

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 399 751**

51 Int. Cl.:

G01P 15/09 (2006.01)

H03F 3/08 (2006.01)

H03F 3/45 (2006.01)

H03F 3/70 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.03.2004 E 04380054 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.11.2012 EP 1574862**

54 Título: **Circuito amplificador para sensores del tipo carga y del tipo corriente**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
03.04.2013

73 Titular/es:

**AZKOYEN, S.A. (100.0%)
AVENIDA SAN SILVESTRE S/N
31350 PERALTA, Navarra, ES**

72 Inventor/es:

**CARLOSENA GARCIA, ALFONSO;
BAZTÁN OIZA, JESÚS;
FERNANDEZ DE MUNIAIN COMAJUNCOSA,
JAVIER y
PINA INSAUSTI, JOSE LUIS**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 399 751 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

Circuito amplificador para sensores del tipo carga y del tipo corriente

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a circuitos amplificadores con entrada diferencial para sensores del tipo carga o del tipo corriente para amplificar, acondicionar y proporcionar la salida de sensores del tipo carga o del tipo corriente tales como sensores de aceleración y de detección de luz (fotodiodo).

Antecedentes de la invención

10 Hasta ahora, se conocen dispositivos tales como los acelerómetros piezoeléctricos, sensores piroeléctricos de infrarrojos y otros similares, que producen señales en forma de carga eléctrica, que dependen directamente de las variables físicas medidas. Puesto que la cantidad de carga producida es muy pequeña, típicamente del orden de Pico-Culombios, se precisa un amplificador para producir una tensión medible, en el rango de centenas de milivoltios. Este tipo de dispositivos son conocidos como amplificadores de carga y pueden considerarse como una subclase de los llamados amplificadores o convertidores de transimpedancia.

15 Los amplificadores de carga deben tener propiedades adicionales tales como bajas impedancias de entrada y salida, de tal manera que la señal de salida sea prácticamente independiente de las impedancias parásitas del sensor y de la posterior electrónica. Una topología sencilla y bien conocida que cumple los requerimientos, se muestra en la Figura 1 y es originalmente atribuida a W. Kistler. Entre la entrada inversora y la salida de un amplificador diferencial de alta ganancia en tensión, se conecta un condensador C_f . La entrada no inversora del amplificador, se conecta a una tensión de referencia. Normalmente, mediante un amplificador operacional (op amp) se realiza el amplificador diferencial de alta ganancia, o en su lugar puede simplemente utilizarse un transistor FET. La tensión en la salida, cuando se genera una carga Q por el sensor, se calcula como:

$$V_o = Q/C_f$$

Por lo tanto, la sensibilidad del amplificador es:

25
$$1/C_f$$

Normalmente, se conecta una resistencia R_f en paralelo con el condensador C_f con la finalidad de permitir una adecuada polarización del amplificador operacional y una estabilidad garantizada en su comportamiento en DC. No obstante, R_f también introduce una frecuencia de corte inferior. La respuesta dinámica del amplificador es en este caso:

30
$$V_o = \frac{Q}{C_f \left(1 + \frac{1}{sR_f C_f} \right)}$$

De donde la frecuencia inferior de corte puede ser calculada como::

$$\omega = \frac{1}{R_f C_f}$$

35 Esto significa que el amplificador tiene una mínima frecuencia útil, que puede ser reducida tanto como sea posible incrementando R_f , mientras que se mantiene constante el valor de C_f , con la finalidad de mantener la sensibilidad del amplificador en la zona de respuesta plana en frecuencia.

Son conocidas varias modificaciones sobre este esquema básico cuyo fin es el de mejorar una determinada característica del amplificador o bien corregir alguna limitación. Por ejemplo, una conexión resistiva en "T", tal como se muestra en la figura 2, puede utilizarse para reemplazar la resistencia R_f . En este caso, la resistencia equivalente vista desde el sensor es:

$$R_f(1 + R_1/R_2 + R_1/R_f)$$

De este modo, valores de resistencia elevados pueden lograrse eligiendo apropiadamente la razón R_1/R_2 , sin tener que recurrir a resistencias de alto valor. La idea básica de aumentar el valor de una resistencia mediante una T es bien conocida, tal como se explica en muchos libros de texto, y se aplica en amplificadores de carga en la patente publicada US-6,104,120. La sensibilidad de los amplificadores de carga en la zona plana de su respuesta en frecuencia no se modifica, permaneciendo igual a $1/C_f$.

