



Linnéuniversitetet
Kalmar Våxjö

Labbrapport

Labb 5

Eget projekt - Ljudförstärkare



Författare: Michael Daun
Kursansvarig: Ellie Cijvat
Kurs: Elektronik 1ED041
Datum: 2023-06-14



Innehållsförteckning

Introduktion	1
Design	2
Val av komponenter	2
Strömförsörjning	2
Mikrofon	3
Operationsförstärkaren	4
Högtalare	5
Mätningar och resultat	5
Bandbreddsprodukt	5
Simulering	5
Mätning med oscilloskop	6
Tabell 1.	7
Effektförbrukning	7
Mätning och resultat	7
Slutsats	8
Källförteckning:	10



Introduktion

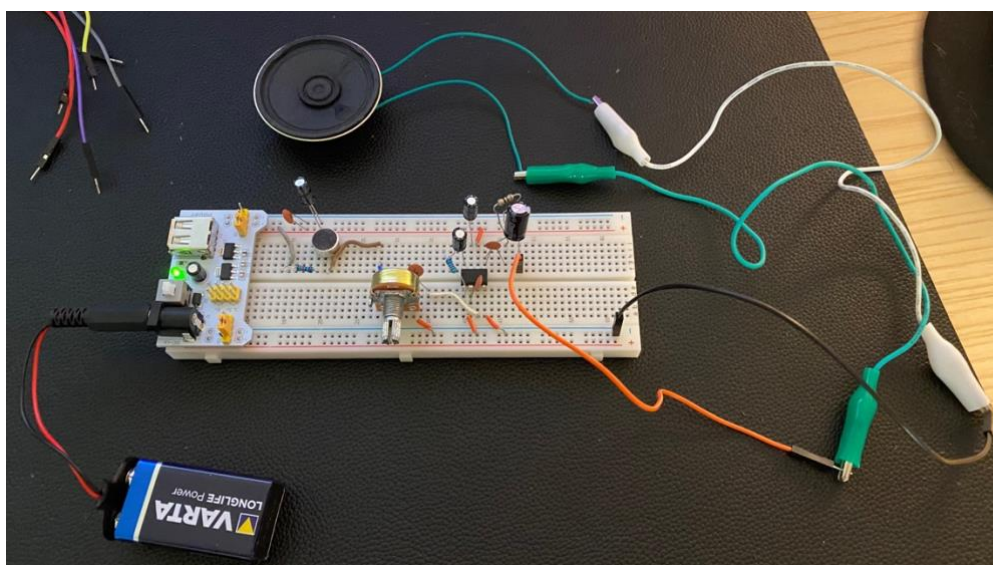
Efter att misslyckats med mitt första projektförslag ville jag åstadkomma något med de komponenter jag redan lånat från labbet på Linnéuniversitetet. Det jag hade lånat var en operationsförstärkare av modell LM368 samt en elektretmikrofon. När jag hittade en 16Ω -högtalare hemma som tidigare tillhört en batteridrivnen leksak föll det sig naturligt att skifta projektet till att skapa en ljudförstärkare.

Min målsättning var inledningsvis att helt enkelt få fram ljud som fångades upp av mikrofonen med delmålet att det skulle finnas möjlighet att reglera volym med en potentiometer. Under projektets gång insåg jag snabbt att det kunde finnas en poäng i att även försöka få ett så "rent" ljud som möjligt. Det här har inneburit en hel del efterforskningar om hur en ljudförstärkare optimalt utformas tillsammans med frekventa tester av ljudkvalité. Slutresultaten blev en batteridrivnen enklare ljudförstärkare som klarar av att återskapa en acceptabel ljudkvalité till en relativt låg energiförbrukning.

Förstärkningsgrad, bandbreddsprodukt samt strömförbrukning har uppmätts och simulerats under projektet.



beskriver i boken analog elektronik [2]. Det innebär en 10 μF elektrolytkondensator tillsammans med en 100 nF keramisk kondensator. De båda kondensatorerna agerar som filter för oönskade störningar som kan påverka matningsspänningen och i förlängningen hela kretsen. Anledningen till att det finns två typer av kondensatorer är för att de båda typerna av kondensatorer har olika egenskaper när det kommer till att hantera höga respektive låga frekvenser. Genom att kombinera de båda med varandra kompletterar de för varandras brister. Avkopplingskondensatorerna i den här kretsen minskade väsentligen andelen brus och missljud.



