

IV.

C. BATHMAN, A.A. 10-7.

354924



P A T E N T E D E I N V E N C I Ó N

a favor de

WESTERN ELECTRIC COMPANY, INCORPORATED - de nacionali-  
dad norteamericana - con domicilio en 195 Broadway,  
NEW YORK (EE. UU.),

por :

"Dispositivo resonador de cristal".

-----:oOo:-----

M e m o r i a d e s c r i p t i v a

Se ha descubierto que las placas de corte x de tan-  
talato de litio muestran coeficientes de temperatura-fre-  
cuencia que son sustancialmente cero, o a lo sumo 25 ppm/



5 20 dentro de un sector de temperaturas de 60 2C. Tales valores se obtienen cuando la vibración se aproxima a la frecuencia de resonancia, en el modo de corte en espesor con electrodos integrales. El tantalato de litio es singular porque la respuesta a la temperatura de la frecuencia de vibración de esas placas produce una curva con un solo punto de inversión, que es un mínimo. Los coeficientes bajos de temperatura-frecuencia hacen práctico el empleo de los elevados coeficientes de acoplamiento electromecánico que parece ofrecer el tantalato de litio en instrumentos tales como filtros de cristal y transductores, por ejemplo.

15 Este invento se refiere a porciones cristalinas de tantalato de litio ( $\text{LiTaO}_3$ ) con coeficientes de temperatura-frecuencia prácticamente cero o muy bajos, y a dispositivos que las utilizan.

20 El cuarzo es un material cristalino piezoeléctrico que ha encontrado una gran difusión en todo el campo de la electrónica. En particular, el cuarzo se usa mucho en filtros eléctricos de cristal y en circuitos de estabilización de osciladores. La gran amplitud de empleo del cuarzo para estos fines está demostrada por el enorme trabajo de investigación dedicado al estudio de las diversas orientaciones del cristal de cuarzo ligadas a sus propiedades óptimas. Existen datos muy abundantes sobre la dependencia de la orientación de las diversas propiedades del cuarzo, por ejemplo, de su coeficiente de acoplamiento electromecánico, del de temperatura-frecuencia, del de acoplamiento a modos secundarios de movimiento, etc.



Se conocen bien las orientaciones del cristal que producen placas con coeficientes bajos de temperatura-frecuencia, o de acoplamiento secundario, y qué orientaciones dan valores aceptables de varias características del cristal. Tales datos son absolutamente esenciales para la utilización práctica del cuarzo, y la especialidad está colmada de obras y artículos de todas clases dedicados a la relación de esos datos con el diseño de dispositivos electrónicos comerciales que emplean ese material.

Es evidente que debe realizarse una labor análoga de investigación sobre materiales capaces de hacer más extenso el empleo de los piezoeléctricos, o de reemplazar al cuarzo en todas o en algunas de sus presentes aplicaciones. Uno de tales materiales es el  $\text{LiTaO}_3$  cristalino, cuyas propiedades piezoeléctricas son objeto de considerable investigación. Gran parte del interés despertado por el  $\text{LiTaO}_3$  tiene su origen en su coeficiente notoriamente alto de acoplamiento electromecánico (0,50), cinco veces mayor que el más alto conocido del cuarzo (0,10), que sugiere la posible aplicación ventajosa del  $\text{LiTaO}_3$  en ciertos filtros eléctricos de banda ancha, así como en transductores de mando piezoeléctrico. Por consiguiente, se trabaja mucho para descubrir orientaciones de  $\text{LiTaO}_3$  que produzcan porciones cristalinas con propiedades superiores a todas las esenciales aplicables del cuarzo, como las ya citadas dependientes de la orientación.

Un obstáculo grande para la utilización práctica del  $\text{LiTaO}_3$  es común a otros materiales piezoeléctricos, y consiste en la ausencia de una placa conocida con relación



de frecuencia-temperatura superior a las de diversas placas de cuarzo ya conocidas. Esto significa que, si el  $\text{LiTaO}_3$  ha de ser útil en filtros y en otras determinadas aplicaciones, es necesario descubrir placas dotadas de coeficientes de temperatura-frecuencia bajos y, preferiblemente, iguales a cero. La investigación que ha conducido al presente invento constituye una solución de este problema.

