T-61.3010 Digitaalinen signaalinkäsittely ja suodatus

2. välikoe / tentti, ti 15.5.2007 klo 16-19. Sali A.
Jos teet **2. välikokeen**, vastaa tehtäviin **1-2.** 2. vk on oikeus tehdä **vain kerran joko 7.5. tai 15.5.**

Jos teet **tentin**, vastaa tehtäviin **2-5.** Tentti on oikeus tehdä **vain kerran joko 7.5. tai 15.5.**

Kirjoita päällimmäisen konseptin alkuun isolla vastaatko **välikokeeseen vai tenttiin!** Rastita myös monivalintalomakkeesta oikea kohta "tentti" tai "välikoe".

Tilaisuudessa ei saa olla omaa taulukkokirjaa. Funktiolaskin / graafinen laskin muistit tyhjennettynä sallittu. Tilaisuudessa jaetaan kurssin taulukkomoniste sekä palautuslomake monivalintatehtävää (joko 1 tai 5) varten.

Kaikki konseptit palautettava, suttupaperit erikseen sekä **monivalintatehtävästä palautetaan erillinen A4-lomake.** Tehtäväpaperin ja taulukkomonisteen voi pitää.

Aloita uusi tehtävä **uudelta sivulta**. Kirjoita laskuissa käytetyt **välivaiheet mukaan**.

Muista myös **kurssipalaute**, josta saa yhden pisteen sekä välikokeeseen että tenttiin. Täytä www-lomake T-osaston palautejärjestelmässä, jonne linkki kurssin kotisivulta `http://www.cis.hut.fi/Opinnot/T-61.3010/`.

1) (**VAIN VÄLIKOE**, 14 x 1p, max 12 p) Monivalinta. Väittämissä on 1-4 oikeaa vastausta, mutta valitse **yksi ja vain yksi.** Täytä **erillisille lomakkeelle**, johon rastita myös, teetkö välikokeen vai tentin.

Oikea valinta +1 p, väärä valinta −0.5 p, ei valintaa 0 p. Perusteluja ei tarvita. Vastaa niin moneen kuin haluat. Tehtävän maksimipistemäärä on 12 ja minimimäärä 0.

1.1 Missä seuraavista tapauksista suodin on aina lineaarivaiheinen?

(A) Äärellisen pitkä impulssivaste on symmetrinen eli $h[n] = h[N-n]$

(B) Reaalikertoimisen FIR-suotimen kaikki nollat ovat yksikköympyrällä

(C) FIR-suotimen jokaista yksikköympyrän sisäpuolista nollaparia $z_{1,2} = r \cdot e^{\pm j\theta}$ vastaa ympyrän ulkopuolinen nollapari $z_{3,4} = (1/r) \cdot e^{\pm j\theta}$, eikä yksikköympyrällä tai reaaliakselilla ole nollia

(D) Suotimen impulssivaste on äärellisen pituinen

1.2 Kuvan 1(a) suodin:

(A) on rakenteeltaan suora muoto II -tyyppinen ("direct form II")

(B) on FIR-tyyppinen

(C) siirtofunktio on

$$H(z) = \frac{2 + 0.25z^{-1}}{1 + 0.25z^{-1} - 0.375z^{-2}}$$

(D) suotimen impulssivasteen $h[n]$ arvo kohdassa $n = 0$ on $h[0] = 1$

1.3 Olkoon LTI-suotimen siirtofunktio

$$H(z) = \frac{1 + 0.5z^{-1}}{1 - 0.2z^{-1} + 1.2z^{-2}}$$

jonka suppenemisalue (ROC) on "normaali" eli uloimman navan ulkopuolinen alue.

