

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 774 344**

51 Int. Cl.:

H03F 1/30 (2006.01)
H03F 1/32 (2006.01)
H03F 3/08 (2006.01)
H03F 3/195 (2006.01)
H03M 1/10 (2006.01)
H03M 1/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.04.2015 PCT/SE2015/050476**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.11.2016 WO16175688**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.04.2015 E 15724792 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.11.2019 EP 3289681**

54 Título: **Compensación de deriva**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
20.07.2020

73 Titular/es:

**SIGNAL PROCESSING DEVICES SWEDEN AB
 (100.0%)
 Teknikringen 6
 583 30 Linköping, SE**

72 Inventor/es:

**ENG, FRIDA;
 GUSTAVSSON, MIKAEL;
 LÖWENBORG, PER y
 OLSSON, MARTIN**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 774 344 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

Compensación de deriva

5 **Campo técnico**

La invención divulgada en el presente documento se refiere, en general, a la producción en serie de circuitos eléctricos y a una tecnología para operar tales circuitos. En particular, esta se refiere a métodos y dispositivos para la fabricación y operación de materializaciones de un diseño de circuito eléctrico predefinido de una forma que reduzca el impacto de la deriva inducida por el entorno. La misma se refiere adicionalmente a un dispositivo de procesamiento de señales que comprende la materialización de un circuito eléctrico predefinido y una etapa de compensación configurada para compensar la deriva en relación con un comportamiento de referencia del diseño de circuito eléctrico en general o con un comportamiento de referencia de la materialización específica del diseño de circuito eléctrico.

15 **Antecedentes**

En un circuito eléctrico que experimenta una *deriva*, un cambio en una condición de entorno conduce a un cambio normalmente indeseable en una propiedad operativa del circuito. Las propiedades operativas pueden incluir características de voltaje, de corriente, de frecuencia, de fase, de amplitud, de potencia total, de espectro de potencia, de retardo, de polarización y de modulación. Las condiciones de entorno pueden incluir factores externos, tales como fluctuaciones en la temperatura ambiente, la temperatura interna, la humedad o la densidad de flujo magnético, pero también factores internos tales como variaciones en señales que se generan de forma expresa para su uso por el circuito eléctrico, por ejemplo, señales en forma eléctrica u óptica que abastecen al circuito de energía, de datos de entrada o de otra información. Una condición de entorno se puede describir cuantitativamente mediante un valor de un *parámetro de entorno*.

En un enfoque general ilustrado en la figura 1A, un circuito 110_m, 120_m se modela como un dispositivo que produce una señal de salida y (t) en respuesta a una señal de entrada x (t) que el circuito recibe actualmente. Si se supone que el circuito es aproximadamente invariante con el tiempo y las señales de entrada y salida se modelan como (combinaciones de) funciones periódicas del tiempo, el circuito se puede caracterizar cuantitativamente en términos de su ganancia G (ω) o fase φ (ω) a diferentes valores de la frecuencia ω. El término *respuesta de frecuencia* se usa para hacer referencia a una colección de valores de ganancia o de fase, o a ambos, para frecuencias en un intervalo de frecuencia relevante ω_a ≤ ω ≤ ω_b. En la presente divulgación, la notación general Q (ω) tiene por objeto cubrir tanto la ganancia como la fase y cualquier representación combinada de ambas de estas cantidades (complejas o, por lo demás, bidimensionales, tales como Q (ω) = G (ω) exp (jφ(ω))). Las propiedades operativas de un circuito que cambian debido a la deriva pueden incluir ganancia o fase, o ambas.

El comportamiento de deriva precisa de un circuito puede diferir de forma cuantitativa o cualitativa entre diferentes frecuencias de operación. La dependencia con la frecuencia de la deriva de una propiedad eléctrica se puede capturar mediante la medición de una serie de respuestas de frecuencia en diferentes condiciones de entorno, por ejemplo, una colección de valores estables de un parámetro de entorno observable. Una alternativa equivalente puede ser medir la propiedad eléctrica a una colección de frecuencias de operación estables mientras las condiciones de entorno están cambiando de una forma conocida.

Aparte de la estabilización artificial del entorno operativo de un circuito, un enfoque comúnmente puesto en práctica para reducir la parte negativa de la deriva ha sido realizar mediciones directas y aplicar entonces una compensación correspondiente. La compensación puede, por ejemplo, tener como objeto aproximar la señal de salida (o respuesta de frecuencia) actual del circuito a una señal de referencia (o respuesta de frecuencia de referencia). De este modo se reduce la *deriva eficaz*, es decir, con una compensación aplicada.

Se cita como un ejemplo la divulgación anterior WO14094823A1, del mismo solicitante que la presente, en donde se proponen técnicas para compensar un desajuste de canal en fase/cuadratura dependiente de la frecuencia. Las mediciones directas pueden ser una opción atractiva para los circuitos que operan en condiciones de entorno cambiantes, debido a que las variaciones inducidas por la deriva se capturan como parte de la señal medida y se pueden compensar en última instancia. Sin embargo, el enfoque basándose en mediciones directas puede ser computacionalmente costoso o, por lo demás, responder de una forma relativamente lenta.

A partir de la solicitud WO10069365A1, del mismo solicitante que la presente, se sabe además que se puede estimar - y, en última instancia, compensar - un error de no linealidad en un convertidor de analógico a digital (ADC) usando una pluralidad de filtros lineales de acuerdo con un modelo de tiempo discreto del convertidor que imita el comportamiento del ADC. De acuerdo con esa divulgación, el modelo de tiempo discreto se ajusta a cada ADC individual mediante la aplicación de señales de prueba y la medición de la energía de señal de salida correspondiente. Este enfoque es ventajoso por su gasto computacional relativamente modesto y su retardo algorítmico bajo, pero podría tener problemas de precisión a menos que el ADC se opere en condiciones de entorno estables.

Se pueden encontrar ejemplos de la técnica anterior en el documento US 2015/032788 A1 titulado "*Linearizer*", el documento US 2004/248516 A1 titulado "*Digital baseband system and process for compensating for analog radio transmitter impairments*", el documento US 2014/292403 A1 titulado "*Power amplifier signal compensation*" y el documento US 2014/266433 A1 titulado "*Systems and methods for optimizing amplifier operations*".

Sumario

Un objetivo de la presente invención es proponer métodos y dispositivos para fabricar materializaciones de un diseño de circuito eléctrico que se pueda operar mientras se experimenta una deriva eficaz reducida, por ejemplo, al proponer una técnica para corregir las señales de salida respectivas de las materializaciones mediante una señal de compensación. Un objetivo adicional es proponer tales métodos y dispositivos de fabricación con un rendimiento mejorado por unidad de tiempo. Un objetivo adicional más es proponer métodos y dispositivos para operar una materialización del diseño de circuito eléctrico con una deriva eficaz reducida a pesar de unas condiciones de entorno cambiantes.

Al menos algunos de estos objetivos se logran mediante los métodos y dispositivos de acuerdo con las reivindicaciones independientes adjuntas, los cuales definen, por sí solos, el alcance de protección de la presente invención. Las reivindicaciones dependientes definen realizaciones ventajosas.

Se consideran circuitos eléctricos, en particular circuitos de semiconductores o circuitos integrados, que se han fabricado de acuerdo con un diseño de circuito eléctrico predefinido. Los tipos ilustrativos de diseños de circuito incluyen: convertidor de analógico a digital, convertidor de digital a analógico, mezclador de conversión ascendente, mezclador de conversión descendente, modulador de frecuencia, desmodulador de frecuencia, amplificador de ganancia programable, amplificador de bajo ruido, así como amplificadores en general. Se puede identificar al menos un par de señales de entrada - salida para el diseño de circuito eléctrico, en el que la señal de entrada y la señal de salida pueden ser ellas mismas señales eléctricas o, como alternativa, se pueden recibir o generar de forma óptica, mecánica, acústica o por una forma física diferente de energía, usando unos transductores adecuados. Los circuitos eléctricos se pueden ver como materializaciones (físicas) del diseño de circuito eléctrico; además, se puede decir que estos pertenecen a un lote principal de materializaciones. Los circuitos eléctricos se pueden haber producido en serie (o haberse producido en una cantidad relativamente grande, o haberse producido a escala industrial o haberse producido en masa). Se ha definido un modelo específico del diseño con el fin de describir una respuesta de frecuencia de todas las materializaciones del diseño de circuito eléctrico en función de al menos un parámetro de entorno (véase la sección previa para encontrar ejemplos). En particular, el modelo específico del diseño puede predecir respuestas de frecuencia distintas, y habitualmente lo hace, para valores distintos del parámetro de entorno. Aunque la precisión del modelo específico del diseño puede ser satisfactoria en relación con algunas o la mayoría de las materializaciones, los defectos de fabricación, los defectos de material y otras irregularidades pueden dar lugar a que la precisión se reduzca en relación con otras materializaciones.

En la presente invención, una unidad en el lote principal de materializaciones experimenta la totalidad de lo siguiente. En primer lugar, se registra (o se mide) una respuesta de frecuencia específica de la unidad a un valor estable del parámetro o parámetros de entorno, mediante la materialización de mediciones sobre la unidad. El modelo específico del diseño, cuando se evalúa al valor estable del parámetro o parámetros de entorno, se ajusta entonces a la respuesta de frecuencia específica de la unidad, con lo que se obtiene un modelo específico de la unidad, que describe una respuesta de frecuencia para la unidad en función del parámetro o parámetros de entorno. Por último, los datos que representan el modelo específico de la unidad obtenido de este modo se almacenan en asociación con la unidad. La presente invención logra el objetivo de fabricar el diseño de circuito eléctrico de tal modo que al menos una de sus materializaciones se pueda operar a una deriva eficaz reducida, debido a que se puede acceder a los datos almacenados y se pueden usar estos para predecir el comportamiento de deriva de la materialización (en términos de los cambios en su respuesta de frecuencia) en un contexto en el que se opera la materialización.

Los datos que representan el modelo específico de la unidad se pueden almacenar en la materialización en una memoria local, a la que se puede acceder desde un dispositivo conectado. Como alternativa, los datos se almacenan en una memoria de una etapa de compensación configurada para ser operada en asociación con la materialización, o en una memoria a la que tal etapa de compensación puede acceder durante el funcionamiento. Como alternativa adicional, los datos se pueden almacenar en una biblioteca en red, en una ubicación marcada con un identificador de la materialización con la que estos están asociados.

El modelo específico de la unidad se puede representar, y almacenarse, como una tabla finita de valores. Durante el funcionamiento de la unidad, esta tabla es extraída por lectura por una etapa de compensación, que opcionalmente puede interpolar entre los valores leídos. Como alternativa, el modelo específico de la unidad se puede representar mediante una fórmula (expresión analítica que depende de la frecuencia y el parámetro o parámetros de entorno), cuyos parámetros numéricos se han ajustado a la unidad después de que la unidad se haya fabricado, y que se evalúa durante el funcionamiento para habilitar la compensación. El almacenamiento de la representación del modelo como una fórmula puede ser más eficiente a veces.

En una realización, la etapa de compensación con la que opera la materialización está configurada para determinar un valor actual del parámetro o parámetros de entorno y para compensar la deriva basándose en los mismos en relación con una respuesta de frecuencia de referencia, que es independiente del parámetro o parámetros de entorno. En particular, la compensación puede incluir evaluar el modelo específico de la unidad al valor actual determinado de los parámetros de entorno) y determinar la cantidad de compensación necesaria para alcanzar un acuerdo con la respuesta de frecuencia de referencia dentro de una precisión deseada. Más exactamente, la compensación puede incluir determinar una frecuencia de operación actual y evaluar la respuesta de frecuencia (es decir, la ganancia, la fase o ambas) a la frecuencia de operación actual y al valor determinado del parámetro o parámetros de entorno. Se prefiere que la compensación se efectúe en el dominio digital. En este sentido, en los tipos de diseños de circuito mencionados anteriormente, se prefiere que la etapa de compensación esté dispuesta en un lado del circuito en el que las señales se representan en forma digital.

En la presente invención, el modelo específico del diseño se prepara basándose en información a partir de mediciones que se han realizado en materializaciones que pertenecen a un lote de prueba de materializaciones del diseño de circuito eléctrico. Como se usa en la presente divulgación, una materialización pertenece al "lote principal", a menos que la misma pertenezca al "lote de prueba". El lote principal se puede producir en una o más líneas de producción paralelas que tienen unos equipos de producción sustancialmente equivalentes y que usan unas materias primas sustancialmente equivalentes. Aunque se pueden realizar unas mediciones relativamente exhaustivas sobre las materializaciones en el lote de prueba (por ejemplo, el registro de respuestas de frecuencia para una pluralidad de valores de los parámetros de entorno) o, de forma equivalente, el registro de una respuesta a una colección de frecuencias fijas para cambiar valores del parámetro o parámetros de entorno), el lote principal se produce bajo una presión de coste normal, con lo que la medición se puede reducir hacia la cantidad mínima que se cree suficiente para garantizar que el desempeño de cada materialización se encuentra dentro de unos límites comercialmente aceptables. También por razones de rentabilidad, normalmente se ha de evitar hacer que el lote de prueba sea más numeroso que lo justificado, mientras que el número total del lote principal no está restringido; más bien, el lote principal debería comprender una gran cantidad de materializaciones para aprovechar las economías de escala. El lote de prueba se puede producir como una serie de prueba separada usando el mismo equipo de producción que se usará para el lote principal. Como alternativa, el lote de prueba se forma mediante la extracción de muestras producidas a partir del lote principal mientras se está ejecutando una producción en serie; esto significa que no es necesario que el lote principal se produzca en un momento posterior al del lote de prueba. En este enfoque alternativo, no estará disponible un modelo completo específico del diseño cuando se estén produciendo las primeras unidades; en su lugar, se puede volver a las primeras unidades más tarde, registrar las respuestas de frecuencia a unos valores estables del parámetro o parámetros de entorno y definir modelos específicos de la unidad para esas unidades como se describió anteriormente.

