

Laborationsinstruktion för Ultraljudsensorer

Tadeusz Stepinski

januari 2003

Namn	Handledarens kommentarer
Årskurs/Inskrivningsår	
Godkänd den	

1. Inledning

Att ett material är piezoelektriskt betyder att det uppstår elektriska laddningar på dess yta, om materialet utsätts för ett yttre mekaniskt tryck. Omvänt kommer ett piezoelektriskt material att deformera sig själv, om det placeras i ett elektriskt fält.

Det är i verkligheten fråga om två piezoelektriska effekter, den direkta och den omvända piezoelektriska effekten.

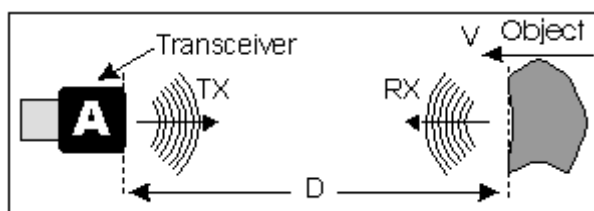
Ultraljudvågor alstras normalt med hjälp av en "sökare" som innehåller ett piezoelektriskt element. Detta element exciteras med en elektrisk puls som ger upphov till mekaniska svängningar (omvänd piezoelektrisk effekt). Den direkta effekten utnyttjas genom att man låter de reflekterande ljudvågorna träffa det piezoelektriska elementet. De uppkomna elektriska spänningarna registreras på en oscilloskopskärm.

Det finns flera material med piezoelektriska egenskaper som kan användas till framställning av ljudsändare. Det kan vara plattor av naturliga förekommande kristaller utskurna på bestämda sätt i förhållande till kristallgittret, t ex kvartsplattor. Exempel på sådana är de naturligt förekommande kristallerna, kvarts, turmalin och Rochelle salt. Det kan också vara konstgjorda keramiska plattor som formas med elektriskt fält för att få piezoelektriska egenskaper. Här kan nämnas plattor av litiumsulfat, bariumtitanat, blyzirkonat m fl.

Till skillnad från de naturligt förekommande kristallerna kan dessa ha valfri form och storlek. Vidare kan polarisationsriktning väljas godtyckligt.

1.1 Ultraljudavståndsmätare

Luftburet ultraljud kan användas för att känna av hinder och mäta avstånd. Genom att mäta tiden som förflutits då en ultraljudspuls färdas från en sändare till en reflektor och tillbaka till en mottagare, kan avståndet till det föremål som reflekterar pulsen mätas (se fig. 1). Denna metod tillämpas i vissa fotokameror (t.ex. Polaroid) och i robotar. Piezoelektriska givare för dessa applikationer alstrar ultraljudsvågor med relativt låga frekvenser (< 100 kHz).



Figur 1. Princip av avståndsmätning i pulseko konfiguration.

1.2 Ultraljud i medicin och materialprovning

Under lång tid tillbaka har man använt hörbara ljudsvängningar för materialprovning. När man slog på ett ämne kunde man t ex höra om det var ihåligt eller sprucket eller om det bestod av ett homogent material. I slutet av 1920 talet utfördes de första mer ingående undersökningarna av hur elastiska vågor med en frekvens överstigande hörbarhetsgränsen (ca 16 000 Hz) fortplantar sig i fasta och flytande material. Ultraljuds tillämpningar inom medicin och oförstörande materialprovning har under de senaste decennierna genomgått en mycket snabb utveckling, vilket resulterar i en mängd instrument och metoder.

Pulseko metoden är den mest använda.

Metodens princip är ungefär densamma som används vid ekolodning. En ljudsändare skickar en kort impuls bestående av några få svängningar in i mediet som skall undersökas. Ljudvågen fortplantar sig genom mediet med konstant hastighet. Är mediet homogent fortsätter ljudvågen tills den träffar på en övergång till ett annat medium, varifrån den reflekteras (se fig. 2).

Ljudvågen löper nu tillbaka genom materialet och uppfångas av mottagare (i de flesta fall fungerar sändaren också som mottagare). Då ljudvågen rör sig med konstant hastighet kommer den tid som har förflutits från

det att ljudvågen startas tills den kommer tillbaka att vara ett mått på den sträcka som har tillryggalagts. När en viss tid gått, utsänds en ny ljudvåg som rör sig på exakt samma sätt.

