

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 20 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.

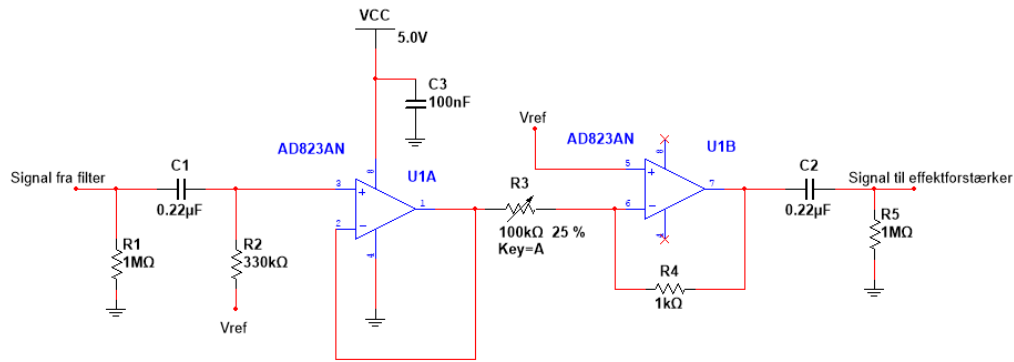
For at vi til sidst kan finde vores worst-case scenario, skal vi finde den begrænsende båndbredde. Vi regner med at have en begrænsende båndbredde på 20 kHz fra vores filter i PSoC'en og vores OpAmps $\frac{1}{f}$ støj vil ikke have en kæmpe betydning for det samlede bidrag. Vi vælger dog at tage den 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 $0.2 \cdot \frac{R4}{R3}$. 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, da dette vil være vores worst case scenario. $R3 = 5 \text{ k}\Omega$. $R4 = 1 \text{ k}\Omega$.



Figur 1: Forstærker kredsløb

Støj fra modstandene R1, R2, R3 og R4

$$R_{12} := (R_1^{-1} + R_2^{-1})^{-1} = 248.12 \text{ k}\Omega$$

$$R_{12\text{tæthed}} := \sqrt{k \cdot R_{12}} = 63.007 \frac{\text{nV}}{\sqrt{\text{Hz}}}$$

$$R3_{\text{tæthed}} := \sqrt{k \cdot R3} = 8.944 \frac{\text{nV}}{\sqrt{\text{Hz}}}$$

$$R4_{\text{tæthed}} := \sqrt{k \cdot R4} = 4 \frac{\text{nV}}{\sqrt{\text{Hz}}}$$

Figur 2: Støj fra modstandene

Støj fra OpAmp U1A og U1B

Støj fra opamps beregnes. OpAmp U1A har en gain faktor på 1, og vi kan derfor tage dens støjbidrag direkte fra databladet. Opamp U1B, har en gain faktor på 1.2 da den beregnes ud fra formelen $1 + \frac{R4}{R3}$

$$e_{nU1A} := 16 \frac{\text{nV}}{\sqrt{\text{Hz}}} \quad e_{nU1B} := 1.2 \cdot 16 \frac{\text{nV}}{\sqrt{\text{Hz}}} = 19.2 \frac{\text{nV}}{\sqrt{\text{Hz}}}$$

Figur 3: Støj fra OpAmps

Samlet støjbidrag før U1B

Støjbidragene før OpAmp U1B (fra R1, R2, U1A og R3) bliver allesammen dæmpet med faktoren 0.2. Vi kan summere de kvadrerede støjbidrag og tage

roden af dette for at få det samlede bidrag. Dermed får vi dette støjbidrag før OpAmp U1B:

$$e_{f\text{ør}U1B} := 0.2 \cdot \sqrt{e_{nU1A}^2 + R3_{t\text{æthed}}^2 + R_{12t\text{æthed}}^2} = 13.124 \frac{nV}{\sqrt{Hz}}$$

Figur 4: Støj før U1B

Samlet støjbidrag før ADC

Vi kan nu finde det samlede støjbidrag, før ADC'en og opstille vores krav for filteret. Vi vælger at opstille kravet for filteret ved dette punkt, da vi i vores projekt ikke har ADC'en med.

