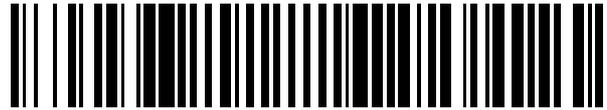


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 400 025**

51 Int. Cl.:

G07D 5/08 (2006.01)

G07D 5/00 (2006.01)

G05B 23/02 (2006.01)

G01B 7/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.10.2008 E 08841778 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.11.2012 EP 2203902**

54 Título: **Sensor de monedas**

30 Prioridad:

23.10.2007 US 877437

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

05.04.2013

73 Titular/es:

**MEI, INC. (100.0%)
1301 WILSON DRIVE
WEST CHESTER, PA 19380, US**

72 Inventor/es:

**BAUDAT, GASTON y
FURNEAUX, DAVID MICHAEL**

74 Agente/Representante:

PÉREZ BARQUÍN, Eliana

ES 2 400 025 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sensor de monedas

5 Campo de la invención

Esta invención se refiere a un sensor de monedas y a un método para determinar la autenticidad y/o la denominación de una moneda usando un sensor de monedas.

10 Descripción de la técnica anterior

Es conocido hacer mediciones electromagnéticas de monedas y entonces procesar esas mediciones para determinar si una moneda es una moneda auténtica que pertenece a una cierta clase o denominación. Típicamente, una inductancia está montada cerca de una trayectoria de moneda de manera que el campo generado por la aplicación de una señal de activación a la inductancia es influido por la moneda a medida que pasa.

Es conocido activar la bobina usando una señal de activación que contiene un amplio espectro de frecuencias, por ejemplo mediante la aplicación de una señal de activación de onda cuadrada que contiene armónicos múltiples. La influencia de la moneda sobre el campo se muestrea entonces en instantes de tiempo sucesivos con relación a las transiciones en la señal de activación. Las muestras tomadas en diferentes momentos están influidas predominantemente por el material a diferentes profundidades dentro de la moneda. Esta técnica de medición en el dominio tiempo puede tener ventajas en comparación con mediciones en el dominio frecuencia que usan filtros analógicos.

El documento US-A-4717006 divulga un cierto número de disposiciones de medición de corriente de Foucault en el dominio tiempo. La divulgación indica que es posible usar, como sensor de monedas, o bien una única bobina o bien un par de bobinas de transmisión/recepción. Cuando se usa una única bobina, el voltaje de salida a través de la bobina se mide después de que se apague el voltaje de activación. El voltaje de salida disminuirá a un ritmo que depende de la estructura material de la moneda. En una disposición de bobina de transmisión/recepción, la moneda pasa cerca de ambas bobinas, la señal de activación se aplica a la bobina de transmisión, y los efectos de la moneda se determinan mediante la medición de la salida de la bobina de recepción.

Las disposiciones divulgadas son inadecuadas para extraer información detallada de medición con relación a monedas con chapado fino, tales como las monedas de acero chapado. Con el fin de realizar mediciones que son más indicativas del material de chapado muy fino, es necesario tomar muestras muy cerca (poco antes o después) de una transición de voltaje en la señal de activación. Preferiblemente, la medición debería incluir mediciones tomadas aproximadamente dos, cuatro y ocho microsegundos antes o después de una transición. Sin embargo, los circuitos divulgados no serían capaces de conseguir mediciones precisas con esas disposiciones temporales. En la disposición de única bobina, si la resistencia a través de la inductancia es baja, llevaría una cantidad significativa de tiempo descargar la energía en la bobina después de una transición, dando como resultado un "anillado", que enmascararía los efectos de las corrientes de Foucault decrecientes en la bobina. Por otro lado, si la resistencia es elevada, el flujo de corriente causado por las corrientes de Foucault decrecientes sería muy pequeño y difícil de medir. En una disposición de bobina de transmisión/recepción, la inductancia mutua entre las bobinas enmascararía los efectos de las corrientes de Foucault en la moneda.

Sería posible usar bobinas concéntricas apantalladas (por ejemplo como se muestra en los documentos EP-A-489041 y EP-A-1589493) para mitigar este problema. Sin embargo, ésta es una solución cara que no resuelve completamente el problema.

El documento EP 1172772 A2 divulga un método y un aparato para obtener características físicas de monedas para su identificación, que consiste en someter las monedas a dos etapas consecutivas de medición electromagnética, definidas por unas parejas primera y segunda de bobinas; en una de dichas parejas, las bobinas están conectadas de una manera tal que sus campos magnéticos se suman y, en la otra, de una manera tal que sus campos magnéticos se restan; etapas que proporcionan señales que son procesadas para obtener parámetros representativos de la moneda; caracterizado porque las cuatro bobinas están conectadas entre sí de acuerdo con una configuración de puente y porque se las suministra simultáneamente al menos dos, y preferiblemente tres, señales de diferentes frecuencias, obteniendo simultáneamente en cada etapa, al paso de las monedas, dos señales de puente completo para cada frecuencia y dos señales adicionales de medio puente para la frecuencia más alta, siendo en cada caso una de las señales representativa de la variación de la componente resistiva.

El documento US 3.675.244 divulga un aceptador de monedas que detecta la resistividad volumétrica y la permeabilidad de una moneda y determina si la moneda es válida o no. Un inductor de dos bobinas forma un ramo de un puente Maxwell normalmente desequilibrado y está dispuesto en una estación de comprobación que está interpuesta en un canal a través del cual pasa la moneda. Las dos bobinas tienen campos magnéticos de asistencia en serie y están dispuestas en lados opuestos del canal de monedas con líneas de fuerza que cruzan el canal en ángulo generalmente recto con relación a las caras opuestas de una moneda que se está comprobando. Una

moneda válida que se mueve a través de las líneas de fuerza hace que la inductancia cambie y efectúa un equilibrado del puente. Si esto se produce durante todo un período predeterminado de comprobación, un desviador de monedas por debajo de la estación de comprobación se retira para permitir que la moneda entre en una trayectoria de aceptación.

5 La ponencia "A system identification based approach for pulsed eddy current non-destructive evaluation" de Z. Q. Zhang y otros (publicada en MEASUREMENT SCIENCE AND TECHNOLOGY, IOP, Bristol, GB, vol. 18, nº 7, 1 de julio de 2007, páginas 2083-2091, ISSN: 0957-0233, DOI: 10.1088/0957-0233/18/7/039) trata sobre el desarrollo de un nuevo enfoque basado en la identificación de sistemas para la evaluación no destructiva de corriente de Foucault pulsada. El nuevo enfoque considera la relación entre la excitación de sonda de corriente de Foucault y la respuesta del sensor como un sistema, usa las técnicas de identificación de sistemas para establecer un modelo de función de transferencia para el sistema a partir de los datos de excitación y de respuesta, y extrae los rasgos de estructuras inspeccionadas a partir de los parámetros identificados del modelo de función de transferencia para evaluaciones no destructivas. El uso del nuevo enfoque en estudios experimentales verifica su eficacia y demuestra su potencial en aplicaciones de ingeniería.

