

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 552 433**

51 Int. Cl.:

F02D 41/28 (2006.01)

F02D 35/02 (2006.01)

G01L 23/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.08.2011 E 11757578 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.08.2015 EP 2614346**

54 Título: **Método y circuito para procesar una señal suministrada por un sensor piezoeléctrico, y dispositivo de medición de presión para motor de pistón**

30 Prioridad:

10.09.2010 FR 1003624

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

27.11.2015

73 Titular/es:

**HIDRIA AET DRUZBA ZA PROIZVODNJO
VZIGNIH SISTEMOV IN ELEKTRONIKE D.O.O.
(100.0%)
Podljubinj 89 A
5220 Tolmin, SI**

72 Inventor/es:

**GUWANG, MARCEL y
RAMOND, ALAIN**

74 Agente/Representante:

IZQUIERDO BLANCO, María Alicia

ES 2 552 433 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).

Método y circuito para procesar una señal suministrada por un sensor piezoeléctrico, y dispositivo de medición de presión para motor de pistón

Descripción

5 La invención se refiere a un método y a un circuito para el procesamiento de una señal suministrada por un sensor piezoeléctrico que indica la presión, denominada la presión del cilindro, que prevalece en una cámara de cilindro de un motor de pistón tal como un motor térmico, estando esta señal en la forma de pulsos (correspondientes a las fases normales, que varían rápidamente, de la presión del cilindro como resultado del desplazamiento del pistón y/o del ciclo termodinámico, en particular el de la combustión) separados por componentes de mayor longitud, llamados mesetas, lo que corresponde a los valores de la presión del cilindro que son al menos sustancialmente constantes.

10 En los diversos tipos de motores de pistón, tales como bombas o motores de combustión más particularmente internos, es útil ser capaz de medir in situ (es decir, mientras el motor está funcionando) la presión del cilindro que prevalece en cada cámara de cada cilindro con el fin de optimizar el diseño y la fabricación del motor y, sobre todo su funcionamiento, en tiempo real utilizando una unidad electrónica de regulación. Por lo tanto, se conoce, en particular, medir la presión del cilindro que prevalece en la cámara de combustión de un cilindro de un motor diésel por medio de un sensor piezoeléctrico integrado en una bujía de incandescencia. La señal para medir la presión como una función del tiempo durante los ciclos del motor normalmente está formada por una componente continua, correspondiente a las fases durante las cuales la presión del cilindro corresponde al menos sustancialmente a la presión atmosférica (fases de admisión y escape), en la que los picos de presión (fases de compresión y de combustión) se superponen a una frecuencia en función de la velocidad del motor.

15 Si bien es particularmente ventajoso utilizar un sensor piezoeléctrico, en este contexto, surge el problema de procesar la señal suministrada por un sensor de este tipo, que por una parte requiere la amplificación y conversión (dado que un sensor piezoeléctrico suministra una pequeña cantidad de cargas eléctricas generadas por los cristales, que no es directamente utilizable como una señal de medición), y por el otro está sujeta a grandes e indeseables variaciones en el valor absoluto de la señal suministrada por el sensor, debido en particular al fenómeno de piroelectricidad, ya que un cristal piezoeléctrico es, además, sensible a la temperatura.

20 La amplificación y conversión de la señal suministrada por el sensor generalmente se llevan a cabo por un circuito de amplificación de carga, que comprende normalmente un amplificador operacional y un condensador paralelo.

25 Las variaciones indeseables en el valor absoluto de la señal suministrada por el sensor comprenden los cambios en el valor de la componente continua, y estos cambios pueden ser derivas en el valor mínimo, en la forma de formas de onda cuadrada sucesivas, o incluso cambiar continuamente durante tiempo, por ejemplo, por una función afín o por al menos un componente de baja frecuencia. Se han propuesto varias soluciones para compensar estas variaciones indeseables, en particular para la medición de la presión del cilindro de un motor de pistón, en el que las variaciones de temperatura son también muy pronunciadas.

30 Una solución conocida para compensar estas variaciones de baja frecuencia indeseables en el valor absoluto de la señal consiste en la asociación de un filtro de paso alto con el amplificador de carga. En general, ya que el amplificador de carga comprende un condensador en paralelo, lo único que hay que hacer con el fin de formar un filtro de paso alto de este tipo es añadir una resistencia en paralelo. Sin embargo, aunque esta solución suprime las variaciones de baja frecuencia, no permite asegurar un valor de referencia constante de la señal de salida. Por lo tanto, esta solución no permite los desplazamientos formados por una sencilla desviación en el valor absoluto de la señal, por ejemplo, como una función de la temperatura causada por un efecto piroeléctrico, que debe tenerse en cuenta correctamente. Algunos se han hecho propuestas para mejorar el rendimiento del filtro, aunque éstos no han resuelto el problema mencionado anteriormente.

35 El documento WO 2010/057571 propone un método de corrección de la deriva indeseable en la señal de un sensor de presión (debido al fenómeno de la piroelectricidad) mediante el uso de filtros de Kalman. Sin embargo, por una parte, esta solución necesita que sea posible detectar los picos en la señal de forma fiable, lo cual no siempre es sencillo cuando el motor está funcionando a baja velocidad, y por el otro se necesita un circuito específico, distinto a añadir al amplificador de carga, aguas abajo de este último, y llevar a cabo una etapa de procesamiento para generar una curva de extrapolación mientras que la señal se mide en los picos. Esto se traduce en un costo considerable y un rendimiento más bajo. En particular, con esta compensación, que no representa un control servo de bucle cerrado, la dinámica del amplificador y la resolución del convertidor analógico/digital deben ser compatibles con las derivas máximas en la señal.

40 Según otra solución conocida, el valor de la tensión suministrada desde la salida del amplificador de carga se compara con un valor predeterminado correspondiente al valor de referencia buscado en la salida, y la diferencia entre el valor medido y el valor de referencia se utiliza para introducir una corriente de compensación a la entrada del amplificador de carga durante un siguiente ciclo. Esta solución tiene la gran desventaja de que la compensación se retrasa de un ciclo al siguiente, y así no es adecuado cuando las variaciones en la amplitud y la frecuencia pueden ser abruptas y significativas de un ciclo al siguiente, como en el caso de un motor de pistón tal como un

motor de combustión interna.

El documento US 4962328 describe un circuito de amplificación de carga por un sensor de presión piezoeléctrico en motores de combustión interna, que comprende un dispositivo de compensación de la deriva formado por un circuito de muestreo/retención que está conectado a un dispositivo de disparo de acuerdo con el período de las señales medidas. El dispositivo de disparo puede comprender un generador de reloj y un contador del cual la salida desencadena la producción de pulsos de muestra cuando se ha alcanzado un valor predeterminado. El contador permite la subida y bajada de las señales medidas para gestionar y, en cooperación con un comparador y el generador de reloj, que se determine el intervalo de tiempo en el que la señal medida está por debajo de un nivel de señal de umbral predeterminado. Luego, una vez que haya transcurrido un período correspondiente a la mitad de este intervalo de tiempo, los impulsos de muestra pueden ser transmitidos al circuito de muestreo/retención. El circuito de muestreo/retención compensa el desplazamiento por la re-introducción, en la entrada del circuito de amplificación de carga, de una corriente formada a partir de la tensión de salida de este circuito al pasar a través de una resistencia en serie. Por otra parte, una unidad de monitorización permite que la entrada de impulsos de muestra sea fijada a un valor "alto" cuando los intervalos entre pulsos de disparo exceden una longitud predeterminada, conmutando por lo tanto el circuito a un modo de funcionamiento de la compensación continua en el que la salida del amplificador de carga es compensada continuamente. En consecuencia, el cambio se compensa continuamente cuando el motor gira a baja velocidad o se detiene, y las señales suministradas son relevantes tan pronto a medida que la velocidad del motor aumenta de nuevo.

