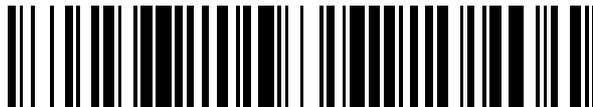


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 597 678**

51 Int. Cl.:

G01R 15/18 (2006.01)

G01R 15/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.04.2012** E 12002411 (2)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.07.2016** EP 2515123

54 Título: **Sensor de corriente que funciona de acuerdo con el principio de compensación**

30 Prioridad:

21.04.2011 EP 11003400

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

20.01.2017

73 Titular/es:

**ABB AG (100.0%)
Kallstadter Strasse 1
68309 Mannheim, DE**

72 Inventor/es:

**HOZOI, ADRIAN y
DISSELNKÖTTER, ROLF**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 597 678 T3

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

DESCRIPCIÓN

Sensor de corriente que funciona de acuerdo con el principio de compensación

5 La invención se refiere a un sensor de corriente que funciona de acuerdo con el principio de compensación, comprendiendo un arrollamiento de bobina primario a través del cual circula la corriente a medir y crea un campo magnético, comprendiendo además un arrollamiento de bobina secundario a través del cual circula una corriente de compensación que genera otro campo magnético que compensa localmente el producido por el arrollamiento de bobina primario, comprendiendo además un núcleo magnético con entrehierro acoplado magnéticamente a los dos arrollamientos y que concentra el campo magnético resultante en su entrehierro, comprendiendo además una resistencia de terminación conectada en serie al arrollamiento de bobina secundario, comprendiendo además un medio de sensor que se encuentra situado en el entrehierro y que está expuesto al campo magnético resultante de los arrollamientos primario y secundario, comprendiendo además un circuito de sobrealimentación conectado aguas abajo del medio de sensor que alimenta la corriente de compensación al arrollamiento secundario a través de la resistencia de terminación.

15 Los sensores de corriente que funcionan de acuerdo con el principio de compensación a menudo también se denominan sensores de corriente de bucle cerrado. Los sensores de corriente de bucle cerrado se basan en un circuito magnético, denominado núcleo, de un material altamente permeable que encierra un arrollamiento primario con la corriente a medir. Un elemento de sensor de flujo situado en el circuito magnético, por ejemplo, en un entrehierro, detectará cualquier flujo magnético inducido en este circuito y generará una señal proporcional. Esta señal es amplificada mediante alguna etapa de potencia electrónica, denominada circuito de sobrealimentación, lo que generará una corriente a través de un arrollamiento secundario. Esta corriente se opone a la corriente primaria, estableciendo una retroalimentación negativa, y compensará el efecto sobre el circuito magnético, además de una pequeña inducción magnética que se requiere como la variable de control para el funcionamiento del bucle de retroalimentación. Esta inducción residual corresponde a un error de corriente de todo el sensor y debe mantenerse baja. Esto se puede conseguir diseñando el amplificador para una ganancia muy alta, desde el punto de vista de una corriente secundaria por inducción magnética del núcleo.

30 En muchas aplicaciones conocidas, los sensores de corriente de bucle cerrado están equipados con amplificadores lineales que producen continuamente grandes pérdidas por conducción en sus transistores o amplificadores operacionales, especialmente en el rango de amplitudes medias. Estas pérdidas por semiconducción contribuirán a las pérdidas totales y a la demanda de potencia de alimentación del sensor. Por otra parte, pueden dar lugar a un calentamiento local en el sensor, lo que deriva en una menor fiabilidad o en un aumento del esfuerzo de diseño desde el punto de vista del medio de refrigeración y del tamaño y el coste del componente y el sensor.

35 La técnica anterior muestra una forma de reducir pérdidas por conducción en el circuito de sobrealimentación mediante el uso de un amplificador de modo conmutado con un esquema de modulación de anchura de impulso en lugar de un amplificador lineal. Al conmutar continuamente entre plena conducción y aislamiento, estos tipos de dispositivos reducen significativamente las pérdidas por conducción, incluso en detrimento de algunas pérdidas por conmutación adicionales. Las pérdidas totales serán por lo general aún mucho menores en comparación con amplificadores lineales. Un amplificador de modo conmutado generará una tensión de salida impulsada cuya media se corresponderá con la salida de un amplificador lineal correspondiente. Una salida continua puede ser restaurada mediante un filtrado adecuado.

40 Un sensor de corriente de bucle cerrado que tiene un amplificador de modo conmutado se conoce por el documento DE-OS-196 42 472, en el que el sensor utiliza una sobrealimentación conmutable para disminuir la demanda de potencia para la corriente de compensación, y para reducir las pérdidas en una operación con tensión de alimentación excesiva, y que es controlada por una señal de activación de anchura de impulso modulada, que posee un ciclo de trabajo en función del valor medido.

45 El documento US 6.713.999 B1 muestra un sensor de corriente que está provisto de filtros de paso bajo para estabilizar la señal de compensación de anchura de impulso modulada, en el que el sensor de corriente está provisto también de un elemento adicional RC, y, además, de un medio de limitación que consta de diodos Zener y se proporciona una resistencia óhmica para la supresión de transitorios de corriente rápidos.

50 El documento US 2004/0204875 A1 muestra un sensor de corriente que utiliza el principio de compensación, en el que la sonda de campo magnético se suministra con una tensión de onda cuadrada de una frecuencia predeterminada, la señal de sonda se registra mediante uno o dos comparadores y la anchura de impulso se mide digitalmente con contadores, y la etapa final analógica convencional para la corriente de compensación se sustituye por una etapa final PWM que tiene un modulador sigma-delta conectado en serie.

55 El documento DE 197 05 767 A1 muestra un sensor de corriente que funciona de acuerdo con el principio de compensación, en el que el campo magnético producido por la corriente a medir y que circula a través de un arrollamiento es compensado por una corriente de compensación en un arrollamiento secundario y en el que al menos un sensor afectado por el campo magnético detecta divergencias desde la corriente cero con el fin de

controlar la corriente de compensación y suministra un circuito excitador con dicho valor de medición con el fin de producir una corriente de compensación. El arrollamiento secundario está conectado en serie a una resistencia terminal en la salida del circuito excitador. Una corriente que es proporcional a la corriente a medir es aplicada a la resistencia terminal. El circuito excitador tiene un dispositivo amplificador sincronizado que genera una corriente de compensación de anchura de impulso modulada correspondiente a partir del valor de medición lineal proporcionado por el circuito de evaluación con el fin de alimentar el arrollamiento secundario y la resistencia terminal.