En M_1 materializaciones en el lote de prueba, se registra un número N de respuestas de frecuencia, cada una para un valor estable del parámetro o parámetros de entorno. Se registran una o más respuestas de frecuencia para cada materialización. No es necesario que todas las respuestas de frecuencia se registren a unos (conjuntos de) valores idénticos del parámetro o parámetros de entorno. Aunque no es esencial para la presente realización, de hecho es deseable una cierta variación en el parámetro o parámetros de entorno, de tal modo que el modelo específico del diseño se puede definir en función de puntos de datos que se distribuyen sobre el intervalo de trabajo contemplado del diseño de circuito eléctrico. De forma similar, es ventajoso realizar mediciones sobre más de una única materialización del diseño de circuito eléctrico, que preferiblemente sean producidas por diferentes líneas de producción si se proporciona una pluralidad de líneas, de tal modo que las irregularidades individuales se cancelan al promediarse y se neutralizan. Por lo tanto, el número M_1 de materializaciones en el lote de prueba, exactamente igual que el número N de respuestas de frecuencia registradas para estas, se han de elegir a la vista de los siguientes factores:

- i) una mayor presión de coste del mercado \Rightarrow disminuir M_1 , o N , o ambos.
- ii) un intervalo de trabajo requerido (parámetro o parámetros de entorno) más amplio \Rightarrow aumentar N .
- iii) una mayor variación entre materializaciones \Rightarrow aumentar M_1 .

En un enfoque en el que el modelo específico del diseño se refina de forma progresiva ajustando este a cada vez más puntos de datos, una variación alta entre materializaciones (el tercer factor) se puede traducir en una convergencia lenta del modelo. Se señala que, en tales circunstancias, la precisión del modelo específico del diseño no es necesariamente un factor que limite el desempeño para una materialización específica del diseño; en su lugar, una medida más eficiente que adoptar puede ser un esfuerzo aumentado para adaptar el modelo específico del diseño a unas materializaciones individuales.

En una realización, la temperatura puede ser un parámetro de entorno, del que depende el modelo específico del diseño. Para cubrir de forma eficiente el intervalo de trabajo, algunas respuestas de frecuencia para el lote de prueba se pueden registrar a temperatura ambiente (por ejemplo, temperatura de laboratorio), otras mientras se aplica un enfriamiento o calentamiento artificial. Este enfriamiento o calentamiento se puede estabilizar mediante un control de realimentación, de tal modo que la respuesta de frecuencia se registra a una temperatura razonablemente estable. Se puede adoptar una técnica similar para estabilizar otros parámetros de entorno con el fin de que las mediciones

sobre el lote de prueba sean de una fiabilidad alta.

En una realización, la etapa de ajustar el modelo específico del diseño a la respuesta de frecuencia registrada para una unidad específica (en el lote principal) puede incluir determinar un término de calibración específico de la unidad que se aproxima a una desviación entre el modelo específico del diseño, cuando se evalúa para dicho valor estable del parámetro o parámetros de entorno, y la respuesta de frecuencia específica de la unidad en el otro. El término de calibración específico de la unidad puede ser independiente de la frecuencia o puede variar con la frecuencia. En el último caso, el término de calibración específico de la unidad se puede corresponder con una función de la frecuencia que es una diferencia entre, por un lado, la respuesta de frecuencia que el modelo específico del diseño predice para el valor del parámetro o parámetros de entorno y, por otro lado, la respuesta de frecuencia real registrada para la unidad específica en el lote principal. Como alternativa, si se aplica una ganancia proporcional menor que la unidad, el término de calibración específico de la unidad se puede corresponder con una versión reducida a escala de esta diferencia.

En una realización, el modelo específico del diseño puede comprender dos contribuciones mutuamente independientes: una respuesta de frecuencia básica (función únicamente de la frecuencia) y un término de compensación (función del parámetro o parámetros de entorno y, opcionalmente, de la frecuencia). Debido a que estas contribuciones se basan en unas cantidades colectivas calculadas a partir de mediciones para el lote de prueba, ambas son independientes de la unidad. Por lo tanto, un modelo específico de la unidad, aplicable para una unidad en el lote principal, puede comprender tres contribuciones mutuamente independientes, en concreto, la respuesta de frecuencia básica independiente de la unidad, el término de compensación independiente de la unidad y el término de calibración específico de la unidad (función únicamente de la frecuencia). Según el formalismo matemático, donde ω denota la frecuencia, donde T y V son parámetros de entorno ilustrativos, y donde m es un índice que identifica la unidad para la cual se obtiene el modelo específico de la unidad, las contribuciones se pueden escribir, en su forma más general, como: $Q_0(\omega)$, $P(\omega; T, V)$, $R_m(\omega)$. Por lo tanto, el modelo específico de la unidad se puede separar en tres términos que son susceptibles de una evaluación independiente: $Q_m(\omega; T, V) = Q_0(\omega) + P(\omega; T, V) + R_m(\omega)$. Se recuerda que el término de compensación independiente de la unidad P y el término de calibración específico de la unidad R_m pueden ser constantes con respecto a la frecuencia. Se observa que un modelo específico de la unidad puede estar representado por dos tipos de datos almacenados, en concreto, datos que se han preparado en función de una pluralidad de respuestas de frecuencia medidas para un lote de prueba de materializaciones del diseño de circuito eléctrico (un primer tipo) y datos que se han preparado en función de una medición de una respuesta de frecuencia específica de la unidad para la unidad, a un valor estable del parámetro o parámetros de entorno. Es importante destacar que los datos del segundo tipo se pueden haber preparado en función de una medición de una respuesta de frecuencia única o, al menos, en función de un número pequeño de mediciones que, por sí solas, hubieran sido insuficientes para definir un modelo estadísticamente fiable de la respuesta de frecuencia de la unidad.

En una realización, un parámetro de entorno, del que depende el modelo específico del diseño, puede ser el valor de un voltaje de suministro (o voltaje de accionamiento) para alimentar el diseño de circuito eléctrico.

En una realización, un parámetro de entorno, del que depende el modelo específico del diseño, puede ser el valor de una ganancia de un preamplificador, con el que el diseño de circuito eléctrico está configurado para cooperar. La preamplificación se puede poner en práctica en conexión con unos ADC (o digitalizadores) en un modulador I/Q o desmodulador I/Q.

Como ya se señaló, la respuesta de frecuencia de referencia se puede asignar de forma independiente para cada materialización del diseño de circuito eléctrico. La respuesta de frecuencia de referencia es normalmente una función independiente del parámetro o parámetros de entorno. La respuesta de frecuencia de referencia para una materialización particular del diseño de circuito eléctrico se puede seleccionar de acuerdo con un objetivo deseado actualmente, tal como la reducción de la deriva de una materialización particular, o la reducción de la deriva relativa de dos materializaciones, o la reducción de la deriva mutua entre las unidades en un grupo de materializaciones, o igualar las respuestas de frecuencia de dos o más materializaciones de principio a fin del intervalo del parámetro o parámetros de entorno. Algunos de estos objetivos solo se pueden lograr si la respuesta de frecuencia de referencia es asignable de forma independiente para cada materialización.

En una realización, una primera materialización del diseño de circuito eléctrico se opera junto con una segunda materialización y con una etapa de compensación configurada para compensar la deriva de al menos la primera materialización. En la presente realización, la respuesta de frecuencia de referencia es una respuesta de frecuencia de la segunda materialización. A este respecto, la segunda materialización se usa como una referencia independientemente de cualquier deriva que experimente la misma con respecto al parámetro o parámetros de entorno. Como alternativa, la segunda materialización se compensa (por la misma etapa de compensación o por una adicional) para tener una deriva reducida, y la respuesta de frecuencia de referencia para la primera materialización se elige de tal modo que imite el comportamiento de la segunda materialización compensada. A este respecto, la respuesta de frecuencia de referencia para la segunda materialización se puede elegir para simplificar, en la medida de lo posible, la tarea de compensación de deriva, en particular, al elegir una respuesta de frecuencia de referencia que esté cerca (en un sentido adecuado, tal como la norma L^1 o L^2) a la respuesta de frecuencia real en la mayor

parte del intervalo de trabajo. Esta disposición puede ayudar a reducir los errores derivados de un desajuste por pares entre dos circuitos, tal como los errores de desequilibrio I/Q y los errores asociados a un ADC intercalado en el tiempo.

- 5 Los ADC intercalados en el tiempo son una aplicación ilustrativa en la que dos o más materializaciones del mismo diseño de circuito eléctrico están dispuestas en paralelo y en la que las desviaciones no controladas entre las materializaciones podrían deteriorar la precisión del ADC. A este respecto, se prefieren la temperatura y el voltaje de suministro como parámetros de entorno.
- 10 Los moduladores I/Q y los desmoduladores I/Q son una aplicación ilustrativa adicional en la que dos materializaciones de un mismo diseño de circuito eléctrico se operan en conjunto, más exactamente dos ADC en ramas paralelas del modulador o desmodulador. A este respecto, la etapa de compensación puede ser un compensador de desajuste (desajuste de canal) I/Q que se puede configurar para corregir una de las señales de salida de ADC respectivas (que se corresponden con cada uno de los canales I y Q). Como alternativa, la corrección se aplica aguas abajo de un desmodulador de datos que procesa los canales I y Q y combina los mismos para dar una señal de salida común. Si un preamplificador está dispuesto aguas arriba de los ADC (en particular, un amplificador de ganancia variable, tal como un preamplificador aguas arriba del ADC respectivo en cada rama del modulador I/Q o el desmodulador I/Q, o un preamplificador común aguas arriba de ambas ramas), las características de la señal varían con la ganancia actual del preamplificador o preamplificadores. Los inventores de la presente invención han observado que la ganancia de preamplificación y/u otros ajustes que influyen en el comportamiento de los preamplificadores (de forma colectiva: el estado de ganancia) es relevante como parámetro de entorno en el sentido anterior. Es decir, el modelo específico del diseño puede predecir diferentes respuestas de frecuencia para diferentes estados de ganancia en la presente realización.
- 25 En una realización, el diseño de circuito eléctrico se refiere a un ADC para convertir una señal de entrada analógica en una señal de salida digital. La respuesta de frecuencia de referencia para un diseño de este tipo puede ser independiente de la unidad, en el sentido de que una pluralidad de materializaciones se compensan de acuerdo con copias idénticas de una respuesta de frecuencia de referencia. Esto puede lograr el doble fin de reducir la deriva y de reducir las imperfecciones, tales como las no linealidades del diseño de circuito eléctrico. Los inventores de la presente invención han observado que una combinación ventajosa de parámetros de entorno es el voltaje de suministro y la temperatura.
- 30

En una realización, los datos que representan el modelo específico de la unidad pueden expresar una diferencia entre una respuesta de frecuencia real y una respuesta de frecuencia de referencia. Como alternativa, los datos pueden expresar una relación de la respuesta de frecuencia real y la respuesta de frecuencia de referencia. La respuesta de frecuencia puede incluir la ganancia, la fase o una combinación de estas cantidades. Esta es una forma ventajosa de representar el modelo específico de la unidad, debido a que, como promedio, los valores a representar serán normalmente cercanos a cero (para una diferencia) o cercanos a uno (para una relación). Dichos valores se pueden cuantificar de forma eficiente usando un enfoque de codificación de entropía.

35

40 En un aspecto adicional, un sistema de fabricación que comprende una serie de secciones que cooperan para materializar un circuito eléctrico predefinido del tipo descrito anteriormente. Las secciones del sistema pueden estar ubicadas conjuntamente, en particular conectadas físicamente o integradas de otro modo o, como alternativa, pueden estar distribuidas geográficamente. En la presente invención, el sistema de fabricación comprende una memoria que almacena un modelo específico del diseño del diseño de circuito eléctrico, una sección de ensamblaje para producir materializaciones aún no calibradas del diseño de circuito eléctrico, y una sección de calibración que está acoplada de forma comunicativa a la memoria. Durante un funcionamiento normal, todas las materializaciones producidas por la sección de ensamblaje serán calibradas por la sección de calibración. La sección de calibración comprende específicamente: un analizador para medir una respuesta de frecuencia de una unidad producida, un sensor de entorno para determinar las condiciones de entorno en las que se mide dicha respuesta de frecuencia (en la práctica, mediante la medición de un valor del parámetro o parámetros de entorno mencionados anteriormente), y un programador de dispositivos para ajustar el modelo específico del diseño a la respuesta de frecuencia medida y obtener, de este modo, un modelo específico de la unidad, del cual se va a almacenar una representación en asociación con la unidad. La respuesta de frecuencia se mide preferiblemente a un valor aproximadamente estable del parámetro o parámetros de entorno.