El presente invento se basa en el descubrimiento de que ciertas placas cristalinas de  $\text{LiTaO}_3$ , denominadas placas de corte x por un convenio que se explica más adelante, pueden ser dotadas de coeficientes de temperatura-frecuencia, para el modo de vibración de corte en espesor, tan bajos que lleguen sustancialmente a cero en algunos casos. Sin embargo, para que tales placas de corte x den coeficientes tan bajos, han de satisfacerse dos requisitos; en primer lugar, la placa debe funcionar en las proximidades de su frecuencia de resonancia fundamental para el modo, y en segundo lugar, los electrodos empleados tienen que ser integrales. La expresión "las proximidades de la frecuencia de resonancia fundamental" comprende las frecuencias que difieren de la frecuencia de resonancia máxima en  $\pm 10\%$ . En un método preferible de operación, la placa es llevada esencialmente a su frecuencia de resonancia fundamental.

Las placas de corte x del invento, con electrodos integrales, y que oscilan cerca de la frecuencia de resonancia fundamental, tienen coeficientes de temperatura-frecuencia sustancialmente nulos, a lo sumo, de 25 ppm/°C dentro de un sector de temperaturas de 60 °C. Este sector de



temperaturas puede cubrir muy bien la temperatura ambiente, lo cual hace los cortes del invento sumamente prácticos.

Debe insistirse en que es necesaria una configuración integral de los electrodos para que las placas de corte x del invento tengan los coeficientes de temperatura-frecuencia descritos. Los electrodos no integrales, como los de espacio, inhiben los valores bajos buscados de los coeficientes relacionados con el invento.

La descripción detallada del invento se facilitará con referencia a los dibujos, en los cuales :

La figura 1 es una representación esquemática de los ejes utilizados para definir la orientación de las placas del invento;

La figura 2 corresponde a una gráfica de la respuesta a la temperatura, en  $^{\circ}\text{C}$ , de la frecuencia fundamental del modo de corte en espesor (ppm) de una placa de corte x de  $\text{LiTaO}_3$  conforme al invento;

La figura 3, es una perspectiva de un resonador piezoeléctrico que utiliza las placas de  $\text{LiTaO}_3$  de este invento;

La figura 4, se refiere a una gráfica de la respuesta a la frecuencia de la reactancia de un resonador piezoeléctrico;

La figura 5, es un diagrama esquemático de un ejemplo de filtro eléctrico que emplea resonadores de cristal en configuración de rejilla; y

La figura 6, corresponde a una gráfica de la respuesta a la frecuencia de la línea y las reactancia de rejilla del filtro de la figura 5.



Los símbolos en las figuras indican :

FIGURA 2.

LiTaO<sub>3</sub> X-CP 6.8 MC. = Placa de LiTaO<sub>3</sub> de corte X 6.8 MC.

$$\frac{\Delta f_R}{f_R} \text{ (PPM)} = \frac{\Delta f_R}{f_R} \text{ (Partes por millón)}$$

TIDC = Temperatura en grados centígrados.

FIGURAS 3 y 5.

X-CP LiTaO<sub>3</sub> = Placa de LiTaO<sub>3</sub> de corte X

FIGURAS 4 y 6.

R = Rectancia.

F = Frecuencia.

FIGURA 5.

IT = Terminales de entrada.

OT = Terminales de salida.

El LiTaO<sub>3</sub> pertenece al sistema trigonal (3m). Por costumbre, este sistema se refiere a los ejes del sistema hexagonal para caracterizarlo en términos de los ángulos rectos familiares del sistema X, Y y Z. La referencia al sistema hexagonal se efectúa de acuerdo con la construcción esquematizada en la figura 1.

