

Istituto Professionale di Stato per l'Industria e l'Artigianato
MORETTO
Via Luigi Apollonio, 21 BRESCIA

ESPERIENZE SUI RICEVITORI E TRASMETTITORI AD ULTRASUONI

a cura di :

BRONZETTI CRISTIAN
DORICI MAURO
FOGASSI NICOLA
GNECCHI ROBERTO

della classe 5AI TIEE

CORSO DI LABORATORIO MISURAZIONI
tenuto dall'ing. CLETO AZZANI

a. s. 1991-92

INTRODUZIONE

La piezoelettricità è il nome attribuito a quei fenomeni per mezzo dei quali si vengono a generare dei bipoli elettrici in certi cristalli asimmetrici quando questi ultimi sono sottoposti a delle pressioni meccaniche. Gli stessi materiali mostrano anche l'effetto contrario, in quanto essi subiscono un cambio di dimensioni se vengono sottoposti ad un campo elettrico. I cristalli piezoelettrici che in natura sono piuttosto pochi (quarzo) sono stati utilizzati per molti anni con buoni risultati, come trasduttori per convertire energia elettrica in meccanica e viceversa, questi continueranno indubbiamente a essere usati in tali specifiche applicazioni. I materiali piezoelettrici di tipo ceramico furono sviluppati molti anni addietro e sono stati costantemente migliorati da allora; continue ricerche porteranno delle aggiunte alle molte applicazioni già esistenti. Fisicamente, i materiali piezoelettrici sono duri, chimicamente essi sono inerti e immuni all'umidità ed alle altre condizioni atmosferiche. Essi hanno proprietà meccaniche assimilabili a quelle dei migliori isolatori ceramici conosciuti, essendo costruiti anche con molti degli stessi processi. Grazie a queste ceramiche naturali, i nuovi materiali piezoelettrici possono assumere ogni forma o figura in base alla direzione della polarizzazione liberamente scelta. Conseguentemente, i materiali piezoelettrici offrono grande versatilità nella progettazione di trasduttori, di quanto ogni altro materiale cristallino; inoltre essi sono estremamente rigidi, così si dice, capaci di esercitare e sopportare notevoli pressioni. Cambiando leggermente la composizione chimica del materiale è possibile mostrare una o molte proprietà specifiche del piezoelettrico; ogni adattamento è il risultato di un particolare campo di applicazione e un controllo rigoroso per la sua abilità di ottenere le qualità richieste.

EFFETTI PIEZOELETTRICI NEI MATERIALI CERAMICI

Per comprendere l'effetto piezoelettrico nei materiali ceramici bisogna considerare il comportamento del materiale su scala microscopica. Per un materiale che deve comportarsi in modo anisotropo, come la piezoelettricità, è richiesto che la struttura del cristallo non debba avere centro di simmetria. Qui c'è un minimo asse nel cristallo dove la disposizione appare differente se uno procede in direzioni opposte lungo questo.

Le ceramiche piezoelettriche sono materiali ferroelettrici. Al di sopra di una certa temperatura, chiamata temperatura di Curie, T_c ,

la struttura cristallina del ferroelettrico ha un centro di simmetria.

Al di sotto di questa temperatura esso subisce una fase di cambiamento fino ad una struttura molto complessa che non ha un centro di simmetria.

In questa fase il cristallo ha incorporato dipoli elettrici che possono essere rovesciati e anche girati in certe direzioni permesse, attraverso l'applicazione di un campo elettrico sufficientemente intenso.

Alcuni materiali sono chiamati ferroelettrici perchè assumono un comportamento elettrico analogo al comportamento magnetico dei materiali ferromagnetici.

Essi non devono necessariamente contenere ferro come materiale principale.