(A) Suodin $H(z)$ on piirretty viiveiden suhteen kanonisena suora muoto II ("direct form II") -esityksenä kuvassa 1(b)

(B) Suodin on kokopäästötyyppinen ("allpass")

(C) Suora muoto I -tyyppisenä siinä on kaksi viiverekisteriä (z^{-1})

(D) Suodin on stabiili

1.4 Kuvan 2(a) LTI-suodin, jossa vakiot A ja B,

(A) saadaan lineaarivaiheiseksi valitsemalla A ja B sopivasti positiivisten kokonaislukujen joukosta

(B) suotimen siirtofunktio on $H(z) = [1 + Az^{-1}]/[1 - (A+B)z^{-1}]$

(C) suotimen siirtofunktio on $H(z) = [1 + Az^{-1}]/[B(1+A)z^{-1}]$

(D) mikään ylläolevista ei ole oikein

1.5 Tarkastellaan kuvan 2(b) lohkokaavioesitystä ("block diagram"), jossa kolme LTI-alijärjestelmää $S(z)$, $R(z)$ ja $T(z)$. Suotimen siirtofunktio on

(A) $H(z) = \frac{S(z)+R(z)T(z)}{1-T(z)}$

(B) $H(z) = \frac{S(z)R(z)}{1-S(z)T(z)}$

(C) $H(z) = \frac{R(z)S(z)}{1+S(z)T(z)}$

(D) $H(z) = \frac{R(z)S(z)}{T(z)}$

1.6 Analogisuodin $H(s) = \Omega/(s + \Omega)$, jossa taajuusvääristymäkorjattu ("prewarped") rajataajuus $\Omega = k \cdot 0.5$, muutetaan digitaaliseksi $H(z)$ käyttäen bilineaarimuunnosta. Digitaalinen suodin on

(A) $H(z) = (1/3) \cdot [1 + z^{-1}]/[1 + 0.5z^{-1}]$

(B) $H(z) = (1/3) \cdot [1 + z^{-1}]/[1 - (1/3)z^{-1}]$

(C) $H(z) = 0.5/[0.5 + z^{-1}]$

(D) $H(z) = [1 + z^{-1}]/[1.5 - z^{-1}]$

1.7 FIR-suotimen päästökaistan värähtely on määritelty lineaarisella asteikolla niin, että amplitudivaste voi värähdellä välillä 0.9 ja 1.1, katso kuva 3(a), vasen asteikko.

Kun tarkastelu suoritetaan logaritmisella desibeli-asteikolla niin, että suotimen maksimiarvo skaalataan ensin ykköseksi vastaten 0 dB:tä, niin mikä on päästökaistan tehollinen (neliöllinen) maksimivärähtely? Toisin sanoen mikä on kuvan 3(a) oikeanpuoleisen asteikon α_{max}:n arvo kolmen merkitsevän numeron tarkkuudella? Vinkki: Taulukko "Logarithms".

(A) $\alpha_{max} \approx 1.74$ dB

(B) $\alpha_{max} \approx 3.01$ dB

(C) $\alpha_{max} \approx 20.0$ dB

(D) $\alpha_{max} \approx 40.0$ dB

1.8 Suunnitellaan Matlabissa digitaalista elliptistä alipäästösuodinta. Annettujen vaatimusten perusteella sen minimiasteluvuksi tulee $N = 11$ (`ellipord`). Jos suotimen kerroinvektorit `B` ja `A` lasketaan (`ellip`) asteluvulla $N = 22$,

(A) suodin ei enää toteuta annettuja vaatimuksia vaimennusten suhteen

(B) suodin tulee liian raskaaksi toteuttaa ja käyttää käytännössä

(C) siirtymäkaista ("transition band") tulee kapeammaksi

(D) suotimen rajataajuus (-taajuudet `Wp`, `Ws`) kasvaa kaksinkertaiseksi

1.9 Matlabissa halutaan laskea 128 merkkiä pitkän jonon $x[n]$ (muuttuja `x`) diskreetti Fourier-muunnos (DFT-128) ja piirtää siitä spektri $|X(e^{j\omega})|$. Mikä seuraavista komentojonoista on tuottanut spektrikuvaajan kuvaan 3(b)?