La línea OZ forma ángulos iguales con tres ejes cristalográficos iguales a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>, a<sub>3</sub>, situados en los planos del espejo. La extensión de estos ejes a un plano perpendicular a la línea OZ determina un triángulo equilátero P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>. El hexágono QRSTUV se inscribe luego en el triángulo P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>. Por definición, la línea OZ



se denomina eje Z, y la línea OR (OV, OT), que está en el plano  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ , y por ello es perpendicular a Z, se denomina eje X. En un sistema ortogonal, por consiguiente, el eje Y es necesariamente una línea perpendicular a la línea  $P_2P_3$  ( $P_1P_2$  ó  $P_1P_3$ ).

Las placas de  $LiTaO_3$  propias de este invento son las tres de corte x que corresponden a los tres posibles ejes X siguiendo OR, OV y OT. De acuerdo con la terminología usual, una placa de corte x es un corte situado en el plano YZ. Estas tres orientaciones de corte x dan los coeficientes de temperatura cero o bajos necesarios para la utilización práctica de  $LiTaO_3$  en sistemas resonadores de cristal. Debe entenderse que la referencia a una placa de corte x incluye porciones de cristal con dos caras mayores con orientaciones dentro de  $\pm 5^\circ$  de un corte x exacto, pues de tales orientaciones se obtienen aún coeficientes de valores ventajosos.

La figura 2 muestra cómo la temperatura depende de la frecuencia para el modo de vibración fundamental de corte en espesor de una placa de  $LiTaO_3$  cortada en x, que oscila a una frecuencia de resonancia de 6,8 mc, con electrodos integrales fijados a sus caras mayores. La forma de la curva presentada es común a las producidas por todas las placas de corte x de  $LiTaO_3$ , siempre que la oscilación se acerque a la frecuencia de resonancia particular del espesor respectivo de placa utilizado.

Con la configuración particular de electrodo empleada, la porción mínima de la curva se situó aproximadamente entre 0 y 20 °C; por encima de esta zona, el cambio de



frecuencia es esencialmente cero. Hasta 110 °C, el cambio no es mayor de 25 ppm/°C, que equivale aproximadamente a la tolerancia de diseño técnico para la desviación de frecuencia de filtro de paso de banda. Se comprenderá que no es usual una sola inversión en un mínimo, pues casi todas las placas útiles de cuarzo muestran inversiones de temperatura en puntos máximos. Las placas de corte x de  $\text{LiTaO}_3$ , aunque investigadas desde 5 a 500°K, no muestran ningún otro punto de inversión de temperatura.

Este resonador piezoeléctrico expuesto en la figura 3 es del tipo que produce los datos de temperatura-frecuencia indicados en la figura 2. El resonador consiste en una placa -10- de  $\text{LiTaO}_3$  de corte x con electrodos integrales -11- y -12-, asociados respectivamente a conductores -13- y -14-. Según puede apreciarse, el resonador está exento de toda carga mecánica externa.

Quando el resonador se hace vibrar, ya sea por una fuente de señales eléctricas, o por otro medio, que puede ser mecánico, el esfuerzo físico provocado en la placa -10- reacciona reforzando una frecuencia particular de oscilación, la frecuencia de resonancia  $f_R$ . Este valor depende del espesor de la placa -10-, pero el producto del espesor x  $f_R$  es en sustancia una constante. Esta constante es 1906 metro-hertzios (m-h) para las placas de  $\text{LiTaO}_3$  de corte x.

Análogamente, el producto del espesor x  $f_A$  es en sustancia una constante, 2093 m-h, en la que  $f_A$  es la frecuencia de antirresonancia.

Las placas de  $\text{LiTaO}_3$  de corte x del invento se pueden hacer funcionar a frecuencias de resonancia de 0,5 a



50 megahertzios, según el espesor de placa elegido. Este margen es comparable al de muchas placas de cuarzo.

