

17.11.2011



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
Signaalinkäsittelyn laitos

SGN-1600 Signaalinkäsittelyn ja multimedian työkursi
TLT-1200 Tietoliikenne-elektroniikan työkursi
Äänitaajuusjakosuodintyo (2011 - 2012)

Ryhmä nro:

Päiväys:

Nimi:	Opiskelijanumero:	s-posti:

Suorittamanne kurssi:

SGN-1600 Signaalinkäsittelyn ja multimedian työkursi

TLT-1200 Tietoliikenne-elektroniikan työkursi

Tämän laboratoriotyön tarkoitus on antaa opiskelijalle käytännöllinen esimerkki signaalinkäsittelyn sovelluksista.

Lue tämä ohje läpi ennen kuin teet mitään muuta!

Tehtävänä on toteuttaa matalimman äänikaistan kaiuttimen (ns. subwooferin) jakosuodatus. Ensinnäkin selvitetään käsitteitä ja luodaan pohjaa tulevalle suodattimelle. Sitten toteutetaan suodattimen sekä analogisen että digitaalisen suodatuksen keinoin ja vertaillaan kummankin suodatustavan ominaisuuksia. Lopuksi pääsemme kuuntelemaan työmme tuloksia oikeassa käyttöympäristössään.

Kaikki työssä tarvittavat tiedot löydät kirjoista:

Ifeachor & Jervis: "Digital Signal Processing, A practical approach"

M. E. Van Valkenburg: "Analog Filter Design" (tai muu vastaava)

Työ tehdään pareittain. Työpiste on varauslistalla on huoneen TC305 oven vieressä olevan hyllystön päällä.

Työpiste on oppilaslaboratoriossa TF304. Labrassa on työtä varten PC-tietokone, signaaligeneraattori (Agilent 33220A), oskilloskoopi (Agilent DSO3102A) ja analoginen, säädettävä suodatinlaitteisto. Tietokoneessa on äänikortti, joka sisältää digitaalisessa suodatuksessa tarvittavat A/D ja D/A-muuntimet.

Laboratoriotyössä oletetaan että osaat käyttää signaaligeneraattoria ja oskilloskooppia. Manuaalit molempiin löytyvät netistä. Molemmat ovat tuttuja mm.

17.11.2011

Johdatus Tietoliikennetekniikkaan -kurssilta. Digitaalinen suodatus tehdään käyttäen Matlabia.

Mikäli audiosignaalin käsittely kiinnostaa sinua muutenkin, saatat löytää työpisteestä mapin, jossa on asiaan liittyviä artikkeleita antamaan virikkeitä jatkossa (ei kuulu kurssin vaatimuksiin).

Suorittaaksesi tämän työn hyväksytysti, sinun tulee vastata tämän työohjeen kysymyksiin ja palauttaa työohje Antti Larjolle huoneeseen TF410 tai huoneen TC305 vieressä olevaan lokeroon viimeistään 31.12.2011. Voit kysyä lisätietoja tms. samasta osoitteesta tai maililla: antti.larjo@tut.fi

17.11.2011

1. SIGNAALINKÄSITTELYN PERUSTEET

Tässä laboratoriotyössä ei tarvitse kirjoittaa jälkiraporttia, joten tämän paperin kysymyksiin vaaditaan kunnan vastaukset.

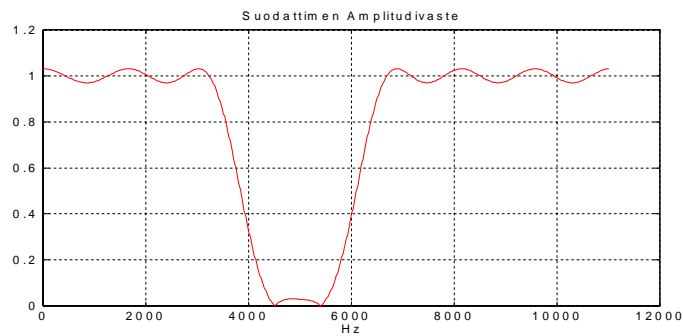
1.1 Vasteet

1. Alla on erään suodattimen amplitudivaste. Rajaa ja nimeä kuvaan: Päästökaista, estokaista ja siirtymäkaista.

Minkä tyyppisestä suodattimesta on kyse?