$$e_{t\text{æthed}} := \sqrt{e_{f\text{ør}U1B}^2 + R4_{t\text{æthed}}^2 + e_{nU1B}^2} = 23.598 \frac{nV}{\sqrt{Hz}}$$

+

kravtil filter: Skal være en tredje del af $e_{t\text{æthed}}$

$$Filter_{krav} := \frac{e_{t\text{æthed}}}{3} = 7.866 \frac{nV}{\sqrt{Hz}}$$

Figur 5: Samlet støj før ADC

Vi kan nu se på hvilke støjbidrag der rent faktisk har noget at sige for vores samlede støjbidrag. Vi kan ud fra figur 4 konkludere at dette støjbidrag rent faktisk er af betydning ift. vores samlede støjbidrag før ADC'en, da denne værdi ligger i omegnen af de bidrag der bliver lagt sammen i figur 5. Dermed bliver vi nødt til at betragte hvilke bidrag der betyder noget for $e_{f\text{ør}U1B}$ (figur 4). Hvis vi går endnu en tand længere tilbage i kredsløbet kan vi se at bidragene fra e_{nU1A} , $R3_{t\text{æthed}}$ og $e_{12t\text{æthed}}$ er af meget forskellig størrelse. Støjbidraget fra $e_{12t\text{æthed}}$ er væsentligt (over 3 gange) større end de andre størrelser og dermed kan vi se bort fra e_{nU1A} og $R3_{t\text{æthed}}$.

Vi kan også konkludere at $R4_{t\text{æthed}}$ er væsentligt lavere end $e_{f\text{ør}U1B}$ og e_{nU1B} . Vi kan altså også se væk fra $R4_{t\text{æthed}}$.

I simuleringen sammenligner vi støjen før ADC'en med analysen. Nedenfor beregnes, ud fra spændingsstøjtætheden, V_{rms} -støjen før ADC.

$$V_{rms} = e_{t\text{æthed}} \cdot \sqrt{20 \text{ kHz}} = 3.337 \mu V$$

Støj fra ADC'en

Vi ser nu på støjen fra ADC'en. Vi får oplyst at støjbidraget fra ADC'en er $603 \frac{nV}{\sqrt{Hz}}$. Dette er langt over støjbidraget hidtil, og dermed kan vi se bort fra al støj som hidtil og udelukkende tage udgangspunkt i støjen fra ADC'en. Dermed kan vi også se bort fra $\frac{1}{f}$ støjen.

Samlet V_{rms} støj

Den begrænsende båndbredde, udgøres nu af det filter vi har efter ADC'en, som giver os en båndbredde på 100 Hz. Vi bruger nu denne båndbredde til at beregne den samlede V_{rms} støj efter filteret. Denne værdi sammenlignes med den realiserede værdi nedenfor.

$$V_{rms} = e_{adc} \cdot \sqrt{B} = 6.3 \mu V$$

1.3 Simulering

Nedenfor ses simuleringen. Vi aflæser en støj-værdi på 6.78 pV

1.4 Realisering

Vi realiserer kredsløbet ved at tilslutte PSoC'en på udgangen af kredsløbet. Vi samler udgangen med ADC'en og filtrere signalet gennem et filter med cutoff frekvens på 100 Hz.

Ved interne beregninger i PSoC Creator finder vi en RMS værdi på 6.7 mV. Dette er væsentligt højere end vores beregninger. Vi må konkludere at resultatet ikke stemmer overens med den beregnede værdi, og vi undrer os over dette. Det er dog svært at sammenligne analyse-værdien med den realiserede værdi, da vores variable modstand kan antage forskellige værdier afhængig af lysmængden. Vi ved heller ikke om den lysvariable modstand er opbygget på en måde, der forårsager et større støjbidrag. I så fald ville vores antagelse om at se bort fra R3 ikke være valid.

Derudover har vi slet ikke beregnet på Strømsøj-tætheder, så det kan selvfølgelig være at det er strømsøjten der er definerende i dette kredsløb.

1.5 Konklusion