



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 28 MARZO 2010

“PRINCIPIOS DE PIEZOELECTRICIDAD”

AUTORÍA FRANCISCO GUTIÉRREZ MELERO
TEMÁTICA TECNOLOGÍA. PROPIEDADES DE MATERIALES
ETAPA ESO

Resumen

Según la L.O.E. (2/2006) y la L.E.A. (17/2007) establecen entre sus fines, la adquisición de hábitos intelectuales y técnicas de trabajo, conocimientos científicos, técnicos... para desarrollar dicho fin, el artículo que desarrollo va dirigido a los alumnos de la ESO y Bachillerato. En él, vamos a estudiar los siguientes principios de piezoelectricidad: propiedades que presentan algunos materiales, la piezoelectricidad mediante la cual se puede dar una transformación de energía eléctrica en mecánica; como pueden agruparse estos materiales para conseguir aprovechar esta propiedad y aplicarla en el mundo cotidiano e industria; encontrar un símil eléctrico de forma que podamos entender y asimilar mejor el proceso.

Con dichos contenidos lo que se pretende es que los alumnos adquieran y desarrollen la competencia en el conocimiento y la interacción con el mundo físico y natural, con la importancia que tienen dichos materiales en su entorno, por ejemplo en los micrófonos, altavoces, televisión, teléfonos, filtros...

Palabras clave

Piezoelectricidad

Ultrasonido

Dipolo

Red Cristalina

Vibración

Onda



ISSN 1988-6047

DEP. LEGAL: GR 2922/2007

Nº 28 MARZO 2010

Después de todo, nuestros corazones laten, nuestros pulmones oscilan, tiritamos cuando tenemos frío, a veces roncamos, podemos oír hablar gracias a que vibran nuestros tímpanos y laringe. Las ondas luminosas que nos permiten ver son ocasionadas por vibraciones. Nos movemos porque hacemos oscilar las piernas. Ni siquiera podemos decir correctamente "vibración" sin que oscile nuestra lengua . . . incluso los átomos que componen nuestro cuerpo vibran.

R.E.N. Bishop

VIBRATION

Cambridge University Press. New York, 1065

1.-INTRODUCCIÓN

Piezolectricidad es el término general que describe la propiedad que exhiben algunos cristales (redes cristalinas) para llegar a polarizarse eléctricamente cuando se les aplica una tensión, bien compresiva, bien extensiva. El cuarzo es un buen ejemplo de material piezoeléctrico. Si el esfuerzo de compresión se aplica al cristal, éste desarrolla un momento eléctrico proporcional a la fuerza aplicada (Efecto piezoeléctrico directo). Opuestamente, si el cristal se introduce en un campo eléctrico, la forma del cristal cambia levemente (Efecto piezoeléctrico opuesto), como consecuencia termodinámica del esfuerzo directo.

La piezolectricidad se da también en las redes cristalinas metálicas, por ejemplo en la Turmalina¹ y las sales de Rochelle². Éstos ya tienen una polarización espontánea de por sí, y el efecto piezoeléctrico nos muestra cambios en esta polarización.

Además de los materiales expuestos antes, existen un importante grupo de materiales piezoeléctricos, las llamadas cerámicas piezoeléctricas, por ejemplo el PXE (policristal de la forma $A B O_3$; donde A es un metal divalente pesado como el Pb; B es un metal tetravalente ligero como el Zr o el Ti; y oxígeno), con estructura tetragonal o romboédrica.

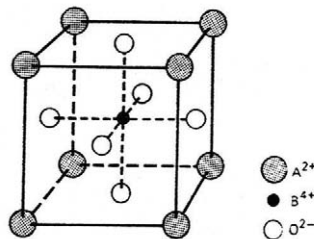


Figura 1

El PXE puede ser amoldado en forma y tamaño, y además posee las propiedades de dureza, mecánicamente inerte y no le afectan los cambios climáticos.