20 La ponencia "A system identification approach to the modelling of pulsed eddy-current systems" de M. Dacic y otros (publicada en NDT & E INTERNATIONAL, BUTTERWORTH-HEINEMANN, Oxford, GB, vol. 38, nº 2, 1 de marzo de 2005, páginas 107-111, ISSN: 0963-8695) presenta un enfoque novedoso en el modelado de sistemas de corriente de Foucault pulsada. Se usa análisis de elementos finitos en el dominio frecuencia para construir un modelo de respuesta a impulsos finitos (FIR por sus siglas en inglés) en el dominio z. El modelo FIR permite que la excitación se varíe sin necesidad de que el análisis de campo se realice de nuevo. Además, el enfoque propuesto para el modelado de la función del sistema permite un espaciado desigual de las muestras de frecuencia. Esto posibilita una mayor precisión del modelado en el rango de frecuencias en el que la respuesta de magnitud o de fase del sistema varía enormemente. El enfoque propuesto se validó en un sistema de corriente de Foucault pulsada de campo remoto en un tubo ferromagnético. Se consiguió una excelente concordancia entre la respuesta predicha y la medida.

30 Sería deseable por lo tanto proporcionar una disposición mejorada para mediciones de corrientes de Foucault en el dominio tiempo de una moneda que permita tomar mediciones predominantemente influidas por una capa superficial muy fina de la moneda.

35 También sería deseable extraer un gran número de mediciones de la moneda, que dé información muy detallada sobre la moneda que se está comprobando, y procesar esas mediciones con el fin de obtener una mejor discriminación. Sin embargo, las técnicas de la técnica anterior para procesar mediciones están limitadas y no se adaptan ágilmente para uso con un gran número de mediciones. Sería particularmente deseable desarrollar tal procedimiento de procesamiento que fuera adecuado para uso no sólo con mediciones de corriente de Foucault en el dominio tiempo, sino también con otros tipos de mediciones.

40 **Sumario de la invención**

La presente invención está definida en las reivindicaciones independientes adjuntas a las que se debe hacer referencia. Rasgos ventajosos están establecidos en las reivindicaciones dependientes adjuntas.

45 La invención proporciona dos soluciones separadas para los problemas establecidos anteriormente, una con relación a la estructura de equipo físico de un sensor de monedas para mediciones de corriente de Foucault en el dominio tiempo y la otra con relación a un método mejorado para procesar tales mediciones, de diferentes tipos de mediciones, de una moneda. Aunque estas soluciones se pueden usar independientemente, hay ventajas particulares usándolas en combinación.

50 De acuerdo con un aspecto adicional de la presente invención, un sensor de monedas está dispuesto para realizar mediciones de corriente de Foucault en el dominio tiempo usando una inductancia, en el que la inductancia forma un ramal de un puente de CA. Un puente de CA divide la corriente generada por una señal de activación en dos trayectorias, que comprenden cada una dos ramales conectados en serie, cogiéndose la salida del puente del nodo entre los ramales de la primera trayectoria y del nodo entre los ramales de la segunda trayectoria. Cuando están en equilibrio, las dos trayectorias tienen características de CA coincidentes y la salida es cero. Las características de CA de solamente una de las trayectorias, que contiene la inductancia, se cambian cuando una moneda está cerca de la inductancia. Preferiblemente, el puente está sustancialmente en equilibrio cuando no hay ninguna moneda en las proximidades de la inductancia. De acuerdo con ello, la señal de salida del puente cambia desde sustancialmente cero hasta un valor que depende de las características de la moneda. Este cambio proporcionalmente muy grande facilita la detección de los efectos de pequeñas corrientes de Foucault, mientras que las características de impedancia del puente impiden el "anillado" de la inductancia.

65 El puente es preferiblemente un puente Maxwell, igualándose las características de CA en la trayectoria que contiene la inductancia en virtud de la presencia de un condensador en la otra trayectoria.

Aunque los circuitos de puente se han usado en el pasado en sensores de monedas (por ejemplo en el documento US-A-4513762), generalmente se han hecho funcionar con señales de activación de una sola frecuencia y se han sintonizado de manera que la presencia de monedas de una denominación específica hace que aparezcan valores nulos a través del puente. Tales disposiciones no serían adecuadas para uso con señales de banda ancha como se usan en la presente invención.

De acuerdo con un aspecto aún adicional de la invención, la comprobación de monedas se lleva a cabo mediante el uso de un sensor de monedas para derivar múltiples mediciones de una moneda, y entonces derivar los coeficientes de un modelo de la función de transferencia de la moneda y el sensor. Por ejemplo, los coeficientes se pueden derivar usando algoritmos y técnicas matemáticas conocidas, tales como técnicas iterativas o de estimación, usando muestras de entrada y de salida y el modelo. De manera similar, los coeficientes para un modelo dado se pueden derivar mediante el ajuste de los coeficientes del modelo de manera que modela la función de transferencia de la moneda y el sensor, como se indica por la salida de modelo que corresponde a las muestras de medición. Entonces de aplican criterios de aceptación usando los coeficientes, mediante la aplicación de criterios de aceptación a los coeficientes, o datos derivados de los coeficientes, para determinar la clase o denominación de la moneda. Preferiblemente, también se aplica al modelo una señal de activación que se usa para activar el sensor de monedas. Esto se podría evitar si la señal de activación es conocida, porque los parámetros de la señal de activación pueden formar entonces parte del modelo. Sin embargo, en la realización preferida, la señal de activación es compleja y/o variable, y posiblemente aleatoria, y consiguientemente el modelo se puede hacer mucho más simple y más eficaz mediante la exclusión de la propia señal de activación, que en cambio se aplica como entrada al modelo.

Puede haber más de un modelo de moneda y el sensor, y el modelo puede cambiar o evolucionar con el tiempo. El comprobador de monedas puede tener más de un sensor. Cada sensor puede tener un o unos respectivos modelos. Alternativamente, se pueden modelar juntos una combinación de sensores, por ejemplo usando un modelo de entrada múltiple y salida múltiple (MIMO por sus siglas en inglés).

Usando esta técnica, es posible procesar numerosas mediciones para obtener un análisis muy detallado del efecto de la moneda sobre el sensor, teniendo aún así que procesar solamente un número limitado de coeficientes en la etapa de clasificación.

Las mediciones son preferiblemente mediciones de corriente de Foucault en el dominio tiempo, y se derivan preferiblemente usando un sensor de acuerdo con el aspecto anterior de la invención.

La invención también proporciona un aparato dispuesto para llevar a cabo los pasos del método, por ejemplo usando componentes adecuados de equipo físico y/o equipo lógico, tal como un procesador.

Breve descripción de los dibujos

Ahora se describirán disposiciones que materializan la presente invención, a modo de ejemplo con referencia a los dibujos que se acompañan.

La figura 1 es un diagrama de un comprobador de monedas en consonancia con la presente invención.

La figura 2 es un gráfico que muestra las señales en diversos puntos en el circuito del comprobador de monedas de la figura 1.

La figura 3 es un cuadro que muestra una señal de activación que se aplica a un sensor de monedas del comprobador de monedas de la figura 1, la salida analógica del sensor de monedas y muestras derivadas de la salida analógica.

