

29.10.78



196216

Int. Cl.:

G01P

M O D E L O

D E

U T I L I D A D

por "UN ACELEROMETRO PARA MEDIR ACELERACIONES ANGULARES", a favor de la firma inglesa BROWN BROTHERS Y COMPANY LIMITED, residente en Rosebank Ironworks Broughton Road, Edinburgh EH7 4LF (Escocia).

- . -

MEMORIA DESCRIPTIVA

La presente invención se refiere a un acelerómetro para medir la aceleración angular y concierne principalmente para proporcionar un acelerómetro para utilizar en naves.

5. La buena estabilización del movimiento de inclinación de una nave requiere que se conozcan continuamente los valores del ángulo de inclinación, velocidad de inclinación y aceleración de inclinación. Amplificadores integrantes facilitan la velocidad de inclinación y el ángulo de inclinación a ser determinado por integraciones sucesivas a partir de medidas de la
10. aceleración de inclinación. Por consiguiente, es necesario obtener solamente una medida satisfactoria de la aceleración de inclinación.

En un acelerómetro conocido, se monta libremente un ro-



tor en un estator que se asegura a la estructura cuya aceleración angular debe medirse. Cuando el estator se somete a una aceleración, la inercia del rotor ocasiona que se desplace con respecto al estator. Un captador verifica el desplazamiento y, a través de un servocircuito y un torsionador, produce un par sobre el rotor para mantenerlo substancialmente en una posición de referencia con respecto al estator. El par es proporcional a la aceleración angular y así una indicación del par de una indicación de la aceleración angular.

5.

10.

Desafortunadamente, las formas conocidas de este acelerómetro sufren dificultades prácticas y por consiguiente, es un objeto de la presente invención proporcionar una construcción de acelerómetro que palia estas dificultades.

15.

De acuerdo con la presente invención se prevé un acelerómetro para medir aceleraciones angulares, que comprende un rotor soportado giratoriamente en un estator, un sensor inductivo dispuesto para detectar el desplazamiento del rotor desde una referencia relativa al estator, y un torsionador inductivo que incluye dos bobinas, montándose tanto el sensor como el torsionador sobre el estator y permitiendo rotación limitada del rotor con respecto al estator, disponiéndose el sensor y el torsionador cada uno transversalmente de una porción cooperante del rotor, teniendo el sensor una fuente asociada de flujo oscilante dispuesto de forma que la rotación

20.

25.

del rotor con respecto al estator varía la reluctancia entre la fuente y el sensor y conectándose a través de un detector sensible a las variaciones de fase al torsionador para variar las corrientes que pasan a través de las dos bobinas diferencialmente de forma que produzcan una torsión sobre el rotor



proporcional a la aceleración angular del estator para mantener el rotor substancialmente en su posición de referencia una salida que proporciona una señal proporcional al torsionador, y la separación entre el torsionador y la porción cooperante del rotor siendo mayor que la separación entre sensor y la porción cooperante de forma que no exista substancialmente cambio de reluctancia entre las bobinas del torsionador y la porción del rotor en un cambio de aceleración angular del estator,

5.

10.

De preferencia, el rotor es soportado por un cojinete de aire con objeto de que la resistencia del rotor a las aceleraciones rotacionales en torno de su eje sea extremadamente pequeña.

15.

El sensor puede ser un sensor electromagnético. En una disposición, se monta una barra de material ferromagnético transversalmente al rotor. Las bobinas primera y segunda se disponen sobre el estator en el mismo lado de la barra en posiciones en lados opuestos de y equidistantes del eje del rotor. Una tercera bobina alimentada con un voltaje oscilante

20.

se sitúa equidistante de las bobinas primera y segunda. De preferencia las bobinas primera y segunda son idénticas. Cuando la barra es equidistante de las dos bobinas, los voltajes inducidos en ellas serán los mismos. Cuando el rotor y la barra se desplazan, los voltajes inducidos en las bobinas variarán diferencialmente. Los voltajes a través de las bobinas, cuando se combinan diferencialmente, producen una señal indicadora del desplazamiento.

25.

El generador de torsión puede incluir dos bobinas dispuestas sobre el estator en el mismo lado de la barra y en

posiciones equidistantes de este y en lados opuestos del eje rotor. Las bobinas pueden ser alimentadas con corrientes, cuya suma es constantes pero que varían diferencialmente de acuerdo con la señal del sensor. Las resistencias pueden conectarse en serie con las bobinas, conectándose la salida a la resistencia de forma que aparece en la salida una señal proporcional a la diferencia de voltaje a través de la resistencia.