Mitkä ovat suodattimen 3dB:n rajataajuudet

Miten määrittelit edelliset arvot? - Piirrä kuvaan:



2. Mitä tarkoitetaan suodattimen Q-arvolla a) kaistanpäästösuodattimen ja b) ali-/ylipäästösuodattimen tapauksessa?

3. Kun suodattimen ulostulo on taajuudella F_s vaimentunut 3dB suhteessa sisäänmenoon, niin kuinka monikertainen on ulostulon amplitudiarvo sisäänmenoon nähden?

1.2 Käsitteitä

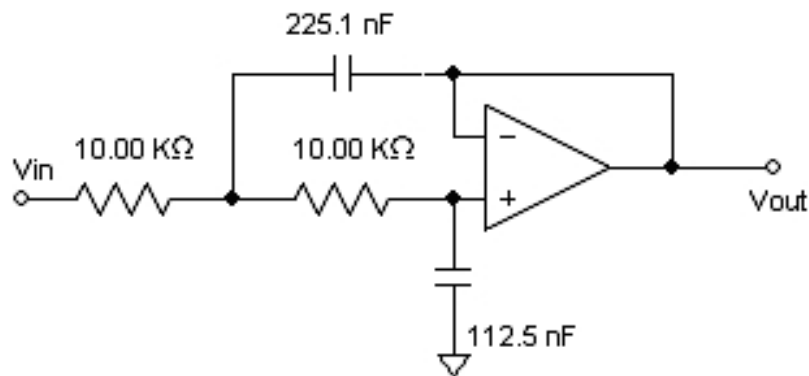
Seuraavassa on suodatukseen liittyviä käsitteitä. Merkitse ruutuun, kuuluuko ko. käsite ALUNPERIN analogisen vai digitaalisen suodatuksen termeihin. Selitä perään LYHYESTI mihin ko. termi viittaa (ei vaadita täydellistä selvitystä).

1=digitaalinen, 2=analoginen suodatus

Butterworth	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	_____
Remez	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	_____
FIR	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	_____
Passband	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	_____
Cascade design	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	_____
Pole-zero-plot	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	_____
Sallen-Key	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	_____
Chebyshev	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	_____
Biquad Circuit	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	_____

1.3 Analoginen suodin

Alla olevassa kuvassa on yksinkertainen analoginen suodin. Työpisteessä on kopioituna materiaalia, jonka avulla seuraaviin kysymyksiin löytyvät vastaukset.



Mikä on kyseisen suotimen siirtofunktio?

17.11.2011

Laske suotimen navat. Onko suodin stabiili ja miksi/miksei? (huom. analoginen suodin)

Mikä on suotimen Q-arvo? Mitä tyyppiä suodin on? (Butterworth, Bessel ...)

Mikä on suotimen rajataajuus [Hz] (3dB)? Onko kyseessä ali-, yli, kaistanesto- vai kaistanpäästösuodin?