El rendimiento de esta compensación de deriva está ligado por una parte a la elección apropiada del amplificador y el valor de la resistencia en serie con el circuito de muestreo/retención, y por el otro a la precisión de detectar el centro de las mesetas entre los picos de señal.

Como este documento explica, aunque se proporcionan dos valores de resistencia en serie y un medio de ajuste de la sensibilidad, la compensación se realiza en una operación oscilante. Si el valor de la resistencia en serie es demasiado alto, la corriente de compensación no será lo suficientemente fuerte como para realizar la compensación efectiva; si, por otro lado, el valor de la resistencia en serie es demasiado débil, la compensación es demasiado dinámica y puede dar lugar a movimientos de balanceo continuos. En este sentido, cabe señalar que el control servo propuesto por este documento se realiza mal, de una manera limitada por su diseño. De hecho, la frecuencia de muestreo para la medición se lleva a cabo necesariamente a la frecuencia del motor. Sin embargo, un control servo de bucle cerrado requiere de muestreo para la medición a una frecuencia mucho más alta que la del fenómeno a controlar. Por lo tanto, el control servo propuesto en este documento solo se puede utilizar para compensar las variaciones muy lentas (típicamente, variaciones de más de 100 segundos, tales como las debidas a corrientes de defecto).

La detección de los centros de las mesetas entre los picos es confiable cuando se lleva a cabo utilizando un detector externo asociado con el cigüeñal del motor, pero esta solución requiere que el motor sea equipado de manera apropiada, lo cual es una desventaja importante y no permite que el problema fundamental mencionado anteriormente se alivie.

La forma de realización en la que se supone que la detección se va llevar a cabo a través de una comparación entre el valor de la tensión de la señal y un valor umbral predeterminado no es funcional, en que no existe un valor umbral absoluto para permitir la detección de los picos, que varían en su amplitud y frecuencia más amplios rangos para el mismo motor, y en diferentes rangos de un motor a otro (por ejemplo, un motor diésel y un motor de gasolina). Si el valor umbral es demasiado bajo, una variación indeseable causada por una deriva durante una meseta entre dos picos erróneamente se puede considerar un pico; y si el valor umbral es demasiado alto, no se detectarán picos que tienen una amplitud por debajo de este valor umbral. Además, aquí también la solución descrita en este documento no permite cambios en valor absoluto que deben tenerse en cuenta, tales como las variaciones más rápidas y de amplitud relativamente alta posiblemente en el componente continuo de la señal, tales como los debidos por ejemplo al fenómeno de la piroelectricidad. Por lo tanto, en este documento una variación abrupta y significativa debido a piroelectricidad (por ejemplo, un aumento brusco de la temperatura cuando el motor se pone en marcha) será considerada como un pulso normal que por lo tanto no está compensado.

Como resultado, hasta ahora no se ha propuesto ninguna solución satisfactoria para llevar a cabo una compensación fiable de los diversos desplazamientos desde el valor de referencia absoluto de la señal suministrada por un sensor de presión piezoeléctrico que suprime simultáneamente las variaciones de la señal de baja frecuencia, corrige la onda cuadrada o las derivas progresivas del valor de referencia, no necesita la adición de circuitos electrónicos para complementar el amplificador de carga, es compatible con el funcionamiento de un motor de pistón tal como un motor de combustión interna, en particular cuando hay variaciones bruscas y significativas en amplitud y en frecuencia de un ciclo a otro, tales como las debidas a piroelectricidad, y es simple y barato de implementar.

El objeto de la invención es resolver este problema.

Por consiguiente, el objeto de la invención es proponer un método y un circuito para el procesamiento de una señal suministrada por un sensor piezoeléctrico, que permite llevar a cabo la compensación que tenga las propiedades

mencionadas anteriormente.

Más en particular, su objeto es proponer un método y un circuito para el procesamiento que no necesita ningún ajuste de configuración complejo dependiente en el motor en el que está montado el sensor piezoeléctrico, mientras que tiene la capacidad para hacer frente a la variedad que ocurre en la operación (forma de los picos que indican los impulsos de presión, las frecuencias, la linealidad de los componentes, y así sucesivamente).

Otro objeto es proponer una solución que es compatible con la integración completa de la electrónica para el procesamiento de la señal dentro de un solo conjunto mecánico que comprende el sensor piezoeléctrico, por ejemplo, dentro de una bujía de incandescencia para un motor diésel.

Para este objetivo, la invención se refiere a un método de acuerdo con la reivindicación 1.

Así, en contraste con la técnica anterior, en la que se detectan los picos de la señal mediante la comparación con un valor de tensión umbral, en un método de procesamiento de acuerdo con la invención las mesetas de la señal se detectan mediante un cálculo y un análisis comparativo de la variación en la señal de salida, es decir desde el punto de vista matemático sobre la base de su derivada con respecto al tiempo. El resultado es que la detección de los cambios indeseables de todo tipo que se pueden encontrar en el valor absoluto de la señal suministrada por el sensor es mucho más fiable, y la compensación por el control servo, que se mantiene activa durante todas las fases de la señal en que se puede corregir estos cambios no deseables, también es más fiable. Por otra parte, la detección de las mesetas es ahora independiente de la frecuencia y la amplitud de los picos. En particular, las variaciones indeseables debido a fenómenos piroeléctricos se compensan una vez que dicho valor de comparación se selecciona de tal manera que es mayor que el valor máximo absoluto de la pendiente de las variaciones debidas a estos fenómenos, por supuesto mientras que permanece menor que los valores mínimos del valor absoluto de la pendiente de las variaciones debido a pulsos normales de la señal.

Además, en un método de acuerdo con la invención, la frecuencia de muestreo puede ser mucho mayor que la frecuencia de pulsos (que corresponde a la frecuencia de funcionamiento del motor, es decir su velocidad de funcionamiento). Ventajosamente y según la invención, la frecuencia de muestreo es mayor de 10 veces la frecuencia máxima correspondiente a la velocidad máxima del motor, por ejemplo, en el orden de 100 veces esta frecuencia máxima o incluso más. En consecuencia, el control servo es plenamente eficaz entre dos impulsos, incluso a la máxima velocidad.

La invención se refiere además a un circuito de procesamiento de acuerdo con la reivindicación 7.

Por otra parte, la eficacia de procesamiento de la señal en un método según la invención se puede mejorar considerablemente. Para hacer esto, ventajosamente y según la invención, dicha variación ΔS se calcula entre dos momentos de muestreo que están separados por un período de tiempo αT que es una función creciente del número de momentos de muestreo pasados para el que se ha mantenido el valor absoluto de dicha variación por debajo de dicho valor predeterminado de comparación V . De manera similar, en un circuito para el procesamiento de acuerdo con la invención, dicho circuito de detección está adaptado ventajosamente para ser capaz de calcular dicha variación entre dos momentos de muestreo que están separados por un período de tiempo αT que es una función creciente del número de momentos de muestreo últimos para los que el valor absoluto de dicha variación se ha mantenido por debajo de dicho valor de comparación predeterminado.