Los datos expuestos en la figura 2 se obtuvieron con un resonador que tenía una placa de corte x de 12 mm de diámetro y aprox. 0,28 mm de espesor, con electrodos integrales de 2,5 mm de diámetro. Aunque el resonador se hizo funcionar a 6,8 megaciclos, la forma de la curva se mantiene para placas de corte x en toda la escala de 0,5 a 50 megahertzios.

La temperatura en que se sitúa la porción mínima de la curva depende del tamaño del electrodo. Por ejemplo, con un electrodo de 4 mm de diámetro, la placa de corte x de la figura 2 produce una porción mínima alrededor de -28 °C, un descenso de 13 °C por debajo de la temperatura de -15 °C que se obtiene con un electrodo de 2,5 mm. Sin embargo, esta desviación en la porción mínima no afecta a los valores bajos deseados del coeficiente de temperatura-frecuencia del resonador, aún desde un punto de vista práctico. La placa del invento sigue mostrando un coeficiente bien situado dentro del límite práctico de 25 ppm/°C para uno u otro caso.

Naturalmente, cualquiera que sea la situación del mínimo, las ventajas del coeficiente bajo de temperatura-frecuencia se pueden obtener empleando medios corrientes de control para mantener la temperatura en el punto mínimo o cerca del mismo. Ello puede requerir refrigeración o calentamiento, por ejemplo, enfriamiento termoeléctrico o calentamiento resistivo, respectivamente.

Los electrodos integrales necesarios se pueden co-



5       locar en la placa por cualquiera de las varias técnicas co-  
nóidas, por ejemplo, mediante vaporización en vacío o su-  
blimación. Los electrodos pueden ser de composición co-  
rriente, por ejemplo, de oro; además, se pueden depositar  
sobre toda la cara del cristal, o sólo sobre una porción  
de la misma.

10       Las modificaciones ligeras de la composición del  
LiTaO<sub>3</sub>, debidas a inclusiones accidentales o deliberadas,  
no alteran los resultados del invento. En consecuencia, se  
considera ajustado al mismo un LiTaO<sub>3</sub> con no menos de 99 %  
de pureza. Tal como se emplea aquí, la fórmula LiTaO<sub>3</sub> tie-  
ne una composición nominal exenta de impurezas, con 50 mol %  
de Li y 50 mol % de TaO<sub>3</sub>, pero se admiten dentro del inven-  
to variaciones de estequiometría de ±10 mol % para uno u  
15       otro componen te.

20       El dispositivo de la figura 3 se puede emplear con  
ventaja en cualquier sistema o aparato que requiera un re-  
sonador de cristal con un coeficiente bajo de temperatura-  
frecuencia y que pueda mostrar ventajas de funcionamiento  
o de características al aumentar su coeficiente de acopla-  
miento. Esto abarca naturalmente una amplia variedad de  
dispositivos, y en particular filtros de paso de banda ancha.

25       Es bien sabido que la anchura de banda admisible de  
un cristal está relacionada con el cuadrado del coeficiente  
de acoplamiento electromecánico, y que sube éste al aumen-  
tar la anchura de banda. Esto impone grandes restricciones  
en la anchura de paso de banda de placas de cuarzo, ya que  
el coeficiente mayor es 0.10. Verdaderamente ha sido reco-  
nocido que justamente con combinaciones de placas de cuarzo



y condensadores en estructuras reticulares, la anchura de banda es a lo sumo de 0,8 % de la frecuencia pasada de banda media. Por tanto, no se puede emplear cuarzo solo más que como filtro de banda estrecha, y en lo esencial, únicamente como filtro único de frecuencia.

Sin embargo, en el campo de las comunicaciones, se necesitan filtros de banda ancha para canales de separación de frecuencia de voz. A pesar de las limitaciones, el cuarzo fué el material elegido, en virtud de su coeficiente de temperatura-frecuencia singularmente bajo; pero, para emplear cuarzo en filtros de banda ancha, es necesario recurrir a bobinas de inductancia y a condensadores. Con estos elementos adicionales de circuito, la banda se puede ensanchar hasta un valor máximo de 13 % de la frecuencia pasada de banda media. Por desgracia, se introducen pérdidas por disipación, a causa del empleo de tales elementos.

