



**KTH Informations- och
kommunikationsteknik**

Tillämpning av operationsförstärkare i analog elektronik

Rapport till examination X1

IE1202 Analog elektronik - KTH ICT, Kista

Joel Nilsson
joelni at kth.se

2008-09-28

Innehåll

1 Allmänt om operationsförstärkaren	1
2 Mikrofonförstärkare, laboration 1	1
2.1 Mikrofonens drivsteg	2
2.2 Förförstärkaren	2
2.3 Effektförstärkaren	3
3 Avståndsmätare med ultraljud, laboration 2	4
3.1 Oscillator	4
3.2 Transmissionsgrind	6
3.3 Överföring	7
3.4 Förstärkare	7
3.5 Detektor	8
A Grafer	8
A.1 Simuleringar	8
A.2 Mätningar	10

Figurer

2.1 Blockschema på mikrofonförstärkaren	1
2.2 Schema på förförstärkaren med signalkälla	2
3.1 Blockschema på avståndsmätaren	4
3.2 Schema på avståndsmätaren	5
A.1 Simulering av förförstärkarens utsignal - lab 1	9
A.2 Simulering av förförstärkarens förstärkning och fas - lab 1	9
A.3 Simulering av oscillatorns frekvens med hjälp av FFT - lab 2	9
A.4 Simulering av signalen efter transmissionsgrinden - lab 2	10
A.5 Simulering av utsignal till tänkt mikroprocessor - lab 2	10
A.6 Förförstärkarens förstärkning som funktion av frekvensen - lab 1	11
A.7 Effektförstärkarens förstärkning som funktion av frekvensen - lab 1	11
A.8 Mikrofonförstärkarens förstärkning som funktion av frekvensen - lab 1	12

1 Allmänt om operationsförstärkaren

Operationsförstärkaren är en komponent som på dess utgång ger en förstärkt signal av skillnaden mellan dess två ingångar.

I det ideala fallet har operationsförstärkaren oändlig resistans på ingångarna, oändlig råförstärkning och noll resistans på utgången.

Det medför att ingen ström går in via ingångarna och att den ström som går ut inte minskar på utgången.

Råförstärkningen är inte möjlig att utnyttja i verkligheten så man motkopplar förstärkaren. Utan motkoppling skulle operationsförstärkarens råförstärkning användas vilket innebär att förstärkaren skulle klippa när källan inte kan leverera tillräckligt med effekt längre.

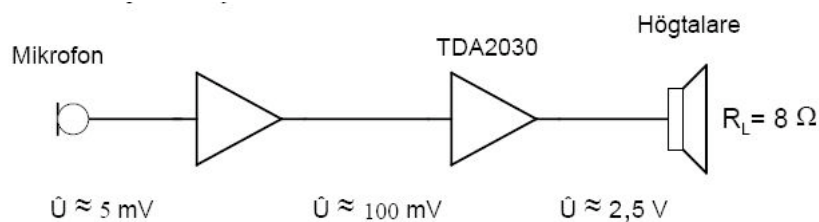
Motkoppling innebär att signalen från utgången matas tillbaka till den andra ingången via ett motkopplingsnät. Eventuella skillnader (olinjäriteter) i signalen tas då ut och förstärkaren blir linjärare.

Motkopplingsnätet blir en parameter, motkopplingsfaktor, som styr den resulterande förstärkningen. Dessutom påverkas förstärkarens stabilitet av hur hårt den motkopplas, hårdare motkoppling medför lägre förstärkning vilket i sin tur medför högre stabilitet.

