



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 355 688**

51 Int. Cl.:  
**G01F 1/84** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **08075545 .7**

96 Fecha de presentación : **11.06.2008**

97 Número de publicación de la solicitud: **2015034**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **14.01.2009**

54 Título: **Caudalímetro de tipo Corialis con sensor óptico de vibraciones.**

30 Prioridad: **12.07.2007 NL 1034125**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**30.03.2011**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**30.03.2011**

73 Titular/es: **BERKIN B.V.**  
**Nijverheidsstraat 1A**  
**7261 AK Ruurlo, NL**

72 Inventor/es: **Mehendale, Aditya y**  
**Lötters, Joost Conrad**

74 Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 355 688 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

La invención se refiere a un caudalímetro que funciona mediante el principio de Coriolis, que comprende un tubo de Coriolis y por lo menos un dispositivo de detección óptica, dispositivo de detección óptica que comprende un detector óptico para generar una señal que es representativa del movimiento del tubo de Coriolis, comprendiendo dicho detector óptico una fuente de luz y un detector fotosensible, en el que el tubo de Coriolis o un saliente fijado al tubo de Coriolis se desplaza a través del camino óptico entre la fuente de luz y el detector fotosensible, durante el funcionamiento.

Dicho caudalímetro se conoce a partir del documento EP 1 719 983 A1. El dispositivo de detección óptica puede comprender un detector óptico, pero en general comprende un primer y un segundo detectores ópticos, o incluso un primer, un segundo y un tercer detectores ópticos para la generación, en función de las señales de desplazamiento medidas por los detectores, de una señal que es representativa del flujo.

En adelante, el detector óptico utilizado para medir el desplazamiento en un caudalímetro, o controlado por flujo en base al principio de Coriolis, será denominado asimismo 'opto'. Éste comprende una fuente de luz, a menudo un LED, y un fotodetector, a menudo un fotodiodo (un fototransistor).

El método conocido de generación continua de una señal eléctrica dependiente del desplazamiento, por medio de un opto, procede como sigue: un objeto dispuesto entre la fuente de luz y el fotodetector bloquea parte del haz de luz. Cuando dicho objeto se desplaza, la cantidad de luz incidente en el fotodetector cambiará. El detector de luz actúa como un contador de fotones, siendo la corriente a través del detector proporcional a la cantidad de luz incidente. Se genera una tensión dependiente del desplazamiento puesto que la resistencia R está conectada en serie con el fotodetector. Se deberá escoger un valor de la resistencia para hacer esta tensión tan elevada como sea posible.

Sin embargo, resulta que cuando se utiliza uno, dos o tres optos en los caudalímetros convencionales, en ocasiones la precisión del instrumento de medición queda por debajo de las expectativas.

Un objetivo de la invención es incrementar la precisión tanto como sea posible, sin perjudicar la resolución del instrumento. El caudalímetro de Coriolis acorde con la invención está, para este propósito, caracterizado por que el dispositivo de detección óptica comprende medios para aplicar una tensión constante a través del detector fotosensible durante el funcionamiento, independientemente de la corriente generada por el detector fotosensible en respuesta a la luz incidente, así como medios para determinar el valor de la corriente generada por el detector fotosensible y convertirla en una señal de salida. En general, un dispositivo de detección óptica como el descrito anteriormente, está dotado además de un convertidor A/D para convertir la señal de salida en una señal digital.

Un fotodiodo tiene siempre cierta capacidad parásita C. En combinación con la resistencia R, esto constituye una red R-C con una constante de tiempo  $T = R * C$ . Esta constante de tiempo se incrementa cuando R se incrementa. Dada una señal eléctrica que cambia periódicamente (por ejemplo, de forma sinusoidal) a causa de un objeto vibrante entre la fuente de luz y el fotodetector, esta constante de tiempo provocará un desplazamiento del seno sobre el eje temporal, es decir una rotación de fase.

Si la capacidad parásita es constante, ésta puede ser compensada de una vez por medio de calibración. Sin embargo, en la práctica esta capacidad muestra una deriva debido a los efectos de temperatura y al envejecimiento, entre otros factores. Puede calcularse que la deriva que se produce en la constante de tiempo de un caudalímetro preciso, dada una elección normal de fotodetector más resistencia, es de una magnitud tal que de la misma resultará un error de medición significativo.

El principio general de la invención es que la tensión a través del opto se mantiene constante por medio de un circuito electrónico, independientemente de la cantidad de la luz que incide sobre el fotodetector, es decir independientemente de la corriente a través del detector. Como resultado de esto, la capacidad parásita no es 'cargada' o 'descargada', y por consiguiente no existe retardo de tiempo. En este caso, la señal de salida del circuito electrónico (tensión o corriente) es una medición para la corriente a través del fotodetector, y por consiguiente para la cantidad de luz incidente.

