

1. (Kynä & paperi) Tavoitteena on pudottaa 24 kHz signaalin näytteenottotaajuus kolmeen kilohertsiin. Signaalin olennaisin informaatio sijaitsee taajuuskaistalla 0 – 1000 Hz, joka tulee siis ehdottomasti säilyttää.

Selvitä tarvittavien suodinten kertoimien yhteismäärä eri multistage-toteutuksissa (3 kpl riittää, jos tutkitaan vain ne tapaukset, joissa desimointikertoimet ovat laskevassa järjestyksessä), kun ali-päästösuotimet suunnitellaan Blackman-ikkunalla (jolloin  $N = 5.5/\Delta f$ ).

$$24 \text{ kHz} \rightarrow 3 \text{ kHz}$$

$$\downarrow M=8$$

$$\text{Eri multistage} = 2 \times 4$$

$$4 \times 2$$

$$8$$

$$\text{päästökaista: } [0, 1 \text{ kHz}]$$

$$1. X(n) \rightarrow [H_1(z)] \rightarrow \downarrow 8 \rightarrow y(n)$$

$$\text{estokaista } \left[\frac{1}{16}, \frac{1}{2}\right] \cdot 24 \text{ kHz} = \left[\frac{3}{2} \text{ kHz}, 12 \text{ kHz}\right] \quad \text{siirtymäkaista } \left[1, \frac{3}{2}\right] \text{ kHz}$$

$$\Delta f = \left(\frac{3}{2} \text{ kHz} - 1 \text{ kHz}\right) / 24 \text{ kHz} = \frac{1}{48}$$

$$\text{Normaalisoitu } \left[\frac{1}{24}, \frac{1}{16}\right]$$

$$N = 5.5 / \Delta f = 264 \approx 265$$

$$2. X(n) \rightarrow [H_1(z)] \rightarrow \downarrow 2 \rightarrow [H_2(z)] \rightarrow \downarrow 4 \rightarrow y(n)$$

$$\text{estokaista 1: } \left[\frac{1}{4}, \frac{1}{2}\right] \cdot 24 \text{ kHz} = [6 \text{ kHz}, 12 \text{ kHz}]$$

$$\Delta f_1 = (6 \text{ kHz} - 1 \text{ kHz}) / 24 \text{ kHz} = \frac{5}{24}$$

$$N = 5.5 / \Delta f = 26.4 \approx 27$$

$$\text{estokaista 2: } \left[\frac{1}{8}, \frac{1}{2}\right] \cdot 12 \text{ kHz} = \left[\frac{3}{2} \text{ kHz}, 6 \text{ kHz}\right]$$

$$\Delta f = \left(\frac{3}{2} \text{ kHz} - 1 \text{ kHz}\right) / 12 \text{ kHz} = \frac{1}{24} \text{ kHz}$$

$$N = 5.5 / \Delta f = 132 \approx 133 \quad \Sigma N = 160$$

$$3. X(n) \rightarrow [H_2(z)] \rightarrow \downarrow 4 \rightarrow [H_2(z)] \rightarrow \downarrow 2 \rightarrow y(n)$$

$$\text{estokaista 1: } \left[\frac{1}{8}, \frac{1}{2}\right] \cdot 24 \text{ kHz} = [3 \text{ kHz}, 12 \text{ kHz}]$$

$$\Delta f = (3 \text{ kHz} - 1 \text{ kHz}) / 24 \text{ kHz} = \frac{1}{12}$$

$$N = 5.5 / \Delta f \approx 67$$

$$\text{estokaista 2: } \left[\frac{1}{4}, \frac{1}{2}\right] \cdot 6 \text{ kHz} = \left[\frac{3}{2} \text{ kHz}, 3 \text{ kHz}\right]$$

$$\Delta f = \left(\frac{3}{2} \text{ kHz} - 1 \text{ kHz}\right) / 6 \text{ kHz} = \frac{1}{12}$$

$$N = 5.5 / \Delta f \approx 67$$

$$\Sigma N = 134$$



2. (Kynä & paperi) Kuinka monta kertolaskua kukin edellisistä toteutuksista tarvitsee sekunnissa (MPS, multiplications per second)? Tämä saadaan laskettua kaavasta

$$MPS = \sum_{i=1}^I N_i F_i$$

missä  $I$  on desimointilohkojen lukumäärä,  $N_i$  on  $i$ -nnen lohkon kertoimien määrä ja  $F_i$  on  $i$ -nnen lohkon sisääntulevan signaalin näytteenottotaajuus.

Tapaus 1.  $X(n) \rightarrow [H_1(z)] \rightarrow [\downarrow 8] \rightarrow y(n)$ .

$$MPS = \sum_{i=1}^I N_i F_i = \sum_{i=1}^1 265 \cdot 24 \text{ kHz} = 6360.$$

24 kHz

Tapaus 2.  $X(n) \rightarrow [H_1(z)] \xrightarrow{12 \text{ kHz}} [\downarrow 2] \rightarrow [H_2(z)] \rightarrow [\downarrow 4] \rightarrow y(n)$ .

$$MPS = \sum_{i=1}^2 N_i F_i = 27 \cdot 24 \text{ kHz} + 133 \cdot 12 \text{ kHz} = 2244$$

Tapaus 3.  $X(n) \rightarrow [H_1(z)] \xrightarrow{8 \text{ kHz}} [\downarrow 2] \rightarrow [H_2(z)] \rightarrow [\downarrow 2] \rightarrow y(n)$ .

$$MPS = \sum_{i=1}^2 N_i F_i = 67 \cdot 24 \text{ kHz} + 67 \cdot 8 \text{ kHz} = 2144$$