

# IIZE3010 – Elektroniikan perusteet

## Harjoitustyö 2

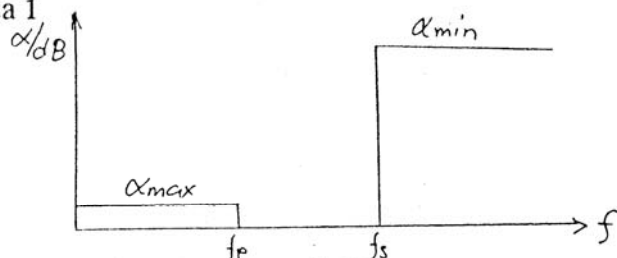
Pasi Vähämartti, C1303, IST4SE

### Sisällysluettelo:

1.	Realisoidaan suodatin Sallen-Key piirillä.....	3
1.1.	Suodattimen vahvistus taajuuden funktiona .....	5
1.2.	Suodattimen herkkyys.....	5
2.	Realisoidaan suodatin Bode-käyrästä .....	6
2.1.	Suodattimen vahvistus kulmataajuuden funktiona .....	7
2.2.	Suodattimen herkkyys.....	7

## HARJOITUSTYÖ

1. Butterworth alipäästösuodattimen spesifikaatiot on esitetty kuvassa 1



Realisoi suodatin Sallen-Key-piirillä.

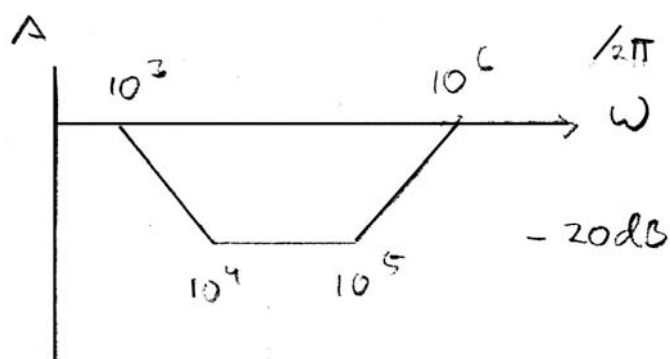
$$\alpha_{\max} = 2 \text{ dB} \quad \alpha_{\min} = 30 \text{ dB}$$

$$f_p = 1300 \text{ Hz} \quad f_s = 4300 \text{ Hz}$$

2. Piirrä suodattimen vahvistus taajuudenfunktiona simulointiohjelmalla. Vertaile tulosta spesifikaatioon.

3. Tutki suodattimen herkkyyttä. Parametrinä on suodattimen toleranssit (kommentoi).

4. Realisoi Bode- käyrän esittämä suodatin N:O 10.



5. Tee suodattimelle kohtien 2 ja 3 mukaiset analyysit. Suunnittele uudelleen mikäli, speksistä jäädään kauaksi.

6. Rakenna kytkentä ja mittaa sen vahv./vaimennus-käyrä (labrassa).

## 1. Realisoidaan suodatin Sallen-Key piirillä

Suotimen asteluvun selvittäminen:

$$n = \frac{\log\left[\frac{(10^{30/10} - 1)}{(10^{2/10} - 1)}\right]}{2 \cdot \log\left(\frac{4300}{1300}\right)} = 3,11 \approx 4$$

Keskitaajuuden laskeminen:

$$f_0 = \frac{1300}{\left(10^{2/10} - 1\right)^{\frac{1}{2.4}}} = 1390,141 \text{ Hz} \approx 1390 \text{ Hz}$$

Nurkkapisteiden todelliset vaimennukset:

$$\alpha_p = 10 \cdot \log\left[1 + \left(\frac{f_p}{f_0}\right)^{2n}\right] = 10 \cdot \log\left[1 + \left(\frac{1300}{1390}\right)^{2.4}\right] = 2,00129 \text{ dB} \approx 2 \text{ dB}$$

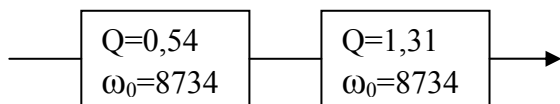
$$\alpha_s = 10 \cdot \log\left[1 + \left(\frac{f_s}{f_0}\right)^{2n}\right] = 10 \cdot \log\left[1 + \left(\frac{4300}{1390}\right)^{2.4}\right] = 39,66 \text{ dB}$$

Hyvyysluvut (taulukosta, asteluvun mukaan):

$$Q = 0,54 \quad S_{\text{TOD}} = 8734 * (-0,3827 \pm j0,9239)$$

$$Q = 1,31 \quad S_{\text{TOD}} = 8734 * (-0,9299 \pm j0,3827)$$

Realisoidaan vaste sallen-key-piirillä:



Valitaan materiaaleista piiri B (sivulta 23), koska se ei vaadi vahvistuksen asettelua.

