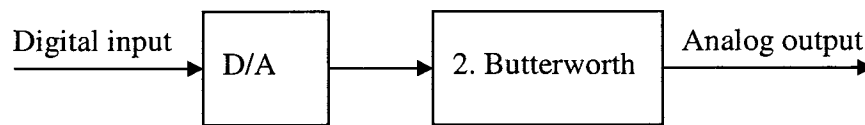


## DIGITAALISET SUODATTIMET 52337S

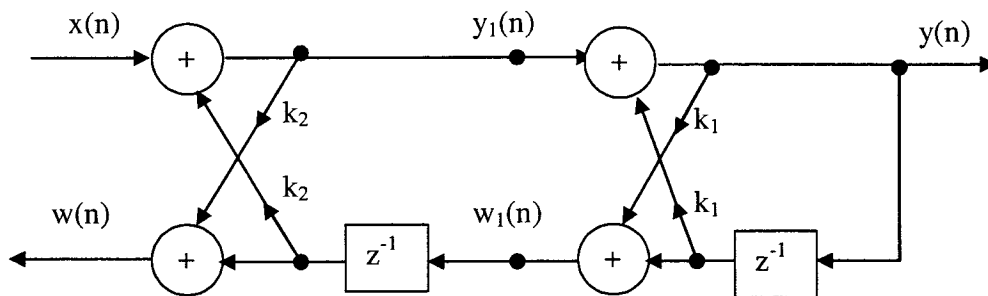
### Tentti 7.3.2003

TENTISSÄ SAA OLLA MUKANA NS. LAILLINEN LUNTTA (YKSI A4-ARKKI MOLEMMIN PUOLIN KÄSIN KIRJOITETTUNA).

1. Kuvan järjestelmä sisältää D/A-muuntimen ja 2-asteen Butterworth suodattimen. Järjestelmän syöte on digitaalinen audiosignaali, jonka kiinnostava kaista ulottuu 20 kHz:iin. D/A-muuntimen muunnostajuus on 80 kHz:iä. Butterworth-suodattimen cutoff-taajuus on 30 kHz:in kohdalla. Kuinka paljon siihen verrattuna vaimenee alin kuvastustaajuus? (4p)



2. a) Laske diskreetti Fourier-muunnos signaalille  $a(n) = \{1, 0.5, 1, 0\}$ . (2p)  
b) Jos edellä mainitut ovat FIR-suodattimen kertoimet, piirrä kyseisen suodattimen amplitudi- ja vaihevasteet taajuuteen  $2\pi$  asti. (1p)
3. Järjestelmää kuvaa allaoleva realisaatiodiagrammi. Määritä kuvan suodattimen impulssivaste  $h(n)$  (3 termiä riittää) ja piirrä jokin toinen mahdollinen realisaatorakenne, kun  $k_1=0.85$  ja  $k_2=0.1$ . (3p)



4. FIR-tyyppisen ylipäästösuodattimen tehtävä on suodattaa tietoa sisältävä informaatiokaista erilleen muista signaaleista. Jotta informaatiokaistalla säilyisi suodatettava tieto tarpeeksi hyvänä, on käytettävä 80 kHz näytteenottotaajuutta. Informaatiokaista alkaa 32 kHz kohdalta ja rippeliä se saa sisältää korkeintaan 0.015 dB:ä. Lisäksi estokaistaa on vaimennettava vähintään 50 dB:ä ja transitiokaistan leveyden on oltava 4 kHz. Suunnittele kyseinen suodatin käyttämällä ikkunamenetelmää ja käytä ikkunafunktiota

joka parhaiten vastaa spesifikaatioita. Esitä tuloksissa suodattimen 3 ensimmäistä kerrointa. (4p)

5. Suunnittele digitaalinen kaistanpäästösuodin, joka päästää läpi vain tärkeän informaatiokaistan 100-150 Hz:iä. Digitaalisen kaistanpäästösuodattimen asteluvun tulee olla  $N=2$ . Käytä suunnittelun lähtökohtana Butterworth-tyyppistä alipäästösuodatinta. Näytteistystaajuus on 500 Hz. (4p)

6. Digitaalisen suodattimen siirtofunktio on

$$H(s) = 0.143 \cdot \frac{1 + z^{-1}}{1 - 0.049z^{-1}} \cdot \frac{1 + 2z^{-1} + z^{-2}}{1 - 0.131z^{-1} + 0.335z^{-2}}$$

Signaalin sananpituus on B ja toteutus tehdään ohjelmoitavalla prosessorilla.

