

372.349

P.- 43.022

B 2645-3 JF

Memoria descriptiva



Int. Cl. G01R

para solicitar PATENTE DE INVENCION

por 20 años

a nombre de COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE

entidad / de nacionalidad francesa

en domicilio en 29, rue de la Federation, Paris, Francia

por "DISPOSITIVO DE MEDIDA DE UN CAMPO MAGNETICO DEBIL"

(Clase Internacional G01r)

ANUNCIADO
PROCESADO

12.12.69



El presente invento, de Jean Yves Valet, tiene por objeto un dispositivo de medición de campos magnéticos débiles y más precisamente de medición de la componente de un campo magnético según una dirección determinada.

5

Se ha propuesto ya medir el campo magnético en un emplazamiento introduciendo allí una sonda constituida por un núcleo de material ferromagnético que presenta un ciclo de histéresis y una bobina que permite someter el núcleo a un campo magnético periódico alternativo de amplitud tal que lleve el núcleo a saturación; se puede deducir el valor del campo magnético a medir de la amplitud de los armónicos pares de las señales recogidas (en general a la frecuencia doble de la frecuencia de la corriente de excitación) por una segunda bobina igualmente asociada al núcleo.

10

15

Este procedimiento ha dado lugar a realizaciones que, aunque tienen un funcionamiento satisfactorio, no cumplen las condiciones requeridas para la medición precisa de los campos magnéticos de valor muy pequeño. Esto se debe, en particular, a la presencia de ruidos de fondo importantes e inevitables que ocultan la señal útil una vez que ésta se hace pequeña.

20

Se ha propuesto ya, igualmente, un dispositivo de medición de campo magnético utilizando como órgano sensible una lámina ferromagnética delgada que presenta un eje de fácil imantación (que se designará igualmente en lo que sigue con el término "eje fácil" para mayor sencillez). A esta lámina están asociados un enrollamiento de bombeo que proporciona un campo alternativo orientado

25

30



según el eje fácil imantación, un enrollamiento de detección de eje perpendicular al eje de fácil imantación y un enrollamiento de compensación que presenta el mismo eje que el precedente y que proporciona un campo opuesto a la componente del campo a medir dirigido según la dirección perpendicular al eje fácil. Este dispositivo proporciona en el enrollamiento de detección una señal de salida que depende de la componente perpendicular al eje fácil del campo aplicado a la lámina (diferencia entre el campo exterior y el campo debido al enrollamiento de compensación).

El fenómeno utilizado por este dispositivo es la inversión de la imantación en la lámina a cada alternancia del campo proporcionado por el enrollamiento de bombeo: esta basculación no puede hacerse más que por desplazamiento de las paredes en la lámina, lo que conduce a ruidos de Barkhausen importantes, y limita la sensibilidad: prácticamente, este dispositivo no puede ser utilizado para medir campos inferiores a una decena de gamma ($1 \text{ gamma} = 10^{-5} \text{Oe}$). Además, estos ruidos limitan la precisión de la medición.

El presente invento trata de proporcionar un dispositivo que responda mejor que los anteriormente propuestos a las exigencias de la práctica, especialmente mejorando la precisión que es posible alcanzar; este resultado se consigue utilizando un fenómeno que no presenta más que un pequeño ruido de fondo, constituido por la inversión de la dirección de la inducción en una capa ferromagnética delgada por rotación coherente. Este mecanismo de basculación presenta, con relación al otro meca-



nismo posible en las capas magnéticas delgadas, por desplazamiento de pared, la ventaja de la ausencia de ruidos de Barkhausen.

5 El invento propone especialmente un dispositivo de medición de la componente de un campo magnético débil dirigido según un eje, dispositivo que comprende una capa ferromagnética delgada de tipo invertido sometida a la acción del campo a medir, medios para crear un campo magnético de bombeo periódico alternativo siné-
10 trico, dirigido paralelamente al eje de fácil imantación de la capa, un enrollamiento de detección de eje paralelo al eje fácil de la capa y medios de análisis de las señales recogidas por dicho enrollamiento de detección. Se aplica igualmente a dicha capa un campo de polariza-
15 ción dirigido perpendicularmente al eje de fácil imantación, por lo menos cuando la capa es una lámina plana.

Se pueden analizar las señales para determinar los intervalos de tiempo que separan las inversiones sucesivas de la inducción en la capa, siendo la diferencia entre dos intervalos de tiempos sucesivos representativa de la componente del campo según el eje de fácil imantación. Pero siendo difícil la medición directa de los intervalos de tiempo, será preferible, en general, medir la amplitud de un armónico par (armónico 2 de preferencia) de una señal eléctrica recogida en una bobina
20 asociada a la capa y sensible a las variaciones de inducción en la capa. Para suprimir la señal fundamental, se puede utilizar entonces ventajosamente un montaje simétrico con dos láminas delgadas.

30 Por el término "capa", deberá entenderse,



evidentemente, tanto los materiales que se presentan en forma de hilos como los que presentan la forma habitual de láminas. La primera presentación ofrece, incluso, la ventaja de permitir la realización de capas de dimensiones extremadamente reducidas.

5

En la definición que precede, así como en la descripción que sigue, se designa por el término "capa de tipo invertido" una capa para la cual la curva crítica de rotación coherente total es toda entera interior a la curva crítica de desplazamiento de las paredes, contrariamente al caso de las capas corrientemente utilizadas. Además, se designa por el término de "campo de bombeo" un campo periódico alternativo simétrico, en general sinusoidal.

10

15

Según un primer modo de puesta en práctica del invento, el campo de polarización dirigido según el eje difícil de imantación de la capa (perpendicular al eje fácil) es continuo y presenta una intensidad del mismo orden que la amplitud del campo de bombeo.

20

Según otro modo de puesta en práctica del invento, el campo de polarización dirigido según el eje difícil de imantación de la capa (perpendicular al eje fácil) es alternativo y está constituido por la componente según el eje difícil de un campo alternativo cuya componente según el eje fácil constituye el campo de bombeo.

25

El invento será mejor comprendido por la lectura de la descripción que sigue y que se refiere a los dibujos que la acompañan, en los cuales:

30

- La figura 1 muestra muy esquemáticamente



las variaciones de la componente M_0 de la imantación, componente paralela a la dirección de aplicación de un campo exterior H_0 que forma un ángulo θ con el eje de fácil imantación de una capa delgada invertida igualmente sometida a un campo magnético h dirigido según el eje fácil.

5

- La figura 2 muestra esquemáticamente la curva crítica de rotación coherente total, la curva crítica de rotación coherente parcial y la curva crítica de desplazamiento de paredes de una capa delgada utilizable para hacer aparecer señales provocadas por la inversión de la imantación por aplicación del campo alternativo según la dirección fácil, para diversos valores del campo continuo de polarización aplicado según la dirección difícil;

10

15

- la figura 3 muestra de manera muy simplificada un esquema del dispositivo eléctrico asociado a una capa para constituir un magnetómetro;

20

- la figura 3 bis es un esquema del detector ilustrado en la figura 3;

- la figura 4 muestra esquemáticamente la forma en el tiempo del campo de bombeo y de la señal de salida proporcionada por el dispositivo de la figura 3;

25

- la figura 5, similar a la figura 3, muestra el dispositivo asociado a un hilo para constituir un magnetómetro.