Una limitación de los esquemas de las figuras 1 y 2 es la falta de un control independiente de sensibilidad del amplificador, que solo puede ser modificada variando C_f , pero variando en la misma proporción la frecuencia inferior de corte. Para superar esta limitación, Murata ha propuesto una modificación tal como se muestra en la figura 3. El condensador C_f y la resistencia R_f se conectan en paralelo y uno de sus terminales comunes se conecta a la entrada inversora del amplificador. Un divisor resistivo formado por R_2 y R_1 se conecta entre la salida del amplificador y la referencia, y el punto intermedio del divisor se conecta al otro terminal común entre R_f y C_f . La sensibilidad de este nuevo amplificador es ahora:

$$(1/C_f).(1 + R_1/R_2)$$

Y la frecuencia de corte no se modifica. En realidad, esta configuración de la realimentación del amplificador de carga puede verse también como una red en T cuyo objetivo es el de aumentar la sensibilidad del amplificador, aumentando la impedancia efectiva del condensador.

Una topología muy similar a la anterior, de la que la realización de la figura 3 puede verse como un caso particular, se conoce a través de la patente EP-1150125, y se reproduce en la figura 4. En ella, se utiliza un divisor resistivo compuesto por tres resistencias R_1 , R_2 , y R_3 . Los puntos divisores de tensión se conectan, a un terminal del sensor, y al terminal de conexión común entre C_f y R_f respectivamente. Este esquema proporciona simultáneamente control de la sensibilidad, a través de R_1 , y compensación frente a la temperatura, a través de R_2 , y R_3 . Una limitación de este esquema es que no se produce un cortocircuito virtual entre los dos terminales del sensor, y por tanto es de esperar algún tipo de dependencia en el comportamiento de las impedancias parásitas del sensor.

Una limitación común a todos los esquemas descritos hasta este momento (figuras 1 a 4), es que todas ellas son muy sensibles al ruido e interferencia en modo común, tal como la que se produce por acoplamiento electrostático. Tales señales en modo común, en forma de corrientes, se inyectan simultáneamente en los dos terminales del sensor con aproximadamente la misma intensidad. Dado que uno de los terminales está conectado a la tensión de referencia, su cancelación o compensación no son posibles.

Son conocidos varios esquemas para solucionar este problema, haciendo la mayoría uso de configuraciones diferenciales o balanceadas. Ejemplos de configuraciones balanceadas se han conocido a través de las patentes US-5,339,285, US-5,982,232, y también se proponen por ejemplo en el artículo "Transimpedance amplifier with differential photodiode current sensing", por Bahram Zand, Khoman Phang, and David A. Johns, IEEE International Symposium on Circuits and Systems, ISCAS 99. Todos ellos hacen uso de un amplificador balanceado de alta ganancia, que no se construye de forma sencilla con amplificadores operacionales. Con respecto a las configuraciones completamente diferenciales, son bien conocidas y han sido descritas para sensores de fotodiodos, (B.C. Baker, "Comparison of noise performance between a FET transimpedance amplifier and a switched integrator", Application Bulletin AB-075A, 1993 Burr-Brown Corporation, USA), y también para amplificadores de carga ("Charge amplifiers for piezoelectric sensors", A. Gandelli, R. Ottoboni, IEEE International Measurement and Technology Conference, IMTC 1993). Realizaciones prácticas que utilizan amplificadores operacionales para sensores piezoeléctricos, tal como la mostrada en la figura 5, son conocidas a través de las patentes US-4,689,578 and US-5,388,458.

Todos los esquemas mencionados, que cancelan la interferencia o ruido en modo común, requieren del uso de al menos tres amplificadores operacionales, y de varias resistencias, haciendo que la solución sea cara en comparación con el amplificador de carga básico con un solo amplificador operacional. Además, la cancelación de este modo común no es independiente de la transimpedancia del circuito, por lo que ganancia y compensación no se pueden ajustar independientemente. Una alternativa que utiliza un único amplificador operacional, para sensores generadores de carga, mostrada en la figura 6, se ha dado a conocer recientemente a través de la patente US-2002/0125943, y que ya era conocida y estaba descrita previamente para sensores generadores de corriente (G. Graeme, "Photodiode monitoring with opamps" Application Bulletin AB-075, January 1995, Burr-Brown Corporation, USA). Sin embargo, y a diferencia de los esquemas mostrados hasta ahora, se producen variaciones en la señal en las entradas del amplificador operacional que no permanece a una tensión cercana a la tensión de referencia. Además, para conseguir una cancelación efectiva del ruido, se requiere un completo apareamiento entre los componentes pasivos, lo que es en la

práctica difícil particularmente para los condensadores. Otra limitación es que la compensación depende también de los offsets de tensión del amplificador operacional. Para salvar todas estas limitaciones, se propone en esta patente un nuevo esquema y varias realizaciones posibles.