2.-EFECTOS PIEZOELÉCTRICOS EN MATERIALES CERÁMICOS.

En un cristal metálico, cada celdilla de la red cristalina espontáneamente está polarizada a lo largo de las distintas direcciones permitidas. Esta polarización desaparece a la temperatura crítica (Punto de Curie), por encima de la cual el cristal llega a ser paraeléctrico.

¹ *TURMALINA: Silicato complejo de boro y aluminio, con magnesio, hierro u otros materiales alcalinos y flúor en pequeñas cantidades, cristalizando en un sistema trigonal.*

² *SALES DE ROCHELLE: Tartrato doble de sodio y potasio $K NaC_4H_4O_6 + 4H_2O$*

Si un cristal se solidifica alrededor de la temperatura de Curie en presencia de un campo eléctrico externo, los dipolos tienden a alinearse en la dirección paralela al campo externo. Si este cristal es comprimido la red cristalina tiende a distorsionarse, introduciendo cambios en el momento dipolar del cristal (efecto piezoeléctrico). El rango de tensión aplicado será específico al material y el cambio en el momento dipolar es lineal y reversible.

Un mismo PXE cerámico puede considerarse como una masa de diminutos cristales orientados aleatoriamente. Después de ser calentado el material se vuelve isotrópico y no exhibirá efecto piezoeléctrico con una orientación aleatoria. Pero la cerámica puede hacerse piezoeléctrica en una determinada dirección con un tratamiento de polarización exponiéndola a un fuerte campo eléctrico. Cuando quitamos el campo eléctrico los dipolos permanecen alineados y localizados, dando al material una polarización remanente, una deformación permanente y una piezoelectricidad permanente. El tratamiento final de polarización se hace en el momento final de la comercialización del PXE.

El PXE tiene dos electrodos metálicos situados en las caras opuestas de su eje de polarización, al aplicarle una tensión a través de ellos al PXE, el cuerpo se deforma en la dirección del eje de polarización. La orientación al azar de los cristales y el hecho de que sólo se permita la polarización en una dirección hace que no sea posible la alineación dipolar con el campo. Sin embargo existe un grado razonable de orientación en varias direcciones permitidas en el cristal.

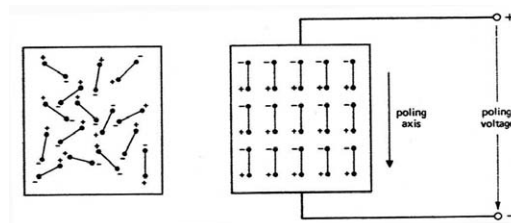


Figura 2

En la figura vemos un cilindro de cerámica PXE en las condiciones de reposo. Si aplicamos una fuerza extensora o una compresiva, el resultado será una variación en el momento dipolar, provocado que aparezca una tensión entre los electrodos. Si el cilindro se comprime la tensión tendrá la misma polaridad que la fuente. Si el cilindro se estira la tensión sobre los electrodos tendrá polaridad opuesta a la corriente (sentido real de los electrones). Estos son ejemplos de la acción generadora, donde transformamos una energía mecánica en energía eléctrica. Sería el ejemplo de los micrófonos, mecheros, . . .

Si una tensión de polaridad inversa se aplica a los electrodos, el cilindro se acortará. Si la tensión aplicada es de la misma polaridad el cilindro se acortará. Finalmente si aplicamos una tensión alterna el cilindro se encogerá y se alargará con la misma frecuencia que la de la tensión aplicada. Este es el principio de generador, donde transformamos la energía eléctrica en mecánica.