Un materiale raffreddato sotto la temperatura di Curie (in assenza di campo elettrico) contiene molti "domini" in ognuno dei quali i dipoli elettrici sono allineati in una specifica direzione tra quelle concesse e la risultante dei dipoli elettrici è $=0$. Ma quando il cristallo è raffreddato in presenza di un campo elettrico, i domini tendono ad allinearsi nelle direzioni permesse più vicine al campo elettrico, con il risultato che il cristallo è assimilabile a un dipolo elettrico. Se questo cristallo è sottoposto a tensioni (stress) il reticolo sarà distorto e lo stress causerà

l'aumento di alcuni domini a spese di altri. All'interno di un certo campo di stress che dipende dal materiale, questa variazione del momento dei dipoli tramite lo stress è approssimativamente lineare e reversibile. Questa è la base della piezoelettricità nei materiali ferroelettrici.

Le ceramiche piezoelettriche possono essere viste come una massa di cristallini che sono orientati casualmente Fig 2.1(a). Dopo la fusione, il corpo ceramico è isotropo (su scala macroscopica) e non mostra effetti piezoelettrici a causa dell'orientamento casuale e della struttura interna del cristallo. I componenti possono essere resi piezoelettrici in ogni tipo di direzione polare, grazie ad un trattamento di polarizzazione, che comporta l'esposizione della ceramica ad un alto campo elettrico ed a una temperatura non distante dal punto di Curie. Gli elettrodi metallizzati sono solitamente disposti sulle superfici del materiale e una tensione viene applicata tra questi. Come risultato abbiamo il corpo allungato nella stessa direzione. A causa dell'orientamento casuale dei cristalli e del fatto che solo certe direzioni polari sono permesse nel cristallo, non è possibile ottenere un perfetto allineamento dei dipoli con il campo fig 2.1(b). Tuttavia, ci sono diverse direzioni permesse all'interno di ogni cristallo ed è possibile anche con il campo elettrico un ragionevole grado di allineamento. Dopo il raffreddamento del prodotto e la rimozione del campo elettrico, i dipoli non possono tornare facilmente alle loro posizioni originali, noi abbiamo così quello che è conosciuto come polarizzazione residua dei materiali ceramici. Il corpo ceramico è diventato permanentemente piezoelettrico potendo convertire energia meccanica in energia elettrica e viceversa. Il trattamento di polarizzazione è quindi piuttosto indispensabile per questi materiali, ed è solitamente l'operazione finale da effettuare. La fig. 2.2 illustra il fenomeno della piezoelettricità in un cilindro di materiale piezoelettrico. Per chiarezza la dimensione degli effetti è stata esagerata. La fig. 2.2(a) mostra il cilindro in condizione di assenza di carico. Se una forza esterna è applicata produce una sollecitazione di trazione o di compressione nel materiale, la deformazione risultante provoca un cambiamento nel momento dei dipoli elettrici, nasce così una differenza di potenziale tra gli elettrodi. Se lo stress meccanico è tale che il corpo ceramico riassume la sua forma originale prima del processo di polarizzazione, Fig 2.2(b) la tensione misurata avrà lo stesso valore e la stessa polarità della tensione usata nel processo di polarizzazione. Quando lo stress meccanico è invertito, la tensione sugli elettrodi sarà anch'essa invertita Fig 2.2(c). Se una tensione di polarità opposta a quella di inversione è applicata agli elettrodi, il cilindro si accorcerà fig.2.2(d). Se la polarità della tensione applicata è la stessa della tensione d'inversione, il cilindro si allunga fig.2.2(e). Quando viene applicata una tensione alternata, il cilindro si allungherà e accorcerà alternativamente fig.2.2(f).

-Generalità-

I materiali piezoelettrici ceramici possiedono tutte le qualità per costruire trasduttori di suoni ed ultrasuoni in aria, capaci di garantire affidabilità e funzionamento soddisfacente anche in condizioni atmosferiche proibitive. Tali trasduttori possono essere usati sia per generare che ricevere ultrasuoni.