El esquema de modulación de anchura de impulso utilizado en la técnica anterior utiliza una frecuencia de conmutación constante, es decir presenta pérdidas por conmutación constantes, mientras que las pérdidas por conducción son proporcionales a la corriente secundaria. Esto conduce a pérdidas por semiconducción considerables a altos niveles de corriente y da como resultado algunas limitaciones de diseño tales como el tamaño y el coste de los componentes electrónicos. Otro efecto que acompaña al esquema de modulación de anchura de impulso se refiere a una ondulación causada por la frecuencia de conmutación constante. El valor absoluto de la ondulación es casi independiente del valor de corriente, lo que significa que el valor de ondulación correspondiente con corrientes pequeñas puede llegar a ser bastante alto. Por tanto, se requieren filtros elaborados para reducir la ondulación.

Por tanto, el problema técnico a resolver por la invención es reducir aún más las pérdidas por semiconducción con corrientes grandes. Otro problema técnico a resolver por la invención es reducir el valor de ondulación correspondiente con corrientes pequeñas.

Según la invención, estos problemas se resuelven mediante un sensor de corriente que funciona de acuerdo con el principio de compensación, que tiene un circuito de sobrealimentación que comprende un amplificador de modo conmutado que tiene un modulador de anchura y de densidad de impulso que genera una señal de tensión modulada en anchura y en densidad de impulso que excita la corriente de compensación a través del arrollamiento secundario después de un filtrado adecuado. La frecuencia de conmutación de tal modulador es una función de la corriente de compensación en el sentido de que la frecuencia de conmutación es elevada para corrientes pequeñas y baja para corrientes grandes.

Según la invención, la frecuencia de conmutación con modulación de anchura y de densidad de impulso es más alta con corriente de salida pequeña y más baja con corrientes grandes. Las pérdidas por conmutación son por tanto más bajas con corriente grande cuando las pérdidas por conducción son máximas. Las pérdidas por conmutación son más altas con corriente pequeña cuando las pérdidas por conducción son mínimas. El esquema de modulación de anchura y de densidad de impulso da como resultado así un perfil de disipación de potencia casi constante frente a la corriente de salida con pocas pérdidas máximas. Esto permite un diseño térmico fácil y un uso de componentes de bajo coste.

Además, la ondulación de un sensor de corriente según la invención, que tiene un circuito de sobrealimentación que comprende un amplificador de modo conmutado que funciona en base a una modulación de anchura y de densidad de impulso, disminuye al aumentar la frecuencia de conmutación, lo que significa que la ondulación de la modulación de anchura y de densidad de impulso es proporcional a la corriente de salida. La ondulación correspondiente se optimiza así en todo el rango de corrientes de salida, lo que permite un filtrado sencillo y de bajo coste.

De acuerdo con una realización preferida de la invención, el modulador de anchura y de densidad de impulso comprende un circuito de amplificador diferencial, cuya entrada no inversora recibe la señal de corriente analógica, y cuya salida está conectada a la entrada de un circuito con disparador de Schmitt, por lo que la salida de dicho circuito con disparador de Schmitt y la entrada inversora del amplificador diferencial están conectadas por un bucle de retroalimentación que tiene una resistencia óhmica, y la salida y la entrada inversora del amplificador diferencial están conectadas por un bucle de retroalimentación que tiene un condensador. Se puede ver que esta disposición comprende así un circuito de integración, en resumen un integrador, por lo que el integrador está formado por el circuito de amplificador diferencial que tiene el condensador que conecta la salida y la entrada inversora de dicho amplificador diferencial y la resistencia en la entrada inversora de dicho amplificador diferencial.

De acuerdo con otra realización preferida de la invención, el modulador de anchura y de densidad de impulso comprende un circuito de amplificador diferencial, cuya entrada no inversora recibe la señal de corriente analógica, y cuya salida está conectada a una disposición que tiene dos amplificadores buffer inversores, con lo cual la salida y la entrada inversora del amplificador diferencial están conectadas por un bucle de retroalimentación que tiene un condensador, por lo que una de las salidas de dicha disposición que tiene dos amplificadores buffer inversores y la entrada inversora del amplificador diferencial están conectadas para formar un bucle de retroalimentación negativa con una resistencia óhmica. Al igual que anteriormente, se puede ver que esta disposición comprende por tanto un circuito de integración, en resumen un integrador, por lo que el integrador está formado por el circuito de amplificador diferencial que tiene el condensador que conecta la salida y la entrada inversora de dicho amplificador diferencial y la resistencia en la entrada inversora de dicho amplificador diferencial.

De acuerdo con otra realización preferida de la invención, el circuito de sobrealimentación comprende un preamplificador, seguido del modulador de anchura y de densidad de impulso, seguido de una etapa de potencia que tiene un medio puente de FET.

5 De acuerdo con otra realización preferida de la invención, la etapa de potencia comprende un excitador de compuerta de medio puente y un filtro de salida, seguido de dos diodos de protección de sujeción de tensión.

De acuerdo con otra realización preferida de la invención, el medio puente de FET se construye a partir de dos MOSFET de tipo n.

De acuerdo con otra realización preferida de la invención, el medio de sensor es un sensor de efecto Hall.

De acuerdo con otra realización preferida de la invención, el medio de sensor es un sensor magnetorresistivo.

10 De acuerdo con otra realización preferida de la invención, el medio de sensor es un circuito integrado de efecto Hall que incluye medios de compensación de temperatura. El circuito integrado de efecto Hall de acuerdo con la invención puede estar además diseñado para tener una alta sensibilidad y una desviación programable y una compensación de desviación.

15 De acuerdo con otra realización preferida de la invención, el ancho de banda del medio de sensor está limitado por un filtro con el fin de tener un mejor control de la frecuencia de transición desde un modo de funcionamiento de sensor activo a un modo pasivo.

20 Una ventaja de un sensor de corriente según la invención es que se reducen las pérdidas máximas en los componentes electrónicos mediante una distribución más uniforme en el rango dinámico. Por tanto, es posible un mayor tiempo de ascenso de los conmutadores. Además, debido a la reducción de pérdidas, se pueden aplicar transistores de potencia con un tamaño y un coste reducidos, ya que se puede conseguir un tamaño más pequeño de los componentes electrónicos y de la placa.

No se necesitan medios especiales para la disipación de calor, por ejemplo, no es necesario ningún proceso de moldeo ni ninguna placa difusora de calor para refrigeración, como ocurre a menudo con soluciones de la técnica anterior.

25 Debido a las características de la invención, la corriente de compensación tiene una ondulación menor, especialmente con una corriente de salida pequeña y/o media. Esto permitirá un tamaño y un coste reducidos de los componentes de filtro.

La anchura de impulso y la modulación de densidad requieren una variación moderada de la frecuencia de conmutación con respecto a una modulación de densidad de impulso pura.