Con el descubrimiento de placas de  $\text{LiTaO}_3$  con bajo coeficiente de temperatura, la anchura de banda de filtros de cristal sin bobinas de inductancia puede aumentarse por vez primera hasta un máximo teórico de 22 % de la frecuencia pasada de banda media, manteniendo sustancialmente coeficientes de temperatura cero. Esto significa un aumento de casi treinta veces el 0,8 % máximo para sistemas de cuarzo sin bobina. Además, la anchura de banda se puede aumentar todavía algo empleando placas de  $\text{LiTaO}_3$  de corte x en unión de bobinas de inductancia, en analogía con el aumento de la anchura de banda de filtros de cuarzo. En términos de realidad práctica y comercial, el presente invento



es muy significativo.

Es bien sabido que la impedancia de un resonador del tipo expuesto en la figura 3 tiene la característica de respuesta a frecuencia de la figura 4, donde  $f_R$  y  $f_A$  son las frecuencias de resonancia y de antirresonancia, respectivamente. Con elementos de cristal solos es posible construir filtros de paso de banda ilustrados por la sencilla configuración reticular de la figura 5.

El filtro de la figura 5 consiste en una configuración reticular de dos cristales  $X_1$  similares de rama de línea, y otros dos  $X_2$  similares de ram reticular, entre terminales de entrada y de salida. Para conseguir una sola banda continua, las características de frecuencia de las impedancias de las ramas de línea y reticulares deben estar bien proporcionadas entre sí. Esto se logra del modo ilustrado en la figura 6, donde la curva de trazo continuo representa la impedancia de los cristales de línea, y la curva de trazos, la impedancia de los reticulares. Es bien sabido que, para una configuración reticular simétrica, habrá una banda en donde las impedancias de línea reticulares sean de signo contrario. Esto ocurre entre  $f_1$  y  $f_2$ , que por ello representan la anchura de banda.

Como antes se ha indicado, la limitación de la anchura de banda del filtro de cristal se puede atenuar empleando bobinas de inductancia en combinación con los elementos de cristal. La configuración de cristal de la figura 5 y la descripción anexa deben tomarse, entiéndase bien, sólo como ilustrativas del método según el cual pueden usarse las placas de  $\text{LiF} \cdot \text{AlO}_3$  cortadas en x del invento en circui-



tos de filtros de cristal. No hay ningún diseño general de filtros de cristal que sea común, ni siquiera aproximadamente, a todas las aplicaciones de filtros de cristal, y en la especialidad se han desarrollado varios diseños para aplicaciones múltiples (véase por ejemplo la patente EUA. 2.045.991). Por eso no se intenta aquí seguir describiendo circuitos particulares de filtro de cristal, con o sin bobinas de inductancia, que puedan utilizar las placas de  $\text{LiTaO}_3$  de corte x del invento como elemento activo de cristal. Como muestran las citadas figuras, ofrecen amplio campo de utilización para esas placas los filtros de cristal de banda ancha, y los entendidos en la materia pueden incorporarlos fácilmente a la extensa clase de filtros capaces de aprovechar el aumento de anchura de banda. Lo importante es que ahora, con este invento, la especialidad cuenta con un corte de cristal de  $\text{LiTaO}_3$  con coeficientes de frecuencia bajos e incluso iguales a cero, lo cual hace práctico el uso de  $\text{LiTaO}_3$ .

Aunque no se exponen en la figura 5, pueden emplearse medios de control de temperatura para mantener la de los cristales representados al punto mínimo o cerca del mismo, asegurando así el funcionamiento con coeficientes de temperatura-frecuencia próximos a cero.

Aunque se ha hecho referencia a filtros de cristal de paso de banda, debe entenderse que las placas de cristal conforme al invento pueden incorporarse también a filtros de paso bajo, de paso alto y de eliminación de banda, de acuerdo con la técnica usual.