La figura 4 es un diagrama esquemático de un puente Maxwell.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas

Un comprobador 2 de monedas en consonancia con la presente invención está mostrado en la figura 1. El comprobador 2 de monedas comprende un sensor 4 de monedas, un circuito 6 de activación y un circuito 8 de procesamiento.

El sensor 4 de monedas tiene un terminal 10 de entrada y un circuito 12 de puente Maxwell conectado entre el terminal 10 de entrada y tierra. El circuito 12 de puente tiene dos trayectorias entre el terminal 10 de entrada y tierra. Una primera trayectoria comprende un primer ramal que incluye una resistencia R1 conectado en serie con un segundo ramal que comprende un condensador C, cuya resistencia parásita está indicada como RC.

La segunda trayectoria comprende un tercer ramal que incluye una inductancia L conectado en serie con un cuarto ramal que comprende una resistencia R2. La resistencia inherente de la bobina L está indicada como RL. La salida del puente 12 se deriva de un primer terminal A en el nodo entre la resistencia R1 y el condensador C de la primera

trayectoria, y un segundo terminal B entre el conductor L y la resistencia R2 de la segunda trayectoria. Las señales en estos puntos A y B se aplican a un amplificador diferencial U1, cuya salida forma la salida 14 del sensor 4 de monedas.

5 Suponiendo que el borde ascendente de una onda cuadrada se aplique al terminal 10, entonces el voltaje en el

punto A será un voltaje exponencialmente ascendente con una constante de tiempo $T_1 = \frac{CR_1R_C}{R_1 + R_C}$. El voltaje en el

terminal B es un voltaje exponencialmente ascendente con una constante de tiempo $T_2 = \frac{L}{R_2 + R_L}$. Se obtendrá una salida 14 de cero cuando el puente esté en equilibrio y las constantes de tiempo y las ganancias de CC sean iguales, lo que significa dos condiciones: $LR_1^{-1} = CR_2$ y $R_C R_1^{-1} = R_2 R_L^{-1}$.

10 La inductancia L está formada por una única bobina en las proximidades de una trayectoria de moneda, y produce un campo que está influido por la presencia de una moneda 16 que viaja a lo largo de la trayectoria de moneda (aunque sería posible formar la inductancia L con más de una bobina, las propiedades combinadas de las bobinas representarían una única inductancia en el circuito 12 de puente).

15 Haciendo referencia a la figura 2, ésta es un gráfico con un eje horizontal de tiempo que muestra unidades arbitrarias de tiempo. La forma de onda etiquetada como "inactividad" representa el voltaje cambiante (usando la escala a la izquierda del gráfico, que es de unidades arbitrarias de voltaje) de la señal en el terminal A del puente 12 que se obtiene en respuesta a la aplicación del borde ascendente de una onda cuadrada al terminal 10 de entrada.
 20 Suponiendo que no hay ninguna moneda 16 adyacente a la inductancia L, y que el puente está en equilibrio, entonces el voltaje desarrollado en el terminal 16 será el mismo, de modo que la salida 14 seguirá siendo cero. Sin embargo, si hay una moneda adyacente a la inductancia L, entonces el cambio de voltaje que aparece en el terminal B se diferenciará del cambio de voltaje en el terminal A. La forma de onda etiquetada como "moneda" en la figura 2 representa el voltaje cambiante en el terminal B, usando la escala izquierda, cuando se aplica el borde de ataque de una onda cuadrada en presencia de una moneda. El voltaje cambiante en el terminal A todavía corresponde a la curva "inactividad".

25 Se observará que el cambio en voltaje desde la forma de onda "inactividad" hasta la forma de onda "moneda" es pequeño. Aunque sería posible medir el cambio en el voltaje que aparece en el terminal B directamente, el cociente de señal sobre ruido sería muy bajo debido a la cuantización de la conversión analógico-digital (ADC por sus siglas en inglés). Mediante la derivación de la salida a partir de la diferencia entre los voltajes en los terminales A y B, es posible obtener una salida (mostrada por la forma de onda etiquetada como "dif" en la figura 2, que usa la escala en el lado derecho de la figura 2, que está en unidades de voltaje arbitrarias), con un cociente sustancialmente aumentado de señal sobre ruido.

30 En una disposición alternativa, la resistencia R1 está sustituida por una inductancia y el condensador C por una resistencia. Esto funcionaría de una manera similar, pero es menos preferido porque proporcionar un condensador es generalmente menos costoso que proporcionar una inductancia.

35 La señal de activación aplicada al terminal 10 de entrada se obtiene de un circuito 6 de activación. Éste comprende un generador 18 de reloj que activa, por mediación de un circuito 20 de retardo, un generador aleatorio 22, que es preferiblemente un generador pseudo-aleatorio de secuencia binaria. La salida del generador 22 conmuta entre niveles positivo y negativo al inicio de ciclos de reloj seleccionados aleatoriamente. La salida se aplica a un amplificador 24, cuya salida forma una señal de activación aplicada al sensor 10 de monedas.

40 La figura 3 es un cuadro con un eje horizontal de tiempo y un eje vertical de amplitud, ambos en unidades arbitrarias, y muestra una parte típica de la señal de activación, etiquetada como "V_{in}(t)". Ésta consta de voltajes constantes de unidad o bien más uno o bien menos uno y transiciones de voltaje sustancialmente instantáneas entre los niveles constantes, es decir, una onda cuadrada bipolar. El intervalo mínimo entre transiciones es un único período de reloj.
 45 El intervalo máximo estará determinado por el generador aleatorio 22. Muchos generadores aleatorios adecuados, incluyendo generadores pseudo-aleatorios y verdaderos generadores aleatorios no deterministas, son conocidos por los expertos en la técnica (el término "aleatorio" está destinado en el presente documento a incluir, sin limitación, no solamente señales puramente aleatorias, generadas de manera no determinista, sino también señales pseudo-aleatorias y/o deterministas tales como la salida de una disposición de registro de desplazamiento provista de un
 50 circuito de retroalimentación como se usa en la técnica anterior para generar señales binarias pseudo-aleatorias y señales caóticas).
 55

La señal analógica de salida V_{out}(t) proporcionada en el terminal 14 se entrega al circuito 16 de procesamiento. La señal de salida se aplica primero a un convertidor analógico-digital 26, que muestrea la señal 14 de salida, tomándose cada muestra en respuesta a un pulso de reloj a la salida del generador 18 de reloj. El retardo 20 garantiza que cada transición en la señal de activación se producirá en un intervalo muy corto después de un tiempo de muestreo.
 60

La salida del convertidor 26 es una secuencia de muestras mostradas en $V_{out}[k]$ en la figura 3, en donde k es un índice que representa la posición de la muestra en la secuencia ordenada por tiempo. Éstas se entregan a un procesador 28 que también recibe la salida del generador aleatorio 22 (señal de entrada).

Preferiblemente, la señal de entrada también se muestrea. Es posible usar el conocimiento de la señal de entrada en el procesamiento subsiguiente, pero en la práctica el efecto del equipo físico podría ser tal que fuera deseable un muestreo. Aunque el muestreo de la señal de entrada aumenta el coste y el procesamiento implicados, tiene ventajas, tales como en la calibración de comprobadores individuales de monedas.