La forma más simple de dicho circuito es el amplificador de tensión 'voltio a voltio', del cual existen muchas versiones. En este caso no se utiliza un valor de resistencia R elevado, sino reducido, de manera que la constante de tiempo  $T = R * C$  permanece pequeña. El inconveniente de esto es que el amplificador tiene siempre capacidades dependientes de la temperatura, y por lo tanto una constante de tiempo dependiente de la temperatura. Además, un amplificador de tensión tiene siempre una impedancia de entrada elevada de manera que lo que se mantiene constante no es la tensión de entrada (tal como se desea) sino la corriente de entrada.

Una realización preferida está caracterizada por que el medio de aplicación de una tensión constante a través del detector fotosensible durante el funcionamiento, comprende un amplificador de transimpedancia.

En concreto, esta realización preferida asegura que la tensión a través del opto se mantiene constante por medio de un amplificador de transimpedancia 'amperio a voltio'. Este último no tiene el inconveniente de una

impedancia de entrada elevada y por este motivo se utiliza, entre otros, en amplificadores de comunicación óptica para eliminar sustancialmente los efectos de las capacidades parásitas. Esto se consigue por medio de una impedancia de entrada baja de manera que (tal como se desea) se mantiene constante la tensión de entrada. Por lo tanto, la variación de la corriente de entrada será la base para la señal de salida (tensión) de este amplificador. Existen diversas realizaciones existentes del amplificador de transimpedancia.

En otra realización, se utiliza un amplificador operacional (op-amp) con realimentación, tal como se explicará mejor a continuación.

### **Funcionamiento del circuito amplificador de transimpedancia**

Se utiliza un amplificador operacional u op-amp con realimentación. Un op-amp es un componente electrónico activo, usualmente en forma de IC, con un factor de ganancia muy elevado. El op-amp conduce su entrada negativa a una tensión que debe hacerse igual a la tensión  $V_{\text{polarización}}$  aplicada a la entrada positiva. Puesto que dicha entrada negativa está acoplada al opto, la tensión a través del opto será asimismo constante (tal como se desea) y desde luego lo suficientemente alta para proporcionar al opto una tensión de polarización. La luz incidente provoca que fluya una corriente a través del opto. A continuación esta corriente fluye a través del bucle formado por el circuito a través de la entrada negativa del op-amp hasta la salida, y a continuación otra vez de vuelta a través de una resistencia de realimentación  $R_f$ . Por lo tanto, la tensión de salida del op-amp resulta proporcional a la corriente a través del opto, como sigue:

$$V_{\text{salida}} = V_{\text{polarización}} + (R_f * I_{\text{detector}})$$

La rotación de fase del opto puede ser reducida en unos pocos órdenes de magnitud en comparación con la situación original en la que se elige un op-amp 'rápido', es decir uno con una rotación de fase interna pequeña.

### **Eliminación del desplazamiento de tensión**

El amplificador de transimpedancia conduce a un desplazamiento de tensión. El desplazamiento consiste en una tensión de CC constante que no contiene información relevante. Dicho desplazamiento es desfavorable si la señal de salida va a ser convertida posteriormente de analógica a digital en un convertidor A/D para el propósito del procesamiento de señal. Un convertidor A/D unipolar 'normal' comienza en 0 V, lo que significa que, dada una  $V_{\text{polarización}}$  de, por ejemplo, 12 V, la 'región inferior' del rango no se utiliza. Como resultado, no se aprovecha la resolución máxima que puede conseguirse del convertidor A/D.

Una realización del caudalímetro de Coriolis acorde con la invención está caracterizada por que el desplazamiento de tensión es reducido o eliminado por medio de electrónica 'analógica' antes de la conversión A/D, de manera que puede ser utilizada provechosamente la región inferior del rango del convertidor A/D.

Existen una serie de métodos diferentes para conseguir lo anterior. A menudo se utilizan circuitos electrónicos simples, básicos, que se explicarán a continuación.

### **Circuito básico**

El desplazamiento de tensión puede ser reducido gracias a que se añaden a la disposición básica una tensión de referencia extra  $V_{\text{polarización}2}$  y una resistencia extra  $R_o$ .

La corriente promedio que fluye a través del opto es suministrada desde una segunda fuente de tensión  $V_{\text{polarización}2}$ , no desde el op-amp. Esto significa que el op-amp necesita solamente suministrar la variación, de manera que  $V_{\text{polarización}}$  se convierte en el promedio de  $V_{\text{salida}}$ , no en el límite inferior de la misma. Las tensiones pueden escogerse de manera que el límite inferior de  $V_{\text{salida}}$  resulta de aproximadamente 0 V, con el resultado de que puede ser utilizada la región inferior del rango del convertidor A/D. A continuación se describirá en mayor detalle cómo puede ser utilizada la región superior del rango.

### **Realización preferida**

Una desventaja de la realización basada en un principio simple, básico tal como se ha descrito anteriormente, es que requiere una tensión de referencia adicional  $V_{\text{polarización}2}$ . Si esta tensión cambia en relación con  $V_{\text{polarización}}$  por cualquier razón, se tendrá como resultado un error en  $V_{\text{salida}}$ . La realización preferida no tiene esta desventaja; existe solamente una tensión de referencia necesaria. Esta realización utiliza un segundo op-amp que se utiliza como un amplificador diferencial ('substractor').