30 Se espera que el circuito de sobrealimentación que comprende un amplificador de modo conmutado con un modulador de anchura y de densidad de impulso sea más fácil de implementar debido a requisitos más tolerantes en los excitadores, los MOSFET, la refrigeración y los filtros de salida que con alternativas de modulación de anchura de impulso pura o de modulación de densidad de impulso pura conocidas en la técnica anterior. Esto permite una mayor elección de componentes y un menor coste de la solución total. Por otra parte, los tiempos ascenso reducidos que vienen con el diseño del circuito de sobrealimentación de acuerdo con la invención permiten simplificar el diseño de las placas de circuito impreso y ayudan a reducir las emisiones electromagnéticas.

35 Lo anterior, y otras características y ventajas de la presente invención, quedará más claro en vista de la descripción y los dibujos que se acompañan, en los que:

La figura 1 muestra el esquema de una configuración de sensor de corriente de bucle cerrado,

40 La figura 2 muestra en un gráfico la relación entre la señal de entrada y la señal de salida del modulador de anchura y de densidad de impulso,

La figura 3 muestra una implementación esquemática de un modulador de anchura y de densidad de impulso en una primera realización del mismo, con amplificador operacional y disparador de Schmitt,

45 La figura 4 muestra un diagrama de bloques de la electrónica con un circuito de sobrealimentación en una primera realización,

La figura 5 muestra un diagrama de bloques de la electrónica con un circuito de sobrealimentación en una segunda realización,

La figura 6 muestra una implementación esquemática de un circuito de modulador de anchura y de densidad de impulso con preamplificador, con un modulador de una sola etapa y una única salida,

La figura 7 muestra una implementación esquemática de un circuito de modulador de anchura y de densidad de impulso con preamplificador, con un modulador de dos etapas y salidas complementarias, y

- 5 La figura 8 muestra una implementación esquemática de un circuito de modulador de anchura y de densidad de impulso con preamplificador, con un modulador de dos etapas y salidas complementarias, en el que el modulador tiene dos amplificadores buffer inversores en lugar de disparadores de Schmitt.

En las figuras 1 a 8, los elementos que tienen la misma función y el mismo modo de funcionamiento se proporcionan con las mismas referencias.

- 10 La figura 1 muestra esquemáticamente una disposición de sensor de corriente de bucle cerrado 1. El sensor se basa en un circuito magnético que comprende un núcleo magnético 2 de un material altamente permeable. El núcleo magnético 2 encierra una bobina primaria 3 que tiene varios arrollamientos primarios N_P con la corriente I_P que se va a medir. En la disposición mostrada en la figura 1, la bobina primaria 3 se compone de un solo arrollamiento. Un elemento de sensor de flujo 4 que se encuentra en el entrehierro 5 del núcleo magnético 2 detectará cualquier flujo magnético inducido en el circuito magnético y generará una señal proporcional.

En el modo de funcionamiento activo del sensor de bucle cerrado, que es a bajas frecuencias de corriente, esta señal del elemento de sensor de flujo es amplificada mediante una etapa de potencia electrónica como parte de un circuito de sobrealimentación 6.

- 20 A altas frecuencias de corriente, la corriente secundaria se generará de una manera pasiva, es decir, mediante la tensión inducida en el arrollamiento secundario. El modo de alta frecuencia se denomina así modo de funcionamiento pasivo. El ancho de banda del modo de funcionamiento activo está generalmente limitado por un filtro. En el modo de funcionamiento pasivo y en un modo de transición, situándose dicho modo de transición entre el modo de funcionamiento activo y el pasivo, la señal de salida del sensor de efecto Hall ya no es proporcional a la corriente primaria, sino que está desfasada.

- 25 El circuito de sobrealimentación 6 genera en su salida 27 una corriente secundaria I_S que circula a través de una bobina secundaria 7 con varios arrollamientos secundarios N_S .

- 30 La corriente secundaria se opone a la corriente primaria, creando una retroalimentación negativa. Esto compensará el efecto de la corriente primaria sobre el circuito magnético, aparte de una pequeña inducción magnética que se requiere como la variable de control para el funcionamiento del bucle de retroalimentación. Esta inducción residual corresponde a un error de corriente de toda la disposición de sensor 1 y tiene que mantenerse baja. Esto se puede conseguir diseñando el amplificador para una ganancia muy alta.

- 35 El circuito de sobrealimentación 6 es alimentado por una fuente de alimentación $+V_A$ y $-V_A$. La magnitud de la corriente secundaria I_S se mide con una resistencia de terminación 8, también denominada resistencia de medición R_M , conectada en serie al arrollamiento secundario N_S , aquí conectada además a la conexión a tierra. La caída de tensión V_M a través de la resistencia de medición R_M es una indicación para la corriente secundaria I_S y por tanto da el valor de medición para la corriente primaria I_P .

- 40 El circuito de sobrealimentación 6 consta de un amplificador de modo conmutado que funciona con un modulador de anchura y de densidad de impulso, que funciona en base a una modulación de anchura y de densidad de impulso, que genera una señal de tensión modulada en anchura y en densidad de impulso, que excita la corriente de compensación a través del arrollamiento secundario después de un filtrado adecuado, con una frecuencia de conmutación que es una función de la corriente de compensación en el sentido de que la frecuencia de conmutación es elevada para corrientes pequeñas y baja para corrientes grandes.

- 45 La figura 2 ilustra el funcionamiento de la modulación de anchura y de densidad de impulso aplicada aquí. La abscisa en el diagrama de la figura 2 proporciona el tiempo en unidades de tiempo arbitrarias, por ejemplo segundos. La ordenada en el diagrama de la figura 2 proporciona la amplitud de tensión en voltios. Una curva de señal 10 es la señal de salida del modulador. Una curva de señal 9 es la señal de entrada al modulador. En el modo de funcionamiento activo, esto es proporcional a la corriente primaria. Una curva de señal 11 es una señal de modulador interna, una señal de onda triangular en la salida 15 del amplificador diferencial.

- 50 Por tanto, la figura 2 muestra en un diagrama de tensión frente al tiempo una trayectoria ejemplar de la señal de entrada 9, indicada como tensión V_M . En el gráfico de la figura 2, 2,5 V es la tensión de referencia que corresponde a la corriente cero. Así, en la figura 2, en el tiempo entre 20 u y 40 u aproximadamente, la corriente tiene un valor positivo constante, disminuyendo a corriente cero en el tiempo entre 40 u y 60 u, permaneciendo en cero en el tiempo entre 60 u y 80 u, y disminuyendo a un valor negativo en el tiempo entre 80 u y 100 u, permaneciendo en un valor negativo constante de 100 u a 120 u.

La curva 10 muestra la señal de salida del modulador. La relación de encendido-apagado (ciclo de funcionamiento) de la señal define la tensión de salida media y con esto la amplitud de la corriente secundaria, donde una relación de encendido-apagado elevada da como resultado una corriente secundaria grande, y una relación de encendido-apagado más pequeña una corriente baja. Se puede ver que la frecuencia de conmutación del amplificador de modo conmutado no es constante, sino que depende de la corriente. La frecuencia de conmutación es más alta con corrientes pequeñas y más baja con corrientes grandes, ya sea positiva o negativa.