45

50

55

Debido a que solo se necesita una cantidad limitada de mediciones para las materializaciones en el lote principal, el sistema de fabricación propuesto se puede implementar para tener un alto rendimiento por unidad de tiempo, cumpliendo de este modo uno de los objetivos anteriores de la invención.

60

En una realización, el sistema de fabricación comprende adicionalmente una sección de prueba, en la que un sensor de entorno de prueba, un analizador de prueba y un procesador cooperan para definir el modelo específico del diseño en función de mediciones sobre un lote de prueba de materializaciones del diseño de circuito eléctrico. Como ya se describió, mientras una de dichas materializaciones se mantiene a un valor estable del parámetro o parámetros de entorno, se mide una respuesta de frecuencia para la materialización. Se recopilan datos (respuestas de frecuencia) para todas las materializaciones en el lote de prueba y preferiblemente para diferentes (conjuntos de)

65

valores estables del parámetro o parámetros de entorno, con lo que se puede definir el modelo específico del diseño. Los datos que representan el modelo específico del diseño se almacenan en la memoria del sistema de fabricación, en donde la sección de calibración puede acceder a los mismos.

5 En un aspecto adicional, un dispositivo de procesamiento de señales comprende una unidad que es una materialización de un diseño de circuito eléctrico predefinido, una memoria que almacena datos que representan un modelo específico de la unidad, descriptivo de la unidad, y una etapa de compensación configurada para compensar la deriva en relación con una respuesta de frecuencia de referencia, en función del modelo específico de la unidad y un valor de uno o más parámetros de entorno, de los que depende el modelo específico de la unidad. La etapa de
10 compensación puede determinar el valor del parámetro o parámetros de entorno usando un sensor de entorno, tal como un termómetro local. Como alternativa, la etapa de compensación obtiene esta información de otro componente del dispositivo de procesamiento de señales, tal como un voltímetro dispuesto para determinar un valor actual de un voltaje de suministro.

15 En una realización, la memoria del dispositivo de procesamiento de señales almacena datos de al menos dos tipos que representan aspectos cuantitativos del modelo específico de la unidad. Como se explicó anteriormente, se han obtenido datos del primer tipo en función de un número relativamente mayor de mediciones (sobre el lote de prueba), mientras que los datos del segundo tipo se han obtenido en función de una medición o de un número relativamente menor de mediciones (sobre la unidad, como parte del lote principal).

20 En un aspecto adicional, una unidad que es una materialización de un diseño de circuito eléctrico predefinido se opera con una compensación de deriva haciendo referencia a datos que representan un modelo específico de la unidad del tipo descrito anteriormente. Más exactamente, se determina un valor actual de un parámetro de entorno del que depende el modelo, el modelo se evalúa para el valor actual y se aplica una corrección apropiada con el fin de compensar la desviación de la unidad con respecto a una respuesta de frecuencia de referencia. En particular, la
25 compensación puede incluir determinar una frecuencia de operación actual, evaluar el modelo y la respuesta de frecuencia de referencia únicamente para esta frecuencia, y aplicar una compensación local. Cuando se aplica una compensación local, puede ser suficiente obtener solo aquellos datos que representan el modelo específico de la unidad en o cerca de la frecuencia de operación actual.

30 En diferentes implementaciones, los datos que representan el modelo específico de la unidad se pueden almacenar en la unidad o en una memoria asociada, o se pueden recuperar de una biblioteca en red en una ubicación designada por un identificador único asociado a la unidad.

35 Como se señaló anteriormente, los datos que representan el modelo específico de la unidad se pueden referir a una tabla de consulta o a una expresión que se puede evaluar para valores concretos de las variables de las que depende la expresión. La expresión puede contener funciones trascendentales o algebraicas elementales, o funciones especiales simples, o una combinación de las mismas. En particular, la expresión puede ser un polinomio de orden menor que diez, preferiblemente menor que cinco, tal como menor que cuatro, tal como un polinomio
40 cúbico o cuadrático.

En un aspecto adicional, se proporciona un producto de programa informático que comprende un medio legible por ordenador con instrucciones para hacer que un ordenador programable ejecute uno de los métodos descritos anteriormente. A continuación se dan ejemplos de medios legibles por ordenador.

45 **Breve descripción de los dibujos**

A continuación se describirán algunas realizaciones con mayor detalle y con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- 50 la figura 1A muestra un diseño de circuito eléctrico;
la figura 1B muestra un diseño de circuito eléctrico y una etapa de compensación correspondiente, de acuerdo con una realización;
la figura 2 muestra un sistema de fabricación para materializar un diseño de circuito eléctrico, de acuerdo con
55 una realización;
la figura 3 muestra un diseño de circuito eléctrico con una memoria integrada para almacenar un modelo específico de la unidad, de acuerdo con una realización;
la figura 4 muestra un dispositivo de procesamiento de señales con una etapa de compensación integrada y una memoria para almacenar un modelo específico de la unidad, de acuerdo con una realización;
60 la figura 5 muestra un detalle de un desmodulador I/Q con una etapa de compensación de acuerdo con una realización;
la figura 6 muestra un ADC intercalado en el tiempo con $N \geq 2$ subconvertidores paralelos y una etapa de compensación de acuerdo con una realización;
las figuras 7A, 7B, 7C y 7D muestran detalles de unos ADC intercalados en el tiempo, teniendo cada uno cuatro
65 subconvertidores paralelos y al menos una etapa de compensación de acuerdo con una realización; y
la figura 8 muestra un detalle de un desmodulador de frecuencia con una etapa de compensación de acuerdo

con una realización.

Todas las figuras son esquemáticas y muestran, en general, solo partes que son necesarias para el fin de dilucidar la invención, mientras que otras partes se pueden omitir, o simplemente sugerirse.

5

Descripción detallada de las realizaciones

Anteriormente se ha analizado brevemente la figura 1A. La figura 1B muestra una unidad 120_m idéntica, que es una materialización (en el lote principal) de un diseño de circuito eléctrico predefinido que se opera junto con una etapa de compensación 130_m. La etapa de compensación 130_m puede atender a la unidad 120_m o también a unidades adicionales. Para los fines de compensar la deriva en la unidad 120_m, sin embargo, la etapa de compensación 130_m recupera datos que representan un modelo específico de la unidad Q_m (ω ; T, V) de una memoria 121_m. El modelo específico de la unidad predice una respuesta de frecuencia (incluyendo la ganancia, la fase o una combinación de estas cantidades) para cada valor en el intervalo permitido de la frecuencia de operación ω y dos parámetros de entorno T y V. El intervalo permitido puede ser, por ejemplo, una zona vecina de un triplete de valores nominales (ω_0 , T₀, V₀). En el ejemplo, el modelo específico de la unidad tiene en cuenta el efecto de una cantidad interna y una externa, en donde la cantidad interna se extrae por lectura directamente de una línea eléctrica, y la cantidad externa se mide usando un sensor 131_m. En algunas variaciones de la presente realización, el modelo específico de la unidad puede considerar unos factores solo externos o solo internos, o una combinación de cualquier número de cada uno. En el ejemplo, el modelo específico de la unidad depende de un voltaje de suministro de V [voltios], con el cual se acciona la unidad 120_m, y una temperatura de T [Kelvin]. En el presente caso, el voltaje se puede extraer por lectura directamente de una línea paralela a la línea de voltaje de suministro a la unidad 120_m, mientras que un sensor de temperatura dedicado 131_m está dispuesto cerca de la unidad 120_m y está conectado de forma comunicativa a la etapa de compensación 130_m.

25

La etapa de compensación 130_m puede recibir opcionalmente la señal de salida y (t) de la unidad 120_m, basándose en lo cual puede determinar una frecuencia de operación actual ω . Se resalta que la etapa de compensación 130_m no necesita usar y (t) para determinar la deriva actual del dispositivo; esto es predicho en su lugar por el modelo específico de la unidad. Como alternativa, la etapa de compensación 130_m recibe la señal de entrada x (t) y determina la frecuencia de operación actual ω en función de esa señal. Como otra alternativa más, la etapa de compensación 130_m aplica una compensación independiente de la frecuencia, en donde no hay necesidad alguna de determinar la frecuencia de operación actual ω ; en esta situación, el modelo específico de la unidad puede ser independiente de la frecuencia, o puede cambiar en tan poca medida debido a la frecuencia, que se puede lograr una compensación con una precisión razonable sin considerar específicamente la frecuencia.

35

Al evaluar el modelo específico de la unidad para los valores actuales de los parámetros de entorno (y, opcionalmente, para una frecuencia de operación actual), la etapa de compensación 130_m determina una respuesta de frecuencia real de la unidad 120_m. Basándose en la respuesta de frecuencia real y en una respuesta de frecuencia de referencia predeterminada, la etapa de compensación 130_m emite una señal de compensación, que un sumador 132_m suma a la señal de salida y (t) de la unidad 120_m, con lo que se obtiene una señal de salida compensada z (t). Durante un funcionamiento normal de la etapa de compensación 130_m, la deriva con respecto a los parámetros de entorno de la señal de salida compensada z (t) (la deriva eficaz) se reduce en comparación con la de la señal de salida y (t).

45

Como se señaló anteriormente, la etapa de compensación 130_m puede, como alternativa, acceder al modelo específico de la unidad expresado en términos de la desviación real con respecto a la respuesta de frecuencia de referencia. Entonces, normalmente se puede usar un múltiplo constante de la desviación como la señal de compensación que se añadirá a la señal de salida y (t). Este enfoque puede ser computacionalmente ventajoso y, como se explicó, ventajoso asimismo desde el punto de vista del uso de memoria (una cuantificación/codificación eficiente; no es necesario almacenar la respuesta de frecuencia de referencia). Si se espera que la respuesta de frecuencia de referencia se sustituya a lo largo de la vida útil de la unidad 120_m, sin embargo, puede ser preferible almacenar la respuesta de frecuencia de referencia por separado del modelo específico de la unidad.

50

En una implementación alternativa pero funcionalmente equivalente, el sumador 132 puede ser reemplazado por un multiplicador (no mostrado) que actúa de forma multiplicativa sobre la señal de salida y (t) ya que se reajusta la escala de esta señal con un factor dado por la señal de compensación. En esta implementación, puede ser conveniente representar el modelo específico de la unidad como una relación de una respuesta de frecuencia de referencia y una respuesta de frecuencia real de la unidad.

55

La figura 2 muestra un sistema de fabricación 200 que, por simplicidad, se ha dibujado como un conjunto ubicado conjuntamente y de forma esquemática. Se recuerda que las secciones del sistema de fabricación pueden estar geográficamente distribuidas y/o se pueden operar de forma no simultánea. En el sistema, una sección de ensamblaje 210 produce unas unidades 120₁, 120₂, ... que son materializaciones de un diseño de circuito eléctrico predeterminado. El diseño de circuito eléctrico se puede codificar en una memoria como una descripción de hardware, una disposición de circuito o similar, y se puede complementar opcionalmente con instrucciones relativas a las materias primas que se van a usar. Las unidades 120₁, 120₂, ... salen de la sección de ensamblaje en un

65

estado no calibrado, y la compensación de deriva de las unidades mientras siguen estando en este estado solo es posible en función de mediciones directas. El sistema 200 comprende adicionalmente una sección de calibración 220, un programador de dispositivos 230, una memoria 240 que almacena un modelo específico del diseño y una sección de prueba opcional 250.

5 En la sección de calibración 220, un sensor de entorno 221 mide un valor de uno o más parámetros de entorno, del que depende el modelo específico del diseño. Con fines ilustrativos, los parámetros de entorno se han indicado mediante T y V en el dibujo, y el sensor de entorno 221 se ha ilustrado mediante un símbolo de termómetro; se recuerda que la invención no se limita en modo alguno a modelos que dependen de dos parámetros de entorno ni a
10 parámetros de entorno en los que uno es la temperatura. La sección de calibración 220 puede comprender adicionalmente unos medios (no mostrados) para provocar activamente las condiciones de entorno deseadas, tales como una fuente de energía para aplicar un voltaje de suministro seleccionado. Cuando las condiciones de entorno medidas o aplicadas son estables dentro de una precisión aplicable, el analizador 222 aplica una señal de entrada de prueba $x(t)$ a la unidad actualmente presente (en el dibujo: la unidad 120_s) y registra una señal de salida $y(t)$ con
15 el fin de producir una respuesta de frecuencia en un intervalo de frecuencia relevante $[\omega_a, \omega_b]$. Los datos que representan la respuesta de frecuencia producida de este modo se suministran entonces desde el analizador 222 al programador de dispositivos 230.

