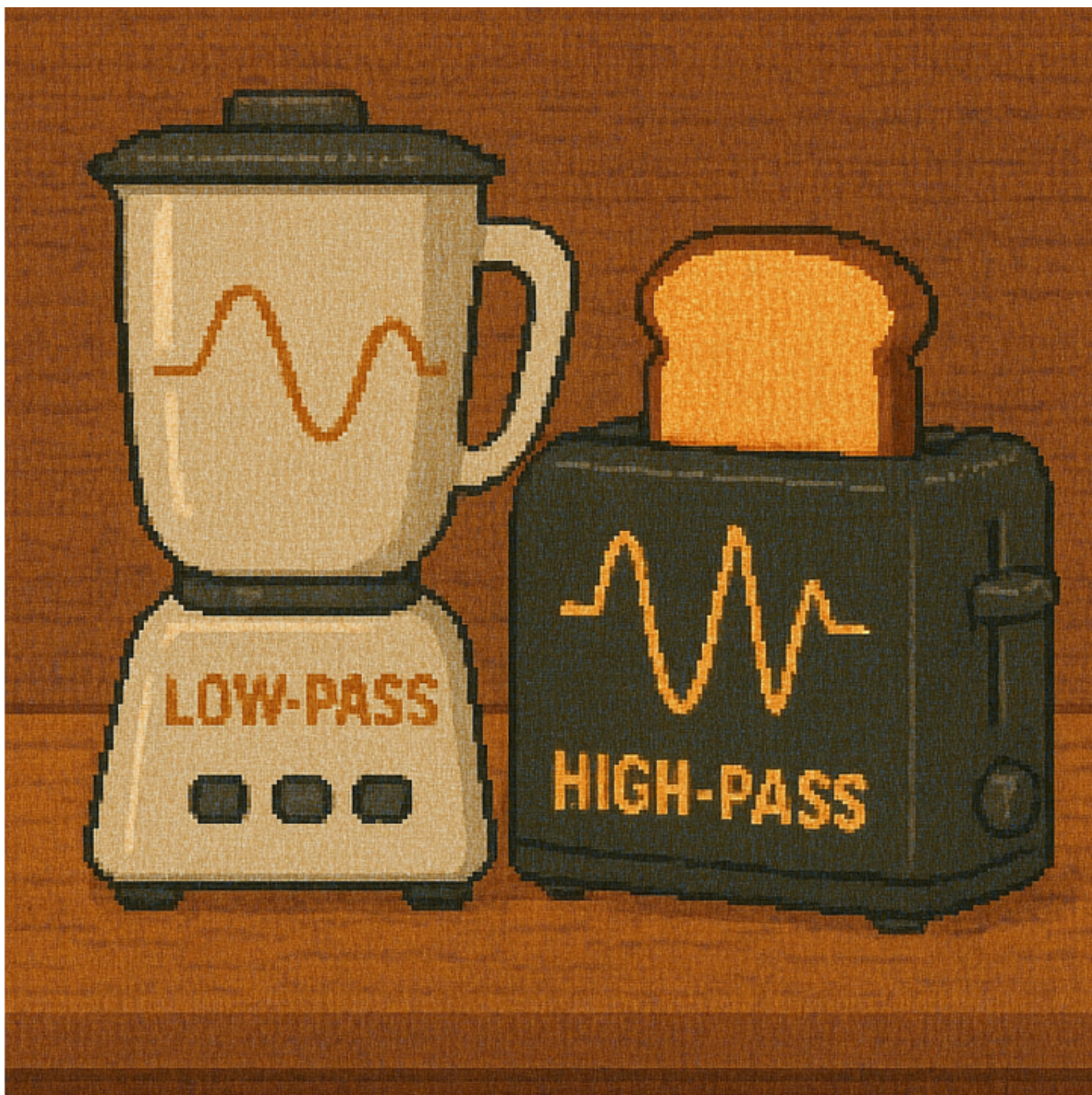


# Design og implementering af Butterworth-filtre



Forfattere: Zeineb Karmani og Henrik Bruun

Dato: 03-04-25

Kursus/Projekt: 3. semester IT-teknolog

Institution: Aarhus Erhvervsakademi

Version: 1.0

## Indholdsfortegnelse

|                                                                       |           |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Indholdsfortegnelse.....</b>                                       | <b>2</b>  |
| <b>1. Opgavebeskrivelse.....</b>                                      | <b>2</b>  |
| 1.1 Opgavekrav.....                                                   | 3         |
| 1.2 Aflevering.....                                                   | 3         |
| 1.3 Vurderingskriterier.....                                          | 3         |
| <b>2. Indledning.....</b>                                             | <b>3</b>  |
| <b>3. System Design.....</b>                                          | <b>4</b>  |
| 3.1 Hardware Lavpasfilter.....                                        | 6         |
| 3.1.1 Design Lavpassfilter.....                                       | 6         |
| 3.1.2 Komponentliste.....                                             | 8         |
| 3.1.3 Simulering og test.....                                         | 8         |
| 3.1.4 Implementering.....                                             | 10        |
| 3.2 Hardware Højpasfilter.....                                        | 10        |
| 3.2.1 Design Højpasfilter.....                                        | 11        |
| 3.2.2 Implementering.....                                             | 14        |
| 3.2.3 Test.....                                                       | 15        |
| Det ser desværre ud til at vi ikke nåede denne del af testen :-(..... | 15        |
| 3.3. Båndpasfilter.....                                               | 15        |
| <b>5. Konklusion.....</b>                                             | <b>15</b> |
| <b>6. Referencer.....</b>                                             | <b>15</b> |
| <b>7. Bilag.....</b>                                                  | <b>15</b> |

## 1. Opgavebeskrivelse

Design, simulere, opbygge og teste to **2.-ordens Butterworth-filtre** ved hjælp af **Filter Wizard**. Filtrene skal have en forstærkning på **20 dB**. Til sidst skal de kombineres til et samlet kredsløb.

### 1.1 Opgavekrav

*Design, simulering, opbygning og måling af et lavpasfilter*

- Design et **2.-ordens Butterworth lavpasfilter** med en **-3 dB grænsefrekvens på 5 kHz**.
- Implementér en forstærkning på **20 dB**.
- Simulér filteret i et passende værktøj (f.eks. **Proteus**).
- Byg filteret fysisk og mål dets respons.

*Design, simulering, opbygning og måling af et højpasfilter*

- Design et **2.-ordens Butterworth højpasfilter** med en **-3 dB grænsefrekvens på 500 Hz**.
- Implementér en forstærkning på **20 dB**.
- Simulér filteret i et passende værktøj.
- Byg filteret fysisk og mål dets respons.

*Kombination af de to filtre*

- Design og implementér et **kombineret filter**, der integrerer lavpas- og højpasfiltrene.
- Test og mål det samlede filters respons.

### 1.2 Aflevering

- Udarbejd en **fuld designrapport**, der dokumenterer designprocessen, simuleringer, opbygning, måleresultater og konklusioner.
- Aflever rapporten på **Canvas**.

### 1.3 Vurderingskriterier

- Korrekt design og simulering af begge filtre.
- Nøjagtighed og funktionalitet af de fysiske filtre.
- Dokumentation og analyse i den endelige rapport.