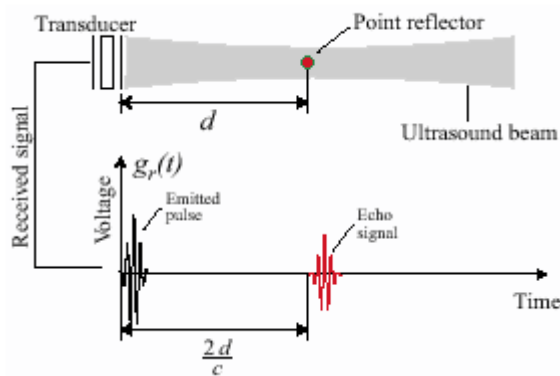


Figure 2. Princip av ultraljudspulsekundersökning

Ljudvågor i solid material (elastiska vågor) är mekaniska svängningar av enskilda partiklar. Det är karakteristiskt för en vågrörelse att det pågår en energitransport men inte någon materialtransport. De enskilda partiklarna svänger men behåller sin plats i förhållande till de övriga.

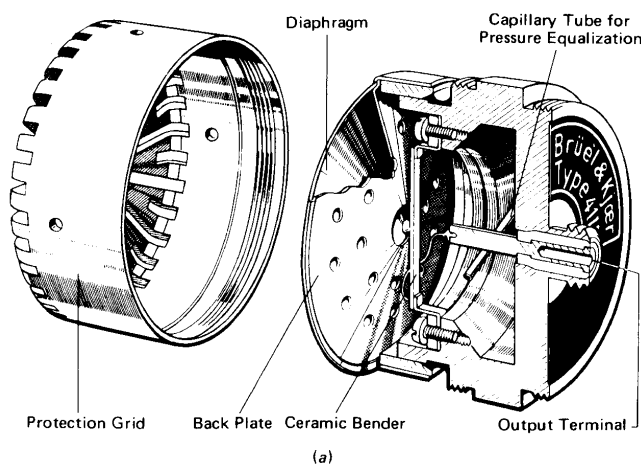
Vågrörelse kan uppträda under många olika former. Här kan benämnas longitudinella svängningar som karakteriseras genom att partikelrörelsen försiggår i ljudets utbredningsriktning och transversella svängningar där partikelrörelsen sker vinkelrätt mot ljudets utbredningsriktning. Dessa har en utbredningshastighet som är ungefär hälften av de longitudinella vågornas.

2. Piezoelektriska givare

2.1 Givare för luftburet ultraljud

Piezoelektriska material lämpar sig inte direkt för att alstra och ta emot akustiska vågor i luften. Detta beror på en stor impedans missanpassning mellan piezoelektriska keramer och luften.

Ett sätt att höja verkningsgraden består i att koppla en piezoelektrisk stolpe till ett tunt membran som fungerar som en kolv i luften. Ett exempel av en sådan konstruktion visas i fig. 3.



Figur 3. En piezoelektrisk mikrofon

® En piezoelektrisk mikrofon innehåller en backplatta (se fig. 3). Beskriv mikrofonens arbetsprincip och förklara varför backplattan behövs. Rita en enkel modell (ersättnings krets) som illustrerar mikrofonens arbetsprincip.

En annan lösning på problemet är att bygga en minihögtalare med en trutt som drivs av en vibrerande piezoelektrisk disk. En sådan konstruktion tillämpas i ultraljudsgivare från **MuRata**TM (se fig. 4).

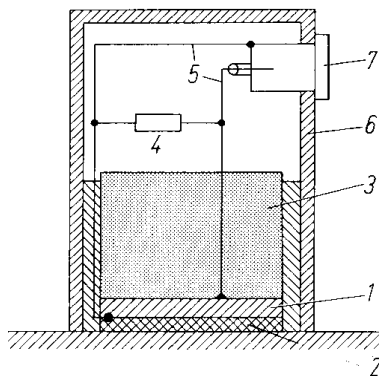


Figur 4. Konstruktion av en piezoelektrisk givare från *MuRata*TM.