En la práctica, se ha encontrado que la adición de una función creciente de este tipo, en particular, una función homotética, del período durante el cual la variación en la señal de salida se calcula aumenta considerablemente la sensibilidad de la compensación obtenida sin tener ningún efecto adverso en su comportamiento dinámico, en particular, sin introducir efectos secundarios no deseados tales como oscilaciones indeseables o la omisión de algunos picos, cualquiera que sea la velocidad de funcionamiento del motor (es decir, tanto a muy baja velocidad y a muy alta velocidad).

En particular, ventajosamente y según la invención, el período durante el cual se calcula dicha variación es por ejemplo un múltiplo de una fracción de la longitud total de la meseta, desde el primer momento de muestreo para que esta meseta se haya detectado como presente. Este múltiplo puede ser igual al número de iteraciones - es decir, las muestras tomadas - llevadas a cabo desde el primer momento de muestreo para el que esta meseta se ha detectado como presente.

Por otra parte, ventajosamente y según la invención, dicho período está delimitado entre un valor mínimo predeterminado αT_{\min} no igual a cero - en particular, que corresponde a una fracción de la longitud total de una meseta a la velocidad máxima (en la zona roja) del motor - y un valor máximo predeterminado αT_{\max} no igual a cero - en particular, que corresponde a una fracción de la longitud total de una meseta a una velocidad mínima (velocidad de ralentí) del motor.

La invención se puede aplicar no solo a un amplificador de carga para el procesamiento de la señal suministrada por el sensor, sino también a otros tipos de procesamiento de esta señal, por ejemplo, procesar la señal en modo de

voltaje de baja impedancia (LIVM). Sin embargo, en una realización preferida, un método de acuerdo con la invención está también caracterizado porque la señal suministrada por el sensor es procesada por un amplificador de carga que recibe esta señal como una entrada y suministra dicha señal de salida como una salida, y porque dicho control servo de bucle cerrado suministra una corriente de compensación I_{corr} como una entrada de dicho amplificador de carga en paralelo con dicha señal suministrada por dicho sensor. Del mismo modo, ventajosamente y según la invención, dicho circuito de procesamiento comprende un amplificador de carga que recibe como entrada la señal suministrada por el sensor, y suministra dicha señal de salida como una salida, suministrando dicho circuito de compensación, cuando dicho control servo de bucle cerrado está activo, una corriente de compensación como una entrada al amplificador de carga en paralelo con dicha señal suministrada por dicho sensor, recibiendo dicho circuito de detección dicha señal de salida suministrada por dicho amplificador de carga.

Esta corriente de compensación se suministra ventajosamente mediante la aplicación de un valor de tensión suministrada por el circuito de compensación a una resistencia en serie de una rama conectada en paralelo con la entrada del amplificador de carga que recibe la señal desde el sensor. Cabe señalar, sin embargo, que incluso cuando el amplificador de carga adopta la forma de un amplificador operacional y un condensador en paralelo, este condensador y esta resistencia no actúan como un filtro de paso alto sencillo - como en la técnica anterior - a causa de la presencia del circuito de compensación, que realiza una etapa de procesamiento específica. Así, en particular, el valor C del condensador y R de la resistencia no necesita ser adaptado en función de una frecuencia de corte y puede ser minimizada por una parte para la operación de amplificación de carga (con el condensador en paralelo determinando de la ganancia) y en el otro como una función de la dinámica del control servo. Así, mientras que en la técnica anterior un valor de RC está típicamente en el orden de un segundo, la invención permite el uso de un valor para RC que es típicamente menos de 50 ms. Aparte de la reducción de costes, esto resulta en elementos componentes mucho más pequeños que son más fáciles de integrar con el sensor piezoeléctrico, en particular en una bujía de incandescencia.

Por otra parte, ventajosamente y según la invención, si el valor absoluto de dicha variación ΔS es mayor que el valor de comparación predeterminado V, dicho control servo está inactivo y un valor constante de corriente de compensación se aplica como la entrada de dicho amplificador operacional, independientemente de los valores de la señal de salida. Del mismo modo y de forma ventajosa, en un circuito para el procesamiento de acuerdo con la invención, el circuito de compensación está adaptado para inactivar dicho control servo y aplicar un valor constante de corriente de compensación, independientemente de los valores de la señal de salida, si el valor absoluto de dicha variación es mayor que el valor de comparación predeterminado.

De hecho, un valor de dicha variación mayor que el valor de comparación corresponde a un pico en la presión durante el cual la señal de salida indica la presión medida, y por lo tanto varía normalmente en una cantidad significativa. En una fase de funcionamiento del motor de este tipo, que generalmente es muy breve, todo lo que hay que hacer es mantener la compensación constante mientras se ignora cualquier cambio en el valor absoluto de la señal suministrada por el sensor que puede ocurrir durante esta fase.

Este valor constante puede ser igual al último valor utilizado (durante la meseta anterior) o puede ser calculado a partir de este último valor. Preferiblemente, dicho valor constante corresponde a un valor medio calculado para una pluralidad de momentos de muestreo durante el cual dicho control servo está activo. Este valor medio puede ser una media móvil calculada a partir de todos o algunos de los valores calculados desde el inicio de la meseta y/o los valores en una memoria intermedia, entre otras cosas. Puede ser una media aritmética, una media exponencial o una media ponderada, entre otras. Dicho valor constante corresponde a un valor medio de este tipo, pero no es necesariamente igual a este valor medio.

Por otra parte, ventajosamente, en un método y un circuito para el procesamiento de acuerdo con la invención, las funciones del circuito de compensación se llevan a cabo en forma totalmente digital, de tal manera que el circuito de compensación puede por ejemplo tomar la forma de un circuito integrado (por ejemplo, ASIC, FPGA o microprocesador) que tiene componentes digitales. Por lo tanto, ventajosamente y según la invención, dicho circuito de detección comprende un convertidor analógico/digital que recibe la señal de salida y está adaptado para medir, almacenar y procesar dichos valores de la señal de salida en forma digital. Por otra parte, ventajosamente un circuito de procesamiento de acuerdo con la invención también se caracteriza porque dicho circuito de compensación está adaptado para procesar los datos digitales y calcular un valor digital de voltaje de compensación $Corr$, y porque dicho circuito de compensación comprende un convertidor digital/analógico, que recibe dicho valor de tensión de compensación digital $Corr$ y suministra un valor analógico correspondiente U_{corr} a una resistencia en serie conectada en paralelo con una salida de dicho sensor.

La invención también se refiere además a un método de procesamiento implementado en un circuito de procesamiento según la invención.

La invención también se refiere, más particularmente, a un dispositivo para medir un valor de presión, denominado la presión del cilindro, que prevalece en una cámara de cilindro de un motor de pistón tal como un motor térmico, que comprende un sensor piezoeléctrico y un circuito para el procesamiento de una señal suministrada por dicho sensor piezoeléctrico, en el que dicho circuito de procesamiento es un circuito de acuerdo con la invención.

En un dispositivo de medición de presión de acuerdo con la invención, dicho circuito de procesamiento y dicho sensor piezoeléctrico pueden estar integrados en un solo ensamblaje mecánico montado en un motor, en particular en una sola bujía de incandescencia.

5 La invención se refiere además a un método de procesamiento, un circuito para el procesamiento y un dispositivo de medición de presión que se caracterizan en combinación por todas o algunas de las características mencionadas anteriormente o a continuación.