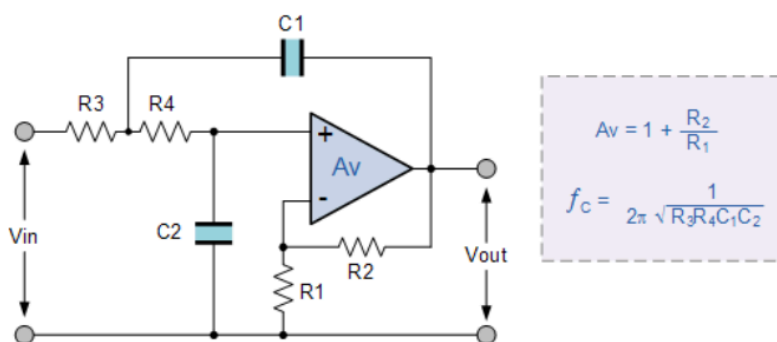
## 2. Indledning

Formålet med denne dokumentation er at designe, simulere, opbygge og teste to aktive 2.-ordens Butterworth-filtre – et lavpasfilter, et højpasfilter og et båndpasfilter – med en forstærkning på 20 dB. Opgaven sigter mod at give både praktisk og teoretisk indsigt i analog signalbehandling og filterdesign ved anvendelse af Filter Wizard og simuleringstværktøjer som Proteus.

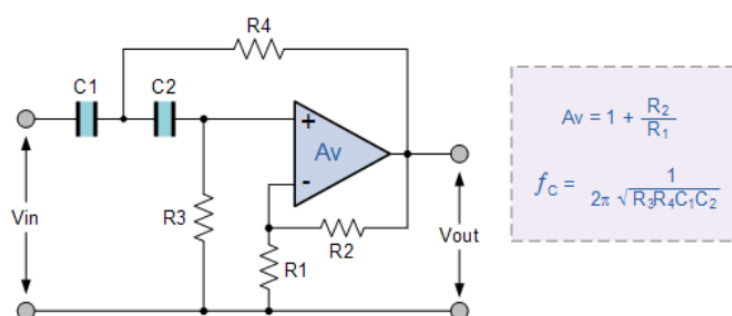
Først skal filtrene konstrueres og testes individuelt. Herefter kombineres de til et samlet båndpasfilter, der kan filtrere og forstærke signaler inden for et bestemt frekvensområde. Fokus ligger på en præcis realisering af de ønskede filtre, nøjagtig simulering samt praktisk implementering og måling, så resultatet stemmer overens med det teoretiske design.

## 3. System Design

De første skridt som bliver taget i retningen af at have et egentligt design er at tage udgangspunkt i allerede konstruerede ideer på området. Her præsenteres de to filtre, der til slut skal sættes sammen til et båndpasfilter, hvor vi burde kunne definere hvilken frekvenser vi ønsker at lukke igennem.



Figur 1: Aktivt Lavpasfilter af anden orden design



Figur 2: Aktivt højpasfilter af anden orden design

Når vi sætter det 2.-ordens aktive lavpasfilter og det 2.-ordens aktive højpasfilter i serie, skabes der et båndpasfilter. Højpasset fjerner de laveste frekvenser, mens lavpasset dæmper de højeste frekvenser, så kun det ønskede frekvensområde slipper igennem. På den måde kombineres de to filtre til et samlet kredsløb, der selektivt forstærker et bestemt bånd af frekvenser og dæmper alt uden for dette bånd.

For et Butterworth-filter gælder overføringsfunktionen:

$$|H(j\omega)|^2 = 1 / [1 + (\omega/\omega_c)^{2n}]$$

hvor:

- $\omega_c$  er cutoff-frekvensen (–3 dB punktet)
- $n$  er filterordenen

Hvis du f.eks. har et lavpasfilter med  $\omega_c = 5$  kHz og man vælger en stopbåndsfrekvens på f.eks. 10 kHz (altså en frekvensforøgelse på 2), bliver beregningen for et 2.-ordens filter:

$$|H(j(2\omega_c))|^2 = 1 / [1 + 2^{2(2)}] = 1 / [1 + 16] = 1/17$$

Dæmpningen i dB beregnes som:

$$A = -10 \cdot \log_{10}(1/17) \approx 12,3 \text{ dB}$$

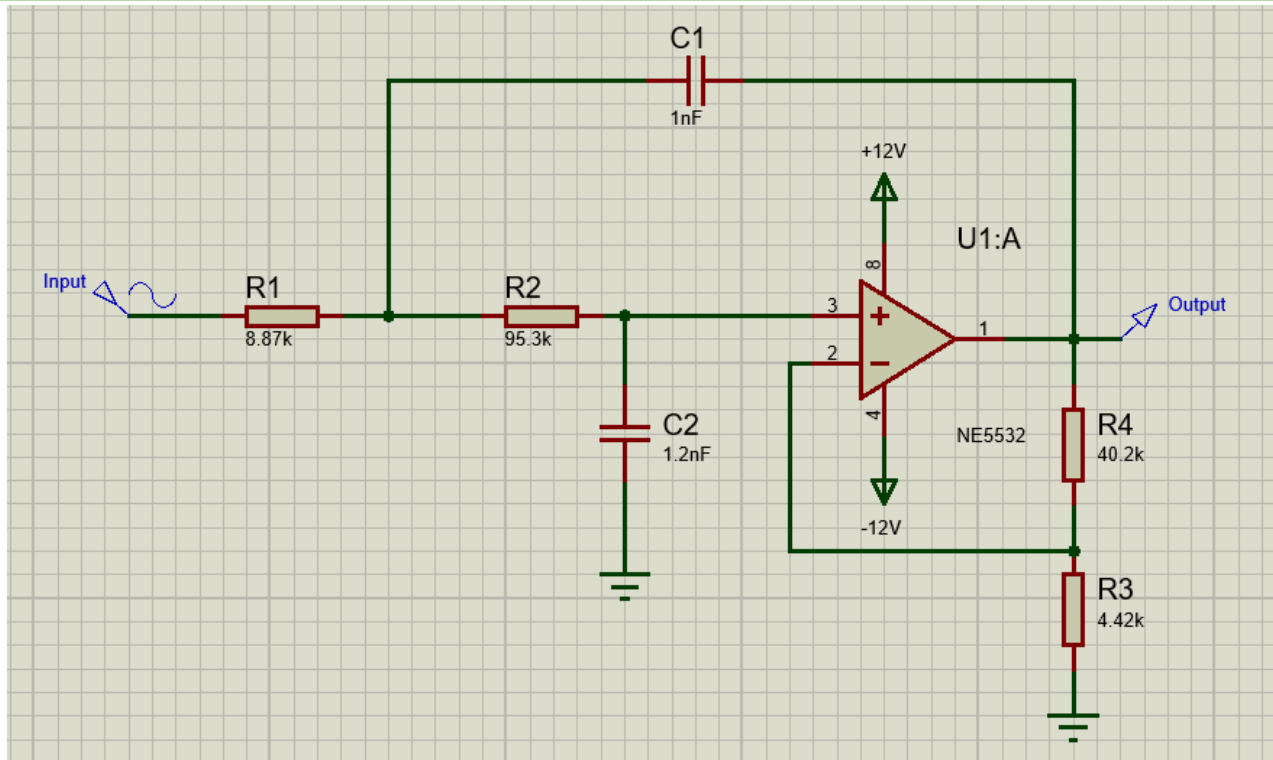
For at få et 2.-ordens design skal man indstille stopbåndet sådan, at den krævede dæmpning svarer til ca. 12 dB, hvis stopbånd ligger ved dobbelt så høj frekvens som cutoff. Tilsvarende for højpasfilteret med  $\omega_c = 500$  Hz, hvis du f.eks. vælger en stopbåndsfrekvens på 250 Hz (halvdelen af cutoff for et højpasfilter), vil den teoretiske dæmpning ved  $n = 2$  være omkring 12 dB (i den omvendte retning).