(A) `xF = fft(x); w = [0 : pi]; plot(w, abs(xF));`

(B) `xF = fft(x); f = [0 : pi/128 : 2]; stem(f, 20*log10(abs(xF)));`

(C) `xF = fft(x); M = length(xF); f = 2 * [0 : M-1] / M; plot(f, 20*log10(abs(xF)));`

(D) `xF = fft(x); w = [ 0 : pi/64 : 2*pi-pi/128]; plot(abs(xF));`

1.10 Ideaalisen ylipäästösuotimen $H_{HP}(z)$ rajataajuus on $\omega_c = \pi/4$. Tällöin

(A) $h_{HP}[0] = 0$

(B) $h_{HP}[0] = 0.25$

(C) $h_{HP}[0] = 0.75$

(D) $h_{HP}[0] = 1$

1.11 Äärelliseen sananpituuteen ("finite wordlength") liittyvä suotimen rajavärähtely ("limit cycle")

(A) liittyy olennaisena osana monen näytteenottotaajuuden ("multirate") systeemeihin

(B) on kuvaus, jolla stabiili analogisuodin $H(s)$ saadaan stabiiliksi digitaaliseksi suotimeksi $H(z)$

(C) ei ole olemassa FIR-suotimilla

(D) tekee IIR-suotimet käytännön tehtäviin mahdottomiksi, mistä syystä todellisuudessa käytetään aina FIR-suotimia

1.12 Jaksollinen lukujono ($N_0 = 3$) $x[n] = \{\ldots, \underline{7}, 1, -2, \ldots\}$ laitetaan digitaalijärjestelmään

$x[n] \rightarrow \boxed{\uparrow 3} \rightarrow \boxed{\downarrow 4} \rightarrow y[n]$

Mitä tulee ulos?

(A) $y[n] = \{\ldots, \underline{7}, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, \ldots\}$, jossa jakso $N_0 = 12$

(B) $y[n] = \{\ldots, \underline{7}, 0, 0, 1, 0, 0, -2, 0, 0, \ldots\}$, jossa jakso $N_0 = 9$

(C) $y[n] = \{\ldots, \underline{7}, 1, -2, 0, \ldots\}$, jossa jakso $N_0 = 4$

(D) mikään ylläolevista ei ole oikein

1.13 Tarkastellaan sekvenssiä $x[n]$, joka on kuvan 4 ylärivillä. Sekvenssi $x[n]$ syötetään monen näytteenottotaajuuden ("multirate") digitaalijärjestelmään $x[n] \rightarrow \boxed{\downarrow 4} \rightarrow y[n]$.

Mikä kuva vastaa parhaiten ulostulon spektriä $|Y(e^{j\omega})|$?

(A) Kuvan 4 alarivin ensimmäinen vasemmalta

(B) Kuvan 4 alarivin toinen

(C) Kuvan 4 alarivin kolmas

(D) Kuvan 4 alarivin neljäs

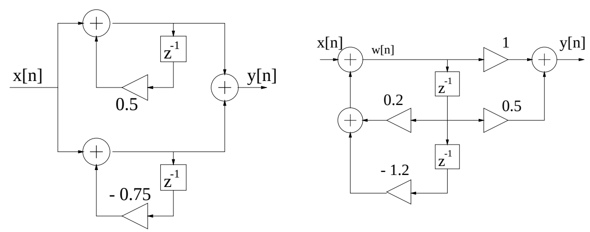
1.14 Digitaalisen sekvenssin näytteenottotaajuutta halutaan nostaa (3/2)-osaan alkuperäisestä. Kun käytössä on sopivat "anti-alias" ja "anti-imaging" suotimet $H_i(z)$, niin mikä järjestely tuottaa oikean lopputuloksen?