Suoritetaan skaalaus siten, että  $K_f = 8734$ , valitaan vastukseksi  $10\text{k}\Omega \rightarrow K_m = 10^4$

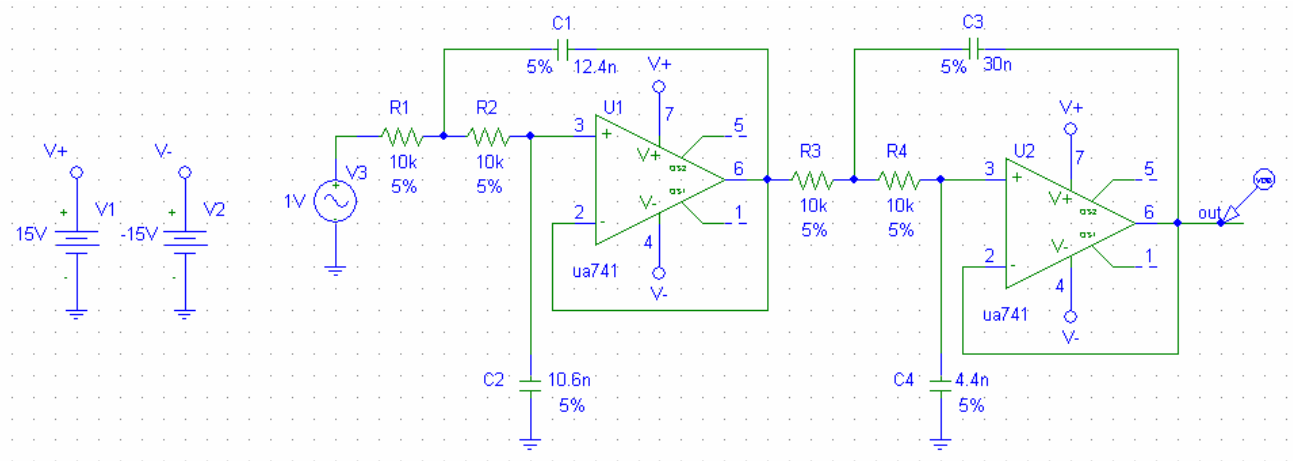
Lasketaan kondensaattorien uudet arvot:

$$C_{NEW} = \frac{C_{OLD}}{K_f \cdot K_m} = \frac{2 \cdot 0,54}{8734 \cdot 10^4} \approx 12,4 \text{ nF}, \text{ muut arvot lasketaan samalla periaatteella}$$

Lasketut kondensaattorien arvot:

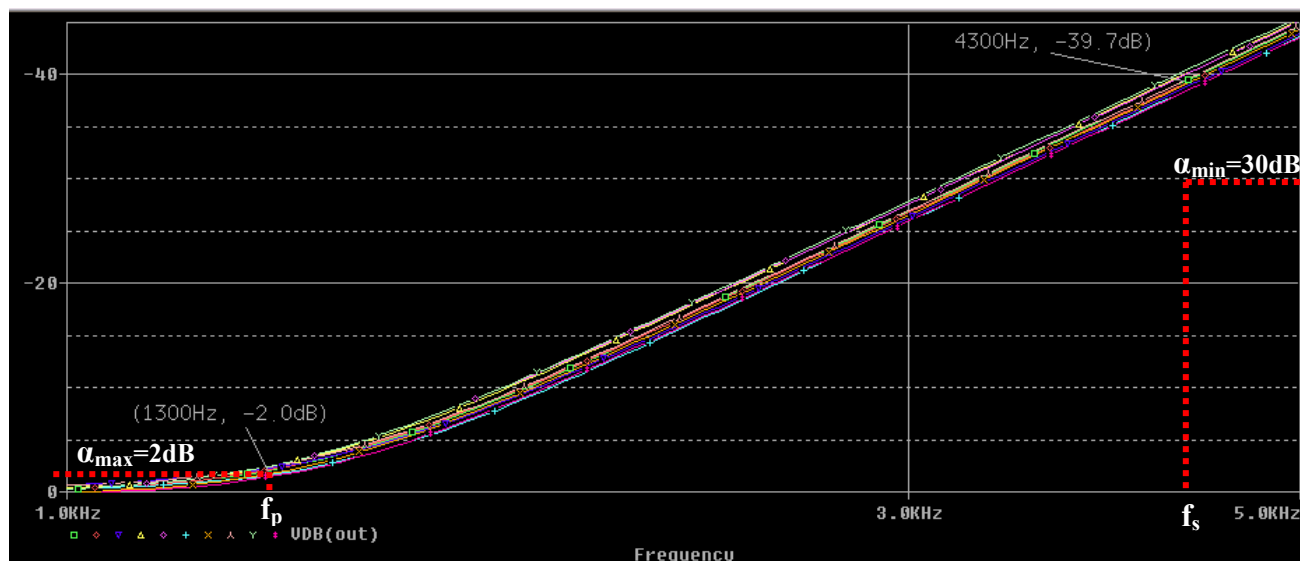
	C <sub>NEW</sub>	
	1.ASTE	2.ASTE
C <sub>OLD</sub>	Q=0,54	Q=1,31
2Q	12,4 nF	30 nF
1/(2Q)	10,6 nF	4,4 nF