10 Otros objetos, características y ventajas de la invención se harán evidentes a partir de la descripción que sigue, que se refiere a las figuras adjuntas, que representan a modo de ejemplo no limitativo una de sus realizaciones preferidas, y en las cuales:

- La figura 1 es un diagrama global de un dispositivo para medir la presión según la invención, que comprende un circuito de procesamiento de acuerdo a una primera realización de la invención,
- 15 - La figura 2 es un diagrama de flujo de una realización de un método de procesamiento según la invención,
- La figura 3 es un gráfico en el tiempo que ilustra un ejemplo de las variaciones en el componente continuo de la señal que se deben a piroelectricidad, representado como variaciones en la presión (curva C1),
- La figura 4 es un gráfico en el tiempo correspondiente a la figura 3 y que ilustra un ejemplo de una señal suministrada por un sensor piezoeléctrico (curva C2) y la señal de salida correspondiente, compensado por un método y un circuito para el procesamiento de acuerdo con la invención, tal como se obtiene por simulación por ordenador (curva C3),
- 20 - La figura 5 es un gráfico en el tiempo correspondiente a las figuras 3 y 4 y que ilustra el error residual en la señal después de la compensación (curva C4) por un método y un circuito para el procesamiento de acuerdo con la invención,
- 25 - La figura 6 es un gráfico en el tiempo en una escala mayor, que ilustra respectivamente (de arriba hacia abajo) un ejemplo de una señal de salida compensada mediante el procesamiento de acuerdo con la invención (curva C5), la variación ΔS en esta señal calculada de acuerdo con la invención (curva C6), y el período de αT sobre las que la variación ΔS en la señal de salida se mide y compara con un valor de comparación (curva C7),
- La figura 7 es un gráfico en el tiempo que ilustra respectivamente (de arriba hacia abajo) otro ejemplo de una señal de salida compensada mediante el procesamiento de acuerdo con la invención durante un aumento en la velocidad del motor (curva C8), la derivada con respecto al tiempo de esta señal (curva C9), y la variación en la señal tal como se calcula en un método según la invención (curva C10), y
- 30 - La figura 8 es un diagrama global de un dispositivo para medir la presión según la invención, que comprende un circuito de procesamiento de acuerdo a una segunda realización de la invención.

35 El dispositivo para la medición de presión de acuerdo con la invención que se muestra en la figura 1 comprende un sensor piezoeléctrico 10 que suministra, en un terminal 11, una señal (en forma de cargas eléctricas) procesada por un circuito de procesamiento según la invención que comprende un amplificador de carga que comprende, en la primera forma de realización mostrada en la figura 1, un amplificador operacional inversor de alta ganancia 12 y un elemento de retroalimentación capacitiva 16 de la capacitancia C. El terminal 11 del sensor 10 está conectado a la entrada inversora 13 del amplificador operacional 12, del cual, la entrada no inversora 14 está conectada a la tierra y del cual, la salida 15 suministra una tensión proporcional a la carga producida por el sensor 10. La rama capacitiva 16 está conectada en paralelo entre la salida 15 y la entrada inversora 13 del amplificador operacional 12 que recibe la señal desde el sensor 10.

45 El sensor piezoeléctrico 10 permite medir la presión que reina en una cámara de cilindro de un motor de pistón tal como un motor térmico. Por ejemplo, está integrado en una bujía de incandescencia de un motor diésel. Se suministra una señal que indica esta presión del cilindro, esta señal está en la forma de impulsos que son relativamente breves y que corresponden a las fases normales de la presión del cilindro, que varían rápidamente como resultado del desplazamiento del pistón y/o combustión, siendo estos pulsos separados por mesetas de mayor longitud que corresponden a los valores de la presión del cilindro que son al menos sustancialmente constantes.

50 Debe tenerse en cuenta que, dependiendo de las aplicaciones y limitaciones, el amplificador operacional 12 puede adoptar diversas formas de realización, y en particular puede ser construido con arquitecturas más o menos complejas.

55 El circuito de procesamiento de acuerdo con la invención también comprende un circuito de compensación 17 que forma un control servo de bucle cerrado. Este circuito de compensación 17 recibe la señal de salida (voltaje) desde la salida 15 del amplificador de carga. El circuito de compensación 17 suministra una señal de tensión correctiva U_{corr} a una salida 18 que está conectada a un terminal de una resistencia en serie 19 de lo cual, el otro terminal está conectado a la entrada 13 del amplificador de carga que recibe la señal suministrada por el sensor 10. La resistencia de 19, de valor R, transforma la señal de tensión correctiva U_{corr} en una señal de intensidad correctiva I_{corr} que se añade a la señal suministrada por el sensor 10 y permite que sus variaciones indeseables en valor absoluto sean compensadas.

65 La señal de tensión suministrada por el amplificador de carga en la salida 15 es por lo tanto compensada y

entregada en una salida 28 del circuito de tratamiento, lo que le permite ser utilizada en conexión con otros sistemas externos, por ejemplo, la electrónica para la gestión de funcionamiento del motor.

5 El circuito de compensación 17 comprende un convertidor analógico/digital 20 que suministra una señal S digital correspondiente a la tensión analógica de la salida 15 del amplificador de carga.

10 Esta señal digital S se alimenta como una entrada a un circuito integrado 27 (que puede ser en forma de un ASIC, un FPGA o un microprocesador, entre otras cosas), que comprende una memoria intermedia circular 21 que almacena sucesivamente las mediciones de la muestra S(t) de la señal S en función de una frecuencia de reloj de muestreo suministrada por un generador de reloj 23 del circuito 27. El circuito integrado 27 también comprende al menos un microprocesador 24, al menos una memoria de solo lectura 25 y al menos una memoria de acceso aleatorio 26 que están asociadas con este microprocesador. El microprocesador 24 realiza el método de procesamiento de acuerdo con la invención en cada valor muestreado de la señal S, como se muestra en la figura 2. El microprocesador 24 suministra en la salida del circuito integrado 27 una señal digital de corrección Corr suministrada a un convertidor digital/analógico 22 que suministra una señal de voltaje analógica correctiva Ucorr a la salida 18 del circuito de compensación 17.

20 Un ejemplo del método de procesamiento de la señal S que se realiza por el circuito de compensación 17 en cada iteración, es decir cada vez que la señal de salida se muestrea, se muestra en la Figura 2.

Durante la primera etapa 31, el valor actual S(t) de la señal S se almacena en un borde de un reloj de muestreo, en la ubicación de la memoria intermedia circular 21 activada por este flanco de reloj.

25 Durante el segundo paso 32, la variación ΔS en la señal de salida S se calcula a partir del valor actual de S(t) en el momento t del flanco de reloj y uno de los valores anteriores de la señal S, llamado S(t- αT), que se almacena en la memoria intermedia circular 21 para un flanco de reloj más cercano al valor t- αT , donde T es un número entero natural y α es un número racional entre 0 y 1. Por ejemplo, se selecciona α para estar entre 0,05 y 0,5, en particular en el orden de 0,2. αT representa el período durante el cual se calcula la variación ΔS , que es por lo tanto una fracción de un período completo representado por T, de la cual el valor está entre un valor mínimo que no es igual a 30 cero, T_{min}, y un valor máximo T_{max}. Estos valores se seleccionan como una función de las respectivas velocidades máximas y mínimas del motor. Por lo tanto, T_{min} es inferior a la longitud de las mesetas para la velocidad máxima del motor, y T_{max} es mayor que la longitud de las mesetas para la velocidad mínima del motor.

