



**CHALMERS**  
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

---

# **Analys av kupéljud i bil och praktiskt utförande av destruktiv interferens via analog krets**

Kandidatarbete inom elektroteknik vid Chalmers tekniska högskola

Vivian Nguyen  
Samuel Ferreras



KANDIDATARBETE 2019

# Analys av kupéljud i bil och praktiskt utförande av destruktiv interferens via en analog krets

Kandidatarbete inom elektroteknik vid Chalmers tekniska högskola

Vivian Nguyen  
Samuel Ferreras



**CHALMERS**  
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Institutionen för elektroteknik  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg 2019

Kandidatarbete inom elektroteknik vid Chalmers tekniska högskola

Vivian Nguyen  
Samuel Ferreras

© Vivian Nguyen, 2019.  
© Samuel Ferreras, 2019.

Handledare: Fredrik Hansson, Conmore Ingenjörbyrå AB  
Examinator: Jian Yang, Institutionen för elektroteknik

Kandidatarbete 2019  
Institutionen för elektroteknik  
Chalmers University of Technology  
SE-412 96 Gothenburg  
Telefon +46 31 772 1000

# Abstrakt

The purpose of this bachelor thesis is to analyze the sound that is created in a cars coupe while driving at various speeds and create an analog circuit that cancels out unwanted noise. The frequency spectrum of the unwanted noise that originates from friction between the car's tires, the road and car body is the frequency range that will be cancelled out. Create an analog circuit containing microphones, low pass and high pass filters, amplifiers that works as a noise cancelling system.

Frequencies between 100Hz and 1kHz is the spectrum result from the sound analysis. The complete system was designed and simulated in LTspice before constructing the system on a breadboard. An attenuation of 10dB on one frequency of 500Hz was accomplished with a signal generator and 4dB when using the electret condenser microphones on actual sounds.

---

## Sammandrag

Denna kandidatuppsats syfte är att analysera ljudet som uppstår i en bilkupé medan man kör i olika hastigheter och skapa en analog krets som avlägsnar oönskat ljud. Frekvensspektrumet för det oönskade ljudet som härrör från friktion mellan bilens däck, vägen och bilkarossen är frekvensområdet som kommer att tas bort. Det ska även skapas en analog krets som behandlar mikrofoner, lågpas- och högpasfilter, förstärkare som fungerar som ett brusreducerande system.

Frekvenser mellan 100Hz och 1kHz är spektrumresultatet från ljudanalysen. Det kompletta systemet designades och simulerades i LTspice innan systemet byggdes på en kopplingsplatta. En dämpning av 10dB på en frekvens på 500Hz genomfördes med en signalgenerator och 4dB när elektretkondensormikrofonerna användes på reellt ljud.

Keywords:



## Acknowledgements

Vi vill tacka Conmore Ingenjörbyrå AB för vi fick utföra examensarbetet hos er och Fredrik Hansson för handledningen. Vi vill även tacka vår examinator Jian Yang från Elektrofakulteten på Chalmers Tekniska Högskola. Tillslut ett stort tack till Sakib Sisteck för labbsalen på Chalmers Tekniska Högskola Campus Lindholmen.

Vivian Nguyen och Samuel Ferreras, Göteborg, 06/2019





# Innehållsförteckning

<b>Figurer</b>	<b>xiii</b>
<b>Tabeller</b>	<b>1</b>
<b>1 Inledning</b>	<b>1</b>
1.1 Bakgrund . . . . .	1
1.2 Förstudie . . . . .	1
1.3 Syfte . . . . .	2
1.4 Frågeställning . . . . .	2
1.5 Generella avgränsningar . . . . .	2
<b>2 Teori</b>	<b>3</b>
2.1 Ljud och vågteori . . . . .	3
2.1.1 Akustik . . . . .	3
2.1.2 Interferens . . . . .	4
2.1.3 Passiv och aktiv ljudreducering . . . . .	4
2.1.4 Decibel och ljudtryck . . . . .	5
2.2 Diskret Fouriertransform . . . . .	5
2.2.1 FFT . . . . .	5
2.3 Simuleringsprogram . . . . .	6
2.3.1 LabVIEW . . . . .	6
2.4 Komponenter . . . . .	6
2.4.1 Operationsförstärkare . . . . .	6
2.4.2 Filter . . . . .	7
2.4.3 Mikrofon och högtalare . . . . .	9
<b>3 Metod</b>	<b>11</b>
<b>4 Kretskonstruktion</b>	<b>13</b>
4.1 Mikrofon . . . . .	14
4.2 Filter . . . . .	15
4.2.1 Högpassfilter . . . . .	15
4.2.2 Lågpassfilter . . . . .	16
4.3 Förstärkning . . . . .	17
4.4 Fasförskjutning . . . . .	18
4.5 Högtalare . . . . .	19

<b>5</b>	<b>Resultat</b>	<b>21</b>
<b>6</b>	<b>Miljö</b>	<b>25</b>
<b>7</b>	<b>Diskussion</b>	<b>27</b>
<b>8</b>	<b>Slutsats</b>	<b>29</b>
<b>A</b>	<b>Appendix</b>	<b>1</b>

# Figurer

2.1	Bild på konstruktiv interferens och destruktiv interferens med 2 vågor. Från [10], CC-BY. . . . .	4
2.2	Bild på ett bandpassfilter. Från [21], CC-BY. . . . .	7
2.3	Bild på ett RC-filter. Från [22], CC-BY. . . . .	8
2.4	Bild på en Sallen-key-koppling. Från [23], CC-BY. . . . .	8
3.1	Examensarbetets Gantt-schema. . . . .	11
4.1	Den analoga kretskonstruktionen i LT-Spice. Med matningsspänningar på $\pm 9V$ . . . . .	13
4.2	Elektretmikrofonens uppbyggnad. Från [24], CC-BY. . . . .	14
4.3	Högpasfilterets konstruktion i den analoga kretsen. . . . .	15
4.4	LT-Spice simulering på undre gränshäufigkelsen på högpasfilteret. . . . .	15
4.5	Mätning på in- och utspänning mellan häufigkelsen 200Hz - 2500Hz. Mätningen gjordes i Excel. . . . .	16
4.6	Dämpningen (dB) beroende av häufigkelsen (Hz). . . . .	17
4.7	Lågpasfilteret i den analoga kretsen. . . . .	17
4.8	Förstärkarkretsen. . . . .	18
4.9	Fasförskjutningen. . . . .	19
5.1	Häufigkelsen för 50km/h där häufigkelsen 83-337 Hz dominerar	21
5.2	Häufigkelsen för 70km/h där häufigkelsen 180-350 Hz dominerar	22
5.3	Häufigkelsen för 90km/h där häufigkelsen 141-350 Hz dominerar	22
5.4	Kretsens totala häufigkelsen svar . . . . .	23
5.5	Kretsen matad med signalgenerator inställd på 500 Hz där en förskjutning på $40\mu s$ på kurvorna uppstår. . . . .	24



# 1

## Inledning

Det här kapitlet innehåller förstudie, bakgrunden till examensarbetet, syftet samt mål.

### 1.1 Bakgrund

I dagens fordonssamhälle strävar man efter ett miljövänligare sätt att färdas. Därmed har utvecklingen av hybrid- och elbilar varit av stort intresse.

Framgången med miljövänliga bilar på våra gator och vägar har medfört mer komfort ljudmässigt när man aktivt kan välja vilken av motorerna man vill utnyttja, elmotorn eller förbränningsmotorn. En stor fördel med elmotorn i just hybridbilar, förutom ett högre vridmoment vid låga varvtal, är den betydligt lägre ljudnivån som uppstår i bilens kupé under färd. Det enda noterbara ljudet som hörs inifrån bilkupan kommer från friktionen mellan väglag, däck och kaross. Ljudet kan uppfattas som ett brus och i nuläget dämpas bruset passivt utav bilens isolering men skulle man kunna dämpa bruset aktivt?

### 1.2 Förstudie

I dagens moderna bilindustri går forskningen framåt och ett flertal bilmärken inför samarbete med kända ljudföretag just för ljudreduceringens skull. Ett företag som tidigt kom med ett försök med en implementering av ett ljudreduceringssystem för bilen är Ford. Trots lovande specifikationer att ha i en ny bil lanserades systemet endast som prototyp[2].

Ljudföretaget Bose, som i nuläget är ledande inom brusreducering, haft som mål att införa sin framgångsrika brusreducering-teknologi till bilindustrin. Bose har dock insett magnituden av problemet med att aktivt störa ut ljudet i en hel kupé, vilket i sin tur resulterade i många år av forskning inom området[3].

Då aktivt brusreducering inom bilindustrin är ett aktuellt ämne så finns det redan ett flertal undersökningar och tester om det faktiskt är möjligt. Ett team av universitetsstudenter från Australien utförde tester på rumslig brusreducering i en bil med liknande avgränsningar som detta projekt. Där gjorde man en ljudanalys på bruset och beräknade ett experimentellt resultat om de integrerade högtalarna användes[4]. Det betyder alltså att de aldrig provade detta i realtid.

vad finns på marknaden, vad har gjorts inom detta område, hur ser framtiden ut.

### 1.3 Syfte

Syftet med arbetet är att göra en analys av kupéljudet i en bil och finna frekvenserna i det oönskade ljudet inuti kupén och försök till praktiskt utförande av destruktiv interferens genom att konstruera en analog krets.

### 1.4 Frågeställning

En precisering av frågeställningen och det som ska undersökas:

- Vilken frekvens/frekvenser av störande ljud återfinns i en bils kupé under färd.
- Går det att konstruera en krets för att minska störande ljudnivå i bilen med hjälp av dess integrerade högtalarsystem.
- Går det att undvika den positiva feedback-loopen som uppstår.

### 1.5 Generella avgränsningar

Följande avgränsningar är satta för att underlätta projektets gång och öka chansen till att lyckas med utsatta mål.

För att identifiera störande brus från väg och bilkaross är det ytterst lämpligt att göra det för endast en specifik bil och en utvald hastighet. En avgränsning för brusreduceringen är avvägt till att endast föraren/främre passagerarsätet är den som påverkas av en eventuell förändring av ljudnivå. Denna avgränsning är satt då man inte kommer ta hänsyn till uppståndet av stående vågor i bilkupén. Ett frekvensområde mellan 100Hz och 1kHz har även valts för reduktion, detta för bruset som skapas från däcket och väglaget ligger inom det området.

En ytterligare avgränsning är kvalitén på komponenter som används för analys av ljud och konstruktion av analog krets. Då tillgången till bra komponenter är kostsam så kommer komponenter som redan är tillgängliga för kandidatarbetet användas.

# 2

## Teori

Under detta avsnitt behandlas teori som kan vara nödvändigt för att förstå rapportens innehåll. I avsnittet redogörs grundläggande vågteori om interferens och hur ljud uppför sig i tid och rum. Det ingår även LabVIEW-programmering och spectralanalys av frekvenser genom Fourier-transformen. Komponenter och dess roll i kretskonstruktion tas också med.

### 2.1 Ljud och vågteori

Ljud skapas när molekylerna i luften sätts i rörelse[5]. Hur ljudet sedan uppfattas beror på densiteten av molekylerna (ljudtrycket) som skapats. Ett mänskligt öra består av tre delar: ytteröra, mellanöra och inneröra[5]. Ytterörat fångar upp ljudvågorna, leder dem vidare in i örat genom hörselgången och sedan till mellanörat. I mellanörat slår ljudvågorna mot en trumhinna med hjälp av tre hörselben som förstärker ljudet, skickar vidare det genom ett membran och sedan vidare till innerörat. I innerörat finns det tusentals mikroskopiska hårceller som sätts i rörelse av ljudvågorna och skapar då elektriska signaler som hjärnan uppfattar som ljud. Ljud under 20Hz kallas infraljud. Människan kan höra ljud mellan 20Hz till 20 000Hz[5].