El procesador 28 almacena un modelo que, mediante una elección adecuada de coeficientes del modelo, puede representar la función de transferencia del sensor 4 de monedas cuando una moneda 16 de una denominación específica está situada en las proximidades de la inductancia L .

El modelo se puede desarrollar en una etapa de diseño usando un conocimiento de la física del sensor de monedas mediante el empleo de cualquiera de un cierto número de técnicas conocidas.

Más adelante se describen ejemplos de técnicas para modelar un sistema.

Suponiendo un sistema analógico activado por una señal analógica segmentada como se describió anteriormente, $H(s)$ y el asociado $H(z)$ son unos modelos analógico y digital que describen el sistema. En esta realización, la elección de un modelo (órdenes p y q) se basa en una comprensión de la construcción y la dinámica del sistema.

Un problema común es estimar los coeficientes del modelo, o su ganancia, sus polos y sus ceros, a partir de un experimento práctico. Esta tarea se llama identificación del sistema.

Una manera de hacer esto es usar una señal específica de entrada, tal como una secuencia binaria pseudo-aleatoria (PRBS por sus siglas en inglés) y grabar la salida asociada del sistema. Entonces, para un modelo esperado predefinido (transformación en Z del sistema) un algoritmo de identificación calculará la "mejor" estimación.

Hay muchos algoritmos para tal tarea. Dependen de la estructura del modelo y las suposiciones sobre los ruidos de entrada y de salida. Referencias pertinentes incluyen "Adaptive Filter Theory", 4ª edición, Simon Haykin; "System Identification Toolbox for Use with Matlab®", The Mathworks inc. Versión 5; "Digital Signal Processing, a Practical Approach", Emmanuel C. Ifeachor, Barrie W. Jervis; y "A Course in Digital Signal Processing", Boaz Porat. Véase también <http://www.cheric.org/education/practical/mpc2-132-141.pdf>, que incluye una discusión de técnicas de entrada múltiple / salida múltiple (MIMO por sus siglas en inglés). Otras referencias que discuten técnicas MIMO incluyen la ponencia "Process Control Applications of Subspace and Regression-based Identification and Monitoring Methods" de Ben C. Juricek, Dale E. Seborg y Wallace E. Larimore, y el libro de texto "Advanced Practical Process Control" de Ben H. Betlem y Brian Roffel.

Un algoritmo sencillo adecuado se llama ARX por el término inglés "Auto Regressive with eXogenous input" (autorregresivo con entrada exógena). La identificación se puede hacer en modo de lotes, lo que significa recoger todas las muestras procedentes de las señales de entrada y de salida primero y entonces estimar los coeficientes del modelo.

Un enfoque alternativo implica usar un procedimiento iterativo capaz de estimar en tiempo real el coeficiente fijado en cada nuevo par de muestras, tal como el algoritmo RLS (por el término inglés "Recursive Least Squares" - mínimos cuadrados recursivos).

Otra técnica que es especialmente adecuada es el uso de un algoritmo y un modelo de error de salida (OE por sus siglas en inglés), tal como se describe en "An output error model and algorithm for electromagnetic system identification" de D.M. Goodman y D.G. Dudley, Circuits Systems Signal Process vol. 6, n.º. 4, 1987, págs. 471-505.

La identificación y la teoría de filtro adaptativo están estrechamente relacionadas puesto que encontrar el modelo correcto en tiempo real se puede ver como un problema de filtrado.

Por ejemplo, haciendo referencia a la disposición de la figura 1 que incluye el circuito 12 de puente Maxwell, se puede mostrar que la función de transferencia de un puente Maxwell, como se muestra esquemáticamente en la figura 4, se puede expresar como:

$$(1) \quad H_o(s) = \frac{L\{v_{out}\}}{L\{v_{in}\}} = \frac{G_{o2}}{T_2} \left(\frac{1}{(s+T_2^{-1})} \right) - \frac{G_{o1}}{T_1} \left(\frac{1}{(s+T_1^{-1})} \right)$$

Con:

$$G_{01} = \frac{R_C}{R_1 + R_C} \text{ la ganancia de CC de la rama capacitiva (nº 1) del puente}$$

$$G_{02} = \frac{R_2}{R_2 + R_L} \text{ la ganancia de CC de la rama inductiva (nº 2) del puente}$$

5 $T_1 = \frac{CR_1R_C}{R_1 + R_C} \text{ la constante de tiempo total de la rama nº 1}$

$$T_2 = \frac{L}{R_2 + R_L} \text{ la constante de tiempo total de la rama nº 2}$$

10 El puente está equilibrado para cualquier frecuencia, incluyendo 0, si se cumplen las dos siguientes condiciones:

- La condición de CC: $R_C R_1^{-1} = R_2 R_L^{-1}$ (divisor de voltaje)

- La condición de CA: $LR_1^{-1} = CR_2$ (constante de tiempo)

15 Puesto que la relación (1) ya está en una forma sencilla, se puede expresar fácilmente la equivalente transformada en Z H(z).

$$(2) \quad H(z) = G_{02}z^{-1} - G_{02}e^{\frac{-\Delta t}{T_2}} \left(\frac{z^{-1} - z^{-2}}{1 - z^{-1}e^{\frac{-\Delta t}{T_2}}} \right) - G_{01}z^{-1} + G_{01}e^{\frac{-\Delta t}{T_1}} \left(\frac{z^{-1} - z^{-2}}{1 - z^{-1}e^{\frac{-\Delta t}{T_1}}} \right)$$

$$H(z) = \frac{G_{02}(1 - e^{\frac{-\Delta t}{T_2}})z^{-1}}{1 - z^{-1}e^{\frac{-\Delta t}{T_2}}} - \frac{G_{01}(1 - e^{\frac{-\Delta t}{T_1}})z^{-1}}{1 - z^{-1}e^{\frac{-\Delta t}{T_1}}}$$

20 Mediante la siguiente relación (3) se da una forma más útil. Esta última se puede traducir directamente en una ecuación de diferencias que lleva a un filtro IIR digital (4), que supone que $V_{in}(t)$ es una señal segmentada y un procedimiento de muestreo como se definió anteriormente.

$$(3) \quad H(z) = \frac{b_0 + b_1z^{-1} + b_2z^{-2}}{a_0 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2}}$$

25 Con:

$$a_0 = 1$$

$$a_1 = -e^{\frac{-\Delta t}{T_1}} - e^{\frac{-\Delta t}{T_2}}$$

$$a_2 = e^{\frac{-\Delta t(T_1+T_2)}{T_1T_2}}$$

$$b_0 = 0$$

$$b_1 = G_{02}(1 - e^{\frac{-\Delta t}{T_2}}) - G_{01}(1 - e^{\frac{-\Delta t}{T_1}})$$

$$b_2 = G_{01}(1 - e^{\frac{-\Delta t}{T_1}})e^{\frac{-\Delta t}{T_2}} - G_{02}(1 - e^{\frac{-\Delta t}{T_2}})e^{\frac{-\Delta t}{T_1}}$$

30 (4) $v_{out}[k] = -a_1v_{out}[k-1] - a_2v_{out}[k-2] + b_1v_{in}[k-1] + b_2v_{in}[k-2]$

35 Puesto que el sistema analógico (puente Maxwell) es estable y el uso del método de respuesta de impulso muestreada (SIR por sus siglas en inglés), el filtro (4) también es estable. Se debe apreciar que hay solamente cuatro coeficientes de filtro que dependen de los componentes del sistema. Aún así se tienen seis componentes en el puente, lo que significa que hay una cantidad infinita de posibilidades para que lleven al mismo filtro. Para

alcanzar un mapeo de uno a uno entre el filtro y el sistema analógico se necesita o bien conocer algunos componentes de antemano (tal como la rama nº 1) o bien centrarse solamente en constantes de tiempo y ganancias de CC T_1 , T_2 , G_{01} , G_{02} , puesto que aparecen en ambas formas analógica y digital. Esta observación es especialmente pertinente para el punto de vista de la identificación y el reconocimiento de monedas.