(A) $x[n] \rightarrow \boxed{H_D(z)} \rightarrow \boxed{\downarrow 2} \rightarrow \boxed{\uparrow 3} \rightarrow y[n]$

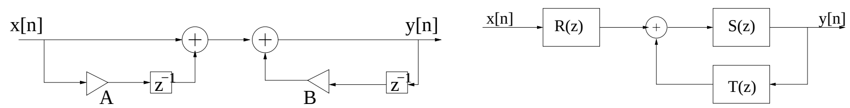
(B) $x[n] \rightarrow \boxed{\uparrow 3} \rightarrow \boxed{\downarrow 2} \rightarrow \boxed{H_I(z)} \rightarrow y[n]$

(C) $x[n] \rightarrow \boxed{\uparrow 3} \rightarrow \boxed{H(z)} \rightarrow \boxed{\downarrow 2} \rightarrow y[n]$

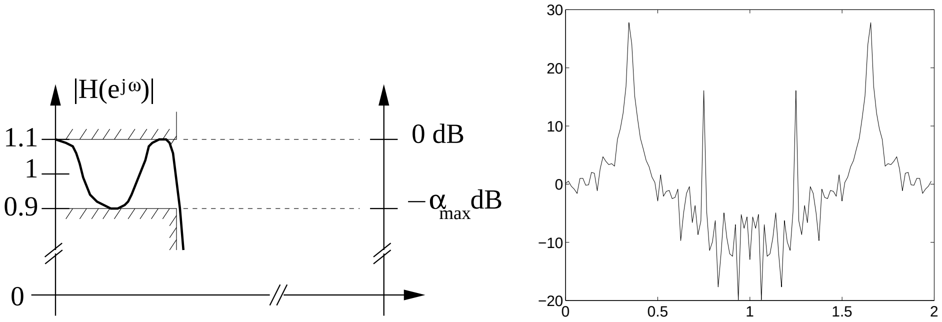
(D) $x[n] \rightarrow \boxed{\downarrow 2} \rightarrow \boxed{H(z)} \rightarrow \boxed{\uparrow 3} \rightarrow y[n]$



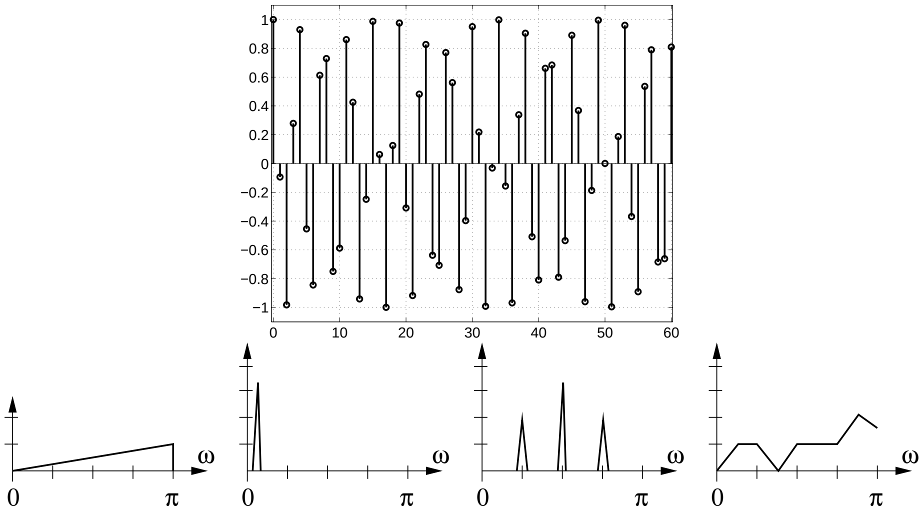
Kuva 1: (a) ja (b): Monivalintatehtävien 1.2 ja 1.3 kuvia.



Kuva 2: (a) ja (b): Monivalintatehtävien 1.4 ja 1.5 kuvia.



Kuva 3: (a) ja (b): Monivalintatehtävien 1.7/5.13 ja 1.9 kuvia.



Kuva 4: Ylärivi: sekvenssi $x[n]$, alarivi: **(A)** , **(B)** , **(C)** , **(D)** : Monivalintatehtävän 1.13 kuvia.