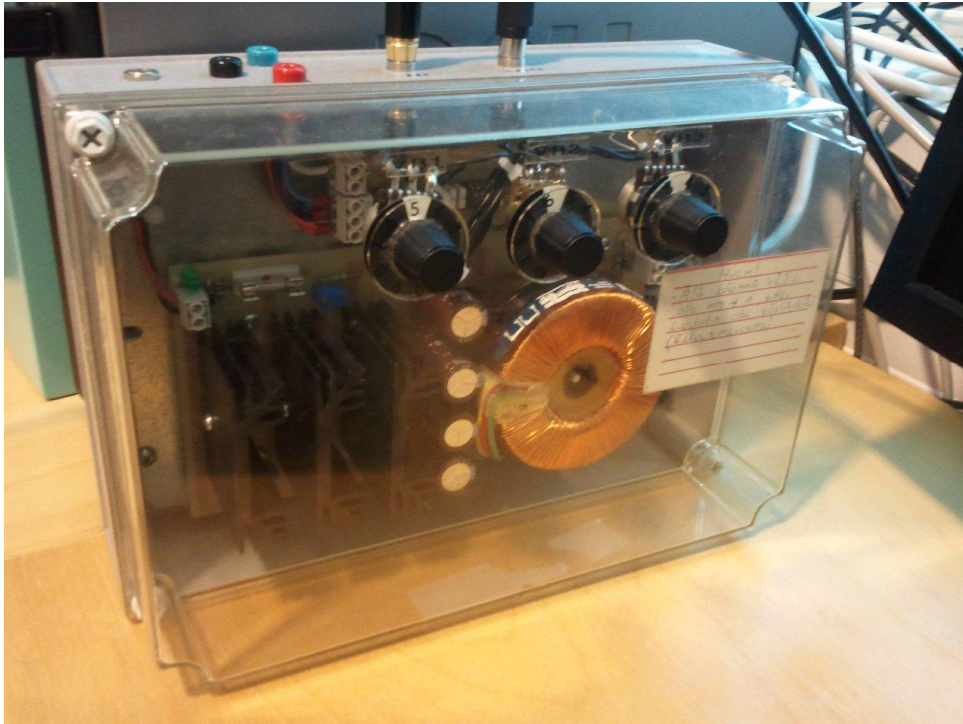
Piirrä suotimen taajuusvaste välillä 1 – 1000 Hz käyttäen Matlabin *freqs*-funktiota. (Kirjoita alle myös käyttämäsi Matlab-koodi parametreineen)

17.11.2011

2. ANALOGINEN SUODATUS

Varmista että vahvistimen volume on säädetty nolleen ennen kuin kytket virran.

Työpisteessä on signaaligeneraattori, oskilloskooppi ja analoginen suodatin virtalähteineen. Suodatin ja virtalähde on koteloitettu muoviseen laitekoteloon läpinäkyvän kannen alle. Suodattimessa ei ole virtakytkintä eli pistoke toimii kytkimenä.



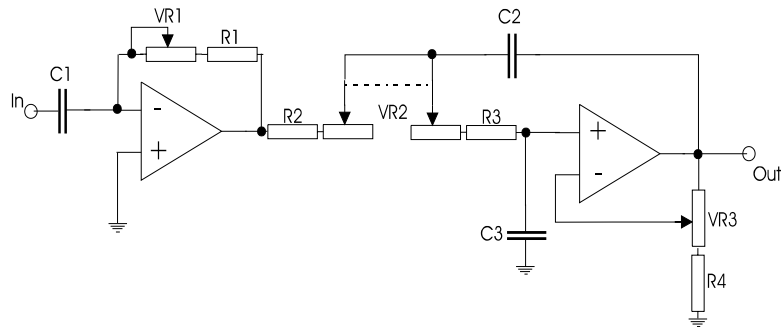
Työssä käytettävä analoginen suodin

Huomaa että analoginen suodatin koostuu operaatiovahvistimista, vastuksista ja kondensaattoreista. Käyttämämme suodattimen kytkentäkaavio on alla olevassa kuvassa.

Tässä käyttämämme suodatin on kaistanpäästösuo-datin, jonka rajataajuutta voit säätää potentiometrillä VR2. Potentiometrillä VR3 säädetään kytkennän Q-arvoa. Potentiometri VR1:lla säädetään koko suodatinrakenteen vahvistus sopivaksi. "Sopiva" voisi olla esimerkiksi päästökaistalla noin 1. Huom: älä käänä VR3:a alle arvon 4, sillä se saattaa rikkoa laitteen!

