NTNU

Designnotat

Tittel: Anti-aliasing filter	
Forfattere: Ole Sivert Aarhaug	
Versjon: 1.0	Dato: 07.10.18

Innhold

1 Innledning **1**

2 Prinsipiell løsning **1**

3 Realisering og test **3**

4 Konklusjon **5**

Referanser **5**

1 Innledning

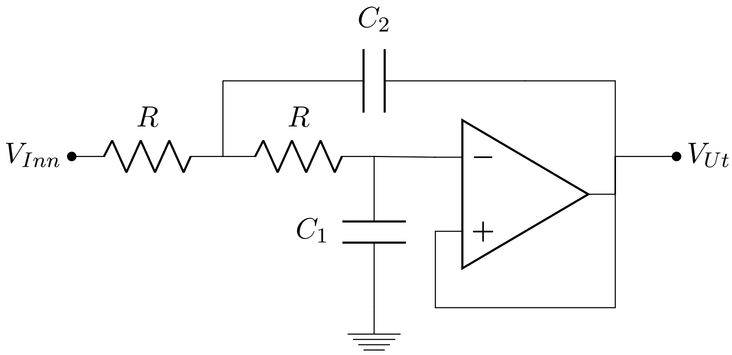
Dette designnotatet omhandler problemstillingen hvor man har ett signal som skal inn til en ADC (Analog to Digital Converter) og inneholder høyfrekvent støy som er over halvparten av samplingsfrekvensen f_s gitt ved nyquists samplingsteorem.

Figur 1: Illustrasjon av den generelle løsningen på problemstillingen

Notatet tar for seg som vist i figur 1 man kan bruke ett anti-alias-filter for å filtrere ut støy ifra signalet vårt som er over $\frac{f_s}{2}$.

2 Prinsipiell løsning

Anti-alias-filter kan lages på forskjellige måter, men i denne løsningen skal vi ta i bruk ett Butterworth med Sallen–Key topologi, som i motstetning til enkle lav-passfilter som man kan designe med en motstand og en kondensator vil ha ett brattere demping på og beholde så mye som mulig av frekvensommerådet før $\frac{f_s}{2}$. Man unngår også å bruke spoler som ved ett vanlig Butterworth filter og erstatter de med en aktiv komponent som en operasjonforsterker. Kretsen til ett Butterworth filter med Sallen–Key topologi er illustrert under i figur 2.



Figur 2: Illustrasjon av ett Sallen–Key Butterworth filter

Men avhengig av båndbredden mellom knekkfrekvensen og $\frac{f_s}{2}$ vil man trenge ett filter av høyere orden. Filteret i figur 2 kan brukes for filter opp til andre ordren, hvis man skal ha ett filter av høyere orden må flere Sallen–Key filter kobles sammen. Dette kan utledes uifra ligningen for amplituderespons (1) til ett slikt filter.

$$A = |H(jw)| = \frac{1}{\sqrt{1 + (\frac{f}{f_0})^{2n}}} \quad f = \frac{f_s}{2} \tag{1}$$

Dette er da gitt for at man har en bestemt knekkfrekvens og minimal ønsket dempning ved f. Etter man har utledet hvilket orden av filter man trenger kan man starte å finne komponentverdier for kretsen ved å bruke tabell 1 til å finne polpar verdien for n orden.

n	Polpar j (ζ)				
	1	2	3	4	5
1	1				
2	0.70711				
3	1	0.5			
4	0.92388	0.38268			
5	1	0.80902	0.30902		
6	0.96593	0.70711	0.25882		
7	1	0.90097	0.62349	0.22252	
8	0.98079	0.83147	0.55557	0.19509	
9	1	0.93969	0.76604	0.5	0.17365
10	0.98769	0.89101	0.70711	0.45499	0.15643

Tabell 1: Polpar for n orden Butterworth filter [1]

$$\omega_0 = 2\pi \times 1000Hz \tag{2}$$

$$\tau_1 = \frac{1}{\omega_0 \zeta} \quad \tau_2 = \frac{1}{\omega_0^2 \tau_1} \tag{3}$$

Når vi har verdiene for tau kan vi finne verdiene for C. For enkelhetens skyld sier vi at R skal ha den samme verdi over hele kretsen og bør være stor nok slik at kondensatorverdiene blir realistiske i størrelse.

$$C_1 = \frac{\tau_1}{R} \quad C_2 = \frac{\tau_2}{R} \tag{4}$$

Hvis $n > 2$ er det nødvendig å bruke flere sammenkoblede filter. Da kan prosessen over (3) bare gjentas for å finne de nye verdiene for τ for den nye verdien for ζ

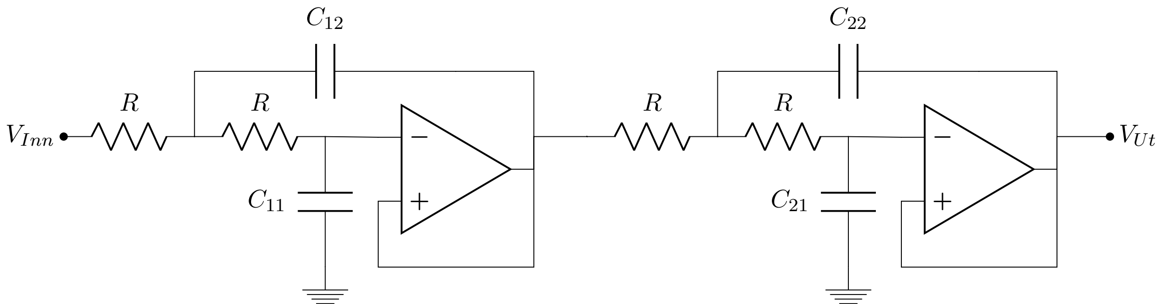
3 Realisering og test

For testingen av den prinsipielle kretsen har vi disse kravspesifikasjonene; $f_0 \geq 0.75\frac{f_s}{2}$, $A[dB] = -10dB$ og $f_s = 4.5KHz$. Som opamp bruker vi LF353N