35 Durante la tercera etapa 33, el valor absoluto $|\Delta S|$ de esta variación se compara con un valor de comparación predeterminado V que se almacena en la memoria 25. En la práctica, este valor de comparación puede ser ajustado desde el ruido inherente en la señal entre las mesetas fijándolo en un valor mayor que el valor máximo de la derivada de este ruido inherente.

40 Si el valor absoluto $|\Delta S|$ de la variación en la señal de salida es menor que el valor de comparación V, esto significa que la señal suministrada por el sensor 10 corresponde a una meseta de la presión del cilindro, y un control servo 34 se activa.

45 En una primera etapa 35, este control servo 34 consiste en calcular un valor para la señal de corrección Corr que permite que la señal de salida S se establezca en el valor de referencia Sr predeterminado, independientemente de cualquier variación indeseable en el valor absoluto de la señal suministrada por el sensor 10. Este valor de referencia Sr forma un valor de ajuste del control servo 34 y puede ser seleccionado y almacenado en la memoria 25, dependiendo de las limitaciones de los circuitos electrónicos que se encuentran aguas abajo del circuito de procesamiento de acuerdo con la invención y recibir la señal de salida.

50 Este paso de calcular el valor de la señal correctiva Corr puede adoptar diversas formas de realización. Preferiblemente, ventajosamente y según la invención, este cálculo se realiza por un controlador PID (derivada integral proporcional), que recibe el valor actual S(t) como una entrada, calcula el error con respecto al valor de referencia Sr y hace un ajuste PID de este error. Cabe señalar que la señal correctiva Corr es una señal de tensión digital.

55 Durante la siguiente etapa 36 del control servo 34, el valor actual de la señal correctiva Corr se almacena y una media M de esta señal de corrección Corr se calcula usando el valor actual y diferentes valores previamente almacenados de esta señal de corrección Corr.

60 Esta media es preferentemente una media algebraica calculada a partir de un número de muestras anteriores. Por ejemplo, en cada iteración, esta media se calcula a partir de las muestras anteriores βt , donde β es un número racional entre 0 y 1, por ejemplo, en el orden de 0,5, seleccionado para filtrar las ligeras variaciones en la señal sobre las mesetas.

65 Durante la etapa siguiente 37 del control servo 34, T se incrementa en una unidad y la longitud αT utiliza para calcular la variación ΔS se incrementa en α , a menos que la longitud actual sea igual a una longitud máxima

predeterminada αT_{max} . T_{max} corresponde, por ejemplo, en la mayor longitud posible de la meseta, que es - en particular, si el motor es un propulsor - la longitud de las mesetas cuando el motor está al ralentí. Para lograr esto, si no se alcanza este valor T_{max} , el valor de T se incrementa en una unidad en cada iteración para la que se activa el control servo, es decir después de cada cálculo de un valor de la señal correctiva $Corr$. Por lo tanto, la longitud es una función creciente del número de momentos de muestreo anteriores para los que el valor absoluto $|\Delta S|$ de la variación permanece por debajo de dicho valor de comparación predeterminado, es decir para el que la señal suministrada por el sensor corresponde a una sola meseta. En otras palabras, la longitud de cálculo de la variación en la señal de salida aumenta a medida que la señal suministrada por el sensor 10 permanece en la misma meseta de presión. En consecuencia, la sensibilidad de la detección de las mesetas es independiente de la velocidad del motor, como se muestra en la figura 7.

En esta figura, la curva C8 muestra una señal de salida correspondiente a una fase de aumento de la velocidad del motor. La curva C9 representa la derivada con respecto al tiempo de la curva C8. Las porciones sombreadas representan los valores de esta derivada para la que el valor absoluto de la derivada es menor que un valor de comparación predeterminado, y que correspondería a las fases de meseta si esta derivada se utilizara como una variación en la señal de salida en el control servo. Como puede verse, para bajas velocidades del motor, los pulsos no serían detectados, ya que la sensibilidad de detección es insuficiente. Por el contrario, la curva C10 representa el valor ΔS calculado de acuerdo con la invención para un cálculo de la longitud creciente. Como puede verse, este aumento progresivo en el intervalo de cálculo permite que la meseta se distinga de los pulsos, incluso a baja velocidad.

Cabe señalar que el número de muestras anteriores βt utilizadas para calcular la media M también aumenta con cada iteración por el incremental de T , siempre y cuando la señal suministrada por el sensor 10 permanezca en la misma meseta de presión.

Si la etapa de comparación 33 determina que el valor absoluto $|\Delta S|$ de la variación en la señal de salida no es menor que el valor de comparación V , esto significa que la señal suministrada por el sensor 10 corresponde a un pico en la presión del cilindro, y el control servo 34 se hace inactivo. En este caso, durante la etapa 38 la señal de corrección $Corr$ se establece en el último valor registrado de la media M calculada la última vez que se llevó a cabo la etapa 36 del control servo 34.

Durante la siguiente etapa 39, el valor de T se restablece a un valor mínimo T_{min} inicial no igual a cero. T_{min} corresponde, por ejemplo, a la longitud más corta posible de las mesetas, que es - en particular, si el motor es un propulsor - a la longitud de la meseta a la velocidad máxima de funcionamiento del motor. Durante un pico de presión e inmediatamente después de un pico de presión de este tipo, el valor de T por lo tanto se fija a T_{min} , con el resultado de que la longitud mínima tenida en cuenta en el cálculo de la variación ΔS en el inicio de una fase de meseta es igual a αT_{min} . Esta longitud se aumenta entonces progresivamente por el valor α de cada iteración.

Cualquiera que sea el caso, durante la etapa final 40, para cada momento de muestreo t , es decir después de cada flanco de reloj, el método de procesamiento de acuerdo con la invención suministra un valor $Corr$ para la señal correctiva.

Las figuras 3, 4 y 5 dan ejemplos de los resultados que se pueden obtener con un método y un circuito para el procesamiento de acuerdo con la invención, en condiciones particularmente desfavorables, es decir para un motor diésel que está inicialmente en ralentí (500 revoluciones por minuto) con el motor de frenado (impulsos correspondientes a una presión máxima en el orden de 20 bar ($20 \cdot 10^5$ Pa)). En estas condiciones, los impulsos son, de hecho, particularmente difíciles de distinguir.

En las figuras 3, 4 y 5, los valores de los ejes y se refieren a la presión en bares. La curva C1 de la figura 3 representa un ejemplo de las variaciones en el componente continuo de la señal suministrada en la salida del sensor piezoeléctrico 10; estas variaciones pueden ser percibidas en particular en el efecto piroeléctrico resultante del aumento en la velocidad del motor. La curva C2 en la figura 4 representa la señal suministrada por el sensor piezoeléctrico 10. La curva C3 representa la señal de salida totalmente compensada suministrada en la salida 28. Como puede verse a partir de la curva C4 en la figura 5, el error residual es extremadamente pequeño y no es significativo.

En la figura 6, la curva C5 ilustra otro ejemplo, en una escala diferente, del perfil de la señal de salida compensada de acuerdo con la invención, y la curva C6 representa la variación de esta señal ΔS , calculado de acuerdo con la invención. La curva C7 ilustra el cambio en el cálculo de la longitud αT como considerado para el cálculo de la variación ΔS , con cada meseta sucesiva. Al comienzo de cada meseta, $\alpha T = \alpha T_{min}$. La longitud de cada iteración aumenta y cada toma de muestras, siempre y cuando no se detecte ningún pico (pulso). A medida que aumenta la velocidad del motor (de izquierda a derecha en las figuras), la longitud total de tiempo considerada en cada meseta cae.

