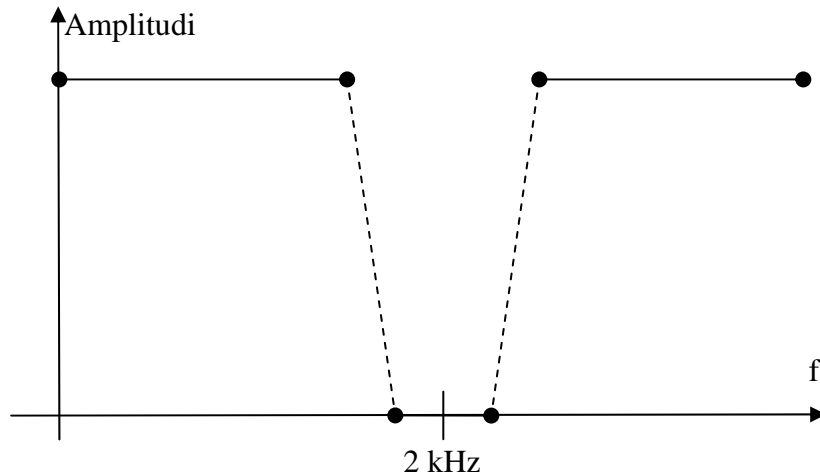


Harjoitustyö 1

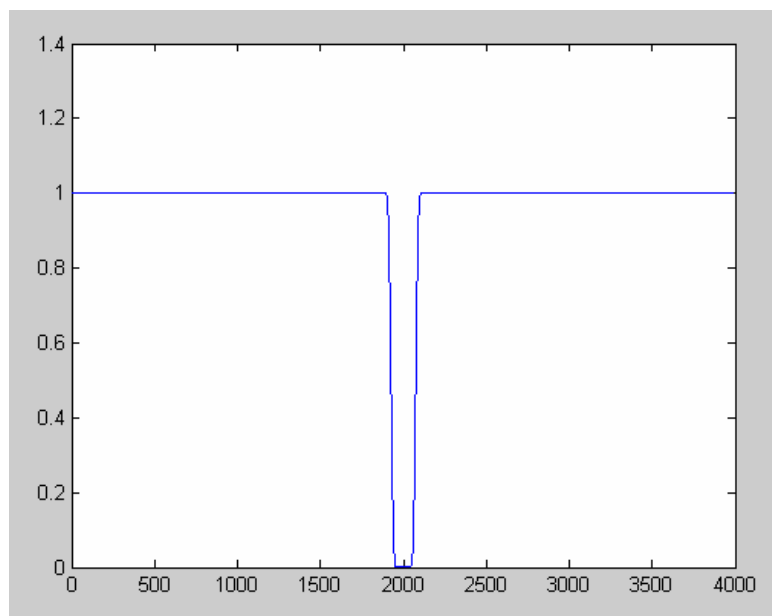
Kaistanestosuodin, estä 2 kHz



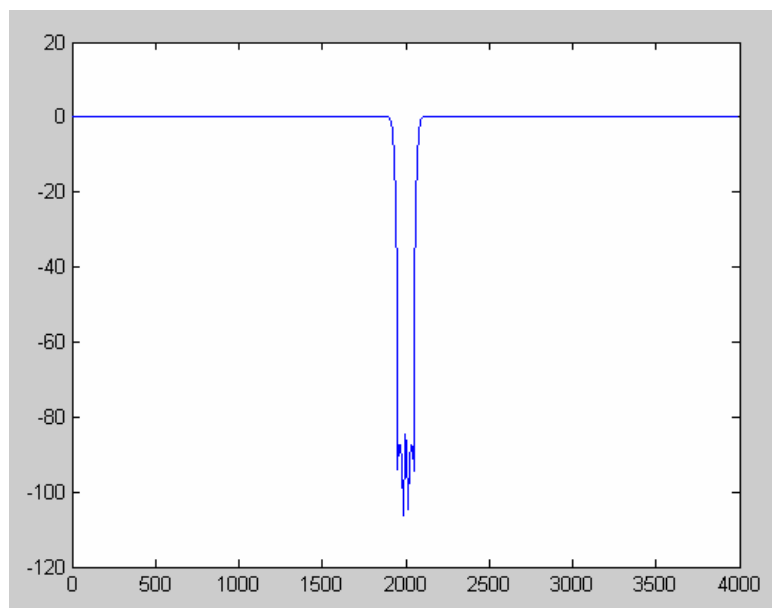
MATLAB koodi:

```
clear;
close all;
w=[0 1900 1950 2050 2100 4000]/4000;
m=[1 1 0 0 1 1];
h=remez(800,w,m);
[H,w]=freqz(h,1);
m=abs(H);
f=4000*w/pi;
plot(f,m)
mdb=20*log10(m);
figure,plot(f,mdb)
n=(0:1:length(h)-1);
figure,plot(n,h);
```