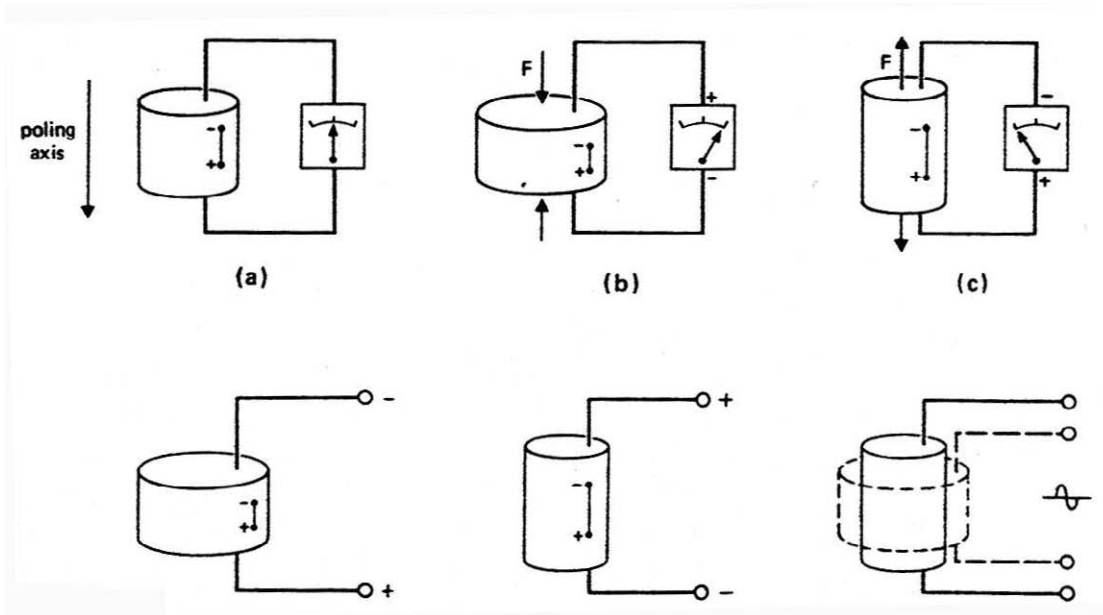


Figura 3

La figura muestra como un generador libre de tensión de 20mm, de cerámica PXE varía al aplicarle un esfuerzo de compresión. La gráfica muestra como la tensión es directamente proporcional hasta 50000Kpa cuya tensión generada será de 25 Kv.

La máxima elongación piezoeléctrica inducida (A/I), en un PXE estará en torno a $1,5 \times 10^{-4}$ (para un campo de 450v/mm). En un cilindro de 20mm se podrá conseguir una deformación de $3,3 \mu\text{m}$.