Resumen de la invención

5 La presente invención se refiere a circuitos amplificadores con entrada diferencial para sensores del tipo carga y del tipo tensión de acuerdo con las reivindicaciones 1, 2 y 3.

De acuerdo con ello, un objeto de la presente invención es proporcionar un circuito amplificador y acondicionador para sensores del tipo carga y del tipo tensión, en el que la interferencia y ruido en modo común son cancelados. El circuito de la invención proporciona una tensión a la salida, V_{out} , en respuesta a la excitación del sensor en forma de carga o corriente. La idea es producir una cancelación de la carga (o corriente) en modo común, y simultáneamente sumar las corrientes (o carga) diferenciales lo más tempranamente posible, y tan cerca del sensor como sea posible. La señal resultante es a continuación amplificada y convertida a una tensión por un amplificador de transimpedancia o convertidor, que proporciona una tensión a la salida V_{out} que es proporcional a la corriente o carga generada por el sensor, según sea el caso.

En consecuencia, la invención se refiere a un circuito amplificador y acondicionador de sensores generadores de carga o corriente, cuya tensión de salida, V_{out} , es proporcional a la carga o corriente generadas por el sensor, respectivamente, incluyendo el circuito una tensión de referencia. El circuito incluye un nodo A, la corriente I proporcionada en dicho nodo A del circuito cancela la corriente de ruido en modo común I_c del sensor, y suma las corrientes diferenciales I_d , proporcionadas por el sensor y,

El circuito comprende medios para convertir la citada corriente I en tensión.

Esto es, en el nodo A, se cancelan las señales en modo común, mientras que las corrientes diferenciales se suman. Después, la corriente I se convierte a tensión a través de, por ejemplo, una transimpedancia adecuada.

25 De acuerdo con la invención, la entrada del circuito es flotante, lo que implica que ninguno de los terminales del sensor está conectado a la tensión de referencia, pero se fuerza un cortocircuito virtual (baja impedancia) entre los terminales del sensor.

Algunas ventajas de la presente invención son:

30 - Dado que corriente y carga están relacionadas por una operación de derivación, el circuito de cancelación es válido tanto para sensores del tipo carga como del tipo de corriente, y por tanto puede ser usado como primera etapa de amplificadores de carga o corriente.

- Cualquier circuito amplificador de transimpedancia conocido, compensado o no, puede ser utilizado, sumando las ventajas del circuito cancelador al del amplificador, en cuanto a respuesta en frecuencia, sensibilidad, etc.

35 - Los ajustes de sensibilidad por el amplificador de corriente o carga son independientes del ajuste de la cancelación del modo común.

El circuito de la invención puede ser realizado de varias formas, utilizando amplificadores operacionales, dando lugar a distintas realizaciones de la invención

40 El circuito comprende al menos: un primer y un segundo amplificador operacional, dos resistencias de igual valor, r , una resistencia R_f y un condensador C_f y dicho nodo A.

De acuerdo con una realización preferente del circuito

- El citado sensor generador de carga o corriente es conectable entre los dos terminales de entrada del citado primer amplificador operacional.

45 - La citada primera resistencia r se conecta entre el terminal inversor del citado primer amplificador operacional y su salida

- La citada segunda resistencia r se conecta entre el terminal no inversor del citado primer amplificador operacional y su salida
 - El terminal no inversor del citado primer amplificador operacional se conecta con el terminal inversor del citado segundo amplificador operacional.
- 5 - El terminal no inversor del citado segundo amplificador operacional se conecta a la tensión de referencia, y
- La conexión en paralelo del citado condensador C_f y la citada resistencia R_f está conectada entre el terminal inversor del citado segundo amplificador operacional y su salida, que es a su vez la salida del circuito, dicho nodo A estando determinado por las conexiones comunes de la segunda resistencia, el terminal no inversor de dicho primer amplificador operacional, el terminal inversor de dicho segundo amplificador operacional, el condensador C_f y la tercera resistencia R_f .