Matlabilla 800 kertaisesta kaistanestosuotimesta piirretyt kuvaajat

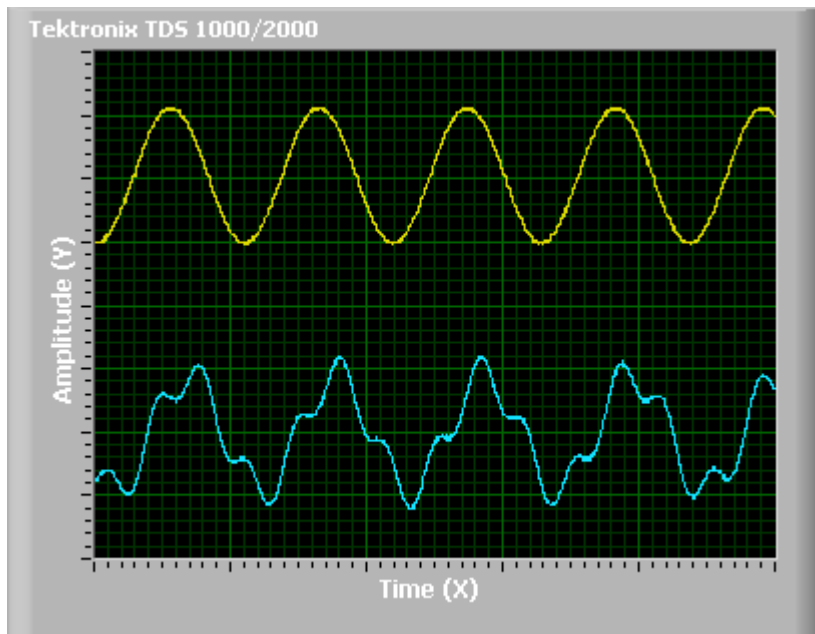


Kuvio 1: Itseisarvo



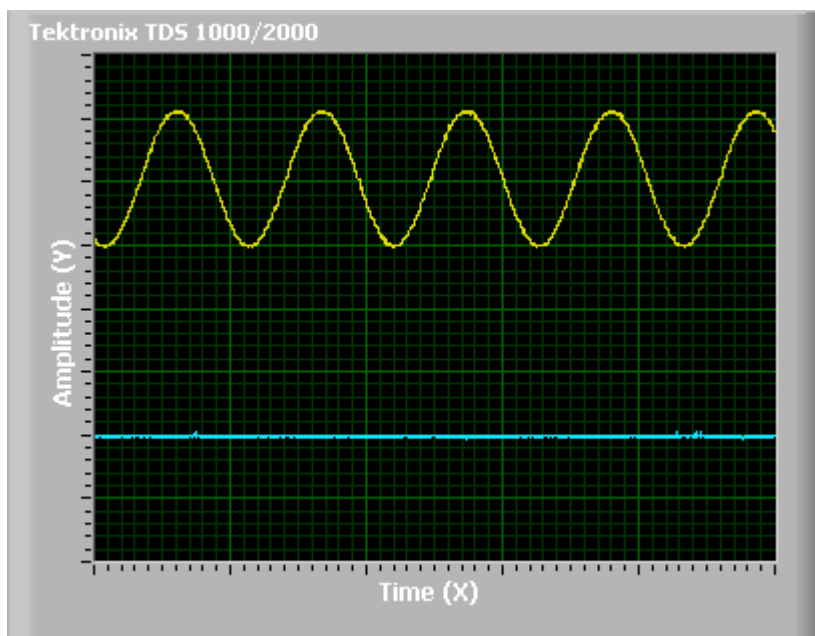
Kuvio 2: Desibeli asteikolla

TMS320-lankulla toteutettu 800-kertaluvun kaistanestosuodin



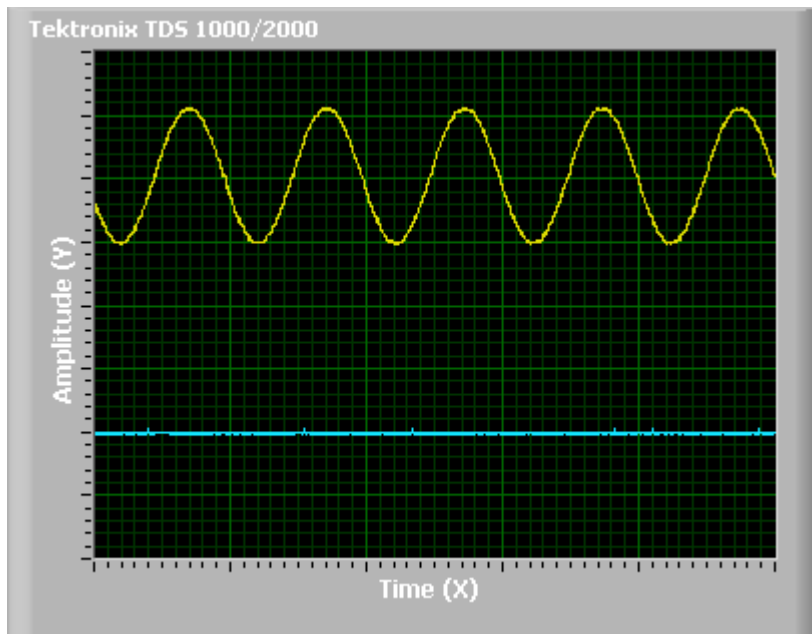
1.0 V/div, 250 μ s/div, 1837 Hz

Kuvio 3: Juuri ennen vaimenemisen alkamista



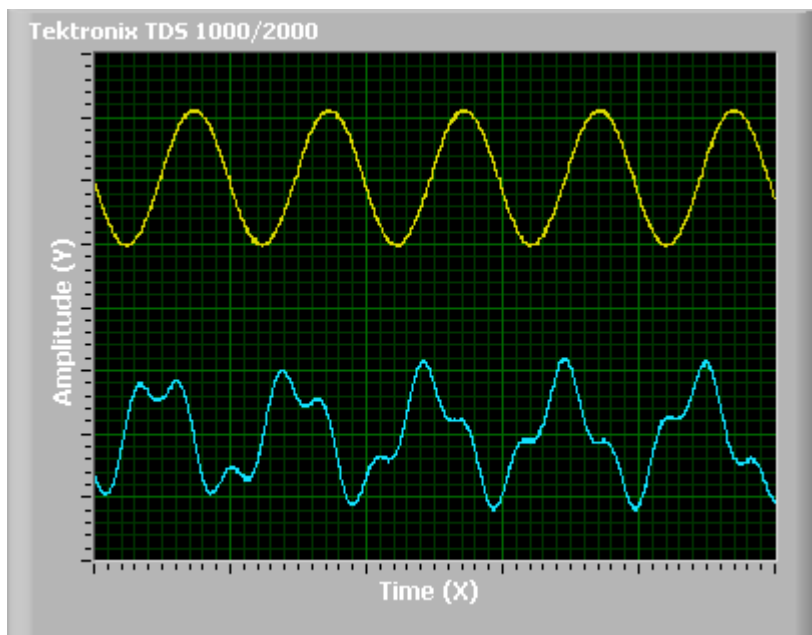
1.0 V/div, 250 μ s/div, 1880 Hz

Kuvio 4: Heti signaalin mentyä nolliin



1.0 V/div, 250 μ s/div, 1977 Hz

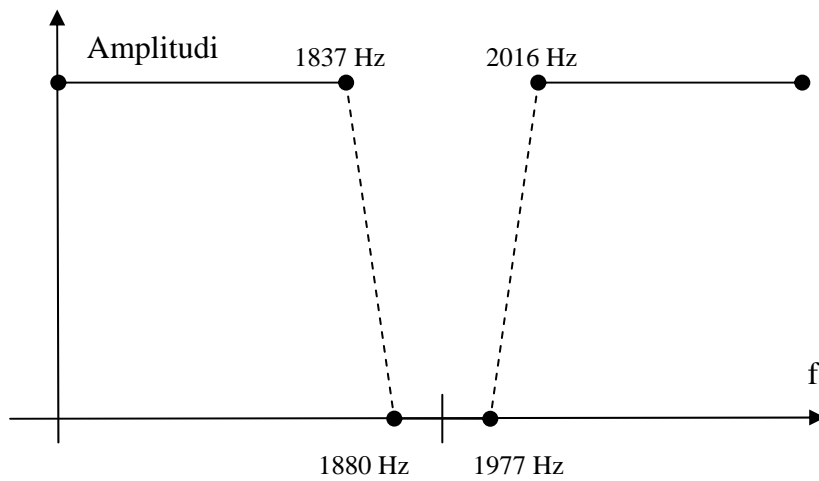
Kuvio 5: Juuri ennen vaimentumisen loppumista



1.0 V/div, 250 μ s/div, 2016 Hz

Kuvio 6: Heti signaalin saavutettua maksimitasoa