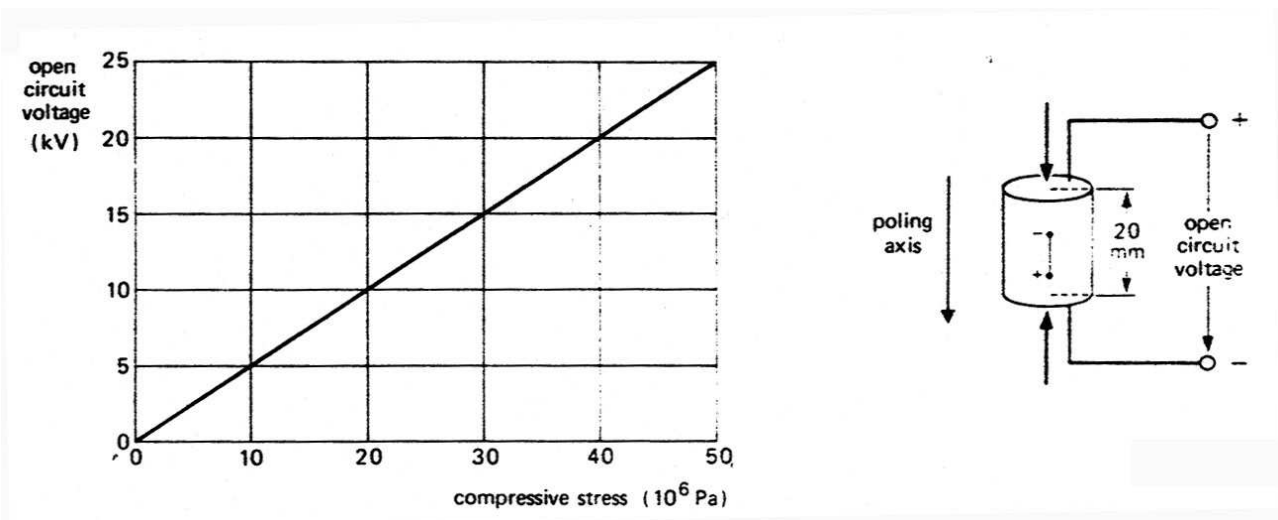


Figura 4

El comportamiento dinámico del cilindro será diferente, a la frecuencia de resonancia mecánica, la amplitud inducida por el campo eléctrico alterno es mayor que el desplazamiento en condiciones estáticas.



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 N° 28 MARZO 2010

Para no tener problemas de depolarización hemos de tener en cuenta:

La temperatura del material debe estar por debajo de la temperatura de Curie.

La cerámica no debe estar expuesta a campos alternos eléctricos fuertes opuestos al eje de polarización.

Los esfuerzos extensivos y compresivos no deben exceder los límites permitidos.

3.-ECUACIONES DE PIEZOELECTRICIDAD.

3.1 Efecto piezoeléctrico directo.

El dipolo eléctrico medio (P) desarrollado por una tensión extensiva (T) paralela a su eje de polarización será:

$$P = dT$$

Donde d = constante de voltaje piezoeléctrica

En función del campo eléctrico (E) y el desplazamiento eléctrico

$$P = D - \epsilon^T E$$

Donde ϵ =permitividad

Relacionando ambas expresiones obtenemos:

$$D = dT + \epsilon^T E$$

$$E = -gT + \frac{D}{\epsilon^T}$$

Con g = constante de carga piezoeléctrica

3.2 Efecto piezoeléctrico inverso.

Ante la ausencia de tensiones mecánicas, el alargamiento medio experimentado por la cerámica piezoeléctrica, cuando está sujeto a un campo eléctrico externo viene dado por:

$$S = dE$$

Donde d = constante piezoeléctrica a tensión cte.

$$S = gD$$

$g = \frac{d}{\epsilon^T}$ constante de carga piezoeléctrica

El alargamiento experimentado en un medio elástico sujeto a una tensión, sigue la ley de Hooke



ISSN 1988-6047

DEP. LEGAL: GR 2922/2007

Nº 28 MARZO 2010

$$S = sT$$

T fuerza

Y s es la complancia del medio

Generalmente sin embargo, la respuesta de una tensión piezoeléctrica media será una compleja interacción entre las dos expresiones.

Una buena aproximación será:

$$S = s^E T + dE$$

Donde s^E y s^D son específicas para un campo eléctrico constante

$$S = s^D T + gD$$

3.3 Factor de acoplamiento

En la expresión anterior s^E y s^D se relacionan de la siguiente forma:

$$s^D = (1 - K^2) s^E$$

$$\text{Con } K^2 = \frac{d^2}{s^E \epsilon^T}$$

De esta forma K es una cantidad cuantificable, pero a frecuencias por debajo de la frecuencia de resonancia de un material cerámico K es una magnitud física:

$$K^2 = \frac{\text{energía convertida}}{\text{energía utilizada}}$$

Un estudio de la fórmula mostrada para ambas conversiones eléctrica en mecánica y mecánica en eléctrica nos revela que el 50% de la energía aportada puede ser transformada a bajas frecuencias, porque el factor de acoplamiento suele ser bajo. Sin embargo un alto K^2 deseable para una eficiente transducción no debe ser considerado como eficiencia.

4.- EQUIVALENTE ELÉCTRICO.

Un material piezoeléctrico trabajando cerca de la resonancia mecánica puede caracterizarse por el siguiente circuito.