Ljudet som uppstår av vibrationerna i ett medium kallas för longitudinella vågor och kan visualiseras som en våg av sinuskaraktär[6]. Dessa propagerande vågor har en amplitud  $A$ , våglängd  $\lambda$  och frekvens  $f$  i tidsrummet som avgör ljudets karaktär. En ljudvågs våglängd är beroende av frekvensen och hastigheten  $v$  av vågen[6]. Då ljud i luft fortplantar sig i ljudets hastighet på cirka 343 meter/sekund i rumstemperatur så kan det i rapportens mening användas som en konstant. Detta medför att frekvensen kan beräknas utifrån hastigheten genom våglängden[6].

$$\text{Frekvens} = \frac{\text{Hastighet}}{\text{Våglängd}} = f = \frac{v}{\lambda} \quad (2.1)$$

#### 2.1.1 Akustik

Läran om ljudet kallas akustik och innefattar allt som har med ljud att göra[7]. För mycket ljudtryck påverkar människan till stress och trötthet samt påverkar effektiviteten och hälsan. Hur ljud uppfattas i ett rum beror på ljudets utbredning och dämpning, material och stommen av väggar, tak och golv. Rummets väggar,

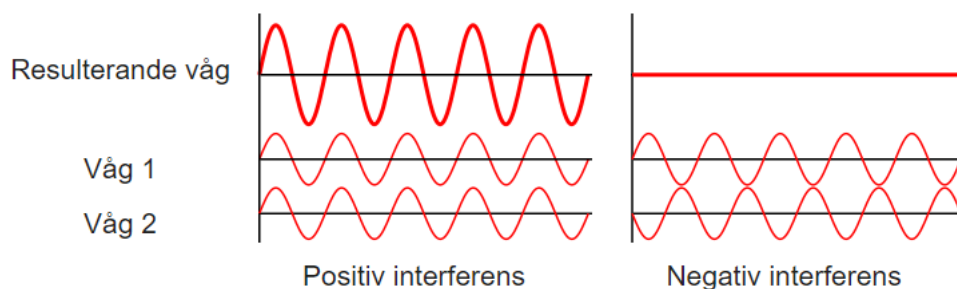
tak och golv förändrar ljudets karaktär samt intensitet och med detta kan då ljud stängas ute. Hårt material som exempelvis betong är bra på att hindra ljud från att reflekteras tillbaka. Det är reflektionerna som bidrar till höga ljudnivåer och ekoeffekter. Reflektionen ( $RT$ ) kan beräknas med formeln[8]:

$$RT = \frac{0.161 \times V}{A} = \frac{0.161 \times . \cdot V}{S_1 \cdot \alpha_1 + S_2 \cdot \alpha_2 + \dots + S_n \cdot \alpha_n} [s] \quad (2.2)$$

Där reflektionen  $RT$  är proportionell mot rumsvolymen  $V$  och omvänt proportionell med akustiska absorptionen  $A$  av rummet. Den akustiska absorptionen  $A$  av varje  $n$ -fakultet ( $n!$ ) yta/element i rummet är produkten av ytan  $S$  och den akustiska absorptions koefficienten  $\alpha$  av ett givet element[8].

### 2.1.2 Interferens

Interferens inom ljudvågor uppstår vid superposition av 2 eller flera vågor i samma tidsrum[9]. Dessa vågor kan då skapa konstruktiv interferens eller destruktiv interferens. Konstruktiv interferens innebär en förstärkning och det inträffar när vågorna ligger i fas med varandra. Motsatsen till konstruktiv interferens är destruktiv interferens som är en dämpning. Dämpningen sker när vågorna ligger i en fasrelation på  $\lambda$  att de släcker ut varandra[9].



**Figur 2.1:** Bild på konstruktiv interferens och destruktiv interferens med 2 vågor. Från [10], CC-BY.

### 2.1.3 Passiv och aktiv ljudreducering

När det kommer till ljud- eller brusreducering finns det aktiv och passiv reducering[11]. Passiv reducering kräver ingen ström och skapas med isoleringsmaterial. Reduceringen anpassar sig då inte efter något specifikt frekvensspann utan reducerar allt lika mycket.

Aktiv brusreducering kräver ström, mikrofon och högtalare[11]. Mikrofonen fångar upp ljudvågorna på brusets frekvens och med destruktiv interferens skapar ljudvågor som slår ut bruset. Dessa två vågor är alltså likadana men ena är inverterad och summan av dem blir då noll. Frekvensområdet som ska reduceras är förbestämda och kan te.x skapas med hög- och lågpasfilter.

### 2.1.4 Decibel och ljudtryck

Förstärkning kan erhållas i gånger och anges då i storheten decibel (dB)[12]. Motsatsen till förstärkning som är dämpning eller undertryck mäts också i decibel men får negativt tecken. Decibelskalan är logaritmisk och densamma är örats känslighet. Decibel anger alltså förhållandet mellan 2 storheter och uttrycks i dB genom formeln nedan där  $U_{ut}$  och  $U_{in}$  är förstärkarens ut- respektive insignaler[12].

$$Förstärkning[dB] = 20 \cdot \log \frac{U_{ut}}{U_{in}} \quad (2.3)$$

Förutom i elektroniken används decibel i samband med ljudstyrka. I elektroniken innehåller decibelmåtten dBV som är decibel relativt 1V effektivvärde och dBm, decibel relativt 1mW effekt[13].

## 2.2 Diskret Fouriertransform

Det uppkommer omständigheter när man ska bestämma frekvensinnehållet i en tidsdomänsignal[14]. Till exempel vid analys av spektrumet för utgången från en LC-oscillator för att se hur mycket brus som finns i den producerade sinusvågen. Detta kan uppnås genom den diskreta fouriertransformen (DFT). DFT omvandlar alltså en grupp av lika fördelade samplar av data till en enda sekvens som är lika lång som de prover som används för att göra komposit-sekvensen[14]. Det kan användas för att undersöka förhållandet mellan tid och frekvens i provdata. DFT tillsammans med digital filtrering är ett av de två kraftfullaste verktygen inom digital signalbehandling[14].

Uttrycket för DFT använder datorer för att beräkna fouriertransformen av en samplad datamängd där  $N$  är samplingsmängden[15]:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-jk\Omega_0 n} \quad (2.4)$$

### 2.2.1 FFT

En snabb fouriertransform, fast fourier-transform, (FFT) är en matematisk funktion som används för att analysera och mäta frekvensområdets signaler, vibrationer och andra typer av vågformer med stor effektivitet och snabbhet[12]. Den kan användas för att sammanfatta stora mängder data. FFT erbjuder ett snabbt sätt att matematiskt bestämma både DFT för en sekvens och dess invers. Utan FFT-algoritmer måste dessa beräkningar mätas med hjälp av konvolvering, vilket kräver mycket större ansträngning och tid[12].

### 2.3 Simuleringsprogram

Vid en kretskonstruktion används simuleringsprogram. Funktionen dessa program består är att de enkelt visar hur kretsen kommer prestera genom olika specifikationer[16]. Simuleringar ger i många avseenden samma utslag som fysiska experiment. Det är även möjligt att analysera kretsen och dimensionera komponentvärden som behöver justeras för bättre prestanda[16]. Programmet kan även medföra att projekt blir billigare och mer effektiva, speciellt om det är två olika alternativ till lösning som ska jämföras. Ett vanligt simuleringsprogram för kretskonstruktion är LT-spice.

Programmet LT-spice implementeras i arbetsområden inom fälten radiofrekvenslektronik och digital elektronik[17].

#### 2.3.1 LabVIEW

LabVIEW är en visuell programmeringsapplikation med ett brett utbud av färdiga block och funktioner. Program som skapades i LabVIEW hade till syfte att analysera inspelad ljud från bilens kupé. Med hjälp av de färdiga blocken kunde man smidigt få ihop ett program som visade kraftspektrumet av ljud, som i detta fallet var ljudklipp som var 20 sekunder långa under varierande fartförhållanden. Kraftspektrumet som uppstår visualiserar i vilken eller vilka frekvenser energimängden befinner sig i en signal.

### 2.4 Komponenter

När det kommer till komponenter finns det både aktiva och passiva[13]. Exempel på passiva komponenter är resistorer, spolar och kondensatorer. Kretsar med enbart passiva komponenter skapar högre utspänning än inspänning men inte högre uteffekt än ineffekt. Ett exempel på en sådan krets där utspänningen är högre än inspänningen är en serieresonanskrets[13]. Aktiva komponenter är halvledarekomponenter som dioder, transistorer och operationsförstärkare.

Resistorer används främst för att få lämpliga spänningsnivåer i kretsar då delar av kretsar kräver rätt spänning för att komponenterna skall fungera[13].

Kondensatorer kan fungera som ett batteri och lagra energi. Detta genom sin egenskap att de kan binda laddning, positiv laddning på ena plattan och lika stor negativ på den andra. Storleken hos laddningen är proportionell mot spänning mellan plattorna. Vid mätningar som antar väldigt låg spänning är kondensatorer viktiga för att bevara energin[19].

#### 2.4.1 Operationsförstärkare

En vanlig OP-förstärkare är uppbyggd med diskreta komponenter som är inkapslade i ett skal med ben som går att koppla till. Dessa ben har specifika funktioner, vanligast är en inverterande(-) och icke-inverterande(+) ingång, utsignal och

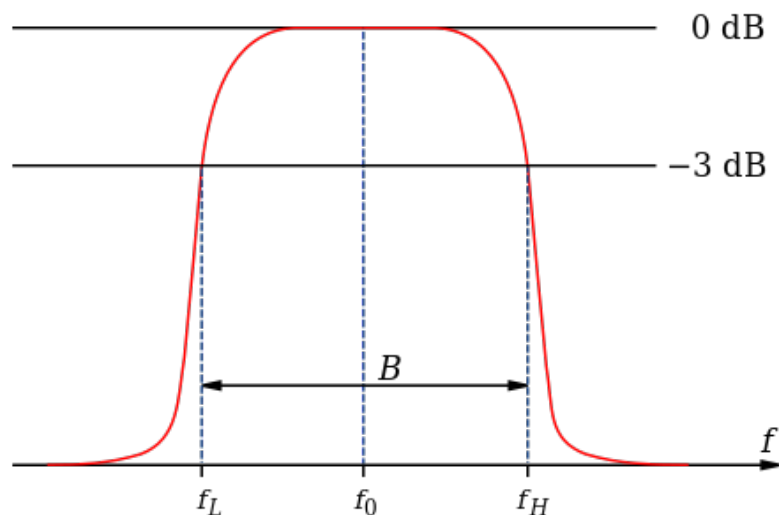
matningsspänning[20]. Utsignalen av OP-förstärkaren är en hög förstärkning av spänningsskillnaden mellan de båda ingångarna. Förstärkningen av OP-förstärkaren justeras genom återkoppling (oftast negativ återkoppling). OP-förstärkare uppfyller funktioner som filtrering av signal, förstärkning av signal och spänningsföljare[20].

## 2.4.2 Filter

Signaler innehåller oftast ett spektrum av flera frekvenser. För att finna ett specifikt omfång av frekvenser behöver man filter. De kan konstrueras på många olika sätt utformade till specifika egenskaper. Några vanliga filter är lågpas-, högpas-, bandpass- och bandspärrfilter[15].