Edelliset skooppi kuvat yhdistettynä



Pohdinta

Suotimen oli tarkoitus poistaa 2 kHz taajuus. Kuten voimme yllä olevasta kuvasta huomata, poistuvan taajuuden keskitaajuus on noin 1929 Hz, eli siis 70 Hz alle suunnitellun. Täysin vaimennetun taajuuden kaistanleveys on 97 Hz. Tätä kapeammaksi suodinta ei pystynyt suunnittelemaan, sillä muutoin vaimennus olisi jäänyt huomattavasti huonommaksi.

Laskusiirtokaista 43 Hz. noususiirtokaista 39 Hz.

Vaimentuneen alueen kokonaiskaistanleveys 179 Hz.

ASM koodi edellisen suotimen toteutuksesta, lihavoitu teksti varsinainen suodatusosuus

```
.mmregs
.ds 1000h
.copy "hark800.asm" ;Haetaan kertoimet erillisestä tiedostosta
.ps 00a00h
.entry
ldp #0
call sp_init
lamm imr
or #20h
samm imr
splk #0ffffh,ifr
loop: lamm drr
call filter
sac1 dxr,2
idle
b loop
xint: rete
```

filter:

```
mar *,ar7 ;Siirretään mittaukset x(n) 2000h -paikkaan
lar ar7,#2000h
sac1 *
setc sxm ;Etumerkkilaajennus
lar ar7,#2320h ;Osoitin x(n-30):een
zap ;ACCU:n ja Preg:in tyhjennys
rpt #800 ;Toistetaan seuraavaa komentoa 801-kertaa
macd 1000h,*- ;Kertoimet paikassa 1000h-1320h
apac ;Summataan h(0)+x(0)
rpt #15 ;Jakaminen siirtämällä bittiä 16-kertaa oikealle
sfr ;Jaetaan tulos 2^16
ret
```

sp_init:

```
splk #01h,prd
splk #20h,tcr
mar *,ar0
lacc #0080h
sach dxr
sac1 greg
lar ar0,#0ffffh
rpt #9999
lacc *,0,ar0
sach greg
lacc #0008h
sac1 spc
lacc #80c8h
sac1 spc
ret
```