Vi starter med å finne ut hva slags orden filter vi trenger. Utifra (1) kan vi finne n

$$n = \frac{1}{2}\frac{\ln\left(A^{-2} - 1\right)}{\ln\left(\frac{f}{f_0}\right)} = 3.81 \approx 4 \tag{5}$$

Vi har ett 4 ordens filter og utifra tabell 1 ser vi at man får to polpar ved bruk av Sallen–Key filteret illustrert i figur 2. Siden vi har to polpar må vi koble to slike filter i serie som vist i figur 3.



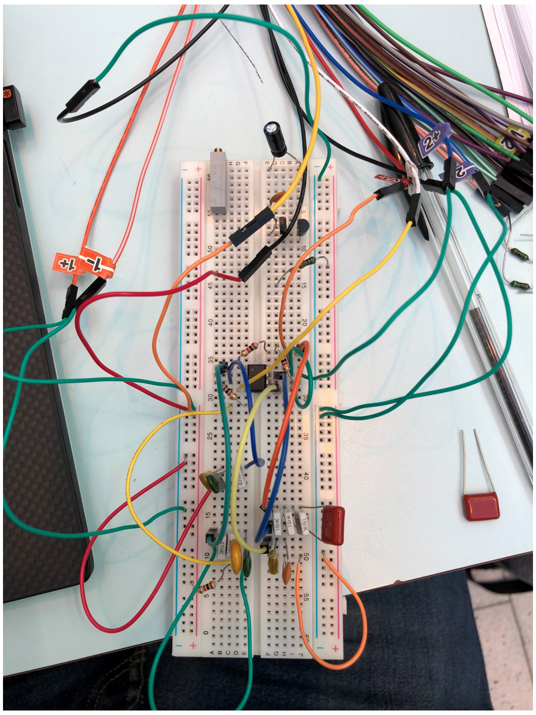
Figur 3: Illustrasjon av den realiserte løsingen

Utifra tabell 1 får vi polpar $\zeta_1 = 0.92388$ og $\zeta_2 = 0.38268$ Dermed ved å bruke formel (3) og (4) kan vi finne verdiene for de forskjellige kondensatorene vi skal bruke i kretsen. Motstanden er satt til $1k\Omega$ slik at kondensatorverdiene blir enklere å jobbe med.

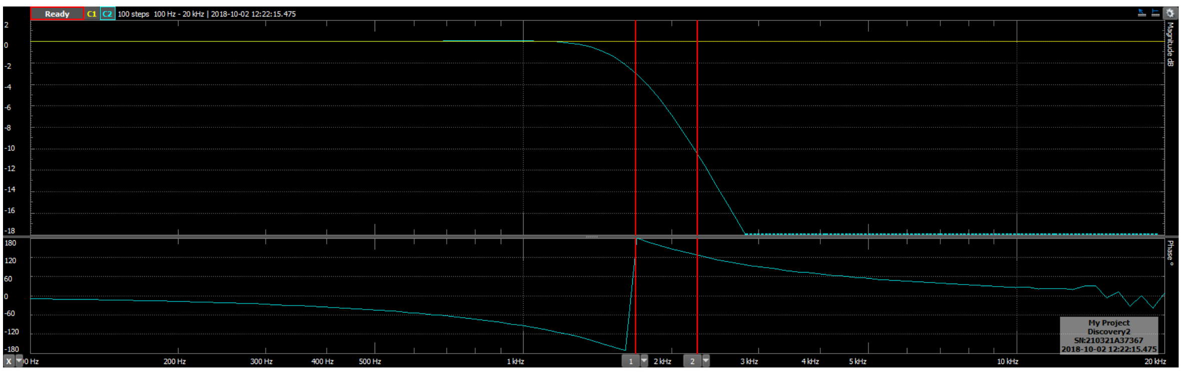
$C_{11} = 87,3nF \quad C_{12} = 102,3nF \quad C_{21} = 248nF \quad C_{22} = 36,3nF$

For å bekrefte at løsingen er innenfor kravspesifikasjonene kobler vi systemet opp mot en nettverksanalysator

Utifra målingene i figur 5 ser vi at $f_0 = -2.868dB$ og $f = \frac{f_s}{2} = -10.35dB$.



Figur 4: Den realiserte versjonen av kretsen illutstert i figur 3



Figur 5: I øverste halvdel av bilde ser vi bodeplottet til systemet. De to røde strekene er cursorene ved f_0 og $\frac{f_s}{2}$

4 Konklusjon

De målte verdiene for f_0 og f er innenfor de kravspesifikasjonen vi har satt for kretsen. Med tanke på usikkerhet i komponentverdier er avviket i resultatet ifra hva som var teoretisk forventet helt akseptabelt. Dermed er en av de enkle måtene å gjøre kretsen mere nøyaktig på er å bruke komponenter som har mindre usikkerhet og bruke mindre ledninger som kan innføre unødvendig kapasitans i kretsen.

Referanser

[1] Lars Lundheim, Eit konkret filterdesigneksempel, *Elektronisk systemdesign og -analyse II 2018 videoer*, 2018.