5.

Ahora se describirá una realización de la invención,

10.

por vía de ejemplo, con referencia a los dibujos que se acompañan en los que:

La figura 1 muestra una sección longitudinal de un acelerómetro de acuerdo con la invención.

15.

La figura 2 muestra una vista extrema del acelerómetro de la figura 1.

La figura 3 muestra un circuito en esquema del sensor y un generador de sección del acelerómetro de la figura 1.

La figura 4 muestra formas de onda de varias partes del circuito de la figura 3.

20.

La figura 5 muestra el generador de torsión.

La figura 6 muestra una disposición para estabilizar una nave que incluye el acelerómetro mostrado en las figuras 1 y 5.

25.

Un acelerómetro comprende un rotor equilibrado dinámicamente 11 soportado tanto radial como axialmente en un estado 12 mediante cojinetes de aire 13. Unido al rotor 11 existe una barra 14 rectangular equilibrada de hierro dulce. Así la totalidad del conjunto rotor está equilibrada. La barra 14 se sitúa entre, por un lado, un sensor 15 montado en el



estator que detectar el desplazamiento del rotor con respecto al estator y, por otro lado, un generador de torsión 16 montado asimismo en el estator que puede ejercer una torsión sobre la barra 14 y por consiguiente sobre el rotor 11.

5. El balance, el cabeceo y el fluctuado son aceleraciones lineales, la guiñada, el bamboleo y la inclinación son aceleraciones angulares. Puesto que el conjunto de rotor 11 y 14 está equilibrado no se ocasiona desplazamiento del rotor debido a las aceleraciones lineales. Las aceleraciones angulares de guiñada y bamboleo se aguantan mediante la rigidez de apoyo. La rigidez de apoyo axial y radial puede exceder 100.000 libras/pulgada. La fricción muy baja de los cojinetes de aire ocasiona que sea extremadamente pequeña la resistencia del rotor a aceleraciones de giro en torno a su eje. Por consiguiente el acelerómetro es muy sensitivo.

10. El sensor 15, comprende un núcleo en forma de E en cuyos brazos se arrollan tres bobinas 17, 18, y 19. El núcleo es simétrico en torno al brazo central y las bobinas 17 y 19 son idénticas.

15. Un oscilador 20 tiene su salida aplicada a la bobina 18. Cuando la barra 14 es paralela a las caras de los brazos, las reluctancias de las trayectorias magnéticas entre las bobinas 18 y 17 y 18 y 19 son las mismas, el flujo en los brazos en torno de los cuales se arrollan las bobinas 17 y 19, genera voltajes idénticos en las bobinas. Cuando la barra 14 es desplazada con respecto al estator, el flujo en los brazos será desigual debido a las reluctancias desiguales entre las bobinas 18 y 17 y 18 y 19. Se generarán voltajes diferentes en las bobinas 17 y 19. Las bobinas se dis-

29463078



196216

ponen de forma que los voltajes están en fase con el oscilador.

