NTNU

Designnotat båndstoppfilter

Tittel: Designnotat båndstoppfilter	
Forfattere: Sigurd Hagen Tullander	
Versjon: 1.0	Dato: 17. mars 2019

Innhold

---

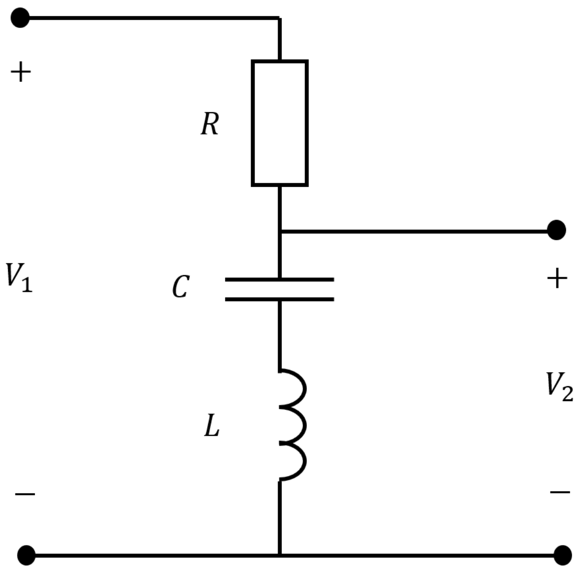
1 Problembeskrivelse

Vi skal ta for oss design av et båndstoppfilter. Problemstillingen er at vi har et musikkopptak som ved en feil har fått en irriterende pipetone med frekvens f_0 som vi ønsker å fjerne. Siden pipetoner kommer av sinussignaler av bare én frekvens vil en god løsning være å designe et båndstoppfilter som demper frekvensen f_0 så mye som mulig, og alle andre frekvenser så lite som mulig.

2 Prinsipiell løsning

2.1 Deteksjon av frekvensen f_0 til pipetonen

Ved å bruke funksjonen spectrum analyzer i programmet WaveForms kan man ofte skille ut en pipetone ved å se et unormalt kraftig utslag i signalet ved frekvensen f_0. Dette funker veldig bra på sterke pipetoner, men ikke så bra på svake pipetoner, fordi de vil ha for lite utslag til at man klarer å skille dem ut visuelt. En fullgod alternativ metode vil være å åpne en tonegenerator f. eks. i en nettleser og prøve seg fram til tonen høres lik ut. Det kreves ikke



Figur 1: Kretsskjema for valgt løsning

mye gehør for å få et nøyktig tall på f_0 på denne måten. Denne metoden er uansett fin å bruke til å dobbeltsjekke om en f_0 funnet med spectrum analyzer er riktig.

2.2 Kretsdesign

Vi skal nå designe et båndstoppfilter med stoppfrekvens rundt f_0. Til det kan vi bruke kretsen i figur 1. Dette er en RLC-krets der utgangssignalet er spenningen over L og C. Resonnansfrekvensen til en RLC-krets er den frekvensen som gjør at summen av spenningene over spolen og kondensatoren er lik 0. Som vist i tillegg A kan resonnansvinkelfrekvensen finnes med formelen

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \ , \quad \omega_0 = 2\pi f_0 \tag{1}$$

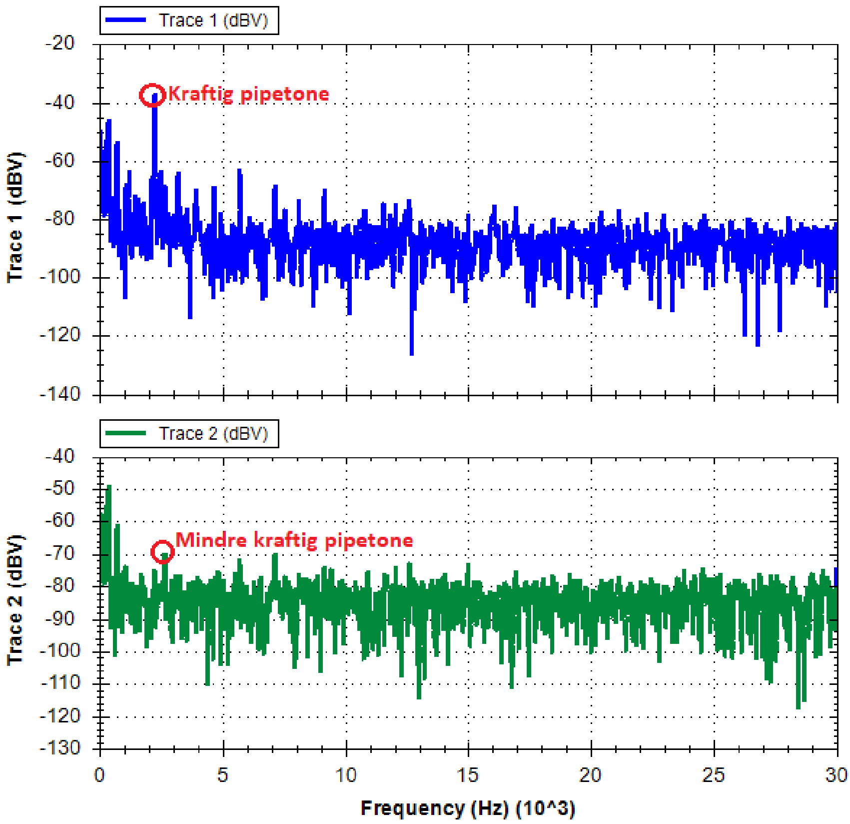
Ettersom resonnansfrekvensen er den frekvensen hvor spolen og kondensatoren oppfører seg som en sluttet krets utenifra vil det være denne frekvensen som dempes mest. Dette betyr at hvis vi har en spole med kjent induktans L så må kondensatoren ha kapasitans