20 El programador de dispositivos 230 está configurado para recuperar el modelo específico del diseño (o partes relevantes del mismo) de la memoria 240 y ajustar el modelo específico del diseño a la respuesta de frecuencia de la unidad 120_s que se está considerando, de tal modo que se obtiene un modelo específico de la unidad. El programador de dispositivos 230 está configurado adicionalmente para almacenar datos que representan el modelo específico de la unidad de una unidad 120_m dada en una memoria 130_m asociada a la unidad. Como se señaló anteriormente, la memoria 130_m puede ser interna o externa a la unidad 120_m, o puede ser parte de una biblioteca en red, desde la cual una o más etapas de compensación (no mostradas en la figura 2) pueden acceder a la misma.

En la sección de prueba opcional 250 del sistema de fabricación 200, se proporciona un sensor de entorno de prueba 251 dispuesto cerca de un analizador de prueba 252 junto con medios opcionales (no mostrados) para aplicar activamente una condición de entorno relevante a una unidad sometida a prueba. Los resultados de
30 medición, incluyendo las respuestas de frecuencia en un intervalo relevante, son analizados por un procesador 253, que define el modelo específico del diseño basándose en los resultados y reenvía los datos que representan el modelo para su almacenamiento en la memoria 240. Bajo una presión de coste normal, se contempla que las mediciones en la sección de prueba 250 solo se han de realizar en unidades que pertenecen a un lote de prueba de materializaciones del diseño de circuito eléctrico. Las unidades en el lote principal solo se han de medir en la sección
35 de calibración 220.

En cuanto a los productos del sistema de fabricación 200, la figura 3 muestra una unidad producida en serie 120_m con una memoria integrada 121_m para almacenar datos que representan un modelo específico de la unidad. La memoria integrada de 121 m, que es preferiblemente de un tipo no volátil que no requiere una alimentación continua para mantener datos almacenados, se ha hecho accesible desde una etapa de compensación (no mostrada) que se puede disponer junto con la unidad 120_m y es responsable de compensar la deriva. Por ejemplo, se puede establecer una conexión inalámbrica o cableada entre la memoria integrada 121_m y la etapa de compensación.

45 Como alternativa al enfoque anterior de disponer una memoria integrada que contiene el modelo específico de la unidad, la figura 4 muestra un dispositivo 400 de procesamiento de señales producido en serie dispuesto para recibir una señal de entrada $x(t)$ y para suministrar, como su salida final, una señal de salida compensada $z(t)$ que es producida por un sumador 432 como una suma de, por un lado, una señal de salida sin procesar $y(t)$ procedente de una unidad 420, que es una materialización de un diseño de circuito eléctrico y, por otro lado, una señal de compensación preparada por un procesador de compensación 430. El procesador de compensación 430 se puede configurar para obtener la señal de compensación en función del modelo específico de la unidad recuperado de una primera memoria 421 y evaluado para una frecuencia de operación actual y un valor actual de un parámetro de entorno y , además, en función de una respuesta de frecuencia de referencia Q_{ref} de la unidad, recuperada de una segunda memoria 422, con la cual el procesador de compensación 430 compara la respuesta de frecuencia predicha. En el ejemplo ilustrado en la figura 4, la frecuencia de operación actual se obtiene de la señal de salida sin procesar $y(t)$. Para un diseño de circuito eléctrico aproximadamente invariante con el tiempo, se obtendrá un resultado equivalente si la frecuencia de operación se obtiene de la señal de entrada $x(t)$. El valor actual del parámetro de entorno, del que depende el modelo específico de la unidad, es medido por un sensor 431 dispuesto cerca de la unidad 420.

60 Como se ha indicado mediante un recuadro de trazo discontinuo en el dibujo, el sensor 431, el sumador 432 y el procesador de compensación 430 se pueden considerar como una etapa de compensación 410 que es un conjunto cooperativo que comprende estos dispositivos. Tal etapa de compensación 410 recibe la señal de salida sin procesar $y(t)$ y produce la señal de salida compensada $z(t)$. El sensor se incluye en la etapa de compensación 410 como una parte integrante. Se puede decir que la etapa de compensación 410 procesa la señal de entrada sin procesar $y(t)$ para dar una señal menos afectada por la deriva, en lugar de añadir un término de compensación que cancela, de la respuesta de frecuencia de referencia, (parte de) la desviación inducida por la deriva.

Una aplicación industrialmente útil de los circuitos mostrados en las figuras 3 y 4 son los ADC. La cancelación de la deriva como tal es el fin principal de las disposiciones de compensación mostradas o habilitadas en estos circuitos. Sin embargo, los inventores de la presente invención prevén que se puedan dar responsabilidades adicionales a un procesador de compensación o una etapa de compensación del tipo ilustrado en la figura 4, tales como la cancelación o reducción de errores de no linealidad.

Pasando a continuación a las aplicaciones actualmente contempladas en donde una materialización de un diseño de circuito eléctrico se opera junto con materializaciones adicionales, la figura 5 muestra un detalle de un desmodulador en fase/cuadratura 500. Un dispositivo de este tipo se ha descrito con mayor detalle en la divulgación anterior WO10105694A1, del mismo solicitante que la presente. El desmodulador I/Q 500, que puede estar dispuesto en un receptor en cuadratura, comprende una rama superior que actúa como trayectoria de señal en fase (I) y una trayectoria inferior que actúa como trayectoria de señal en cuadratura (Q). La trayectoria de señal I comprende un primer mezclador 514a, y la trayectoria de señal Q comprende un segundo mezclador 514b. Ambos mezcladores 514a y 514b están adaptados para procesar una señal de radiofrecuencia (RF) preamplificada en un puerto de entrada 510. La señal de RF preamplificada se produce en función de una señal de RF recibida suministrada en el punto 506, a la que se aplica una ganancia adecuada. La ganancia se puede aplicar mediante un preamplificador común 508 o mediante unos preamplificadores 516a y 516b (mostrados como amplificadores de ganancia variable) dispuestos aguas abajo de los mezcladores 514a y 514b respectivos en cada rama del desmodulador I/Q. Preferiblemente, la ganancia es adaptativa a la señal y puede cambiar con el fin de responder a variaciones en la señal de RF recibida, en particular variaciones debido a unas condiciones de recepción cambiantes para lograr una oscilación deseada de la señal en el puerto de entrada 510.

Además, el desmodulador I/Q 500 comprende una unidad de oscilador local (LO) 517, que está adaptada para generar señales de LO para los mezcladores 514a y 514b. Las señales de LO suministradas a los mezcladores 514a y 514b se proporcionan en cuadratura, es decir, idealmente, hay un desfase mutuo de 90 grados entre las señales de LO. Los mezcladores 514a y 514b están dispuestos para realizar una conversión descendente de frecuencia de una banda de frecuencia de señal de interés de la señal de RF a un intervalo de frecuencia más bajo. De acuerdo con la realización ilustrada en la figura 5, el desmodulador I/Q 500 comprende adicionalmente un primer filtro 520a y un segundo filtro 520b en las trayectorias de señal I y Q, respectivamente, mostrados aguas abajo de los preamplificadores de ganancia variable 516a y 516b en la figura 5. Los filtros 520a y 520b están dispuestos para suprimir las componentes de frecuencia no deseadas emitidas desde los mezcladores 514a y 514b y posiblemente amplificadas por los preamplificadores 516a y 516b. En la figura 5, los filtros 520a y 520b se ilustran como filtros de paso bajo. Sin embargo, en otras realizaciones, en donde el desmodulador I/Q puede ser de un tipo diferente (por ejemplo, no necesariamente adaptado para su uso en un receptor de conversión directa), los filtros 520a y 520b pueden ser, en su lugar, filtros de paso de banda. Además, en la realización ilustrada en la figura 5, el desmodulador I/Q 500 comprende un primer ADC 525a y un segundo ADC 525b en las trayectorias de señal I y Q, respectivamente. El primer ADC 525a está adaptado para convertir la señal de salida procedente del filtro 520a en una representación digital para generar una componente I digital no compensada de valor real. De forma similar, el segundo ADC 525b está adaptado para convertir la señal de salida procedente del filtro 520b en una representación digital para generar una componente Q digital no compensada de valor real. Estas señales de valor real se pueden considerar conjuntamente como una señal digital compleja no compensada.

Como se explica en el documento WO10105694A1, un equilibrio de canal deficiente, es decir, una condición en la que las funciones de transferencia de las trayectorias de señal I y Q no son aproximadamente iguales, limita la atenuación de imagen alcanzable, que es, por lo demás, una propiedad deseable de un desmodulador I/Q. Tal desequilibrio se debe normalmente a variaciones de temperatura, faltas de precisión de fabricación y otras no idealidades de los componentes físicos en las trayectorias de señal I y Q.

Para compensar los problemas con una atenuación de imagen insuficiente, el desmodulador I/Q 500 comprende adicionalmente una etapa de compensación 530, que está adaptada para compensar el desequilibrio entre las trayectorias de señal I y Q. La etapa de compensación 530 está adaptada para recibir la señal digital no compensada desde un punto 532a, 532 aguas abajo de los ADC 525a, 525b y para reducir dicho desequilibrio. En realizaciones alternativas, uno o más componentes intermedios (no mostrados) para generar señales basándose en las señales de salida de los ADC 525a y 525b se pueden conectar inmediatamente aguas abajo de estos componentes. Pueden ser ejemplos no limitantes de tales componentes intermedios, por ejemplo, filtros o componentes para realizar una conversión de la tasa de muestreo, tal como interpolación o diezmado.

En una implementación ilustrativa de la configuración mostrada en la figura 5, la etapa de compensación 530 compensa las salidas del primer ADC 525a y el segundo ADC 525b, en función de modelos específicos de la unidad, que se recuperan de la memoria 521 y tienen en cuenta al menos un estado de ganancia (o configuración de ganancia) actual. El estado de ganancia actual puede ser un ajuste del preamplificador común 508 (ilustrado en la figura 5 por una línea de conexión de trazo discontinuo) o de cada uno de los preamplificadores 516a, 516b dispuestos en cada rama, o ambos de estos (con fines ilustrativos, se ha sugerido en la figura 5 que los modelos específicos de la unidad también incluyan la influencia de un parámetro de entorno externo, que se mide usando un sensor 531). El primer ADC 525a se compensa hacia una respuesta de frecuencia de referencia $Q_{ref,1} = Q_{ref,1}(\omega)$ que

es independiente del estado de ganancia pero que puede estar, por lo demás, cerca de la respuesta de frecuencia no compensada (en el intervalo de trabajo) del primer ADC 525a. El segundo ADC 525b se compensa hacia una respuesta de frecuencia idéntica o aproximadamente idéntica a la del primer ADC 525a, es decir, $Q_{ref,2} = Q_{ref,1}$. Configurada de esta manera, la etapa de compensación 530 ayuda a garantizar que el desmodulador I/Q se mantenga equilibrado de principio a fin del intervalo de trabajo, en particular para diferentes estados de ganancia del preamplificador 508 y/o los preamplificadores 516a, 516b.

En otra implementación ilustrativa, la etapa de compensación 530 se reemplaza por dos etapas de compensación según canal dispuestas en las ramas respectivas y que operan de forma independiente. Con respecto al lenguaje de las reivindicaciones adjuntas, la combinación de dos etapas de compensación según canal constituye funcionalmente un compensador de desajuste de I/Q. Las dos etapas de compensación según canal se pueden haber programado para aplicar respuestas de frecuencia de referencia idénticas, de tal modo que ambos canales se compensan hacia un punto de referencia común y se reduce o se limita el desajuste de canal. Esto puede conducir a una implementación relativamente más simple pero se puede asociar, en general, con un desempeño de un ancho de banda más limitado que la opción mostrada en la figura 5.

Se cree que está dentro de las capacidades de los expertos en la materia adaptar, usando un conocimiento general común y/o una experimentación rutinaria, la etapa de compensación descrita anteriormente con referencia a la figura 5 para su uso en un modulador I/Q.

En la figura 8 se ilustra un desmodulador. El desmodulador difiere del modulador I/Q de acuerdo con la figura 5 en que este opera en un solo canal o en múltiples canales a los que se aplica una señal de LO común. Dicho de otra manera, el desmodulador ilustrado en la figura 8 proporciona como salida un escalar de valor real o un vector de valor real. El desmodulador puede estar dispuesto en un receptor de RF o puede estar asociado a un receptor de RF.

El desmodulador comprende componentes adaptados para procesar una señal de entrada, preferiblemente una señal de RF, suministrada al desmodulador en el punto 806 y para proporcionar una señal digital en el punto 834 como resultado del procesamiento. Como se muestra en la figura 8, el desmodulador comprende un primer preamplificador 808, un filtro 812, un mezclador 814, un oscilador local (LO) 817 conectado al mezclador 814, un segundo preamplificador 816, un ADC 825 y una etapa de compensación 830 en el extremo de aguas abajo más alejado. Los componentes funcionan de forma análoga a sus homólogos en la figura 5. En particular, el filtro 812 puede ser un filtro de paso bajo. Con esta configuración, la señal que llega al lado de entrada del ADC 825 ha experimentado al menos una de las operaciones de mezcla, filtrado, amplificación en el primer preamplificador 808 y una amplificación en el segundo preamplificador 816. En una realización, al menos uno de los preamplificadores tiene una ganancia variable y su estado de ganancia (o configuración de ganancia) se alimenta a la etapa de compensación 830 como un parámetro de entorno. En este sentido, la acción de la etapa de compensación 830 en un punto dado en el tiempo puede estar influenciada por el estado de ganancia actual del primer preamplificador 808 o el estado de ganancia actual del segundo preamplificador 816, o ambos. Más exactamente, la etapa de compensación 830 compensa la deriva con respecto a una respuesta de frecuencia de referencia (predefinida) mediante la predicción del comportamiento real del ADC 825 de acuerdo con el modelo específico de la unidad evaluado a este valor del estado de ganancia actual.