Egenskapen hos ett lågpasfilter är att den släpper genom signaler med låg frekvens men inte höga frekvenser[15]. Detta gör den med hjälp av den övre gränzfrequensen, vilket innebär att signaler över gränzfrequensen elimineras helt eller förminskas. Motsatsen till låspasfilter är högpasfilter som fungerar på samma sätt förutom att den istället har en undre gränzfrequens[15].

Bandpassfilter fungerar så att den släpper igenom signaler i ett specifikt frekvensintervall och dämpar alla signaler utanför intervallet[15]. Bandspärrfiltret fungerar likadant men inverterat så den släpper inte genom frekvenser vid ett specifikt intervall. Det finns även ett specialfall av bandspärrfilter som kallas Notchfilter[15]. Skillnaden är att notchfiltret är smalt och fokuserar på ett mycket litet intervall av frekvenser.

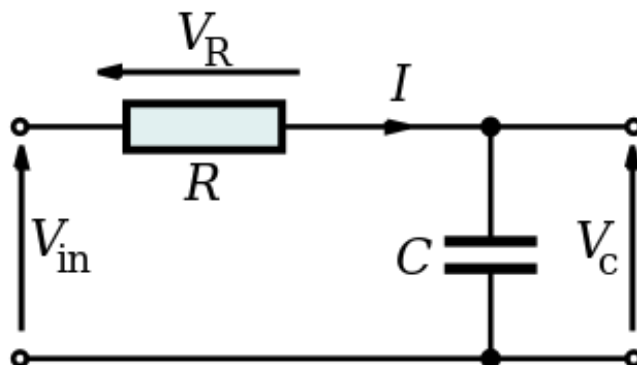


**Figur 2.2:** Bild på ett bandpassfilter. Från [21], CC-BY.

De signaler som ej elimineras är inom ett område som kallas passband och de signaler som är utanför gränzfrequensen är ett område kallas spärrband[15]. Signalerna som ligger inom spärrbands-området dämpas generellt med en faktor på  $-20\text{dB/dekad}$  på det undre spärrbandet och  $-40\text{dB/dekad}$  på det övre spärrbandet. En dubbelt så stor dämpning av frekvensen i filtret i jämförelse med dämpningen i passbandet, det

vill säga när signalen har dämpats med 3dB kallas brytfrekvens. Brytfrekvensen är markerad i figur 2.2.

Dessa filter kan skapas med RC-filter, det blir då ett första gradens filter[15]. Ett RC-filter betyder att filtret innehåller en resistor (R) och en kapacitator (C). Dessa kopplas i serie och man kan då skapa hög- och lågpasfilter.

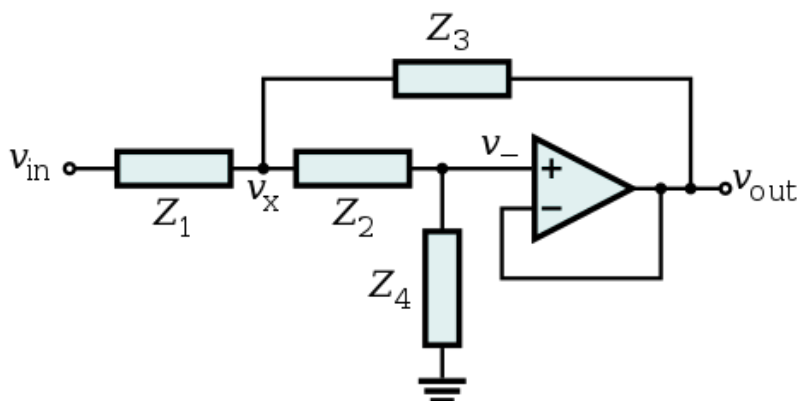


**Figur 2.3:** Bild på ett RC-filter. Från [22], CC-BY.

För att anpassa ett filter av första gradens RC-filter beräknas den önskade övre eller undre gränshfrekvensen med formeln[15]:

$$f = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2.5)$$

Ett sätt att implementera andra ordningens filter är med hjälp av Sallen-key-koppling konstruerat av Butterworth[12]. Dessa filter ger ökad anpassning i passband och spärrbands områden då dessa konstruktioner kan kaskadkopplas och till exempel ge en brantare dämpning i spärrbandet.



**Figur 2.4:** Bild på en Sallen-key-koppling. Från [23], CC-BY.

Överföringsfunktionen för andra gradens Butterworthfilter är[12]:

$$H(s) = \frac{1}{s^2 + 1,41s + 1} \quad (2.6)$$

### 2.4.3 Mikrofon och högtalare

Mikrofonen som används i projektet är en elektretmikrofon med känsligheten -60dBu med referens mot 94 dB SPL (Sound Pressure Level), dess syfte är att omvandla ljud till elektriska signaler som förstärks i den analoga kretsen. Desto högre känslighet på mikrofonen desto mindre förstärkning behövs det från hårdvarukretsen för att få signalen till en nivå där den är användbar. En typisk högtalare med extern drivkälla har en standard nivå på linan på 0.3 V till 2 V. Valet av känslighet beror oftast på användningsområdet men elektretmikrofoner är den varianten av som används mest inom mobila enheter som telefoner, GPS och i de flesta hörlurar med inbyggd mikrofon.

Högtalaren är av en generisk sort från Plexgear. Den är tänkt att användas som en utgång för kretsen. Den analoga kretsen inte är skapad för att driva en högtalare med hög effekt vilket medför att högtalaren har en egen inbyggd förstärkare vilket inte kommer behandlas på ett djupare plan. Förstärkaren i högtalaren är en ljudförstärkare vars syfte är att driva högtalaren med hjälp av en extern spänningskälla på 5 V.

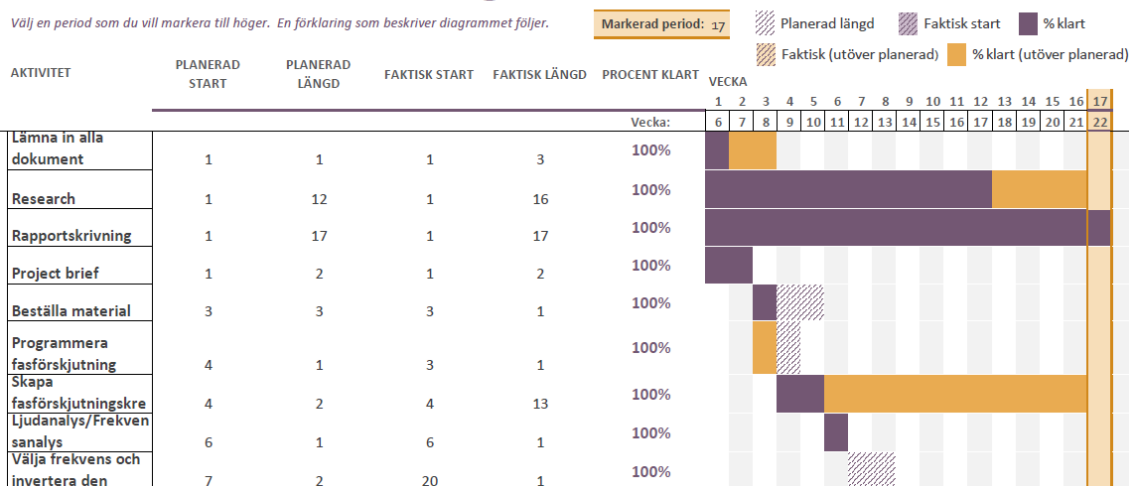


# 3

## Metod

För att uppnå målet med examensarbetet ska arbetet börja med att skapa en överblick över arbetet genom att bryta ner det med WBS-metoden "Åork breakdown structure". Med metoden skapa ett enklare Gantt-schema för fördelning av arbetstiden.

### Examensarbete 2019. Vivian och & Samuel



Figur 3.1: Examensarbetets Gantt-schema.

Under arbetets gång ska uppföljningsmöten med handledaren Fredrik Hansson från Conmore Ingenjörbyrå AB bokats in med 2-3 veckors mellanrum. Under dessa möten ska en avstämning utföras på arbetet och tidsschemat så arbetet kommer slutföras i tid. Examensarbetet ska också utföras på Conmores kontor 1-2 dagar i veckan för företaget önskar se framsteg.

De första veckorna av arbetet ska bestå av sökning på Chalmers biblioteket efter metoder och information om hur man kan lösa brusreduceringen. Tekniken som används för brusreducerande hörlurar ska undersökts eftersom det liknar projektet. Stora delar av den teknologin kommer implementeras i arbetet. Därefter ska en krets skapas i simuleringsprogrammet LT-Spice. Detta för att effektivisera arbetstiden och anpassa kretsen efter önskat resultat. När resultatet blir godkänt från simuleringarna implementera detta på en kopplingsplatta med fysiska komponenter. Valet med kopplingsplatta istället för att löda ihop kretsen direkt är för kopplings-

plattan ger användaren möjligheten att byta ut komponenter enkelt utan lödning. Komponenterna som saknades från skolan ska beställas. Kretsen ska konstrueras i sal Jupiter 210 på Chalmers Tekniska Högskola Campus Lindholmen, ett rum för examensarbetare tack vare Sakib Sisteck och Göran Hult.

En ljudanalys i en hybridbil på elläge ska utföras på rak väg. Experimentet ska genomföras på 50km/h, 70km/h och 90km/h med 20 sekunder långa inspelningar, för att finna brusets frekvenser på de olika hastigheterna. Frekvenserna ska då spelas upp till mikrofonerna i kretsen för att utföra en destruktiv interferens i högtalarna som ska dämpa bruset. Det inspelade ljudet ska sedan behandlas med LabVIEW för att kunna analysera signalens spektrum.

När kretsen är färdigkonstruerad och ljudanalysen genomförd ska den analoga kretsen testas. Först på en frekvens inom brusintervallet genom en signalgenerator som införs in i kretsen utan mikrofon. Detta för att kontrollera om kretsen lyckas dämpa signalen med destruktiv interferens i de perfekta förhållandena. Därefter ska inspelning från bil spelas upp till mikrofonerna för att se om projektet lyckas dämpa även det här.

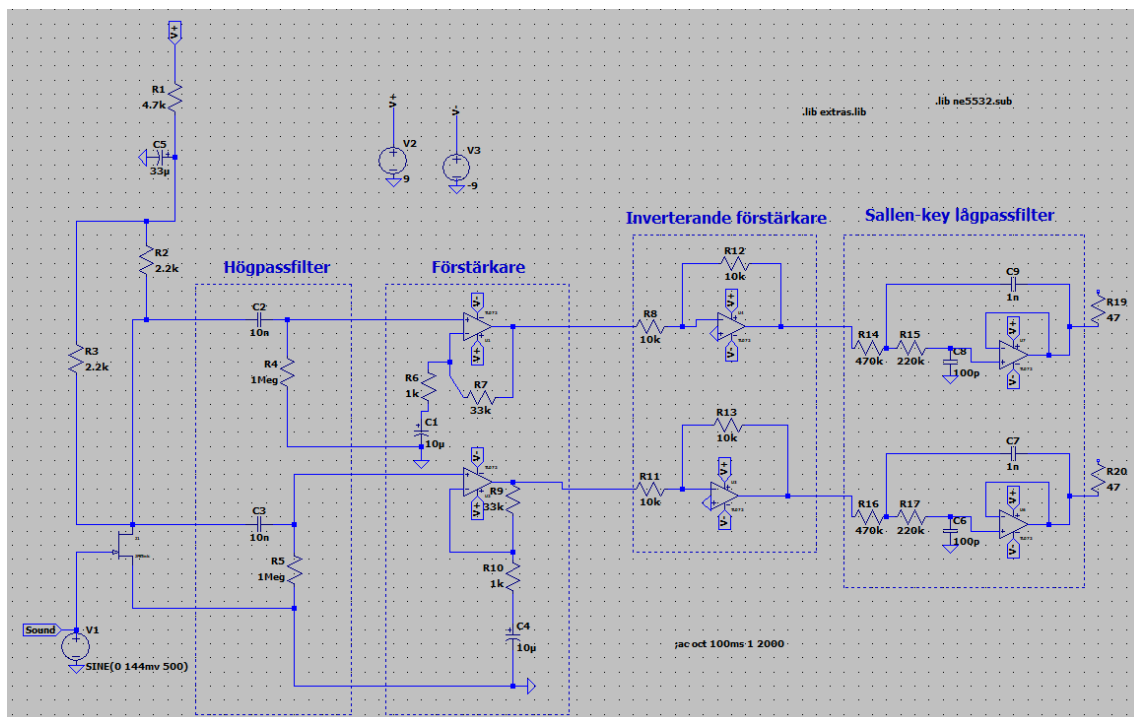
Det verkliga resultatet för projektet ska gå till så att man ska placera mikrofonen vid personens huvud eftersom sfären som ska dämpas befinner sig där. Högtalarna i bilen ska sedan kopplas till kretsen och reducera inkommande brus inom brusintervallet som kretsen är anpassad efter.