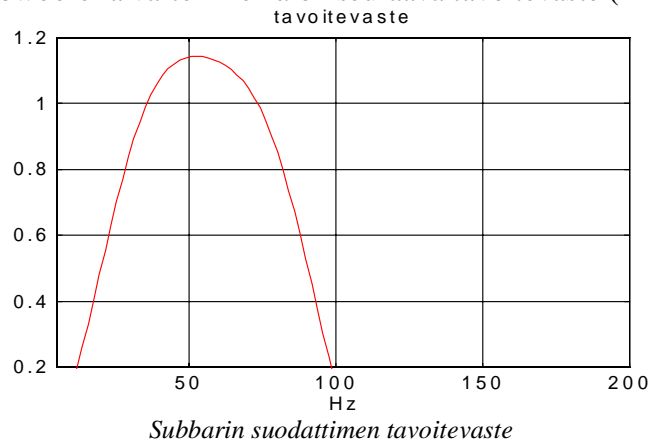
Tässä suodattimessa rajataajuus on säädettävissä välillä n.40-145Hz.

17.11.2011



Suodattimen kytkentäkaavio

Tehtävänäsi on nyt säätää em. suodatin siten, että sitä voidaan käyttää subwooferin jakosuotimenä. Subwooferia varten meillä on seuraava tavoiteväaste ("Target Function"):



Tavoitteena olisi siis -3dB pisteet n.25Hz ja 80Hz taajuuksilla.

2.1 Signaaligeneraattori

Työpisteessä olevalle signaaligeneraattorille voidaan USB-väylän kautta siirtää signaaleja PC:ltä. Työpisteen PC:ltä löydät Agilent Intuilink Waveform Editor -ohjelman, jolla signaalit voi luoda. Käynnistä kyseinen ohjelma ja avaa yhteys signaaligeneraattorin ja PC:n välille Communications/Connection... -valikosta.

Luodaan ensin testisignaali Matlabilla. Generoi signaali (näytteenottotaajuudeltaan 65536 Hz ja pituudeltaan 65536 näytettä), jolla mielestäsi voisit tutkia jakosuotimen taajuusvastetta. Esimerkkinä voisi olla signaali, jossa on muutamia eri taajuuksilla olevia sinikomponentteja (esim. 50Hz sekä -3dB taajuuksilla). Skaalaa signaalin arvot välille [-1, 1] ja talleta suunnittelemasi signaali tekstitiedostoon (Matlabissa esim. komento dlmwrite) pystyvektorina.

Palauta myös tallentamasi signaali työn ohjaajalle sähköpostilla.

Lataa nyt Waveform Editoriin tallentamasi signaali. (Huom: Matlab käyttää desimaalierottimena pistettä ja Waveform Editor käyttöjärjestelmän desimaalierotinta, joka todennäköisesti on pilkku. Joten mikäli latauksessa tulee virheilmoitus väärästä

17.11.2011

tisdostomuodosta, voit vaihtaa pisteet pilkuiksi esim. käyttämällä hakemistosta C:\siglab löytyvää funktiota dots2commas.) Varmista, että ruudulla näkyy 65536 pistettä (ellei näy, muuta File/Properties-valikosta signaalin pituus). Lähetä signaali signaaligeneraattorille (Send arbitrary waveform). Käytä taajuutta 1Hz ja (peak-to-peak) amplitudia 0.5V. (huom: liian suuri amplitudi voi rikkoa suotimen)

Etsi signaaligeneraattorin ja oskilloskoopin avulla potentiometrien säädöt, joilla suodatin toteuttaa tavoitteen mahdollisimman tarkasti. Huomaa, ettei tavoitevaste aina toteudu tarkasti. Tällä suodattimella edellisellä sivulla olevan kuvan mukainen vaste (huom. lineaarinen asteikko) on kuitenkin kutakuinkin mahdollinen.

Signaaligeneraattorin ulostulo on haaroitettu kahteen. Voit siis nähdä oskilloskoopilla sekä sisäänmenon että suodattimen ulostulon. Hyödyllistä on tarkastella varsinkin oskilloskoopin sisäänmenosignaalien FFT:tä. Tarvittavat johdot löytyvät työpisteestä (BNC-BNC, RCA-BNC, RCA-RCA).