Figur 3. Ljutförstärkaren uppkopplad på kopplingsdäck.

Mikrofon

Mikrofonen är av typen elektretmikrofon. Det har varit svårt att hitta datablad med exakta uppgifter om mikrofonens egenskaper. Generella uppgifter jag hittat om liknande mikrofoner har visat ett brett spann på angiven matningsspänning. Jag har utgått från information som finns angivet i det här [databladet](#) [3]. Där framkom det att mikrofonen möjligen hade en maximal matningsspänning på 5V. I min krets sitter det en 10k resistor som begränsar spänningen till mikrofonen. Spänningen över mikrofonen uppmättes till 1.4V. Mikrofonen har även testats med 5V men ljudkvalitén blev avsevärt bättre när spänningen begränsades till mikrofonen.

Efter mikrofonen sitter en 10k Ω potentiometer och en kondensator på 100 nF. Potentiometer fungerar som volymkontroll då den begränsar spänningen som kommer från mikrofonen in till förstärkaren. Kondensatorn har i uppgift att blockera DC-signaler så att de inte av misstag förstärks.



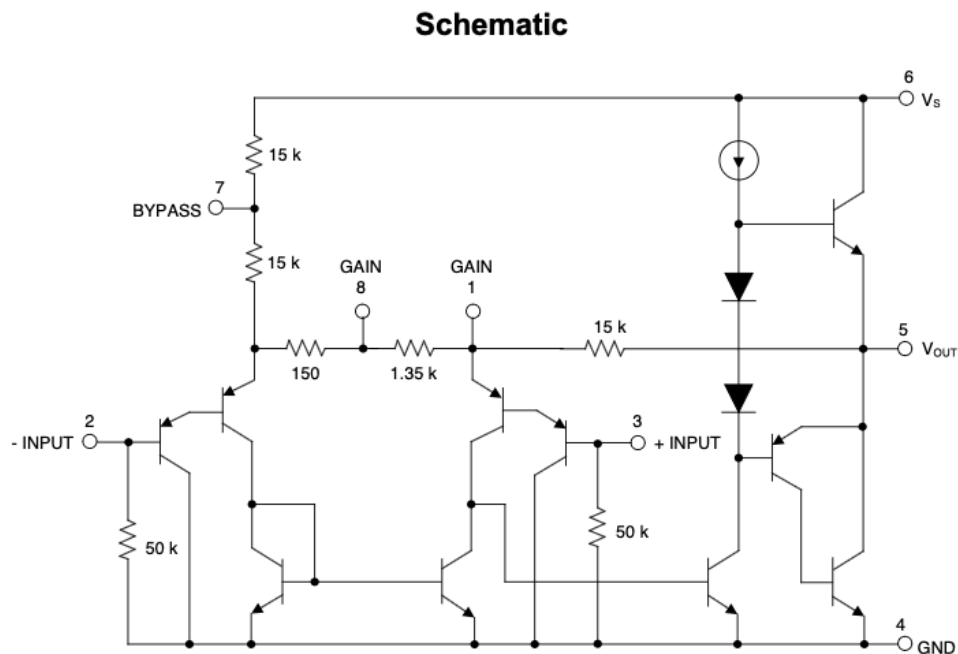
Operationsförstärkaren

Operationsförstärkaren är som tidigare nämnts av modell LM368. Rekommenderad matningsspänning ligger enligt databladet [2] inom spannet 4-12V. I min krets ligger matningsspänning på 5V och således nära den minimala spänningen som krävs för att försäkra att operationsförstärkaren fungerar tillfredställande.

En egenskap med LM368 är att det går att konfigurera förstärkningsgraden mellan 20–200 gångers förstärkning [2]. Detta görs med hjälp av kondensator och motstånd mellan pin 1–8. För 50 gångers förstärkning framgår det av databladet att en 10 μF kondensator ska sättas i serie med ett 1.2k Ω motstånd. Jag använde ett motstånd på 1k Ω i serie med kondensatorn då det var det jag hade tillgänglig hemma.