2.2 Sökare för medicin och förstörande materialprovning

Sökaren karakteriseras av dess dimension, ultraljudfrekvens, dvs. kristallens typ, kristallens egenfrekvens, kristallens montering (backing) och därmed dess dämpning, m fl.

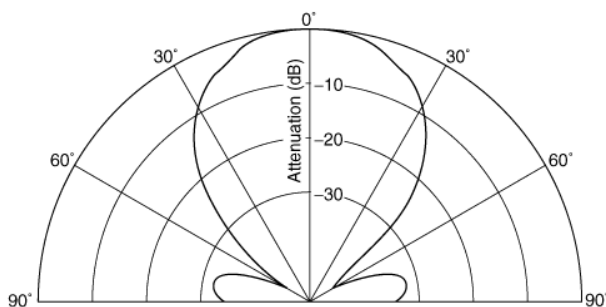
En normal sökare (se fig. 5) sänder ut longitudinella vågor som lämnar sökaren vinkelrätt mot utgångsytan. Om sökaren bringas i kontakt med ett material tränger ljudvågorna in i detta. De rör sig i rätlinjiga banor, men med en viss spridning, så att det bildas ett konisk format ljudfält (se fig. 6).



Figur 5. Normal sökare.

- 1) piezoelektriskt element, 2) skyddande lager, 3) ”backing”,
- 4) elektrisk matchning, 5) tråd, 6) hölje, 7) kontakt

® På baksidan av det piezoelektriska elementet i normalsökaren finns ett block av plastkomposit som har till syfte att dämpa ljudvågorna. Analysera dess funktion samt dess inverkan på sökarens tid- och frekvenssvar.



Figur 6. Divergens av en stråle från en cirkulär oscillator

Eftersom den piezoelektriska plattan i sökaren verkar både som sändare och mottagare, kan sökaren inte mottaga ljudvågor under den tid som startpuls sänds ut. Man säger att sökaren är blockerad under en kort tid, dvs förmågan att indikera fel omedelbart under materialets yta (den sk närupplösningsförmågan) för en normal sökare är reducerad.

2.3 Elektriska modeller av piezoelektriska givare

En piezoelektrisk givare är ett elektromekaniskt system som omvandlar en elektrisk signal till mekaniska svängningar. Ett sådant system kan modelleras med elektriska ersättningskretsar som består av motstånd, kapacitanser, induktanser och transformatorer. Varje givare karakteriseras av en frekvensberoende elektrisk impedans som också varierar beroende på belastningen på den akustiska sidan. Detta innebär t.ex. att den elektriska impedansen av ett piezoelektriskt element uppmät i luften kommer att skiljas från den som man mäter när elementet sänks i vatten. Eftersom piezoelektriska element har en naturlig benägenhet till att vibrera karakteriseras deras impedans av resonanstoppar som motsvarar olika svängningsmoder. Den enklaste modellen som presenteras i fig. 7 är känd som RLC-modellen; den består av två kapacitanser, en induktans och ett motstånd. Den beskriver elementets egenskaper bara vid en resonans. Man bör använda mera komplexa modeller baserade på transmissionslinje teori för att beskriva flera resonanstoppar samtidigt.

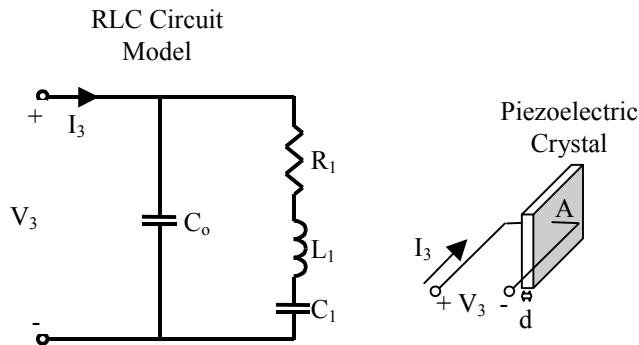


Figure 7. RLC-modell av ett piezoelektriskt element

RLC-kretsens ingångsimpedans

$$Z_{in_RLC} = \frac{\omega R_1 C_1 + j(\omega^2 L_1 C_1 - 1)}{j\omega^2 R_1 C_1 C_0 - \omega C_0 (\omega^2 L_1 C_1 - 1) + \omega C_1} \quad (1)$$

och motsvarande admittans

$$Y_{in_RLC} = j\omega C_0 + \omega C_1 \frac{R_1 \omega C_1 - j(\omega^2 L_1 C_1 - 1)}{(R_1 \omega C_1)^2 + (\omega^2 L_1 C_1 - 1)^2} \quad (2)$$