ENNEN KUIN KYTKET SIGNAALIN SUODATTIMEEN: varmista ettei signaaligeneraattorin ulostulossa ole tasajännitettä ("DC offset").

17.11.2011

2.2 Kirjaa lopulliset asetukset:

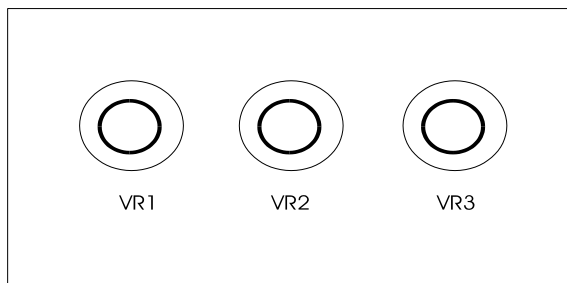
Sisäänmenotaso:

Suodattimen maksimi ulostulotaso:

-3dB pisteet ja vastaavat jännitetasot:

~~Oskilloskooppi on kytketty työpisteessä olevaan PC:hen. Voit tallettaa kuvan oskilloskoopin näytöstä PC:lle Scope Connect Software ohjelman avulla (kuvake DSO3000 työpöydällä). Ohjelman käynnistyttyä odota rauhassa, että oskilloskooppi on tunnustettu (oikeassa alakulmassa lukee "connected"). Käyttöjärjestelmäpäivityksen takia yhteys oskilloskoopin ja PC:n välillä ei toimi, joten ota kuvat oskilloskoopin ruudusta esim. puhelimella tai työpisteen luona olevalla kameralla. Talleta esim. kuvat joissa näkyy sekä jakosuotimen sisäänmeno signaali että jakosuotimen ulostulosignaali. Talleta myös ainakin yksi kuva signaalin FFT:stä. Liitä kuvat työselostukseen.~~

2.3 Potentiometriä asennot:



2.4 Testing

Kun olet saanut suodattimen säädöt kohdalleen, kytke signaaligeneraattori pois ja irrota johdot suodattimen IN ja OUT liitännöistä. Kytke nyt piuhalla (2xRCA – stereoplugi) PC:n äänikortinulostulo toisella RCA-liittimellä jakosuotimen IN liitännään ja toisella RCA-liittimellä vahvistimen AUX-liitännän oikeaan kanavaan. Kytke myös jakosuotimen ulostulo RCA-RCA piuhalla vahvistimen AUX-liitännän vasempaan kanavaan.

Valitse vahvistimesta AUX-sisäänmeno ja kytke virta vahvistimeen. Nyt voit soittaa PC:n hakemistossa C:\siglab olevia wav-tiedostoja ja kuunnella, onko tästä mitään iloa.

Vahvistimen R-kanavaan on kytketty pieni kaiutin, joka toistaa korkeammat taajuudet. Hakemistossa C:\siglab olevat wav-tiedostot ovat mono-tiedostoja, joten niistä saadaan

17.11.2011

sama signaali oikealla ja vasemmalla kanavalla, joten subbarin ja pikkukaiuttimen äänten pitäisi sopia yhteen, jos säädit suodattimen oikein. Ylempiä ääniä toistava pikkukaiutin on paljon herkempi kuin subwoofer, joten joudut säätämään subbarin äänenvoimakkuutta isommaksi. Voit säätää voimakkuutta kaksiosaisella volume-säätimellä (R=pikkukaiutin, L=subbari).

Huomioithan muut labrassa ja 3. kerroksessa olevat ihmiset voimakkuutta säädellestäsi!

Kannattiko ?

KUN LOPETAT, OTA VIRRAT POIS SUODATTIMESTA (=SUODATTIMEN VIRTASÄÄTIN IRTI PISTOKKEESTA)!