800-kertaluvun harkka-suotimen kertoimet

h .word 1	.word 0	.word 0	.word 0	.word -107	.word 0	.word 1228
.word 0	.word -2	.word 0	.word -33	.word 0	.word 177	.word 0
.word 0	.word 0	.word -2	.word 0	.word 108	.word 0	.word -1219
.word 0	.word 2	.word 0	.word 37	.word 0	.word -153	.word 0
.word 0	.word 0	.word 4	.word 0	.word -108	.word 0	.word 1204
.word 0	.word -2	.word 0	.word -41	.word 0	.word 125	.word 0
.word 0	.word 0	.word -5	.word 0	.word 106	.word 0	.word -1184
.word 0	.word 2	.word 0	.word 44	.word 0	.word -93	.word 0
.word 0	.word 0	.word 7	.word 0	.word -103	.word 0	.word 1158
.word 0	.word -1	.word 0	.word -47	.word 0	.word 56	.word 0
.word 0	.word 0	.word -9	.word 0	.word 97	.word 0	.word -1127
.word 0	.word 1	.word 0	.word 49	.word 0	.word -16	.word 0
.word 0	.word 0	.word 11	.word 0	.word -90	.word 0	.word 1091
.word 0	.word 0	.word 0	.word -51	.word 0	.word -28	.word 0
.word 0	.word 0	.word -13	.word 0	.word 82	.word 0	.word -1050
.word 0	.word 0	.word 0	.word 52	.word 0	.word 75	.word 0
.word 0	.word 0	.word 15	.word 0	.word -71	.word 0	.word 1005
.word 0	.word 1	.word 0	.word -52	.word 0	.word -126	.word 0
.word 0	.word 0	.word -17	.word 0	.word 59	.word 0	.word -956
.word 0	.word -2	.word 0	.word 52	.word 0	.word 179	.word 0
.word 0	.word 0	.word 18	.word 0	.word -45	.word 0	.word 904
.word 0	.word 2	.word 0	.word -50	.word 0	.word -236	.word 0
.word 0	.word 0	.word -20	.word 0	.word 30	.word 0	.word -848
.word 0	.word -3	.word 0	.word 48	.word 0	.word 294	.word 0
.word 0	.word 0	.word 21	.word 0	.word -13	.word 0	.word 790
.word 0	.word 4	.word 0	.word -45	.word 0	.word -355	.word 0
.word 0	.word 0	.word -22	.word 0	.word -4	.word 0	.word -730
.word 0	.word -4	.word 0	.word 41	.word 0	.word 416	.word 0
.word 0	.word 0	.word 23	.word 0	.word 23	.word 0	.word 668
.word 0	.word 5	.word 0	.word -36	.word 0	.word -479	.word 0
.word 0	.word 0	.word -23	.word 0	.word -42	.word 0	.word -606
.word 0	.word -6	.word 0	.word 31	.word 0	.word 542	.word 0
.word 0	.word 0	.word 23	.word 0	.word 62	.word 0	.word 542
.word 0	.word 6	.word 0	.word -25	.word 0	.word -606	.word 0
.word 0	.word 0	.word -23	.word 0	.word -83	.word 0	.word -479
.word 0	.word -7	.word 0	.word 17	.word 0	.word 668	.word 0
.word -1	.word 0	.word 22	.word 0	.word 103	.word 0	.word 416
.word 0	.word 8	.word 0	.word -10	.word 0	.word -730	.word 0
.word 1	.word 0	.word -21	.word 0	.word -123	.word 0	.word -355
.word 0	.word -8	.word 0	.word 1	.word 0	.word 790	.word 0
.word -1	.word 0	.word 19	.word 0	.word 142	.word 0	.word 294
.word 0	.word 8	.word 0	.word 7	.word 0	.word -848	.word 0
.word 1	.word 0	.word -18	.word 0	.word -160	.word 0	.word -236
.word 0	.word -9	.word 0	.word -17	.word 0	.word 904	.word 0
.word -1	.word 0	.word 15	.word 0	.word 177	.word 0	.word 179
.word 0	.word 9	.word 0	.word 26	.word 0	.word -956	.word 0
.word 2	.word 0	.word -12	.word 0	.word -193	.word 0	.word -126
.word 0	.word -9	.word 0	.word -36	.word 0	.word 1005	.word 0
.word -2	.word 0	.word 9	.word 0	.word 206	.word 0	.word 75
.word 0	.word 9	.word 0	.word 45	.word 0	.word -1050	.word 0
.word 2	.word 0	.word -6	.word 0	.word -218	.word 0	.word -28
.word 0	.word -8	.word 0	.word -55	.word 0	.word 1091	.word 0
.word -2	.word 0	.word 2	.word 0	.word 227	.word 0	.word -16
.word 0	.word 8	.word 0	.word 64	.word 0	.word -1127	.word 0
.word 2	.word 0	.word 2	.word 0	.word -233	.word 0	.word 56
.word 0	.word -7	.word 0	.word -73	.word 0	.word 1158	.word 0
.word -2	.word 0	.word -6	.word 0	.word 236	.word 0	.word -93
.word 0	.word 6	.word 0	.word 81	.word 0	.word -1184	.word 0
.word 3	.word 0	.word 10	.word 0	.word -235	.word 0	.word 125
.word 0	.word -5	.word 0	.word -88	.word 0	.word 1204	.word 0
.word -3	.word 0	.word -15	.word 0	.word 231	.word 0	.word -153
.word 0	.word 4	.word 0	.word 95	.word 0	.word -1219	.word 0
.word 3	.word 0	.word 20	.word 0	.word -224	.word 0	.word 177
.word 0	.word -3	.word 0	.word -100	.word 0	.word 1228	.word 0
.word -3	.word 0	.word -24	.word 0	.word 212	.word 0	.word -196
.word 0	.word 2	.word 0	.word 104	.word 0	.word 31537	.word 0
.word 2	.word 0	.word 29	.word 0	.word -196	.word 0	.word 212