Puede ser útil recordar, en primer lugar, algunas propiedades de las capas delgadas anisotrópicas. Estas capas, constituidas de material ferromagnético, presentan una dirección privilegiada, llamada eje fácil,

30



según la cual la imantación tiende a orientarse. Por el contrario, la imantación no tiende nunca a ir por sí misma en la dirección perpendicular, llamada eje difícil. Una vez la imantación en la lámina dirigida según el eje fácil, su orientación presenta una gran estabilidad y para invertirla es necesario aplicar un campo que presenta una componente de sentido opuesto, de valor mínimo.

La figura 1 muestra el ciclo de histéresis de tal capa delgada ferromagnética sometida a la acción de un campo magnético H_0 alternativo, de dirección constante, que forma un ángulo θ del orden de 45° con el eje de fácil imantación de la capa. Se ve aparecer un campo de saturación H_0 a partir del cual no existe ya más que una sola posición de equilibrio para la imantación M_0 . De manera más general, se sabe que existe para una capa dada una curva llamada "curva crítica" que adopta la forma de un astroide y que da la intensidad del campo magnético aplicado para las diversas orientaciones con relación al eje fácil, a partir del cual no existe ya más que un estado estable posible para la imantación: se podrá hacer referencia para mayor información sobre esta materia a diversos documentos, por ejemplo a la comunicación titulada "Las aleaciones ferromagnéticas en los dispositivos de memorias" por G. Grunberg (Coloquio internacional sobre las técnicas de las memorias, Paris 1965, página 85).

El ciclo de histéresis ofrecido en la figura 1 está trazado en función del campo total aplicado a la lámina H_0 : si este campo está constituido por la suma de un campo constante a medir h y de un campo alternativo,



5 hay aparición de un desplazamiento con relación al origen de los campos: si el campo alternativo es simétrico y a frecuencia constante, la existencia del campo suplementario h se traducirá por intervalos de tiempos diferentes entre los instantes de basculación sucesivos. Se puede medir, pues, el campo aplicado comparando estos intervalos de tiempo, o bien directamente (por detección de los instantes de basculación), o bien indirectamente, como se verá más adelante, por medición de la amplitud de los armónicos pares, de preferencia del armónico 2.

15 Antes de describir en detalle un dispositivo particular de medición de campos magnéticos según un modo de ejecución del invento, es preciso todavía recordar que la basculación de la imantación en una capa ferromagnética delgada con anisotropía magnética uniaxial, se puede efectuar por varios mecanismos. Si se supone que la capa es un monodominio, la teoría indica que la basculación se efectúa por rotación coherente global de la imantación una vez que el vector campo-aplicado rebasa la curva crítica (curva I en la figura 2). Esta curva está caracterizada esencialmente por el valor del campo H_k , llamado campo de anisotropía, para el cual corta el eje fácil de imantación.

25 De hecho, las experiencias de inversión de la imantación en las capas ferromagnéticas delgadas habituales muestran que la inversión no se produce como indica la teoría de la rotación coherente: se puede pensar, aunque esta explicación no sea más que una hipótesis, que esta divergencia entre la teoría y la experien-

30



cia se debe a la existencia de varias zonas de imantación opuesta, es decir, a la existencia de paredes de separación entre las zonas, mientras que la teoría supone un estado de monodominio de la imantación.

5 Como quiera que sea, la inversión de la imantación en las capas habituales se hace la mayoría de las veces por desplazamiento de las paredes y origina un agrandamiento de los de las zonas cuya imantación presenta inicialmente una orientación próxima a la del estado
10 final. Se ve aparecer así una segunda curva crítica, llamada de desplazamiento de las paredes: la inversión de la imantación interviene cuando el vector campo-aplicado rebasa esta curva que puede ser caracterizada especialmente por el valor H_c del campo dirigido según el eje fácil
15 para el cual interviene la inversión de la imantación por desplazamiento de las paredes.

 Para las curvas delgadas cuyo grosor es del orden de 2000 \AA , el ciclo de histéresis según el eje difícil presenta una forma muy diferente de aquella según
20 el eje fácil y se reduce a una línea. Pero para grosores menores, se deforma para asemejarse a un ciclo en el eje fácil a partir de 500 \AA aproximadamente. Se ve aparecer un parámetro característico suplementario, constituido por el campo coercitivo transversal H_{ct} (umbral de campo
25 que origina una inversión brusca de la imantación en la dirección difícil o transversal). La importancia de este parámetro se verá más adelante.

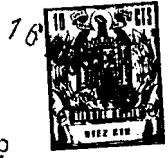
 En las capas ferromagnéticas habituales, los campos H_c y H_{ct} son inferiores al campo H_k y la utilización de la inversión de la imantación en tal capa para
30



medir un campo magnético tropieza con el problema de los ruidos de Barkhausen que acompañan los desplazamientos de paredes.

5 El invento propone, por el contrario, utilizar para medir un campo la inversión de la imantación porrotación coherente, lo que exige, evidentemente, que se cumpla la condición $H > H_k$. En otros términos, la disposición relativa de la curva II (curva crítica de desplazamiento de las paredes) y de la curva I (curva de rotación global coherente) debe ser la que se ilustra en la figura 2. Se sabe obtener capas ferromagnéticas delgadas que presentan tales propiedades por técnicas particulares de fabricación, tal como el depósito sobre vidrio por la evaporación de aleación 18% Fe - 82% Ni bajo vacío y calentamiento a una temperatura elevada, de 350°C o más. 15 Tales capas se denominan "capas invertidas".

Se podría pensar que la inversión de la imantación en tales capas se efectúa siempre por rotación coherente, puesto que la curva I es en todos los puntos interior a la curva II. Ahora bien, las experiencias han 20 mostrado que este no es siempre el caso y que la imantación se invierte todavía con desplazamiento de las paredes y el campo total aplicado está orientado en el eje fácil o en la proximidad inmediata de éste. Por el contrario, si el vector campo aplicado se aleja del eje fácil, 25 el mecanismo de la inversión se modifica, y se ve aparecer un nuevo fenómeno. Para ilustrar el comportamiento de la capa invertida, se ha mostrado en la figura 2 la forma de la variación en el tiempo $\frac{dM}{dt}$ de la inversión de la 30 imantación en una capa que está sometida a la resultante:



- de un campo de polarización continuo H_p dirigido según el eje difícil,

- de un campo periódico alternativo, dirigido según el eje fácil y de amplitud suficiente para originar la inversión de la imantación.

5

Se ve que cuando el campo de polarización es nulo, la basculación se efectúa en dos tiempos. Para un campo H'_k comprendido entre H_k y H_c aparece una primera señal $\frac{dM}{dt}$. Luego, para el valor H_c aparece una señal más intensa, lo que indica que la basculación se efectúa esencialmente por desplazamiento de las paredes.

10

Si el campo de polarización toma un valor H_{p1} , notablemente inferior a H_k , la relación entre las amplitudes de las dos señales se invierte.