- Las bobinas 17 y 19 se conectan a la entrada de un amplificador diferencial 21. La salida del amplificador diferencial estará o en fase con, o en antifase con la salida del oscilador 20 de acuerdo a sí el voltaje a través de la bobina 19 o de la bobina 17 es el mayor, y por consiguiente de acuerdo con el sentido de rotación de la barra 14. La amplitud de la salida del amplificador diferencial dependerá de la magnitud de desplazamiento de la barra 14. La salida del amplificador diferencial 21 se conecta al colector de un transistor 22 que funciona como un detector sincrónico. La base 23 del transistor 22 se conecta a uno de los terminales de salida del oscilador 20 a través de una resistencia 24.
5. Durante el semi-ciclo de marcha positiva de la salida del oscilador, la unión base-emisor del transistor 22 es influenciada hacia delante y el circuito colector-emisor del transistor conduce. Durante el semi-ciclo de marcha negativa, la unión base-emisor del transistor 22 es influenciada inversamente y se hace no conductor el circuito colector-emisor. Así, el transistor deja paso a la salida del amplificador diferencial solamente cuando la salida del oscilador está marchando en forma positiva. Con una rotación en un sentido, es el semi-ciclo de marcha positiva de la salida del amplificador diferencial que deja pasar el transistor y con una rotación en el sentido opuesto que es el semiciclo de marcha negativa que deja pasar el transistor.
10. La salida del amplificador diferencial 21 se conecta al colector de un transistor 22 que funciona como un detector sincrónico. La base 23 del transistor 22 se conecta a uno de los terminales de salida del oscilador 20 a través de una resistencia 24.
15. Durante el semi-ciclo de marcha positiva de la salida del oscilador, la unión base-emisor del transistor 22 es influenciada hacia delante y el circuito colector-emisor del transistor conduce. Durante el semi-ciclo de marcha negativa, la unión base-emisor del transistor 22 es influenciada inversamente y se hace no conductor el circuito colector-emisor. Así, el transistor deja paso a la salida del amplificador diferencial solamente cuando la salida del oscilador está marchando en forma positiva. Con una rotación en un sentido, es el semi-ciclo de marcha positiva de la salida del amplificador diferencial que deja pasar el transistor y con una rotación en el sentido opuesto que es el semiciclo de marcha negativa que deja pasar el transistor.
20. Así, el transistor deja paso a la salida del amplificador diferencial solamente cuando la salida del oscilador está marchando en forma positiva. Con una rotación en un sentido, es el semi-ciclo de marcha positiva de la salida del amplificador diferencial que deja pasar el transistor y con una rotación en el sentido opuesto que es el semiciclo de marcha negativa que deja pasar el transistor.
25. Así, el transistor deja paso a la salida del amplificador diferencial solamente cuando la salida del oscilador está marchando en forma positiva. Con una rotación en un sentido, es el semi-ciclo de marcha positiva de la salida del amplificador diferencial que deja pasar el transistor y con una rotación en el sentido opuesto que es el semiciclo de marcha negativa que deja pasar el transistor.

La salida del transistor pasa a un circuito estabilizador que comprende una resistencia 25 y un gran condensa-



dor 26. El circuito estabilizador produce una salida estabilizada de corriente continua, cuya magnitud depende de la magnitud de desplazamiento del rotor y cuya polaridad depende del sentido del desplazamiento.

5. La salida estabilizada es alimentada a un amplificador 27 que introduce una frecuencia que depende de la carga de fase, para estabilizar el control de acuerdo con el servo diseño normal.

10. La salida del amplificador 27 es alimentada a un amplificador en contrafase 28 en la forma de un par de larga persistencia con un circuito de corriente constante 29 en su circuito emisor común. La salida del amplificador 27 se conecta a través de las bases de los transistores 30 y 34 del par de larga persistencia.

15. El generador de torsión 16 comprende un núcleo en forma de E con tres bobinas 31, 32 y 33 arrolladas en torno de las tres patas del núcleo. Las bobinas 31 y 32 son idénticas y están conectadas en los circuitos de colector de los transistores 30 y 34. Debido al circuito 29 de corriente constante, la suma de las corrientes  $I_1$  e  $I_2$  en los circuitos de colector es constante. En serie con las bobinas 31 y 32 en los circuitos de colector existen dos resistencias 35 y 36, Las resistencias 35 y 36 son iguales y por consiguiente la caída de potencial a través de ellas es proporcional a las corrientes  $I_1$  e  $I_2$ .

La bobina 33 está conectada directamente a través del suministro de corriente continua 37 y por consiguiente es alimentada con una corriente constante  $I_3$ .

La figura 5 muestra en generador de torsión 16, la



- barra 14 y las líneas de fuerza ocasionadas por las corrientes  $I_1$ ,  $I_2$  y  $I_3$ . Cuando el entre-hierro entre la barra y el generador de torsión es grande con respecto a los movimientos a los cuales la barra debe probablemente someterse, es efectivamente constante la reluctancia de las trayectorias magnéticas entre las bobinas.
- 5.

La densidad de flujo en el brazo central puede expresarse:

$$B_3 = \phi_{33} + \phi_{32} + \phi_{31}$$

10.

donde  $\phi_{31}$  es el flujo en el brazo rodeado por la bobina 33 ocasionado por la corriente  $I_1$  en la bobina 31 y  $\phi_{32}$  es el flujo en el brazo rodeado por la bobina 33 ocasionado por la corriente  $I_2$  en la bobina, etc.