Realisoitu suodatin sallen-key-piirillä toteutettuna:



Kuvassa on esitettytä täydellinen suodin sallen-key-piirillä toteutettuna simulaatioon tarvittavien kytkentöjen kera. Passiivikomponentteihin on lisätty 5% toleranssit herkkyyden tutkimista varten, jota käsitellään luvussa 1.2.

## 1.1. Suodattimen vahvistus taajuuden funktiona



Kuten simulaatiotuloksesta voidaan todeta, ovat komponenttien mitoitukset onnistuneet hyvin. Punaisella katkoviivalla on merkitty spesifikaatio, viivarykelmä on toteutunut tulos. Kuvassa sulkumerkkien sisään on merkitty simuloidut tulokset ilman toleranssien vaikutusta.

Tulokset ilman toleransseja:

Spesifikaatio	Lopputulos
$\alpha_{\max}=2\text{dB} / f_p = 1300\text{Hz}$	2dB / 1300Hz
$\alpha_{\min}=30\text{dB} / f_s = 4300\text{Hz}$	39,7dB / 4300Hz

→ Suunnittelemastani suotimesta tuli parempi kuin mitä spesifikaatiossa vaadittiin.

## 1.2. Suodattimen herkkyys

Tulokset toleranssien vaikutus huomioon ottaen:

Spesifikaatio	Lopputulos
$\alpha_{\max}=2\text{dB} / f_p = 1300\text{Hz}$	1.36 – 2.39dB / 1300Hz
$\alpha_{\min}=30\text{dB} / f_s = 4300\text{Hz}$	38.4 - 40.4dB / 4300Hz

Kuvasta katsomalla voimme todeta, että matalilla taajuuksilla tietyissä toleranssien aiheuttamien vaihteluiden puitteissa kytkentä ei ole kyennyt spesifikaation mukaisiin tuloksiin. Korkeammilla taajuuksilla suodin on edelleen reilusti parempi kuin mitä oli vaadittu.

→ Mitoituksia pitäisi hieman muuttaa, ettei  $\alpha_{\max}=2\text{dB}$  raja ylittyisi.

## 2. Realisoidaan suodatin Bode-käyrästä

Piirissä kaikki kondensaattorit saavat arvon 10nF.

Siirtofunktio saadaan aikaan kuvasta katsomalla:

$$T(s) = \frac{(s + 10^4)(s + 10^5)}{(s + 10^3)(s + 10^6)} \cdot k \quad , \text{jossa } k = 1$$

Suoraan siirtofunktiosta voidaan kirjoittaa:

Ensimmäinen aste	Toinen aste
$R_1 = \frac{1}{10^4} = 10^{-4}$	$R_1 = \frac{1}{10^5} = 10^{-5}$
$C_1 = 1$	$C_1 = 1$
$R_2 = \frac{1}{10^3} = 10^{-3}$	$R_2 = \frac{1}{10^6} = 10^{-6}$
$C_2 = 1$	$C_2 = 1$

Suoritetaan skaalaus:

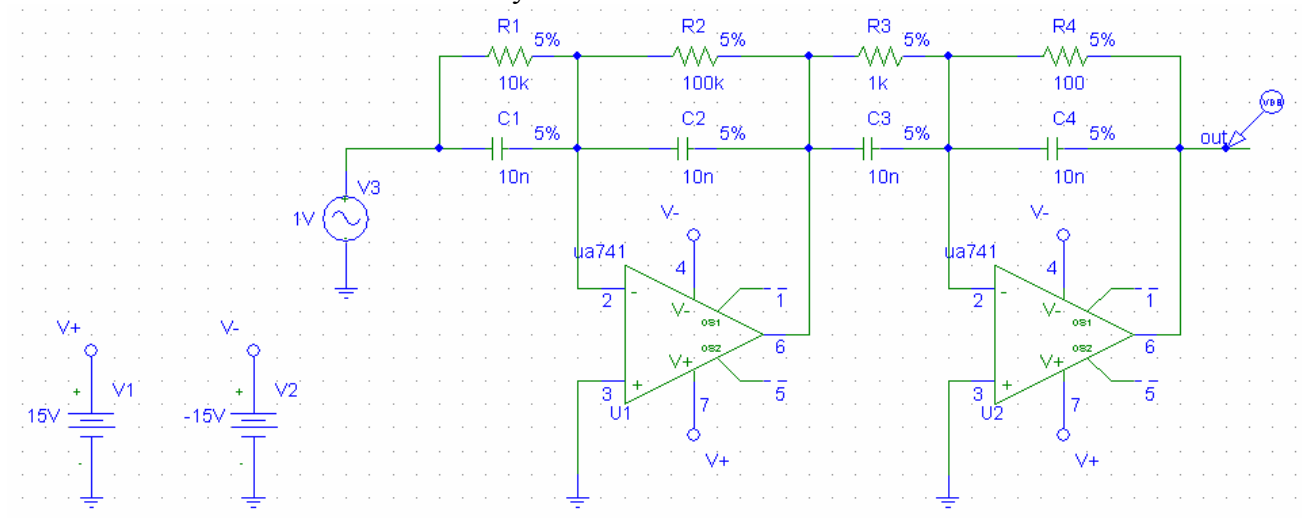
$$C_{NEW} = \frac{C_{OLD}}{K_f \cdot K_m}$$

Koska navat luettu realistisilta taajuuksilta  $\rightarrow K_f = 1 \rightarrow K_m = \frac{1}{C_{NEW}} = \frac{1}{10\mu F} = 10^8$

Vastuksien mitoittaminen:

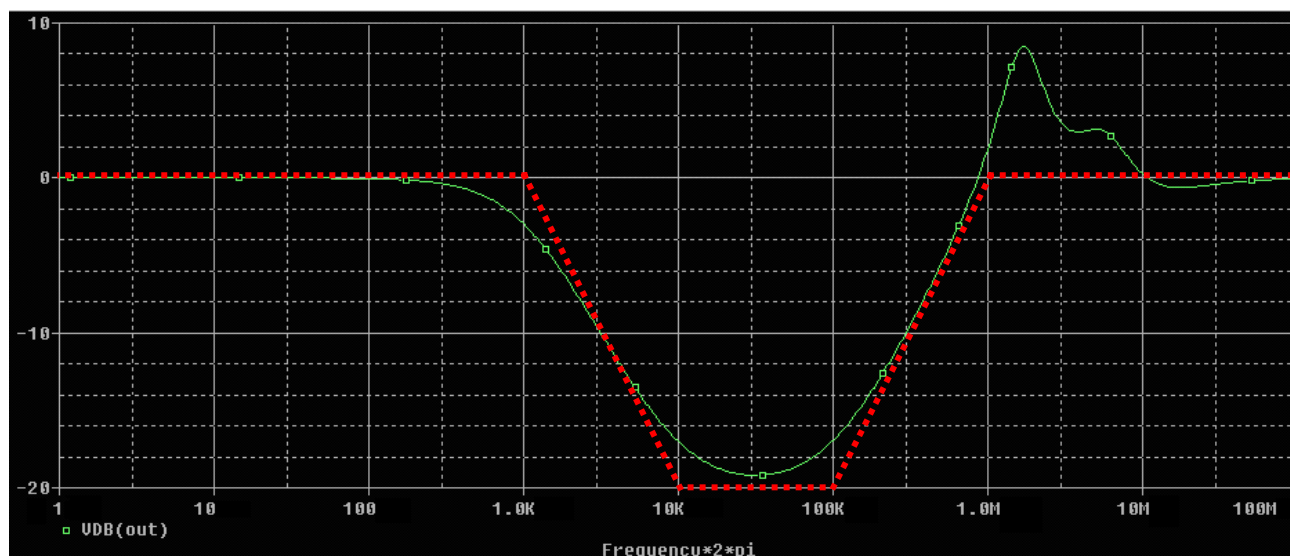
$$R_{NEW} = K_m \cdot R_{OLD} = 10^8 \cdot 10^{-4} = 10^4 = 10\text{k}\Omega (= R_1), \text{ loput vastukset lasketaan samalla tavalla}$$