15

Para un valor más elevado H_{p2} , siempre inferior a H_k , no se ve aparecer ya más que una sola señal; los valores del campo que provoca la aparición de la señal se colocan sobre una curva III, similar a la curva I, pero exterior a ésta, que corta el eje fácil para el valor H'_k del campo; esta curva III se denominará "curva crítica de rotación parcial".

20

Para campos H_{p3} , H_{p4} , etc. ..., superiores a H_k , las señales se debilitan siendo la basculación más lenta, y se sale rápidamente de la zona para la cual una sensibilidad y una precisión máximas pueden ser alcanzadas.

25

La basculación de la imantación para un campo - aplicado correspondiente a la curva III, parece efectuarse por rotación coherente, porque está despro-

30



vista de ruidos de Barkhausen y dá origen a una señal $\frac{dM}{dt}$ perfectamente limpia y cuya amplitud puede ser, pues, medida con precisión.

5 Se ve, sin embargo, que en lo que concierne a la aplicación considerada aquí, la calidad de una capa delgada para la cual se puede definir H_{ct} no está relacionada directamente con el valor de la relación H_c / H_k , sino más bien con la de la relación H_{ct} / H_k que debe ser superior a 1. En particular, el límite mínimo disminuye cuando H_{ct} / H_k aumenta, en la medida en que este aumento no va acompañado de un aumento de la dispersión alfa. Para tales capas, el mecanismo real de basculación no es exactamente el descrito más arriba, pero conduce a resultados muy similares para $H_{ct} > H_k$.

10 El invento propone utilizar las propiedades citadas provocando una basculación de la imantación por rotación coherente parcial en una zona de campo de polarización para la cual el fenómeno de desplazamiento de las paredes no interviene o interviene poco, es decir, en la zona esquematizada por la región rayada en la figura 2.

15 El campo de polarización dirigido según el eje difícil puede ser realizado de dos maneras:

20 1^o) Puede estar constituido por un campo continuo creado por un bobinado distinto del que crea el campo de bombeo y de eje perpendicular. La región citada más arriba corresponde entonces a un campo de polarización inferior a H_c o H_{ct} , incorporando, además, este campo de polarización, la componente según el eje difícil del campo exterior cuya componente según el eje fácil ha



de medirse.

5 Es preciso, a este respecto, hacer varias observaciones : en primer lugar, el valor de la componente del campo a medir según el eje difícil es despreciable con relación a la del campo de polarización exterior, del orden del Oerstedt, cuando el magnetómetro es utilizado para medir campos de intensidad pequeña, de 0,1 gamma a 1 000 gamma, por ejemplo. Por otra parte, el calibrado del magnetómetro no cambia casi para una
10 variación bastante importante del campo de polarización alrededor del óptimo,

2º) puede estar constituido por la componente según el eje difícil de un campo alternativo cuya componente según el eje fácil constituye el campo de bombeo; este campo alternativo es creado entonces por un solo bobinado que forma un ángulo del orden de 30º a
15 60º con el eje fácil.

Esta solución - que no es utilizable, en el estado actual de la técnica, más que con capas planas -
20 conduce a colocar los enrollamientos de bombeo y de detección coaxialmente, en una dirección oblicua al eje fácil. En este caso, es cómodo dar a la capa lados oblicuos sobre este eje fácil con el fin de disminuir el tamaño de los enrollamientos.

25 Un ejemplo de puesta en práctica del procedimiento, utilizando un campo de polarización continuo y láminas delgadas que constituyen las capas, se describirá ahora. El dispositivo ilustrado a título de ejemplo en la figura 3, mide la amplitud del armónico 2 de $\frac{dM}{dt}$,
30 que por lo menos en una región limitada a campos pe-



queños - es proporcional a la componente del campo continuo h según el eje fácil.

5 El dispositivo comprende una sonda doble 10 constituida por dos capas delgadas 12 y 12' y enrollamientos asociados. Los ejes fáciles de las dos capas son paralelos o están alineados y es la componente h según el eje fácil del campo exterior aplicado la que será medida.

10 La capa delgada 12, por ejemplo, en forma de lámina rectangular, que presenta dos lados paralelos al eje fácil, está provista de un enrollamiento 14 de bombeo en el cual un generador 16 hace pasar una corriente eléctrica a frecuencia estabilizada f y de un enrollamiento de detección 18 coaxial al enrollamiento 14. La
15 capa 12 está asociada además a un enrollamiento de polarización 20 alimentado por una fuente de corriente continua 22 y que crea un campo permanente H_p según el eje difícil perpendicularmente al campo de bombeo.

20 En el circuito representado en la figura 3, el generador 16 alimenta en paralelo los enrollamientos 14 y 14'; para que sea posible equilibrar las corrientes en los dos enrollamientos, éstos están unidos a los extremos de una resistencia 23 y el generador 16 ataca la resistencia en un punto intermedio ajustable. Los enrollamientos 14 y 14' están evidentemente bobinados en sentido
25 contrario con objeto de que los campos de bombeo estén desfasados 180° en las capas 12 y 12'. Los enrollamientos de polarización 20 y 20', de igual sentido, están alimentados en serie. En cuanto a los enrollamientos
30 de detección 18 y 18', de igual sentido y montados



5 en serie, alimentan una cadena de medición. Esta cadena
comprende un amplificador 24 sintonizado para amplificar
selectivamente la frecuencia $2f$ doble de la del genera-
dor 16, un detector síncrono 26 que mide la amplitud y
el signo de la tensión a esta frecuencia doble y un apa-
rato indicador o registrador 28. Puede ser útil colocar
un blindaje electrostático entre los enrollamientos de
bombeo y de detección cuyos acoplamientos capacitivos
pueden ser diferentes de un conjunto 14-18, 14'-18' a
10 otro; pero en la mayoría de los casos, tal blindaje no
es indispensable.

Evidentemente deben ser adoptadas precau-
15 nes para que el amplificador 24 no reciba más que los
armónicos efectivamente creados en la sonda doble 10 y
no armónicos parásitos, que proceden, por ejemplo, del
generador 16. Con esta finalidad, se pueden colocar espe-
cialmente entre el generador 16 y los enrollamientos 14
y 14' un filtro (no representado) que corta la frecuen-
cia doble. Además, un filtro (no representado) que cor-
20 ta la frecuencia del generador está colocado ventajosa-
mente entre los enrollamientos 18 y 18' y el amplifica-
dor 24 para eliminar las señales a la frecuencia del ge-
nerador y perfectamente eliminadas por la sonda doble
(por ejemplo, a causa de una disimetría de ésta) y que
25 podrían saturar el amplificador.

El amplificador 24 debe responder a condicio-
nes relacionadas con la pequeña amplitud de la señal du-
rante la medición de campos muy pequeños: en particular,
debe proporcionar una ganancia muy elevada sin ahogar
30 la señal útil en el ruido de fondo del electrónico. Con



esta finalidad, el amplificador podrá comprender un preamplificador simétrico de poco ruido (preamplificador con entrada diferencial que utiliza en el paso de entrada transistores que funcionan con poca corriente) seguido de filtros cortadores de banda que eliminan las frecuencias f y $3f$, de un adaptador de impedancia, de un atenuador y de un amplificador selectivo de gran ganancia sintonizado a la frecuencia $2f$.