Las pérdidas por conmutación son por tanto más bajas con corrientes grandes cuando las pérdidas por conducción son máximas. Por otro lado, las pérdidas por conmutación son más altas con corrientes pequeñas cuando las pérdidas por conducción son mínimas. El esquema de modulación de anchura y de densidad de impulso mostrado en la figura 2 da así como resultado un perfil de disipación de potencia casi constante frente a la corriente de salida con pocas pérdidas máximas. Esto permite un diseño térmico fácil y un uso de componentes de bajo coste. Además, la ondulación de un amplificador de modo conmutado de este tipo disminuye al aumentar la frecuencia de conmutación, lo que significa que la ondulación es proporcional a la corriente de salida. La ondulación correspondiente se optimiza así en todo el rango de corrientes de salida, lo que permite un filtrado sencillo y de bajo coste.

La figura 3 muestra una implementación esquemática de un modulador 12 utilizado en un amplificador de modo conmutado con un esquema de modulación de anchura y de densidad de impulso. El modulador 12 comprende un circuito de amplificador diferencial 13, cuya entrada no inversora recibe la señal de corriente analógica 14, y cuya salida 15 está conectada a la entrada 16 de un circuito con disparador de Schmitt 17, por lo que la salida 18 de dicho circuito con disparador de Schmitt 17 y la entrada inversora del amplificador diferencial 13 están conectadas por un bucle de retroalimentación que tiene una resistencia óhmica 19, y la salida 15 y la entrada inversora del amplificador diferencial 13 están conectadas por un bucle de retroalimentación que tiene un condensador 20. Se puede ver que esta disposición comprende así un circuito de integración, en resumen un integrador, por lo que el integrador está formado por el circuito de amplificador diferencial que tiene el condensador que conecta la salida y la entrada inversora de dicho amplificador diferencial y la resistencia en la entrada inversora de dicho amplificador diferencial.

El modulador 12, según se muestra en la figura 3, cambia de una señal analógica en su entrada 14 a una señal modulada en anchura y en densidad de impulso en la salida 18, como muestra la curva 10 en la figura 2. La señal analógica es una señal de tensión proporcional a la señal de salida del elemento de sensor de flujo 4, y por tanto en el modo de funcionamiento activo puro, es decir, a bajas frecuencias, también es indirectamente proporcional a la corriente primaria.

La figura 4 muestra cómo el modulador 12 puede ser integrado en la electrónica de sensor del circuito de sobrealimentación 6. El circuito de sobrealimentación 6 consta de un preamplificador 21, seguido del modulador de anchura y de densidad de impulso 12, seguido de una etapa de potencia que tiene un medio puente de FET. Las señales de salida (18 y 18') del modulador 12 son alimentadas a dos excitadores de compuerta (24, 25), que podrían también combinarse en una sola unidad, y que controlan un par de MOSFET de alta potencia 22, 23. En el caso de que el modulador genere sólo una señal de salida, como en la figura 3 y en la figura 6, la unidad o unidades de excitación de compuerta necesitan generar señales de excitación de los dos MOSFET a partir de esta señal. Con el fin de lograr una buena adaptación y un buen rendimiento de conmutación, el medio puente se construye preferiblemente a partir de dos MOSFET de tipo n. Como alternativa, el principio también se puede utilizar con un puente completo en lugar de un medio puente de conmutadores de alimentación.

Aguas abajo del medio puente de MOSFET 22, 23, hay un filtro de salida de paso bajo 26, aquí con una disposición RC, que elimina los componentes de conmutación de alta frecuencia de la señal modulada en anchura y en densidad de impulso. La señal filtrada se alimenta después a la bobina secundaria 7, véase la figura 1, donde genera la corriente secundaria.

La figura 5 muestra otra realización esquemática de un circuito de sobrealimentación 6'. Aquí, el modulador 12 va seguido aguas abajo por un excitador de compuerta de medio puente 28, excitando a los dos MOSFET de alta potencia 22, 23. Un filtro de fuente de alimentación 29 está previsto en la trayectoria de alimentación de energía con el fin de evitar la inyección de distorsiones en el sistema de alimentación. Aguas abajo del medio puente de MOSFET hay un filtro de salida 26', seguido de dos diodos de sujeción 30, 31, que protegen de la generación de sobretensiones en el modo de funcionamiento pasivo.

El sensor de efecto Hall 4 puede ser reemplazado por un sensor de efecto Hall IC que incluye medios para compensar la temperatura, cancelar la desviación y ajustar la ganancia.

La figura 6 muestra otra realización para la aplicación del modulador de anchura y de densidad de impulso 12' y el preamplificador 21'. El modulador 12' está diseñado en principio como el que se muestra en la figura 3, como un modulador de una sola fase que tiene una sola salida modulada en anchura y en densidad de impulso 18, implementado con un disparador de Schmitt 17'. Un preamplificador de una sola etapa 21' se instala aguas abajo del sensor de efecto Hall IC 4' y aguas arriba del modulador 12', usando un puente de resistencia con dos resistencias de precisión 32, 33 como una referencia de tensión en el lado de entrada.

