

1 MSE øvelse 6 - støj og båndbredde i forstærker

1.1 Indledning

I MSE øvelse 6 vil vi tilslutte vores forstærker fra semester projekt til PSOC5LP ADC. Vi vil undersøge støj i kredsløbet og i ADC'en i PSoC'en.

I kredsløbet nedenfor på figur 1 har vi forskellige støjkilder, som der skal tages højde for. Udgangssignalet til effektforstærkeren vil vi føre ind i PSoC'en og tilslutte ADC'en og efterfølgende et lavpasfilter med en båndbredde på 50 kHz, hvilket ca. vil svare til båndbredden for vores effektforstærker.

Vores kredsløb er som udgangspunkt påvirket af et variabelt filter, som sidder før kredsløbet. Vi ved ikke hvor stor støjtætheden er for filterkredsløbet. For overskuelighedens skyld, vælger vi at tage udgangspunkt i at der ingen støj kommer fra filterkredsløbet. På denne måde kan vi regne støjen fra vores eget kredsløb og på denne måde sætte et krav til filterkredsløbet, så at støjen derfra ikke har nogen betydning. Hvis støjbidraget fra filterkredsløbet er $\frac{1}{3}$ af støjtætheden fra vores kredsløb, vil det kun have meget lille betydning.

De støjkilder der er relevante at regne på for vores kredsløb er:

- Modstand R1 og R2
- OpAmp U1A
- Modstand R3
- Modstand R4
- OpAmp U1B
- ADC'en i PSoC'en.

Kondensatorerne er reaktive komponenter og vil ikke have en påvirkning på støjen. Kun kondensatorernes reelle impedans vil have en indvirkning, men den er så lille at vi kan se bort fra den. Typisk 0.1Ω . R5's støjbidrag vælger vi at se bort fra da vores opamp har den funktion at den vedligeholder udgangsspændingen, og dermed er støjen her reguleret af OpAmpen.

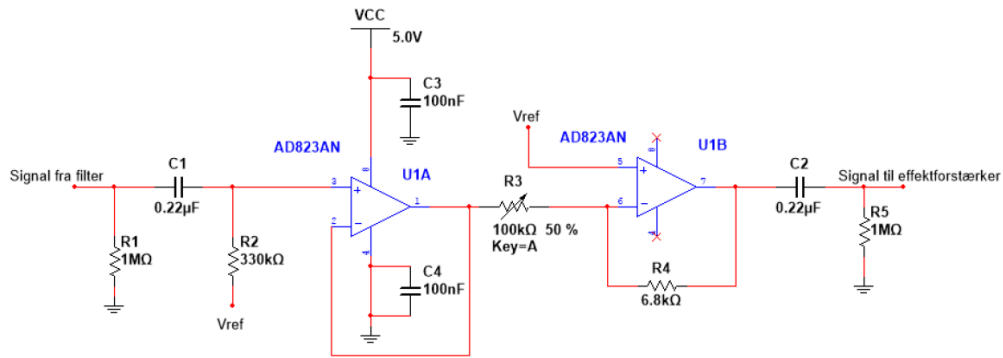
For at vi til sidst kan finde vores worst-case scenario, skal vi finde den begrænsende båndbredde. Vi regner med at have en begrænsende båndbredde på 50 kHz fra vores filter i PSoC'en og vores OpAmps $\frac{1}{f}$ støj vil ikke have en kæmpe betydning for det samlede bidrag. Vi vælger dog at tage den med på en forsimplet måde. Nærmere beskrivelse følger.

Når vi nu kender de interessante støjbidrag, kan vi regne kredsløbet igennem for at finde den resulterende støj.

Det er interessant at bemærke at U1B dæmper frem for forstærker. Tilbagekoblingen vil resultere i en dæmpningsfaktor på 0.2. $\frac{R4}{R3}$. OpAmpens støjs gainfaktor er givet ved $\frac{R4+R3}{R3}$. Dermed bliver støjen altså forstærket med 1.2. Dette resulterer i at alle vores støjtætheds bidrag før U1B vil ganges med 0.2.