15.

$$B_3 = K'I_3 + K_1I_1 = K' + K_1(I_2 + I_1)$$

donde  $K_1$  es una constante que depende de la reluctancia de las trayectorias magnéticas entre las bobinas 31, y 33 y 32 y 33, y  $K'$  es una constante. Ya que  $I_3$  e  $I_1 + I_2$  son constantes,  $B_3$  es constante, La barra no experimenta torsión del brazo central. La densidad de flujo en el brazo regulado por la bobina 31 es:

20.

$$B_1 = \phi_{11} + \phi + \phi_{13}$$

$$= K_2I_1 - K_3I_2 + K_1I_3, K_2. \text{ Siendo constantes}$$

Similarmente la densidad de flujo en el brazo rodeado por la bobina 32 es:

$$B_2 = \phi_{22} + \phi_{21} + \phi_{23}$$

$$= K_2I_2 - K_3I_1 + K_1I_3$$



La fuerza ejercida sobre la barra por el brazo 1 rodeado por la bobina 31 es proporcional a  $\beta_1^2$  y por el brazo rodeado por la bobina 32 es proporcional a  $\beta_2^2$ . La torsión T sobre la barra es por consiguiente proporcional a  $\beta_1^2 - \beta_2^2$ .

5.

$$T = K_4 [B_1 + B_2] [B_1 - B_2] K_4 \text{ es una constante}$$

$$= K_4 [2K_1 I_3 + K_2 I_2 + K_2 I_1 - K_3 I_1 - K_3 I_2]$$

$$\times [K_2 I_1 + K_3 I_1 - K_3 I_2 - K_2 I_2]$$

10.

$$= K_4 [2K_1 I_3 + (K_2 - K_3)(I_1 + I_2)] [(K_2 + K_3)(I_1 - I_2)]$$

donde K es una constante, ya que  $I_1 + I_2$  es una constante.

Los terminales de salida 40 y 41 se conectan respectivamente a un extremo de las dos resistencias 35 y 36. Ya que las caídas de potencial a través de las resistencias 35 y 36 son proporcionales a  $I_1$  e  $I_2$ , la diferencia de potencial entre los terminales de salida 40 y 41 es proporcional a  $I_1 - I_2$  y por consiguiente la torsión aplicada a la barra.

15.

La torsión T y la aceleración angular  $\theta$  producida por la torsión se relacionan mediante la ecuación.

20.

$T = J\theta$ , donde J es el momento de inercia del rotor 11 y la barra 14 en torno al eje de rotación. Así ya que J es constante.

$$I_1 - I_2 \propto \theta$$

25.

La diferencia de potencial entre los terminales 40 y 41 es por consiguiente proporcional a la aceleración angular del rotor ocasionada por el generador de torsión.

En virtud del bucle cerrado establecido por el circuito descrito, el generador de torsión 2 produce una torsión que



mantendrá substancialmente la barra, y por consiguiente el rotor, en su posición de dato al ocasionar una aceleración que es proporcional a y opuesta a la aceleración relativa al estator ocasionada por el movimiento de inclinación. Así,

5. la salida en los terminales 40 y 41 es proporcional a la aceleración de inclinación.

La figura 6 muestra una disposición donde se utiliza el acelerómetro de las figuras 1 a 5 para estabilizar una nave.

10. El acelerómetro, indicado por la referencia numérica 50, se conecta a un amplificador totalizador 51, que a su vez se conecta a un ulterior amplificador totalizador 52. Las salidas de los amplificadores totalizadores 51 y 52 son proporcionales a la velocidad de inclinación y al ángulo de inclinación. Las salidas del acelerómetro 50 y de los amplificadores totalizadores 51 y 52 son alimentadas a través de

15. resistencias variables 53, 54 y 55 a un amplificador adicionador 56. La resistencia de las resistencias se ajusta para producir la función requerida. La salida del amplificador adicionador se utiliza para operar una servo-válvula 57 que controla una bomba hidráulica que impulsa un motor hidráulico 58 que, a su vez, acciona un aleta 59 de un estabilizador. La aleta se proyecta desde la nave dentro del agua y puede ser girada por el motor hidráulico para producir un movimiento de enderezado en la nave. Un transductor 60 sobre

20. la aleta da una salida proporcional al ángulo de la aleta y esta salida es realimentada al amplificador adicionador para cerrar un bucle negativo de realimentación.