- La figura 7 muestra aún otra realización para la implementación de un modulador de anchura y de densidad de impulso 12" y el preamplificador 21'. El modulador 12" que se muestra en la figura 7 difiere del que se muestra en la figura 6 en que tiene salidas moduladas en anchura y en densidad de impulso complementarias 18", 18"', que se implementan con dos disparadores de Schmitt 17", 17"' y que pueden ser utilizadas como entradas para la unidad o unidades de excitación de compuerta, como se muestra en la figura 4 y la figura 5.
- La figura 8 muestra aún otra realización para la implementación de un modulador de anchura y de densidad de impulso 12"' y un preamplificador 21'. El modulador 12"' que se muestra en la figura 8 difiere del que se muestra en la figura 7 en que tiene salidas moduladas en anchura y en densidad de impulso complementarias 18", 18"', que se implementan con dos amplificadores buffer inversores 34, 35.
- Debe indicarse que el tipo de amplificador de modo conmutado utilizado en la disposición de sensor de corriente de acuerdo con la invención también puede denominarse amplificador de clase D.
- Además de lo que se ha descrito en el contexto de las figuras que se muestran, el principio inventivo descrito se puede combinar con una o varias de las siguientes características.
- La forma del núcleo magnético 2 puede ser circular, rectangular, ovalada o elíptica.
- En realizaciones preferidas, el material del núcleo se selecciona para ofrecer una alta saturación magnética, una baja coercitividad y una transición gradual a la saturación.
- El núcleo magnético 2 del sensor puede tener un entrehierro parcial, con una profundidad de corte máxima, en combinación con un sensor de flujo que tiene una desviación escasa y débil y una ganancia total alta. El entrehierro parcial puede ser abierto para la inserción del sensor de flujo 4, 4' desde la dirección axial o radial.
- El núcleo magnético 2 puede estar hecho, por ejemplo, de una estructura en capas de chapas metálicas laminadas. Para lograr una mejor estabilidad mecánica del entrehierro, el entrehierro parcial se puede cortar en una dirección paralela al plano de la laminación, es decir, que no todas las capas individuales serán totalmente cortadas.
- Para la aplicación en disposiciones de múltiples fases, el núcleo magnético 2 se puede diseñar de manera que el entrehierro esté preferiblemente en ángulo recto con los otros conductores de fase. Esto puede dar como resultado una baja sensibilidad a la diafonía.
- El entrehierro puede ser muy delgado, por ejemplo podría ser diseñado para tener una longitud circunferencial pequeña por debajo de 2 mm.
- El sensor de flujo 4, 4' puede ser un elemento de efecto Hall o un elemento magnetorresistivo o un circuito integrado de sensor de efecto Hall (Hall IC). Incluso puede ser un Hall IC con alta sensibilidad y desviación programable.
- Las ventajas de la invención se pueden resumir de nuevo a continuación.
- Reducción de pérdidas en los componentes electrónicos mediante una distribución más uniforme en el rango dinámico; es posible un mayor tiempo de ascenso de los conmutadores;
 - Reducción de tamaño y de coste de los transistores de potencia;
 - Menor ondulación, especialmente con una corriente de salida pequeña y/o media;
 - Reducción de tamaño y de coste de los componentes de filtro;
 - Menor tamaño de los componentes electrónicos y de la placa;
 - No se necesitan medios especiales para la disipación de calor, por ejemplo, no es necesario ningún proceso de moldeo ni ninguna placa difusora de calor para la refrigeración;
 - Bajo coste del sistema (amplificador, filtro de salida, transistores de potencia, refrigeración);
 - Un amplificador de modo conmutado o amplificador de clase D basado en la modulación de anchura y de densidad de impulso es más fácil de implementar debido a requisitos más tolerantes en los en los excitadores, los MOSFET, la refrigeración y los filtros de salida. Esto permite una mayor elección de componentes y un menor coste de la solución total. Por otra parte, los tiempos de ascenso reducidos permitidos simplificarán el diseño de la placa de circuito impreso (PCI) y ayudarán a reducir las emisiones electromagnéticas.
 - Reducción de la sensibilidad diafonía AC debido a una distribución de flujo más simétrica en caso de que haya un entrehierro parcial;

ES 2 597 678 T3

- Desviación escasa para Hall IC con compensación de desviación;
 - Menor sección transversal de núcleo requerida, sin fijación requerida de entrehierro en caso de un entrehierro parcial;
 - Menor coste de sistema;
- 5 - Diseño adecuado para sistemas de barras colectoras de fases múltiples (con forma rectangular).

Leyenda de la figura:

1	Disposición de sensor de corriente de bucle cerrado
2	Núcleo magnético
3	Bobina primaria
4, 4'	Elemento de sensor de flujo
5	Entrehierro
6, 6'	Circuito de sobrealimentación
7	Bobina secundaria
8	Resistencia de terminación
9	Señal de entrada del modulador
10	Señal de salida de modulador
11	Señal de onda triangular en la salida 15 del amplificador diferencial
12, 12', 12''	Modulador
13	Circuito de amplificador diferencial
14	Señal de entrada analógica del modulador
15	Salida de amplificador 13
16	Entrada del circuito de disparador de Schmitt
17, 17', 17'', 17'''	Circuito de disparador de Schmitt
18, 18', 18'', 18'''	Salida de circuito de disparador de Schmitt
19	Resistencia de entrada del circuito integrador
20	Condensador de retroalimentación (Condensador del circuito integrador)
21, 21'	Preamplificador
22	MOSFET de alta potencia
23	MOSFET de alta potencia
24	Unidad de excitación de compuerta de lado alto
25	Unidad de excitación de compuerta de lado bajo
26, 26'	Filtro de salida (de paso bajo)
27	Salida del circuito de sobrealimentación
28	Unidad de excitación de compuerta de medio puente
29	Filtro de alimentación de potencia
30	Diodo de sujeción
31	Diodo de sujeción
32	Resistencia
33	Resistencia
34	Amplificador buffer inversor
35	Amplificador buffer inversor

REIVINDICACIONES

1. Sensor de corriente (1) que funciona de acuerdo con el principio de compensación, que comprende
- una bobina primaria (3) a través de la cual circula la corriente a medir, creando un campo magnético,
 - una bobina secundaria (7), a través de la cual circula una corriente de compensación, que genera un campo magnético que compensa el de la bobina primaria (3),
 - un núcleo magnético con entrehierro (2), acoplado magnéticamente a los dos arrollamientos y que concentra el campo magnético resultante en su entrehierro (5)
 - una resistencia de terminación (8) conectada en serie a la bobina secundaria (7),
 - un medio de sensor (4), que se encuentra situado en el entrehierro (5) y que está expuesto al campo magnético resultante de las bobinas primaria y secundaria (3, 7),
 - un circuito de sobrealimentación (6) conectado aguas abajo del medio de sensor (4) que alimenta la corriente de compensación a la bobina secundaria (7) a través de la resistencia de terminación (8),
- caracterizado por que el circuito de sobrealimentación (6) comprende un amplificador de modo conmutado provisto de un modulador de anchura y de densidad de impulso (12) que genera una señal de tensión modulada en anchura y en densidad de impulso que excita la corriente de compensación a través del arrollamiento de bobina secundaria, con lo cual la frecuencia de conmutación del modulador (12) es una función de la corriente de compensación en el sentido de que la frecuencia de conmutación es elevada para corrientes pequeñas y baja para corrientes grandes.
2. Sensor de corriente (1) según la reivindicación 1, en el que el modulador de anchura y de densidad de impulso (12) comprende un circuito de amplificador diferencial (13), cuya entrada no inversora recibe la señal de corriente analógica, y cuya salida está conectada a la entrada de un circuito con disparador de Schmitt (17), con lo cual la salida (18) de dicho circuito con disparador de Schmitt (17) y la entrada inversora del amplificador diferencial (13) están conectadas mediante un bucle de retroalimentación que tiene una resistencia óhmica (19), y la salida y la entrada inversora del amplificador diferencial (13) están conectadas mediante un bucle de retroalimentación que tiene un condensador (20).
3. Sensor de corriente (1) según la reivindicación 1, en el que el modulador de anchura y de densidad de impulso (12) comprende un circuito de amplificador diferencial (13), cuya entrada no inversora recibe la señal de corriente analógica, y cuya salida está conectada a una disposición que tiene dos amplificadores buffer inversores (34, 35), por lo que la salida y la entrada inversora del amplificador diferencial están conectadas mediante un bucle de retroalimentación que tiene un condensador, y por lo que la salida de dicha disposición que tiene dos amplificadores buffer inversores (34, 35) y la entrada inversora del amplificador diferencial están conectadas mediante un bucle de retroalimentación que tiene una resistencia óhmica, de tal manera que se consigue una retroalimentación global negativa.
4. Sensor de corriente (1) según la reivindicación 1, en el que el circuito de sobrealimentación (6) comprende un preamplificador (21), seguido del modulador de anchura y de densidad de impulso (12), seguido de una etapa de potencia que tiene un medio puente de FET (22, 23).
5. Sensor de corriente (1) según la reivindicación 4, en el que la etapa de potencia comprende un excitador de compuerta de medio puente (28) y un filtro de salida (26'), seguido de dos diodos de sujeción (30, 31).
6. Sensor de corriente (1) según la reivindicación 4, en el que el medio puente de FET (22, 23) se construye a partir de dos MOSFET de tipo n.
7. Sensor de corriente (1) según la reivindicación 1, en el que el medio de sensor (4) es un sensor de efecto Hall.
8. Sensor de corriente (1) según la reivindicación 1, en el que el medio de sensor (4) es un sensor magnetorresistivo.
9. Sensor de corriente (1) según la reivindicación 7, en el que el medio de sensor (4) es un circuito integrado de efecto Hall que incluye medios de compensación de desviación y de temperatura.
10. Sensor de corriente (1) según la reivindicación 1, en el que el ancho de banda del medio de sensor está limitado por un filtro con el fin de tener un mejor control de la frecuencia de transición desde el modo de funcionamiento activo al modo pasivo de sensor.

