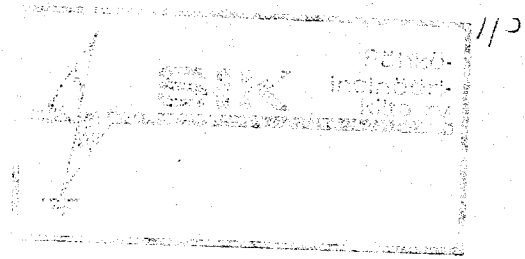


DIGITAALISET SUODATTIMET 521337A

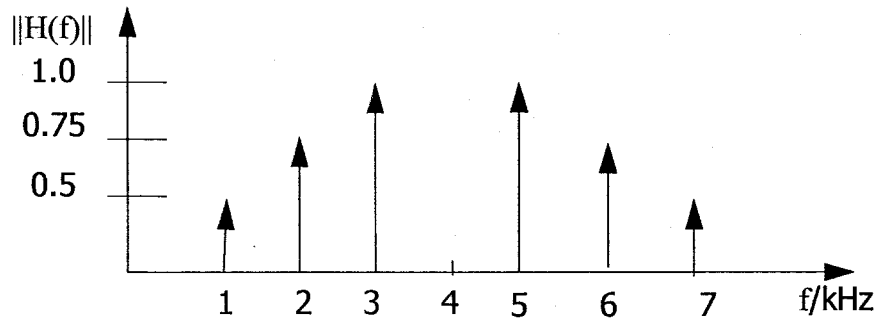
Tentti 23.11.2004



Huom: tentissä sallitaan käsin kirjoitettu "laillinen lunta", joka on maksimissaan yhden A4-arkin kokoinen ja molemmin puolin täytetty

0. Onko sinulla lisäpisteitä viime kevään kurssin kotitehtävistä/harjoitustyöstä?
Do you have additional points from the course arranged last Spring? (0p)

1. Erään 8 kHz:llä näytteistetyyn digitaaliseen signaaliin spektri on
The spectrum of a digital signal sampled at 8 kHz rate is the following



a. Piirrä signaalin spektri ennen näytteistystä.

Plot the spectrum of the signal before it was sampled. (2p)

b. Signaali muunnetaan analogiseksi nolannan kertaluokan pitoa käyttäen. Piirrä analogisen signaalin spektri 12 kHz asti.

The signal is transformed into analog domain using zero-order hold. Plot the spectrum of the analog signal until 12 kHz. (3p)

c. Saadun analogisen signaalin ensimmäistä kuvastuvaa taajuuskomponenttia on vaimennettava yhteensä vähintään 50 dB ja ylin kiinnostava taajuus saa vaimentua yhteensä korkeintaan 3 dB. Määritä tarvittavan Butterworth-tyyppisen kuvastumisenestosuodattimen spesifikaatiot.

The first imaging component of the obtained analog signal must be attenuated by at least 50 dB altogether and the highest interesting frequency may be attenuated at most 3 dB in total. Determine the specifications of the needed Butterworth-type anti-imaging filter.

(3p)

Butterworth-suodattimen amplitudivaste on/ The amplitude response of Butterworth filter is

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

2. Erään FIR-suodattimen amplitudivaste on $\|H(n)\| = \{0, 2^{0.5}, 0, 2^{0.5}\}$ ja vaihevaste $\Phi(n) = \{0, \pi/4, 0, -\pi/4\}$. Määritä suodattimen impulssivaste. Onko vaihevaste lineaarinen, perustele?

The amplitude response of a FIR filter is $\|H(n)\| = \{0, 2^{0.5}, 0, 2^{0.5}\}$ and phase response $\Phi(n) = \{0, \pi/4, 0, -\pi/4\}$. Determine the impulse response of the filter. Is the phase response linear, explain why? (3p)

3. Erään digitaalisen IIR-suodattimen näytteistystaajuus on 16kHz ja siirtofunktio
The sampling rate of a digital IIR-filter is 16kHz and its transfer function is

$$H(z) = H_1(z) \cdot H_2(z) = \frac{z^2 + 1}{z^2 + 0.42z - 1} \cdot \frac{z - 0.707}{z^2 - 0.5}$$

