

Tietotekniikan osasto

Digitaaliset suodattimet, 1.11.2013.

Huom: tentissä sallitaan ns. laillinen luntta (A4-kokoinen, käsin kirjoitettu, molemmat puolet voi käyttää).

Jos tehtävässä tarvitaan IIR-suodattimen impulssivaste niin kolmen ensimmäisen nollasta poikkeavan kertoimen laskeminen riittää.

1. Eräs jatkuva-aikainen analoginen signaali muunnetaan digitaaliseksi käyttäen 100kHz näytteistystaajuutta. Signaalin kiinnostava kaista on $[0, 25]$ kHz. Signaalissa on myös korkeampitaajuuksisia taajuuskomponentteja, jotka eivät ole sovelluksen kannalta oleellisia. Muunnoksessa käytetään Butterworth-tyyppistä laskostumisenestosuodatinta, jonka cut-off-taajuus on 25kHz. Kiinnostavalle kaistalle laskostuvia taajuuskomponentteja on vaimennettava vähintään 30dB.

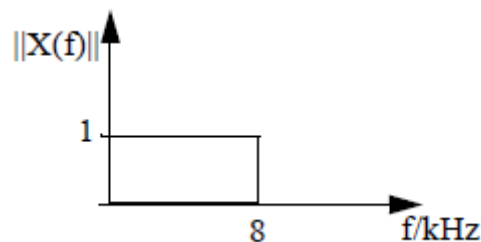
a. Piirrä järjestelmän lohkokaavio ja signaalin spektri sen jokaisen vaiheen jälkeen. (1p)

b. Mikä on oltava suodattimen asteluku vähintään? (2p)

2. Kuvan 1 digitaalisen signaalin näytteistystaajuus on 40kHz. Signaali muunnetaan analogiseksi käyttäen 0-kertaluokan pitoa ja kuvastumisenestoon 2. asteen Butterworth-tyyppistä suodatinta, jonka cut-off-taajuus on 7kHz.

a. Piirrä järjestelmän lohkokaavio ja signaalin spektri 80kHz asti jokaisen lohkon jälkeen. (1p)

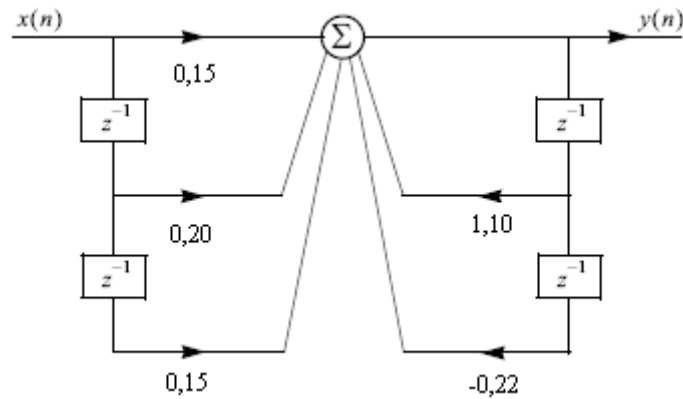
b. Kuinka paljon alin kuvastuva taajuus on vaimentunut järjestelmän lähdössä? Kuinka paljon kiinnostavan kaistan korkein taajuuskomponentti on vaimentunut järjestelmän lähdössä? (2p)



Kuva 1

3. Suunnittele taajuusnäytteistysmenetelmällä rekursiivinen reaalikertoiminen FIR-suodatin. Suodattimen näytteistystaajuus on 800Hz. Taajuusnäytteistys tehdään 100Hz välein. Neljä ensimmäistä taajuusnäytettä ovat $\|H(0)\| = 0$, $\|H(1)\| = 1$, $\|H(2)\| = 0$, $\|H(3)\| = 0$, ja vastaavat vaiheet asteissa $[0, 90, 0, 0]$. (4p)

4. Kuvan 2 suodatin voidaan toteuttaa joko 8 tai 16 bitin akkurekisterillä (suodattimen sananpituus on 8 bittiä). Vertaile näiden toteutustapojen pyöristyskohinatehoja. Piirrä kuva jossa näkyy molempien toteutusten pyöristyskohdat selvästi. (4p)



Kuva 2

5. Suunnittele järjestelmä, joka pudottaa signaalin, jonka kiinnostava kaista on $[0, 1]$ kHz (signaalissa on myös korkeampitaajuuksisia taajuuskomponentteja, jotka eivät ole sovelluksen kannalta oleellisia), näytteistystaajuuden 60kHz:sta 6kHz:iin kahdessa vaiheessa käyttäen mahdollisimman lyhyitä suodattimia. Näytteistystaajuuden muutoksessa käytettävät suodattimet saavat aiheuttaa päästökaistalle maksimissaan 0,1dB virheen ja kiinnostavalle kaistalle laskostuvia taajuuksia on vaimennettava vähintään 50dB. Piirrä järjestelmän lohkokkaavio ja signaalin spektri joka vaiheessa näytteistystaajuuteen asti. Mitkä ovat tarvittavien ikkunamenetelmällä suunniteltavien suodattimien spesifikaatiot (päästö- ja estokaistojen taajuudet ja pituus)? (4p)

$$H(z) = \frac{1 - z^{-N}}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \frac{H(k)}{1 - e^{j2\pi k/N} z^{-1}} = H_1(z)H_2(z)$$

Tyyppi	Δf	A_p	A_s	Ikkunafunktio
Suorakaide	$0.9/N$	0.7416	21	1
Hanning	$3.1/N$	0.0546	44	$0.5 + 0.5 \cos\left(\frac{2\pi n}{N}\right)$
Hamming	$3.3/N$	0.0194	53	$0.54 + 0.46 \cos\left(\frac{2\pi n}{N}\right)$
Blackman	$5.5/N$	0.0017	74	$0.42 + 0.5 \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right) + 0.08 \cos\left(\frac{4\pi n}{N-1}\right)$
Kaiser	$2.93/N$ ($\beta=4.54$) $4.32/N$ ($\beta=6.76$) $5.71/N$ ($\beta=8.96$)	0.0274 0.00275 0.000275	50 70 90	$\frac{I_0(\beta \{1 - [2n/(N-1)]^2\}^{1/2})}{I_0(\beta)}$

$$\|H(f)\| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^{2n}}}$$

$$\text{int}\left[\text{sign}[h(n)] \cdot \left(\frac{\text{abs}[h(n)]}{q} + 0,5\right)\right] \cdot q$$

$$\sigma_{or}^2 = \frac{q^2}{12} \left[\sum_{k=0}^{\infty} f^2(k) \right]$$