikkaan. Työssä tutustuttiin myös Aplac-piirisimulointiohjelmaan ja simuloitiin sillä rakennettava jakosuodin.

Työhön asetetut tavoitteet onnistuivat hyvin, selvisi se, että suunniteltu ja rakennettu jakosuodatin toimii oikeasti.

LÄHTEET

- [1] Elisa.fi - 1870 - 1880 [Verkkodokumentti, viitattu 24.9.2008]. Saatavissa <http://www.elisa.fi/ir/index.cfm?t=1&o=2129.00>.
- [2] Elisa.fi - 1880 - 1890 [Verkkodokumentti, viitattu 24.9.2008]. Saatavissa <http://www.elisa.fi/ir/index.cfm?t=1&o=2128.00>.
- [3] Elisa.fi - 1900 - 1980 [Verkkodokumentti, viitattu 24.9.2008]. Saatavissa <http://www.elisa.fi/ir/index.cfm?t=1&o=2126.00>.
- [4] About ITU [Verkkodokumentti, viitattu 24.9.2008]. Saatavissa <http://www.itu.int/net/about/figures.aspx>.
- [5] Elisa.fi - 1930 - 1940 [Verkkodokumentti, viitattu 24.9.2008]. Saatavissa <http://www.elisa.fi/ir/index.cfm?t=1&o=2120.00>.
- [6] Elisa.fi - 1910 - 1920 [Verkkodokumentti, viitattua 24.9.2008]. Saatavissa <http://www.elisa.fi/ir/index.cfm?t=1&o=2124.00>.
- [7] Elisa.fi - Tuotekehityksen historia [Verkkodokumentti, viitattu 24.9.2008]. Saatavissa <http://www.elisa.fi/ir/index.cfm?t=8&o=8400.00>.
- [8] Automaattisten puhelinkeskusten historia [Verkkodokumentti, viitattu 24.9.2008]. Saatavissa <http://www.cs.helsinki.fi/u/kerola/tkhist/k2000/alustukset/puhelinkeskukset/>.
- [9] Anttalainen, Tarmo, *Introduction to telecommunications network engineering*. Second Edition. Boston, London. Artech House. 2003
- [10] Puhelinverkkojen rakennemääräykset 15.8.1979
- [11] Lehtovuori, Anu ym. *Piirisynteesi*. Helsinki: Yliopistopaino. 2005.
- [12] Digitaalinen suodatus - Wikipedia [Verkkodokumentti, viitattu 24.9.2008]. Saatavissa http://fi.wikipedia.org/wiki/Digitaalinen_suodatus.
- [13] Jakosuodin - Wikipedia [Verkkodokumentti, viitattu 24.9.2008]. Saatavissa <http://fi.wikipedia.org/wiki/Jakosuodin>.
- [14] Wikström, Krister, *Suodattimet*. Luentomoniste. Helsinki: Helsingin ammattikorkeakoulu 2002.
- [15] Räsänen, Arto - Lehto, Arto *Radiotekniikan perusteet*. Helsinki: Otatieto. 2007.
- [16] Mäkelä, Mikko - Mäkelä, Riitta - Siltanen, Olavi, *Insinöörikoulutuksen fyysikka 2*. Tampere: Tammertekniikka. 2002.
- [17] Yliopettaja Olavi Ahon haastattelu. 30.4.2008. Helsingin ammattikorkeakoulu.

[18] Amidon datalehti 1.4.1995.