Algunas ventajas adicionales de esta primera realización preferente son:

- Solo utiliza dos amplificadores operacionales, en comparación con los tres amplificadores operacionales requeridos en la mayoría de amplificadores diferenciales o balanceados de carga.
- 15 - La sensibilidad global se incrementa por un factor dos, con respecto de la sensibilidad que se consigue con un amplificador de carga de un único amplificador operacional.
- Está inherentemente compensado con respecto a los offsets de tensión de los amplificadores operacionales.
- 20 - Si se compara con el circuito de la figura 6 (arte previo) u otras configuraciones balanceadas, no requiere apareamiento de condensadores. Por otra parte, las tensiones de entrada de los amplificadores operacionales están siempre ligadas a la tensión de referencia, haciendo posible el uso de amplificadores operacionales con margen "rail-to-rail" limitado.

De acuerdo con otra realización preferente del circuito.

- El citado sensor generador de carga o corriente es conectable entre el terminal inversor de entrada del citado primer amplificador operacional y el terminal inversor del citado segundo amplificador operacional.
- La citada primera resistencia r se conecta entre el terminal inversor del citado primer amplificador operacional y su salida
 - La citada segunda resistencia r se conecta entre el terminal inversor del citado segundo amplificador operacional y la salida del citado primer amplificador operacional.
- 30 - Los terminales no inversores de los citados primer y segundo amplificador operacional se conectan a la tensión de referencia, y
- La conexión en paralelo del citado condensador C_f y la citada resistencia R_f está conectada entre el terminal inversor del citado segundo amplificador operacional y su salida, que es a su vez la salida del circuito, dicho nodo A estando determinado por las conexiones comunes de la segunda resistencia r , el terminal inversor del segundo amplificador operacional, el condensador C_f y la tercera resistencia R_f .

En una tercera realización preferente del circuito

- El citado sensor generador de carga o corriente es conectable entre el terminal inversor del citado primer amplificador operacional y el terminal inversor del citado segundo amplificador operacional.
- La citada primera resistencia r se conecta entre el terminal inversor del citado primer amplificador operacional y su salida
 - La citada segunda resistencia r se conecta entre el terminal inversor del citado segundo amplificador operacional y la salida del citado primer amplificador operacional.
 - Los terminales no inversores de los citados primer y segundo amplificador operacional se conectan a la

tensión de referencia, y

- 5 - La conexión en paralelo del citado condensador C_f y la citada resistencia R_f está conectada entre el terminal inversor del citado primer amplificador operacional y la salida del citado segundo amplificador operacional, que es a su vez la salida del circuito, dicho nodo A estando determinado por las conexiones comunes de la primera resistencia r , el terminal inversor de dicho primer amplificador operacional, el condensador C_f y la tercera resistencia R_f .

Tal como se ha indicado más arriba, el citado sensor puede ser generador de carga, como es el caso de un sensor piezoeléctrico o un sensor piroeléctrico; o generador de corriente, como es el caso de un fotodiodo.

- 10 Todas las realizaciones preferentes que se han descrito pueden ser utilizadas como amplificadores de carga, para cualquier clase de sensores generadores de carga, o como amplificadores de transimpedancia para sensores generadores de corriente. La principal diferencia entre ambos casos radica en que en los primeros, la capacidad C_f se usa para proporcionar la ganancia requerida, y R_f se ajusta para fijar la frecuencia inferior de corte, mientras que en el segundo caso se elige R_f para fijar la transimpedancia deseada, y C_f se ajusta para limitar el ancho de banda de ruido.

15 Descripción breve de los dibujos

La Figura 1 muestra un esquema típico de un amplificador de carga con amplificador operacional único tal como se usa, por ejemplo, para sensores de tipo piezoeléctrico (arte previo).

La figura 2 muestra una modificación conocida del esquema de la figura 1, y que reduce la frecuencia inferior de corte, manteniendo la sensibilidad del circuito (arte previo).

- 20 La figura 3 muestra otra modificación del circuito básico de la figura 1, cuyo fin es el de proporcionar control de la sensibilidad (arte previo).

Figura 4 muestra una modificación más general que permite control de sensibilidad y compensación de temperatura, con respecto a las capacidades parásitas del sensor (arte previo).

- 25 La figura 5 muestra un amplificador de carga diferencial típico que hace uso de tres amplificadores operacionales (arte previo).

La figura 6 muestra un amplificador de carga, con un único amplificador operacional, que compensa el ruido en modo común (arte previo).

La figura 7 muestra un esquema general.

La figura 8 muestra una realización preferida de la invención, que utiliza dos amplificadores operacionales.