- **Lavpasfilter:** Indstil din –3 dB cutoff til 5 kHz og vælg en stopbåndsfrekvens, hvor den teoretiske dæmpning er ca. 12 dB (f.eks. 10 kHz).
- **Højpasfilter:** Indstil din –3 dB cutoff til 500 Hz og vælg en stopbåndsfrekvens, hvor den teoretiske dæmpning for et 2.-ordens filter er ca. 12 dB (f.eks. 250 Hz).

Hvis man sætter krav om en højere stopbåndsdæmpning (for eksempel 20 dB eller mere) ved den valgte stopbåndsfrekvens, vil FilterWizard automatisk vælge et filter med en højere orden for at opfylde denne specifikation.

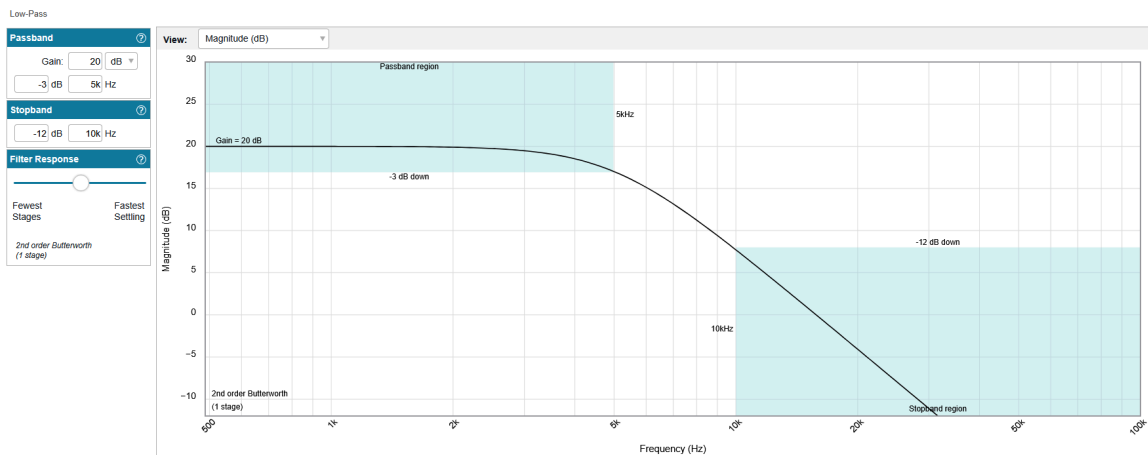
Ved at vælge stopbåndsdæmpningen, der netop svarer til det teoretiske niveau for et 2.-ordens Butterworth-filter, sikrer du, at designet forbliver 2.-ordens.

### 3.1 Hardware Lavpasfilter



Figur 3: lavpasfilter forbindelsesdiagram fra proteus

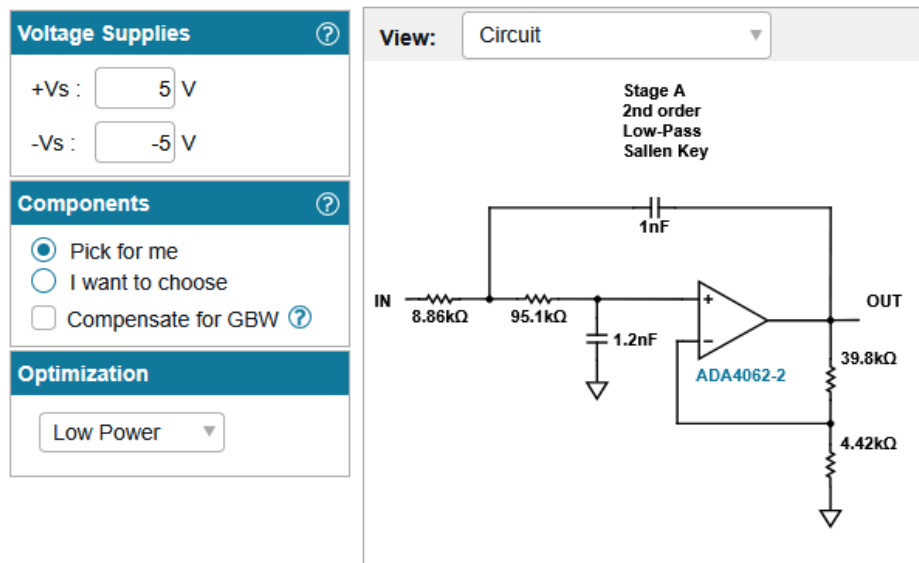
#### 3.1.1 Design Lavpassfilter



Figur 4: Lavpas frekvensen defineret ud fra 2. ordens Butterworth lavpasfilter med 5kHz og -3Db med et gain på 20 db



Low-Pass; 2nd order Butterworth; 5kHz passband



figur 5: Opsætningen af komponenter til lavpasfilteret fra analog wizard

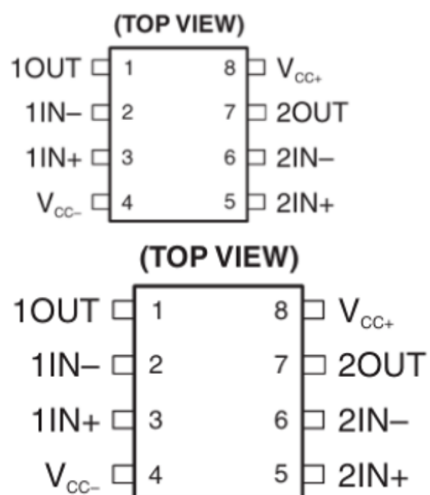
Angiv en pass båndsfrekvens, der er lavere end din stopbåndsfrekvens, og en stopbåndsdæmpning, der er væsentligt dybere end -3 dB. For eksempel, hvis du ønsker et 2.-ordens lavpasfilter med en cutoff (passbånd) på 5 kHz, så kan du gøre følgende:

- **Passbåndsfrekvens:** Sæt denne til 5 kHz (-3 dB punktet for Butterworth).
- **Stopbåndsfrekvens:** Vælg en frekvens, der er højere end 5 kHz, fx 10 kHz. Det er vigtigt, at denne værdi er større end passbåndsfrekvensen.
- **Stopbåndsdæmpning:** I et 2.-ordens Butterworth-filter vil dæmpningen ved 10 kHz typisk være omkring -12 dB. Du skal derfor indstille stopbåndsdæmpningen til et tal, der er lavere (mere dæmpet) end -3 dB – fx -12 dB.