Con este objeto, la entrada positiva del op-amp está conectada a la salida del amplificador de transimpedancia mencionado anteriormente, y la entrada negativa a una tensión de polarización  $V_{\text{polarización}}$ . La tensión de salida del amplificador diferencial puede hacerse igual a la diferencia entre las dos entradas. Puesto que  $V_{\text{polarización}}$  es constante, se consigue el mismo resultado que con la anterior realización simple, básica.

Puede conseguirse una tensión de polarización deseada por medio de un circuito adicional. Este circuito comprende un divisor de tensión que consiste en dos resistencias que crean la tensión de polarización deseada. A

este respecto, se conecta una resistencia a una tensión de alimentación seguida por una segunda resistencia a 0 V. La tensión a través de la segunda resistencia sirve como fuente para la tensión de polarización. La tensión de polarización deseada puede ser escogida mediante la relación de los valores de las dos resistencias. Para cargar esta tensión es necesario un op-amp extra para adaptar la impedancia. Para conseguir esto, la salida del divisor de tensión está conectada a la entrada positiva del op-amp. A continuación, la salida del op-amp es realimentada a la entrada negativa del op-amp. En este caso el op-amp se utiliza como un convertidor de tensión a tensión, y hace posible un consumo suficiente de corriente mientras el divisor de tensión no está cargado por el op-amp. Como resultado de esto, la tensión creada por el divisor de tensión permanece constante, tal como se desea. Este circuito hace posible utilizar  $V_{\text{polarización}}$  provechosamente en otro lugar.

## 10 Incremento del nivel de tensión

### Principio general

Si se desea, la tensión de salida  $V_{\text{salida}}$  del op-amp puede incrementarse más por medio de un amplificador de tensión 'voltio a voltio' para aprovechar óptimamente todo el rango de tensión del convertidor A/D también en la región superior del mismo, de manera que se utiliza ventajosamente la resolución máxima del convertidor A/D. La alta impedancia de entrada de este amplificador es ahora una ventaja debido a que mantiene limitada la carga aplicada a la entrada del op-amp previo. Este principio puede ser aplicado sin eliminar primero el desplazamiento de tensión, o alternativamente después de que el desplazamiento de tensión ha sido eliminado por uno de los métodos mencionados anteriormente.

La invención se refiere no solo a un caudalímetro de Coriolis con un dispositivo de detección óptica que tiene un detector óptico que está incluido en un circuito eléctrico de una de las maneras descritas anteriormente para aplicar una tensión constante a través del detector durante el funcionamiento. Ésta se refiere asimismo a dispositivos de detección óptica con dos, tres o más detectores ópticos que están, cada uno, incluidos en un circuito eléctrico de una de las maneras descritas anteriormente para aplicar una tensión constante a través del detector durante el funcionamiento.

Se explicarán en detalle unas pocas realizaciones de la invención haciendo referencia a los dibujos, en los cuales:

la figura 1A muestra de forma diagramática una realización de un caudalímetro de Coriolis;

las figuras 1B-D muestran un detector óptico, su funcionamiento, y parte de un tubo de Coriolis con dos detectores ópticos, respectivamente;

la figura 2 es un diagrama que representa el principio básico de un dispositivo de detección óptica;

la figura 3 es un diagrama de circuito de un dispositivo de detección óptica con un op-amp (con realimentación);

la figura 4 es un diagrama de circuito de un dispositivo de detección óptica de la figura 3, al que se han añadido una resistencia y una tensión de referencia extra para reducir el desplazamiento de tensión;

la figura 5 es un diagrama de un circuito para reducir el desplazamiento de tensión por medio de un amplificador diferencial op-amp;

la figura 6 es un diagrama de un circuito para generar una tensión de referencia estable de  $V_{\text{polarización}}$ ;

la figura 7 muestra cómo los diagramas parciales de las figuras 3, 5 y 6 se unen conjuntamente en un diagrama de circuito completo; y

la figura 8 muestra una realización de un dispositivo de detección óptico adecuado para ser utilizado con el dispositivo acorde con la invención.

### Descripción de los dibujos

La figura 1A muestra de forma diagramática una realización de un caudalímetro de Coriolis. Éste está dotado de una estructura que tiene una placa base 22 que soporta un tubo 23 a través del cual fluye un medio durante el funcionamiento. El tubo 23 es un tubo en un bucle, en este caso con media vuelta (tubo en forma de U), pero puede ser alternativamente un tubo recto o un tubo en bucle que comprende una vuelta completa (bucle cerrado). Se prefieren los tubos en bucle debido a que son más flexibles que los tubos rectos. El tubo 23 está fijado a la placa base 22 mediante medios de fijación 24, 25. Dichos medios 24, 25 constituyen posiciones de apriete en relación con las cuales puede moverse el tubo 23. En el contexto de la invención, el tubo 23, que puede estar fabricado, por ejemplo, de acero inoxidable con un grosor de aproximadamente 0,1 mm y un diámetro de aproximadamente 0,75 mm, es una construcción ligera que puede ponerse en resonancia con poca energía. Dependiendo de las dimensiones exteriores de la forma del bucle y de la presión que el tubo 23 puede resistir (por ejemplo  $10^7$  Pa), el diámetro exterior del tubo 23 será generalmente menor de 1mm y su espesor de pared de 0,2

mm o menor.