- 30 La figura 9 muestra otra realización preferida de la invención, que utiliza dos amplificadores operacionales.

La figura 10 muestra un circuito alternativo, con la misma función que los circuitos de las figuras 8 y 9.

Tal como se ha indicado más arriba, los esquemas mostrados en las figuras de la 1 a la 7 son ejemplos de arte previo.

- 35 La figura 7 muestra un esquema general, que se compone de dos subcircuitos con un nodo común A donde se produce la cancelación de la corriente en modo común, siendo a continuación convertida la corriente a tensión por una transimpedancia adecuada.

- 40 Tal como se muestra en la figura 7, la entrada del circuito es flotante, esto es, ninguno de los terminales del sensor está conectado a la tensión de referencia, forzándose en consecuencia un cortocircuito virtual (baja impedancia), entre los terminales del sensor. La corriente generada en los terminales del sensor se resta en el nodo común A, dando lugar a una corriente:

$$I = I_+ - I_-$$

Como

$$I_+ = I_d + I_c$$

En donde I_d representa la corriente diferencial deseada, y producida por el sensor, e I_c es el ruido o interferencia en modo común. Asimismo:

$$I_- = I_c - I_d$$

5 Por tanto:

$$I = 2I_d$$

Lo que significa que las señales en modo común son canceladas mientras que las señales diferenciales son sumadas. A continuación, la corriente I se convierte a tensión por una impedancia adecuada.

Descripción de la realización preferente

10 El circuito de la figura 8 muestra una primera realización preferente de la invención. El sensor generador de carga (o corriente) es conectable a los dos terminales de entrada del amplificador operacional designado *opamp1*. Una resistencia r es conectada entre el terminal inversor del amplificador operacional *opamp1* y su salida, y otra resistencia de idéntico valor r se conecta entre el terminal no inversor y la salida del amplificador operacional *opamp1*. El terminal no inversor del *opamp1* se conecta con el terminal inversor del *opamp2*, mientras que el terminal no inversor del *opamp2* se conecta a la tensión de referencia. La conexión en paralelo de un condensador C_f y de una resistencia R_f , se conecta entre el terminal inversor del *opamp2* y su salida, que es también la salida del circuito.

La corriente en el nodo A que entra en las impedancias R_f y C_f , conectadas al terminal no inversor de *opamp1* puede calcularse como:

20
$$I = I_+ - I_-$$

Dado que obviamente

$$I_+ = I_d + I_c$$

Donde I_d representa la corriente diferencial generada por el sensor, e I_c es el ruido o interferencia en modo común inducidos. Por otra parte, el análisis del circuito muestra que

25
$$I_- = I_c - I_d$$

Y por lo tanto

$$I = 2I_d$$

Finalmente, la tensión a la salida es:

$$V_{out} = - \frac{2I_d}{C_f s \left(1 + \frac{1}{sR_f C_f} \right)}$$

30 Hay otras posibles realizaciones con exactamente los mismos componentes activos y pasivos y que son equivalentes en cuanto a su funcionamiento, a la de la figura 8. Estas alternativas se muestran en las figuras 9 y 10. Mientras que el circuito de la figura 9 se ajusta al esquema general mostrado en la figura 7, el circuito 10 es una modificación circuital basada en la transformación denominada "opamp relocation" por lo que, aun siendo equivalente, no sigue el mismo esquema general.

35 Otra realización preferente del esquema básico de la figura 7 es el circuito de la figura 9. Este circuito también se compone de dos amplificadores operacionales *opamp1* y *opamp2*, dos resistencias de idéntico valor r , una resistencia de valor R_f y un condensador C_f . El sensor generador de carga (o corriente) es conectable entre el terminal inversor de entrada del *opamp1* y el terminal inversor de entrada del *opamp2*. Una resistencia r se

5 conecta entre el terminal inversor del *opamp1* y su salida y otra resistencia r de igual valor se conecta entre el terminal inversor del *opamp2* y la salida del *opamp1*. Los terminales no inversores de los *opamp1* y *opamp2* se conectan a la tensión de referencia. La conexión en paralelo de una resistencia R_f y un condensador C_f se conecta entre el terminal inversor del *opamp 2* y su salida, formando un amplificador de carga básico que es la etapa de salida del circuito. La respuesta de este circuito, suponiendo amplificadores operacionales ideales, es idéntica a la del circuito de la figura 8.