Ved at vælge disse værdier opfylder du FilterWizards krav:

- Passbåndsfrekvensen (5 kHz) er mindre end stopbåndsfrekvensen (10 kHz).
- Stopbåndsdæmpningen (-12 dB) er dybere end passbåndsdæmpningen (-3 dB).

## 3.1.2 Komponentliste

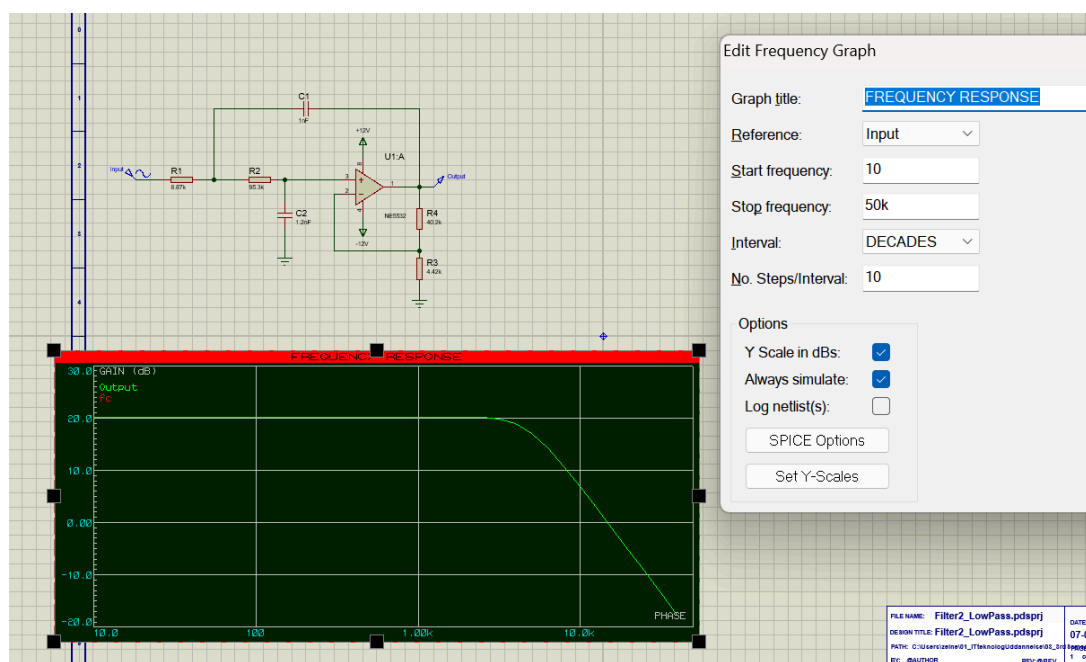


Figur 6: Pinout til NE5532 operationsforstærker

| Pin Functions |      |     |      |
|---------------|------|-----|------|
| PIN           | NAME | NO. | TYPE |
|               | 1IN+ | 3   | I    |
|               | 1IN- | 2   | I    |
|               | OUT1 | 1   | O    |
|               | 2IN+ | 5   | I    |
|               | 2IN- | 6   | I    |
|               | 2OUT | 7   | O    |
|               | VCC+ | 8   | —    |
|               | VCC- | 4   | —    |

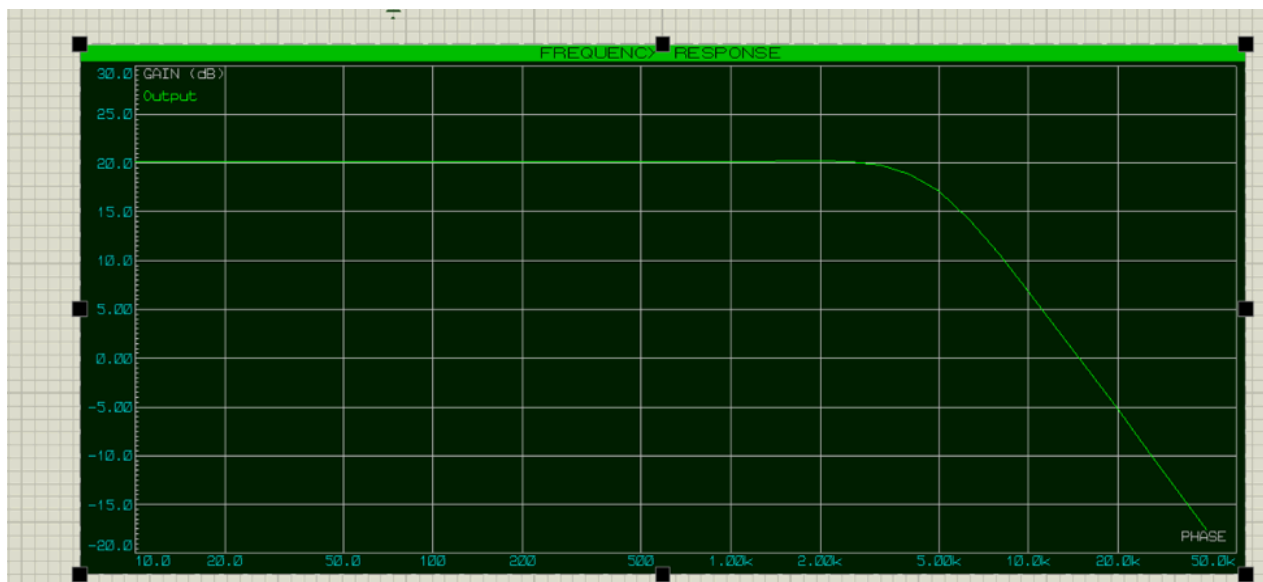
Figur 7: Funktionstabel af de forskellige output på NE5532