Tal como se muestra además en la figura 1A, para excitar el tubo 23 se utiliza una culata magnética 26 que consiste en dos mitades 27, 28 en forma de U separadas por entrehierros 29, 30. Parte del tubo 23 pasa a través de estos entrehierros. Se dispone un campo magnético 31 en el trayecto de la culata 26 con sus polos norte y sur orientados de manera que surge un campo magnético circulante en la culata 26, generándose campos magnéticos de la misma intensidad y opuestos mutuamente en los entrehierros 29, 30. Cuando se envía una corriente eléctrica a través del tubo 23 en la dirección que va del medio de fijación 24 al medio de fijación 25, actuarán entonces fuerzas de Lorentz  $F$  (hacia la parte posterior) y  $F'$  (hacia la parte frontal) de igual intensidad sobre partes del tubo respectivas, invirtiendo sus sentidos cuando se invierte el sentido de la corriente en la pared del tubo. Esta excitación de par de fuerzas provoca que el tubo 23 lleve a cabo una rotación oscilatoria (vibración) en torno al eje de simetría principal del tubo 23 en forma de U, en el caso de una corriente alterna. No obstante, en lugar del modo de excitación descrito anteriormente pueden utilizarse igualmente métodos de excitación alternativos.

Dentro del contexto de la invención, pueden utilizarse uno o varios detectores ópticos para detectar el movimiento del tubo de Coriolis 23. La construcción acorde con la figura 1A comprende dos de dichos detectores denominados 21a y 21b. Los detectores ópticos en la construcción de la figura 1A están situados (en el interior de la abertura central de la culata magnética) de manera que pueden cooperar con el tubo 23 de una manera sin contacto. Son posibles asimismo versiones con otro número de detectores, por ejemplo con uno o tres.

La figura 1B muestra de manera diagramática uno de los detectores ópticos utilizados, en este caso el detector 21a, en una vista en sección longitudinal. El detector comprende un alojamiento 51 en forma de U con una fuente de luz 49 (por ejemplo un LED) en el interior de una pata de la U, y en el interior de la otra pata de la U una célula 50 de medición de la luz (por ejemplo un fotodiodo). El detector óptico 21a está dispuesto de manera que una parte de tubo 52 del tubo de Coriolis puede desplazarse entre las patas del alojamiento 51 en forma de U. En funcionamiento, el tubo 52 cubrirá la zona de transmisión de la luz entre la fuente de luz 49 y la célula de medición 50, en mayor o menor grado. En una realización en la que el tubo está dotado de un saliente (tal como un aspa), el tubo puede estar más retirado del alojamiento, y es el saliente el que se mueve entre las patas.

La figura 1C muestra en mayor detalle cómo la porción de tubo intercepta durante su movimiento una porción mayor (posición 52) o menor (posición 52') del haz de luz 53 enviado por la fuente de luz 49 a la célula 50 de medición de la luz. La célula 50 de medición de la luz produce una señal  $u(V)$  que después puede ser procesada.

La figura 1D muestra de manera diagramática el proceso de detección por medio de dos detectores ópticos 21a, 21b. Estos están situados a ambos lados del punto donde el eje de rotación (es decir, el eje en torno al cual el medio de excitación provoca que el tubo rote) cruza la porción 23 del tubo, y preferentemente de manera simétrica con respecto al punto. Este punto de intersección se denomina el polo (de rotación) P. Los detectores 21a, 21b están preferentemente a poca distancia de este polo. Dicha distancia deberá ser lo suficientemente pequeña para asegurar que la contribución medida de la excitación es del mismo orden de magnitud que la contribución medida de las fuerzas de Coriolis.

En el caudalímetro del tipo de Coriolis que se ha descrito anteriormente, se utilizan detectores ópticos para medir el movimiento del tubo. La calidad de la señales moduladas eléctricamente procedentes de estos detectores se ve afectada adversamente por la capacidad parásita inherente de los detectores ópticos. Se utiliza electrónica adicional para reducir la influencia de esta capacidad y para mejorar más la calidad de las señales. Esta electrónica está formada por el conjunto de una serie de circuitos constituyentes y componentes principales que se describen en mayor detalle a continuación.

