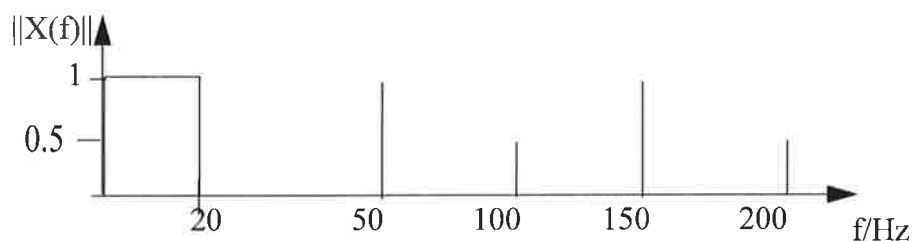


Digitaaliset suodattimet: viikkotentti 1, 2018

1. Biohäkkerikaverisi saa idean ohjata kameraa kantavaa sisätilojen minikopteria aivoaalloilla ja yllättäin toteat olevasi kehittämässä tarkoitukseen EEG-mittalaitetta. Kuvan 1 mukaisesti signaalin kiinnostava kaista on 0-20Hz ja sisätilojen sähköverkosta signaaliin summautuu 50Hz harmonisia häiriökomponentteja n. 300 Hz asti. Analogiaosat tullaan toteuttamaan ns. Sallen-Key -rakenteeseen perustuvalla 2-kertaluvun Butterworth alipäästösuodattimella. Käytettävän A/D-muuntimen vuoksi näytteiden sananpituus on 8 bittiä. Käytettävän prosessorin laskentateho on heikko, joten näytteistystaajuus on minimoitava

Your biohacker friend grabs an idea to control a camera equipped indoor drone with brain waves, and unexpectedly you find yourself responsible for developing an EEG measurement device for the application. As shown in Figure 1 the interesting band is 0-20Hz, while 50Hz harmonic interference components from the electrical wires in building are present until about 300 Hz. The analog parts will be based on a 2th order Butterworth low pass filter implemented with Sallen-Key topology. Due to the available A/D converter the precision of the samples is just 8 bits. The computing power of the used processor is limited so the sampling frequency needs to be minimized.

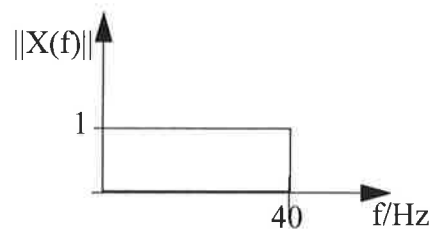


Kuva 1/Figure 1

- 1a. Kiinnittämättä vielä lopullista näytteistystaajuutta, piirrä järjestelmän lohkokkaavio ja hahmottele signaalin spektrit A/D-muunnoksen ja suodatuksen jälkeen kaksinkertaiseen näytteistystaajuuteen ($2 \cdot F_s$) asti.
Without yet fixing the final sampling rate, present a block diagram of the system and sketch the spectra of the signal after A/D conversion and filtering until double sampling rate ($2 \cdot F_s$).
- 1b. Kiinnostava kaista saa aivoaaltojen dynamiikan vaihtelun vuoksi vaimentua korkeintaan 2dB. Mikä on suunniteltavan analogisen suodattimen alin mahdollinen cut-off-taajuus (f_c)?
The interesting band is allowed to be attenuated by at most 2dB due to the dynamic properties of the brain waves. What is the lowest feasible cut-off frequency (f_c) of the analog filter to be designed.
- 1c. Mikä on alin näytteistystaajuus, jolla kiinnostavalle kaistalle tapahtuva laskostuminen jää alle havaittavan tason, kun käytetään tuota suodatinta? Paljonko (desibeleissä) kiinnostavalle kaistalle laskostuvat taajuudet vaimenevat?
With that filter, what is the lowest sampling frequency that keeps the aliasing onto the interesting band below the detectable level? How much (in dB) are the frequencies aliasing to the interesting band attenuated?

2. Biosignaalien digitaalisen mittalaitteen testaamiseksi siinä on toisen opiskelijan suunnittelema D/A -muunnin 0-kertaluokan pidolla sekä kuvastumisenestosuodatin. Ikävästi tuon suunnitteluparametrit ovat epähuomiossa jääneet sinulta kysymättä. Tiedät sen kuitenkin olevan Butterworth-tyyppisen alipäästösuodattimen. Päätät selvittää suodattimen ominaisuudet ohjelmoimalla prosessorin tuottamaan 150Hz näytteistystaajuudella digitaalista signaalia, jonka spektri ennen D/A -muunnosta on esitetty kuvassa 2.

To enable testing the digital biosignal measurement instrument it is equipped with a D/A converter with 0-order hold, and an anti-imaging filter. However, that was designed by another student and you have forgotten to ask for the design parameters of the filter. You only know it is a Butterworth low pass filter implementation. You decide to identify the parameters of the filter by programming the processor to output 150Hz sampling rate signal the spectrum of which before the D/A conversion is depicted in Figure 2.



Kuva 2/Figure 2

- 2a. Hahmottele kuvastumisenestosuodattimen jälkeisen signaalin spektri 300Hz asti.
Sketch the spectra of the signal after anti-imaging filter up to 300 kHz.
- 2b. Toteat mittaamalla kuvastumisenestosuodattimen lähdöstä, että 1Hz taajuuteen verrattuna 40Hz taajuus vaimentuu 15% ja alin kuvastuva taajuus n. 40dB. Mikä tällä perusteella on kuvastumisenestoon käytetyn Butterworth-suodattimen kertaluku ja cut-of -taajuus?

By measuring the output of the anti-imaging filter you find that compared to the level of 1Hz frequency component, the 40Hz point is attenuated by 15%, while the lowest imaging frequency is attenuated 40dB. Based on this information, what is the order of the Butterworth type anti-imaging filter and its cut-off frequency?

Amplitude response of Butterworth filter. (n =order of filter, f_c =cut-off frequency)

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