También debe entenderse que las placas del invento



se pueden utilizar con elementos de cristal ya conocidos, como cuarzo, si de este modo se satisface con ventaja una determinada necesidad.

5 Aunque el resonador de la figura 3 se ha representado cilíndrico, el invento es aplicable en general sin tener en cuenta la forma dada a las placas de corte x del invento, siempre que las dos caras mayores estén dentro de  $\pm 5\%$  de la orientación de ese corte. Análogamente, las dimensiones precisas de las caras mayores en que se  
10 coloquen los electrodos pueden elegirse de acuerdo con normas técnicas o requisitos independientes, y no afectan a la finalidad del invento. Sin embargo, como queda expuesto, los electrodos se disponen a través de las caras mayores con orientación de corte x.

15

N O T A  
=====

Se reivindica como objeto de esta patente :

1. - Dispositivo resonador de cristal que comprende  
20 de una porción cristalina de tantalato de litio con medios para hacerla vibrar, caracterizado porque esa porción tiene sus caras mayores orientadas sustancialmente según el corte x, con variaciones máximas de  $\pm 5\%$  del mismo, y electrodos dispuestos integrales con las citadas caras mayores siendo dichos medios vibratorios capaces de hacer  
25 vibrar tal porción hasta una frecuencia de  $\pm 10\%$  de la frecuencia de resonancia fundamental para el modo de corte en espesor.

2. - Dispositivo resonador de cristal según la rei-



vindicación 1, caracterizado porque dichos medios hacen vibrar la citada porción de cristal esencialmente a dicha frecuencia de resonancia fundamental.

5 3. - Dispositivo resonador de cristal según la reivindicación 1, caracterizado porque dichos medios vibratorios comprenden medios para proporcionar una señal eléctrica entre los citados electrodos.

10 4. - Dispositivo resonador de cristal según la reivindicación 1, caracterizado por comprender medios que mantienen dicha porción de cristal a una temperatura comprendida en el sector de temperatura por encima del cual la respuesta de tal frecuencia a la temperatura es de 25 ppm/°C como máximo.

15 5.- Dispositivo resonador de cristal según la reivindicación 4, caracterizado por comprender medios que mantienen dicha porción de cristal cerca de la temperatura a la cual la respuesta de dicha frecuencia a la temperatura es esencialmente cero.

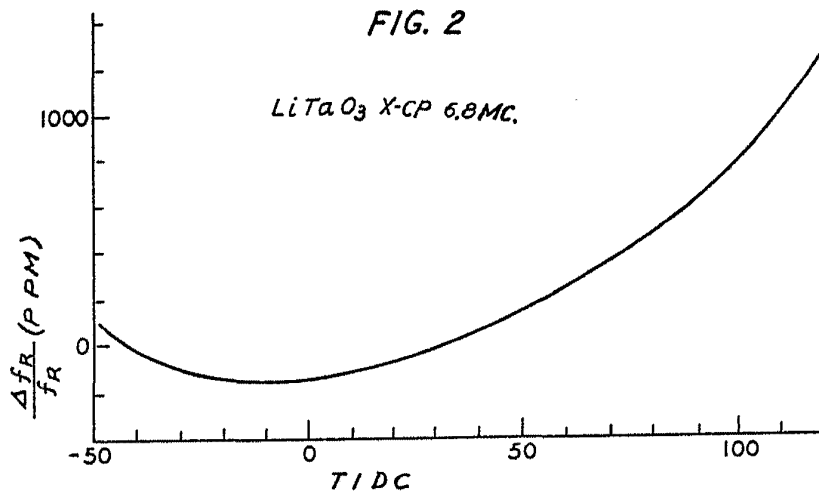
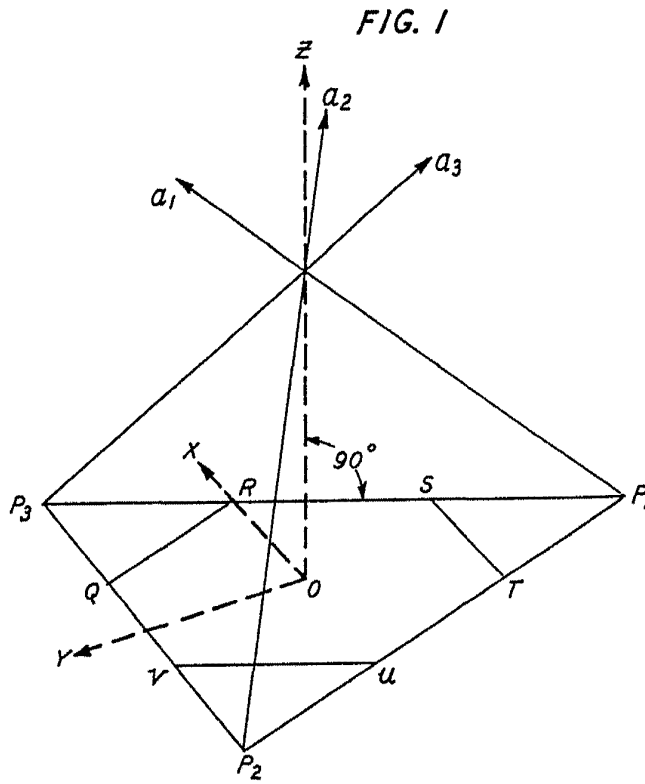
6. - Dispositivo resonador de cristal.