La figura 2 muestra un principio básico de la detección de desplazamiento. Un objeto 2 situado entre una fuente de luz 1 y un fotodetector 4 intercepta parte de un haz de luz 3. Cuando el objeto 2 (un tubo de Coriolis o un saliente fijado al mismo) se desplaza, cambiará asimismo la cantidad de luz que alcanza el fotodetector 4. La tensión de alimentación aplicada  $V_{cc}$  asegura que puede fluir una corriente a través del fotodetector. La corriente generada en el detector 4 es proporcional a la cantidad de luz incidente. Dicha corriente es convertida por una resistencia  $R_x$  en la tensión de salida del circuito. La atención de salida de este circuito es una medición para la posición del objeto. El problema con este circuito básico es la constante de tiempo  $T = R * C$  desconocida y variable, provocada por la combinación de  $R_x$  y la de capacidad parásita  $C$  en el detector óptico.

La figura 3 muestra parte de la solución al problema de la capacidad parásita, es decir a través de la utilización de un amplificador de transimpedancia acorde con la invención. El amplificador de transimpedancia comprende un op-amp U1 que asegura que el detector óptico 4 recibe una tensión constante, y que la corriente de salida del detector óptico 4 está cargada con una impedancia baja. Esto funciona como sigue: el op-amp U1 conduce su entrada negativa 8 a una tensión que debe hacerse igual a la tensión  $V_{polarización}$  aplicada a la entrada positiva 6. Puesto que está entrada negativa 8 es acoplada al opto 4, la tensión a través del opto 4 será asimismo constante. La corriente necesaria para mantener esta tensión constante es suministrada por el op-amp U1, según se desea, y no por el opto 4. La tensión es lo suficientemente elevada para proporcionar al opto 4 una tensión de polarización. Por lo tanto, el op-amp U1 asegura que el detector óptico 4 recibe una tensión constante, y al mismo tiempo es cargado con una impedancia baja.

La luz incidente provoca que fluya una corriente a través del opto. A continuación, esta corriente fluye a través del bucle formado por el circuito a través de la entrada negativa del op-amp hasta la salida 7,  $V_{salida}$ , y a continuación de vuelta a través de la resistencia de realimentación  $R_f$ . Por lo tanto, la tensión de salida del op-amp se hace proporcional a la corriente a través del opto, del siguiente modo:

$$5 \quad V_{salida} = V_{polarización} + (R_f * I_{detector})$$

El amplificador de transimpedancia de la figura 3 conduce a un desplazamiento de tensión. La mayoría de las aplicaciones funcionarán con tensiones de alimentación a partir de 0 V, por ejemplo de 0 a 5 V. La tensión  $V_{polarización}$  mencionada anteriormente deberá ser mayor que cero, o bien no existirá tensión a través del opto. Sin embargo, esto proporciona asimismo a la tensión de salida  $V_{salida}$  del op-amp un desplazamiento igual a  $V_{polarización}$ , en otras palabras, la tensión no caerá nunca por debajo de este valor. Un valor típico para  $V_{polarización}$  es 1 V.

El desplazamiento real puede ser incluso mayor que  $V_{polarización}$  si la luz incidente del detector óptico en el opto nunca se aproxima a cero, de manera que este último no entrega nunca una tensión pequeña.

15 Dicho desplazamiento es una desventaja si la señal de salida es convertida a continuación por un convertidor A/D de analógico a digital para un posterior procesamiento de señal. Un convertidor A/D unipolar 'normal' comienza en 0 V, de manera que con una  $V_{polarización}$  de 1 V, la 'región inferior' del rango no se utiliza de hecho. Como resultado de esto, no se utiliza la máxima resolución que puede conseguirse del convertidor A/D.

20 La invención ofrece asimismo medios que comprenden electrónica 'analógica' para reducir o eliminar el desplazamiento de tensión previo a la conversión A/D, de manera que el convertidor A/D puede ser aplicado de manera útil directamente desde la región inferior de este rango.

Existen gran número de métodos para hacer esto, la mayor parte utilizando circuitos electrónicos simples, básicos. Un principio simple para reducir el desplazamiento de tensión es a través de añadir al diagrama equivalente de la figura 3 una tensión de referencia extra  $V_{polarización2}$  más una Resistencia extra  $R_y$ . Esto se muestra en la figura 4: reducción del desplazamiento de tensión por medio de una tensión de referencia adicional.

25 La corriente promedio que fluye a través del opto es suministrada en este caso desde  $V_{polarización2}$  y no desde el op-amp. Esto significa que el op-amp necesita solamente suministrar la variación, de manera que  $V_{polarización}$  resulta no el límite inferior, sino el promedio de  $V_{salida}$ . Las tensiones pueden escogerse de manera que el límite inferior de  $V_{salida}$  resulta ser de aproximadamente 0 V, de manera que puede ser utilizada la región inferior del rango del convertidor A/D. A continuación se describirá en mayor detalle cómo puede ser utilizada totalmente la región superior del rango.