## 3.1.3 Simulering og test

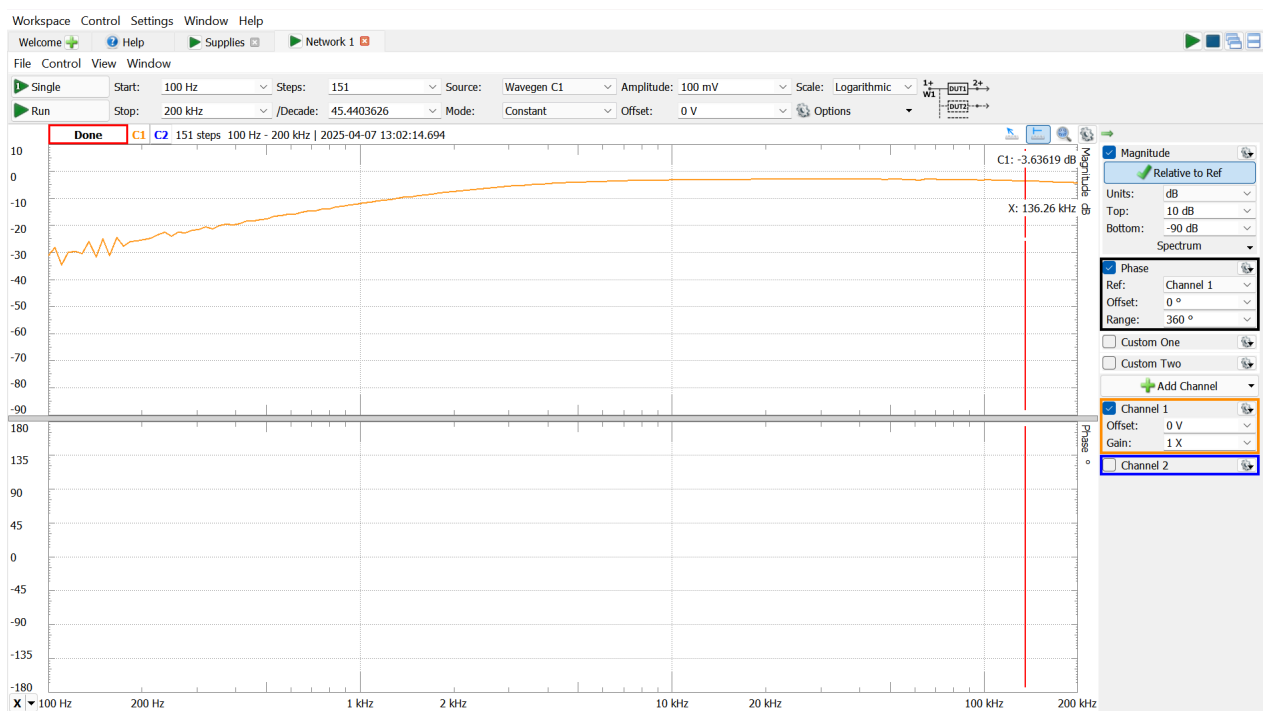


figur 8: lavpas simulering i proteus





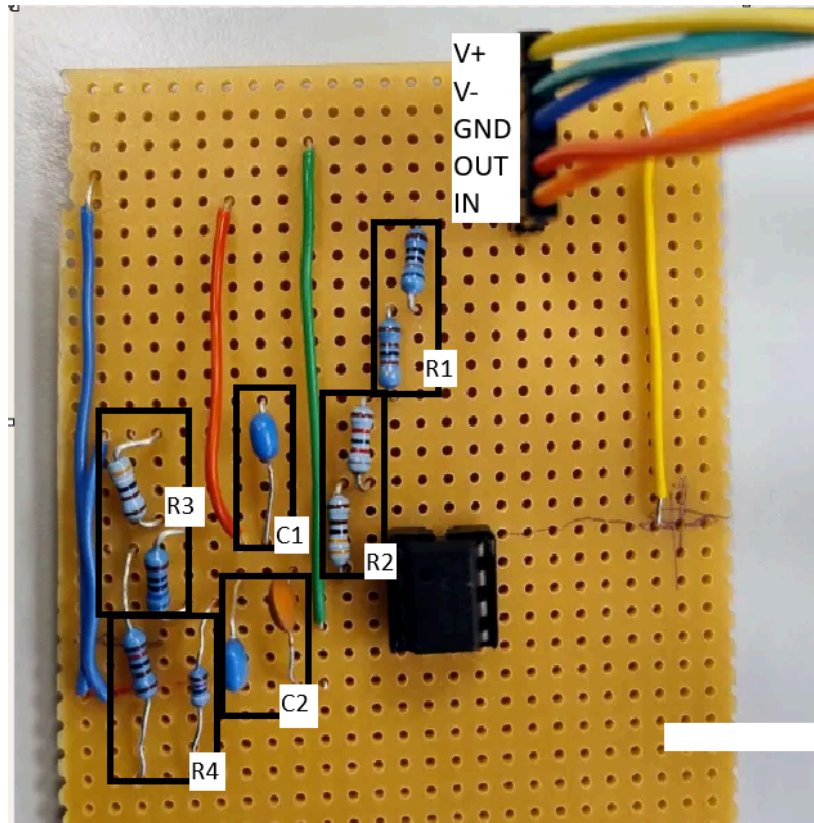
Figur 9: lavpasfilter simulering fra proteus



Figur 10: Simulering af Lavpasfilter i Waveforms

Det virker til at det er gået galt for os i vores måling, da den gerne skulle afspejle simuleringen.

### 3.1.4 Implementering



Figur 11: Forbindelse af vores fysiske board

## 3.2 Hardware Højpasfilter

For et 2.-ordens højpasfilter skal du tænke "spejlvendt" i forhold til lavpasfilteret. I stedet for at vælge en stopbåndsfrekvens, der er højere end passbåndsfrekvensen, skal du for et højpasfilter vælge en stopbåndsfrekvens, der er lavere end passbåndsfrekvensen, samt en stopbåndsdæmpning, der er væsentligt dybere end -3 dB. For eksempel, hvis du ønsker et 2.-ordens højpasfilter med en cutoff (passbånd) på 500 Hz, kan du gøre følgende:

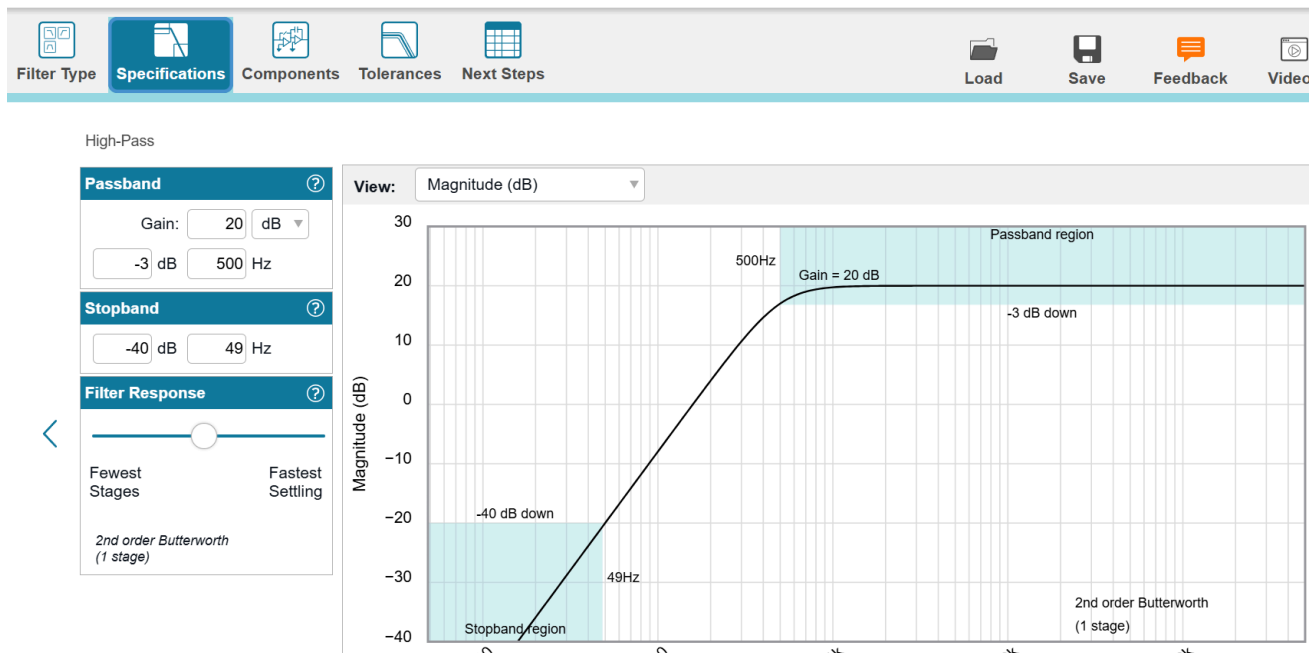
- **Passbåndsfrekvens:** Sæt denne til 500 Hz (-3 dB punktet for Butterworth).
- **Stopbåndsfrekvens:** Vælg en frekvens, der er lavere end 500 Hz, fx 250 Hz. Det er vigtigt, at denne værdi er mindre end passbåndsfrekvensen.
- **Stopbåndsdæmpning:** I et 2.-ordens Butterworth-filter vil dæmpningen ved 250 Hz typisk være omkring -12 dB. Du skal derfor indstille stopbåndsdæmpningen til et tal, der er lavere (mere dæmpet) end -3 dB – fx -12 dB.