La figura 8 muestra otra realización de un circuito de procesamiento según la invención, que difiere de la primera realización en que el amplificador de carga se reemplaza por un circuito amplificador de modo de voltaje de baja

impedancia (LIVM). El circuito comprende por lo tanto un amplificador operacional 42 montado como un seguidor, con su salida 45 conectada a su entrada inversora 43 y la salida 11 del sensor piezoeléctrico 10 conectada a la entrada no inversora 44 del amplificador operacional 42 a través de un condensador en serie 46 y una resistencia en paralelo 47. Como puede verse, el circuito de compensación 17 sigue siendo absolutamente sin cambios, con el
5 análogo señal Ucorr para la corrección de la tensión suministrada en la salida del circuito de compensación 17 que se recibe en un terminal de la resistencia 19, de la cual el otro terminal suministra la señal correctiva analógica Icorr suministrada en paralelo con la salida 11 del sensor piezoeléctrico, aguas arriba del condensador en serie 46.

10 Un circuito de procesamiento de acuerdo con la invención puede estar integrado, como el sensor piezoeléctrico, dentro de un solo conjunto mecánico, en particular dentro de una bujía de incandescencia para un motor diésel.

La invención puede estar sujeta a una serie de variantes en las realizaciones mostradas en las figuras y descritas anteriormente dentro del alcance de las reivindicaciones.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

Reivindicaciones

1. Método para procesar una señal suministrada por un sensor piezoeléctrico (10), indicando dicha señal un valor de presión, denominado la presión del cilindro, que prevalece en una cámara de cilindro de un motor de pistón tal como un motor térmico, teniendo dicha señal un valor en forma de pulsos separados por componentes de mayor longitud, llamados mesetas, lo que corresponde a los valores de la presión del cilindro que son al menos sustancialmente constantes, en cuyo método:

- variaciones indeseables en el valor correspondiente a dichas mesetas de dicha señal suministrada por dicho sensor (10) se compensan por un circuito de tratamiento que comprende un circuito de compensación (17) que forma un control servo de bucle cerrado, en el que dicho circuito de procesamiento, cuando dicho bucle de control servo se está activo, es capaz de suministrar una señal de salida con un valor fijado a un valor S_r constante predeterminado, llamado el valor de referencia S_r , independientemente de las variaciones indeseables en el valor correspondiente a dicha mesetas de dicha señal suministrada por dicho sensor,
- dicha señal suministrada por dicho sensor (10) es tratada por un amplificador operacional, recibiendo dicho amplificador operacional dicha señal como entrada y suministrando dicha señal de salida como una salida,
- suministrando dicho control servo en bucle cerrado una señal de tensión correctiva U_{corr} a una resistencia (19), que la transforma en una corriente correctiva I_{corr} , en el que dicha I_{corr} correctiva actual se suministra como una entrada de dicho amplificador operacional y se añade a dicha señal suministrada por dicho sensor (10),

caracterizado porque:

- el valor de dicha señal de salida se mide y se almacena para momentos de muestreo sucesivos a una frecuencia de muestreo mayor que la frecuencia máxima de dichos impulsos,
- en cada momento de muestreo, se calcula un valor que indica una variación ΔS en la señal de salida con respecto a un momento de muestreo anterior,
- en cada momento de muestreo, si el valor absoluto de dicha variación ΔS es menor que un valor de comparación predeterminado V , dicho control servo se mantiene activo para ajustar la señal de salida a dicho valor de referencia S_r , siendo el valor de dicha señal de salida un valor correspondiente a una meseta.

2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicha variación ΔS se calcula entre dos momentos de muestreo que están separados por un período de tiempo αT que es una función creciente del número de momentos de muestreo anteriores para los que el valor absoluto de dicha variación se ha mantenido por debajo de dicho valor de comparación predeterminado V .

3. Método según la reivindicación 2, en el que dicho período αT está delimitado entre un valor mínimo predeterminado αT_{min} no igual a cero y un valor máximo predeterminado αT_{max} no igual a cero.

4. Método de acuerdo con las reivindicaciones 1 a 3, en el que dicho amplificador operacional es un amplificador de carga.

5. Método según las reivindicaciones 1 a 4, en el que, si dicho valor absoluto de dicha variación ΔS es mayor que dicho valor de comparación predeterminado V , dicho control servo de bucle cerrado está inactivo y un valor constante de dicha corriente correctiva I_{corr} se aplica como una entrada de dicho amplificador operacional, independientemente de los valores de dicha señal de salida.

6. Método de acuerdo con la reivindicación 5, en el que dicho valor constante corresponde a un valor medio calculado para una pluralidad de momentos de muestreo durante el cual dicho control servo de bucle cerrado está activo.

7. Circuito para el procesamiento de una señal suministrada por un sensor piezoeléctrico (10), dicha señal que indica un valor de presión, denominado la presión del cilindro, que prevalece en una cámara de cilindro de un motor de pistón tal como un motor térmico, teniendo dicha señal un valor en forma de pulsos separados por componentes de mayor longitud, llamados mesetas, lo que corresponde a los valores de la presión del cilindro que son al menos sustancialmente constantes, este circuito comprende:

- un circuito de compensación (17) que forma un control servo de bucle cerrado, en el que dicho circuito para procesar una señal suministrada por un sensor piezoeléctrico (10), cuando dicho control servo de bucle cerrado está activo, es capaz de suministrar una señal de salida con un valor ajustado a un valor constante predeterminado, llamado el valor de referencia S_r , independientemente de las variaciones indeseables en el valor correspondientes a dichas mesetas de dicha señal suministrada por dicho sensor (10),
- un amplificador operacional recibe dicha señal suministrada por dicho sensor (10) como una entrada y suministra dicha señal de salida, como una salida, dicho control servo de bucle cerrado suministra una señal de tensión correctiva U_{corr} a una resistencia (19) que lo transforma en una corriente correctiva I_{corr} , en el que dicha corriente correctiva I_{corr} se suministra como una entrada de dicho amplificador operacional y se añade a dicha señal suministrada por dicho sensor (10),

caracterizado por que el circuito de compensación (17) comprende:

- 5 - un circuito de detección (20, 27) adecuado para medir y almacenar el valor $S(t)$ de la señal de salida para sucesivos momentos de muestreo T a una frecuencia de muestreo mayor que la frecuencia máxima de dichos impulsos,
- y medios (24) para el procesamiento de datos que están adaptados para calcular, en cada momento de muestreo, un valor que indica una variación ΔS en la señal de salida con respecto a un momento de muestreo anterior,
- 10 - y en que el circuito de compensación (17) está adaptado de manera que, en cada momento de muestreo, si el valor absoluto de dicha variación ΔS es menor que un valor de comparación predeterminado V , dicho control servo de bucle cerrado se activa para establecer la señal de salida a dicho valor de referencia S_r , siendo el valor de dicha señal de salida un valor correspondiente a una meseta.

- 15 8. Circuito de acuerdo con la reivindicación 7, en el que dicho circuito de detección (20, 27) está adaptado para ser capaz de calcular dicha variación entre dos momentos de muestreo que están separados por un período de tiempo αT que es una función creciente de una serie de momentos de muestreo anteriores para los que dicho valor absoluto de dicha variación se ha mantenido por debajo de dicho valor de comparación predeterminado.