La figura 6 muestra un ADC intercalado en el tiempo 600, que comprende un número $N \geq 2$ de subconvertidores paralelos $620_1, 620_2, \dots$, estando cada uno dispuesto en una trayectoria de señal que se extiende desde un puerto de entrada 601 a un puerto de salida 602 del ADC intercalado en el tiempo 600. Las respuestas de frecuencia de canal potencialmente divergentes respectivas a lo largo de la trayectoria de señal desde el puerto de entrada 601 hasta cada subconvertidor 620_m se han indicado de forma esquemática mediante una función de transferencia 610_m respectiva. Aguas abajo de los N subconvertidores $620_1, 620_2, \dots$, está dispuesta una etapa de compensación común 630, que recibe N entradas y que genera N salidas. Aguas abajo de la etapa de compensación 630, está dispuesto un selector 640, que se ha dibujado de forma esquemática como un conmutador, configurado para conectar, uno de cada vez, las N salidas de la etapa de compensación 630 al puerto de salida 602 del ADC intercalado en el tiempo 600.

La etapa de compensación 630 recupera datos que representan modelos específicos de la unidad de los subconvertidores $620_1, 620_2, \dots$ e incluye además un sensor 631 para detectar un valor actual de uno o más parámetros de entorno de los que dependen los modelos específicos de la unidad. El sensor 631 puede comprender unos subsensores asociados a cada uno de los subconvertidores $620_1, 620_2, \dots$, de tal modo que se pueda medir con alta precisión un valor local del parámetro o parámetros de entorno. La etapa de compensación 630 es capaz de compensar la deriva en la señal de salida de cada uno de los subconvertidores $620_1, 620_2, \dots$, de tal modo que la señal de salida se aproxima a una respuesta de frecuencia de referencia $Q_{ref,m}$ que se ha establecido para un subconvertidor 620_m correspondiente. El diseñador del ADC intercalado en el tiempo 600 es libre de seleccionar respuestas de frecuencia de referencia que igualen adicionalmente los subconvertidores $620_1, 620_2, \dots$ entre sí, y de principio a fin de un intervalo de frecuencia relevante; esto se analiza a continuación con referencia a la figura 7. La etapa de compensación 630 puede ser adicionalmente responsable de compensar las divergencias no deseadas entre las respuestas de frecuencia de canal; este problema se ha analizado previamente en la solicitud

EP2158680A1, del mismo solicitante que la presente.

En una variación de la estructura mostrada en la figura 6, la etapa de compensación 630 se puede ubicar aguas abajo del selector 640.

5 La figura 7A muestra un detalle de un ADC intercalado en el tiempo con cuatro subconvertidores paralelos 720₁, 720₂, 720₃, 720₄. Además de compensar la deriva en cada uno de los subconvertidores 720₁, 720₂, 720₃, 720₄, se desea limitar la deriva mutua entre los subconvertidores 720₁, 720₂, 720₃, 720₄. Para este fin, se incluyen tres etapas de compensación 730₁₂, 730₂₃, 730₃₄. Cada una de estas está conectada a un sensor de entorno 731₂₁, 731₂₃, 731₃₄ respectivo y a una memoria 721₂₁, 721₂₃, 721₃₄, que almacena datos que representan modelos específicos de la
10 unidad de los subconvertidores 720₁, 720₂, 720₃, 720₄. Aguas abajo de los compensadores 730₁₂, 730₂₃, 730₃₄, se puede proporcionar un selector similar al selector 640 mostrado en la figura 6.

15 La figura 7B ilustra una alternativa funcionalmente equivalente a la disposición de acuerdo con la figura 7A. Se incluyen tres etapas de compensación 730₁₂, 730₃₂, 730₄₂ pero, a diferencia de la disposición de tipo cascada de la figura 7A, las tres usan, todas ellas, la respuesta de frecuencia del segundo subconvertidor 720₂ como una respuesta de frecuencia de referencia. Esta diferencia, que implica que la salida del segundo subconvertidor 720 se pasa a través de tres etapas de compensación sucesivas, se puede traducir en una reducción en la propagación de errores entre las cuatro señales compensadas.

20 La figura 7C ilustra una alternativa funcionalmente equivalente a la disposición de acuerdo con la figura 7A. En el presente caso, una sola etapa de compensación 730₁₂₃₄ es común a todos los cuatro subconvertidores 720₁, 720₂, 720₃, 720₄. Debido a que la etapa de compensación única 730₁₂₃₄ tiene un acceso simultáneo a las señales de todos los cuatro subconvertidores, se puede esperar un desempeño superior. Esto también permite llevar a cabo unos esquemas sofisticados de compensación conjunta, posiblemente adaptativos a la señal.

25 Por último, la figura 7D ilustra un enfoque híbrido, en el que una primera etapa de precompensación 730₁₃ es responsable de reducir la deriva mutua entre las señales de salida del primer 720₁ y el tercer 720₃ subconvertidores y una segunda etapa de precompensación 730₂₄ es responsable de reducir la deriva mutua entre las señales de salida del segundo 720₂ y cuarto 720₄ subconvertidores. Aguas abajo de las etapas de precompensación, una etapa de compensación común 730₁₂₃₄ aplica una compensación final para reducir adicionalmente la deriva mutua dentro de cada par de señales mencionado y, adicionalmente, entre los dos pares. Debido a una acción estabilizadora, que se puede esperar de las etapas de precompensación 730₁₃ y 730₂₄, la etapa de compensación común 730₁₂₃₄ tiene una tarea de compensación más manejable que cumplir y es probable que tenga éxito en la misma bajo una gama
35 más amplia de condiciones de operación.

Observaciones finales

40 Aunque la presente divulgación describe y representa realizaciones ilustrativas específicas, la invención no se limita a estos ejemplos específicos. Se pueden hacer modificaciones y variaciones a las realizaciones ilustrativas anteriores sin apartarse del alcance de la invención, que es definido únicamente por las reivindicaciones adjuntas.

45 En las reivindicaciones, la expresión "que comprende/comprendiendo" no excluye otros elementos o etapas y los artículos indefinidos "un" o "una" no excluyen una pluralidad. El mero hecho de que se enumeren ciertas medidas en reivindicaciones dependientes mutuamente diferentes no indica que una combinación de tales medidas no se pueda usar de forma ventajosa. No se ha de entender que símbolo de referencia alguno que aparezca en las reivindicaciones sea limitante de su alcance.

50 Los dispositivos y métodos descritos anteriormente se pueden implementar como software, firmware, hardware o una combinación de los mismos. En una implementación de hardware, la división de tareas entre unidades funcionales mencionadas en la descripción anterior no se corresponde necesariamente con la división en unidades físicas; por el contrario, un componente físico puede tener múltiples funcionalidades, y una tarea se puede llevar a cabo de forma distribuida, por varios componentes físicos en cooperación. Ciertos componentes o todos los componentes se pueden implementar como software ejecutado por un procesador digital, procesador de señal o microprocesador, o se puede implementar como hardware o como un circuito integrado específico de la aplicación. Dicho software se puede distribuir en medios legibles por ordenador, que pueden comprender medios de almacenamiento informático (o medios no transitorios) y medios de comunicación (o medios transitorios). Como es bien sabido por un experto en la materia, el término medio de almacenamiento informático incluye medios volátiles y no volátiles, extraíbles y no extraíbles, implementados en cualquier método o tecnología para el almacenamiento de
60 información, tales como instrucciones legibles por ordenador, estructuras de datos, módulos de programa u otros datos. Los medios de almacenamiento informático incluyen, pero sin limitarse a, RAM, ROM, EEPROM, memoria flash u otra tecnología de memoria, CD-ROM, discos versátiles digitales (DVD) u otro almacenamiento en disco óptico, casetes magnéticos, cinta magnética, almacenamiento en disco magnético u otros dispositivos de almacenamiento magnético, o cualquier otro medio que se pueda usar para almacenar la información deseada y al
65 que pueda acceder un ordenador. Además, el experto sabe bien que los medios de comunicación materializan habitualmente instrucciones legibles por ordenador, estructuras de datos, módulos de programa u otros datos en una

señal de datos modulada, tal como una onda portadora u otro mecanismo de transporte, e incluyen cualquier medio de entrega de información.

REIVINDICACIONES

1. Un método asociado a un diseño de circuito eléctrico predefinido, en donde cada circuito eléctrico fabricado de acuerdo con el diseño de circuito eléctrico define una respuesta de frecuencia entre una señal de entrada ($x(t)$) y una señal de salida ($y(t)$) en un intervalo de frecuencia, comprendiendo el método:
- redefinir, basándose en mediciones sobre un lote de prueba de circuitos eléctricos fabricados de acuerdo con el diseño de circuito eléctrico, un modelo específico del diseño ($Q(\omega; T, V)$) para el diseño de circuito eléctrico, describiendo el modelo específico del diseño una respuesta de frecuencia del diseño de circuito eléctrico en función de al menos un parámetro (T, V) que afecta al funcionamiento del diseño de circuito eléctrico; y para una unidad en un lote principal de circuitos eléctricos (120_m) fabricados de acuerdo con el diseño de circuito eléctrico, en donde el lote principal incluye circuitos eléctricos fuera del lote de prueba de circuitos eléctricos, y en donde la unidad está fuera del lote de prueba de circuitos eléctricos:
- obtener una respuesta de frecuencia específica de la unidad como una respuesta de frecuencia para la unidad medida a un cierto valor del al menos un parámetro;
- ajustar el modelo específico del diseño a dicho cierto valor del al menos un parámetro a dicha respuesta de frecuencia específica de la unidad, con lo que se obtiene un modelo específico de la unidad ($Q_m(\omega; T, V)$) para la unidad que describe una respuesta de frecuencia para la unidad en función del al menos un parámetro; y
- almacenar, en asociación con la unidad, datos que representan el modelo específico de la unidad de tal modo que la unidad es operable junto con una etapa de compensación (130_m), que está configurada para recuperar dichos datos que representan el modelo específico de la unidad, determinar un valor actual del al menos un parámetro y, basándose en dicho valor actual y dicho modelo específico de la unidad, compensar una desviación entre una respuesta de frecuencia de dicha unidad y una respuesta de frecuencia de referencia, en donde la respuesta de frecuencia de referencia es independiente del al menos un parámetro.
2. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la temperatura es uno del al menos un parámetro.
3. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde:
- el diseño de circuito eléctrico está configurado para ser alimentado por un voltaje de suministro, y un voltaje del voltaje de suministro es uno del al menos un parámetro; o
- el diseño de circuito eléctrico está configurado para su uso con un preamplificador (508), y una ganancia de dicho preamplificador es uno del al menos un parámetro.
4. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la etapa iii-2 incluye determinar un término de calibración específico de la unidad que se aproxima a una desviación entre, por un lado, el modelo específico del diseño a dicho cierto valor del al menos un parámetro y, por otro lado, la respuesta de frecuencia específica de la unidad, y en donde el modelo específico de la unidad es una suma de tres contribuciones independientes:
- una respuesta de frecuencia independiente de la unidad;
- un término de compensación independiente de la unidad, que varía con el al menos un parámetro; y
- el término de calibración específico de la unidad.
5. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que incluye además operar la unidad junto con un circuito eléctrico adicional fabricado de acuerdo con el diseño de circuito eléctrico, en donde la respuesta de frecuencia de referencia es una respuesta de frecuencia de dicho circuito eléctrico adicional.
6. El método de la reivindicación 5, en donde:
- el diseño de circuito eléctrico es un diseño de convertidor de analógico a digital;
- la unidad y el circuito eléctrico adicional se operan como componentes paralelos de un sistema de conversión de analógico a digital intercalado en el tiempo; y la temperatura y el voltaje de suministro para alimentar el diseño de circuito eléctrico son el al menos un parámetro.
7. El método de la reivindicación 5, en donde:
- el diseño de circuito eléctrico es un diseño de convertidor de analógico a digital;
- la unidad y el circuito eléctrico adicional se operan cuando están dispuestos en ramas paralelas de un modulador en fase/cuadratura, I/Q, o un desmodulador I/Q;
- la etapa de compensación es un compensador de desajuste de I/Q;
- un preamplificador (516a, 516b) está dispuesto en cada rama aguas arriba de uno respectivo de dicha unidad y dicho circuito eléctrico adicional; y
- la temperatura y un estado de ganancia de los preamplificadores son el al menos un parámetro.

8. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde:

5 el diseño de circuito eléctrico es un diseño de convertidor de analógico a digital, siendo la señal de entrada una señal analógica y siendo la señal de salida una señal eléctrica digital;
la respuesta de frecuencia de referencia es independiente de la unidad;
el convertidor de analógico a digital está configurado para ser alimentado por un voltaje de suministro; y
el al menos un parámetro son un voltaje del voltaje de suministro y la temperatura.