Ved at vælge disse værdier opfylder du FilterWizards krav:

- Passbåndsfrekvensen (500 Hz) er større end stopbåndsfrekvensen (250 Hz).
- Stopbåndsdæmpningen (-12 dB) er dybere end passbåndsdæmpningen (-3 dB).

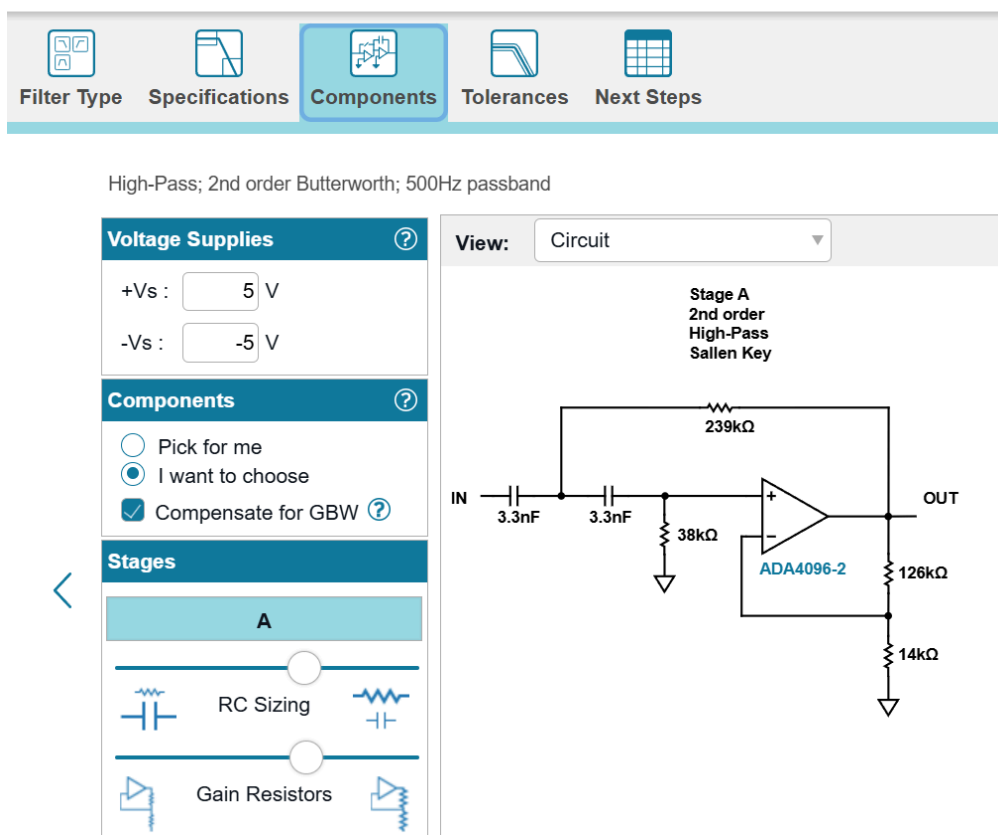
### 3.2.1 Design Højpasfilter

## ANALOG DEVICES | Analog Filter Wizard

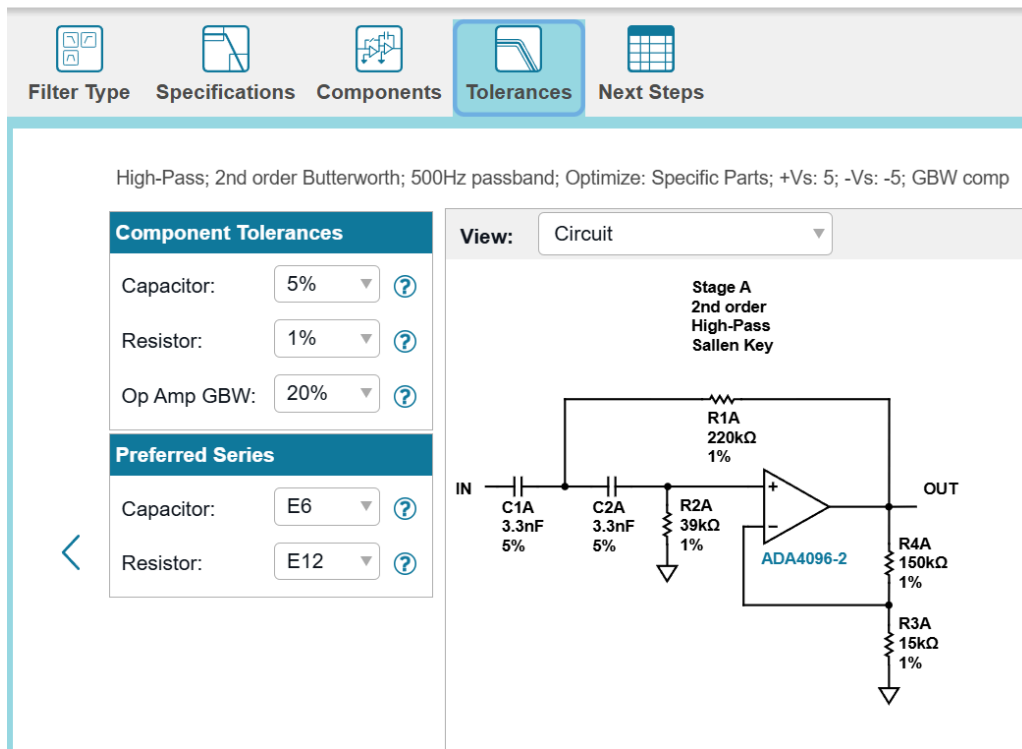


Figur 12: Højpas frekvensen defineret ud fra 2. ordens Butterworth lavpasfilter med 500 Hz og -3Db