10 Otra realización preferente puede obtenerse aplicando la transformación conocida como “opamp-relocation” al circuito de la figura 9, resultando el circuito de la figura 10. Este último circuito se compone de dos amplificadores operacionales, *opamp1* y *opamp2*, dos resistencias de idéntico valor r , y una resistencia R_f y un condensador C_f . El sensor generador de carga (o corriente) es conectable entre el terminal inversor de entrada del *opamp1* y el terminal inversor de entrada del *opamp2*. Una de las resistencias r se conecta entre el terminal inversor del *opamp1* y su salida, y la otra resistencia de idéntico valor r se conecta entre el terminal inversor del *opamp2* y la salida del *opamp1*. Los terminales no inversores de los *opamp1* y *opamp2* se conectan a la tensión de referencia. La conexión en paralelo del condensador C_f y la resistencia R_f se conecta entre el terminal inversor del *opamp1* y la salida del *opamp2*, que es también la salida del circuito.

15

REIVINDICACIONES

- 5 1.- Circuito acondicionador y amplificador con entrada diferencial para un sensor generador de carga o de corriente con terminales del sensor adecuado para generar una corriente de ruido en modo común (I_c) y corrientes diferenciales (I_d), siendo la tensión de salida V_{out} del circuito con entrada diferencial proporcional a la carga o corriente, respectivamente, proporcionada por el sensor, incluyendo el circuito una tensión de referencia, y comprendiendo:
- una primera y una segunda resistencia (r) de idéntico valor, un primer y un segundo amplificador operacional ($opamp1$, $opamp2$), una conexión en paralelo de un condensador (C_f) y una tercera resistencia (R_f);
- 10 un nodo (A), estando el circuito con entrada diferencial configurado para suministrar una corriente a ese nodo (A) para cancelar la corriente de ruido en modo común (I_c) y para sumar las corrientes diferenciales (I_d), y medios para convertir dicha corriente (I) en tensión;
- donde:
- los dos terminales de entrada del primer amplificador operacional ($opamp1$) están dispuestos para ser conectables respectivamente con los terminales del sensor,
 - 15 - la primera resistencia (r) se conecta entre el terminal inversor del citado primer amplificador operacional ($opamp1$) y su salida,
 - la segunda resistencia de idéntico valor (r) se conecta entre el terminal no inversor del citado primer amplificador operacional ($opamp1$) y su salida,
 - 20 - el terminal no inversor del citado primer amplificador operacional ($opamp1$) se conecta con el terminal inversor del segundo amplificador operacional ($opamp2$),
 - el terminal no inversor del citado segundo amplificador operacional ($opamp2$) se conecta a la tensión de referencia, y
 - 25 - la conexión en paralelo del condensador (C_f) y la tercera resistencia (R_f) está conectada entre el terminal inversor del citado segundo amplificador operacional ($opamp2$) y su salida, que es a su vez la salida del circuito, dicho nodo (A) estando determinado por las conexiones comunes de la segunda resistencia, el terminal no inversor de dicho primer amplificador operacional ($opamp1$), el terminal inversor de dicho segundo amplificador operacional ($opamp2$), el condensador (C_f) y la tercera resistencia (R_f).
- 30 2.- Circuito acondicionador y amplificador con entrada diferencial para un sensor generador de carga o de corriente con terminales del sensor adecuado para generar una corriente de ruido en modo común (I_c) y corrientes diferenciales (I_d), siendo la tensión de salida V_{out} del circuito con entrada diferencial proporcional a la carga o corriente, respectivamente, proporcionada por el sensor, incluyendo el circuito una tensión de referencia, y comprendiendo:
- una primera y una segunda resistencia (r) de idéntico valor, un primer y un segundo amplificador operacional ($opamp1$, $opamp2$), una conexión en paralelo de un condensador (C_f) y una tercera resistencia (R_f);
- 35 un nodo (A), estando el circuito con entrada diferencial configurado para suministrar una corriente a ese nodo (A) para cancelar la corriente de ruido en modo común (I_c) y para sumar las corrientes diferenciales (I_d), y medios para convertir dicha corriente (I) en tensión;
- donde:
- 40 - el terminal inversor de entrada del primer amplificador operacional ($opamp1$) y el terminal inversor de entrada del segundo amplificador operacional ($opamp2$) están dispuestos para ser conectables respectivamente con los terminales del sensor,
 - la primera resistencia (r) se conecta entre el terminal inversor del citado primer amplificador operacional ($opamp1$) y su salida,