5 Se puede entonces derivar un modelo, y entonces se estiman los parámetros del modelo a partir de las muestras de las señales de entrada y de salida del sistema.

10 Por ejemplo, se pueden usar técnicas que implican estimación paramétrica digital, en la que los parámetros son coeficientes de un filtro tal como se describió en las ecuaciones (3) o (4) anteriores.

15 El modelo puede ser uno de la clase de modelos ARMAX (por el término inglés "Auto-Regressive Moving Average with eXogenous Input" - promedio móvil autorregresivo con entrada exógena) tales como un modelo ARX (por el término inglés "Auto-Regressive with eXogenous Input" - autorregresivo con entrada exógena) que es un filtro con una estructura como la de (3) anterior y que se puede representar mediante la siguiente ecuación de diferencias de tiempo:

$$(5) \quad y[k] = \frac{1}{a_0} \left(\sum_{l=1}^p -a_l y[k-l] + \sum_{l=0}^q b_l x[k-l-m] + n[k] \right)$$

20 en la que $x[k]$ e $y[k]$ son las muestras de la entrada y la salida del sensor respectivamente; $n[k]$ representa el ruido (que se puede asumir que es "blanco", lo que significa no correlacionado entre tiempos de muestreo); p y q son los órdenes de modelo; a_0 , a_1 y b_1 son coeficientes; y m es un retardo puro. Se supone que $m=0$ (sin retardo del sistema) y $a_0=1$ (para una notación fácil). Por lo tanto, el modelo ARX(p,q) pasa a ser:

$$(6) \quad y[k] = \sum_{l=1}^p -a_l y[k-l] + \sum_{l=0}^q b_l x[k-l] + n[k]$$

El modelo se identifica entonces, usando un proceso de lotes, o recursivo (tiempo real), y datos recogidos.

30 En más detalle, durante el funcionamiento del comprobador de monedas, la señal bipolar aleatoria de activación de onda cuadrada se aplica al sensor 6 de monedas como modelo a medida que una moneda está pasando por el sensor. Las señales de entrada, las señales de salida y el modelo se procesan, usando técnicas como se describieron anteriormente, para estimar los coeficientes a_1 , a_2 , ..., a_p , b_1 , b_2 , ..., b_q del modelo.

35 Dependiendo de las técnicas usadas, un conjunto pequeño de coeficientes clave, tales como 10 a 20, puede capturar toda la dinámica del sistema.

40 Consecuentemente, el procesador obtendrá una pluralidad de coeficientes que serán dependientes de las propiedades de la moneda 16 medidas por el sensor de monedas. Se aplican criterios de aceptación (que se habrían podido derivar durante una operación previa de entrenamiento) a los coeficientes para determinar si la moneda es una moneda auténtica que pertenece a una denominación particular. Se pueden usar diferentes criterios de aceptación para diferentes denominaciones de moneda. Hay diversas técnicas bien conocidas que se pueden usar para la clasificación en base a múltiples parámetros, tales como cálculos de distancia (por ejemplo distancia de Mahalanobis), análisis discriminante, máquinas de vector de soporte, etc.

45 Como ejemplo, los criterios de aceptación se pueden basar en vectores de rasgos, derivados de coeficientes del modelo derivados usando las técnicas descritas anteriormente para ejemplos conocidos de denominaciones dadas de monedas. Son bien conocidos métodos para derivar criterios de aceptación a partir de ejemplos conocidos.

50 Con el fin entonces de probar y validar y/o denominar una moneda dada, la operación anterior se realiza para la moneda dada, y los coeficientes del modelo se estiman como se describió anteriormente. Todos los coeficientes, o un subconjunto predeterminado de coeficientes, se usan entonces para crear un vector n -dimensional de rasgos, que se puede entonces usar para validar la moneda usando los criterios de aceptación y técnicas conocidas de clasificación.

55 Lo que viene a continuación establece técnicas opcionales que se podrían usar para implementar la presente invención.

60 Preferiblemente, los valores de medición se derivan del convertidor 26 cuando se aplica la señal de activación mientras que no hay ninguna moneda en las proximidades de la inductancia L . Entonces, durante la etapa de medición de monedas, los valores de salida derivados del convertidor 26 han restado de ellos los correspondientes valores inactivos de medición antes de ser usados para la operación de ajuste de coeficientes. El término "correspondiente" significa que las mediciones están hechas al mismo tiempo en lo referente a la secuencia aleatoria

de señales de activación. Esto requiere que se use la misma secuencia aleatoria durante las mediciones inactivas y durante las fases de prueba de monedas; esto se puede alcanzar fácilmente mediante una elección adecuada del generador aleatorio 22. Usando mediciones inactivas de esta manera, es posible compensar los efectos del puente que están ligeramente desequilibrados en ausencia de una moneda, por ejemplo debido a los efectos de la temperatura.

No es esencial usar un puente que está desequilibrado en ausencia de una moneda. Por ejemplo, puede ser deseable disponer que el puente esté equilibrado en presencia de un tipo específico de moneda con el fin de mejorar la sensibilidad para esa moneda.

Las mediciones usadas por el procesador 28 se pueden derivar todas mientras que la moneda está substancialmente en una posición predeterminada con respecto a la inductancia L, por ejemplo en el punto medio del recorrido de la moneda más allá de una bobina que forma la inductancia L. La tasa de muestras es suficientemente alta (el reloj 18 puede por ejemplo tener una frecuencia que supere 1 MHz) como para que se tomen muchas mediciones antes de que la moneda haya recorrido una distancia significativa.