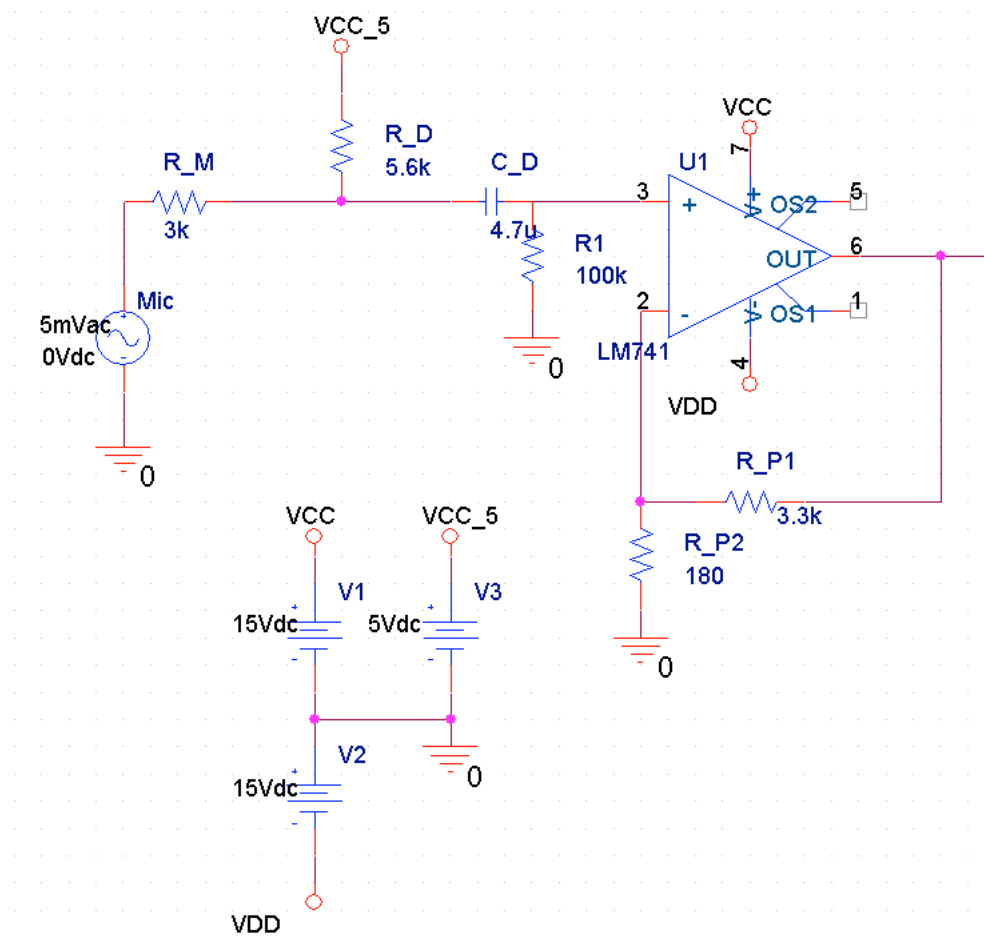
2 Mikrofonförstärkare, laboration 1

Uppgiften bestod av att konstruera en förstärkare för en mikrofon som skulle klara av att driva en högtalare.

Mikrofonförstärkaren består av tre block. Första blocket är ett drivsteg för en kondensatormikrofon. Andra blocket är en förförstärkare av lågnivåsignalen från mikrofonen. Tredje blocket är en effektförstärkare för att förstärka signalen för drivning av en högtalare.



Figur 2.1: Blockschema på mikrofonförstärkaren



Figur 2.2: Schema på förförstärkaren med signalkälla

2.1 Mikrofonens drivsteg

En kondensatormikrofon behöver en likspänning pålagd för att fungera. Det löses med en likspänningskälla i serie med en resistor. I det här fallet var källan på 5 V och resistorn på 5,6 k Ω .

För att förhindra att likspänningen sedan följer med signalen från mikrofonen till förstärkaren sätts en så kallad avkopplingskondensator efter drivsteget. Avkopplingskondensatorn kommer spärra alla låga frekvenser, inklusive likspänning (där $f = 0$ Hz).

2.2 Förförstärkaren

Signalen från mikrofonen är så svag att den inte kan driva effektförstärkaren direkt, än mindre en högtalare; den måste således förstärkas.

Enligt specifikationen som gavs hade mikrofonen en utspänning på $\hat{U} \approx 5 \text{ mV}$ och effektförstärkaren behövde en inspänning på $\hat{U} \approx 100 \text{ mV}$.

Förstärkning ges av:

$$A_v = \frac{U_o}{U_i} \quad (2.1)$$

Enligt (2.1) krävs det således en förstärkning på 20 gånger i förförstärkaren.

Förförstärkaren skulle konstrueras med en operationsförstärkare. Till det valdes en LM741, av den enkla anledningen att den fanns i PSpices bibliotek samt att valet inte ansågs vara så kritiskt, i det här fallet.

Operationsförstärkaren kopplades som en icke-inverterande förstärkare, med negativ motkoppling, ty det söktes låg impedans på ingången så att förförstärkaren skulle vara en låg belastning.

Förstärkningen för en icke-inverterande koppling med negativ motkoppling ges av:

$$A_v = 1 + \frac{R_1}{R_2} \quad (2.2)$$

och den härleds ur (2.1).

2.3 Effektförstärkaren

Effektförstärkaren är uppbyggd runt en TDA2030 på ett kretskort baserat på ett exempel från tillverkaren. Alla komponenters värden är valda efter detta exempel, förutom R_1 , R_2 , R_5 och C_8 .