El empleo de un atenuador de relación variable por saltos, que corresponden por ejemplo, a múltiplos sucesivos de 10, permite dar al magnetómetro gammas y sensibilidades variadas, por ejemplo 0-5 gamma, 0-50 gamma y 0-500 gamma.

El detector síncrono 26 puede incluir los componentes ilustrados en el esquema de la figura 3 bis: la señal de referencia a frecuencia f procedente del generador es enviada a un desfasador 36 regulable de 0 a 180° y luego a un doblador de frecuencia 38 y a un circuito de descrestado y de puesta en forma 40 que proporciona una señal rectangular de amplitud determinada, independiente de la regulación de fase, a frecuencia $2f$.

La detección propiamente dicha se realiza por un multiplicador 42: la señal a medir es enviada a un amplificador que es bloqueado y desbloqueado alternativamente por la señal rectangular. La señal rayada de salida es inyectada en un integrador 44 de banda pasante estrecha que alimenta el aparato indicador 28.

El funcionamiento del dispositivo aparece en la figura 4, que muestra la variación en el tiempo de las señales que intervienen en el montaje de la figura



76

3.

5 La curva 30, en la parte superior de la figura 4, y la curva 30', muestran el campo de bombeo aplicado según el eje fácil de las capas 12 y 12', respectivamente; sobre estas curvas, h designa el campo a medir y H_0 la amplitud del campo para la cual la imantación bascula. Para que esta basculación intervenga por rotación coherente parcial, las capas son sometidas evidentemente a un campo de polarización conveniente.

10 En estas condiciones, el enrollamiento de detección 14 asociado a la capa 12 recibe una señal $\frac{dM}{dt}$ de la forma indicada en la figura 4, constituida por impulsos que se reproducen a intervalos de tiempos τ_1 y τ_2 : como se ha visto más arriba, se podría deducir h de una
15 comparación entre τ_1 y τ_2 y no utilizar más que una sola capa. Esta solución es, en la práctica, más difícil de utilizar y conduce a una sensibilidad menor que la de la figura 3.

20 De manera similar, el enrollamiento de detección 14' asociado a la capa 12' recibe una señal $\frac{dM'}{dt}$, que corresponde a una variación en el tiempo del campo aplicado indicado por la curva 30'. La yuxtaposición de las señales $\frac{dM}{dt}$ y $\frac{dM'}{dt}$ proporcionadas por los enrollamientos 14 y 14' colocados en serie, aparece en la curva
25 inferior de la figura 4: siendo el campo h diferente de cero, las basculaciones no son simultáneas y dan origen a impulsos bipolares sucesivos. Si, por el contrario, el campo h fuera nulo, la yuxtaposición de los impulsos conduciría a una resultante nula. Se muestra que, en un
30 cierto ámbito de intensidad del campo h dirigido según



el eje fácil, existe proporcionalidad entre la amplitud de los armónicos pares y la intensidad h .

Debido a la asociación de las dos capas, la señal fundamental desaparece en su totalidad, lo que hace menos crítica la necesidad de una filtración de eliminación de esta señal, transmitida desde el enrollamiento 14 al enrollamiento 18.

La elección de la frecuencia de excitación f es un compromiso entre varios factores. Siendo la amplitud de un armónico cualquiera directamente proporcional a la frecuencia de excitación, se tiene interés en adoptar una frecuencia elevada. Pero una frecuencia demasiado elevada sería incompatible con la creación de campos magnéticos por bobinados: una frecuencia del orden de 80 kHz es, en general, satisfactoria.

Es necesario, evidentemente, que la frecuencia y el campo de polarización sigan siendo muy estables: prácticamente, una medida con aproximación de 0,1 gamma conduce, para medir el campo terrestre, a una estabilidad de una aproximación de 10^{-6} .

Hay que señalar igualmente que la medición de los campos muy pequeños conduce a señales de amplitud muy pequeña. Un cálculo aproximado muestra que para $f = 80$ kHz, $h = 0,1$ gamma y amplitudes de 2 Oe y 1 Oe para el campo de bombeo y el campo donde interviene la basculación, se encuentra $\tau = 2 \cdot 10^{-3}$ ns (lo que sería prácticamente imposible de medir) y para una sonda tipo, una señal de algunos 10^{-6} voltios.

A título de ejemplo, se puede señalar que las características siguientes han sido adoptadas para un



magnetómetro: las dos láminas magnéticas, de 250 Å de grosor, presentaban las características siguientes:

- 5 H_c (campo coercitivo) : 2,6 Oe
- H_{ct} (campo coercitivo transverso): 3,8 Oe
- H_k (campo de anisotropía) : 2,3 Oe
- α_{90} (dispersión) : 1,8°
- 10 ruido mínimo : 0,5 gamma

15 Cada enrollamiento de bombeo tenía 500 espiras de 0,2 mm de diámetro, así como cada enrollamiento de detección. Cada enrollamiento de polarización tenía 50 espiras. El conjunto de las capas y de sus bobinados de bombeo y de detección ocupaba un volumen de 5 x 8 x 50 mm, siendo todos los enrollamientos de sección rectangular.

20 Tal dispositivo permite medir campos pequeños, inferiores a 1 gamma. El valor superior del campo que es posible medir depende de la manera en que es medido el campo.

25 1º) Si se utiliza el montaje ilustrado en la figura 3, es bien evidente que el límite superior de los campos mensurables es inferior a $\frac{H_k}{2}$, lo que en el caso de $H_k = 2,3$ Oe, conduce a un campo del orden del Oersted: evidentemente, se puede aumentar este valor aumentando H_c y H_k .

30 2º) Para poder prescindir de este límite, basta utilizar el magnetómetro como detector de cero mandando la señal proporcionada por el detector 26 una corrien-



te que pasa por enrollamientos de compensación que proporcionan un campo paralelo al eje fácil y lo regula a un valor tal que la señal sea nula. El campo de compensación es entonces igual al campo según el eje fácil de medir, campo que se puede deducir de la intensidad de la corriente. El campo máximo que se puede medir no está entonces limitado más que por la estabilidad del campo de compensación. Resta por tener en cuenta, naturalmente, el campo perpendicular, para evitar salir de la zona de funcionamiento. Pero una ventaja suplementaria de esta disposición reside en que las variaciones de sensibilidad debidas a los cambios del campo según el eje difícil no tienen más que poca importancia, puesto que se trata de un método de búsqueda de señal nula.

5
10
15
20
25
30

Cuando se utiliza el montaje ilustrado en la figura 3 y evocado en 1ª) más arriba, es evidentemente necesario calibrar el magnetómetro: el calibrado de la sensibilidad se puede hacer por comparación con un magnetómetro absoluto muy sensible, tal como un magnetómetro de resonancia magnética nuclear. La dificultad nacida del hecho de que este último mide el campo total en el cual está sumergido, y no una componente, puede ser superada añadiendo en la dirección de la sonda un campo complementario que se mide simultáneamente con los dos tipos de magnetómetro. Resta por determinar el cero, lo que se puede hacer colocando los órganos de detección en una cámara blindada que limita un espacio en que el campo es muy pequeño, si no nulo.