# 4

## Kretskonstruktion

Under kretskonstruktion redogörs hur den analoga kretsen är uppbyggd. Syftet med kretsen är att invertera den elektriska signalen från mikrofonen, förstärka signalen och filtrera för att sedan skickas till utgången. För att skapa det här valdes operationsförstärkaren NE5532 för den är högpresterande och kan kombinera DC- och AC-spänningar (se Appendix för kompendium). Förstärkaren är också anpassad till att hantera ljudvågor.

Kretsens utgång är kopplad till en 3.5mm stereo ingång där högtalare kan kopplas in via en kabel. Den analoga kretsen är tänkt att vara portabel och kan därmed drivas med 2 stycken 9 volts batterier.



**Figur 4.1:** Den analoga kretskonstruktionen i LTSpice. Med matningsspänningar på  $\pm 9V$ .

## 4.1 Mikrofon

Mikrofonen som tidigare nämnts är en elektretmikrofon som omvandlar ljud till ström. Den är omnidirektionell vilket betyder att mikrofonen registrerar ljudvibrationer från alla riktningar vilket passar ypperligt när syftet med kretsen är att ta upp så mycket bakgrundsljud som möjligt.

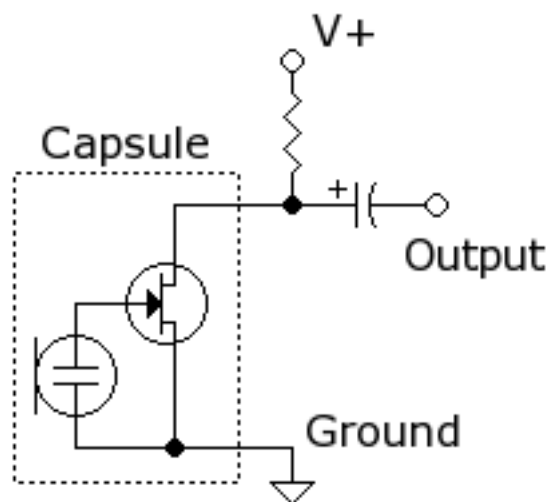
Mikrofonen har en inbyggd field-effect-transistor-förstärkare (FET) som måste drivas av en matningsspänning på maximalt 10 volt, vilket innebär att mikrofonen fungerar som en växelströmskälla. Elektretmikrofonen har endast 2 ben som ger ut signalen vilket betyder att det inte finns ett specifikt ben för matningsspänningen. Detta löses genom att lägga matspänningen mellan de 2 benen. Det uppstår inget problem då matningen är likström och utsignalen växelström. Matningen behöver därför gå igenom en resistor för att sänka strömmen som går in i mikrofonen. Då matningen är på samma ben som utsignalen måste utgången ha en kondensator som blockerar likströmmen från att ta sig igenom till resten av kretsen.

Mikrofonens känslighet ligger på -60dB men beror helt på kretsens impedans och enligt specifikation så har mikrofonen en känslighet på -60dB vid en inimpedans på  $2.2\text{k}\Omega$ .

Kretsens inimpedans är beroende av  $R_2$  och  $R_4$  som är parallellkopplade (se figur 4.1).

$$\frac{R_2 \cdot R_4}{R_2 + R_4} = \frac{2200 \cdot 10 \cdot 10^5}{2200 + (10 \cdot 10^5)} = 2195\Omega$$

Detta medför att känsligheten inte förändras då kretsens inimpedans är anpassad till mikrofonen.



**Figur 4.2:** Elektretmikrofonens uppbyggnad. Från [24], CC-BY.

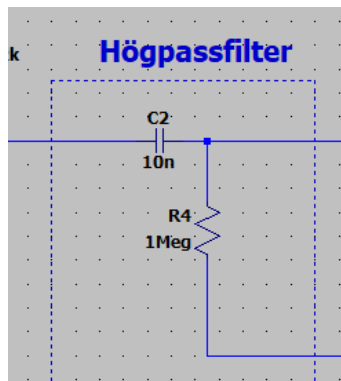
## 4.2 Filter

I bilen förekommer mer ljud än brus, därför måste kretsen innehålla filter som filtrerar bort de frekvenser som inte är bruset som däcket skapar tillsammans med väglaget. Därför har ett frekvensområde mellan 16Hz och 1kHz skapats med hjälp av hög- och lågpassfilter.

### 4.2.1 Högpassfilter

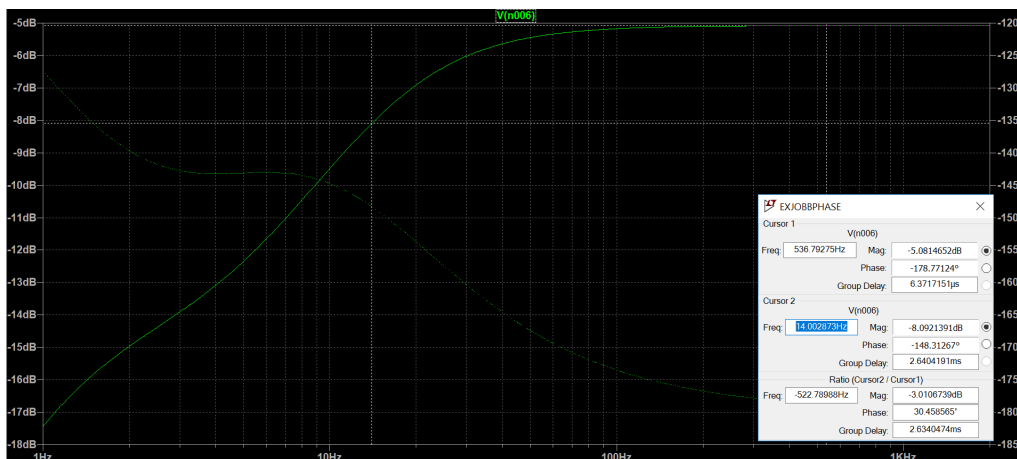
Högpassfiltret har en undre gränzfrequens på 16Hz, allt som är under gränzfrequensen dämpas. Filtret är konstruerat av typen RC-filter och den önskade gränzfrequensen beräknas med hjälp av ekvation 2.5.

$$f = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \cdot 1M \cdot 10n} \approx 15,9Hz$$



**Figur 4.3:** Högpassfiltrets konstruktion i den analoga kretsen.

Vid LT-Spice simulering blir den undre gränzfrequensen 14Hz.



**Figur 4.4:** LT-Spice simulering på undre gränzfrequensen på högpassfiltret.

### 4.2.2 Lågpasfilter

Den övre gränshfrekvensen för lågpasfilteret ska vara så nära 1 kHz som möjligt. Från ljudanalysen i bil tillsammans med handledare gjordes detta val då bruset ligger inom detta frekvensområde. I kretsen konstrueras ett Sallen-key Butterworth lågpasfilter av andra graden. Detta val av konstruktion ger en mer effektiv dämpning vid önskad gränshfrekvens.

För att få den övre gränshfrekvensen till 1kHz modulerades komponentvärden med hjälp av överföringsfunktionen för Butterworth (se ekvation 2.6). Vid ideella förhållanden beräknas den övre gränshfrekvensen enligt nedan:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_{14}R_{15}C_9C_8}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{470k \cdot 220k \cdot 1n \cdot 100n}} \approx 1565,16Hz$$

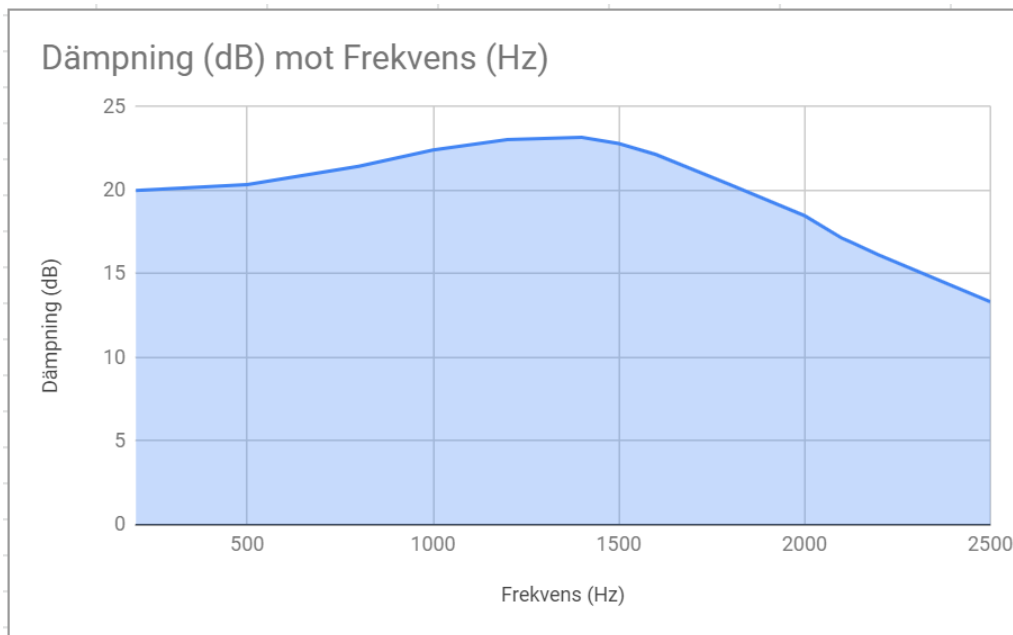
Frekvens (Hz)	Insignal (V)	Utsignal (V)	Dämpning (dB)
200	10	10	20
500	10	10,4	20,34066679
800	10	11,8	21,43764015
1000	10	13,2	22,41147862
1200	10	14,2	23,04576689
1400	10	14,4	23,16724984
1500	10	13,8	22,79758173
1600	10	12,8	22,14419939
1800	10	10,4	20,34066679
2000	10	8,4	18,48558572
2100	10	7,2	17,14664993
<b>2120</b>	<b>10</b>	<b>7,04</b>	<b>16,95145318</b>
2200	10	6,4	16,12359948
2500	10	4,64	13,33035961

**Figur 4.5:** Mätning på in- och utspänning mellan frekvensområdet 200Hz - 2500Hz. Mätningen gjordes i Excel.

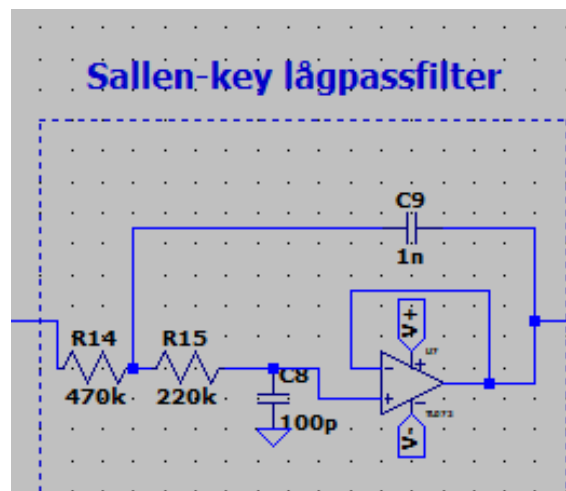
För att testa dämpningen av filtret så kopplades en signalgenerator på Sallen-key filtrets ingång. Det som genererades var en sinusvåg med 10 V topp-till-topp värde. 14 olika frekvenser testades för att kolla hur filtret reagerade vid de olika värdena och sedan beräknades den verkliga dämpningen av signalen. Signalen får en märkbar förstärkning från 800 Hz till 1400 Hz på grund av en signifikant översväng.