- 20 9. Circuito de acuerdo con la reivindicación 8, en el que dicho período αT está delimitado entre un valor mínimo predeterminado αT_{min} no igual a cero y un valor máximo predeterminado αT_{max} no igual a cero.

- 10. Circuito de acuerdo con las reivindicaciones 7 a 9, en el que dicho amplificador operacional es un amplificador de carga.

- 25 11. Circuito de acuerdo con las reivindicaciones 7 a 10, en el que dicho circuito de compensación (17) está adaptado para inactivar dicho control servo de bucle cerrado y aplicar un valor constante de dicha corriente correctiva I_{corr} , independiente de los valores de dicha señal de salida, si dicho valor absoluto de dicha variación es mayor que dicho valor de comparación predeterminado.

- 30 12. Circuito de acuerdo con la reivindicación 11, en el que dicho valor constante corresponde a un valor medio calculado para al menos un momento de muestreo durante el cual dicho control servo de bucle cerrado está activo.

- 13. Circuito de acuerdo con las reivindicaciones 7 a 12, en el que dicho circuito de detección (20, 27) comprende un convertidor analógico/digital (20) que recibe dicha señal de salida y está adaptado para medir, almacenar y procesar dichos valores de dicha señal de salida en forma digital.
- 35 14. Circuito de acuerdo con las reivindicaciones 10 y 13, en el que dicho circuito de compensación (17) está adaptado para procesar los datos digitales y calcular un valor digital de voltaje de compensación $Corr$, y en el que dicho circuito de compensación (17) comprende un convertidor digital/analógico (22), que recibe dicho valor de tensión de compensación digital $Corr$ y suministra dicha señal de tensión correctiva U_{corr} como un valor analógico.
- 40 15. Dispositivo para medir un valor de presión, denominado la presión del cilindro, que prevalece en una cámara de cilindro de un motor de pistón tal como un motor térmico, que comprende un sensor piezoeléctrico (10) y un circuito para el procesamiento de una señal suministrada por dicho sensor piezoeléctrico, en el que dicho circuito de procesamiento es un circuito de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 14.
- 45

- 50

- 55

- 60

- 65

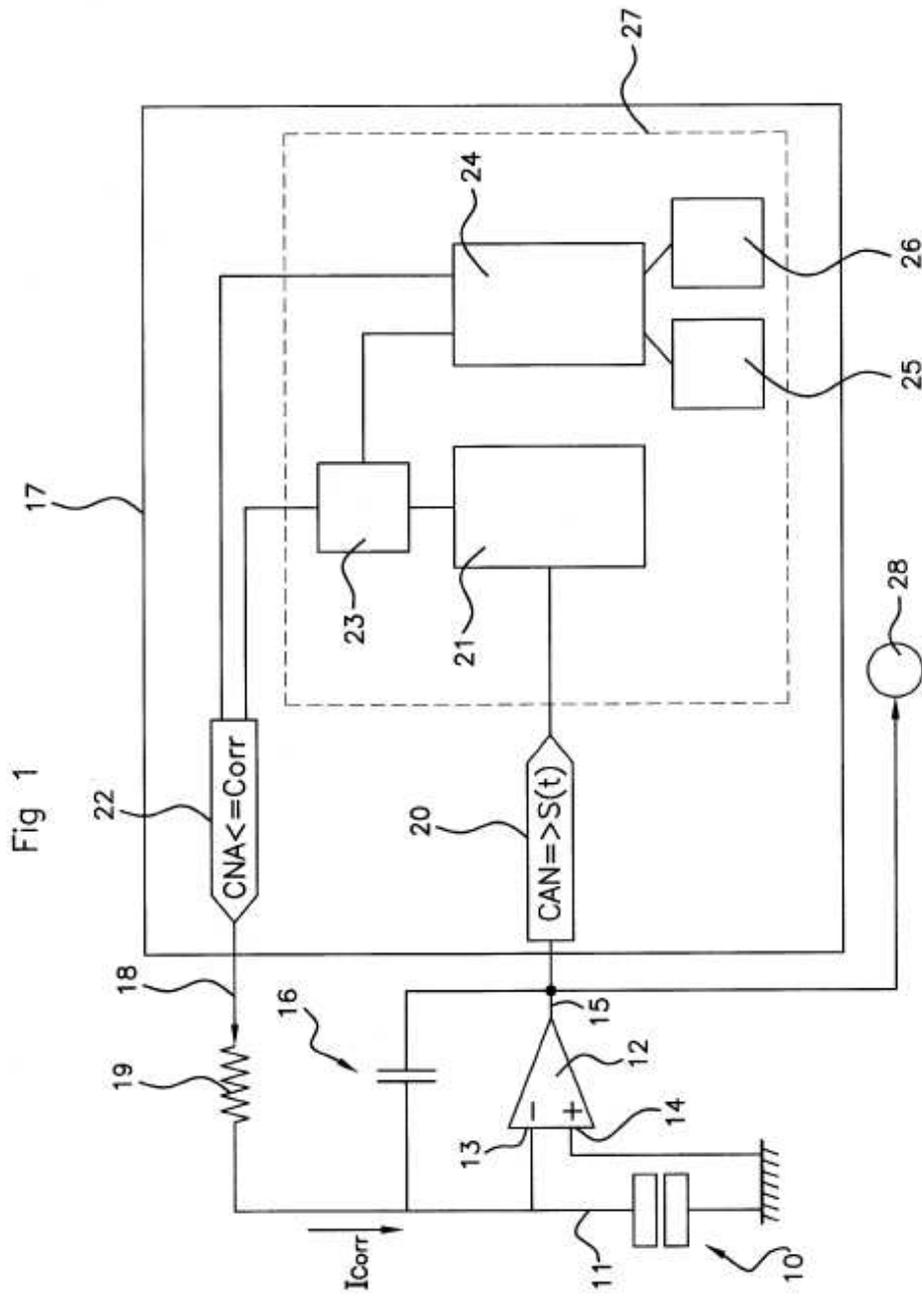
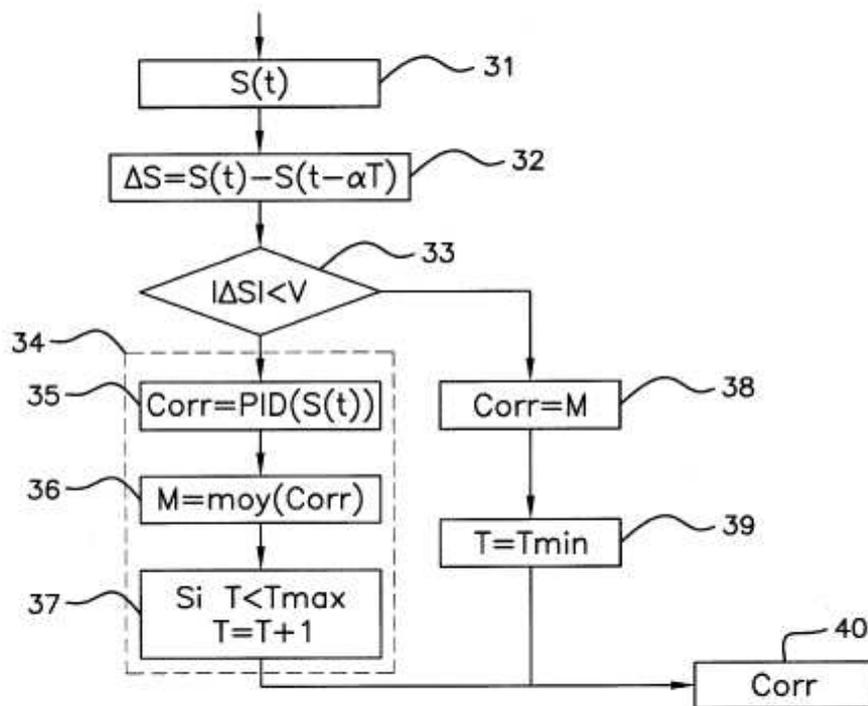
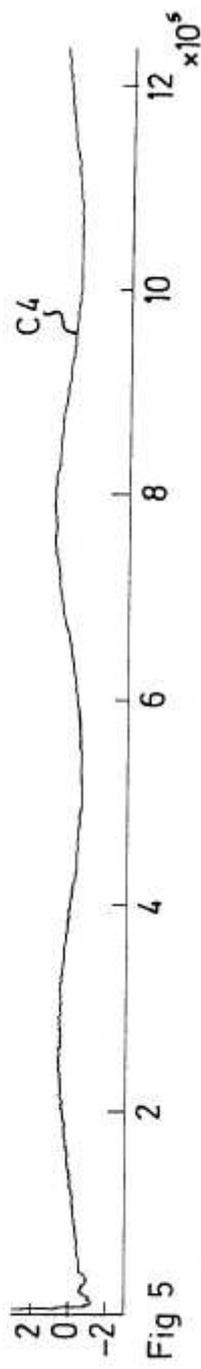
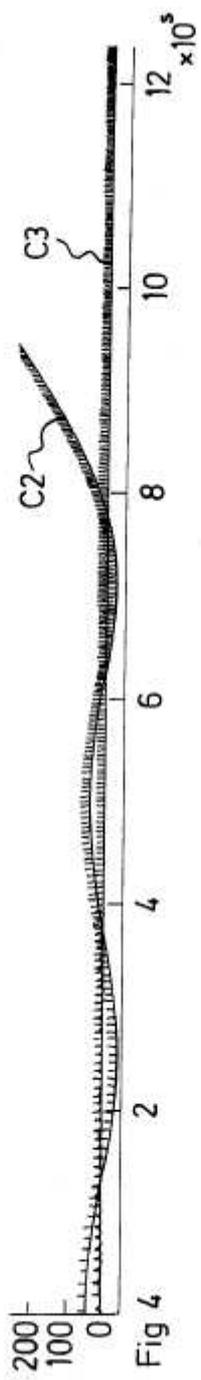
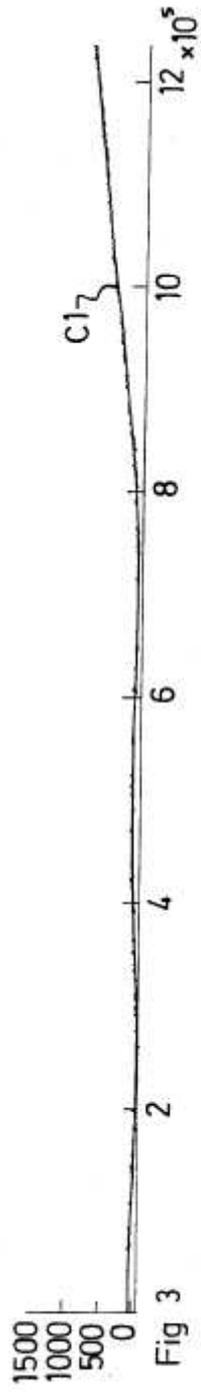