R_1 och R_2 bestämmer förstärkningen och sattes till värden som ger ungefär 25 gångers förstärkning, enligt specifikation. TDA2030 kan approximeras med en operationsförstärkare var på förstärkningen beräknas enligt (2.2).

$$\begin{aligned} A_v &= 1 + \frac{R_1}{R_2} = 25 \\ \Leftrightarrow \frac{R_1}{R_2} &= 24 \\ \Rightarrow R_1 &= 18 \text{ k}\Omega, R_2 = 680 \text{ }\Omega \\ \Rightarrow A_v &= 27 \text{ ggr} \end{aligned}$$

$R_5 = 3R_2$ och blev, enligt R_5 ovan, $2,2 \text{ k}\Omega$.

$C_8 = \frac{1}{2\pi B R_1}$, med hänsyn tagen till mikrofonen och det mänskliga örats frekvensomfång bestämdes det värdet till 470 pF (idealt hade varit 442 pF). Det skall ge en övre gränshfrekvens på

18,8 kHz och en undre på 10,6 Hz.

Undre gränsfrekvensen beräknas med

$$f_u = \frac{1}{2\pi R_2 C_2} \quad (2.3)$$

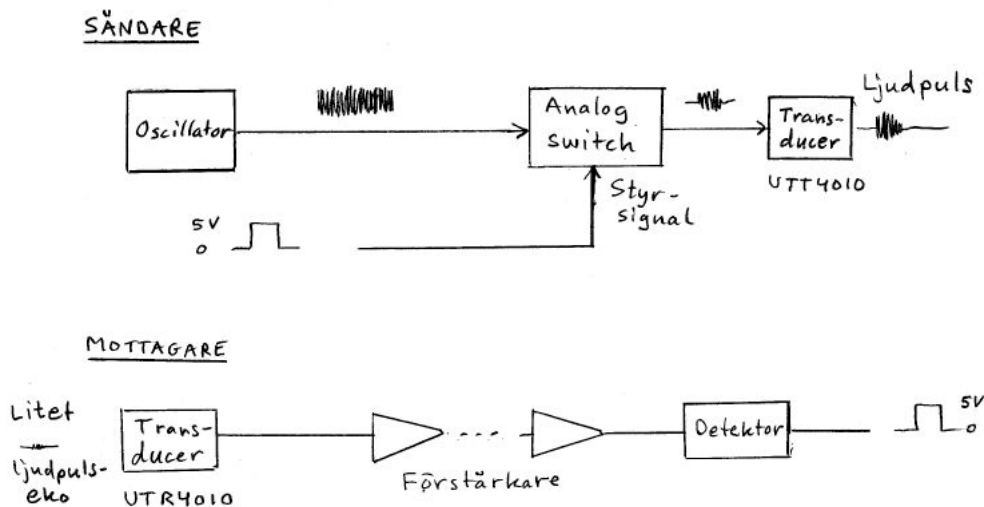
3 Avståndsmätare med ultraljud, laboration 2

Uppgiften bestod av att konstruera en avståndsmätare med ultraljud.

Teorin är enkel; en puls med en våg på 40 kHz skickas ut i luften via en piezoelektrisk transducer (transceiver). Pulsen reflekteras mot ett föremål och tas sedan emot av en annan piezoelektrisk transducer (receiver). Signalen, som har blivit försvagad under sin färd, måste förstärkas. Den förstärkta signalen kan sedan driva en dioddetektor (även kallad envelope-detektor) som används för att omforma pulsen till en fyrkantspuls.

Som operationsförstärkare i alla kopplingar nedan, undantaget komparatorn efter dioddetektorn, har TL074 använts ty den hade bra högfrekvensgenskaper.