För att definiera övre gränshfrekvensen för filtret räknar man utifrån brytfrekvensen. En dämpning på 3dB är alltså vid 17dB (20dB-3dB). Detta sker vid frekvensen 2120Hz och beräknas nedan:

$$Dämpning = 20 \cdot \log_{10}(7.04) = 16,9515dB \approx 17dB$$



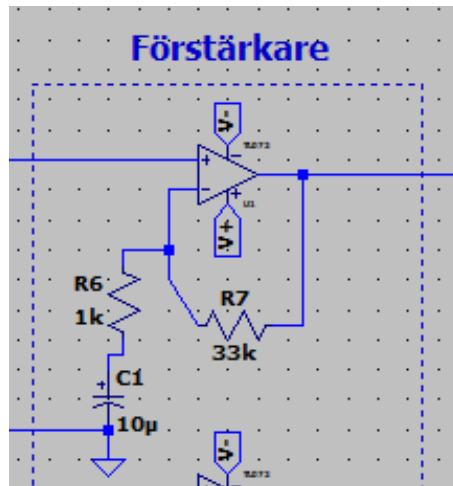
Figur 4.6: Dämpningen (dB) beroende av frekvensen (Hz).



Figur 4.7: Lågpasfiltret i den analoga kretsen.

### 4.3 Förstärkning

Ljudvågorna som mikrofonerna fångar upp konverteras till spänningar i millivolt skalan och det krävs då en lämplig förstärkning för att kunna användas av högtalare. De flesta högtalare har en arbetsspänning i intervallet 300mV - 2 V, vilket då förstärkarens resistorer är anpassade till[25].



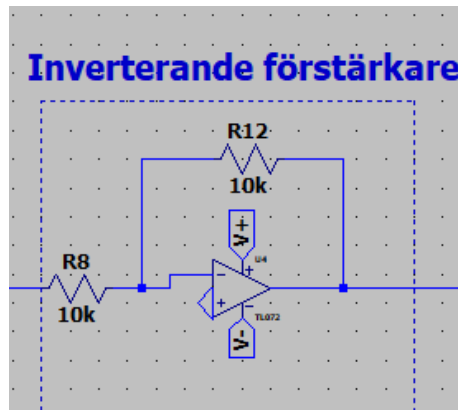
Figur 4.8: Förstärkarkretsen.

## 4.4 Fasförskjutning

För att uppnå destruktiv interferens skapas en fasförskjutning genom att signalen går igenom en inverterande förstärkare. Den ideella fasförskjutningen är  $180^\circ$  för att uppnå total negation av signalen. Denna del av kretsen är en så kallad "unity gainsom bestäms av resistorerna  $R_8$  genom  $R_{12}$ , vilket ger en förstärkning med 1 och att storleken på insignalen är lika med utsignalen. Denna buffert används för att isolera länken mellan ingång och utgång på en krets. Den inverterande förstärkaren drar nästintill 0 ström på ingången, fördelen med detta är att utgången, i detta fall lågpasfiltret och den kopplade enheten, får den fulla spänningen utan störning från den analoga kretsen.

Genom att kolla tidsskillnaden  $\phi$  för insignalen ( $S_1$ ) och för den inverterade utsignalen ( $S_2$ ) vid samma tidpunkt. Då kan den relativa fasförskjutningen beräknas med insignalen som referens enligt följande formel.

$$\text{Fasförskjutning} = (S_1 - S_2) \cdot \frac{360^\circ}{T_1} = \phi \cdot \frac{360^\circ}{T_1}$$



Figur 4.9: Fasförskjutningen.

## 4.5 Högtalare

Högtalaren till projektet valdes huvudsakligen pga det billiga priset. Det är en "Computer Speaker N90" av märket Plexgear och drivs genom en USB-port på 5V från dator. Högtalarelementen har en impedans på  $4\Omega$  och en inbyggd förstärkare anpassad till det. Frekvensomfånget på högtalaren är 120 - 20 kHz vilket innebär att även om mikrofonen kan fånga upp ljud på frekvenser så låga som 16 Hz så kommer aldrig ljudfrekvenserna under 120 Hz att spelas upp.



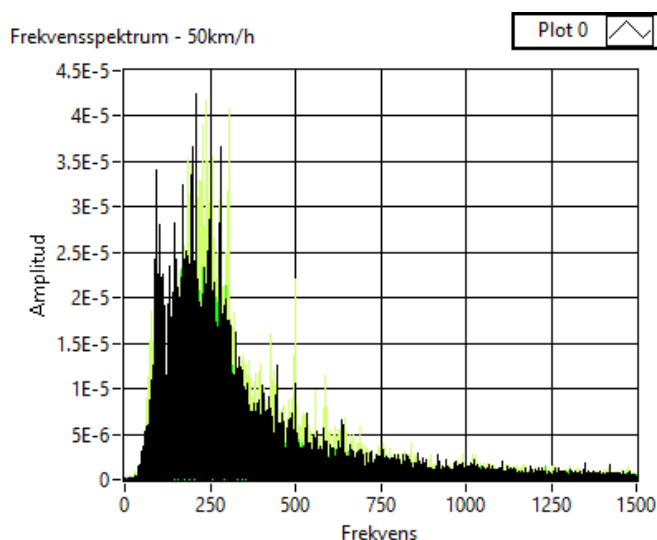
# 5

## Resultat

Ljudanalys gjordes för att undersöka vilket frekvensintervall bruset i bilkupén ligger på beroende på olika hastigheter. De olika hastigheterna som analyserades var 50km/h, 70km/h och 90km/h. Inspelningarna genomfördes på en bärbar dator i programmet Audacity. Handledaren Fredrik Hansson körde sin hybriddrivna Volvobil på elbilsfunktionen.

Ljudet som spelades från bilens passagerarsäte var upplagd som så att bilen åkte på en raksträcka med konstant hastighet under gynnsamma väderförhållanden. Ljudet bestod av 20 sekunders långa inspelningar som sedan matades in LabVIEW. Totalt så spelade man in 4 stycken inspelningar för varje vald hastighet.

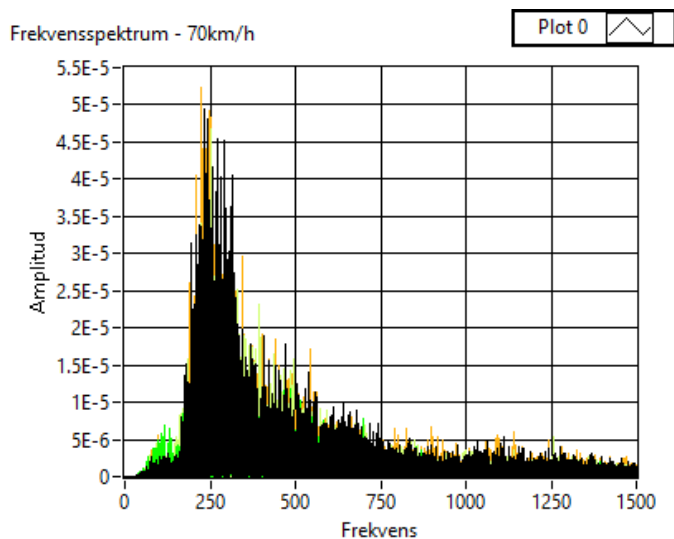
Programmet som skapades i LabVIEW fungerar som så att den tar 4 stycken ljudfiler samtidigt genom ett FFT-block för att sedan visas upp på en graf. Programmet har även en funktion som visar de dominerande frekvenserna för varje inspelning. Vid 50km/h kan man tydligt se hur förhållandet mellan amplituden och frekvensen. Den visar var majoriteten av det inspelade ljudets energi befinner sig i frekvensspektrumet. Som man kan observera vid hastigheten 50km/h är att amplituden av ljudsignalen är som högst och tätast vid frekvensområdet 83-337 Hz (se figur 5.1).



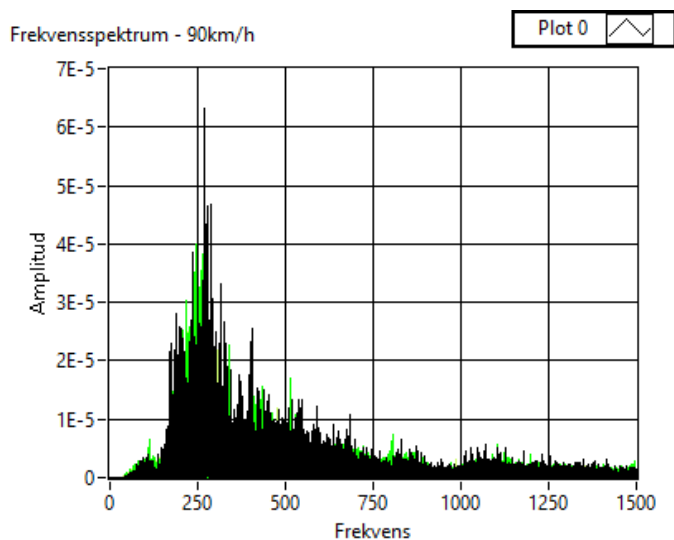
**Figur 5.1:** Frekvensspektrumet för 50km/h där frekvenserna 83-337 Hz dominerar

För de andra två hastigheterna fick man liknande resultat från FFT:n, det vill säga, signalens intensitet ligger i området under 500 Hz. Resultatet är rimlig då ljudet

som uppstår av vibrationer och dylikt är lågfrekventa(). För hastigheten 70km/h så ligger det mesta spektrumets intensitet mellan 180-350 Hz (se figur 5.2) och för 90km/h, 141-350 Hz(se figur 5.3).



**Figur 5.2:** Frekvensspektrumet för 70km/h där frekvenserna 180-350 Hz dominerar



**Figur 5.3:** Frekvensspektrumet för 90km/h där frekvenserna 141-350 Hz dominerar

I figuren nedan så simuleras hela kretsens frekvenssvar. Den visar hur kretsens förstärkning påverkas av frekvensen. Högpas-filtret släpper igenom frekvenser över 16 Hz och Sallen-Key filtret dämpar frekvenser över 2120 Hz(se figur 5.4). Som tidigare nämnd kan man observera att vid 800 Hz och upp mot 1400 Hz att förstärkningen för kretsen ökar precis innan det övre stoppbandet, tills det slutligen dämpas. Detta beror delvis på Sallen-Key-Filtrets Butterworth-karakteristik och de valda komponenterna.

Sallen-Key-filtret anpassades först så att den fick en brytfrekvens på 1kHz. Detta medförde dock en rejäl fördröjning i systemet och fasförskjutningen ändrades. För att kompensera så simulerades det bästa möjliga Sallen-Key-filtret för att komma nära en förskjutning på 180° grader. Nackdelen blir då översvängen i filtrets stegsvar. Detta händer på grund av att filtret är underdämpat och vi har offrat kvalitet över roll-off-rate" (brantheten) på övergången mellan passband och stoppband.