Från ekv. (2) ser man att kretsen har en resonans när den reella delen av dess admittans (ekv. (2)) uppnår maximum. Denna resonans kallas för seriell och dess frekvens ges av $\omega_s = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}}$. Ett maximum i den reella delen av kretssimpedansen (ekv. (1)) är ett kännetecken av den parallella resonansen.

® Bestäm kvoten $\frac{\omega_p}{\omega_s}$ mellan frekvenser för den parallella och seriella resonansen.

3. Uppgifter

3.1 Ultraljud i luften

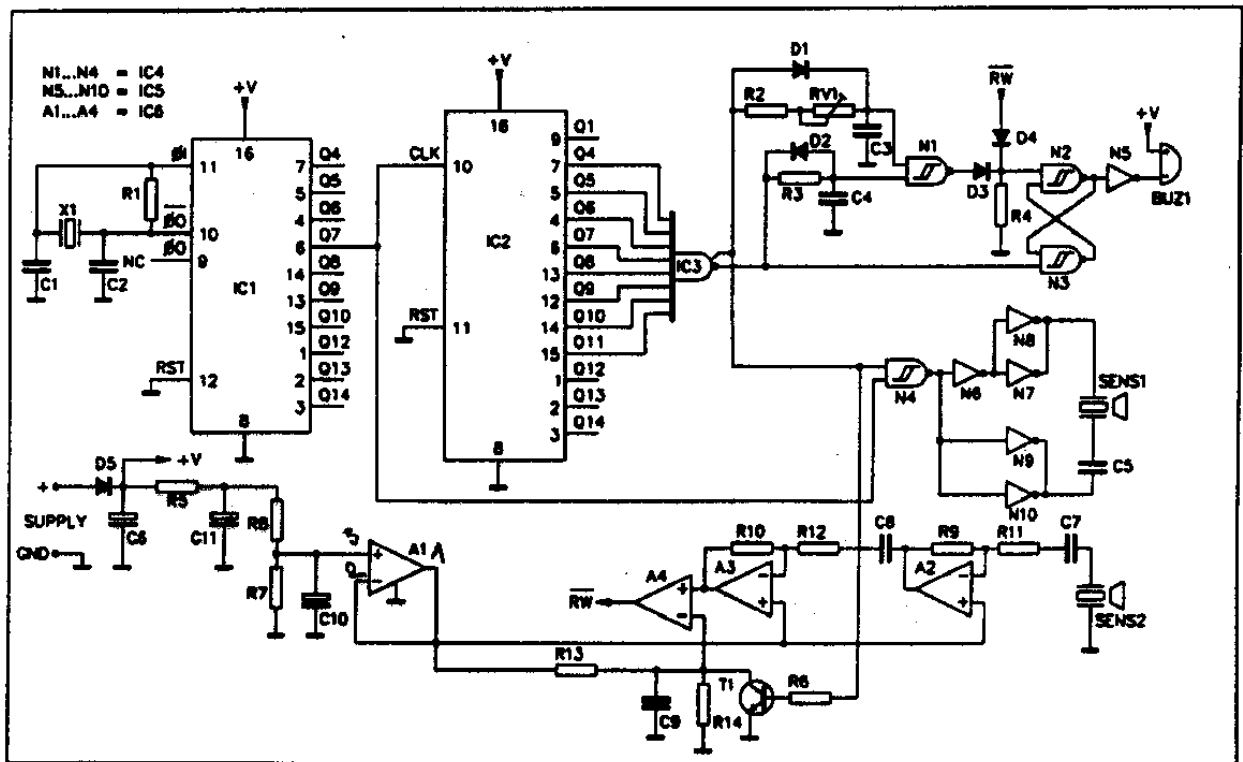
Inledning

Laborationen behandlar tillämpning av ultraljud för avståndsmätning i luften. En krets från Wellman "Parkering radar" används för att generera och ta emot ultraljudssignaler med två separata sensorer.