Como se ha indicado más arriba, son posibles evidentemente numerosas variantes de puesta en práctica.



En particular, en lugar de enrollamientos de bombeo y de detección distintos, se puede utilizar un solo enrollamiento, efectuándose el bombeo por medio de un filtro sintonizado a la frecuencia fundamental y la detección por medio de un filtro sintonizado a la frecuencia del armónico 2. Se puede utilizar igualmente, en lugar de enrollamientos de bombeo y de polarización distintos, un solo enrollamiento inclinado sobre el eje fácil en un ángulo comprendido entre 30 y 60° y que proporciona un campo alternativo cuya componente según el eje fácil constituye el campo de bombeo: esta orientación del bobinado es tal que el vector campo magnético aplicado franquea la curva II en la zona donde la basculación interviene por rotación parcial coherente.

En lugar de capas constituidas por láminas planas, se pueden utilizar capas tubulares depositadas sobre hilos. Se puede utilizar entonces el montaje ilustrado en la figura 5, donde los órganos que corresponden a los mostrados en la figura 3 llevan el mismo número de referencia aumentado en 100.

El dispositivo representado comprende dos hilos paralelos o alineados que comprenden, cada uno, un alma de cobre 32 ó 32' recubierta de una película de vidrio 34 ó 34' sobre la cual está depositada una capa delgada y uniforme 112 ó 112' de aleación hierro-niquel de eje fácil longitudinal. Este depósito se realiza, por ejemplo, por pulverización catódica. Eventualmente, una fuente 122 hace pasar por los hilos una corriente continua que crea un campo tangencial de polarización.

Se vuelve a ver en la figura 5 un circuito de



bombeo constituido por un generador 116 y los enrollamientos 118 y 118' y un circuito de detección que comprende los enrollamientos 114 y 114' y el amplificador 124.

5 Se ve que el dispositivo según el invento presenta, en sus diversos modos de utilización, numerosas ventajas sobre las disposiciones anteriores. Es susceptible de medir de manera precisa campos pequeños, especialmente de intensidad comprendida entre 10^5 gamma y 0,1 gamma. Esta característica, asociada al peso y al tamaño muy pequeños de la sonda, hace este magnetómetro perfectamente adaptado al empleo en satélite. Su directividad permite, además, asociando tres cabezas, utilizarlo para medir de manera precisa un ángulo de orientación con relación a las líneas de fuerza de un campo magnético.

10

15 Esta solicitud que corresponde a la presentada en Francia con fecha 10 de Octubre de 1.968, bajo el Nº PV 169.489, se acoge a los beneficios del artículo 51 del vigente Estatuto sobre Propiedad Industrial.

REIVINDICACIONES

20 Los puntos de invención propia y nueva que se presentan para que sean objeto de esta solicitud de Patente de Invención en España, por VEINTE años, son los siguientes:

25 1.- Dispositivo de medida de un campo magnético débil, que comprende una capa ferromagnética delgada, de tipo inverso, sometida a la acción del campo a medir,

12.12.69



5 medios para crear un campo magnético de bombeo periódico, alternativo, simétrico, dirigido paralelamente al eje de fácil imantación de la capa, un arrollamiento de detección, de eje paralelo al eje fácil de la capa, y medios de análisis de las señales recogidas por dicho arrollamiento de detección.

10 2.- Dispositivo según la reivindicación 1, caracterizado porque dichos medios de análisis miden la diferencia entre dos intervalos de tiempos sucesivos que separan las inversiones de la inducción en la capa, diferencia representativa de la componente del campo a medir, según el eje de fácil imantación.

15 3.- Dispositivo según la reivindicación 1, caracterizado porque dichos medios de análisis miden la amplitud de un armónico par (preferentemente armónico 2) de la señal eléctrica recogida en el arrollamiento de detección y debida a la inversión de inducción en la capa, cuya amplitud es una función creciente de la diferencia entre los intervalos de tiempo que separan las basculaciones sucesivas de la imantación.

20 4.- Dispositivo según la reivindicación 1, caracterizado porque dichos medios de creación del campo de bombeo están constituidos por un arrollamiento alimentado por un generador de corriente periódica, alterna, que crea un campo, del cual al menos una componente es paralela al eje fácil de la capa.

25 5.- Dispositivo según las reivindicaciones 1, 2 o 3, caracterizado por medios de aplicación a la capa de un campo de polarización dirigido perpendicularmente al eje fácil.

30

12.12.69



5 6.- Dispositivo según la reivindicación 5, caracterizado porque el campo de polarización está dirigido según el eje de difícil imantación de la capa (perpendicular al eje fácil) y continuo, y porque presenta una intensidad del mismo orden de magnitud que la amplitud del campo de bombeo.

10 7.- Dispositivo según la reivindicación 6, caracterizado porque siendo dicha capa una lámina plana, el campo de polarización dirigido según el eje de imantación difícil de la capa (perpendicular al eje fácil), es alternativo, y porque está constituido por la componente según el eje difícil de un campo alternativo cuya componente según el eje fácil constituye el campo de bombeo.

15 8.- Dispositivo según la reivindicación 7, caracterizado porque dicho campo alternativo está creado por un arrollamiento que forma un ángulo comprendido entre 30 y 60° con el eje fácil.

20 9.- Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque comprende dos capas ferromagnéticas delgadas, montadas con sus ejes fáciles paralelos, siendo los arrollamientos de bombeo y de detección del mismo sentido en una de las capas y de sentido inverso para la otra capa, estando en serie los dos arrollamientos de detección y alimentando una cadena de medición de la amplitud de un armónico par de la frecuencia de bombeo.


25 30 10.- Dispositivo de medida de un campo magnético débil.



Tal y como se ha descrito en la Memoria que antecede, representado en los dibujos que se acompañan y con los fines que se han especificado.