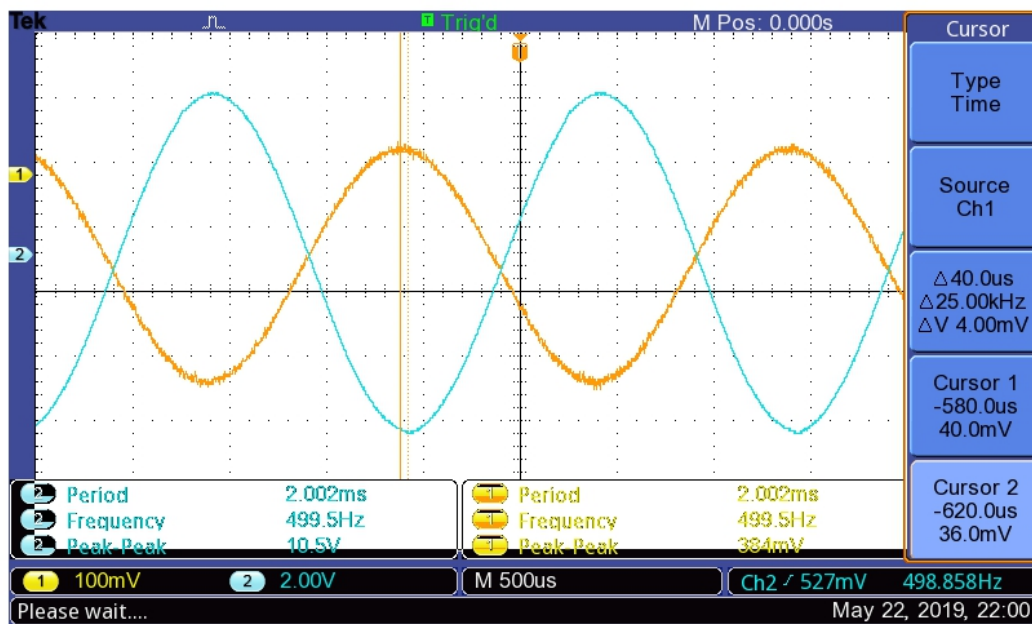


**Figur 5.4:** Kretsens totala frekvenssvar

Kretsens funktion testades med hjälp av en signalgenerator. Man matade in ingången med en frekvens på 500Hz för att sedan på oscilloskopet urskilja om resultatet blir densamma som i simuleringen i LTspice. Mätningen gjordes utan högtalarna och den gula kurvan indikerar insignalen och blåa utsignalen i oscilloskopet och resultatet blev enligt figur 5.5 nedan. Som man kan observera på oscilloskopet är att det uppstår en fördröjning mellan in- och utsignalen som ligger på  $40\mu s$ . Det innebär att utsignalen har en förskjutning på  $7.2^\circ$  grader relativt insignalen.

$$\text{Fasförskjutning} = \phi \cdot \frac{360^\circ}{T_1} = 40\mu s \cdot \frac{360^\circ}{1.999 \cdot 10^{-3}} = 7.2^\circ \text{ grader}$$

Detta medför att den totala förskjutningen mellan in- och utsignal på kretsen blir  $172.8^\circ$  grader istället för  $180^\circ$  som är väsentligt för att kretsen helt ska släcka ut den ingående signalen. Med ovannämnda siffror så vet man att kretsen endast släcker ut 96% av signalen när den testas med 1 specifik frekvens.



**Figur 5.5:** Kretsen matad med signalgenerator inställd på 500 Hz där en förskjutning på  $40\mu\text{s}$  på kurvorna uppstår.

För att se vad kretsens och högtalarens dämpningskapacitet var så kopplades högtalarna in i kretsens utgång via AUX-porten. 500 Hz matades till en extern högtalare och kretsens ingång via en signalgenerator och en mätning med decibelmätare utfördes. Mätaren är en mobilapplikation vid namn Buller vars syfte var att visualisera ljudnivån. Denna applikation var inte kalibrerad exakt då det viktiga med mätningen var att se om en ljudskillnad uppstod. Mätaren uppmätte 65dBA vid ett avstånd på 0.4 meter från ljudkällan. När högtalarna kopplades till kretsen lades bredvid den externa ljudkällan dämpades ljudet märkbart och mätaren visade 54-55dBA, alltså en dämpning på cirka 10dB.

Nästa steg i testet var att prova kretsen med mikrofonerna som ingång istället för signalgeneratoren. fördröjningen blev den samma som med signalgeneratoren men med skillnaden att mikrofonerna tog in högfrekvent brus. För att återigen testa dämpningen så användes en extern ljudkälla som man spelade upp en ton på 500 Hz till elektretmikrofonerna. Denna gången hjälpte det inte att placera högtalarna nära ljudkällan för att dämpa ljudet. Detta beror på att man inte vill att en positiv feedback loop uppstår mellan högtalare och mikrofon. Istället så placerades högtalarna 7 centimeter, med en vinkel på  $45^\circ$  grader, framför ljudkällan och då uppstod en sweet spot 0.4 meter framför uppsättningen och man lyckades dämpa ljudet med 4dBA, från 53dBA till 49dBA.

# 6

## Miljö

Miljöfrågan har aldrig varit större än vad det är just nu i dagens läge. Inom alla produktioner, industrier och byggnationer så finns miljötänket involverat på ett och annat sätt.

Miljöaspekten för detta projekt kommer vara fokuserad på det som faktiskt användes för konstruktionen under projektets gång. Det som användes var resistorer, kondensatorer och förstärkare. Det man kan fråga sig är hur stor påverkan på vår miljö komponenterna har. Om man börjar med resistorerna och kondensatorerna så är de uppbyggda på ett sådant sätt att de måste innehålla ledande material, vilket medför att de oftast innehåller metall. Ska man dra det till sin spets så börjar processen redan vid utvinningen av metallerna. Metaller förekommer naturligt i jord och berg i form av mineraler vilket kräver att man gräver upp stora mängder massa för att utvinna det[26].

Gruvdrift, var det än sker ute i världen så påverkar det omgivningen. Det kan vara i form av buller eller att landskapet förändras avsevärt. Avfall från gruvor är också ett stort problem där sulfider från utvinning orsakar förgiftning av mark och vatten[27].

En annan komponent som man kan anse har en miljöpåverkan är batterier som använts inom projektet. Det var ett par engångs-lithiumbatterier på 9 volt. Onekligen så har tillverkningen av batterier fått ett vakande öga över sig de senaste åren. Detta på grund av att just utvinningen av lithiumkarbonat kräver en stor mängd vatten[28]. Även om det finns ett hållbart sätt att utvinna kärnan i batteriet så kommer det alltid finnas ett land som kan pressa ner priserna till kostnaden av en större miljöpåverkan där exploatering av resurser och arbetare förekommer. Förutom att det är dåligt för miljön med utvinningen av lithium så måste batterierna som innehåller lithium kasseras på rätt sätt efter den använts. Detta leder till ett till steg i miljökedjan. Batterier som lämnas in som elavfall sorteras och i bästa fall återvinns till nya batterier eller till metaller som sedan används inom stålindustrin. Batterier som inte hamnar på återvinningen och hamnar till exempel i naturen kan efter en tid orsaka miljöproblem. Metaller kan läcka ut och skada omgivningen, tungmetaller kan hamna i djurs föda och vilket som följd stannar kvar i deras kroppar[29].



# 7

## Diskussion

Att skapa en analog krets som reducerar brus och ska implementeras i bilar har varit det huvudsakliga syftet med examensarbetet. Ljudanalys i bil har genomförts för undersökning av vilket frekvensintervall önskat ljud befinner sig i. I den ursprungliga planeringen skulle kretsen implementeras med bilens egna ljudsystem. Mikrofonen skulle då placeras vid passagerarens huvud som motsvarar sfären där ljudet skulle reduceras. Det här gick inte att utföra då en rejäl positiv feed-back-loop upptäcktes när en hörlur spräcktes vid test. Den här feed-back-loopen kunde senare undvikas genom att omplacera mikrofonen där ljudkällan befinner sig istället för vid huvudet på passageraren. Med externa högtalare kunde man istället rikta dem så sfären istället hamnade vid en sweet spot mellan högtalarna.

Arbetet har varit intensivt och krävande under projektets tid men också lärorik och intressant. Direkt kan det klargöras att planeringen som sammanställdes under första arbetsveckan har präglats utav ändringar genom hela projektet. Detta som ett resultat av den bristande förkunskap inom ämnet. Vi har dock aktivt kunnat bemöta problemen och bearbetat fram nya lösningar.

Tekniken för aktiv brusreducering i bil är mycket efterfrågad på arbetsmarknaden just nu. Den här tekniken har idag inte lanserats av något företag. Företaget Bose Coporation som även tidigare nämnts arbetar och forskar flitigt med detta och densamma gällande företaget Ford. Eftersom brusreduceringen i nuläget är så eftertraktad är forskningen och testerna sekretessbelagda hos företagen. På grund av det har informationssökningen blivit en utmaning. Det finns rapporter i de tillgängliga resurserna som utfört beräkningar på tekniken men aldrig utfört ett komplett test.

Det är en tidsfråga tills tekniken lanseras, när tekniken är uppfunnen kommer det skapa en kedjereaktion. När möjligheten presenterats kommer företag skapa egna versioner med olika specifikationer på brusreduceringen. En konkurrerande arbetsmarknad medför en snabbare utveckling av tekniken och kan då leda till att den standardiseras i många fordon.

Tack vare mycket diskussion och effektivt disponerad tid så har problemen kunnat lösas och en färdig krets har åstadkommit mycket tack vare ett gediget grundarbete som sedan förfinats under arbetsgången. Gantt-schemat som skapades i början av projektet följdes mycket bra de första veckorna. Projektet avslutas i tid men som man kan se i Gantt-schemat (figur 3.1) att kretskonstruktionen har tagit mycket längre tid än beräknat. I efterhand var de två veckorna som var utsatta alldeles

för kort tid. Att lågpass-filtret också skulle fasförskjuta den destruktiva interferenssignalen på grund av fördröjningar införda av kondensatorerna var inte alls med i beräkningarna. Kondensatorerna fasförskjuter signalen och det här anpassades genom att ha det lägsta möjliga värde på kondensatorerna.

En stor faktor till att kretskonstruktionen tog längre tid än beräknat är för en mängd kablar som användes var trasiga. Många timmar av frustration under felsökning lades på att sedan finna det här. Utöver detta har metoden för arbetets gång efterföljts och riktat arbetet mot det utsatta målet.

Arbetsgången under projektet hade kunnat effektiviseras genom att simulera kretsens delar var för sig för att sedan systematiskt koppla de simulerade delarna på kopplingsplattan. Då hade man kunna jämföra resultaten från simuleringarna och de tester som gjordes på de uppkopplade delarna separat och därmed sakta bygga upp varje del säkert med test och verifiering. Vilket hade gett möjligheter till att finjustera specifika delar samt spara tid. Istället kopplades hela kretsen upp på en gång vilket gav många möjligheter till felkällor. Lärdomen från detta är att man ofta ska kontrollera kända spänningsvärden över komponenter för att se om det stämmer överens med beräkningar och simuleringar.

Resultaten från simuleringarna i LT-Spice var till stor hjälp när kretsen skulle testas och för att veta vilka ut signaler och funktioner den konkreta kretsen önskades ha när mätningar gjordes. En simulering på endast en frekvens hanterar programmet och var till stor hjälp när detta utfördes praktiskt. När man testar kretsen med en större frekvensomfång på ljudsignalen så klarar den inte av det. Därför har tolkning av simuleringarna haft en tung roll i projektet.