Una desventaja de la realización básica basada en un principio simple, tal como se ha descrito anteriormente, es que se requiere una tensión de referencia extra  $V_{polarización2}$ . Si esta tensión es sometida a una deriva en relación con  $V_{polarización}$ , el resultado será un error en  $V_{salida}$ .

35 La realización preferida mostrada en la figura 5 no tiene esta desventaja: existe solamente una tensión de referencia requerida. La realización utiliza un op-amp diferencial ('substractor') conectado corriente bajo respecto del amplificador de transimpedancia. El diagrama de circuito de la figura 5 muestra el principio de reducción del desplazamiento de tensión por medio de un amplificador diferencial u op-amp U2. La entrada positiva 10 del op-amp U2 está conectada a la salida 7 ( $V_{salida}$ ) del circuito de la figura 3, y a la entrada negativa 11 a  $V_{polarización}$ . Cuando se eligen  $R_3$  y  $R_4$  iguales, la tensión de salida  $V_o$  a la salida 12 será igual a la diferencia entre las dos salidas 10 y 11. Puesto que  $V_{polarización}$  se mantiene constante, se consigue el mismo resultado que con la realización simple, básica de la figura 4.

Puede conseguirse una amplificación de tensión adicional  $G = R_1/R_2$  en la disposición de la figura 5, en la que se proporciona un valor a  $R_1 = R_2$  que es diferente del de  $R_3 = R_4$ .

### Tensión de polarización

45 Puede conseguirse una tensión de polarización deseada por medio del circuito de la figura 6. El circuito funciona como sigue: la tensión aplicada de la  $V_{cc}$  de alimentación es subdividida según se desee por el divisor de tensión  $R_5$ ,  $R_6$ . La relación de estas determina la eventual tensión de polarización deseada. La tensión de alimentación dividida, determinada por  $R_5$  y  $R_6$ , se entrega a la entrada positiva 13 del op-amp U3. A continuación, el op-amp U3 intentará mantener constante la tensión en ambas entradas 13, 14, y lleva a cabo esto mediante el recurso de controlar su salida de manera que se tiene asimismo la misma tensión en la entrada de realimentación 14. Puesto que en principio no hay corriente entrando al op-amp U3 a través de una de las entradas 13 y 14, el divisor de tensión que consiste en  $R_5$  y  $R_6$  no está cargado. La tensión deseada está presente en la salida 6 del op-amp U3, y cualquier carga concomitante puede ser proporcionada por el op-amp U3. Una red RC  $R_o$ ,  $C_o$  a la salida 6 del op-amp U3 proporciona un desacoplamiento respecto de posibles interferencias procedentes de influencias externas y procedentes del propio op-amp U3.

**Diagrama de circuito completo**

Unir conjuntamente los circuitos parciales anteriores de lugar al diagrama de circuito completo de la figura 7, en el que el op-amp U3 proporciona una tensión de referencia estable  $V_{polarización}$  a través de la tensión de alimentación estable  $V_{cc}$  en combinación con el divisor de tensión  $R6 / (R5 + R6)$ .

5 La figura 8 proporciona una realización preferida de la unidad de detención óptica para utilizar en el caudalímetro de masa acorde con la invención. En este caso, la fuente de luz 1 consiste en un LED de infrarrojos, representando las fechas 3 la luz emitida, y el receptor de la luz o célula 4 de medición de luz consiste en un fototransistor. En una realización alternativa, la fuente de luz puede ser un diodo láser o algún otro tipo de fuente de luz, y la célula de medición de la luz puede ser un fotodiodo o algún otro tipo de célula fotosensible. Un fotodiodo es un diodo que genera una tensión mayor o menor en proporción a una cantidad de luz mayor o menor incidente sobre el mismo. Un fototransistor es un transistor que pasa más o menos corriente dependiendo de la cantidad de luz. Estos dos componentes pueden ser utilizados dentro del marco de la invención con una adaptación simple. La realización preferida de la figura 8 comprende en concreto un fototransistor debido a que éste está presente junto con el diodo emisor, es decir el LED de infrarrojos, en un alojamiento como parte del componente óptico estándar. Por lo tanto, el receptor 4 de la luz de las figuras 2 a 6 puede ser un diodo, o bien un transistor tal como se muestra en la figura 8.

10 Si el receptor de luz 4 en el diagrama de la figura 2 es un transistor, en este caso se genera asimismo una tensión a través de la resistencia  $R_x$  en el método clásico de detección. En combinación con la capacidad  $C$ , esta resistencia es responsable de la aparición de un tiempo  $RC$  inconveniente y variable. En la solución acorde con la invención descrita haciendo referencia a la figura 3, el número de referencia 4 puede referirse a un transistor que es alimentado desde el op-amp U1, op-amp U1 que proporciona asimismo una carga de impedancia baja.