En disposiciones alternativas, el procesador 28 usa las mediciones tomadas mientras que la moneda está viajando a lo largo de cierta distancia. Por ejemplo, para cada uno de una pluralidad de intervalos sucesivos de medición, las mediciones obtenidas durante ese intervalo se usan para derivar un conjunto de coeficientes para el modelo almacenado. De acuerdo con ello, para cada coeficiente habrá una secuencia de valores cambiantes correlacionados con las diferentes funciones de transferencia a medida que la moneda se acerca y después abandona la inductancia L. Se pueden aplicar criterios de aceptación a todas las secuencias de coeficientes. Preferiblemente, se usaría una técnica de normalización para compensar velocidades de moneda variables. En otras palabras, las técnicas anteriores se pueden usar para derivar conjuntos de coeficientes para diferentes porciones de la moneda, a medida que pasan el sensor, tomando en cuenta la posición de la moneda con relación al sensor. Esto puede ser útil, por ejemplo, al validar las monedas bicolor, que tienen diferentes materiales para regiones radialmente internas y externas. De manera similar, se pueden derivar funciones de los coeficientes que evolucionan con el tiempo a medida que la moneda pasa a través del sensor. Los coeficientes se pueden usar para derivar otra información, tal como cuando la moneda se centra sobre el sensor.

En la realización descrita anteriormente, la señal de activación es una onda cuadrada bipolar con intervalos seleccionados aleatoriamente entre transiciones de señal. Sin embargo, estos rasgos de la señal de activación no son esenciales. Se prefiere que la señal sea bipolar con el fin de eliminar descompensación de CC y reducir así energía perdida, pero esto no es esencial. Se prefiere tomar mediciones durante ambos estados de la señal de entrada (binaria), pero esto tampoco es esencial.

Se prefiere usar ondas cuadradas de duración determinada aleatoriamente con una tasa uniforme de muestreo. Sin embargo, la señal puede adoptar una forma diferente (por ejemplo triangular), siempre y cuando esté contenido en la señal un espectro suficientemente amplio de frecuencias. Si se usa una onda cuadrada, puede adoptar más de dos niveles de amplitud. En cualquier caso, la señal de activación es preferiblemente una señal segmentada con intervalos seleccionados aleatoriamente entre transiciones.

En vez de usar una secuencia aleatoria, sería posible usar una secuencia predeterminada fija. Sin embargo, la relación entre la secuencia de señales de activación y el tiempo de muestreo debe ser tal como para explotar el espectro amplio de la frecuencia de la señal de activación. El uso de una señal de activación con un espectro amplio de frecuencia y muestreo de alta tasa proporciona un gran número de mediciones representativas de la estructura detallada de moneda a todo lo largo de al menos una proporción significativa de la profundidad de la moneda.

Si se usa una secuencia conocida para formar la señal de activación, puede ser posible que la secuencia forme parte del modelo almacenado por el procesador 28, eliminando así la necesidad de que el modelo reciba la señal de entrada del generador 22.

En la realización anterior, el modelo tenía órdenes de modelo p y q. Para un puente Maxell, valores convenientes son $p=2$ y $q=2$. En una realización, estos valores, que determinan el número de coeficientes calculados durante la etapa de clasificación, son fijos. Sin embargo, esto no es esencial. En su lugar, los números de modelo se pueden variar dependiendo de ciertas condiciones. Por ejemplo, suponiendo que el procesador está dispuesto para comprobar si una moneda pertenece a una de un cierto número de clases objetivo diferentes de moneda, los órdenes de modelo se pueden variar dependiendo de qué clase de objetivo se está comprobando. De manera alternativa o adicional, el procesador 28 puede realizar una pre-clasificación en base a, por ejemplo, la salida de un diferente sensor de monedas o un análisis preliminar de la salida de la inductancia L, y después cambia los órdenes de modelo p, q dependiendo de este proceso de pre-clasificación. En un ejemplo particular, los órdenes de modelo pueden ser aumentados si un proceso de pre-clasificación indica que existe la probabilidad de que la moneda que se está probando sea una moneda bicolor, para contar con la naturaleza más compleja de la función de transferencia del sensor y de la bobina combinados.

En otras palabras, para un sensor de monedas dado, se puede usar un modelo, o se pueden usar más de un modelo, y de manera similar cualquier modelo dado puede variar. Por ejemplo, la estructura del modelo, tal como los órdenes p y q , podría evolucionar, y cambiarse también.

5 En la realización, se ha dado un ejemplo de un modelo y una función de transferencia convenientes. Se debe entender que, para capturar el comportamiento real de la moneda y/o la bobina y el efecto de la corriente de Foucault, se puede usar un modelo más complejo para describir la dinámica y la estructura del sistema.

10 La realización usa un sensor inductivo. Las técnicas de procesamiento y de modelización descritas se pueden aplicar a otros tipos de sensores, tales como sensores capacitivos y de RF, y las correspondientes entradas/salidas.

15 Como se describió anteriormente, se usan coeficientes de los modelos para validación/denominación. En vez de usar los coeficientes directamente, se pueden usar otros valores derivados de los coeficientes. Por ejemplo, se pueden usar datos derivados del correspondiente espectro (digital o analógico) de frecuencias. En el espectro de frecuencias, se puede seleccionar un conjunto, un subconjunto o una sub-banda de frecuencias, y las correspondientes amplitudes. La información de frecuencia puede ser especialmente útil en el contexto del reconocimiento de monedas, porque la frecuencia se relaciona con la profundidad de penetración dentro de la moneda de las corrientes de Foucault. Los coeficientes, u otros datos relacionados, tales como los datos de frecuencia, se pueden procesar adicionalmente, tal como promediando, antes de ser aplicados a criterios de aceptación.

20 El mapeo de un modelo digital para un correspondiente espectro de frecuencias implica técnicas conocidas; véase, por ejemplo, "An Introduction to the Analysis and Processing of Signals" de Paul Lynn, 1973. El espectro digital toma la transformada Z del modelo y sustituye Z por $E^{i*2*\pi*f*dt}$, donde dt es la tasa de muestreo, i el número imaginario. Tal técnica proporciona un espectro periódico debido al efecto Nyquist. El espectro analógico usa el vínculo entre la transformada Z y la transformada de Laplace del modelo. Es bien conocido que la transformada S se puede evaluar a lo largo del eje imaginario ($s=i*2*\pi*f$) que proporciona la transformada de Fourier.

25 Una ventaja de los modelos de sistema analógico y digital relacionados es que los coeficientes del filtro se pueden usar para derivar un espectro analógico de frecuencias, lo que evita problemas de efecto Nyquist en la frecuencia en el modelo digital.

30 Las técnicas de modelización como se describieron anteriormente se pueden extender a un modelo que tiene más de una entrada y/o más de una salida. Esto se conoce como MIMO (múltiple entrada, múltiple salida). Se conocen y se describen técnicas MIMO, por ejemplo, en <http://www.cheric.org/education/practical/mpc2-132-141.pdf>, mencionado anteriormente.

35 Tales técnicas se podrían usar, por ejemplo, para procesar más de un sensor (tal como una bobina) al mismo tiempo. Por ejemplo, un comprobador de monedas puede incluir una bobina pequeña para la detección del material y del grosor y una bobina más grande para la medición del diámetro. Puesto que es probable que haya interferencia (diafonía) entre los sensores, se puede usar un modelo MIMO (ARMAX, OE, etc) para modelizar todo el sistema incluyendo el vínculo cruzado entre sensores.

40 Esto es extensible a cualquier número de salidas y entradas de sensor, y el número de salidas y de entradas puede ser diferente.