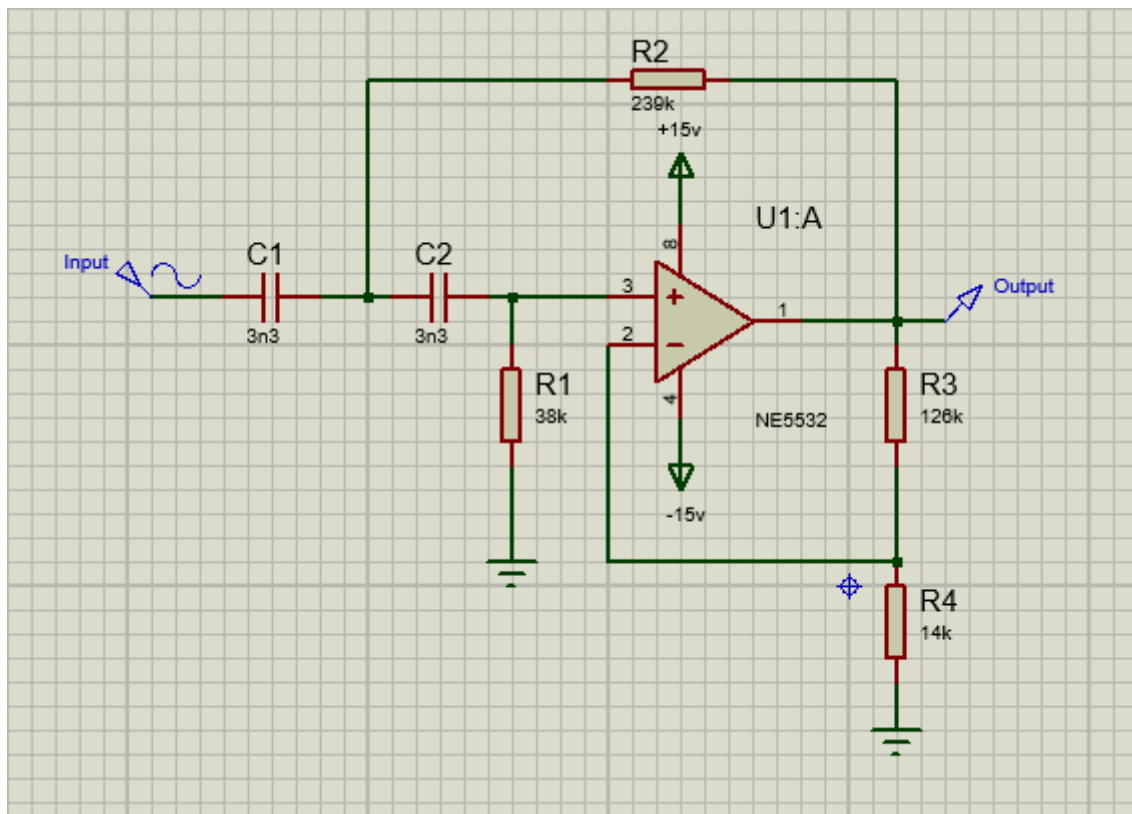
## ANALOG DEVICES | Analog Filter Wizard



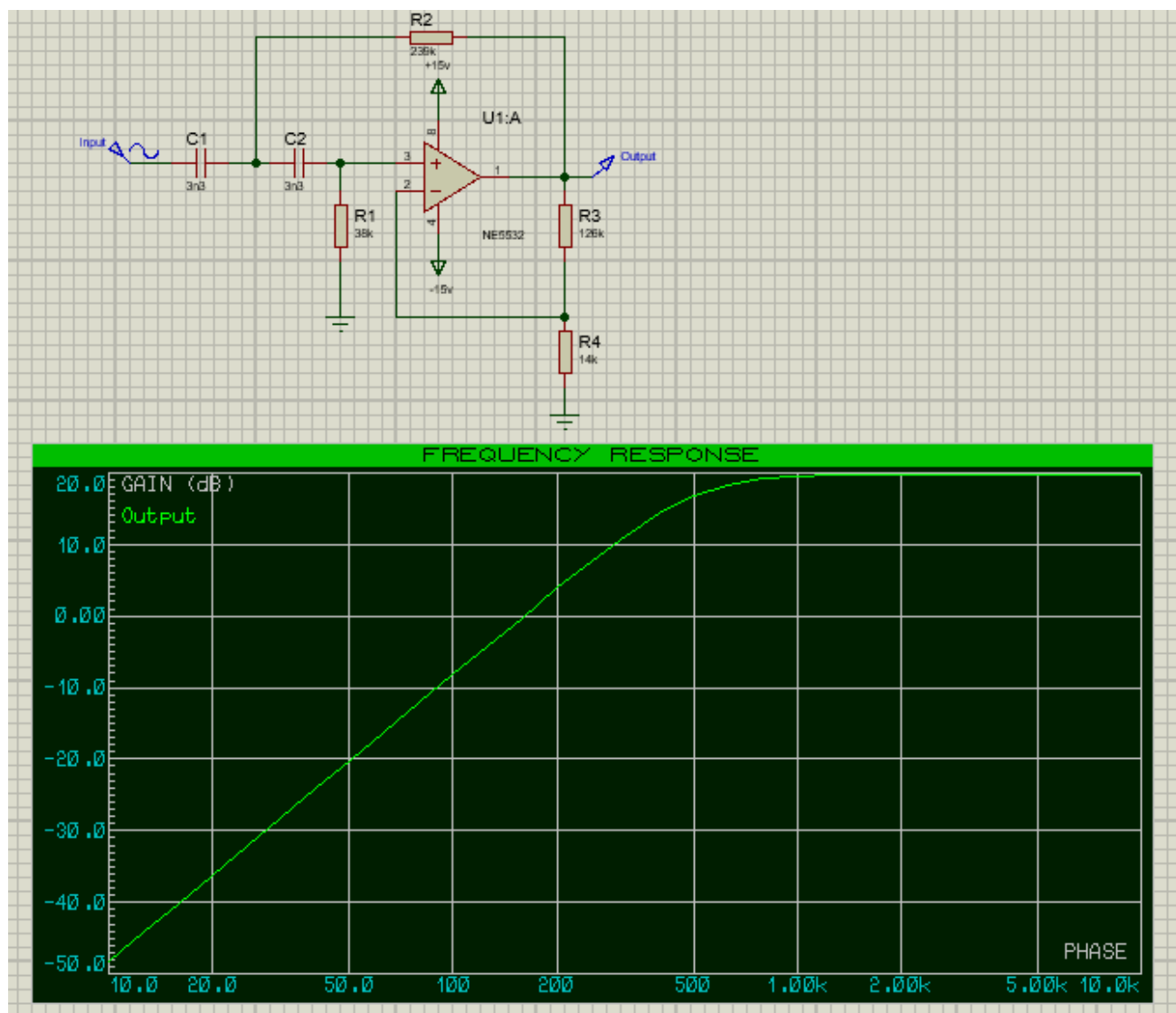
Figur 13: design af højpasfilter fra Analog wizard



