

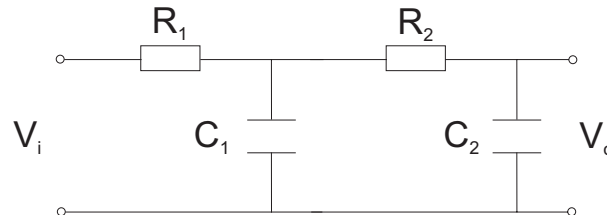
Tentamen Signaalverwerking en Ruis

21 december 2005

Tijd: 14.00 – 17.00 u.

1. Een gekoppeld RC-filter

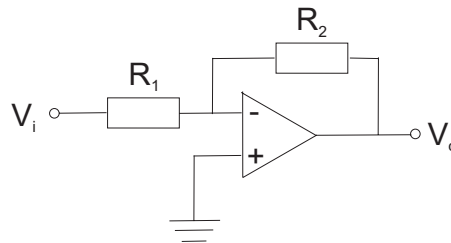
De hieronder gegeven schakeling is een laagdoorlaat filter waarvoor geldt $\tau = R_1 C_1 = R_2 C_2$.



- Is dit filter een eerste orde of tweede orde filter, wanneer $R_1 \gg R_2$? [2]
- Is dit filter een eerste orde of tweede orde filter, wanneer $R_1 \ll R_2$? [2]
- Licht je antwoorden toe in maximaal een halve pagina. [4]

2. Een niet-ideale OpAmp

De OpAmp in onderstaande inverterende versterker heeft een *eindige* gain A en is zodoende niet ideaal.



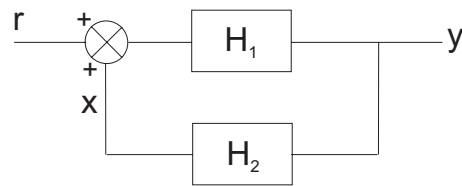
- Bereken de versterkingsfactor V_o/V_i voor het geval dat de OpAmp *wel* ideaal is (*oneindige* gain). [3]
- Idem, maar nu voor een eindige gain A . [3]

Neem nu aan dat de gain $A(\omega)$ van de open Opamp zich gedraagt als het product van A_0 en de overdracht van een eerste-orde laagdoorlaatfilter:

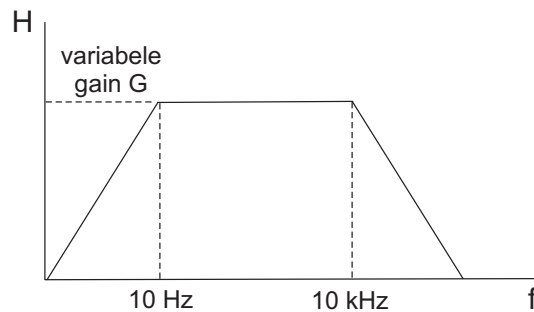
$$A(\omega) = A_0 / (1 + j\omega\tau_v)$$

- Teken $|A(\omega)|$ en $\arg A(\omega)$ voor $A_0 = 10^6$ en een gain-bandwidth product van 10 MHz. Geef ook getallen aan bij belangrijke punten op de assen. [4]
- Bereken voor de getekende versterker zowel V_o/V_i bij lage frequenties als de bandbreedte, waarbij $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ en $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$. [4]

3. Feedback van geluid

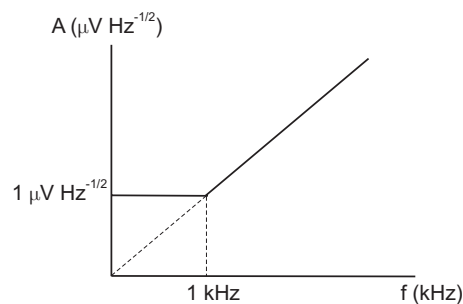


Bovenstaande feedback-loop wordt toegepast op de volgende situatie. Een spreker (r) spreekt via een microfoon waarvan het versterkte geluidssignaal wordt weergegeven met speakers die op een afstand van $L=3$ m van de microfoon geplaatst zijn. Het geluid uit de speakers (y) wordt teruggekoppeld naar de microfoon (x) volgens $H_2 = \exp(i2\pi f\tau)$ waarbij τ de tijdsvertraging is. Neem voor de geluidssnelheid $v=300$ m/s. Verder zijn microfoon en speakers van zodanige kwaliteit dat ze beide de volgende, nette overdracht hebben:



- Teken $|H_1(f)|$ en $\arg H_1(f)$. [4]
- Teken een polaire plot van $H_1 \cdot H_2$ (open lus versterking) voor verschillende gain G in het frequentiegebied van 10 Hz tot 10 kHz. [3]
- Druk de gesloten lus versterking $H = y/r$ uit in termen van H_1 en H_2 . [3]
- Bij welke gain gaat het systeem oscilleren en bij welke frequentie(s) gebeurt dat? [4]

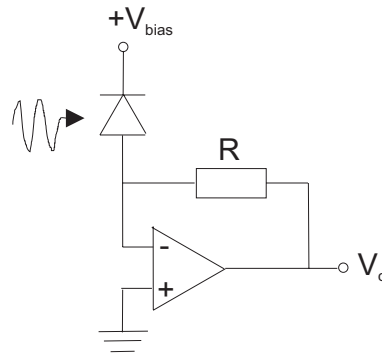
4. Een ruisspectrum



Hierboven is de spectrale verdeling van een ruissignaal gegeven. Tot een frequentie van $f = 1$ kHz is er sprake van witte ruis met een ruisamplitude van $A = 1\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$; vanaf deze kantelfrequentie is de ruisamplitude A evenredig met de frequentie.

- Wat is het witte ruisvoltage $V_{\text{rms,wit}}$ in het frequentiegebied van 1 Hz tot 1 kHz? [2]
- Wat is het totale ruisvoltage $V_{\text{rms,tot}}$ in het frequentiegebied van 1 Hz tot 100 kHz? [3]

5. Ruis in een fotodiode-versterker combinatie



Bovenstaande schakeling laat zien dat fotodiodes in reverse bias gebruikt worden, waardoor er in het donker slechts een hele kleine spierstroom loopt. De situatie verandert als er licht op de fotodiode valt: elektron-gat paren worden in de depletielaag aangemaakt en zorgen voor een elektrische stroom I die evenredig is met het invallende lichtvermogen P . Hierbij geldt het verband

$$I = r \times P$$

waarbij r de zogenoemde responsiviteit is. De aanwezige ruis in het systeem bestaat uit thermische ruis en hagelruis. We bekijken de situatie waarin de fotodiode ($r = 0.5 \text{ A/W}$) wordt beschenen met $1 \mu\text{W}$ aan licht met een golflengte van 800 nm .

- Bereken het thermische ruisvoltage $V_{\text{rms,therm}}$ voor $R = 10 \text{ k}\Omega$ en een detectie-bandbreedte van 1 MHz . [3]
- Bereken het hagelruis-voltage $V_{\text{rms,shot}}$ voor dezelfde weerstand en bandbreedte. [3]
- Bereken voor welke uitgangsspanningen V_o (in Volts) er bij kamertemperatuur sprake is van "shotnoise limitation", d.w.z. hagelruis domineert over thermische ruis. Gegeven: $k_b = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$, $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$, $e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ en $h = 6.63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$. [3]