10 9. Un sistema de fabricación (200) para fabricar circuitos eléctricos de acuerdo con un diseño de circuito eléctrico predefinido, en donde cada circuito eléctrico define una respuesta de frecuencia entre una señal de entrada ($x(t)$) y una señal de salida ($y(t)$) en un intervalo de frecuencia, comprendiendo el sistema de fabricación:

15 una sección de prueba (250) configurada para definir, basándose en mediciones sobre un lote de prueba de circuitos eléctricos fabricados de acuerdo con el diseño de circuito eléctrico, un modelo específico del diseño ($Q(\omega; T, V)$) para el diseño de circuito eléctrico, describiendo el modelo específico del diseño una respuesta de frecuencia del diseño de circuito eléctrico en función de al menos un parámetro (T, V) que afecta al funcionamiento del diseño de circuito eléctrico;

20 una memoria (240) para almacenar el modelo específico del diseño;
una sección de ensamblaje (210) para producir circuitos eléctricos de acuerdo con el diseño de circuito eléctrico que se deben calibrar; y
una sección de calibración (220) que comprende:

25 un sensor (221) para medir el al menos un parámetro;
un analizador (222) dispuesto cerca del sensor y que está configurado para obtener, para una unidad que es un circuito eléctrico fuera del lote de prueba de circuitos eléctricos y que es producido por la sección de ensamblaje, una respuesta de frecuencia específica de la unidad como una respuesta de frecuencia para la unidad medida a un cierto valor medido del al menos un parámetro; y

30 un programador de dispositivos (230) configurado para ajustar el modelo específico del diseño a dicha respuesta de frecuencia específica de la unidad a dicho cierto valor del al menos un parámetro, con lo que se obtiene un modelo específico de la unidad ($Q_m(\omega; T, V)$) para la unidad que describe una respuesta de frecuencia para la unidad en función del al menos un parámetro, y para almacenar, en asociación con la unidad, datos que representan el modelo específico de la unidad de tal modo que la unidad es operable junto con una etapa de compensación, que está configurada para recuperar dichos datos que representan el modelo específico de la unidad, determinar un valor actual del al menos un parámetro y, basándose en dicho valor actual y dicho modelo específico de la unidad, compensar una desviación entre una frecuencia respuesta de dicha unidad y una respuesta de frecuencia de referencia, en donde la respuesta de frecuencia de referencia es independiente del al menos un parámetro.

40 10. El sistema de fabricación de la reivindicación 9, en donde la sección de prueba comprende:

45 un sensor de prueba (251) para medir el al menos un parámetro;
un analizador de prueba (252) configurado para medir una pluralidad de respuestas de frecuencia para el lote de prueba de circuitos eléctricos fabricados de acuerdo con el diseño de circuito eléctrico, midiéndose cada respuesta de frecuencia mientras se mantiene uno de dichos circuitos eléctricos a un cierto valor medido del al menos un parámetro; y
un procesador (253) configurado

50 para recibir mediciones del analizador de prueba,
para definir dicho modelo específico del diseño basándose en las mediciones, y
para almacenar datos que representan el modelo específico del diseño en dicha memoria del sistema de fabricación.

55 11. Un dispositivo de procesamiento de señales (400) que comprende:

60 una unidad (420) que es un circuito eléctrico fabricado de acuerdo con un diseño de circuito eléctrico predefinido;
una memoria (421) que almacena datos que representan un modelo específico de la unidad ($Q_m(\omega; T, V)$) para la unidad, describiendo el modelo específico de la unidad una respuesta de frecuencia entre una señal de entrada ($x(t)$) y una señal de salida ($y(t)$) de la unidad, en un intervalo de frecuencia, en función del al menos un parámetro (T, V) que afecta al funcionamiento del diseño de circuito eléctrico; y
una etapa de compensación (410) configurada

65 para recuperar dichos datos de la memoria,
para determinar un valor actual del al menos un parámetro, y,
basándose en dicho valor actual y dicho modelo específico de la unidad, para compensar una desviación entre una respuesta de frecuencia de dicha unidad y una respuesta de frecuencia de referencia (Q_{ref}),

en donde la respuesta de frecuencia de referencia es independiente del al menos un parámetro,

en donde la memoria almacena al menos datos de un primer tipo y datos de un segundo tipo que representan el modelo específico de la unidad,

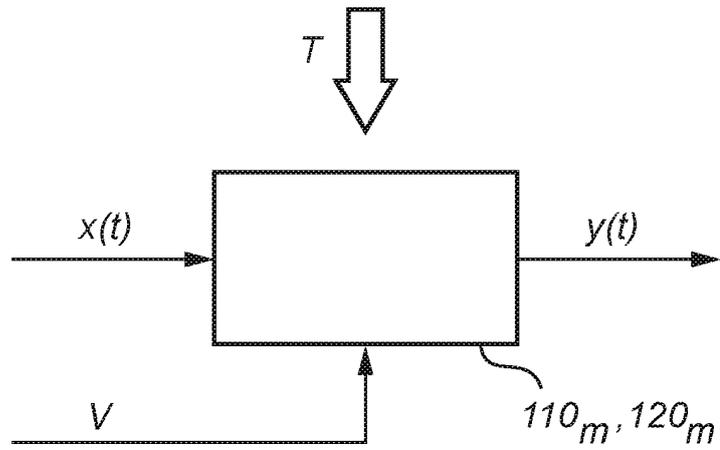
- 5 habiéndose preparado dicho primer tipo en función de una pluralidad de respuestas de frecuencia medidas para un lote de prueba de circuitos eléctricos fabricados de acuerdo con el diseño de circuito eléctrico, y habiéndose preparado dicho segundo tipo en función de una medición de una respuesta de frecuencia específica de la unidad para la unidad a un cierto valor del al menos un parámetro,
- 10 en donde la unidad está fuera del lote de prueba de circuitos eléctricos fabricados de acuerdo con el diseño de circuito eléctrico.

12. Un método para operar una unidad que es un circuito eléctrico fabricado de acuerdo con un diseño de circuito eléctrico predefinido, comprendiendo el método:

- 15 obtener datos que representan un modelo específico de la unidad ($Q_m(\omega; T, V)$) para la unidad, describiendo el modelo específico de la unidad una respuesta de frecuencia entre una señal de entrada ($x(t)$) y una señal de salida ($y(t)$) de la unidad, en un intervalo de frecuencia, en función de al menos un parámetro (T, V) que afecta al funcionamiento del diseño de circuito eléctrico;
- 20 determinar un valor actual del al menos un parámetro; y
- basándose en dicho valor actual y dicho modelo específico de la unidad, compensar una desviación entre una respuesta de frecuencia de dicha unidad y una respuesta de frecuencia de referencia (Q_{ref}), en donde la respuesta de frecuencia de referencia es independiente del al menos un parámetro,
- 25 en donde dichos datos incluyen datos de un primer tipo y datos de un segundo tipo, habiéndose preparado dicho primer tipo en función de una pluralidad de respuestas de frecuencia medidas para un lote de prueba de circuitos eléctricos fabricados de acuerdo con el diseño de circuito eléctrico, y habiéndose preparado dicho segundo tipo en función de una medición de una respuesta de frecuencia específica de la unidad para la unidad a un cierto valor del al menos un parámetro,
- 30 en donde la unidad está fuera del lote de prueba de circuitos eléctricos fabricados de acuerdo con el diseño de circuito eléctrico.

13. El método de la reivindicación 12, en donde los datos representan el modelo específico de la unidad como una fórmula, y dicha etapa de compensar una desviación entre una respuesta de frecuencia de dicha unidad y una respuesta de frecuencia de referencia incluye evaluar la fórmula para dicho valor actual del al menos un parámetro.

- 35 14. Un producto de programa informático que comprende un medio legible por ordenador con instrucciones para hacer que un ordenador programable ejecute el método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, 12 y 13.