Vid det optimala förhållandet, alltså vid en frekvens, lyckades projektet dämpa inkommande frekvens med 10dB. Det här var dock utan mikrofoner och signalen skickades in i kretsen genom en signalgenerator. När vi istället gjorde testet med en frekvens med mikrofonerna upptäcktes endast en dämpning på 4dB. Eftersom dämpningen blev så liten utfördes aldrig experimentet i bil då den kommer vara så liten att den är oväsentlig för örat.

Nu med erfarenheten och kunskapen från projektet skulle det utförts på ett annat sätt. Istället för att endast konstruera projektet analogt hade vi gjort det mer digitalt. Genom FPGA-krets och VHDL-programmering för bättre signalhantering eftersom den kan hantera data på ett helt annat sätt i jämförelse med en analog krets. Med detta hade man då kunnat skapa bättre presterande filter, förstärkare och fasförskjutning.

# 8

## Slutsats

Projektet uppfyllde inte alla mål som var satta för arbetet. Det var tänkt att den analoga kretsen skulle kunna dämpa bruset men då ljud är flyktig i tidsrummet kan bara spekulera hur det uppför sig i ett område. Det går givetvis att räkna på reflektions- och absorbtionsfaktorer men det skulle leda till en ny nivå av komplexitet som vi varken har tid till eller kunskap av. Vad vi säkerligen vet är att det är svårt att lyckas med destruktiv interferens av större skala även om området där den ska verka är begränsad, speciellt med en analog konstruktion.

För vidareutveckling av projektet skulle man kunna implementera fler högtalare och mikrofoner i ett system. Högtalarna som skulle fungera som arrayer av ljud måste dock kunna styras individuellt tillsammans med mikrofonen. Som vi tidigare nämnt i diskussionen är att projektet antagligen skulle blivit bättre om man gjorde mycket av signalbehandlingen digitalt.



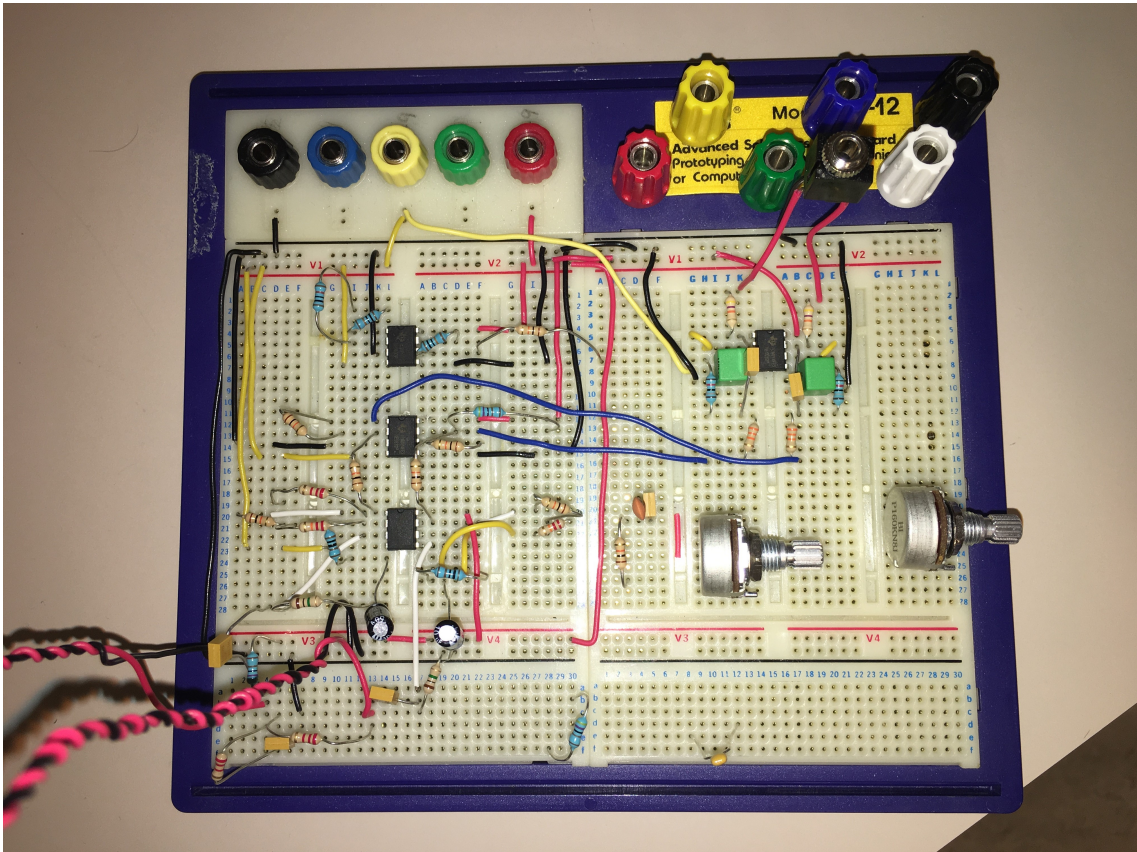
# Litteraturförteckning

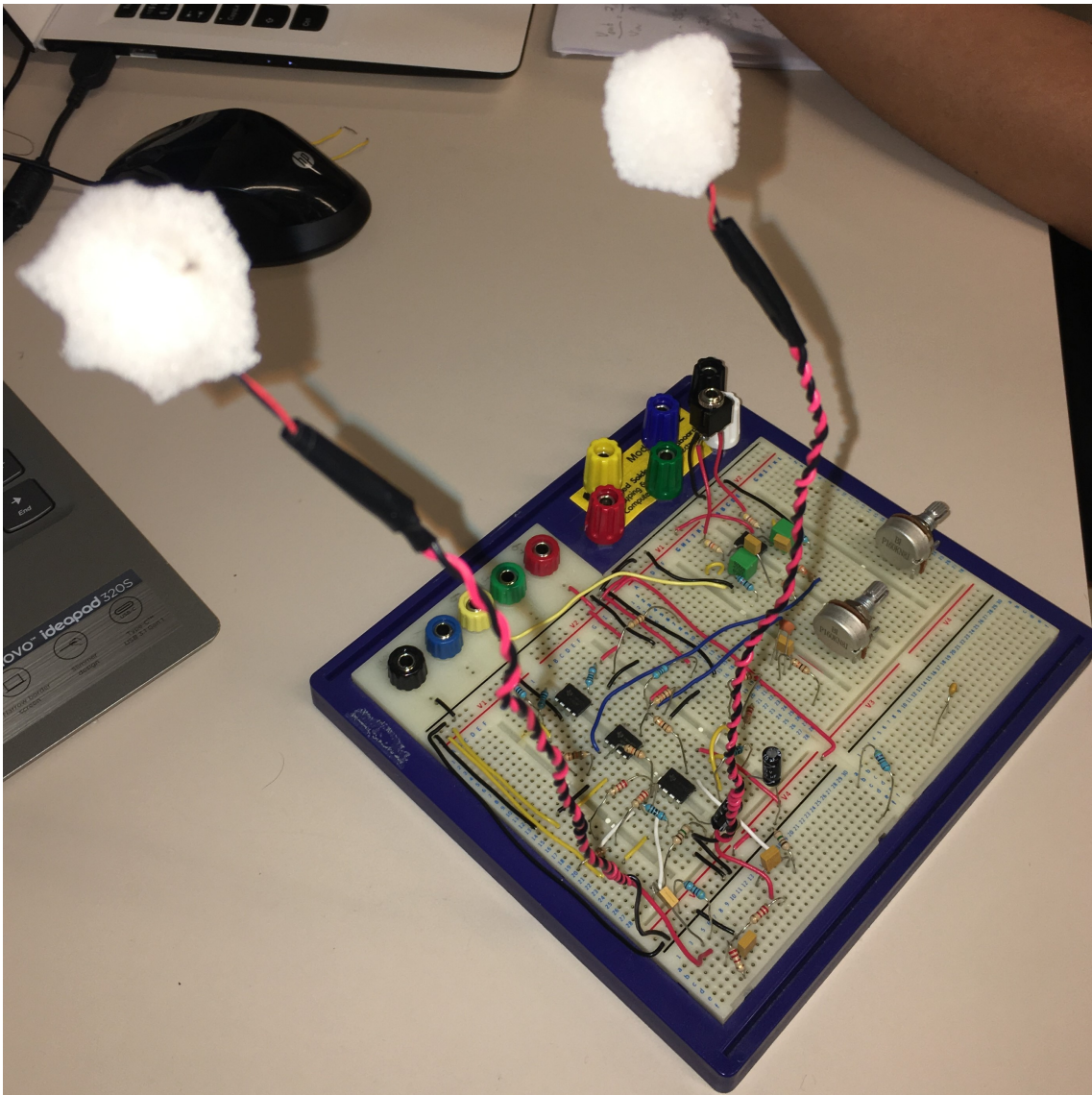
- [1] Frisk, D. (2018) A Chalmers University of Technology Master's thesis template for L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X. Unpublished.
- [2] Aktiv brusreducering". [Online]. Tillgänglig: <https://www.ford.se/kopa/upptack/teknologi/smart/aktiv-brusreducering>. Hämtad: 2019-09-04.
- [3] A. Hawkins, Bose invented a noise-canceling system for your car", 2019. [online]. Tillgänglig: <https://www.theverge.com/2019/1/9/18175748/bose-noise-canceling-system-car-ces-2019>. Hämtad: 2019-09-04.
- [4] H. Chen, P. Samarasinghe, T. Abhayapala och W. Zhang, Spatial noise cancellation inside cars: Performance analysis and experimental results", Research School of Engineering, College of Engineering and Computer Science, The Australian National University, 2015. [Online]. Tillgänglig: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7336947/metrics#metrics>. Hämtad: 2019-04-11.
- [5] Lär dig mer om ljud". [Online]. Tillgänglig: <https://illvet.se/fysik/ljud-arvibrationer-i-luften>. Hämtad: 2019-04-11.
- [6] Physics of Sound". [Online]. Tillgänglig: <https://method-behind-the-music.com/mechanics/physics/>. Hämtad: 2019-04-11.
- [7] Ljud och akustik". [Online]. Tillgänglig: <https://www.ergoff.se/kunskap/ergonomi/ljud-och-akustik.html>. Hämtad: 2019-04-11.
- [8] P. Kozłowski, "How to Adjust Room Acoustics to Multifunctional Use at Music Venues". [Online]. Tillgänglig: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8502383#deqn1>. Hämtad: 2019-04-11.
- [9] "Interferens med ljud". [Online]. Tillgänglig: <https://www.aphys.kth.se/se/education-aphys/undergrad-studies/course-material/kursbok-fysik/kapitel-0-vagrorelse/interferens-med-ljud-1.521707>. Hämtad: 2019-04-11.
- [10] "Interferens (vågrörelse)". [Elektronisk bild]. Tillgänglig: [https://sv.wikipedia.org/wiki/Interferens\\_\(vågrörelse\)](https://sv.wikipedia.org/wiki/Interferens_(vågrörelse)). Hämtad: 2019-05-07.
- [11] P. Ahl och S. Johansson Norman, Projekt inom framkopplat aktivt brusreduceringssystem,"examensarbete, Teknisk- naturvetenskaplig fakultet UTH-enheten, Uppsala universitet, Uppsala, Sverige, 2017. [Online]. Tillgänglig: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1162115/FULLTEXT01.pdf>. Hämtad: 2019-05-07.