På pin 7 sitter en avkopplingskondensator på 10 μF i enlighet med vad som föreskrivs i databladet. Vidare sitter även DC-blockerande kondensatorer och ett mindre motstånd på 10 Ω vid operationsförstärkarens output. Den huvudsakliga DC-blockerande kondensatorn på 470 μF i min krets avviker från standardutförandet i *figur 2* vars värde uppgår till 250 μF . Värdet på den här kondensatorn har en central betydelse för vilken typ av frekvenser som släpps fram till högtalaren. Ett lägre värde på kondensatorn agerar mer effektivt som ett högpasfilter. Då reaktansen från kondensatorn beskrivs enligt formeln, $X_C = \frac{1}{2f\pi C}$. Högre värde på kondensatorn kommer således göra det lättare för de låga frekvenserna att passera. Konsekvensen av att jag har en större kondensator blir därmed att förstärkaren har en något bättre förstärkning när det kommer till de låga frekvenserna.

Avslutningsvis gällande operationsförstärkaren så sitter det ytterligare en kondensator på 100nF mellan Input₍₋₎ och GND. Denna kondensator avviker både från rekommendationen i databladet [2] och vad Molin beskriver [3]. Idén till att använda en kondensator här kom efter att ha sett ett resonemang från en [ljudtekniker på youtube](#) [4]. John från kanalen JohnAudioTech menar att så som LM368 är uppbyggd, innebär det att en intern resistor på 50k Ω kortsluts om man kopplar Input₍₋₎ till GND, se *figur 4*. Detta i sin tur skapar en obalans när det kommer till förströmmarna som i slutändan får som konsekvens att förstärkaren klipper tidigare och tappar något i sin förmåga att förstärka. Eftersom jag arbetar med en batteridriven krets med relativt låg spänning har jag använt mig av Johns lösning. Om det han säger stämmer till 100 % låter jag vara osagt, men jag har inte förlorat något märkbart vid mina observationer och mätningar efter att ha lagt till kondensatorn.



Figur 4. Internt kretsdiagram LM368 [1].

Högtalare

Högtalaren är en $16\ \Omega$ högtalare med effekttak på 0.25W . Den har tidigare tillhört en batteridriven leksak. Den valdes till här projektet då jag hade den tillgänglig hemma. Med vetskapen om att den tidigare suttit i en batteridriven leksak bedömde jag att den kunde vara lämplig.

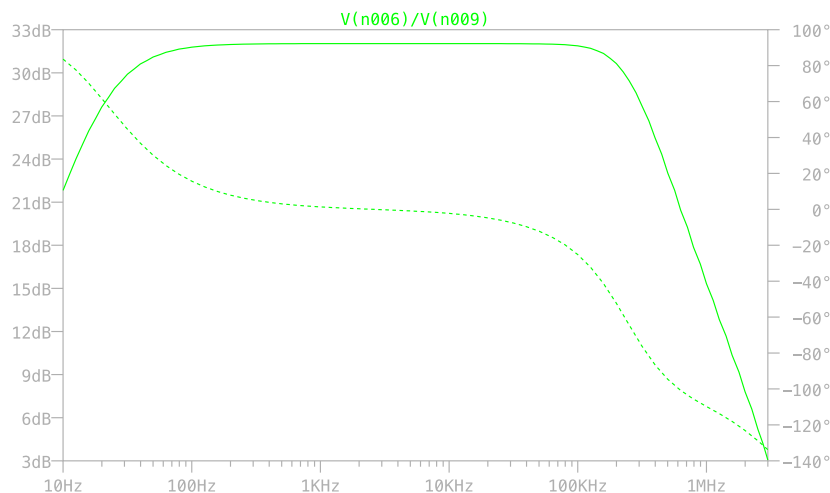
Mätningar och resultat

Bandbreddsprodukt

Simulering

För att få en uppfattning om vad som kunde vara ett rimligt resultat inför mina kommande mätningar med oscilloskop satte jag upp en krets i LTSpice och gjorde ett frekvenssvep. Resultatet syns i *figur 5*. Där framgår det att kretsen enligt simulering har en maximal förstärkning som uppgår till 32.0 dB vilket motsvarar 39.8 gångers förstärkning.