- Piirrä suodattimelle realisaatiodiagrammi. Käytä toisen asteen kanonisia lohkoja. Perustele lohkojen järjestys. (2p)
- Laske piirroksesi ensimmäiseen suodatinosaan liittyvä ylivuodon välttämiseksi tarvittava skaalaustekijä  $s_1$ . (2p)
- Esitä piirroksesi ensimmäiseen suodatinosaan liittyvä kohinamalli kun akun pituus on B. Laske pyöristysten aiheuttama signaalikohinasuhteen heikennys (dB). (2p)

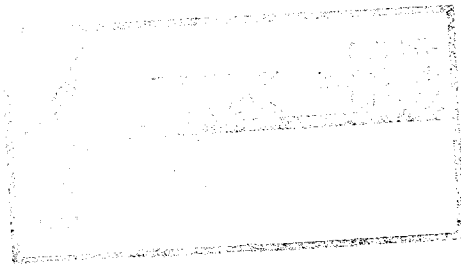


Table 7.3 Summary of important features of common window functions.

Name of window function	Transition width (Hz) (normalized)	Passband ripple (dB)	Main lobe relative to side lobe (dB)	Stopband attenuation (dB) (maximum)	Window function $w(n),  n  \leq (N-1)/2$
Rectangular	$0.9/N$	0.7416	13	21	1
Hanning	$3.1/N$	0.0546	31	44	$0.5 + 0.5 \cos\left(\frac{2\pi n}{N}\right)$
Hamming	$3.3/N$	0.0194	41	53	$0.54 + 0.46 \cos\left(\frac{2\pi n}{N}\right)$
Blackman	$5.5/N$	0.0017	57	75	$0.42 + 0.5 \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right) + 0.08 \cos\left(\frac{4\pi n}{N-1}\right)$
	$2.93/N (\beta = 4.54)$	0.0274		50	$\frac{I_0(\beta[1 - [2n/(N-1)]^2]^{1/2})}{I_0(\beta)}$
Kaiser	$4.32/N (\beta = 6.76)$	0.00275		70	
	$5.71/N (\beta = 8.96)$	0.000275		90	

Table 7.2 Summary of ideal impulse responses for standard frequency selective filters.

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

$f_c, f_1$  and  $f_2$  are the normalized passband or stopband edge frequencies;  $N$  is the length of filter.

Table 7.11 Optimum transition band frequency samples for type 1 lowpass frequency sampling filters for  $N = 15$  (adapted from Rabiner *et al.*, 1970).

BW	Stopband attenuation (dB)	$T_1$	$T_2$	$T_3$
One transition band frequency sample, $N = 15$				
1	42.309 322 83	0.433 782 96		
2	41.262 992 86	0.417 938 23		
3	41.253 337 86	0.410 473 63		
4	41.949 077 13	0.404 058 84		
5	44.371 245 38	0.392 681 89		
6	56.014 165 88	0.357 665 25		
Two transition band frequency samples, $N = 15$				
		$T_2$	$T_1$	
1	70.605 405 85	0.095 001 22	0.589 954 18	
2	69.261 681 56	0.103 198 24	0.593 571 18	
3	69.919 734 95	0.100 836 18	0.589 432 70	
4	75.511 722 56	0.084 074 93	0.557 153 12	
5	103.460 783 00	0.051 802 06	0.499 174 24	
Three transition band frequency samples, $N = 15$				
		$T_3$	$T_2$	$T_1$
1	94.611 661 91	0.014 550 78	0.184 578 82	0.668 976 13
2	104.998 130 80	0.010 009 77	0.173 607 13	0.659 515 26
3	114.907 193 18	0.008 734 13	0.163 973 10	0.647 112 64
4	157.292 575 84	0.003 787 99	0.123 939 63	0.601 811 54

BW refers to the number of frequency samples in the passband.