(Técnica anterior) **Fig. 1A**

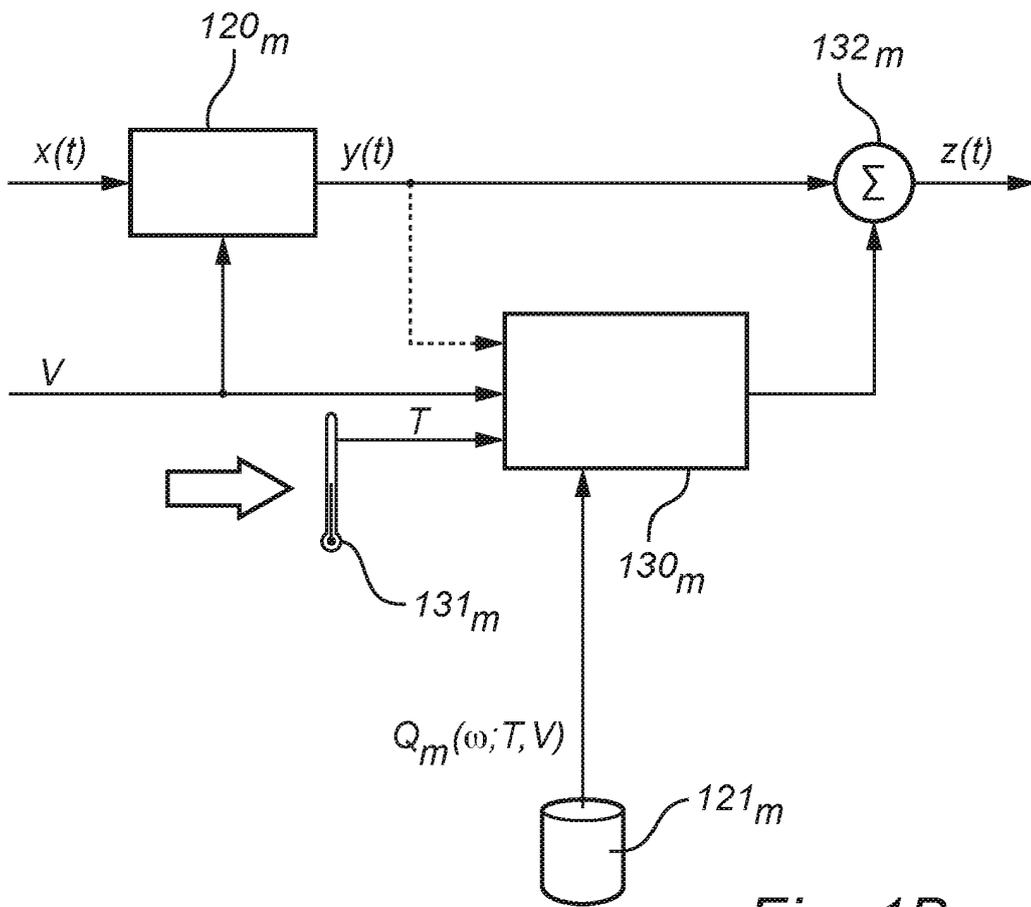


Fig. 1B

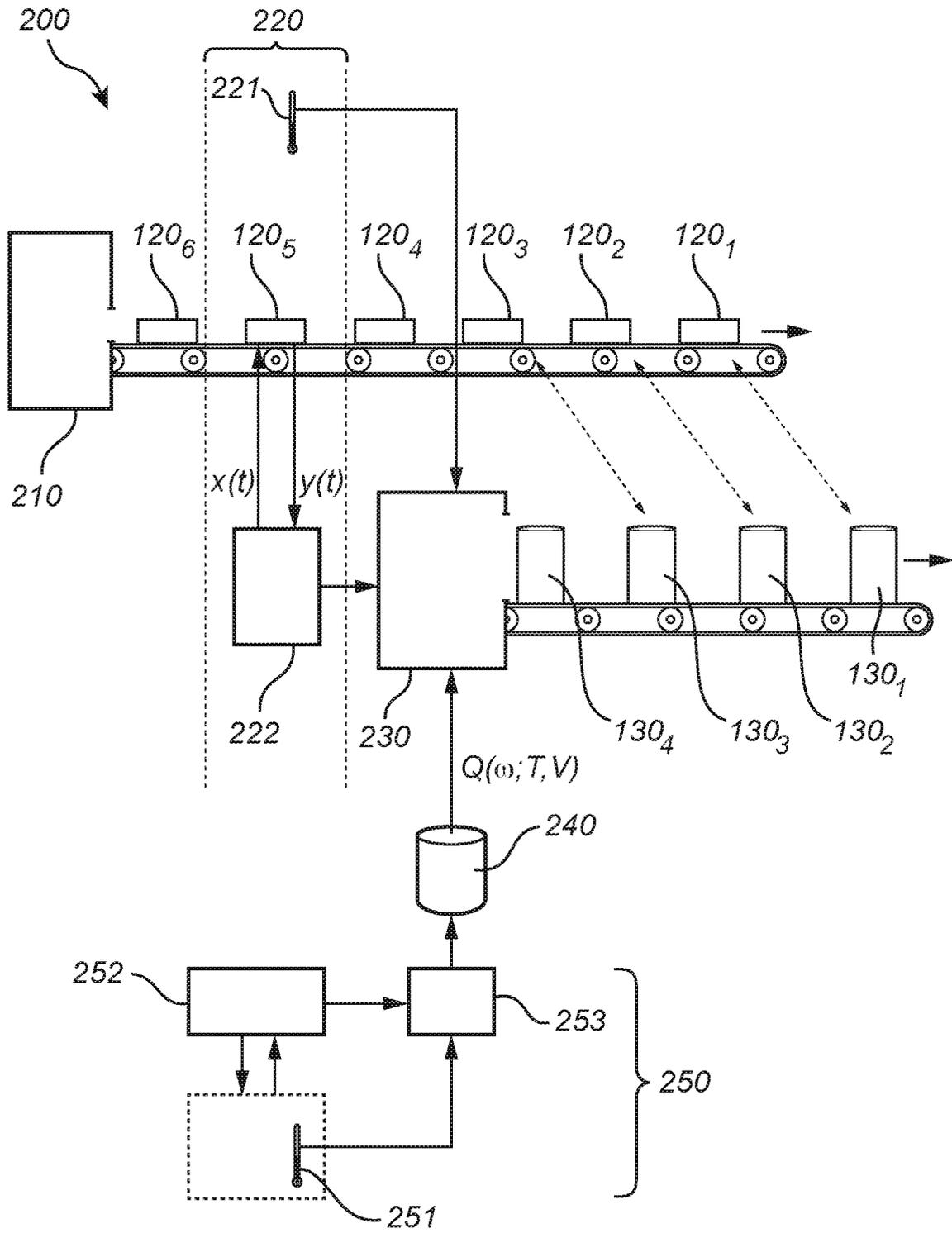


Fig. 2

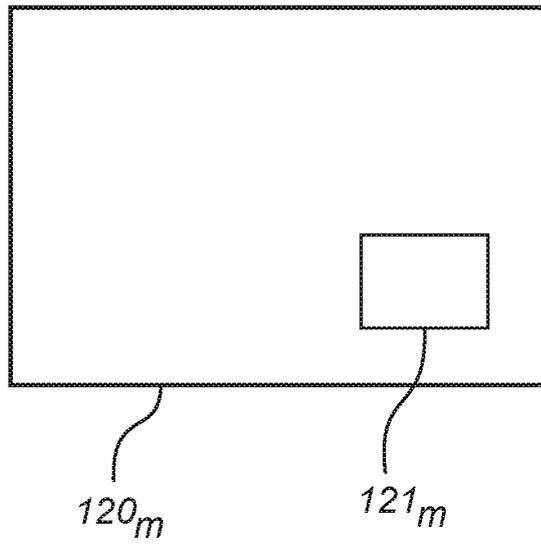


Fig. 3

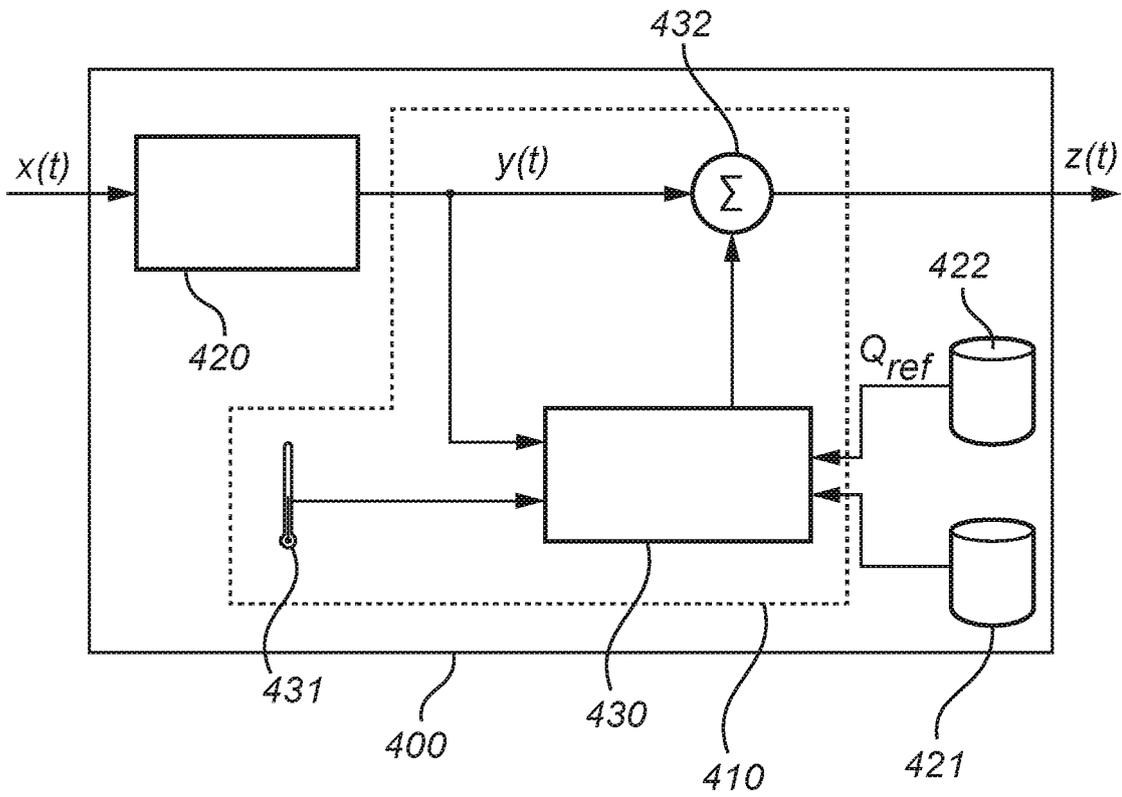


Fig. 4

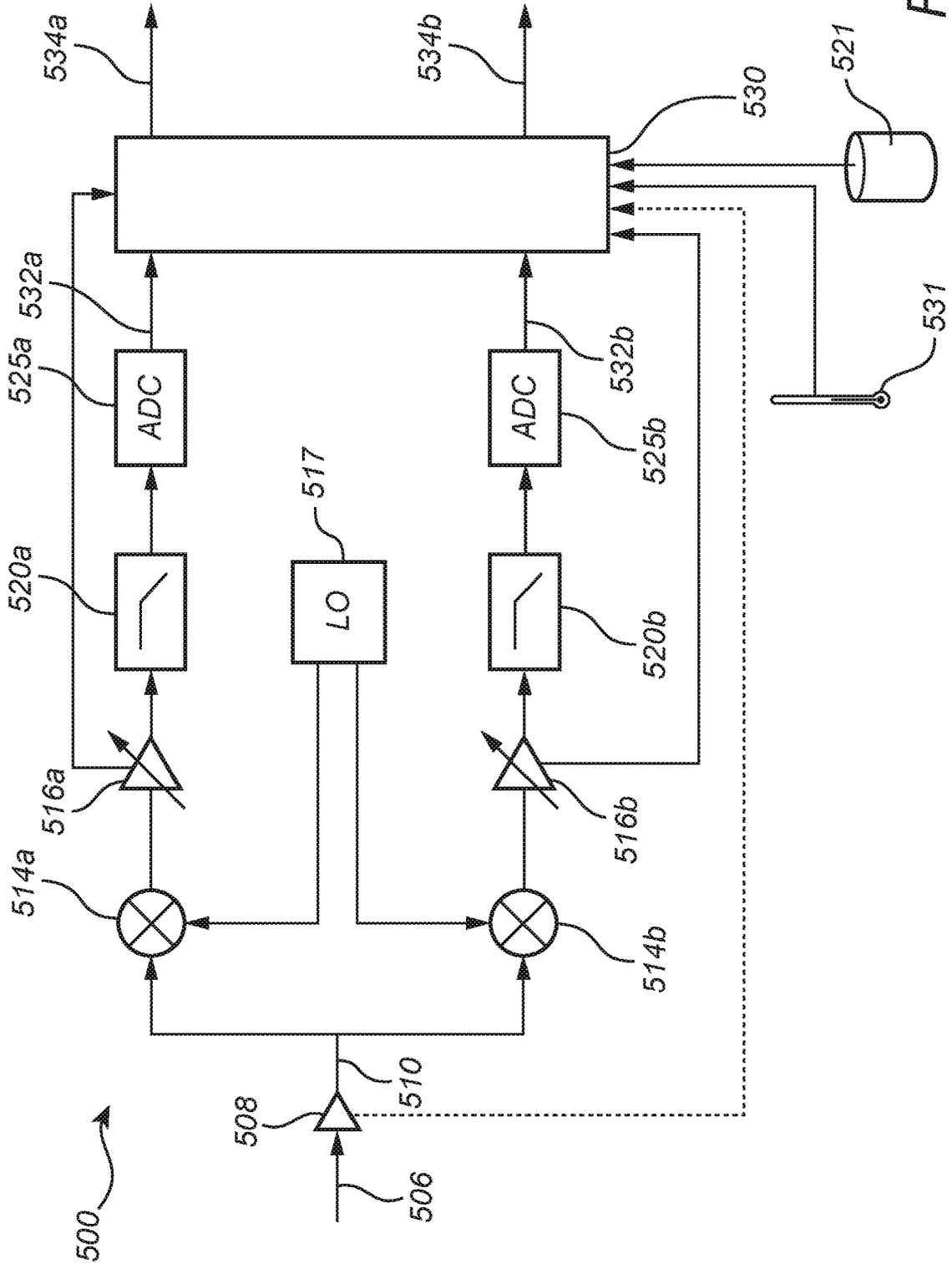