25.

Los amplificadores totalizadores reducen las señales de ruido producidas por el acelerómetro, reduciendo con ello



su efecto sobre la función del estabilizador. Preveyendo que el eje del rotor es paralelo a la línea de centro de la nave, puede moverse en cualquier momento en la nave sin alterar su señal de salida ya que la aceleración angular es constante a través de la nave. El acelerómetro puede resolver aceleraciones de inclinación tan pequeñas como 0.001 radian/segundo<sup>2</sup>.

- . -

N O T A

10. Descrito el objeto del presente invento, se declaran nuevas y de propia invención las siguientes reivindicaciones.
- 1.- Un acelerómetro para medir aceleraciones angulares, que comprende un rotor soportado giratoriamente en un estator, un sensor inductivo dispuesto para detectar el desplazamiento del rotor desde una referencia relativa al estator, y un torsionador inductivo que incluye dos bobinas para producir una torsión sobre el rotor proporcional a la aceleración angular del estator para mantener al rotor substancialmente en su posición de referencia y una salida que proporciona una señal proporcional a la torsión, caracterizado en que tanto el sensor (15) como el torsionador (16) se montan sobre el estator (12) y permiten la rotación limitada del rotor (11) con respecto al estator, que el sensor y el torsionador están dispuestos cada uno transversalmente a una porción cooperante (14) del rotor, que el sensor está conectado al torsionador por variar las corrientes que pasan a través de las dos bobinas (31 y 32) diferencialmente y que la separación entre el torsionador y su porción cooperante del rotor es substancialmente mayor que la separación entre el



sensor y su porción cooperante.

5. 2.- Un acelerómetro, según la reivindicación 1, caracterizado en que el sensor (15) y el torsionador (16) cooperan con la misma porción del rotor que es una barra ferromagnética (14) montada transversalmente al eje de rotación del rotor.

3.- Un acelerómetro, según la reivindicación 2, caracterizado en que el sensor y el torsionador están situados en lados opuestos de la barra ferromagnética .

10. 4.- Un acelerómetro según la reivindicación 1 ó 2 ó 3, caracterizado en que el sensor incluye dos bobinas (17 y 19) montadas sobre el estator equidistantes del eje de rotación del rotor y tiene una funete asociada de flujo oscilante que incluye una tercera bobina (18) montada sobre el estator equidistante de las dos bobinas (17 y 19) del sensor conectadas a un oscilador (20).

15. 5.- Un acelerómetro, según la reivindicación 4, caracterizado en que el par de bobinas (17 y 19) del sensor se montan sobre los brazos exteriores de un núcleo ferromagnético en forma de E y la tercera bobina se montan sobre el brazo central del núcleo.

20. 6.- Un acelerómetro, según la reivindicación 4 ó 5, caracterizado en que las bobinas (17 y 19) del sensor se conectan a través de un amplificador diferencial (21) a un detector (22) sensible a fases.

25. 7.- Un acelerómetro según la reivindicación 6, caracterizado en que el detector sensible a fases es un detector síncrono.

8.- Un acelerómetro, según cualquiera de las rei-

196216



vindicaciones precedentes, en que las bobinas (31 y 32) del torsionador se montan sobre el estator equidistantes del eje de rotación del rotor.

5. 9.- Un acelerómetro, según la reivindicación 8, caracterizado en que el par de bobinas del torsionador se montan equidistantes de una tercera bobina (33) del torsionador montada sobre el estator.

10. 10.- Un acelerómetro, según la reivindicación 9, caracterizado en que las dos bobinas del torsionador se montan sobre los brazos exteriores del núcleo ferromagnético en forma de E y la tercera bobina del torsionador se monta sobre el brazo central del núcleo.

15. 11.- Un acelerómetro, según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado en que las bobinas del torsionador se conectan en un multivibrador monoestable (30 y 34) con un circuito (29) de corriente constante.

12.- Un acelerómetro, según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en que el rotor es soportado en el estator por medio de un cojinete de aire.

20. 13.- Un acelerómetro para medir aceleraciones angulares.

Según se describe y reivindica en la presente memoria descriptiva compuesta de 13 hojas foliadas y escritas a máquina por una sola cara,

25. Madrid, a 19 Junio 1971

p.a. JAIME ISERN

p. p.

mlm.

196216



FIG. 1.