2) (**VÄLIKOE ja TENTTI**, 6p) Essee: Ikkunafunktiot ja niiden käyttö.

Ohjeistus: Käytä selkeää ja tarpeeksi **isoa** käsialaa. Jaottele tekstisi kappaleisiin. Jos hahmottelet kuvia, muista selittää ne. Luettavuus on yksi arviointikriteeri.

3) (**TENTTI**, 6p) LTI-suodin voidaan esittää nollien ja napojen avulla

$$H(z) = G \cdot \frac{\prod_{m=1}^{M}(1 - d_m z^{-1})}{\prod_{n=1}^{N}(1 - p_m z^{-1})}$$

kuten oheisessa kaavakokoelmassa kohdassa "LTI filter analysis". Tutkitaan kausaalista ja stabiilia IIR-suodinta, jonka nollat ovat kohdissa $d_1 = 0.9 + 0.1j$, $d_2 = 0.9 - 0.1j$, $d_3 = -0.9 + 0.1j$ ja $d_4 = -0.9 - 0.1j$, sekä navat kohdissa $p_1 = -0.1 + 0.9j$, $p_2 = 0.1 + 0.9j$, $p_3 = -0.1 - 0.9j$ ja $p_4 = 0.1 - 0.9j$. Suotimen rakenne on kuvassa 5(a).

a) Piirrä napanollakuvio ja hahmottele suotimen magnitudivaste $|H(e^{j\omega})|$ alueella $0 \ldots \pi$.

b) Määritä siirtofunktio $H(z)$ muodossa

$$H(z) = K \cdot \frac{1 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \ldots + b_N z^{-M}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \ldots + a_M z^{-N}}$$

jossa kertoimet b_i, $a_i \in \mathbb{R}$. Määritä vahvistuskerroin K niin, että magnitudivasteen maksimi on 1. Oletetaan täällä, että päästökaista on tasainen (vaikka se oikeasti tarkasti otettuna ei olekaan) ja $|H(e^{j\omega})|$:n maksimi saavutetaan päästökaistan puolivälissä. Mitä ovat arvot N ja M? Mikä on suotimen asteluku?

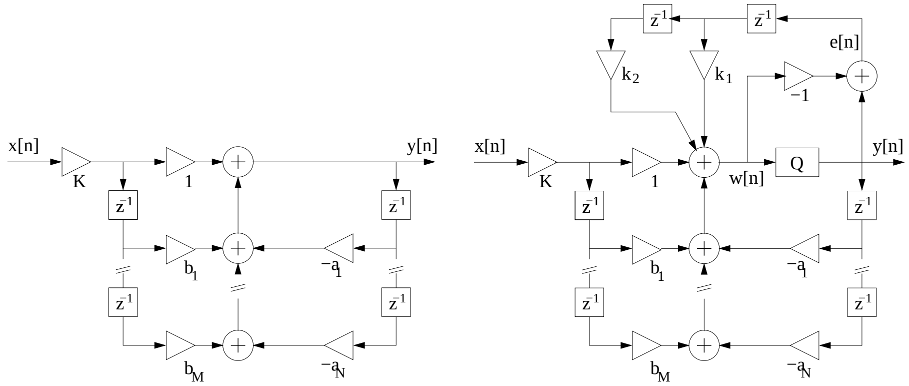
Tutkitaan vielä äärellisen sananpituuden vaikutuksia. Sama suodin varustettuna toisen asteen virhettä muokkaavalla suotimella ("error-shaping", "error feedback") kertoimien k_1 ja k_2 kera on piirretty kuvaan 5(b).