- la segunda resistencia de idéntico valor (r) se conecta entre el terminal inversor del citado segundo amplificador operacional ($opamp2$) y la salida del citado primer amplificador operacional ($opamp1$),
 - los terminales no inversores de los citados primer y segundo amplificadores operacionales ($opamp1$, $opamp2$) están conectados a la tensión de referencia, y
- 5
- la conexión en paralelo del condensador (C_f) y la tercera resistencia (R_f) está conectada entre el terminal inversor del citado segundo amplificador operacional ($opamp2$) y su salida, que es a su vez la salida del circuito, dicho nodo (A) estando determinado por las conexiones comunes de la segunda resistencia (r), el terminal inversor del segundo amplificador operacional ($opamp2$), el condensador (C_f) y la tercera resistencia (R_f).
- 10
- 3.- Circuito acondicionador y amplificador con entrada diferencial para un sensor generador de carga o de corriente con terminales del sensor adecuado para generar una corriente de ruido en modo común (I_c) y corrientes diferenciales (I_d), siendo la tensión de salida V_{out} del circuito con entrada diferencial proporcional a la carga o corriente, respectivamente, proporcionada por el sensor, incluyendo el circuito una tensión de referencia, y comprendiendo:
- 15
- una primera y una segunda resistencia (r) de idéntico valor, un primer y un segundo amplificador operacional ($opamp1$, $opamp2$), una conexión en paralelo de un condensador (C_f) y una tercera resistencia (R_f);
- un nodo (A), estando el circuito con entrada diferencial configurado para suministrar una corriente a ese nodo (A) para cancelar la corriente de ruido en modo común (I_c) y para sumar las corrientes diferenciales (I_d), y
- medios para convertir dicha corriente (I) en tensión;
- 20
- donde:
- el terminal inversor de entrada del primer amplificador operacional ($opamp1$) y el terminal inversor de entrada del segundo amplificador operacional ($opamp2$) están dispuestos para ser conectables respectivamente con los terminales del sensor,
 - la primera resistencia (r) se conecta entre el terminal inversor del citado primer amplificador operacional ($opamp1$) y su salida
- 25
- la segunda resistencia de idéntico valor (r) se conecta entre el terminal inversor del citado segundo amplificador operacional ($opamp2$) y la salida del citado primer amplificador operacional ($opamp1$),
 - los terminales no inversores de los citados primer y segundo amplificador ($opamp1$ y $opamp2$) operacional se conectan a la tensión de referencia, y
- 30
- la conexión en paralelo del condensador (C_f) y la tercera resistencia (R_f) está conectada entre el terminal inversor del citado primer amplificador operacional ($opamp1$) y la salida del citado segundo amplificador operacional ($opamp2$), que es a su vez la salida del circuito, dicho nodo (A) estando determinado por las conexiones comunes de la primera resistencia (r), el terminal inversor de dicho primer amplificador operacional ($opamp1$), el condensador (C_f) y la tercera resistencia (R_f).
- 35