$$C = \frac{1}{L(2\pi f_0)^2} \tag{2}$$

for å dempe frekvensen f_0 mest mulig.

Tabell 1: Spesifikke verdier for min realisering

Symbol	Spesifikk verdi	Forklaring
f_0	2.24kHz	Frekvens til pipetone
R	10kΩ	Resistans
L	100mH	Induktans
C	50.483nF	Kapasitans



Figur 2: Sammenlikning av inn-singal (blått) med ut-signal (grønt)

3 Realisering og test

Se tabell 1 for en fullstendig oversikt over komponentverdiene i min realisering.

Resultatet ble en krets som oppførte seg som forventa. Figur 2 viser en sammenlikning av ut- og inn-signalene til kretsen. Som markert på figuren har utslaget til pipetonen blitt betydelig redusert av kretsen. Dette merkes også når man hører på signalet både med og uten støy-fjerning. Pipetonen er ikke borte men intensiteten er merkbart redusert, samtidig som selve musikken er den samme som før.

4 Konklusjon

Vi har nå designet og testet et båndstoppfilter som skal brukes til å dempe en pipetone fra et musikksignal. Figur 2 viser hvor mye pipetonen ble dempet i forhold til musikken. Man merker også når man hører på signalet at kretsen fungerer som den skal.

A Utledning av formel for resonnansfrekvens for RLC-krets

Ta utgangspunkt i figur 1 og anta at spenningene V_1 og V_2 er komplekse amplituder for sinussignal. V_2 kan uttrykkes som en spenningsdeling av V_1 med generelle impedanser Z_R til motstanden, Z_C til kondensatoren og Z_L til spolen:

$$V_2 = \frac{Z_L + Z_C}{Z_R + Z_L + Z_C} V_1 = \frac{j\omega L - j\frac{1}{\omega C}}{R + j\omega L - j\frac{1}{\omega C}} V_1 = \frac{j\left(\omega\frac{L}{R} - \frac{1}{\omega RC}\right)}{1 + j\left(\omega\frac{L}{R} - \frac{1}{\omega RC}\right)} V_1 \tag{3}$$

Ved å utvide brøken med den kompleks-konjugerte av nevneren og forkorte litt får vi at

$$V_2 = \frac{j\left(\omega\frac{L}{R} - \frac{1}{\omega RC}\right)}{1 + j\left(\omega\frac{L}{R} - \frac{1}{\omega RC}\right)} \cdot \frac{1 - j\left(\omega\frac{L}{R} - \frac{1}{\omega RC}\right)}{1 - j\left(\omega\frac{L}{R} - \frac{1}{\omega RC}\right)} V_1 \tag{4}$$

$$V_2 = \left(\frac{\left(\omega\frac{L}{R} - \frac{1}{\omega RC}\right)^2}{1 + \omega\frac{L}{R} - \frac{1}{\omega RC}} + j\frac{\omega\frac{L}{R} - \frac{1}{\omega RC}}{1 + \omega\frac{L}{R} - \frac{1}{\omega RC}}\right) V_1 \tag{5}$$

La oss nå se på amplitudene

$$|V_2| = \sqrt{\left(\frac{\left(\omega\frac{L}{R} - \frac{1}{\omega RC}\right)^2}{1 + \omega\frac{L}{R} - \frac{1}{\omega RC}}\right)^2 + \left(\frac{\omega\frac{L}{R} - \frac{1}{\omega RC}}{1 + \omega\frac{L}{R} - \frac{1}{\omega RC}}\right)^2} |V_1| = \left|\omega\frac{L}{R} - \frac{1}{\omega RC}\right| \cdot |V_1| \tag{6}$$

Resonnansvinkelfrekvensen ω_0 er den frekvensen som gjør at $|V_2| = 0$ uavhengig av om $|V_1| = 0$. Det kan bare bety at

$$\left|\omega_0\frac{L}{R} - \frac{1}{\omega_0 RC}\right| = 0 \tag{7}$$

$$\omega_0\frac{L}{R} = \frac{1}{\omega_0 RC} \tag{8}$$

Vi løser med hensyn på ω_0 og får at

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \tag{9}$$