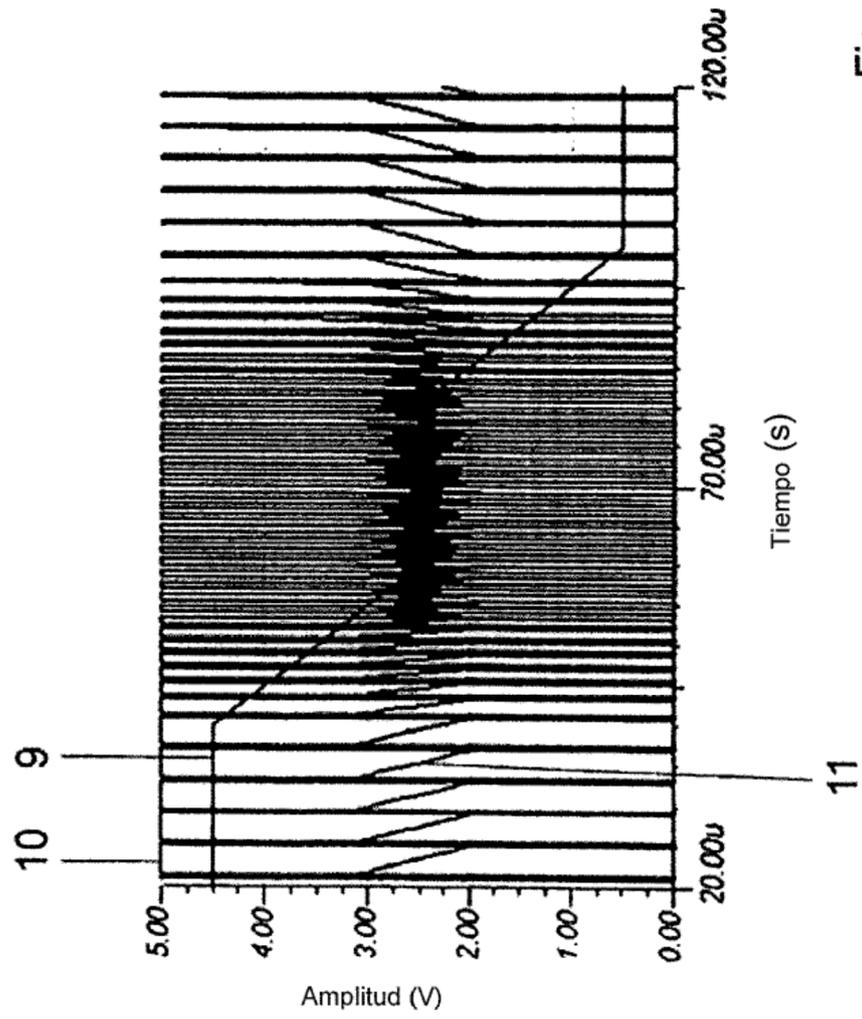


Fig. 2

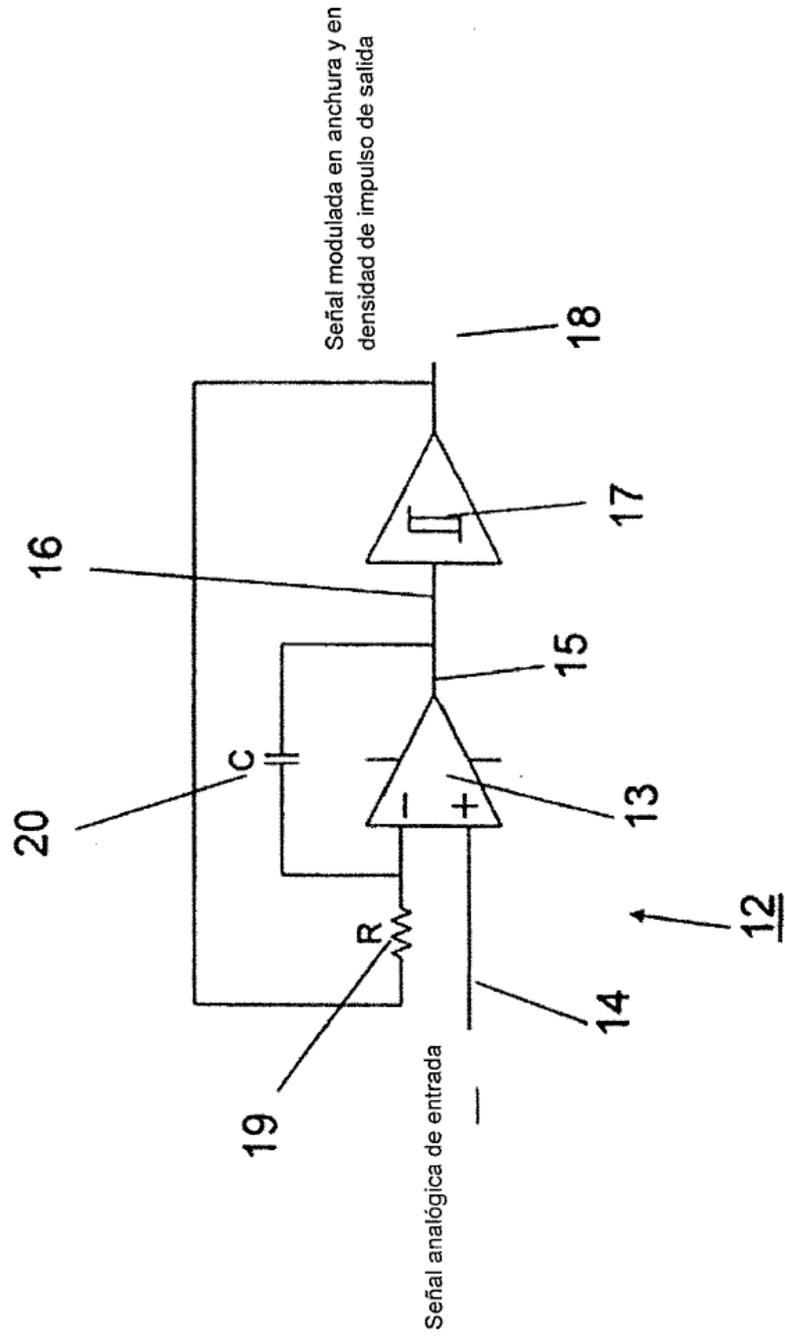


Fig. 3