1.2 Analyse

Figur 1 viser kredsløbet for vores forstærker. Forstærkerens gain faktor varieres fra afstandssensoren R3, men i vores testopstilling har vi en fast gainfaktor for U1B på 0.2. $R3 = 5 \text{ k}\Omega$. $R4 = 1 \text{ k}\Omega$.



Figur 1: Forstærker kredsløb

Støj fra variabel modstand R1 og R2

$$\begin{aligned}
 V_{\text{rms_tæthed}} &= \sqrt{4 \cdot k \cdot T \cdot R} \\
 &= \sqrt{4 \cdot k \cdot 313 \text{ K} \cdot 10 \text{ k}\Omega} \\
 &= 18.7 \frac{\text{nV}}{\sqrt{\text{Hz}}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{\text{rms_forstærket}} &= 18.7 \frac{\text{nV}}{\sqrt{\text{Hz}}} \cdot 50 \\
 &= 935 \frac{\text{nV}}{\sqrt{\text{Hz}}}
 \end{aligned}$$

Støj fra OpAmp U1A

$$e_n = 16 \frac{\text{nV}}{\sqrt{\text{Hz}}}$$

$$GBP = 16 \text{ MHz}$$

$$B = \frac{16 \text{ MHz}}{1 \frac{\text{V}}{\text{V}}} = 16 \text{ MHz}$$

$$\begin{aligned}
 V_{\text{o_rms}} &= |A_1 \cdot A_2 \cdot e_n| \cdot \sqrt{B} \\
 &= 1 \frac{\text{V}}{\text{V}} \cdot 0.2 \frac{\text{V}}{\text{V}} \cdot 16 \frac{\text{nV}}{\sqrt{\text{Hz}}} \cdot \sqrt{16 \text{ MHz}} \\
 &= 0.013 \text{ mV}
 \end{aligned}$$

Støj fra modstand R3

$$\begin{aligned}V_{\text{rms_tæthed}} &= \sqrt{4 \cdot k \cdot T \cdot R} \\&= \sqrt{4 \cdot k \cdot 313 \text{ K} \cdot 10 \text{ k}\Omega} \\&= 18.7 \frac{\text{nV}}{\sqrt{\text{Hz}}} \\V_{\text{rms_forstærket}} &= 18.7 \frac{\text{nV}}{\sqrt{\text{Hz}}} \cdot 50 \\&= 935 \frac{\text{nV}}{\sqrt{\text{Hz}}}\end{aligned}$$

Støj fra OpAmp U1B

VÆRDIER IKKE REDIGERET ENDNU

$$\begin{aligned}e_n &= 43 \frac{\text{nV}}{\sqrt{\text{Hz}}} \\B &= \frac{10 \text{ MHz}}{50 \frac{\text{V}}{\text{V}}} \\&= 180 \text{ kHz} \\V_{\text{o_rms}} &= |A_1 \cdot A_2 \cdot e_n| \cdot \sqrt{B} \\&= 50 \frac{\text{V}}{\text{V}} \cdot 15 \frac{\text{V}}{\text{V}} \cdot 43 \frac{\text{nV}}{\sqrt{\text{Hz}}} \cdot \sqrt{180 \text{ kHz}} \\&= 13.7 \text{ mV}\end{aligned}$$

Støj fra modstand R4

$$\begin{aligned}V_{\text{rms_tæthed}} &= \sqrt{4 \cdot k \cdot T \cdot R} \\&= \sqrt{4 \cdot k \cdot 313 \text{ K} \cdot 10 \text{ k}\Omega} \\&= 18.7 \frac{\text{nV}}{\sqrt{\text{Hz}}} \\V_{\text{rms_forstærket}} &= 18.7 \frac{\text{nV}}{\sqrt{\text{Hz}}} \cdot 50 \\&= 935 \frac{\text{nV}}{\sqrt{\text{Hz}}}\end{aligned}$$

Samlet støjbidrag før U1B

her lægges sammen og ganges med 0.2.

Samlet støjbidrag før ADC

Vi kan nu finde det samlede støjbidrag, før ADC'en og opstille vores krav:

$$V_{\text{rmstotal}} = \sqrt{12 \text{ mV}^2 + 12 \text{ mV}^2 + 12 \text{ mV}^2} = 36 \text{ mV}$$

Støj fra ADC'en

1.3 Simulering

1.4 Realisering

1.5 Konklusion