Sisääntulevat luvut esitetään B:n bitin avulla kiinteän pilkun ("fixed-point") aritmetiikassa. Kertolaskujen jälkeen bittien lukumäärä on $2B$. Jotta ulostulossa olisi B bittiä, tarvitaan $w[n]$:n arvoja kvantisoida (lohko Q). Syntynyttä kvantisointivirhettä voidaan muokata virheen takaisinkytkentää hyväksikäyttämällä.

c) Kirjoita differenssiyhtälöt, jotka kuvaavat koko järjestelmän – mukaanlukien virheen takaisinkytkentä – laskentaa.

d) Oletetaan, että kvantisointikohina $e[n]$ on valkoista eli spektri on tasainen $E(z) = 1$ kaikilla taajuuksilla. Miltä suotimen kokonaisvirhe $E_{tot}(z) = H_e(z)E(z)$ näyttää, jos kompensaatiota ei käytetä eli $k_1 = 0$ ja $k_2 = 0$.

e) Määrittele lopuksi yksinkertaiset arvot kertoimille k_1 ja k_2 niin että koko virheen vaikutukset vähenevät päästökaistalla.



Kuva 5: Tehtävä 3: (a) Suodin $H(z)$. Huomaa, että vain osa kertoimista on piirretty. (b) Sama suodin yhdistettynä toisen asteen virheen takaisinkytkennällä.

4) (**VAIN TENTTI**, 6p) Tutkitaan kolmen LTI-järjestelmän sarjaankytkentää kuvassa 6. Tiedetään, että

$$h_2[n] = \delta[n-2] - \delta[n-3]$$

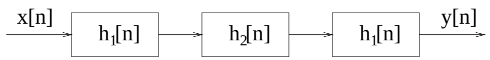
ja koko kaskaadijärjestelmä

$$h[n] = \delta[n] - 7\delta[n-1] + 19\delta[n-2] - 25\delta[n-3] + 16\delta[n-4] - 4\delta[n-5]$$

a) Mikä on suotimen $h_1[n]$ impulssivaste? Muista näyttää tarvittavat välivaiheet!

b) Piirrä $h_1[n]$:n ja $h_2[n]$:n napanollakuviot sekä hahmottele niiden amplitudivasteet $|H_i(e^{j\omega})|$.

c) Osoita, että suodin $h_2[n]$ on lineaarivaiheinen. Mikä on sen ryhmäviive $\tau(\omega)$?



Kuva 6: Tehtävän 4 kaskaadikytkentä.

5) (**VAIN TENTTI**, 14 x 1p, max 12 p) Monivalinta. Väittämissä on 1-4 oikeaa vastausta, mutta valitse **yksi ja vain yksi.** Täytä **erillisille lomakkeelle**, johon rastita myös, teetkö välikokeen vai tentin.

Oikea valinta +1 p, väärä valinta −0.5 p, ei valintaa 0 p. Perusteluja ei tarvita. Vastaa niin moneen kuin haluat. Tehtävän maksimipistemäärä on 12 ja minimimäärä 0.

5.1 Tutkitaan diskreettiaikaista järjestelmää $y[n] = 3x[3n]$:
(A) se on lineaarinen
(B) se on aikainvariantti
(C) se on kausaalinen
(D) mikään ylläolevista ei ole oikein

5.2 Sekvenssin $x[n] = \cos(0.2\pi n) + 2\sin(0.4\pi n) - \sin(0.5\pi n)$ normalisoitu peruskulmataajuus ω_0:
(A) $\omega_0 = 0.1\pi$
(B) $\omega_0 = 0.2\pi$
(C) $\omega_0 = 0.5\pi$
(D) $\omega_0 = 2\pi$

5.3 Kausaalisen LTI-suotimen äärettömän pitkä impulssivaste on $h[n] = 0.5\delta[n] - 0.5\delta[n-1] + 0.5\delta[n-2] - 0.5\delta[n-3] + 0.5\delta[n-4] - 0.5\delta[n-5] + \ldots$
(A) suodin on stabiili
(B) suodin on FIR-tyyppinen
(C) suotimen rakenteessa on takaisinkytkentä
(D) mikään ylläolevista ei ole oikein