Essi hanno numerose applicazioni, non solo perchè gli ultrasuoni sono oltre il campo di percezione acustica dell'uomo (molto bene accetti nei sistemi d'allarme anti intrusione), ma anche perchè essi operano su corte lunghezze d'onda di non più di pochi millimetri. Questo significa che buoni fasci direzionali di ultrasuoni possono essere formati (generati) con dei trasduttori piuttosto piccoli.

Trasduttori di suono per basse frequenze (all'interno del campo udibile) sono solitamente più piccoli della lunghezza d'onda del suono per il quale essi sono usati, così che essi hanno un campo di propagazione sferico.

Alle alte frequenze la situazione cambia: la lunghezza d'onda diventa più piccola della grandezza del trasduttore; cioè quando il trasduttore ammette onde prevalentemente in una direzione. Allo stesso modo, come la frequenza aumenta, la diffrazione o la curvatura della traiettoria del suono attorno alle ostruzioni diventa sempre più piccola (n =minore), fino a che alla fine il suono è irradiato lungo una linea quasi dritta, molto simile alla luce. Il paragone può andare anche oltre: come il segnale luminoso in installazioni a fasci luminosi, il ricevitore ed il trasduttore di segnale sonoro può essere usato per conteggi, monitoraggi, e sistemi di controllo.

Poiché l'uso di trasduttori all'interno del campo udibile spesso hanno una larga banda passante, i trasduttori risonanti usati in applicazioni ultrasoniche devono avere una banda passante relativamente stretta.

Nelle installazioni ad ultrasuoni che operano con il ricevitore ed il trasmettitore separati, è richiesto un generatore A.C. (con un amplificatore di potenza se necessario) ed un amplificatore microfónico. Il generatore A.C. deve essere capace di produrre la frequenza di trasmissione richiesta, che è ottenuta grazie ad un oscillatore regolabile o ad un opportuno circuito reazionato.

APPLICAZIONI

Importanti applicazioni dei trasduttori ad ultrasuoni sono, per esempio, controllo a distanza di proiettori per diapositive e ricevitori televisivi. Confrontato con sistemi a radio controllo, i sistemi ad ultrasuoni hanno il vantaggio che essi non producono radiazioni elettromagnetiche, e perciò essi non possono mai interferire con installazioni radio-controllate vicine o con altri equipaggiamenti radiosensibili.

I controlli ad ultrasuoni di proiettori per diapositive richiedono quattro canali (frequenze): una per il cambiamento in avanti e una per il cambiamento all'indietro del carrello, e due per mettere a fuoco.

Il ricevitore di una televisione a colori necessita come minimo di 15 canali per il controllo a distanza; aumento del volume, diminuzione del volume, più colore, meno colore, aumentare la luminosità, diminuire la luminosità, fino a otto per la selezione dei canali, e per attivare e disattivare la televisione stessa.

Il campo di funzionamento di tali controlli a distanza è solitamente di 10m, ma in alcuni casi l'efficacia è limitata dai muri circostanti, perciò un generatore di ultrasuoni che opera in uno spazio chiuso è molto improbabile che riceva oltre i muri del locale.

Un'ulteriore richiesta, è che il volume e il consumo di potenza di un trasmettitore ad ultrasuoni pilotato da batteria deve essere tenuta al minimo.

Un'altra interessante applicazione è l'installazione di fasci sonori come sistema d'allarme. Per ottenere le direttive richieste l'installazione di fasci sonori deve operare preferibilmente ad alta frequenza. Il ricevitore di suono (microfono) ed il trasmettitore possono essere montati rivolti l'un l'altro, a lato a lato se è disponibile un'adeguato (opportuno) riflettore di suono. Poiché gli ultrasuoni possono essere guidati attraverso stretti canali arbitrariamente curvati, anche i punti di misura che potrebbero altrimenti rimanere inaccessibili, possono essere raggiunti.

Ogni oggetto che interrompe il fascio sonoro è registrato, ogni corpo trasparente non verrebbe rilevato da una installazione a fasci luminosi.

Le dimensioni degli oggetti registrati possono essere confrontate con la lunghezza d'onda dell'ultrasuono usato.