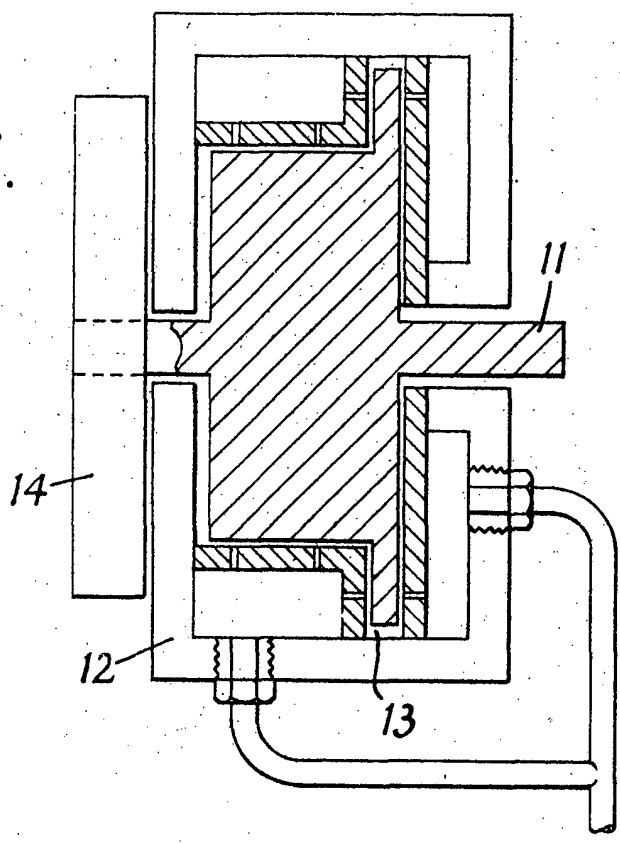
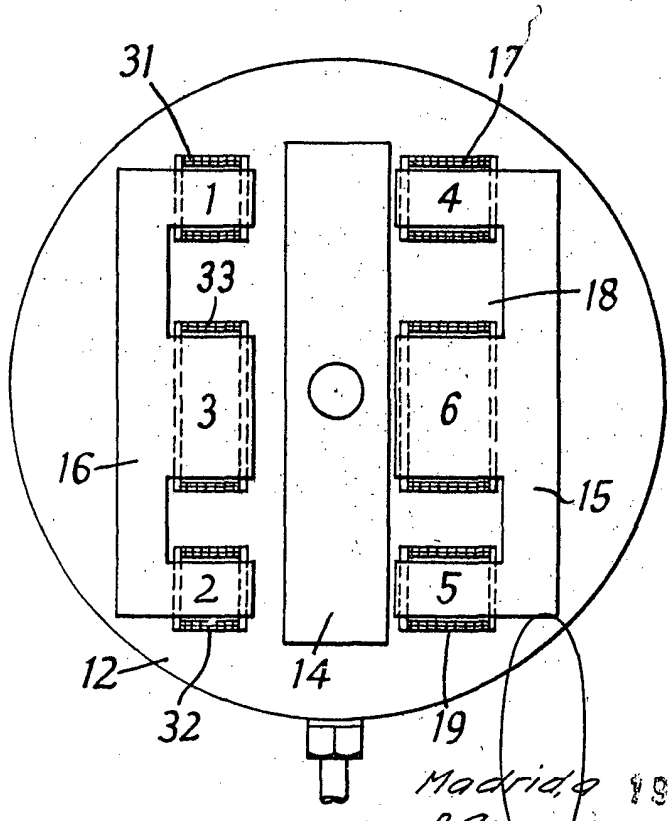


FIG. 2.



Madrid, 19 JUN. 1971  
P.A.