2.4 EXTRA Suodattimista kiinnostuneille

Jos epäilet seurauksia, älä tee tätä koetta. **Jos teet tämän kokeen, tee se ohjeen mukaan.**

Aktiivisiin suodattimiin liittyy ikävä piirre, värähtely. Tämä tarkoittaa, että huonosti suunniteltu tai toteutettu suodatin saattaa alkaa värähtelemään jollakin taajuudella. Tällöin suodatin tuottaa ulostulosignaalia, vaikka sisäänmeno on nolla. Näitä ilmiöitä esiintyy sekä analogisissa että digitaalisissa suodattimissa.

Jos haluat kokeilla, **VARMISTU ETTEI SIGNAALI PÄÄSE VAHVISTIMEEN JA KAIUTTIMEEN. Eli kytke virta pois vahvistimesta!**

Irrota johto suodattimen sisääntulosta. Voit nyt halutessasi nähdä värähtelyilmiön oskilloskoopilla, kun säädät VR3:lla Q-arvoa isommaksi (= VR3:n asteikolla pienempään päin) ja tarkkaillet ulostuloa oskilloskoopilla. Jossakin VR3:n arvossa 4 alapuolella ulostulo alkaa värähdellä.

Älä anna suodattimen värähdellä pitkää aikaa, ja jätä VR3 aina asentoon >4!

Yrittekö tätä?

Havaitteko värähtelyn?

Millä taajuudella laite värähteli?

Mitä haittaa ilmiöstä voi olla?

17.11.2011

3. DIGITAALINEN SUODATUS

Huom! Näitä ohjeita muutellaan silloin tällöin, eli eri päivinä tehdyt selkkarit eivät ole yhteneviä.

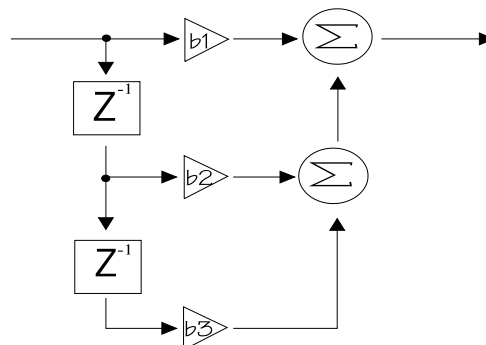
Seuraavaksi suunnitellaan subwooferille digitaalisen suodattimen Matlabilla, suodatamme musiikinäytteen ja kuuntelemme tulosta.

3.1 Suotimet

Digitaaliset lineaariset suotimet voidaan jakaa kahteen ryhmään, FIR (finite impulse response) ja IIR (infinite impulse response) suotimiin. Tässä työssä suodatamme audiosignaalia molemmilla suodattimien tyypeillä.

Onko kuvassa 3.1 FIR- vai IIR-suodin?

Mikä on suotimen asteluku?



Kuva 3.1.

Miten FIR- ja IIR-suodattimien rakenteet eroavat toisistaan? (vrt. yllä oleva kuva)

17.11.2011

3.2 FIR-suodin

Digitaalinen FIR suodatin voidaan toteuttaa mm. edellisellä sivulla olevan kuvan esittämässä muodossa. Voit halutessasi kokeilla Matlabissa esim. FIR1, FIR2, FIRLS, jne... (>> help signal)

Ensimmäiseksi pitää päättää suodattimen tavoitearvot: 1) suodattimen tyyppi, 2) päästökaistan rajataajuus, 3) estokaistan rajataajuus, 4) värähtely päästökaistalla ja 5) estokaistan minivaimennus.

Matalien taajuuksien toistamista varten on tietysti luonnollista suunnitella alipäästösuodatin. Päästökaistan rajataajuus tulisi olla 100Hz ja estokaistan rajataajuus 200 Hz. Päästökaistan värähtely voi tässä tapauksessa olla 1 dB. Estokaistan vaimennuksen tavoite onkin jo hieman makuasia, käyttäkäämme tässä arvoa 50dB.