25 Resumiendo, la invención se refiere a un caudalímetro de masa de Coriolis o controlador de flujo con un tubo de Coriolis y con un dispositivo de detección óptica, dispositivo de detección óptica que comprende por lo menos un detector óptico para generar una señal que es representativa del movimiento del tubo de Coriolis, comprendiendo dicho detector óptico una fuente de luz y un detector fotosensible, en el que el dispositivo de detección óptica comprende medios para aplicar una tensión constante a través del detector fotosensible durante el funcionamiento, independientemente de la corriente generada por el detector fotosensible en respuesta a la luz incidente, y medios para determinar el valor de la corriente generada por el detector fotosensible y convertirla en una señal de salida, así como un convertidor A/D para convertir la señal de salida en una señal digital.

## REIVINDICACIONES

- 5 1. Un caudalímetro de masa de Coriolis que comprende un tubo de Coriolis y un dispositivo de detección óptica, dispositivo de detección óptica que comprende por lo menos un detector óptico para generar una señal que es representativa del movimiento del tubo de Coriolis, comprendiendo dicho detector óptico una fuente de luz y un detector fotosensible, en el que el tubo de Coriolis o un saliente fijado al tubo de Coriolis se desplaza a través del camino óptico entre la fuente de luz y el detector fotosensible, durante el funcionamiento,
- caracterizado por que** el dispositivo de detección óptica comprende medios para aplicar una tensión constante a través del detector fotosensible durante el funcionamiento, independientemente de la corriente generada por el detector fotosensible en respuesta a la luz incidente, así como medios para determinar el valor de la corriente generada por el detector fotosensible y convertirla en una señal de salida.
- 10 2. Un caudalímetro de masa de Coriolis de acuerdo con la reivindicación 1,
- caracterizado por que** el medio de aplicación de una tensión constante a través del detector fotosensible durante el funcionamiento, comprende un amplificador de transimpedancia.
3. Un caudalímetro de masa de Coriolis de acuerdo con la reivindicación 2,
- caracterizado por que** dicho amplificador de transimpedancia comprende un amplificador operacional (op-amp).
- 15 4. Un caudalímetro de masa de Coriolis de acuerdo con la reivindicación 3,
- caracterizado por que** dicho op-amp es un op-amp con realimentación, que tiene una entrada positiva que está conectada a medios para suministrar una tensión de polarización constante  $V_{\text{polarización}}$  y una entrada negativa que está conectada al detector fotosensible, controlando el op-amp la entrada negativa a una tensión igual a  $V_{\text{polarización}}$ , mientras que el op-amp tiene una salida que suministra una tensión de salida proporcional a la corriente a través del detector fotosensible.
- 20 5. Un caudalímetro de masa de Coriolis de acuerdo con la reivindicación 2 ó 3, dotado además de medios eléctricos analógicos para reducir un desplazamiento de la señal de salida antes de que ésta última sea suministrada al convertidor A/D.
6. Un caudalímetro de masa de Coriolis de acuerdo con la reivindicación 5,
- 25 **caracterizado por que** dichos medios eléctricos analógicos comprenden un amplificador diferencial.
7. Un caudalímetro de masa de Coriolis de acuerdo con la reivindicación 6,
- caracterizado por que** el amplificador diferencial comprende un op-amp.
8. Un caudalímetro de masa de Coriolis como el reivindicado en las reivindicaciones 3, 4, 5, 6, ó 7, dotado además de un amplificador de tensión 'voltio a voltio' para incrementar la tensión de salida del op-amp.
- 30 9. Un caudalímetro de masa de Coriolis de acuerdo con la reivindicación 8,
- caracterizado por que** el amplificador diferencial está conectado a un divisor de tensión que comprende dos resistencias para conseguir una amplificación de tensión, definiendo la relación de las dos resistencias el factor de amplificación.