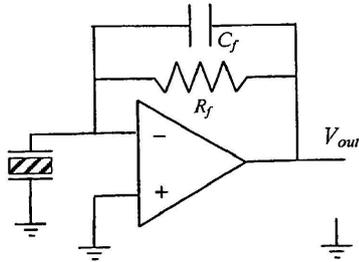


FIG. 1

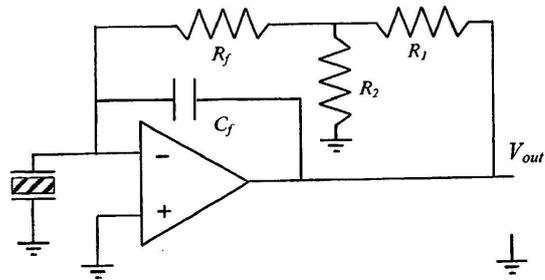


FIG. 2

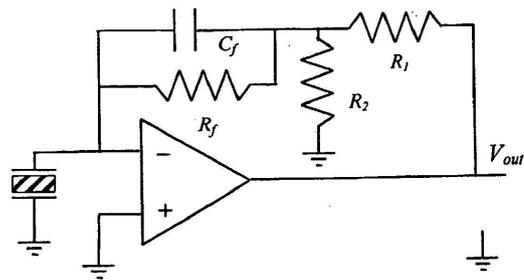


FIG. 3

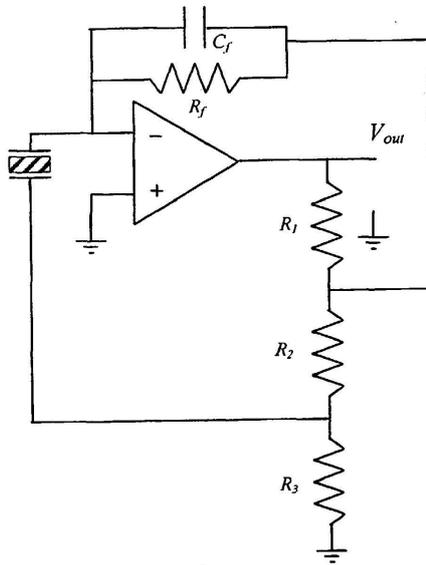


FIG. 4

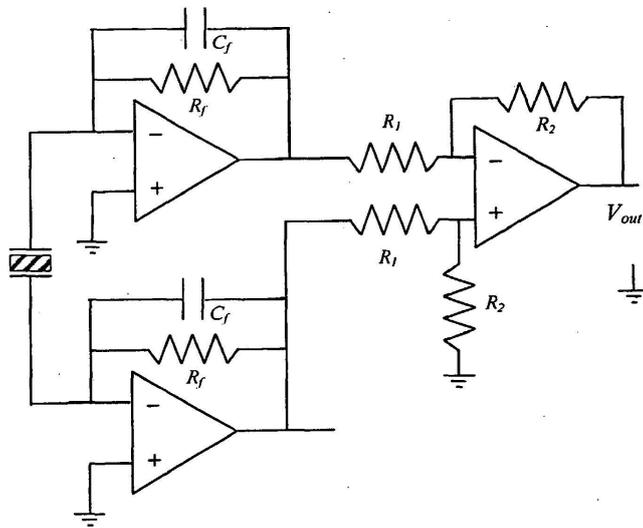


FIG. 5

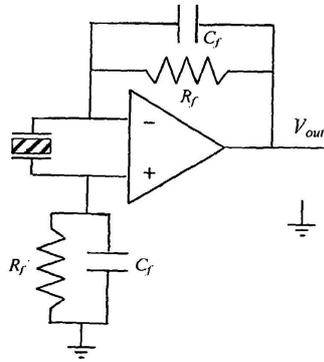


FIG. 6

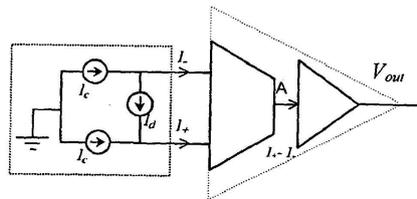


FIG. 7

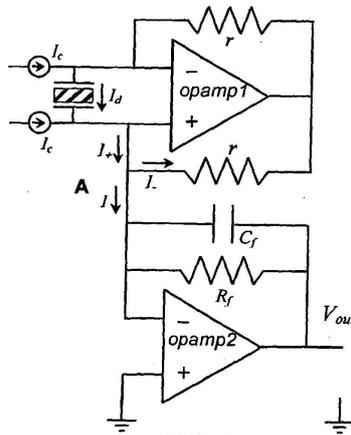


FIG. 8

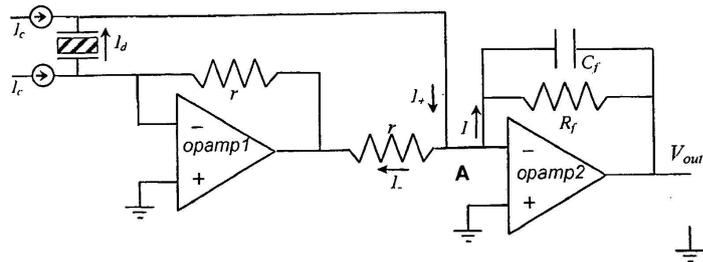


FIG. 9

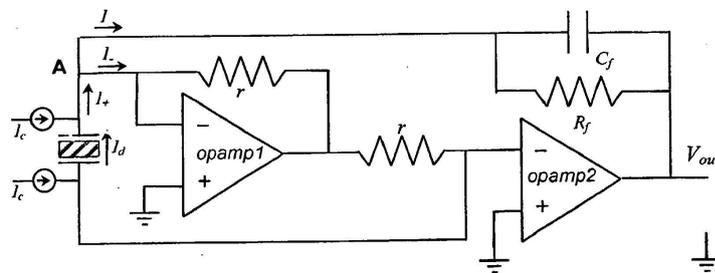


FIG. 10