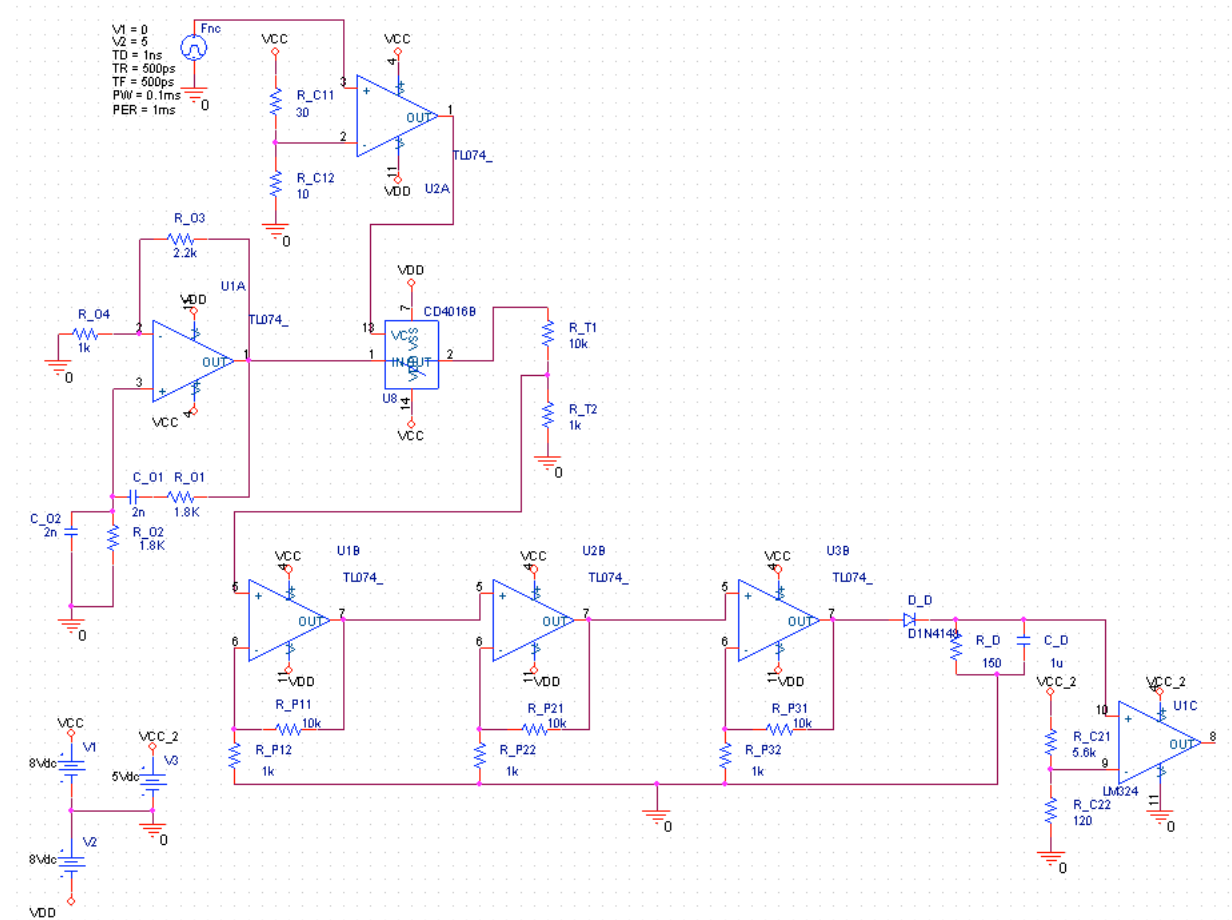
Avståndet ges av tidsskillnaden mellan den skickade och den mottagna pulsen.



Figur 3.1: Blockschemat på avståndsmätaren

3.1 Oscillator

Oscillatoren konstruerades som en Wieneroscillator, på grund av dess enkelhet.



Figur 3.2: Schema på avståndsmätaren

Principen är sådan att en operationsförstärkare motkopplas så att den blir ostabil och börjar självsvänga, det vill säga oscillera. Frekvensen för självsvängningen bestäms genom att dimensionera tidskonstanten för ett RC-filter.

Det är när slingförstärkningen (eng: loop gain) är ± 1 (beroende på koppling, här $+1$) som förstärkaren kommer börja självsvänga ty förstärkningen går mot oändligheten.

Vilket visas av:

$$A_f = \frac{U_o}{U_i} = \frac{A}{1 \pm \beta A} \quad (3.1)$$

nämnumaren kommer gå mot noll när villkoret uppfylls.

Slingförstärkningen är definerad som βA . Där:

$$\beta(j\omega) = \frac{1}{3 + j(\omega RC - \frac{1}{\omega RC})} \quad (3.2)$$

och A är definierat i (2.1).

Således

$$\beta A = +1 = \left(\frac{1}{3 + j(\omega RC - \frac{1}{\omega RC})} \right) \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) \quad (3.3)$$

Reellt β sökes, uppfylls när:

$$\begin{aligned} \omega RC - \frac{1}{\omega RC} &= 0 \\ \Rightarrow \omega RC &= \frac{1}{\omega RC} \\ \Rightarrow (\omega RC)^2 &= 1 \\ \Rightarrow RC &= \frac{1}{\omega} = \frac{1}{2\pi f} \end{aligned}$$

För $40kHz$ skall således $RC = 3,98 \cdot 10^{-6}$ och $A > 3$ för att ge $\beta A \approx +1$.

Problem uppstår när beräkningar utförs med antagandet att operationsförstärkaren är ideal, det kommer skilja sig från verkligheten på grund av fasförskjutning i den.

En lösning är att utgå från beräkningarna i det ideala fallet för att sedan med hjälp av simuleringar modifiera dessa värden tills man får önskad frekvens, med hänsyn till givna toleranser. Det ger $R = 1,8 k\Omega$ och $C = 2 nF$.