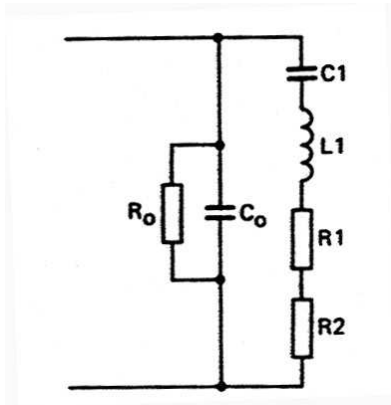


Figura 5

C_0 =Capacidad del transductor.

R_0 =perdidas dieléctricas

R_1 =Pérdidas mecánicas

R_2 =Pérdidas en ruidos

C_1 y L_1 = Rigidez y masa del material

La admitancia eléctrica de la de la vibración sería como se representa en la siguiente curva de resonancia:

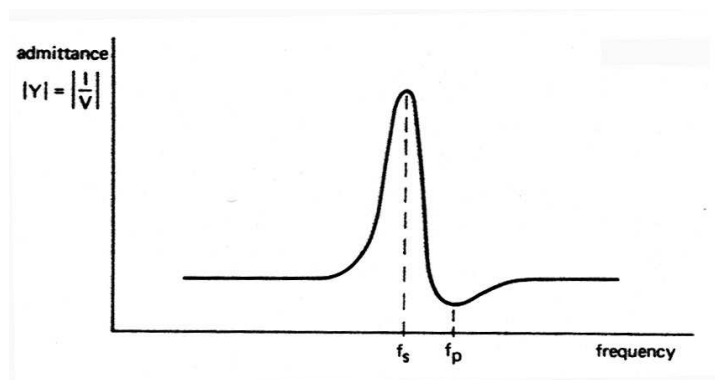


Figura 6

El valor f_s es donde la admitancia es máxima, representa la frecuencia de resonancia serie. El mínimo valor de admitancia, representa la frecuencia de resonancia paralelo, f_p .

5.- SONIDOS Y ULTRASONIDOS

El sonido normal que percibimos (voz, ruido, música, etc.), es generado por una de las siguientes fuentes:

- De forma mecánica, mediante la excitación de una columna de aire.
- Por mediación de un generador mecánico, accionado por un motor.
- De forma eléctrica, mediante la conversión de oscilaciones eléctricas en mecánicas, utilizando un altavoz.

En el caso del altavoz, éste convierte la energía eléctrica modulada aplicada en sus bornes, energía mecánica, la cual a su vez es transformada en energía acústica al poner las moléculas del aire en movimiento o vibración, y de esta forma, el sonido es percibido por el oído humano.



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 N° 28 MARZO 2010

El altavoz, es el transductor más conocido, entendiéndose por transductor, un dispositivo que transforma un tipo de energía en otra.

Este sonido está comprendido en la gama entre 20 y 20.000 ciclos, también denominados Hertz, siendo un Hz. igual a una oscilación por segundo y varios Hz. una cantidad de oscilaciones producidas en el mismo periodo de tiempo (frecuencia).

Como ultrasonido, se entiende el sonido no audible por el hombre, y está comprendido en la gama de 20 a 500 KHz.

El concepto fundamental de los ultrasonidos, está basado en la producción de ondas ultrasónicas y el aprovechamiento de la vibración mecánica de estas ondas.

Al igual que el sonido normal, el ultrasonido se puede generar de tres formas diferentes:

- De forma mecánica.
- Por mediación de un generador mecánico.
- De forma eléctrica, mediante la conversión de oscilaciones eléctricas en oscilaciones mecánicas, mediante un transformador de onda o convertidor, llamado transductor, y utilizando en nuestro caso el denominado piezoeléctrico.