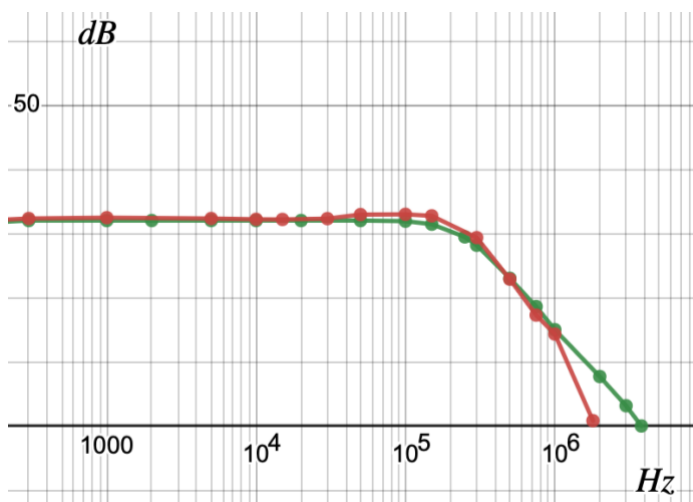
Den övre gränshänsen syns när förstärkningen sjunkit med 3 dB , vilket i simuleringen blev $f_g = 268\text{ kHz}$. Unity-gain frekvensen framträder när operationsförstärkaren inte klarar av att förstärka längre, alltså när förstärkningsgraden är nere på $A_v = 1$. I LTSpice framträder den vid 3.8 MHz .



Figur 5. Frekvenssvep simulering i LTSpice

Mätning med oscilloskop

För att kunna mäta bandbreddsprodukten och återskapa mätningen i simuleringen använde jag mig av en signalgenerator tillsammans med oscilloskopet. Genom att mata musik på lägsta volym från min mobiltelefon in i mikrofonen kunde jag testa kretsen i oscilloskopet och mäta utspänningen från mikrofonen. Med en handfull stillbilder på ljudvågorna fick jag ett typvärde på spänningstopparna runt 20 mV från mikrofonen. Därav ställdes en sinusvåg med $U_{\text{top}} = 20 \text{ mV}$ in på signalgeneratoren och högtalaren byttes ut mot ett effektmotstånd på 15Ω . I nästa steg genomfördes ett frekvenssvep samtidigt som värden för RMS avlästes gällande både in- och utspänning. Resultaten presenteras i *tabell 1* samt i *figur 6*.



Figur 6. Graf som visar bandbreddsprodukten.

Röd linje = mätning oscilloskop

Grön linje = simulering.



Tabell 1.

f (Hz)	$U_{IN\ RMS}$ (mV)	$U_{UT\ RMS}$ (mV)	A_v
50	8.0	300	37.5
300	8.4	347	41.3
1k	8.35	350	41.9
5k	8.6	355	41.3
10k	9.0	366	40.7
15k	9.55	388	40.6
30k	11.4	470	41.2
50k	7.9	350	44.3
100k	8.0	356	44.5
150k	8.0	347	43.3
300k	8.3	243	29.3
500k	8.5	118	13.9
750k	8.5	62	7.3
1M	8.6	45	5.2
1.8M	12.3	13.6	1.1

Effektförbrukning

Mätning och resultat

Mätning av effektförbrukning har genomförts med en multimeter. Mätningen genomfördes genom att strömmen från strömförsörjningsmodulen passerade multimetern innan den gick in till kretsen. På så sätt gick det att uppskatta



strömförbrukning och effekt för förstärkaren. Mina resultat utgår för enkelhetens skull från att multimetern är mer eller mindre ideal. Vidare genomfördes testen när potentiometern var på sitt lägsta värde, vilket innebär att de uppmätta värdena är en uppskattning om vad kretsen maximalt kan dra vid användning.