.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0
.word -224	.word 82	.word -25	.word 2	.word 4	.word -3	.word 1
.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0
.word 231	.word -90	.word 31	.word -6	.word -2	.word 2	.word -1
.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0
.word -235	.word 97	.word -36	.word 9	.word 0	.word -2	.word 1
.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0
.word 236	.word -103	.word 41	.word -12	.word 2	.word 1	.word -1
.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0
.word -233	.word 106	.word -45	.word 15	.word -3	.word 0	.word 0
.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0
.word 227	.word -108	.word 48	.word -18	.word 4	.word 0	.word 0
.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0
.word -218	.word 108	.word -50	.word 19	.word -5	.word 1	.word 0
.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0
.word 206	.word -107	.word 52	.word -21	.word 6	.word -1	.word 0
.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0
.word -193	.word 104	.word -52	.word 22	.word -7	.word 2	.word 0
.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0
.word 177	.word -100	.word 52	.word -23	.word 8	.word -2	.word 0
.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0
.word -160	.word 95	.word -51	.word 23	.word -8	.word 2	.word 0
.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0
.word 142	.word -88	.word 49	.word -23	.word 9	.word -2	.word 0
.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0
.word -123	.word 81	.word -47	.word 23	.word -9	.word 2	.word 0
.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0
.word 103	.word -73	.word 44	.word -22	.word 9	.word -3	.word 0
.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0
.word -83	.word 64	.word -41	.word 21	.word -9	.word 3	.word 0
.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0
.word 62	.word -55	.word 37	.word -20	.word 8	.word -3	.word 0
.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0
.word -42	.word 45	.word -33	.word 18	.word -8	.word 3	.word 0
.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0
.word 23	.word -36	.word 29	.word -17	.word 8	.word -2	.word 0
.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0
.word -4	.word 26	.word -24	.word 15	.word -7	.word 2	.word 0
.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0
.word -13	.word -17	.word 20	.word -13	.word 6	.word -2	.word 0
.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0
.word 30	.word 7	.word -15	.word 11	.word -6	.word 2	.word 0
.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0
.word -45	.word 1	.word 10	.word -9	.word 5	.word -2	.word 1
.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0
.word 59	.word -10	.word -6	.word 7	.word -4	.word 2	.word 0
.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0	.word 0
.word -71	.word 17	.word 2	.word -5	.word 4	.word -1	.word 0

Harjoitustyö 2 - 2. kertaluvun alipäästösuodin, 1 kHz

Suodatinyhtälön muodostaminen käsin:

$$H(z) = \frac{b_0 + b_1 \cdot z^{-1} + b_2 \cdot z^{-2}}{a_0 + a_1 \cdot z^{-1} + a_2 \cdot z^{-2}}$$

$$\Rightarrow H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{b_0 + b_1 \cdot z^{-1} + b_2 \cdot z^{-2}}{a_0 + a_1 \cdot z^{-1} + a_2 \cdot z^{-2}}$$

$$\Rightarrow (b_0 + b_1 \cdot z^{-1} + b_2 \cdot z^{-2}) \cdot Y(z) = (a_0 + a_1 \cdot z^{-1} + a_2 \cdot z^{-2}) \cdot X(z)$$

$$\Rightarrow b_0 \cdot X(z) + b_1 \cdot z^{-1} \cdot X(z) + b_2 \cdot z^{-2} \cdot X(z) = a_0 \cdot Y(z) + a_1 \cdot z^{-1} \cdot Y(z) + a_2 \cdot z^{-2} \cdot Y(z)$$

$$\Rightarrow b_0 \cdot x(n) + b_1 \cdot x(n-1) + b_2 \cdot x(n-2) = a_0 \cdot y(n) + a_1 \cdot y(n-1) + a_2 \cdot y(n-2)$$

$$\Rightarrow a_0 = 1$$

$$\Rightarrow y(n) = b_0 \cdot x(n) + b_1 \cdot x(n-1) + b_2 \cdot x(n-2) - a_1 \cdot y(n-1) - a_2 \cdot y(n-2)$$