Figur 14: hardware diagram af højpasfilter fra analog wizard

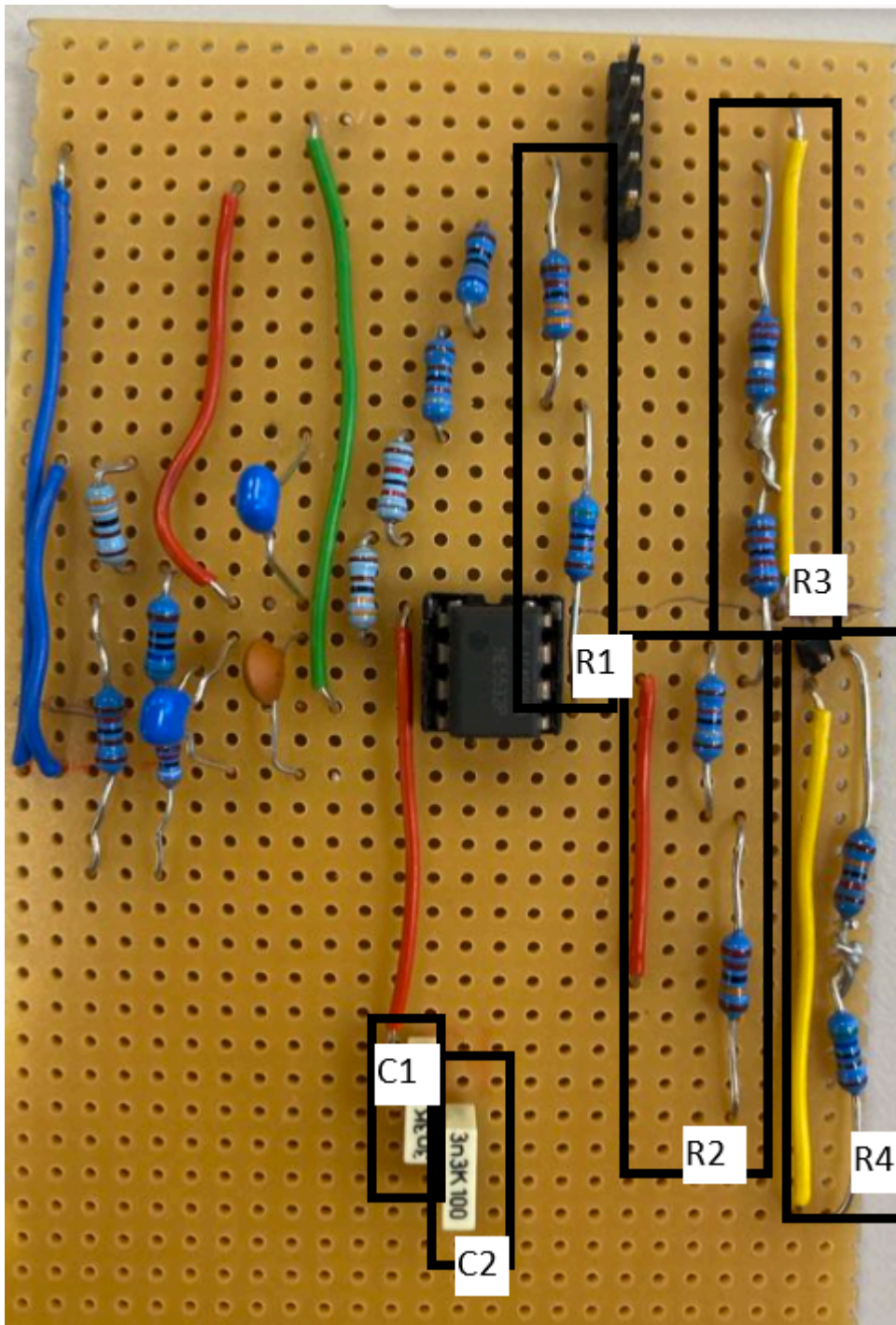


Figur 15: hardware diagram af højpasfilter i proteus



Figur 16: Simulering af højpasfilter i proteus

### 3.2.2 Implementering



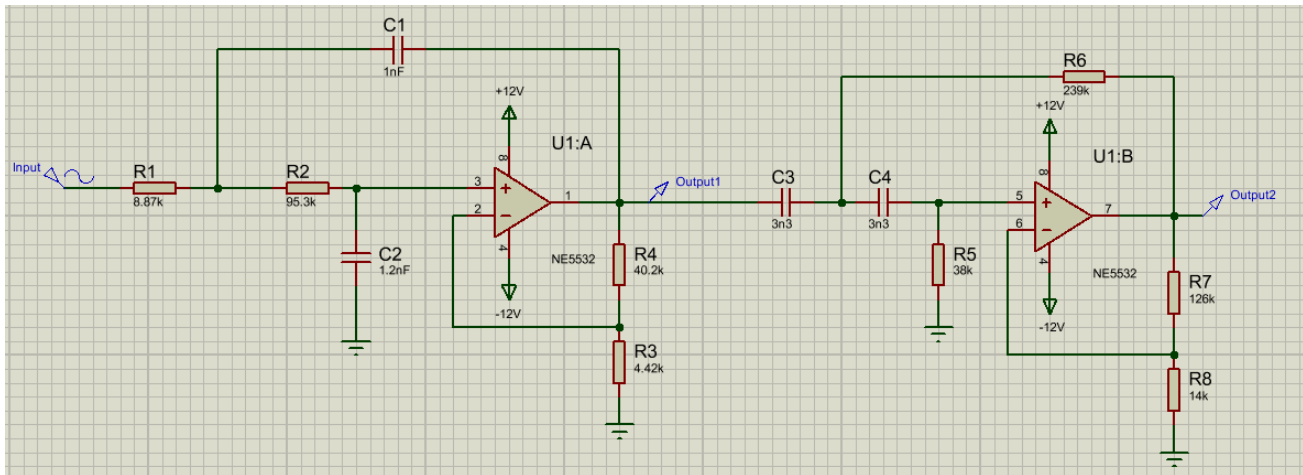
Figur 17: Hardware af højpas

### 3.2.3 Test

Det ser desværre ud til at vi ikke nåede denne del af testen :-(

### 3.3. Båndpasfilter

Vi burde egentlig have sat det hele op med begge systemer i sammenhæng og have testet dem, men det må vi gøre efter dette forløb for at opleve et færdigt båndpas.



### 5. Konklusion

Vi konkluderer, at vi desværre ikke nåede at fuldføre opgaven inden for den angivne tidsramme. Allerede efter samling af komponenterne opstod der problemer med lavpasfilteret, hvilket understregede, hvor vigtigt et roligt og nøje design er. Selv en lille fejl kan nemlig medføre betydeligt tidsforbrug til fejlfinding og test.

### 6. Referencer

Analog wizard - <https://tools.analog.com/en/filterwizard/>

Proteus - <https://www.labcenter.com/>

Analog discovery - <https://digilent.com/>

Lavpas dokumentation - [https://www.electronics-tutorials.ws/filter/filter\\_5.html](https://www.electronics-tutorials.ws/filter/filter_5.html)

Højpas dokumentation - [https://www.electronics-tutorials.ws/filter/filter\\_6.html](https://www.electronics-tutorials.ws/filter/filter_6.html)

Båndpas dokumentation - [https://www.electronics-tutorials.ws/filter/filter\\_7.html](https://www.electronics-tutorials.ws/filter/filter_7.html)

### 7. Bilag