3.2 Transmissionsgrind

Avståndet går ej att beräkna, med lätthet, från en kontinuerlig signal. Istället önskas pulser som det går att mäta fördröjningen emellan.

För att skapa pulser av signalen från oscillatoren så leds signalen via en switch som endast släpper igenom kortare vågpaket med jämna mellanrum.

Till detta användes en HEF4016B från Philips. Switchen fungerar så att när en signal motsvarande den maximala positiva eller negativa matningsspänning läggs på styringången så öppnar den en kanal mellan signalingång och signalutgång.

HEF4018B har dock sina begränsningar; signalen som skall passera får inte överstiga matningsspänningen, $\pm 8 V$ i det här fallet.

Dessutom krävde uppgiften att switchen skulle kunna styras av en mikroprocessor ($+5 V$ för 1, $0 V$ för 0) samtidigt som så högt spänningssving som möjligt skulle kunna användas.

Lösningen var att använda en operationsförstärkare som komparator för att omvandla $+5 V$ till $+8 V$ samt $0 V$ till $-8 V$. Switchen skulle då kunna släppa igenom en signal med samma spänning.

Det är enkelt att bygga en komparator av en operationsförstärkare. Om signalen på V_+ överstiger signalen på V_- så bottenar operationsförstärkaren mot den positiva matningsspänningen och vice versa. En referensspänning ($V_{ref} = V_-$) på ungefär $2,5\text{ V}$ ledde till att $+5\text{ V}$ på ingången gav $+8\text{ V}$ på utgången och 0 V på ingången gav -8 V på utgången. Vilket var den funktion som söktes.

Observera, att ingen av operationsförstärkarna som har använts i laborationen är av så kallade rail-to-rail typ, var på den faktiska spänningen blir något under matningsspänningen.

3.3 Överföring

För överföring av vågpulsen i luften används piezoelektriska transducere; en för att sända pulsen och en för att ta emot den. De kristallerna som användes hade en resonansfrekvens på $40 \pm 1\text{ kHz}$.

3.4 Förstärkare

Signalen som kommer från mottagarkristallen är mycket svag och måste förstärkas om den skall orka igenom detektorn.

Det valdes att göra en förstärkare i tre steg, för att kunna ha hög motkoppling, det vill säga låg förstärkning, i varje steg.

Första steget hade som villkor att det skulle vara lågimpedivt för att utgöra låg belastning mot mottagaren. Det uppfylls genom att göra en icke-inverterande förstärkare ty signalen går direkt in på ingången som har mycket hög impedans (oändlig i det ideala fallet). Förstärkningen sattes till ungefär måttliga 10 gånger, med antagandet att signalen skulle ligga runt 1 mV . Det antagandet visade sig dock vara felaktigt ty gav siffror på uppemot 200 mV när avståndet mellan transducer och mätpunkt var kort.

Andra steget hade som villkor att förstärka upp i regionen 100 mV samt vara det steget med störst förstärkning. Fortfarande med det tidigare antagandet. Således valdes en förstärkning på ungefär 20 gånger.

Tredje steget hade som villkor att förstärka upp signalen till någonstans mellan 1 V och 2 V . Fortfarande med det tidigare antagandet och med målet att signalen skulle ha en spänning på runt 1 V efter att ha passerat dioddetektorn. I dioddetektorn skulle den nämligen tappa minst $0,7\text{ V}$.

Inga filter för att spärra likspänning på ingångarna tillämpades på grund av tidsbrist. Det vore dock lämpligt att sätta in ett högpasfilter på ingångarna, förslagsvis med en gränshfrekvens i närheten av den frekvens som skall förstärkas (40 kHz). En följd av att likspänning då också

förstärks är att förstärkaren kommer bottna. I den här tillämpningen påverkar det dock inte resultatet någon nämnvärt. Hade det däremot rört sig om en ljudförstärkare så hade det varit högst otrevligt att lyssna på.

En annorlunda lösningen testades först. Första steget var likadant men steg två hade ett andra ordningens bandpassfilter vid 40 kHz och en förstärkning på 200 gånger. Det tredje steget var endast tänkt att vara ett buffertsteg. Denna lösningen fungerade tyvärr inte vid första försöket och valdes bort med målsättningen att få en enklare lösningen som förhoppningsvis skulle fungera; vilket den också gjorde.

3.5 Detektor

Dioddetektorn har som funktion att omvandla ett vågpaket till en fyrkantsvåg. Det görs genom att signalen halvvågslikriktas av en diod för att sedan ladda upp en kondensator parallellt med en resistor. Tidskonstanten skall sättas till ett sådant värde att pulsen får en jämn likspänningsnivå och att falltiden är kort när pulsen väl upphör. Som tumregel gavs ett värde på fem till tio gånger av periodtiden.