Määritä suodattimen lohkon $H_2(z)$ amplitudi- ja vaihevasteet ja piirrä ne taajuuksilla $0, \pi/4, \pi/2, 3\pi/4$ ja π

Determine the amplitude and phase response of the section $H_2(z)$ of the filter and plot them at frequencies $0, \pi/4, \pi/2, 3\pi/4$ and π . (4p)

4. Erään digitaalisen FIR-alipäästösuodattimen spesifikaatiot ovat seuraavat

The specifications of a digital FIR low pass filter are the following

- näytteistystaajuus/sampling frequency 100 kHz
- päästökaistan rajataajuus/passband edge frequency 24 kHz
- estokaistan rajataajuus/stopband edge frequency 30 kHz
- estokaistan vaimennus/stopband attenuation > 52 dB

- a. Suunnittele suodattimen toteutus ikkunamenetelmällä ja laske suodattimelle kolme kerrointa.

Design the filter using the window method and determine three coefficients for the filter. (3p)

- b. Kun suodattimen suunnittelussa otetaan huomioon kertoimien pyöristysvirheet, mikä on toteutuksessa tarvittava sananpituus? Mikä on suodattimen estokaistan minimivaimennus (desibeleinä) valitsemallasi sananpituudella?

When you take the coefficient rounding errors into account in your design, what is the wordlength you need for implementing the filter? What is the minimum stopband attenuation (in decibels) of your filter when that wordlength is used? (3p)

5. Eräs signaali näytteistetään alunperin 24 kHz taajuudella, joskin sen kiinnostava taajuuskaista on vain $[0, 1.6]$ kHz. Näytteistystaajuus pudotetaan kahdessa vaiheessa 6 kHz:iin. Määritä tarvittavien suodattimien spesifikaatiot ja piirrä ratkaisusi lohkokkaavio. Näytteistysnopeuden pudottaminen saa lisätä päästökaistan rippeliä korkeintaan 0.1 dB ja laskostumisvirheiden on vaimennuttava vähintään 48 dB

A signal is initially sampled at 24 kHz frequency, although its interesting frequency band is limited to $[0, 1.6]$ kHz. The sampling frequency is dropped to 6kHz in two stages. Determine the specifications of the necessary filters and draw a block diagram of your solution. The drop in the sampling frequency may not add more than 0.1dB of ripple in the interesting band and the aliasing errors must be attenuated at least by 48 dB. (3p)

Table 1: Summary of important features of common window functions

Name of the window function	Transition width (Hz) Normalized	Pass-band ripple (dB)	Main lobe relative to side lobe (dB)	Stopband attenuation (max)	Window function, $w(n), n \leq \frac{N-1}{2}$
Rectangular	$0.9/N$	0.7416	13	21	1
Hanning	$3.1/N$	0.0546	31	44	$0.5 + 0.5 \cdot \cos \frac{2\pi n}{N}$
Hamming	$3.3/N$	0.0194	41	53	$0.54 + 0.46 \cos \frac{2\pi n}{N}$
Blackman	$5.5/N$	0.0017	57	74	$0.42 + 0.5 \cos \frac{2\pi n}{N-1} + 0.08 \cos \frac{4\pi n}{N-1}$
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	$\frac{I_0\left(\beta \cdot \left\{1 - \left[\frac{2n}{N-1}\right]^2\right\}^{1/2}\right)}{I_0(\beta)}$

Table 2: Summary of ideal impulse responses for standard frequency selective filters

Filter type	$h_D(n), n \neq 0$	$h_D(0)$
Lowpass	$2f_c \cdot \frac{\sin(n\omega_c)}{n\omega_c}$	$2f_c$
Highpass	$-2f_c \cdot \frac{\sin(n\omega_c)}{n\omega_c}$	$1 - 2f_c$
Bandpass	$2f_2 \cdot \frac{\sin(n\omega_2)}{n\omega_2} - 2f_1 \cdot \frac{\sin(n\omega_1)}{n\omega_1}$	$2(f_2 - f_1)$
Bandstop	$2f_1 \cdot \frac{\sin(n\omega_1)}{n\omega_1} - 2f_2 \cdot \frac{\sin(n\omega_2)}{n\omega_2}$	$1 - 2(f_2 - f_1)$