45 La invención se ha descrito en el contexto de los validadores de monedas, pero se debe apreciar que el término "moneda" se emplea para significar cualquier moneda (ya sea válida o falsificada), ficha, lingote en forma de moneda, arandela, u otro objeto o artículo metálico, y especialmente cualquier objeto o artículo metálico que podría ser utilizado por un individuo en un intento de operar un dispositivo o sistema accionado por monedas. Se considera que una "moneda válida" es una auténtica moneda, ficha o similar, y especialmente una auténtica moneda de un o unos sistemas monetarios en los cuales o con los cuales está destinado a funcionar un dispositivo o sistema accionado por monedas y de una denominación que tal dispositivo o sistema accionado por monedas está destinado a recibir y tratar selectivamente como artículo del valor.

50 Dentro del alcance de las reivindicaciones hay otras implementaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un método para comprobar una moneda usando al menos un sensor (4) de monedas que funciona en respuesta a una respectiva señal de activación y un procesador (28), comprendiendo el método:

5 activar el o los sensores (4) de monedas usando la o las señales de activación y derivando múltiples muestras de medición a partir del sensor o sensores en presencia de la moneda;

10 caracterizado porque el procesador almacena al menos un modelo que representa la función de transferencia del sensor o sensores (4) de monedas en presencia de la moneda; y por derivar coeficientes del modelo de la función de transferencia usando las muestras de medición; y aplicar criterios de aceptación usando los coeficientes para determinar si la moneda cae dentro de una predeterminada clase de monedas.

15 2. Un método según la reivindicación 1, que incluye el paso de aplicar la o las señales de banda ancha de activación al modelo.

20 3. Un método según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que la al menos una señal de activación tiene al menos un parámetro determinado aleatoriamente, y en el que la al menos una señal de activación es una señal segmentada con transiciones en instantes determinados aleatoriamente.

4. Un método según la reivindicación 3, en el que la al menos una señal de activación tiene transiciones de voltaje sustancialmente instantáneas en instantes determinados aleatoriamente.

25 5. Un método según cualquier reivindicación anterior, en el que la al menos una señal de activación es una señal de banda ancha y las muestras de medición representan efectos de cambios de corriente de Foucault en la moneda bajo comprobación e influida por un campo generado en respuesta a la señal de activación.

30 6. Un método según cualquier reivindicación anterior, en el que el modelo está representado por una ecuación de diferencias de tiempo.

7. Un método según la reivindicación 6, en el que la ecuación de diferencias de tiempo es:

$$y[k] = \frac{1}{a_0} \left(\sum_{l=1}^p -a_l y[k-l] + \sum_{l=0}^q b_l x[k-l-m] + n[k] \right)$$

35 en la que k es un índice ordenado por tiempo, x[k] e y[k] son las muestras de la entrada y la salida del sensor respectivamente, n[k] representa ruido, p y q son órdenes predeterminados de modelo, m es un valor de retardo y a₀, a₁ y b₁ son coeficientes.

40 8. Un método según cualquier reivindicación anterior, que comprende usar los coeficientes para derivar un espectro de frecuencias, y aplicar los criterios de aceptación usando valores del espectro de frecuencias para determinar si la moneda cae dentro de la clase predeterminada de monedas.

45 9. Un método según cualquier reivindicación anterior, en el que el al menos un sensor de monedas comprende una única bobina combinada de transmisión/recepción.

10. Un sensor de monedas que comprende:

50 una inductancia situada en las proximidades de una trayectoria de moneda,

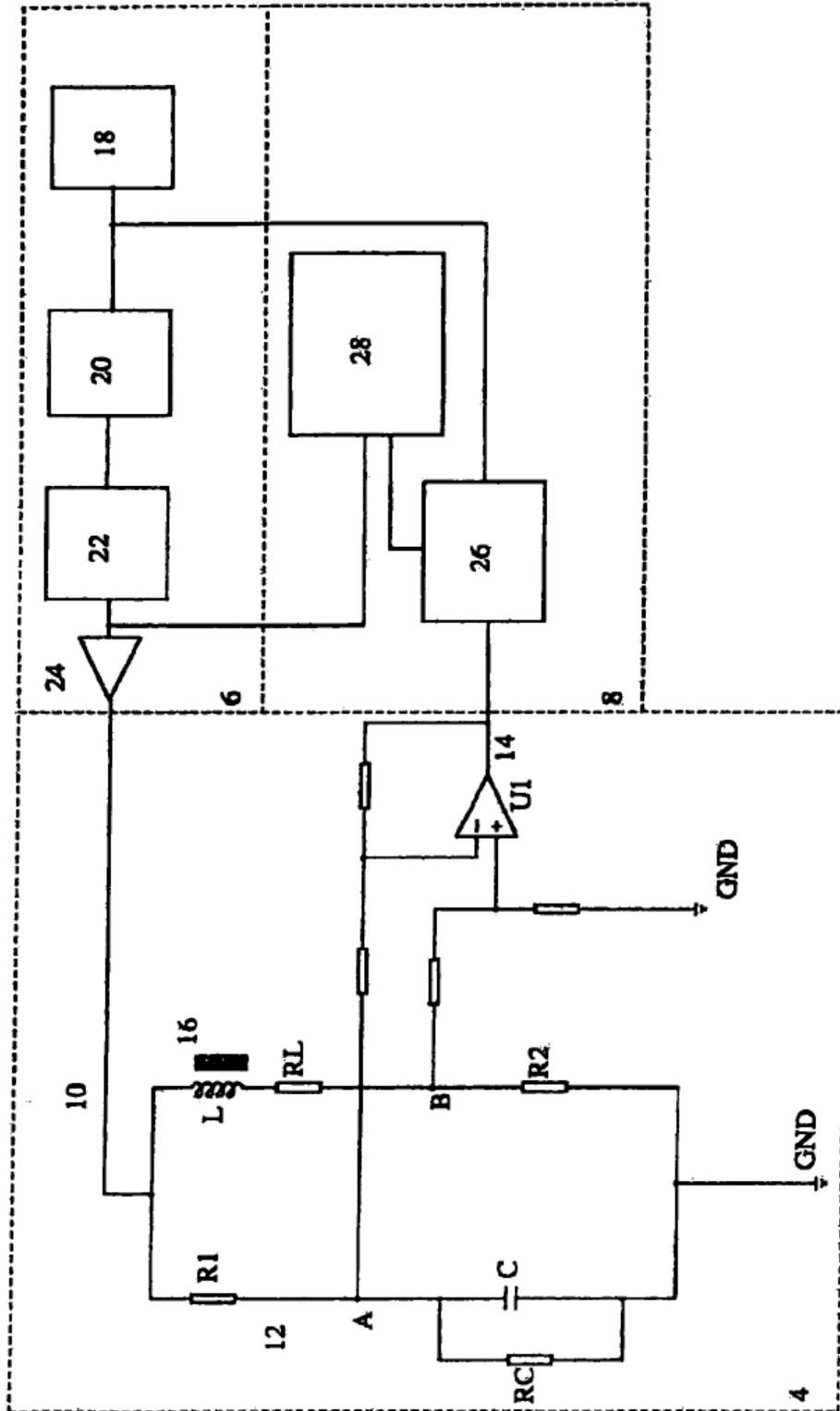
un circuito (6) de activación dispuesto para activar la inductancia con una señal de banda ancha,

55 un muestreador acoplado a la inductancia para derivar muestras sucesivas de medición que tienen valores influidos por los tiempos de las muestras de medición con relación a la señal de banda ancha de activación como resultado de corrientes de Foucault inducidas en una moneda por el campo generado por la inductancia;

en el que la inductancia está situada en un ramal de un circuito de puente de CA que tiene una entrada para recibir dicha señal de banda ancha de activación y una salida de la que se derivan dichas muestras de medición;

60 caracterizado por un procesador (28) que responde a las muestras de medición para derivar coeficientes a partir de un modelo de la función de transferencia del sensor en presencia de la moneda y para determinar si la moneda cumple criterios de aceptación que representan una moneda de una clase particular.