Således

$$\tau = 5R_D C_D \approx 0,125 \text{ ms}$$

eller

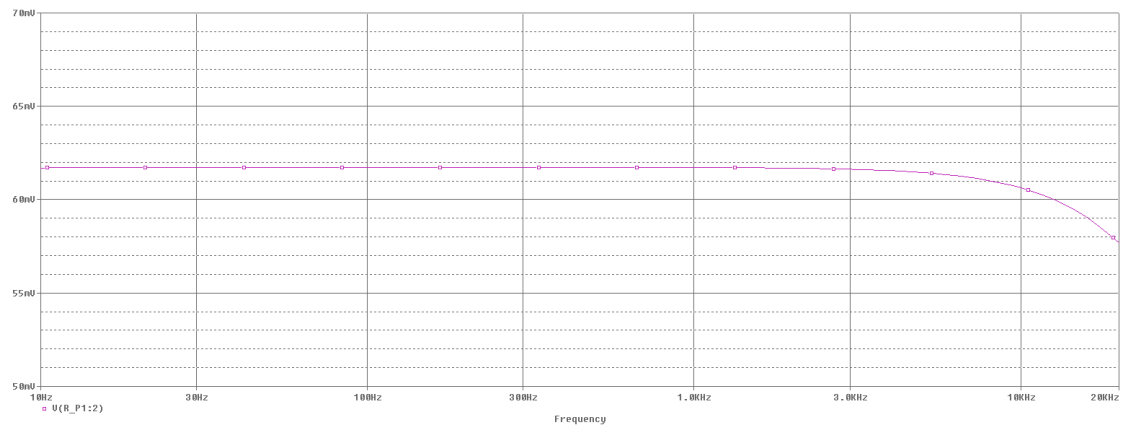
$$\tau = 10R_D C_D \approx 0,25 \text{ ms}$$

Det valdes $R = 150 \Omega$ respektive $C = 1 \text{ nF}$ vilket motsvarar 0,15 ms.

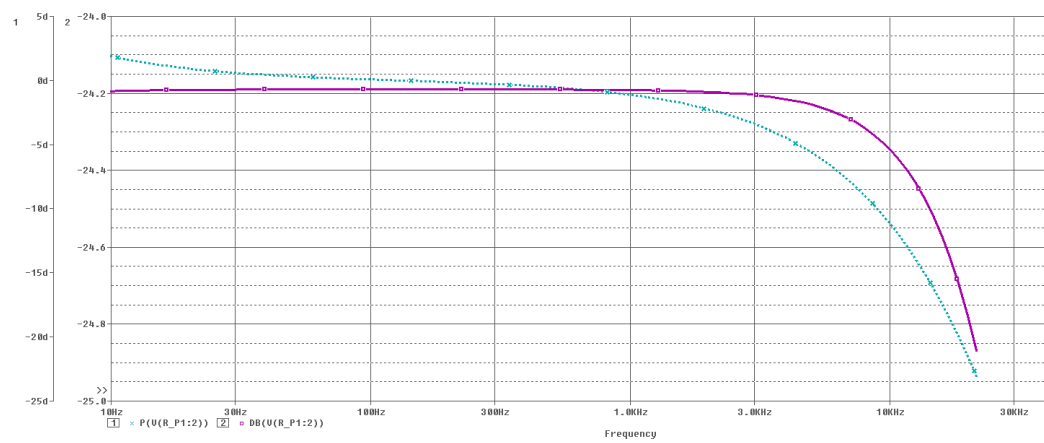
För att sedan pulsen skall kunna uppfattas av en mikroprocessor omvandlas spänningen med hjälp av en komparator (som i avsnitt 3.2). Här valdes dock en LM324 som operationsförstärkare ty den kan arbeta mellan +5 V och jord (0 V); vilket motsvarar logisk etta respektive nolla. Referensspänning sattes till en nivå som låg över bakgrundsbruset $\approx 0,105 \text{ mV}$.