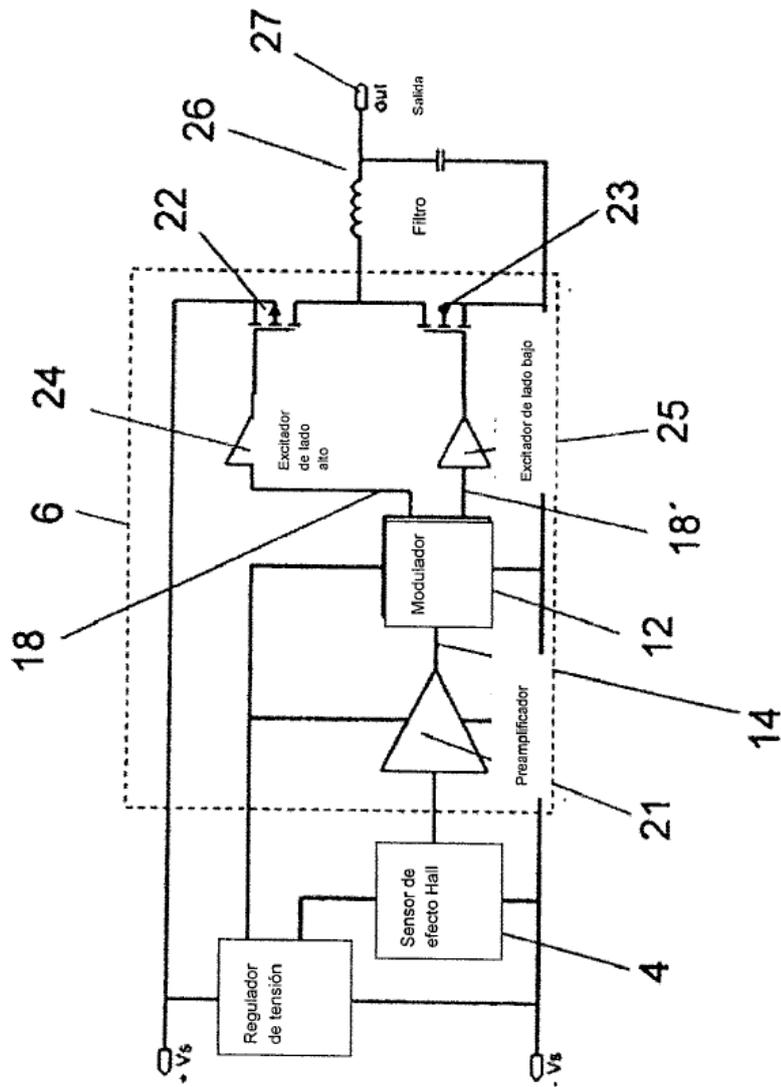


Fig. 4

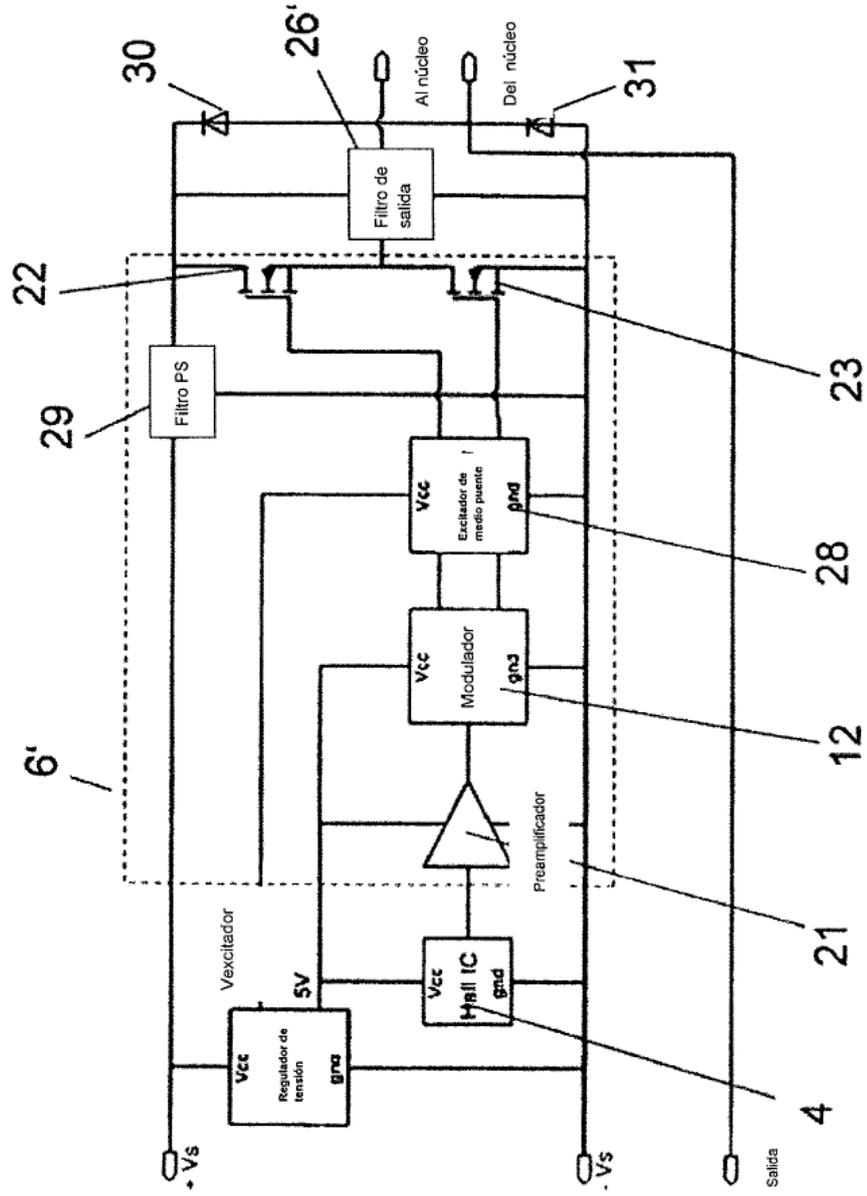


Fig. 5

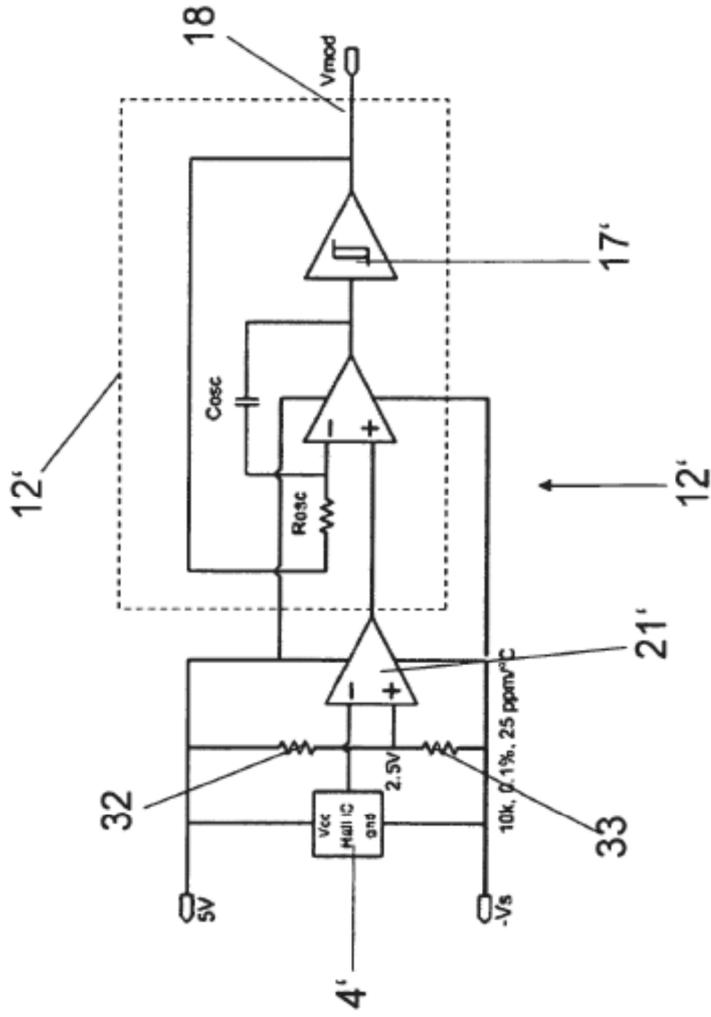