Paljonko estokaistan signaalin amplitudi on tällöin verrattuna päästökaistan amplitudiin?

3.2.1 Toteutus

Vastedes ">>" kuvaa Matlabin promptia.

Käynnistä PC:n Matlab ja siirry hakemistoon C:\siglab:

```
>>cd c:\siglab; clear all
```

Tämä vie sinut oikeaan hakemistoon ja tyhjentää mahdolliset aiemmat asetukset.

Käytetään näytteenottotaajuutena 44.1 kHz (ääninäytteet on näytteistetty 44.1 kHz taajuudella):

```
>>Fs=44100;
```

Mikä on tässä tapauksessa Nyquistin-taajuus?

Suunnitellamme FIR suodattimen Remez algoritmilla. Suotimelta vaadittava asteluku voidaan laskea *firpmord*-funktiolla.

```
>>help firpm  
>>help firpmord
```

17.11.2011

Laske nyt *firpmord*-funktiota käyttäen suotimen asteluku. Mitä eri parametreja sinun täytyy antaa *firpmord*-funktioille (ja miten ne annat)?

Mikä on vaadittava asteluku *firpmord*in mukaan?

Laske nyt suotimen kertoimet käyttäen *firpm*-funktiota. Tulosta tämän jälkeen suotimen amplitudivaste. Täyttääkö suodin vaaditut ehdot?

Mikäli vaatimukset eivät täytyneet, mitä voit tehdä?

Koeta suunnitella suodin niin, että annetut vaatimukset täyttyvät. Mikä on silloin suotimen asteluku?

Tulosta suotimen amplitudi-, vaihe- ja impulssivasteet. Tulosta myös napa-nolla kuvio (ja liitä kuvat työselostukseen).

Mitä mieltä olet suotimesta? (onko se realistinen toteuttaa jne.)

Muista tallettaa suotimen kertoimet myöhempää käyttöä varten! (>>help save)

17.11.2011

3.2.2 Realistinen toteutus:

Suodattimen aste nousee liian korkeaksi ollakseen realistisesti toteutettavissa.

Tässä tapauksessa on parasta käyttää ns. multirate signaalinkäsittelyä, koska haluamme alipäästösuodattaa kapean alikaistan 22050 Hz:n taajuuskaistalta ($100/22050=0,0045$ eli 0,45 % kaistasta).

Pudotamme näytteenottotaajuutta, jolloin päästökaistan suhde Nyquistin taajuuteen on edullisempi. Voimme siis käyttää paljon pienemmän kertaluvun suodatinta. Samalla transitiokaista suhteellisesti levenee, mikä myös edesauttaa suodatusta.

Mitä tarkoittaa desimointi?

Suunnitellaan uusi suodin kertoimella 8 desimoidulle näytejonolle. Alkuperäinen näytteenottotaajuus (F_s) oli 44100 Hz. Paljonko on desimoidun näytejonon uusi näytteenottotaajuus?

Mikä on uusi Nyquistin taajuus?

Laske nyt *firpmord*-funktiota käyttäen uuden suotimen asteluku. Mitä eri parametreja sinun täytyy antaa *firpmord*-funktiolle?

17.11.2011

Mikä on vaadittava asteluku *firpmord*in mukaan nyt?

Laske nyt suotimen kertoimet käyttäen *firpm*-funktioita. Tulosta tämän jälkeen suotimen amplitudivaste. Täyttääkö suodin vaaditut ehdot?

Millä asteluvulla suodin täyttää ehdot?

Tulosta suotimen amplitudi-, vaihe- ja impulssivaste ja liitä ne työselostukseen.

Muista tallettaa suotimen kertoimet myöhempää käyttöä varten!

3.3 IIR suodin

Suunnittele nyt elliptinen IIR-suodin 1) alkuperäisellä näytteenottotaajuudella ja 2) desimoidulla taajuudella. (*help ellipord* ja *help ellip*) (Käytä samoja vaatimuksia kuin FIR-suotimella). Tulosta amplitudi-, vaihe- ja impulssivasteet molemmissa tapauksissa. Tulosta samoin napa-nolla kuviot.