Figura 7

6.- ACTUADORES DE POTENCIA

Los generadores de potencia de ultrasonidos, hasta 1000N,m se forman como podemos ver en la figura a modo de sandwich colocando discos de material piezoeléctrico y electrodos de conductor dentro de un cilindro de acero. La tensión entre los electrodos hace que el material se expanda, provocando que todo el conjunto se extienda y contraiga.

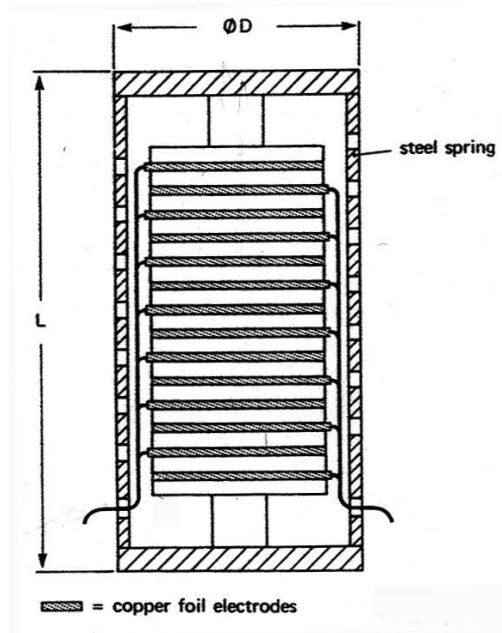


Figura 8

catalogue number	4322 020 19050	4322 020 19060	4322 020 19070	
Dimensions D x L	16 x 50	22 x 75	32 x 100	mm
Stroke 0 to 500 V	~ 20	~ 30	~ 50	µm
Stroke 0 to 800 V	~ 35	~ 50	~ 80	µm
Capacitance at 25 °C	~ 100	~ 250	~ 800	nF
Stiffness	~ 30	~ 50	~ 80	N/µm
Max. applied force	2000	3000	5000	N

Tabla 1

Los anillos piezoeléctricos los vemos a continuación.

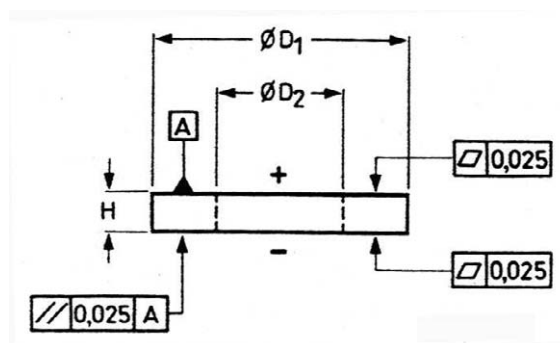


Figura 9

D ₁ mm	D ₂ mm	H mm	nom. capacitance pF
20 ± 0,5	6 ± 0,3	5 ± 0,1	500
25 ± 0,6	10 ± 0,3	5 ± 0,1	725
38,1 ± 0,6	12,7 ± 0,35	6,35 ± 0,1	1400
50 ± 1	20 ± 0,5	5 ± 0,1	2900
50 ± 1	20 ± 0,5	6 ± 0,1	2400

Tabla 2

BIBLIOGRAFÍA

- P. L. CHULÓSHNIKOV. *Soldadura de Contacto*. Mir. 1978
- ROLT HAMMOND. *Soldadura automática*. E.D. URMO, 1981
- BENSON CARLIN. *Ultrasónica*. E.D. URMO, 1979
- P HEMARDINQUER. *Técnicas ultrasónicas. Generadores de Ultrasonidos: Aplicaciones Prácticas, técnicas e industriales*. E.D. Hispano Europea, 1969.
- P. FRENCH. *Vibraciones y Ondas*. E. D. Reverté.
- ROBERT F. STEIDEL, JR. *Introducción al estudio de las vibraciones mecánicas*. E.D. CECSA, 1981

Autoría

- Nombre y Apellidos: FRANCISCO GUTIÉRREZ MELERO
- Centro, localidad, provincia: Jaén
- E-mail: francisco.gutierrez.melero@gmail.com