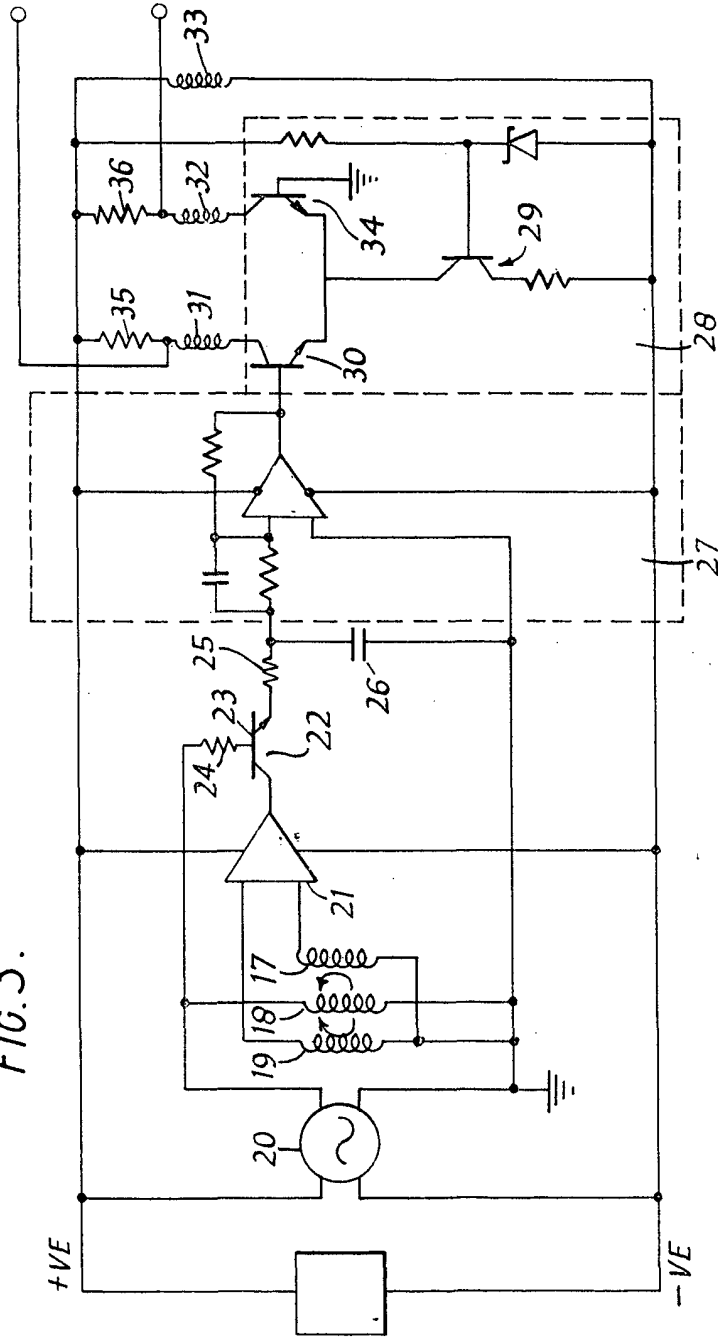
Firmado JOSÉ RODRÍGUEZ

196216

196216



FIG. 3.