5 Esta Memoria consta de veinticinco hojas escritas a máquina por una sola cara.

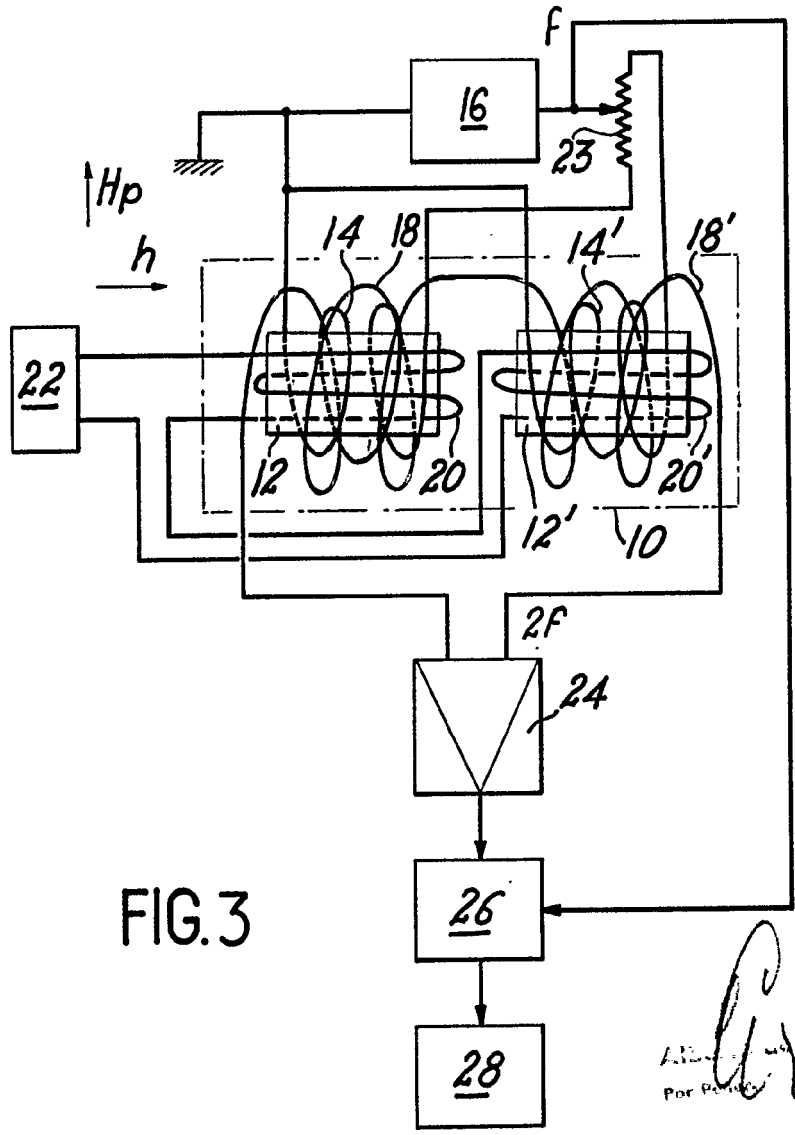
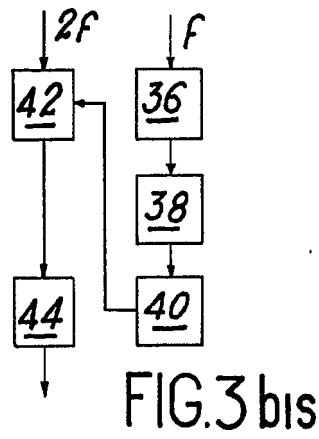
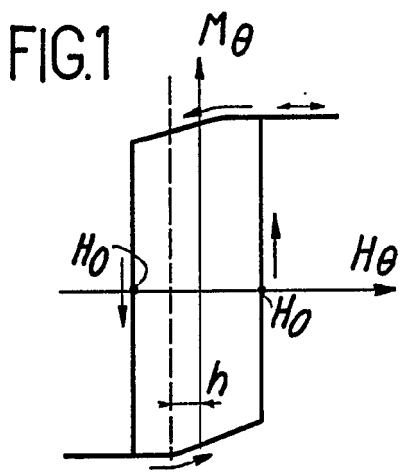
Madrid, 16 DIC. 1969
P.A.

Alberto de Elzaburs
Por Poder


12.12.69

BDG(.