Fig. 5

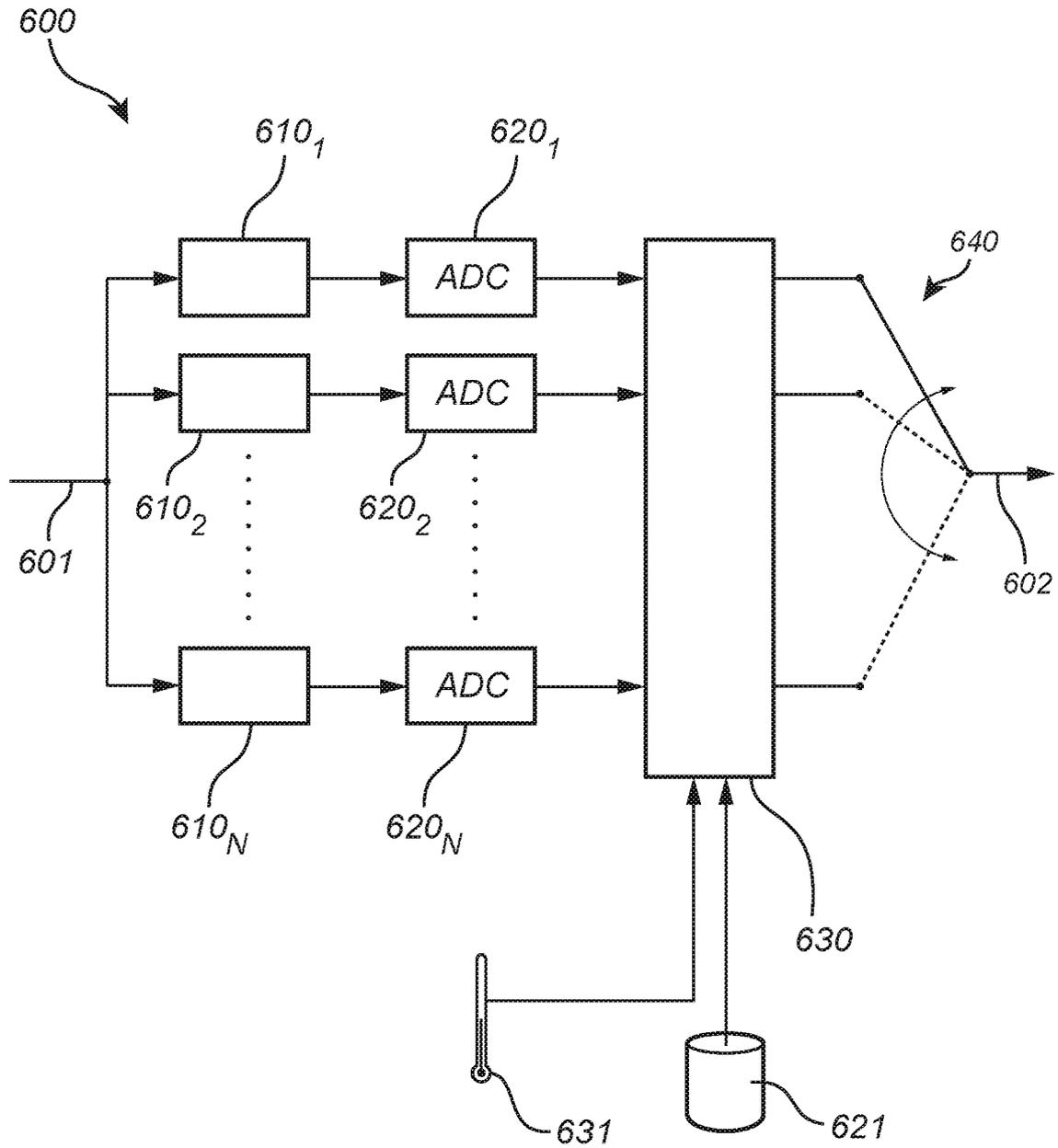


Fig. 6

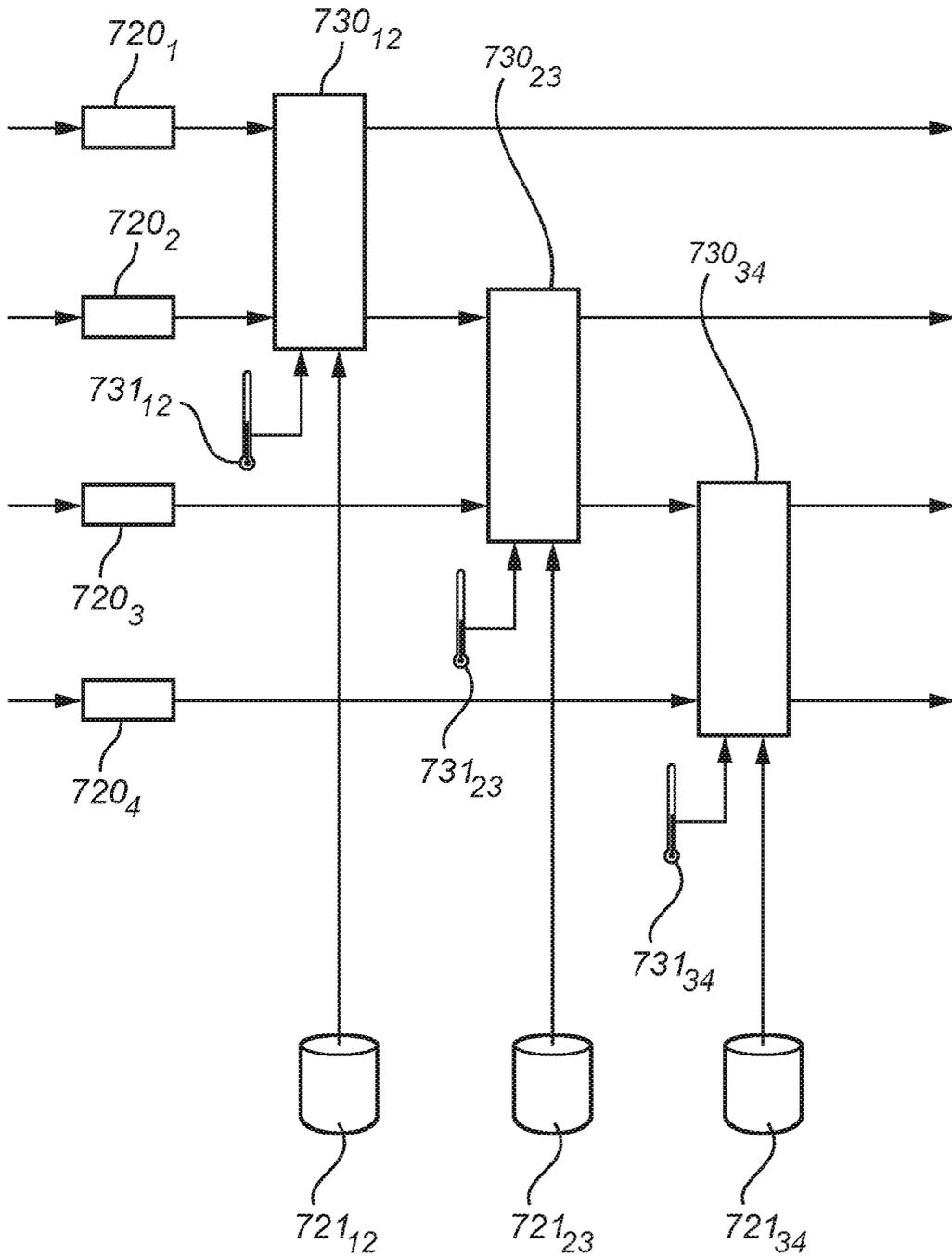


Fig. 7A

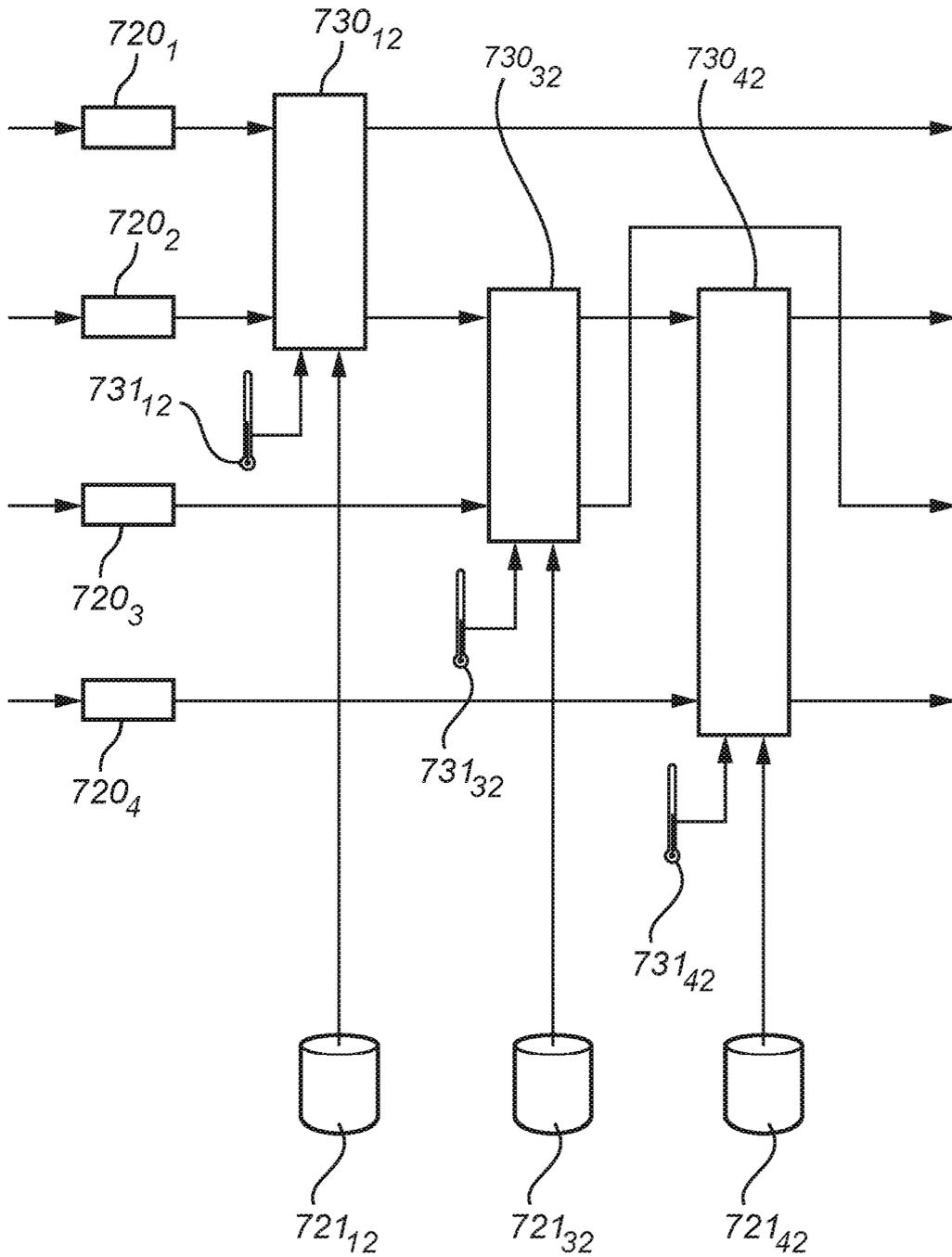
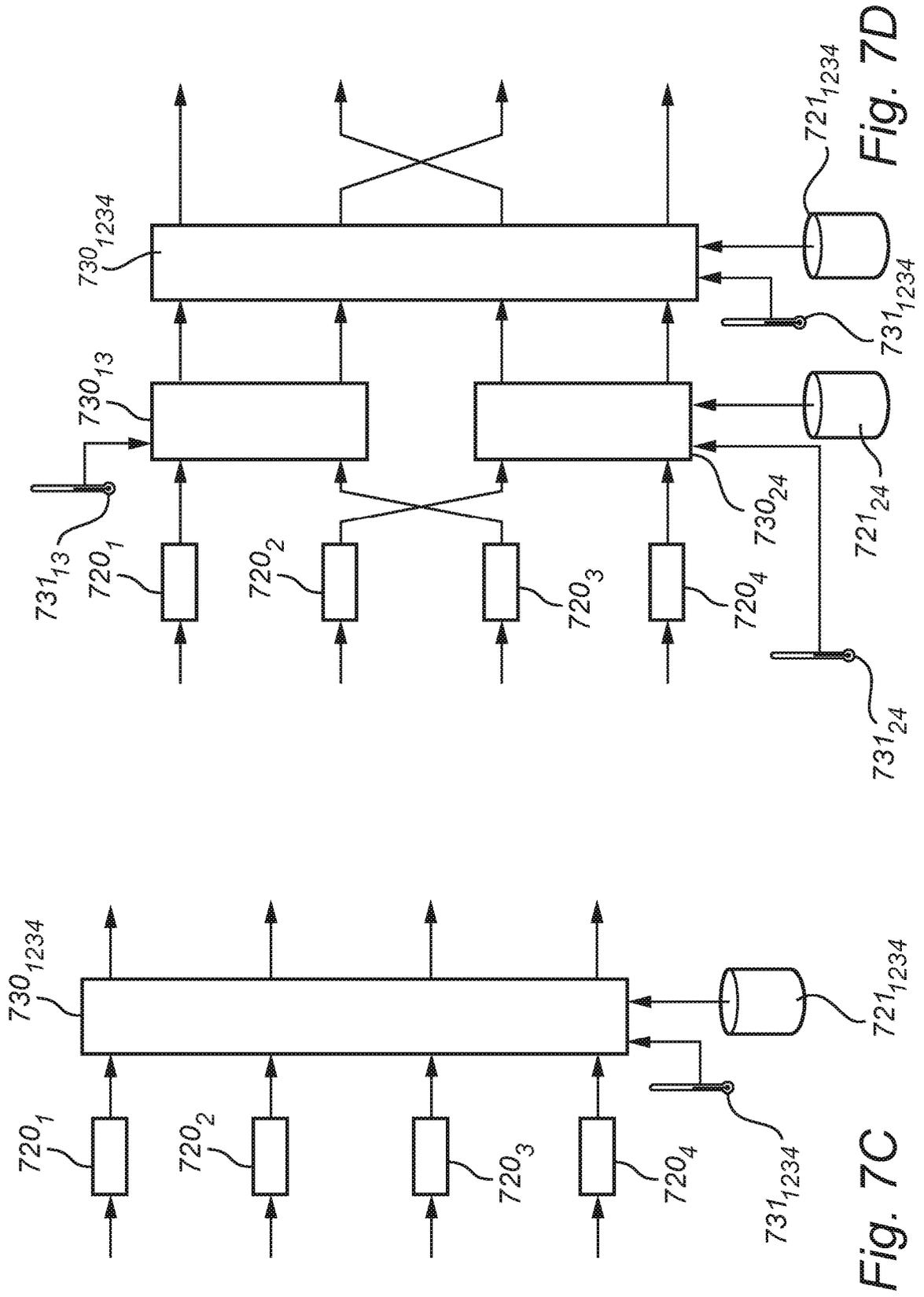


Fig. 7B



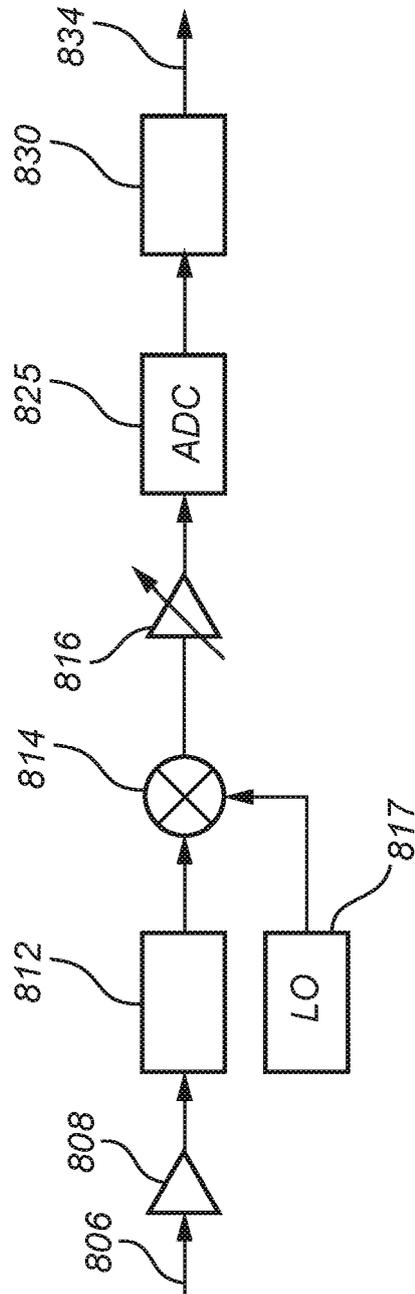


Fig. 8