En första mätning genomfördes för att få en uppskattning om vad kretsen drar i viloläge, alltså när inga påtagliga ljud fångades upp av mikrofonen. Multimetern visade då att kretsen drog 5 mA. Som referens drar LM386 4-8mA i viloström vid 6V matningsspänning [1]. Den huvudsakliga strömmätningen genomfördes under loppet av att en sång spelades i mikrofonen från min mobiltelefon. Under sången registrerade multimetern runt 10 mA som lägre värde, respektive 25 mA som det högsta värdet. En väldigt grov uppskattning efter det här testet blev att kretsen drar ungefär $\frac{10 + 25}{2} = 17.5 \text{ mA}$ om den används för att förstärka musik genom mikrofonen.

Om man utgår ifrån uppgifter på [Wikipedia](https://en.wikipedia.org/wiki/Rechargeable_battery) om att ett typiskt 9V-batteri har en kapacitet på 550 mAh. Skulle en konstant användning av förstärkaren enligt exemplet ovan räcka:

$$\frac{550\text{mAh}}{17.5\text{mA}} = 31.43 \text{ h} \rightarrow 31 \text{ h } 25 \text{ min } 48 \text{ s}$$

Slutsats

Något som kan vara svårt att mäta och som inte framgår under resultatdelen är hur ljudkvaliteten faktiskt lät. Ur mitt perspektiv är jag över lag nöjd med hur jag fick förstärkaren att låta. Slutprodukten är åtskilligt mycket bättre än den första versionen av kretsen. Den kan leverera ett ljud fritt från brus och distorsion. Jag har kunnat lyssna på musik och podcasts från högtalaren under tiden jag gjort efterforskningar och skrivit rapport.

Den låga strömförbrukningen kommer till priset av att det inte går att få ut så mycket effekt från högtalaren. Med högtalarens effekttak på 0.25W finns det en del utrymme kvar för att kunna få en högre volym. Vidare ligger operationsförstärkarens matningsspänning nästan på lägsta möjliga nivå vilket även begränsar möjligt effekttag till högtalaren. Om den här kretsen skulle användas utanför det här projektet hade den i sin nuvarande utformning möjligen lämpat sig bättre för att förstärka hörlurar eller öronsnäckor.

Mättningsresultaten gällande bandbreddsprodukten ligger för det mesta mycket nära resultatet jag fick fram i simuleringen vilket jag är nöjd med. Gränsfrekvensen framträder där den ska och bandbredden ligger inom ramen för vad databladet anger



för förstärkaren. När det kommer till Unity-gain frekvensen finns det en större avvikelse mot förväntat resultat. Det är uppenbart att något blivit fel då kurvan inte följer sin naturliga -1 lutning. Jag fick en del orimliga mätresultat när gränsen för MHz passerades vid den första mätningen på oscilloskopet. Detta föranledde mig att göra om mätningen fast med större hänsyn till att oscilloskopet behövde tid att ställa om vid de högre frekvenserna den matades med. I efterhand skulle jag förmodligen beräknat RMS-värdet manuellt och haft fler mätpunkter vid de högre frekvenserna om jag skulle göra om mätningarna. Värdena från oscilloskopet är för mig den troligaste förklaringen till avvikande värden från simuleringen, men fram till dess att det är bekräftat kan jag inte utesluta att felet ligger någonstans i kretsen.



Källförteckning:

[1] LM386 Low Voltage Audio Power Amplifier, Dallas, Texas, USA: Texas Instruments 2017 [Online]. Tillgänglig:

<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm386.pdf>, (hämtad 2023-06-14).

[2]: Molin, Bengt, *Analog elektronik*, tredje upplagan, Studentlitteratur, 2020.

[3]: Tillgänglig: <http://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Sound/CEM-C9745JAD462P2.54R.pdf>

[4]: JohnAudioTech, "Make the PERFECT LM386 audio amplifier?" YouTube, 8 nov, 2019, [Video]. Tillgänglig: <https://youtu.be/P4GsoMTv-SY?t=176>.

[5]: Wikipedia, "Nine-volt battery", 2023 [Online]. Tillgänglig: https://en.wikipedia.org/wiki/Nine-volt_battery, (hämtad 2023-06-14).