[b,a]=”suodinparametrit tähän”

b = b0 b1 b2

% Yllä olevaan kaavaan sijoitetaan saadut arvot,

a = a0 a1 a2

% eli käytännössä prosessorin muistipaikkoihin HEX-muodossa

Butterworthin 2. kertaluvun suotimen kertoimet Matlabista:

[b,a]=butter(2,1000/4000)

b = 800 1600 800

a = 8192 -7723 2731

Elliptinen 2. kertaluvun suotimen kertoimet matlabista:

[b,a]=ellip(2,0.5,80,100/4000)

a = 1

-0.799572105821768

0.361866888992837

b = 0.132777063503984

0.265286378723515

0.132777063503984

a'*2^13

8192

-6550

2964

b'*2^15

4351

8693

4351

% Skaalaus dynamiikan maksimoimiseksi

Suodatinyhtälö on aina sama, kun kyseessä on 2. kertaluvun suodin. Suotimen toimintaa ja tyyppiä pystytään muuttamaan suoraan kertoimia muuttamalla. Edellä on kerrottu Butterworthin ja Elliptisen 2. kertaluvun suotimien kertoimet, sekä skaalattu ne sopiviksi dynamiikan maksimoimiseksi. Edelliset kertoimet muutettiin HEX-muotoon ja kirjoitettiin rekistereihin käsin. Ne olisi voinut laittaa myös erilliseen tiedostoon josta ne olisi voitu ladata suoraan ohjelmaan.

ASM koodi 2. kertaluvun butterworth suotimen toteutuksesta samaa skaalauskerrointa käyttäen

```
filter:
mar *,ar7
lar ar7,#2000h
sac1 * ;Siirretään mittaukset x(n) 2000h -paikkaan
setc sxm ;Etumerkkilaaajennus
lar ar7,#2002h ;Osoitin x(n-2):een
zap
rpt #2
macd 1000h,*- ;Kertoimet b(x) paikassa 1000h-1002h
lar ar7,#2012h ;osoitin y(n-2):een
rpt #2
macd 1007h,*- ;Kertoimet a(x) paikassa 1007h-1009h
apac
lar ar7,#2010h
sac1 * ;siirretään tulos y(n) paikkaan 2010h
rpt #13
sfr ;Jaetaan tulos 2^13
ret
```