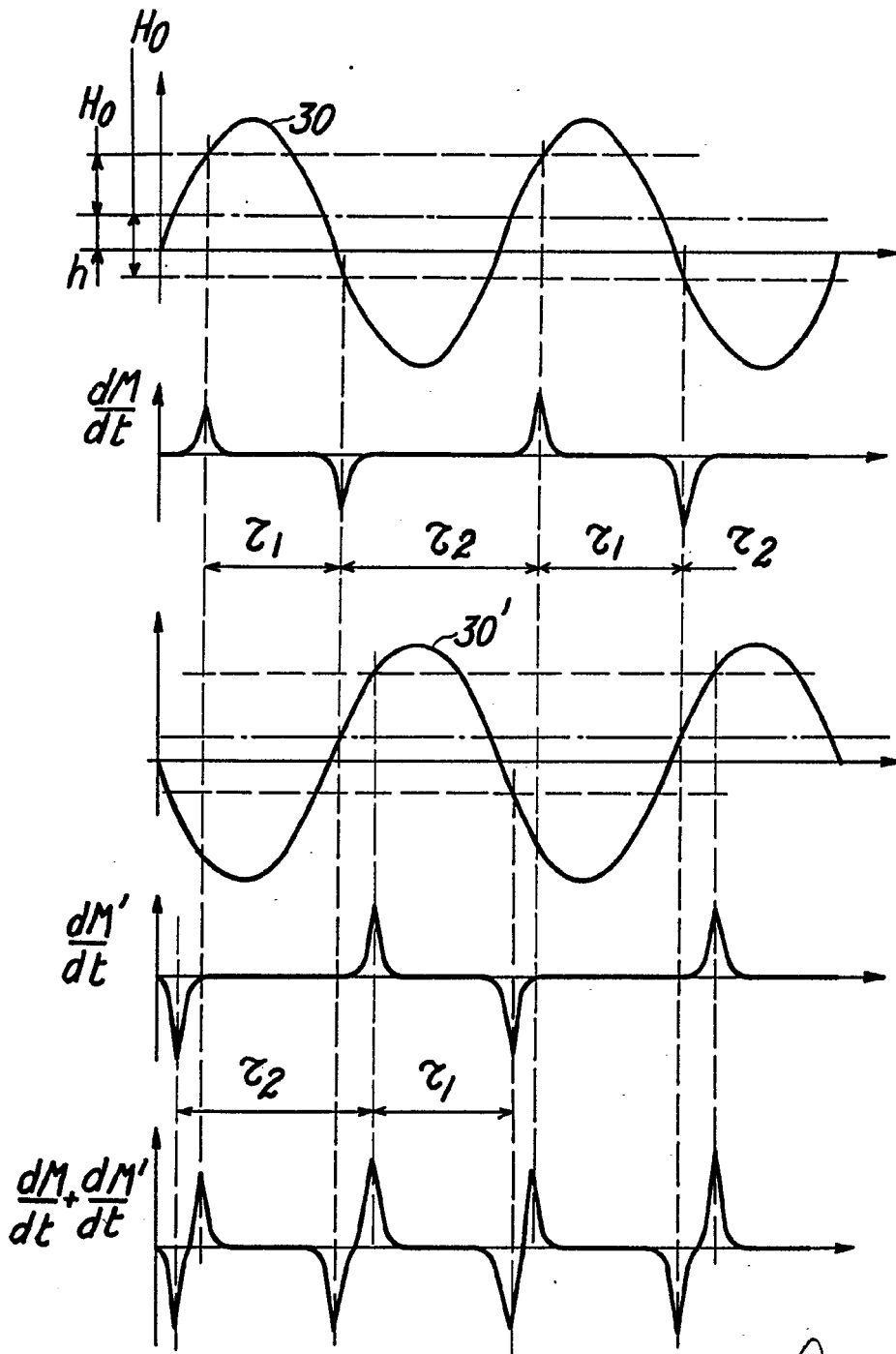


FIG. 4

Albert
Por Podet

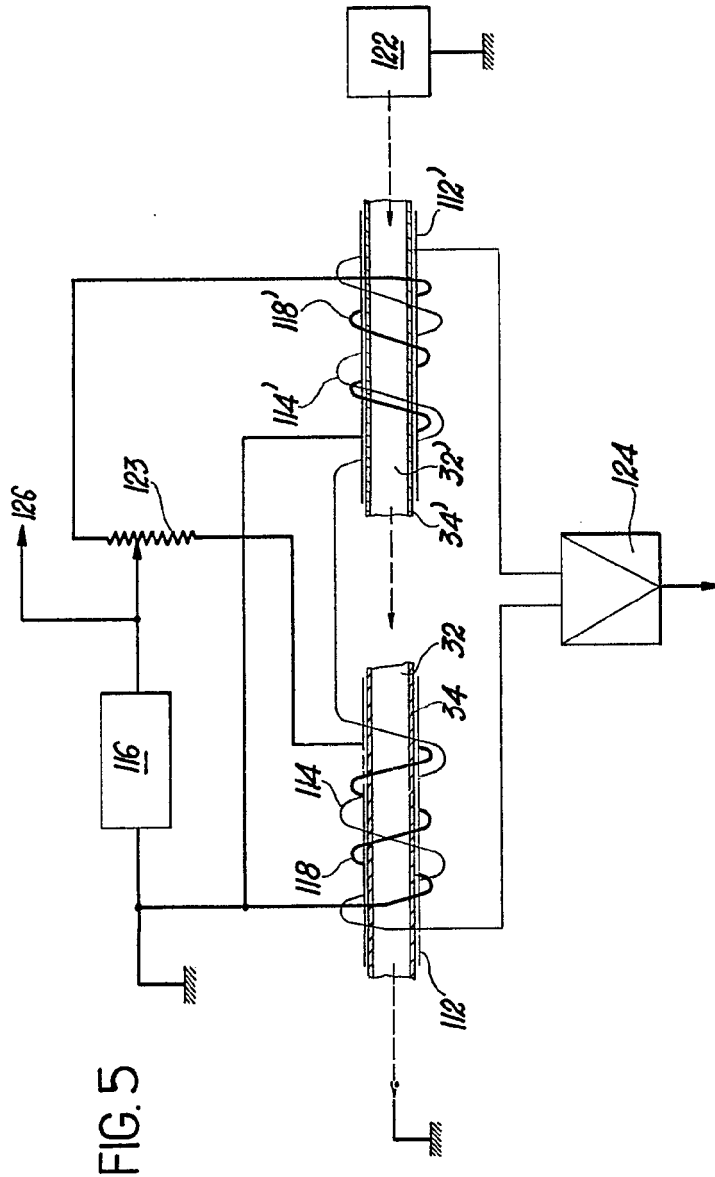


FIG. 5

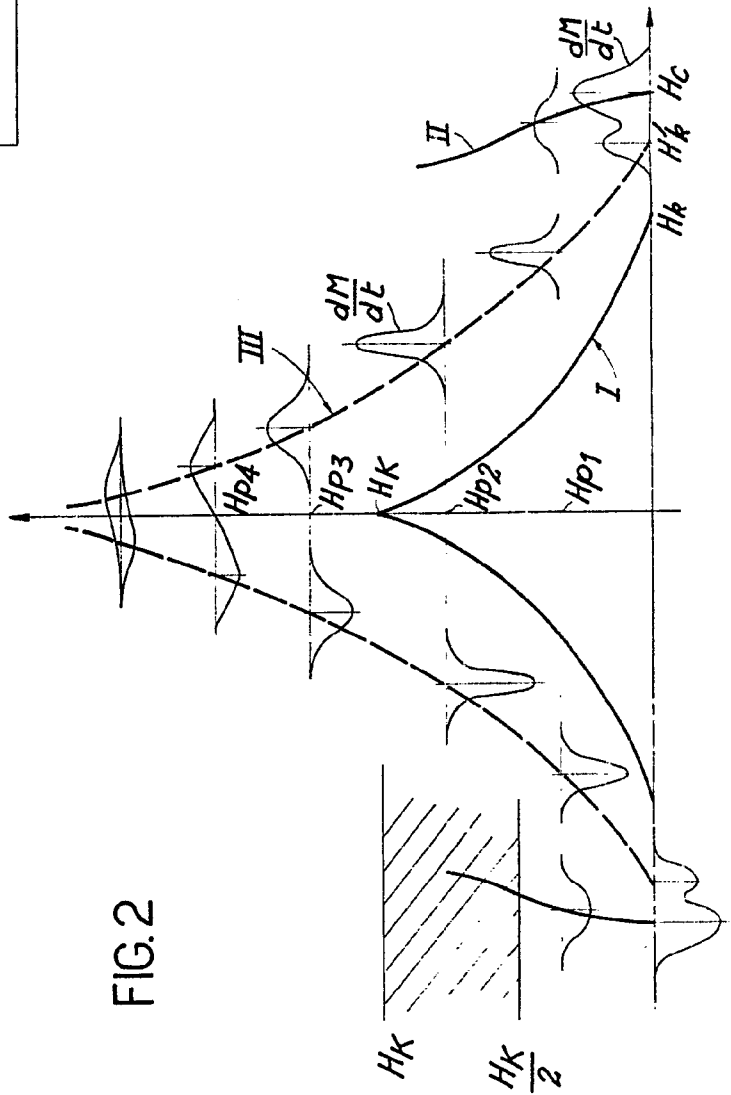


FIG. 2

Handwritten signature or initials.