A Grafer

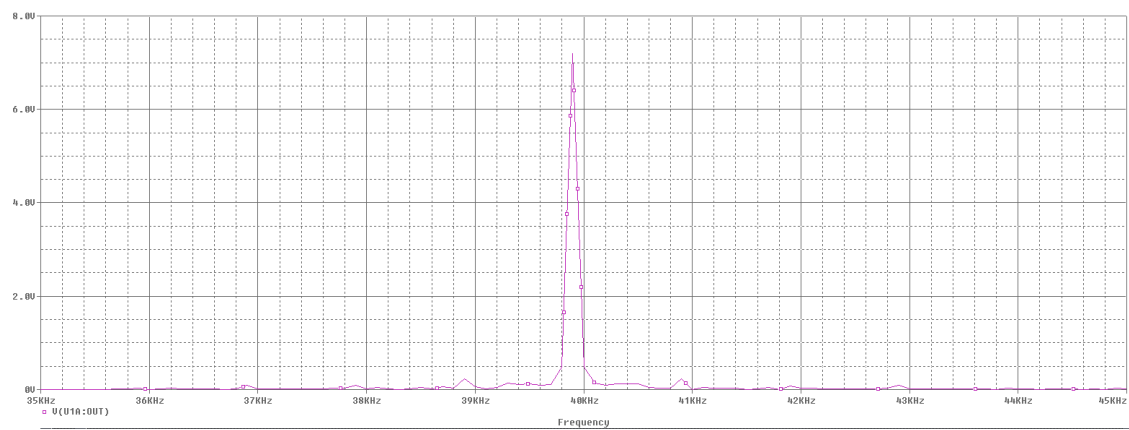
A.1 Simuleringar



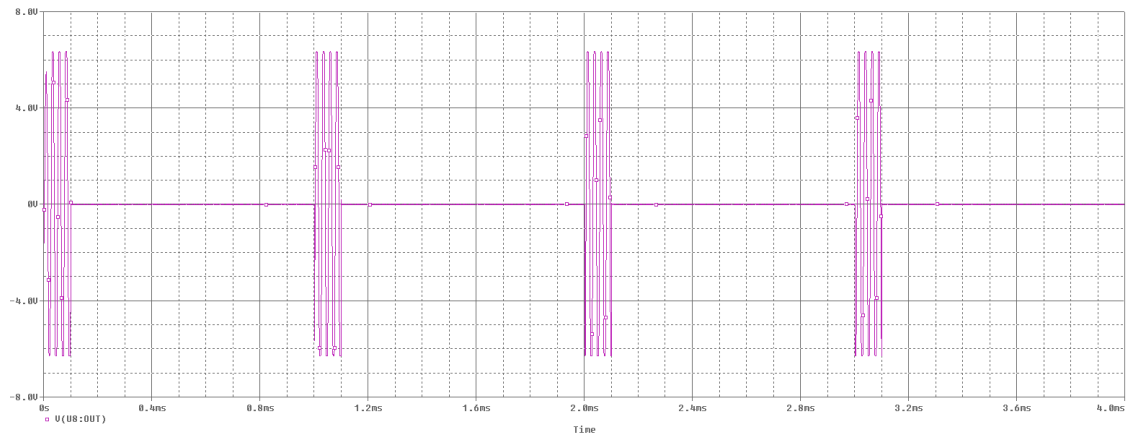
Figur A.1: Simulering av förstärkarens utsignal - lab 1



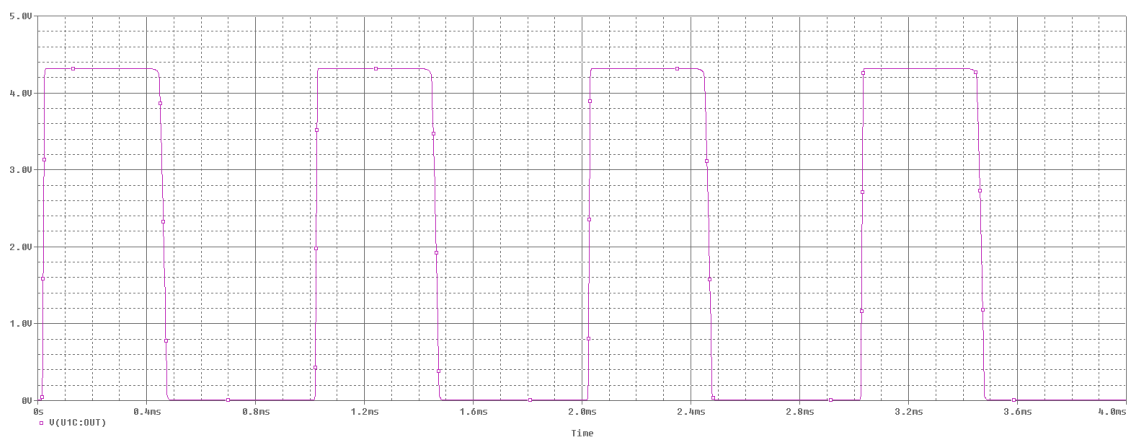
Figur A.2: Simulering av förstärkarens förstärkning och fas - lab 1