Esta memoria consta de quince páginas, escritas por una sola cara.

BARCELONA, 31 MAYO 1968

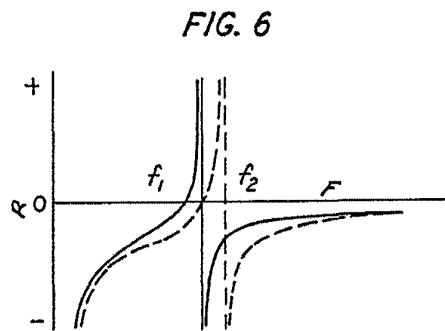
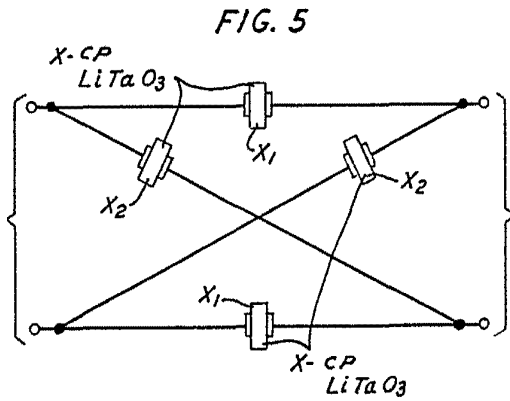
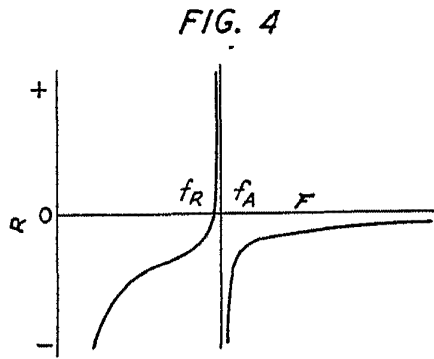
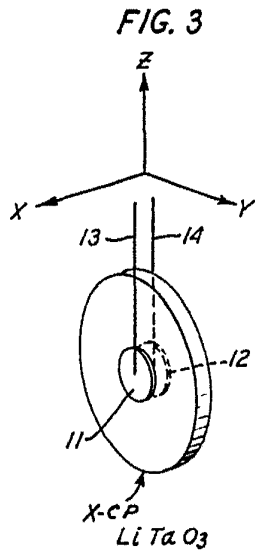
P. A.

Ballman 10-7



FOR INFORMATION

Ballman 10-7



FOR AUTHORIZATION

A handwritten signature in dark ink, written over the text "FOR AUTHORIZATION".