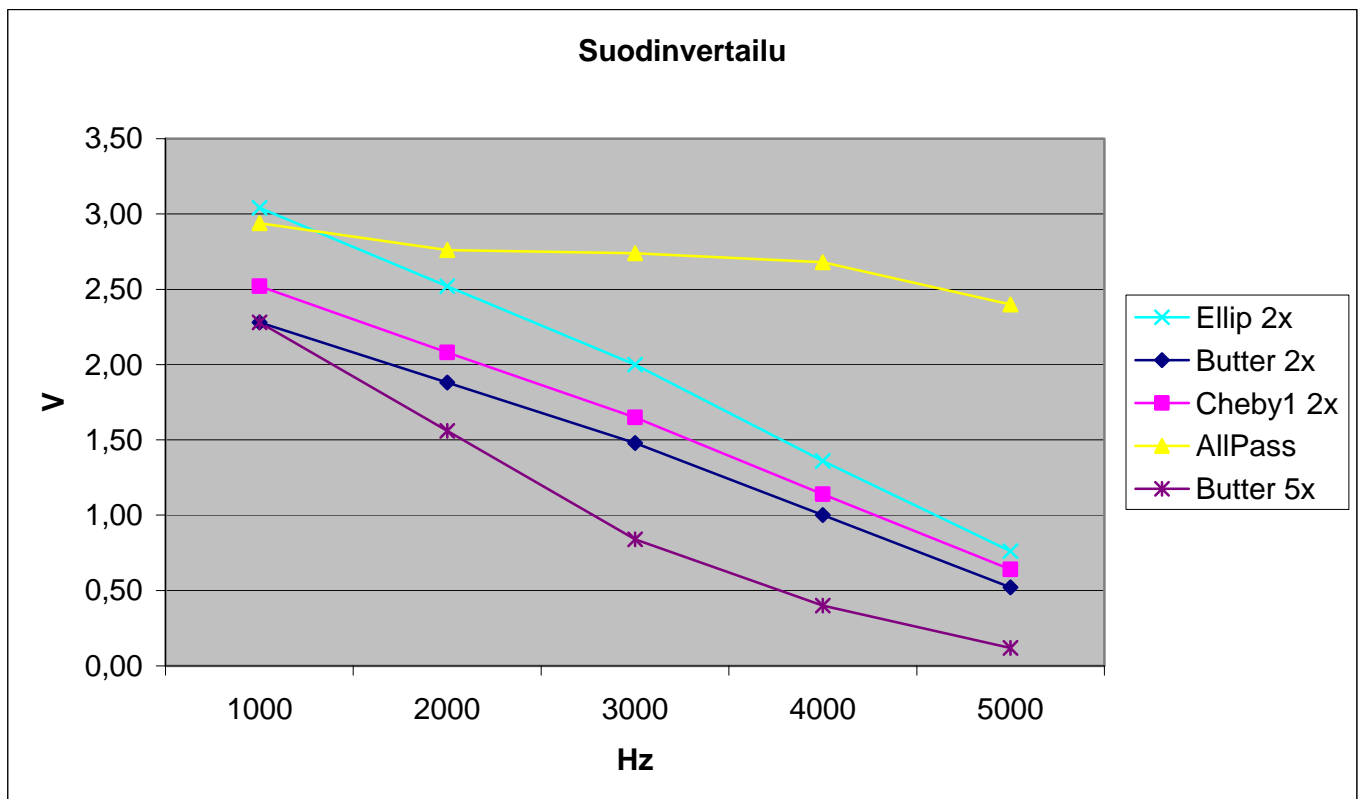
ASM koodi 2. kertaluvun elliptisen suotimen toteutuksesta eri skaalaukertoimia käyttäen

```
filter:
mar *,ar7
lar ar7,#2001h
sac1 * ;Siirretään mittaukset x(n) 2001h -paikkaan
setc sxm ;Etumerkkilaaajennus
lar ar7,#2003h ;Osoitin x(n-2):een
zap
rpt #2
macd 1000h,*- ;Kertoimet b(x) paikassa 1000h-1002h
apac
rpt #14 ;jaetaan tulos 2^15
sfr
sac1 * ;jaettu tulos paikassa #2000h
zap
lar ar7,#2013h ;osoitin y(n-2):een
rpt #2
macd 1007h,*- ;Kertoimet a(x) paikassa 1007h-1009h
apac
sac1 *+ ;tallennetaan paikkaan #2011h
rpt #12 ;jaetaan tulos 2^13
sfr
lar ar7,#2000h
add * ;summataa a(x) ja b(x) tuotos summa akussa
ret
```

Suotimien vertailu

Hz	AllPass	Butter 2x	Butter 5x	Cheby1 2x	Ellip 2x
1000	2,94	2,28	2,28	2,52	3,04
2000	2,76	1,88	1,56	2,08	2,52
3000	2,74	1,48	0,84	1,65	2,00
4000	2,68	1,00	0,40	1,14	1,36
5000	2,40	0,52	0,12	0,64	0,76

Sisään: 3V



Yllä olevan kuvan mittauspisteet on kerätty oskilloskoopin näyttämistä mittaustuloksista. Sisään menevän jännitteen taso oli jokaisessa mittauksessa 3V, joten tulosten pitäisi olla vertailukelpoisia keskenään. Erillisiä oskilloskooppikuvia ei ole tähän raporttiin liitetty, koska ne olisivat olleet huomattavasti epäinformatiivisempia verrattuna yllä olevan kaltaiseen kuvaajaan.

Kuten yllä olevasta kuvasta voidaan huomata, AllPass suotimessakin tapahtuu lievää vaimenemista johtuen piirin 8kHz näytteenottotaajuudesta ja piirin sisäisestä kaistanleveydestä.

Kuvaajassa on verrattu keskenään elliptisen, butterworthin ja cheby1 suotimien eroja, kun kyseessä on 2. kertaluvun suodin. Toteutimme vielä 5. kertaluvun butterworth suotimen, jotta saman suodintyyppin kerroinmäärien vaikutus saadaan tuotua esille.

Suotimien toiminnassa (vaimennuksessa) voidaan havaita eroja. Erot ovat kuitenkin suhteellisen pieniä pienen kertoimien takia. Mikäli olisimme käyttäneet esim 30. kertaluvun butterworth suodinta, olisi vaimennus huomattavasti jyrkempi.