Realisoitu kaistanestosuodatin Bode-käyrästä:



Kuvassa on esitetty täydellinen kaistanestosuodatin realisoituna bode-käyrästä simulaation tarvittavien kytkentöjen kera. Passiivikomponenteissa 5% toleranssit herkkyyden tutkimista varten.

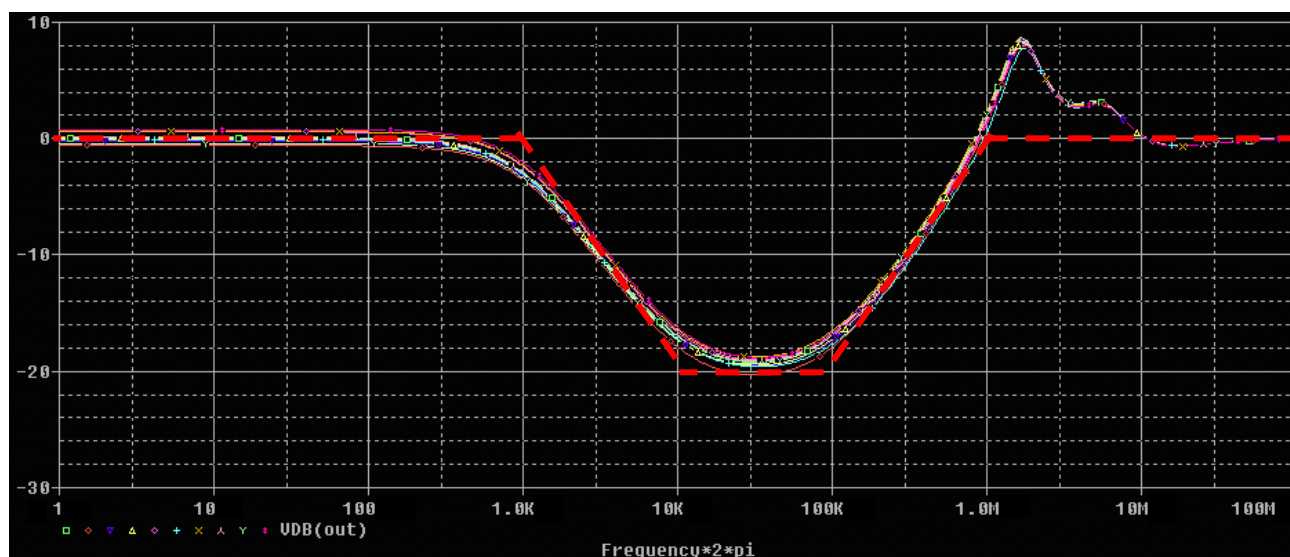
## 2.1. Suodattimen vahvistus kulmataajuuden funktiona



..... = Tavoiteltu vaimennus  
 — = Todellinen vaimennus

Kuvasta voidaan päätellä että suodin toimii suhteellisen hyvin annettuihin spekseihin verrattuna (punainen katkoviiva). 20dB vaimennusta ei aivan saavutettu kulmataajuuksilla 10K-100K, käsittääkseni olemme riittävän lähellä speksejä, joten uutta mitoitusta ei tarvitse tehdä. Uudelleen mitoitus toteutettaisiin pienentämällä ja suurentamalla ääripäiden taajuuksia.

## 2.2. Suodattimen herkkyys



Komponenttien toleranssien vaikutus ei ole kovinkaan suuri lopputulokseen. Kuten sallen-key-piirissä, tulokset sekä paranevat että huononevat toleranssien suuruuksien vaikutuksesta myös bode-käyrästä realisoidun suodattimen tapauksessa. Punainen katkoviiva kuvaa tavoiteltua vaimennusta.