FIG. 2

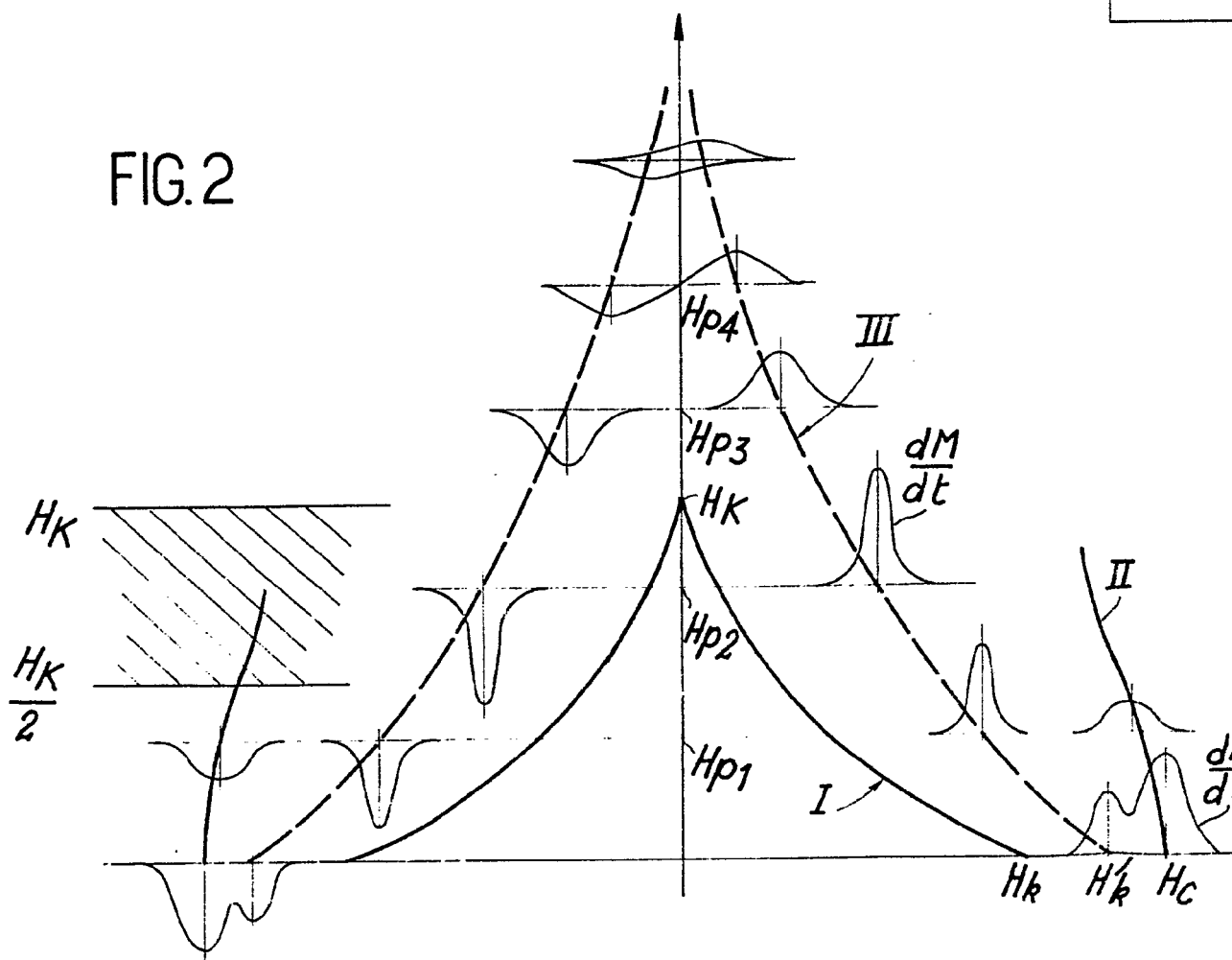
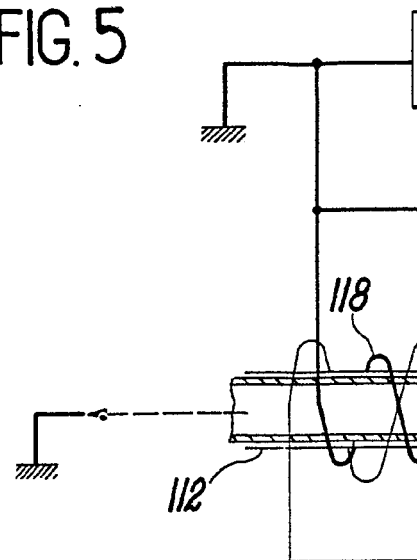
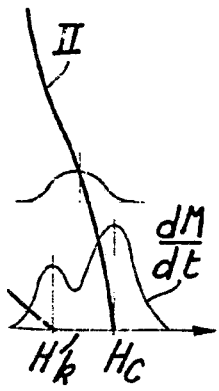
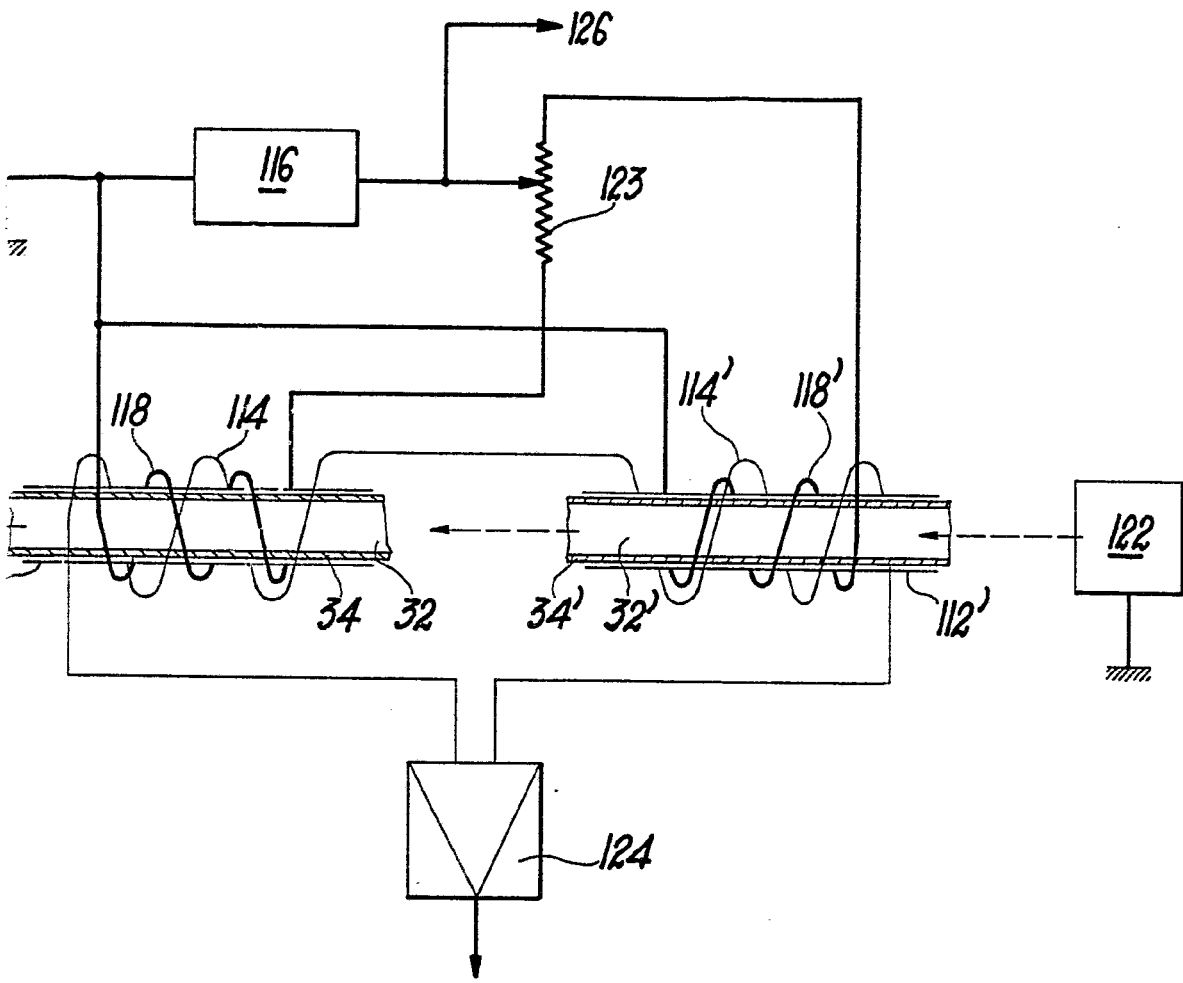


FIG. 5





Arre