5.4 Lasketaan sekvenssien $h[n] = \delta[n] + \delta[n-2]$ ja $x[n] = -\delta[n] + \delta[n-1] - 2\delta[n-2]$ lineaarinen konvoluutio $y[n] = h[n] \circledast x[n]$?
(A) $y[n]$ on 6 merkkiä pitkä
(B) $y[n] = -\delta[n] + \delta[n-1] - 2\delta[n-2] + \delta[n-3] + 2\delta[n-4]$
(C) $y[n] = -\delta[n] + \delta[n-1] - 3\delta[n-2] + \delta[n-3] - 2\delta[n-4]$
(D) mikään ylläolevista ei ole oikein

5.5 Mikä on kausaalisen ja stabiilin siirtofunktion

$$H(z) = \frac{1 + z^{-3}}{1 + 0.2z^{-1}}$$

käänteismuunnoksen $h[n]$ arvo kohdassa $n = 4$ kolmen merkitsevän numeron tarkkuudella?
(A) $h[4] \approx -0.198$
(B) $h[4] \approx 0.00960$
(C) $h[4] \approx 0.202$
(D) $h[4] \approx 1.67$

5.6 Katso jatkuva-aikaisen reaalisen signaalin spektriä $|X(j\Omega)|$ kuvan 7 ylärivillä. Näytteistetään taajuudella $f_T = 10$ kHz. Sekvenssin $x[n]$ spektri on kuvan 7 alarivin
(A)
(B)
(C)
(D)

5.7 Suotimen

$$H(z) = \frac{1 + 0.2z^{-1}}{1 + 0.2z^{-1} - 0.35z^{-2}}$$

(A) navat ovat kompleksikonjugaatteja eli $p_1 = re^{j\theta}$ ja $p_2 = re^{-j\theta}$
(B) asteluku on 3
(C) toinen napa on kohdassa $p_1 = -0.7$
(D) nolla on kohdassa $z_1 = 0.2$

5.8 Tunnetaan LTI-suodin, jonka differenssiyhtälö on $y[n] - 0.3y[n-1] + 0.8y[n-2] = x[n] + 0.1x[n-4]$.
(A) suotimella on kaksi ja vain kaksi nollaa yksikköympyrän sisäpuolella
(B) suotimella on kaksi ja vain kaksi napaa yksikköympyrän sisäpuolella
(C) suotimella on neljä ja vain neljä napaa origon ulkopuolella
(D) suotimen asteluku on kaksi

5.9 Suotimen taajuusvaste on $H(e^{j\omega}) = 0.5\,e^{4j\omega} + 1$
(A) impulssivaste on 4 merkkiä pitkä
(B) suotimen nollat ovat tasavälisesti samalla ympyrän kaarella
(C) suotimen maksimiarvo saadaan taajuudella $\omega = \pi/4$
(D) suodin on kausaalinen

5.10 Minimivaiheinen (“minimum-phase”) suodin
(A) on aina FIR-tyyppinen
(B) navat ovat yksikköympyrällä
(C) kaikki nollat ovat origossa
(D) mikään ylläolevista ei ole oikein

5.11 Suodin

$$H(z) = 1 + 0.2z^{-1} - 0.2z^{-2} + 0.04z^{-3} - 0.2z^{-4}$$

voidaan esittää monivaihetoteutuksena (“polyphase”) muodossa

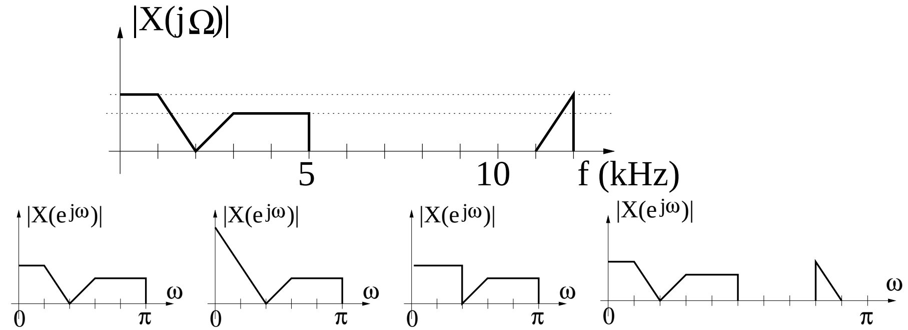
$$H(z) = H_1(z^3) + z^{-1}H_2(z^3) + z^{-2}H_3(z^3)$$