11. Un sensor de monedas según la reivindicación 10, en el que la señal de banda ancha de activación es una señal segmentada, y en el que la señal de banda ancha de activación tiene transiciones de voltaje sustancialmente instantáneas.
- 5 12. Un sensor de monedas según la reivindicación 11, en el que la señal de banda ancha de activación es una onda cuadrada.
13. Un sensor de monedas según una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, en el que el circuito de puente es un puente Maxwell.
- 10 14. Un sensor de monedas según una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 13, en el que el circuito de puente está sustancialmente equilibrado en ausencia de la moneda (16).
- 15 15. Un sensor de monedas según una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 14, en el que el procesador (28) está dispuesto para derivar la diferencia entre cada muestra de medición y una muestra de inactividad que se derivó en ausencia de una moneda (16) con una disposición temporal con relación a la señal de banda ancha de activación que corresponde a la disposición temporal de la respectiva muestra de medición.



-2-
FIG. 1

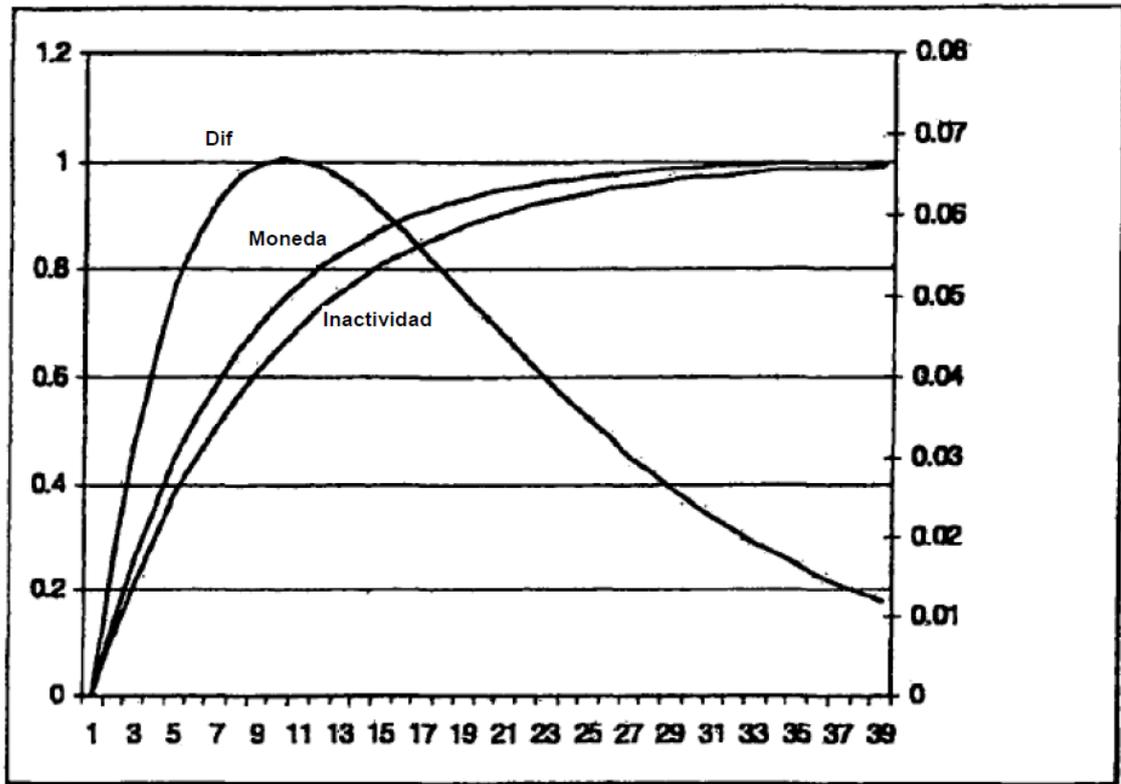


FIG. 2

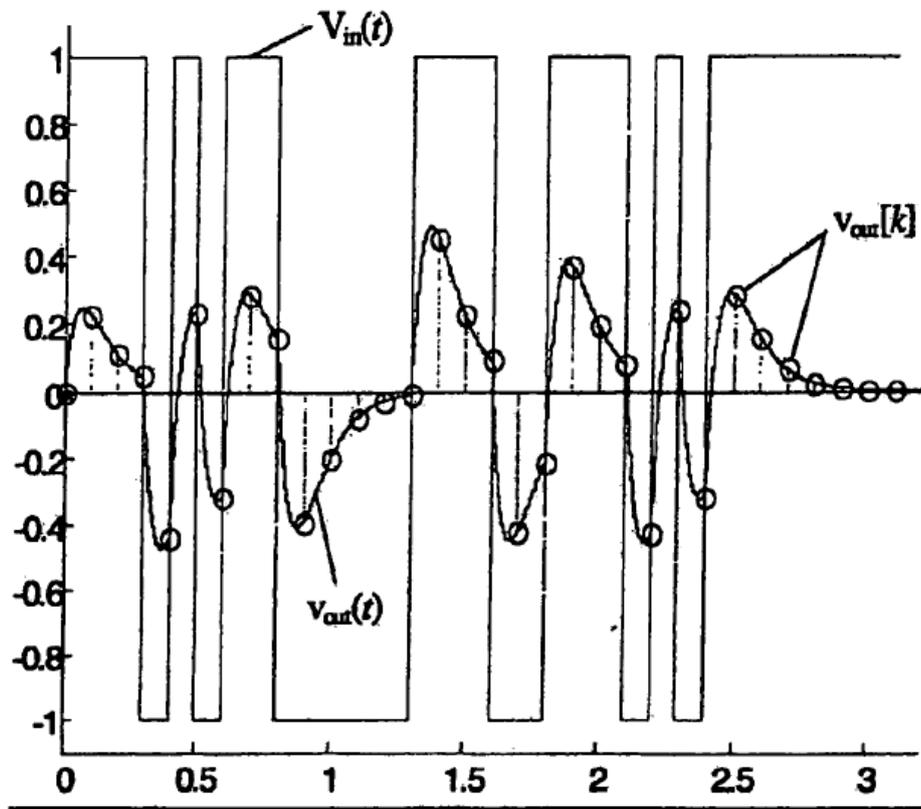


FIG. 3

Fig. 4