Un ulteriore vantaggio rispetto alle installazioni a fasci luminosi è che le installazioni a fasci sonori possono dare strutture molto robuste che rendono loro insensibili dallo sporco e dalla polvere. L'affidabilità è molto alta a causa dell'assenza di una lampada ad incandescenza ed, infine, sono assolutamente necessari per sistemi d'allarme in quanto il fascio è invisibile.

Nella sua forma più semplice l'installazione a fasci sonori consiste in un amplificatore e due trasduttori ad ultrasuoni che sono acusticamente accoppiati e formano un solo sistema risonante con l'amplificatore.

Nel momento in cui l'accoppiamento tra i due trasduttori è disturbato, l'intero sistema blocca l'oscillazione.

La tensione alternata raddrizzata può essere usata per accendere una lampada, o attivare un relè o per far commutare un tiristore.

Trasduttori con una larga banda passante permettono una modulazione del fascio di ultrasuoni, ed installazioni di questa natura risultano insensibili alle interferenze prodotte dai rumori. Inoltre il fascio di ultrasuoni modulati possono essere usati per controlli a distanza: test pratici hanno dato soddisfacenti risultati ad una distanza superiore ai dieci metri.

Il fascio ad ultrasuoni può anche modulare la voce permettendo al trasduttore di essere usato, con grossi vantaggi, per sistemi d'interfono, che possono essere eccezionalmente pratici in circostanze rumorose.

Facendo uso dell'effetto Doppler, l'ultrasuono può essere usato per misurare la velocità.

Se il fascio sonoro emesso dal trasmettitore urta un corpo in movimento, il ricevitore registrerà lo spostamento di frequenza che con buona approssimazione è direttamente proporzionale alla velocità.

Se esso è predisposto solo per percepire la presenza di persone od oggetti in movimento (sistemi d'allarme, sistemi di sicurezza) l'equipaggiamento risponde solo alla frequenza di scorrimento senza indicare a quanto ammonta (rilevatori di movimento).

In tali casi il trasmettitore ed il ricevitore solitamente sono collocati nella stessa stanza.

Altre interessanti applicazioni consistono nelle rilevazioni di perdite in recipienti pressurizzati. Nelle fuoriuscite di gas o nelle scariche elettriche si producono ultrasuoni che possono essere convertiti in segnali elettrici attraverso i trasduttori ad ultrasuoni o, alternativamente, possono essere resi udibili dopo una trasformazione di frequenza.

I trasduttori a banda larga sono anche completamente adatti per il funzionamento impulsivo. Le distanze possono essere misurate mediante il metodo dell'eco degli impulsi, per esempio il livello in un silos o in un deposito.

Gli ultrasuoni sono un'eccellente mezzo per la misura del vento con rilevatori a distanza. Se il fascio di ultrasuoni viaggia attraverso il movimento dell'aria, la velocità di propagazione del suono aumenterà in accordo con la direzione della componente del vento. Lo scostamento di fase (alle alte velocità del vento, e lo scostamento di frequenza) tra il trasmettitore ed il ricevitore fornisce la misura della velocità del vento.

Con la misura di tre traiettorie ortogonali, tutte e tre le componenti del vento possono essere determinate. Lo stesso principio può essere adatto per la misurazione di velocità di gas o liquidi.

In diverse applicazioni, la dipendenza dalla frequenza della diffrazione dell'assorbimento deve essere considerata.

Per esempio, se la lunghezza d'onda del suono e la dimensione dell'oggetto localizzato sono quasi le stesse, il suono rifratto nella "zona oscura" può impedire la localizzazione.

In tali casi è vantaggioso lavorare con alte frequenze.