Instrumentkännedom

Analysera kretsschemat i fig. 9 och försök beskriva dess funktion. Koppla in kanal 1 på ett oscilloskop till utgången av trigger N8/N7 (eller direkt till SENS1) och kanal 2 till punkten RW. Synkronisera oscilloskopet och betrakta signalerna.

- Ⓡ Vilken frekvens används för att excitera sändaren? Skissa den exciterande och den mottagna signalen och beskriv hur ni mäter löptiden ('time of flight') för ultraljudspulsen.



Figur 9. Krettschema av Wellmans parkeringsradar.

Mätning av ljudhastigheten i luften

Placera sändaren och mottagaren på ett känt avstånd från en reflektor, tex. en cylinder. Ställ oscilloskopet i ett läge som möjliggör digital tidsmätning och mät tidsintervall mellan den utsända och den mottagna pulsen.

- Ⓡ Beräkna ljudhastigheten i luften. Vilka faktorer påverkar ljudhastigheten i luften?
Tips: Ta hänsyn till att sändare och mottagare ligger på olika ställen.

3.1 Impedansen av en ultraljudsgivare

Inledning

Laborationen behandlar mätning av en impedanskaraktäristik och parameterestimering hos en ultraljudsgivare i luften. En nätverksanalysator från Agilent Technologies används för att mäta impedansen.

Instrumentkännedom

Agilents 4395A nätverks/spektrum/impedans analysator kan noggrant mäta impedanskaraktäristiken hos linjära nätverk över ett brett frekvensområde (från 10 Hz till 500 MHz). Mätresultatet som visas på en inbyggd skärm kan också sparas på en diskett. Analysatorn har många olika funktioner som väljs med hjälp av knappar och menyer. Den bör kalibreras för varje vald funktions- och parameterkombination (kalibreringsparametrar kan också sparas på en diskett).

Instrumentet har ett tillbehör för mätning av reflektionskoefficienter hos elektriska kretsar. Den elektriska impedansen kan bestämmas från komplexa reflektionskoefficienten S_{11} från en formel

$$Z = R_0 \frac{1 + S_{11}}{1 - S_{11}}, \quad R_0 = 50\Omega$$

Utförfarande

- Koppla en givare för luftburet ultraljud till analysatorn.
- Ställ startfrekvensen till 20 kHz, stoppfrekvensen till 100 kHz och filter bandbredden till 300Hz.
- Välj admittanspresentation på skärmen (du kan skåda både den reella och imaginära delen).
- Identifiera resonanstoppar och notera deras frekvenser.

Vi kommer att närmare analysera resonanstoppet vid ca 39 kHz.

- Ställ startfrekvensen till 30 kHz, stoppfrekvensen till 50 kHz och filter bandbredden till 100 Hz.
- Kalibrera analysatorn (tryck <Cal> och sedan följ meny)
- Välj admitanspresentation på skärmen (du kan skåda både den reella och imaginära delen).
- Läs av centerfrekvensen för resonanstoppet (använd markören)
- Välj impedanspresentation på skärmen (du kan skåda både den reella och imaginära delen).
- Läs av centerfrekvensen för resonanstoppet (använd markören)
- Spara data på en diskett. (För att spara data trycker man på knappen <Save> och väljer sedan på meny <Data only> och <Save ASCII>. Sedan skriver man filnamn och sparar).
- Censurera data i datafilen så att den kan läsas i Matlab (ta bort header och spara som *.txt fil). Filen kommer att bestå av 3 kolumner frekvens, reella och imaginära delen av S_{11} .
- Behandla data med den bifogade m-filen och tryck RLC-parametrar, impedans- och admittansplot.

Labbrapport

Rapporten skall innehålla svar till alla frågor märkta med ® samt redovisning och resultat av alla genomförda mätningar. Bifoga RLC-parametrar, impedans- och admittansplot.