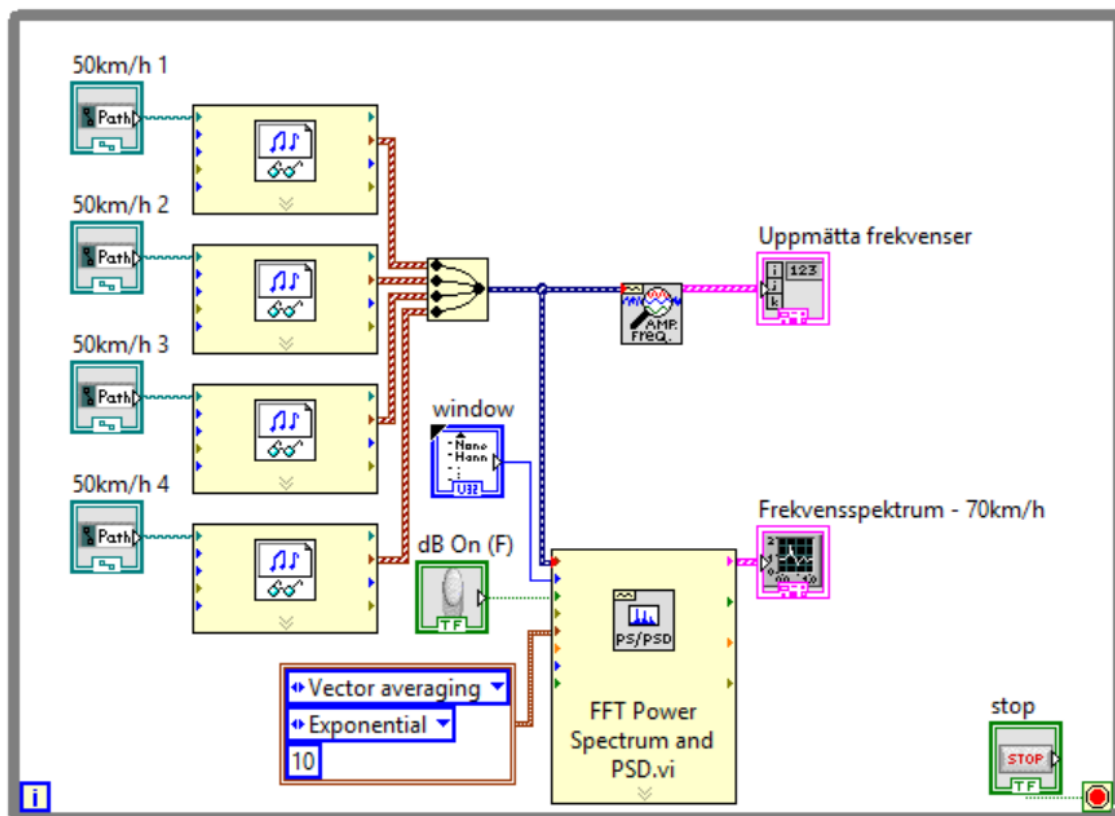
- [12] L. Bengtsson, *Elektriska mätmetoder och mätmetoder*. Uppl. 1:2, Lund, Sverige: Författaren och Studentlitteratur, 2015.
- [13] B. Molin, *Analog elektronik*. Uppl. 2:4, Malmö, Sverige: Bengt Molin och Studentlitteratur, 2013.
- [14] S. Arar, "An Introduction to the Discrete Fourier Transform", 2017. [Online]. Tillgänglig: <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/an-introduction-to-the-discrete-fourier-transform/>. Hämtad: 2019-05-07.
- [15] L. Bengtsson och B. Karlström, *Transformer och filter*. Uppl. 2:1, Malmö, Sverige: Författarna och Studentlitteratur, 2016.
- [16] P. Ridderstolpe, "Simuleringsprogram som verktyg vid projektering av solvärme," examensarbete, teknisk- och naturvetenskaplig fakultet UTH-enheten, Uppsala universitet, Uppsala, Sverige, 2011. [Online]. Tillgänglig: <http://uu.diva-portal.org/smash/get/diva2:402333/FULLTEXT01.pdf>. Hämtad: 2019-05-07.
- [17] "LT-Spcie," [Online]. Tillgänglig: <https://www.analog.com/en/design-center/design-tools-and-calculators/lts Spice-simulator>. Hämtad: 2019-05-07.
- [18]
- [19] L. Bergström och L. Nordlund, *Ellära: krets- och fältteori*. Stockholm: Liber, 2012.
- [20] "Operationsförstärkare", [Online]. Tillgänglig: <https://sv.wikipedia.org/wiki/>. Hämtad: 2019-05-07.
- [21] Band-pass filter". [Elektronisk bild]. Tillgänglig: [https://en.wikipedia.org/wiki/Band-pass\\_filter](https://en.wikipedia.org/wiki/Band-pass_filter). Hämtad: 2019-05-07.
- [22] RC circuit". [Elektronisk bild]. Tillgänglig: [https://en.wikipedia.org/wiki/RC\\_circuit](https://en.wikipedia.org/wiki/RC_circuit). Hämtad: 2019-05-07.
- [23] Sallen–Key topology". [Elektronisk bild]. Tillgänglig: [https://en.wikipedia.org/wiki/Sallen-key\\_topology](https://en.wikipedia.org/wiki/Sallen-key_topology). Hämtad: 2019-05-07.
- [24] "Electret microphone". [Elektronisk bild]. Tillgänglig: [https://en.wikipedia.org/wiki/Electret\\_microphone](https://en.wikipedia.org/wiki/Electret_microphone). Hämtad: 2019-05-07.
- [25] "Commonly used Voltage and Audio Levels". [Online]. Tillgänglig: <https://www.kfs.oeaw.ac.at/manual/3.8/html/userguide/461.htm>. Hämtad: 2019-05-14.
- [26] Mineral- och metallindustrin i Sverige". [Online]. Tillgänglig: <http://geosurvey.se/mineral-och-metallindustrin-sverige/>. Hämtad: 2019-09-04.
- [27] Gruvor och miljöpåverkan", 2017. [Online]. Tillgänglig: <https://www.sgu.se/mineralnaring/gruvor-och-miljopaverkan/>. Hämtad: 2019-09-04.
- [28] M. Levander, Sveriges natur", *Dagen gryr i litiumland*, nr.4, 2016. [online]. Tillgänglig: <http://www.sverigesnatur.org/aktuellt/dagen-gryr-i-litiumland/>. Hämtad: 2019-09-04.
- [29] FAKTA om batterier". [Online]. Tillgänglig: <https://miva.se/download/18.7c51ae0114b0967795820ef0/1423229540479/FAKTA+batterier.pdf>. Hämtad: 2019-09-04.

# A

## Appendix







Product Folder
 Sample & Buy
 Technical Documents
 Tools & Software
 Support & Community



**NE5532, NE5532A, SA5532, SA5532A**  
 SLOS075J – NOVEMBER 1979 – REVISED JANUARY 2015

## NE5532x, SA5532x Dual Low-Noise Operational Amplifiers

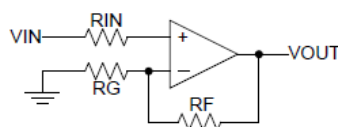
### 1 Features

- Equivalent Input Noise Voltage: 5 nV/√Hz Typ at 1 kHz
- Unity-Gain Bandwidth: 10 MHz Typ
- Common-Mode Rejection Ratio: 100 dB Typ
- High DC Voltage Gain: 100 V/mV Typ
- Peak-to-Peak Output Voltage Swing 26 V Typ With  $V_{CC\pm} = \pm 15\text{ V}$  and  $R_L = 600\ \Omega$
- High Slew Rate: 9 V/μs Typ

### 2 Applications

- AV Receivers
- Embedded PCs
- Netbooks
- Video Broadcasting and Infrastructure: Scalable Platforms
- DVD Recorders and Players
- Multichannel Video Transcoders
- Pro Audio Mixers

### 4 Simplified Schematic



### 3 Description

The NE5532, NE5532A, SA5532, and SA5532A devices are high-performance operational amplifiers combining excellent DC and AC characteristics. They feature very low noise, high output-drive capability, high unity-gain and maximum-output-swing bandwidths, low distortion, high slew rate, input-protection diodes, and output short-circuit protection. These operational amplifiers are compensated internally for unity-gain operation. These devices have specified maximum limits for equivalent input noise voltage.

Device Information<sup>(1)</sup>

PART NUMBER	PACKAGE (PIN)	BODY SIZE (NOM)
NE5532x, SA5532x	SOIC (8)	4.90 mm × 3.91 mm
NE5532x, SA5532x	PDIP (8)	9.81 mm × 6.35 mm
NE5532x	SO (8)	6.20 mm × 5.30 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.



NE5532, NE5532A, SA5532, SA5532A

SLOS075J – NOVEMBER 1979 – REVISED JANUARY 2015

www.ti.com

## 7 Specifications

### 7.1 Absolute Maximum Ratings

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)<sup>(1)</sup>

		MIN	MAX	UNIT	
V <sub>CC</sub>	Supply voltage <sup>(2)</sup>	V <sub>CC+</sub>	0	22	V
		V <sub>CC-</sub>	-22	0	V
	Input voltage, either input <sup>(2)(3)</sup>	V <sub>CC-</sub>	V <sub>CC+</sub>	V	
	Input current <sup>(4)</sup>	-10	10	mA	
	Duration of output short circuit <sup>(5)</sup>	Unlimited			
T <sub>J</sub>	Operating virtual-junction temperature	150			°C
T <sub>stg</sub>	Storage temperature range	-65	150	°C	

- (1) Stresses beyond those listed under *Absolute Maximum Ratings* may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under *Recommended Operating Conditions* is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.
- (2) All voltage values, except differential voltages, are with respect to the midpoint between V<sub>CC+</sub> and V<sub>CC-</sub>.
- (3) The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage.
- (4) Excessive input current will flow if a differential input voltage in excess of approximately 0.8 V is applied between the inputs, unless some limiting resistance is used.
- (5) The output may be shorted to ground or either power supply. Temperature and/or supply voltages must be limited to ensure the maximum dissipation rating is not exceeded.

### 7.2 ESD Ratings

		VALUE	UNIT	
V <sub>(ESD)</sub>	Electrostatic discharge	Human body model (HBM), per ANSI/ESDA/JEDEC JS-001, all pins <sup>(1)</sup>	2000	V
		Charged device model (CDM), per JEDEC specification JESD22-C101, all pins <sup>(2)</sup>	1000	

- (1) JEDEC document JEP155 states that 500-V HBM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.
- (2) JEDEC document JEP157 states that 250-V CDM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.

### 7.3 Recommended Operating Conditions

		MIN	MAX	UNIT	
V <sub>CC+</sub>	Supply voltage	5	15	V	
V <sub>CC-</sub>	Supply voltage	-5	-15	V	
T <sub>A</sub>	Operating free-air temperature	NE5532, NE5532A	0	70	°C
		SA5532, SA5532A	-40	85	

### 7.4 Thermal Information

THERMAL METRIC <sup>(1)</sup>	NE5532, NE5532A, SA5532, and SA5532A			UNIT	
	D	P	PS		
	8 PINS				
R <sub>θJA</sub>	Junction-to-ambient thermal resistance <sup>(2)(3)</sup>	97	85	95	°C/W

- (1) For more information about traditional and new thermal metrics, see the *IC Package Thermal Metrics* application report, SPRA953.
- (2) The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.
- (3) Maximum power dissipation is a function of T<sub>J</sub>(max), θ<sub>JA</sub>, and T<sub>A</sub>. The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is P<sub>D</sub> = (T<sub>J</sub>(max) - T<sub>A</sub>) / θ<sub>JA</sub>. Operating at the absolute maximum T<sub>J</sub> of 150°C can affect reliability.