In altre parole, l'assorbimento degli ultrasuoni da parte dell'aria aumentano rapidamente con la frequenza. Per fini pratici viene utilizzata la distanza di dimezzamento della pressione

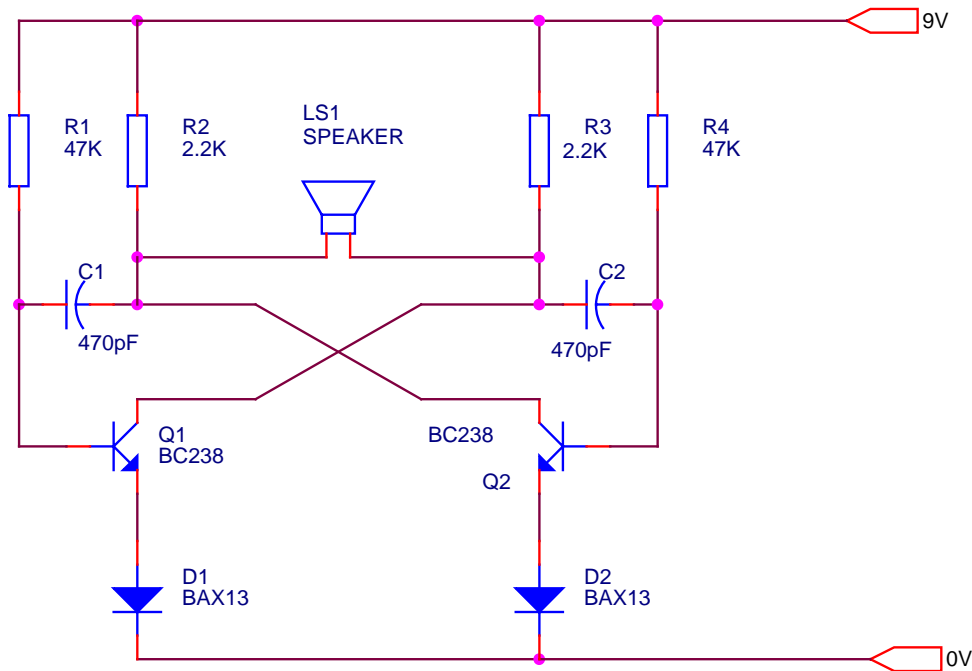
Questa è la distanza alla quale la pressione del suono cade al 50% del valore iniziale. Le distanze di dimezzamento date nella tabella sono molto usate nei progetti pratici.

Queste distanze di dimezzamento dipendono largamente dall'umidità, temperatura e inquinamento dell'aria.

In più a questo accorciamento del campo degli ultrasuoni alle alte frequenze, può essere anche notato che la pressione del suono si riduce e ciò è dovuto alle piccole dimensioni del trasduttore di suono richieste.

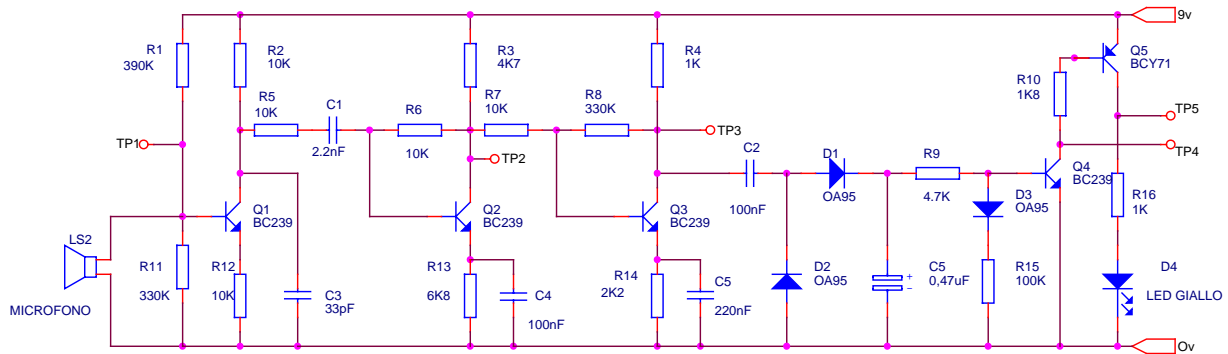
Distanza di	
Frequenza (Khz)	dimezzamento (m)
20	10
50	3
100	2

TRASMETTITORE



Il circuito del trasmettitore è un multivibratore astabile a transistor. Il segnale da trasmettere è prelevato fra i due collettori dei BJT. L'astabile genera un segnale alla frequenza di 40 KHz. Questo segnale non si può dire che è un'onda quadra, ma corrisponde con la carica dei due condensatori.