jossa
(A) $H_1(z) = 1.04$, $H_2(z) = 0$ ja $H_3(z) = -0.2$
(B) $H_1(z) = 1 + 0.04z^{-1}$, $H_2(z) = 0.2 - 0.2z^{-1}$ ja $H_3(z) = -0.2$
(C) $H_1(z) = 1 - 0.2z^{-2}$, $H_2(z) = 0.2 + 0.04z^{-2}$ ja $H_3(z) = -0.2z^{-2}$
(D) $H_1(z) = 1 + 0.04z^{-3}$, $H_2(z) = 0.2z^{-1} - 0.2z^{-4}$ ja $H_3(z) = -0.2z^{-2}$

5.12 Analogisuodin $H(s) = \Omega/(s + \Omega)$, jossa taajuusvääristymäkorjattu (“prewarped”) rajataajuus $\Omega = k \cdot 0.5$, muutetaan digitaaliseksi $H(z)$ käyttäen bilineaarimuunnosta. Digitaalinen suodin on
(A) $H(z) = (1/3) \cdot [1 + z^{-1}]/[1 + 0.5z^{-1}]$
(B) $H(z) = (1/3) \cdot [1 + z^{-1}]/[1 - (1/3)z^{-1}]$
(C) $H(z) = 0.5/[0.5 + z^{-1}]$
(D) $H(z) = [1 + z^{-1}]/[1.5 - z^{-1}]$

5.13 FIR-suotimen päästökaistan värähtely on määritelty lineaarisella asteikolla niin, että amplitudivaste voi värähdellä välillä 0.9 ja 1.1, katso kuva 3(a), vasen asteikko. Kun tarkastelu suoritetaan logaritmisella desibeli-asteikolla niin, että suotimen maksimiarvo skaalataan ensin ykköseksi vastaten 0 dB:tä, niin mikä on päästökaistan tehollinen (neliöllinen) maksimivärähtely? Toisin sanoen mikä on kuvan 3(a) oikeanpuoleisen asteikon α_{max}:n arvo kolmen merkitsevän numeron tarkkuudella? Vinkki: Taulukko “Logarithms”.
(A) $\alpha_{max} \approx 1.74$ dB
(B) $\alpha_{max} \approx 3.01$ dB
(C) $\alpha_{max} \approx 20.0$ dB
(D) $\alpha_{max} \approx 40.0$ dB

5.14 Digitaalisen sekvenssin näytteenottotaajuutta halutaan nostaa (3/2)-osaan alkuperäisestä. Kun käytössä on sopivat “anti-alias” ja “anti-imaging” suotimet $H_i(z)$, niin mikä järjestely tuottaa oikean lopputuloksen?
(A) $x[n] \rightarrow \boxed{H_D(z)} \rightarrow \boxed{\downarrow 2} \rightarrow \boxed{\uparrow 3} \rightarrow y[n]$
(B) $x[n] \rightarrow \boxed{H_I(z)} \rightarrow \boxed{\uparrow 3} \rightarrow \boxed{\downarrow 2} \rightarrow y[n]$
(C) $x[n] \rightarrow \boxed{\uparrow 3} \rightarrow \boxed{H(z)} \rightarrow \boxed{\downarrow 2} \rightarrow y[n]$
(D) $x[n] \rightarrow \boxed{\downarrow 2} \rightarrow \boxed{H(z)} \rightarrow \boxed{\uparrow 3} \rightarrow y[n]$



Kuva 7: Monivalintatehtävän 5.6 kuvia. Ylärivi: jatkuva $X(j\Omega)$, alarivi: vaihtoehdot **(A)** , **(B)** , **(C)** , **(D)**