Mitä voit sanoa suotimien asteluvusta?

Piirrä myös lohkokaaavio suotimesta.

Muista tallettaa suotimien kertoimet myöhempää käyttöä varten!

17.11.2011

3.4 Suodatus

Lataamme näytebiisin (tai oikeammin palan biisiä), desimoimme, suodatamme ja interpoloimme.

Hakemistossa C:\siglab on wav-tiedostoja (mono, $F_s = 44100$ Hz). Lue *wavread*-funktion avulla (`>> help wavread`) osa jostakin tiedostosta Matlabiin. (esim. 30 sekuntia). Kirjoita Matlab-komennot alle.

Tarkista nyt että sait Matlabiin näytejonon nimellä Y (tai miten nyt signaalin nimesitkään).

```
>> whos
```

Desimoi signaali Y nyt kertoimella 8. (`>>help decimate` tai `>> help resample`). Miten teit sen?

Jos kaikki on valmista, suodatetaan subbarille menevä signaali (`>> help filter`):

Suodata desimoitu signaali sekä FIR- että IIR suotimella (kirjoita alle Matlab-komennot). Laske myös kuinka monta liukulukuoperaatiota suodatuksessa tarvittiin (FIR ja IIR erikseen):

Tarkista suodatustulosten taajuussisältö FFT:llä. (`>>help fft`) (kirjoita alle Matlab-komennot). Tulosta kuvat ja liitä työselostukseen.

Seuraavaksi suodatettu signaali on taas saatettava alkuperäisen näytteenottotaajuuden mukaiseen tilaan, eli interpoloitava (`>> help interp` tai `>> help resample`). (kirjoita alle Matlab-komento/kommennot)

17.11.2011

3.5 VIHDOINKIN.....kuuntelemaan.

Kytke äänikortin ulostulo vahvistimen aux-liitäntään (piuha nro.3 2xRCA – stereoplugi). Kytke punainen RCA liitin vahvistimen vasempaan kanavaan ja musta RCA liitin oikeaan kanavaan. Tarkista myös että vahvistimeen on kytketty kaiuttimet (subbari vasempaan kanavaan ja tavallinen kaiutin oikeaan).

Muodosta suodatetusta ja alkuperäisestä signaalista muuttuja

```
>> Y2=[Y1 Y]
```

Eli nyt suodatettu signaali on vasemmassa kanavassa ja alkuperäinen oikeassa kanavassa. Voit kuunnella signaalit nyt Matlabin *soundsc* -funktiolla (`>> help soundsc`). (kirjoita alle Matlab-komento).

Kannattiko suodatus?

Oliko havaittavissa eroa FIR- ja IIR-toteutuksen välillä?

17.11.2011

4 VERTAILU

Olet nyt soveltanut analogista ja digitaalista signaalinkäsittelyä. Vertaile analogisen ja digitaalisen suodatuksen (ja laitteiston) etuja ja haittoja: (suorituskyky, monipuolisuus, hinta, käyttökohteet..)

analoginen:

digitaalinen:

Kuinka paljon luulet ko. analogiasuodattimen maksavan valmistaa (osat + työ)?

Entä vastaava digitaalinen (osat + työ)?

(arviot yksittäiskappaleesta, ei tarvitse miettiä sarjatuotannon vaikutuksia)

5 LABORATORIOTYÖN ARVOSTELU

Koetko oppineesi tästä työstä jotain?

Jos, niin mitä?

Arvosanasi tälle laboratoriotyölle (0-5): _____

Kommentit & parannusehdotukset:

17.11.2011

6 POISTUMINEN

Kun lopetat työskentelyn Matlabilla, poista kaikki tiedostot jotka olet tallettanut. Kun poistut labrasta, jätä PC päälle. Irrota analogisen suodattimen verkkopistoke ja sammuta muut laitteet kukin omasta virtakytkimestään.