Fig. 6

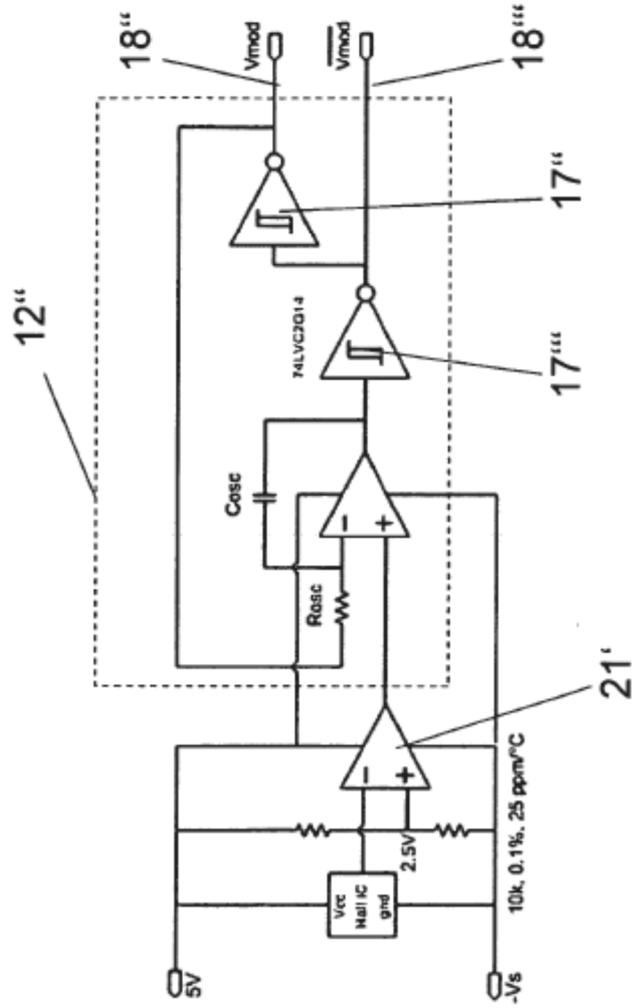


Fig. 7

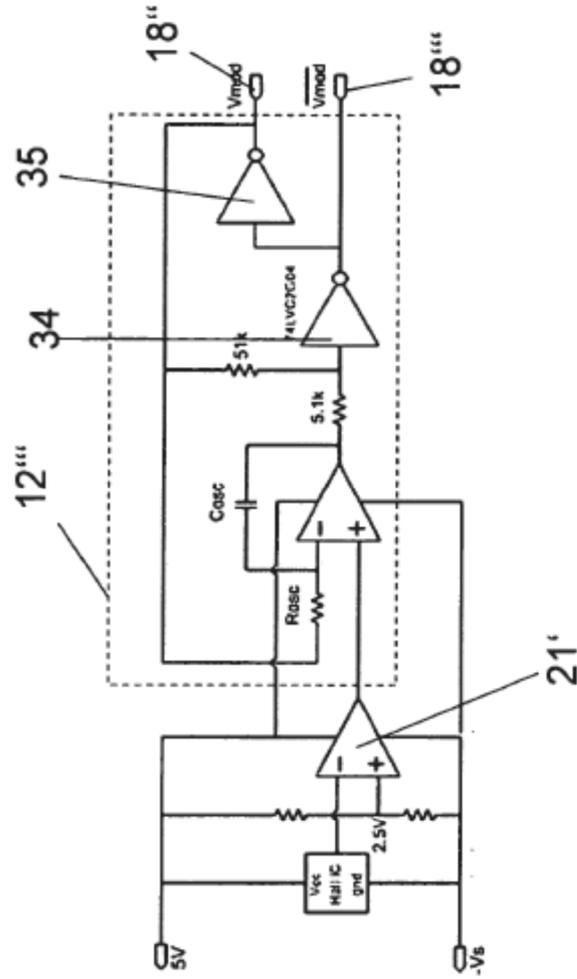


Fig. 8