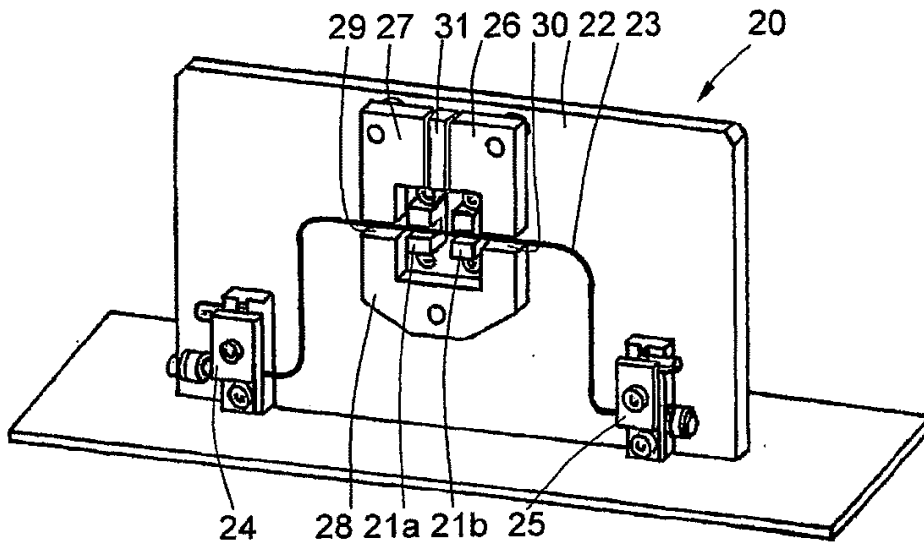


Fig 1A

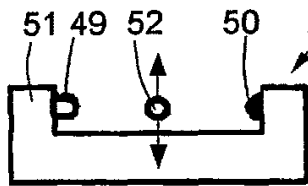


Fig.1B

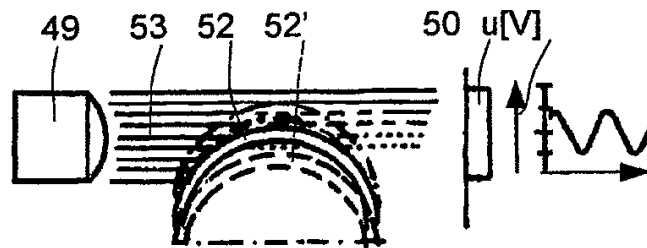


Fig.1C

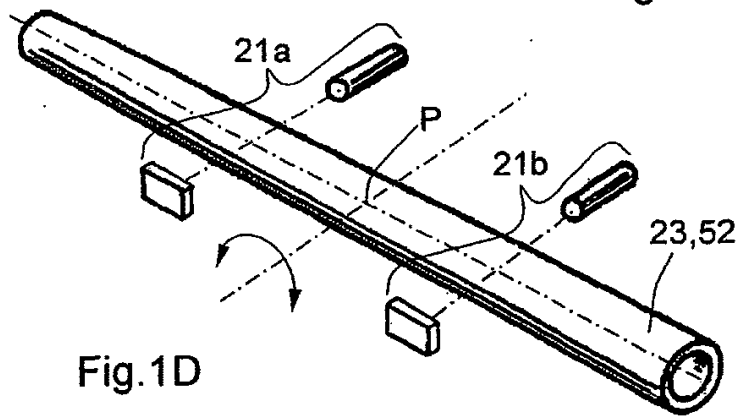


Fig.1D

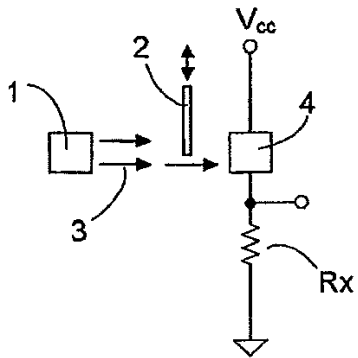


Fig.2

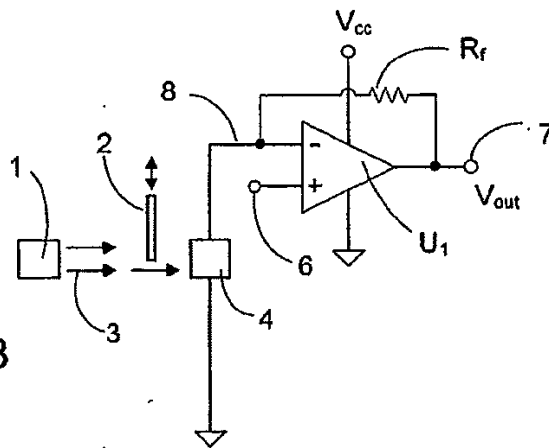


Fig.3

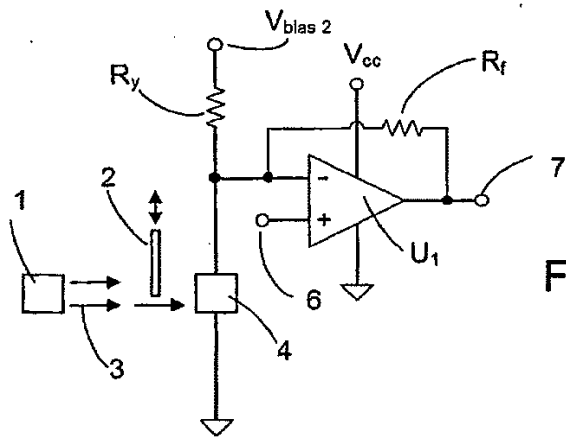


Fig.4

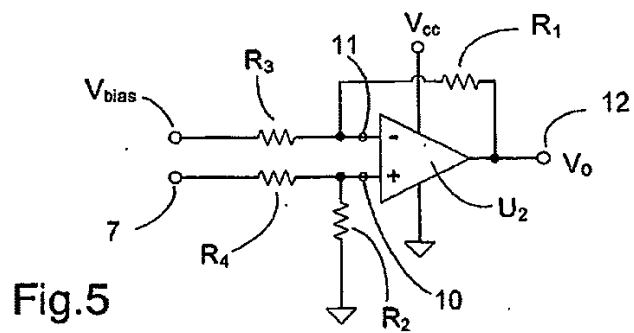


Fig.5