Fig 2





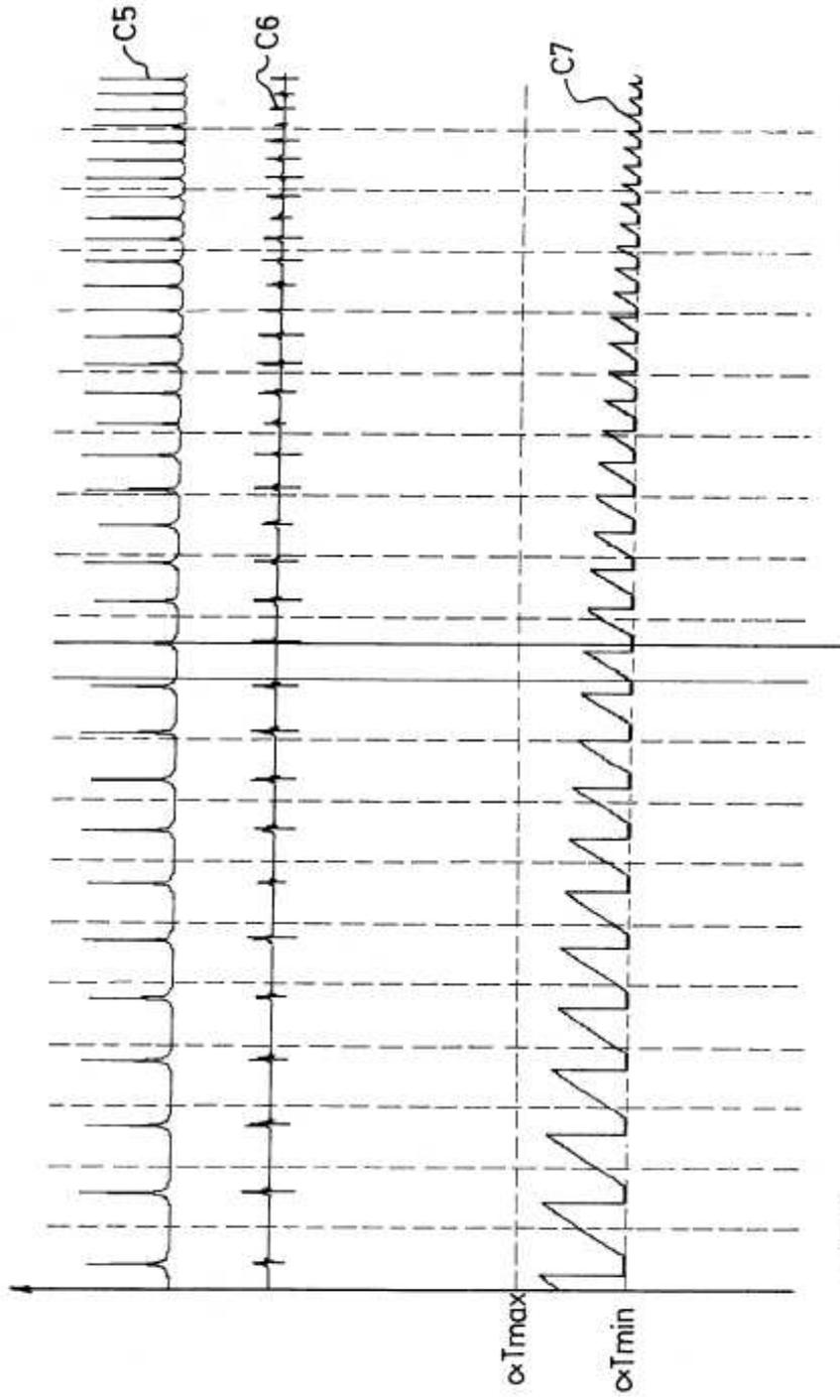


Fig 6

Fig 7