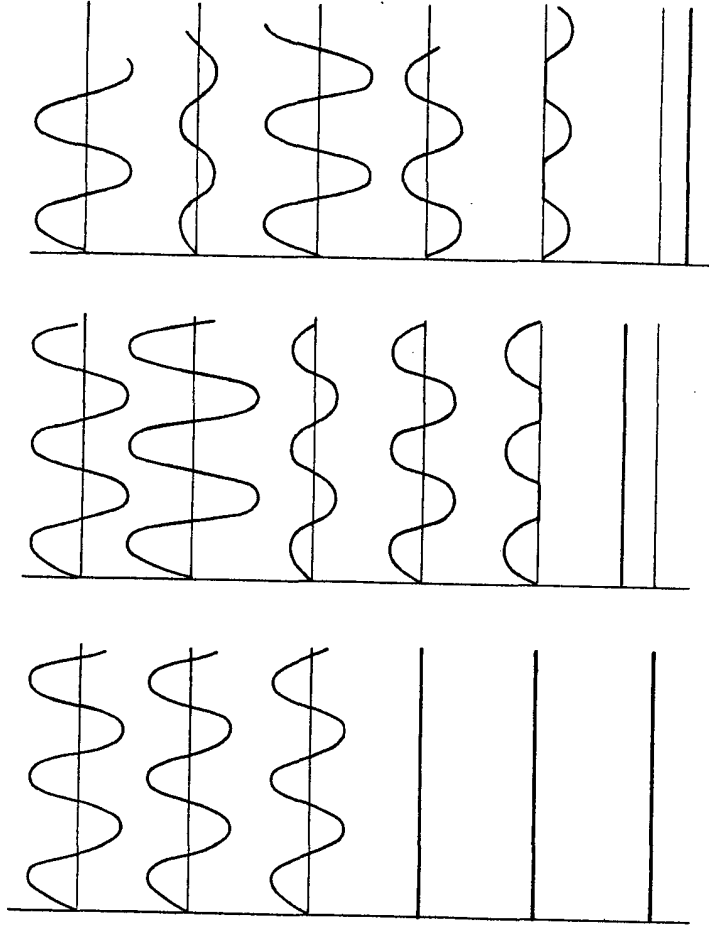
*Madrid, a*  
*P.A.*

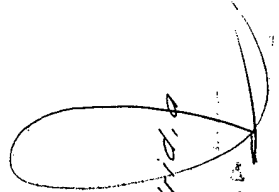
196216

196216



FIG. 4.



  
 Madrid, P.  
 P. O.

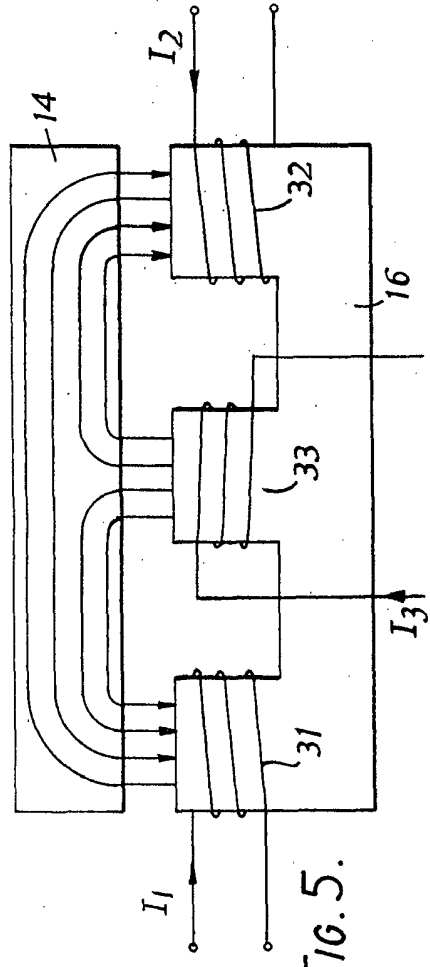


FIG. 5.

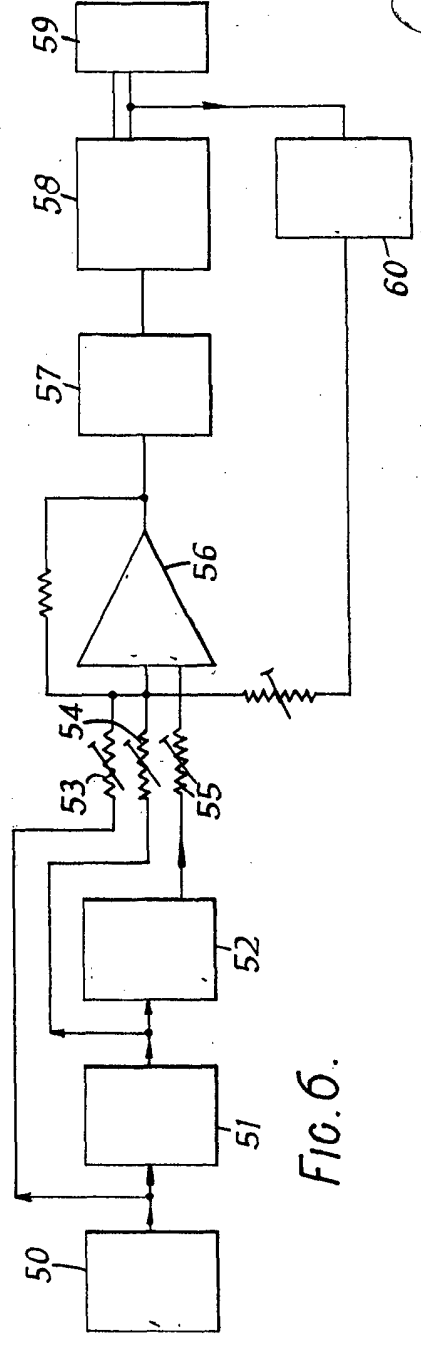


FIG. 6.

Modtjo  
 P.O.  
 WAHVIC AUSTRIA  
 P.P.