RICEVITORE



Il ricevitore è un circuito a 3 stadi.

Il primo stadio (Q1) è uno stadio a doppio carico a BJT. Questa particolare configurazione ci permette di limitare l'amplificazione, poichè con un normale stadio ad emettitore comune (basta mettere il condensatore di by-pass in parallelo a R12) veniva amplificata indesideratamente anche la voce umana.

Fra lo stadio di Q1 e quello di Q2 sono stati posti due filtri, un passa basso ed un passa alto, le cui frequenze di taglio sono rispettivamente:

$$f_{TS} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_2 \cdot C_3} = 482 \text{ KHz}$$

$$f_{TI} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_5 \cdot C_1} = 7 \text{ KHz}$$

Questo è stato fatto per limitare la banda di segnali da amplificare.

Il secondo stadio, è un amplificatore ad emettitore comune il cui segnale di uscita va a pilotare un altro amplificatore ad emettitore comune che è il 3° stadio. Il segnale ora giunge al condensatore C2.

Il gruppo C2, D2, D1, C5 è un duplicatore di tensione per basse tensioni (uso di diodi al Germanio). Le capacità sono dimensionate per lavorare a 40 KHz circa. Questo circuito, oltre ad innalzare il livello di tensione, la rende pressochè continua.

D3 e R15 permettono a Q4 un sicuro passaggio all'interdizione quando viene a mancare il segnale sul ricevitore.

Infatti in quel caso C5 si scarica attraverso R9, D3 e R15 portandosi a 0,2/0,3V (tensione di soglia del D3 al Germanio)

ANALISI DEI RISULTATI

Terminato il montaggio dei circuiti, abbiamo proceduto con la messa a punto e verifica del funzionamento. Per far questo ci siamo avvalsi dell' oscilloscopio Hewlett Packard modello 54600A che è stato interfacciato con il personal computer EPSON modello EL2 attraverso il quale abbiamo potuto stampare le forme d'onda sotto riportate.

Le rilevazioni sono state effettuate applicando la sonda dell'oscilloscopio nei punti indicati sul disegno attraverso i module port (TPX) riportati sullo schema funzionale del ricevitore ad ultrasuoni da noi realizzato.

La prima forma d'onda rappresenta il segnale che viene erogato dalla capsula piezoelettrica del circuito trasmettitore. La frequenza di oscillazione di questo circuito è di circa 40KHz.

La seconda forma d'onda è stata rilevata sulla base di Q1 e corrisponde al segnale captato dalla capsula piezoelettrica del ricevitore. Questo segnale ricco di rumore non viene amplificato dal transistor Q1 poiché questo è in configurazione doppio carico.

Si può notare dalla forma d'onda prelevata dal collettore di Q2 come il transistor amplifica questo segnale di quattro volte, segnale di tipo sinusoidale che viene riportata in base a Q3.

Sul collettore di Q3 si presenta un segnale ulteriormente amplificato di dieci volte raggiungendo così un'ampiezza di 2Vpp; si noti che tutti i segnali rilevati fin ora hanno una frequenza di 40KHz.

Da qui in poi, sia su Q4 che su Q5, la tensione assume una forma d'onda di tipo continuo grazie al duplicatore di tensione.

BIBLIOGRAFIA

- PIEZOELECTRIC CERAMICS, APPLICATION BOOK PHILIPS (ELECTRONIC COMPONENTS AND MATERIALS) EDITED By J. van Randerat and R. E. Setterington.
First edition June 1968
Second edition January 1974