Figur A.3: Simulering av oscillators frekvens med hjälp av FFT - lab 2

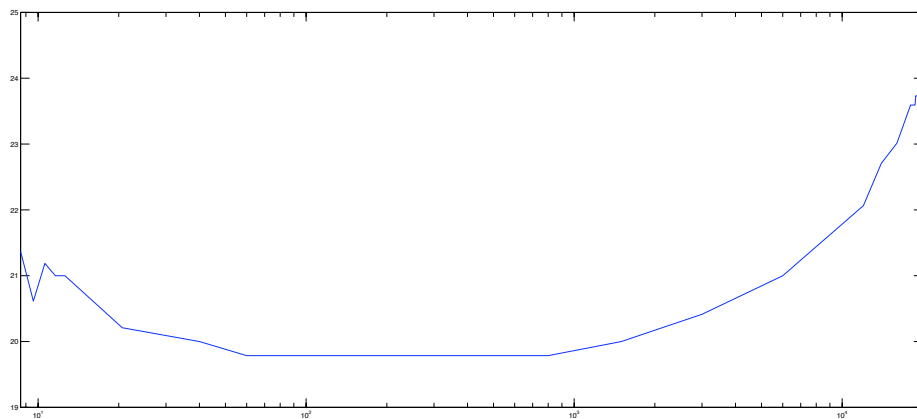


Figur A.4: Simulering av signalen efter transmissionsgrinden - lab 2

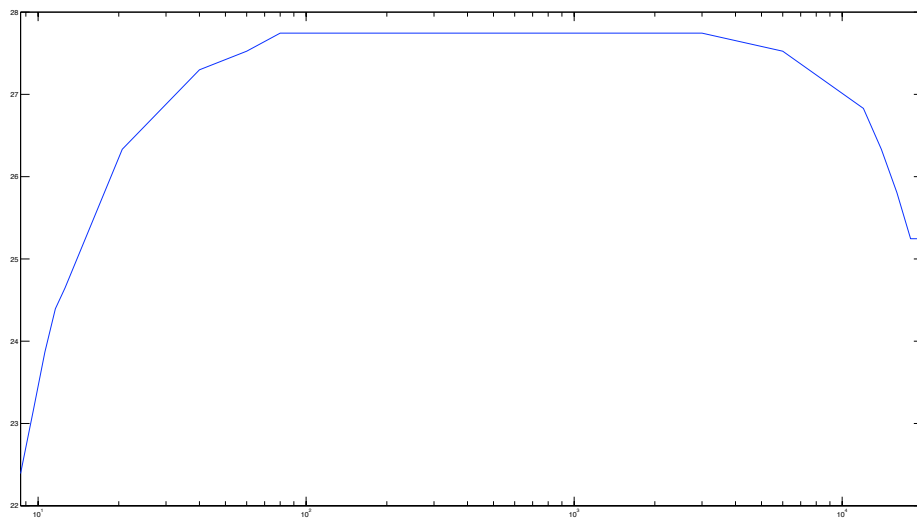


Figur A.5: Simulering av utsignal till tänkt mikroprocessor - lab 2

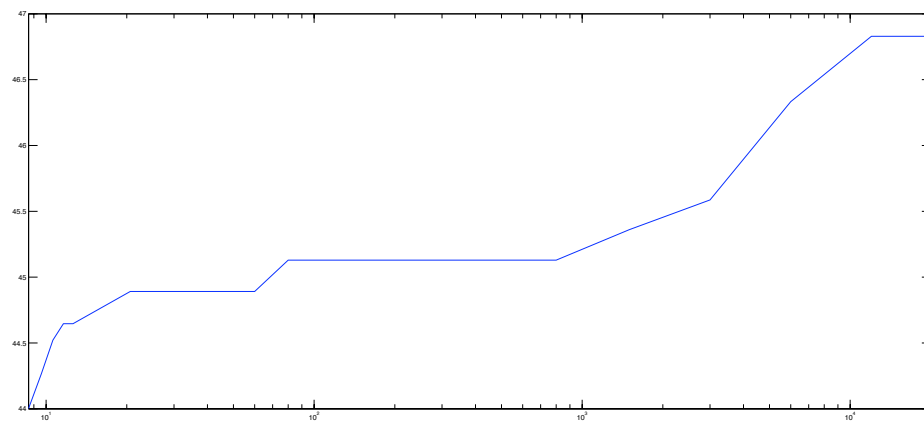
A.2 Mätningar



Figur A.6: Förförstärkarens förstärkning som funktion av frekvensen - lab 1



Figur A.7: Effektförstärkarens förstärkning som funktion av frekvensen - lab 1



Figur A.8: Mikrofonförstärkarens förstärkning som funktion av frekvensen - lab 1