

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 750 050**

51 Int. Cl.:

G01S 7/40 (2006.01)

G01S 13/95 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.05.2013** **E 13002347 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.07.2019** **EP 2799898**

54 Título: **Radar meteorológico**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
24.03.2020

73 Titular/es:

LEONARDO GERMANY GMBH (100.0%)
Raiffeisenstr. 10
41470 Neuss, DE

72 Inventor/es:

BEYER, STEFAN

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 750 050 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

Radar meteorológico

La invención se refiere a un radar meteorológico para medir señales de radar en el rango de GHz de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1.

5 Los radares meteorológicos envían pulsos de microonda de alta potencia y miden la intensidad de la señal, que se retrodispersa por la lluvia u otros objetivos. A partir de la intensidad de la señal, por ejemplo, se puede estimar la cantidad de lluvia. Para este propósito, es necesaria una calibración del radar meteorológico y en particular de su receptor.

10 Por el documento WO 2011/001206 A1 se conoce un sistema de radar en el que se genera una señal de prueba con una frecuencia diferente de la señal útil y se superpone a la señal de radar recibida por las antenas a través de acopladores direccionales. Las señales superpuestas son procesadas a continuación por los circuitos de conmutación de receptores en cuyas salidas están previstos módulos para vigilar la fase y amplificar las rutas de señal.

15 Por el documento DE 10 2011 012843 A1 se conoce un equipo de asistencia al conductor para un vehículo que presenta un aparato de radar para determinar una variable medida relacionada con un objeto externo al vehículo, comprendiendo el aparato de radar: al menos una primera y una segunda antena de recepción en cada caso para la recepción de señales; un primer convertidor descendente acoplado con la primera antena de recepción por medio de una primera ruta de recepción y un segundo convertidor descendente acoplado con la segunda antena de recepción por medio de una segunda ruta de recepción para convertir a la baja las señales recibidas en respectivas señales de banda base; un equipo de control para determinar la variable medida en base a las señales de banda base; y agentes de prueba para generar una señal de prueba local y para acoplar la señal de prueba en la primera ruta de recepción y en la segunda ruta de recepción, de tal modo el equipo de control recibe la señal de prueba mezclada a la baja por el primer convertidor descendente, como una segunda señal de prueba, la señal de prueba mezclada por el segundo convertidor descendente. El equipo de control determina a partir de las señales de prueba una variable de corrección dependiente de la frecuencia para la corrección de la variable medida.

30 Por el documento US 7 495 599 B2 se conoce un sistema de radar meteorológico polarimétrico que calibra las rutas de señal de las dos diferentes polarizaciones mediante el acoplamiento de una señal de prueba de baja energía con una frecuencia igual a la frecuencia del radar en ambas rutas de señal. Las diferencias en los valores medidos que resultan en las salidas de las dos rutas de señal se guardan luego como parámetros de calibración, de tal modo que el posterior procesamiento de la señal digital pueda tener en cuenta y descontar la diferencia de las rutas de señal para señales de radar reales. La calibración puede llevarse a cabo a este respecto una vez con una señal de prueba de onda continua, debiendo bloquearse la señal de antena durante el período de la calibración, o sobre una base de pulso por pulso. En este caso, se reserva una determinada celda de distancia para la calibración a la que se alimenta una señal de prueba pulsada y se recibe en lugar del eco atmosférico. Una desventaja de este procedimiento de calibración es que, durante la calibración, la grabación de datos del radar meteorológico debe interrumpirse o las celdas de distancia deben bloquearse y excluirse del procesamiento de la señal útil operativa.

40 Por el documento US 8 004 458 B2 se conoce otro radar meteorológico polarimétrico que también alimenta una señal de prueba en la frecuencia del radar a las rutas de señal. Esta señal de prueba puede variar en amplitud y fase y, por lo tanto, permite la simulación de diferentes condiciones meteorológicas. Una señal de prueba variable de este tipo se puede usar para probar y validar la funcionalidad y calibración adecuadas del receptor de radar meteorológico. Por ejemplo, se pueden alimentar señales de prueba Doppler o la función de transferencia compleja del receptor se puede determinar en todo el rango dinámico. También en este radar meteorológico es desventajoso que la grabación de datos debe interrumpirse durante la calibración o las celdas de distancia deben bloquearse y excluirse del procesamiento de las señales útiles operativas.

45 Por el documento WO 2012/139029 A1 se conoce otro radar polarimétrico que durante el funcionamiento calibra las dos rutas de señal sin interrupción de la grabación de datos. Esto se realiza mediante la identificación de señales individuales en los datos brutos grabados que se corresponden con objetos redondos. Debido a que los objetos redondos presentan el mismo comportamiento de reflexión para las ondas de radar de ambas polarizaciones debido a su simetría, se pueden calibrar relativamente entre sí las dos rutas de señal en función de sus señales de reflexión. Este procedimiento de calibración tiene la desventaja de que las dos rutas de señal solo se pueden calibrar relativamente entre sí, de tal modo que no pueden determinarse los valores absolutos para los parámetros de calibración, como amplificación o ruido, de las rutas de señal individuales ni su dependencia del tiempo. Debido a las variaciones térmicas de los componentes constructivos utilizados en la ruta de señal, no son comparables las mediciones de diferentes momentos.

55 Por tanto, el objetivo de la invención es mejorar la medición de la intensidad de la señal en radares meteorológicos.

Este objetivo se resuelve mediante las características de la reivindicación 1.

De esta manera, se posibilita una calibración permanente de las rutas de señal del receptor durante el funcionamiento operativo y para cualesquiera posiciones de antena en un radar meteorológico.

5 También es ventajoso que la estructura del equipo para separar la señal de prueba y la señal de radar se pueda configurar de forma variable y se oriente por los requisitos del usuario.

10 El radar meteorológico de acuerdo con la invención puede presentar un equipo divisor para separar la señal de prueba y la señal de radar que suministre las señales individuales en paralelo al equipo de procesamiento. Una ventaja de esta realización es que, para calibrar el radar meteorológico, la grabación de datos de medición ya no necesita ser interrumpida ni las celdas de distancia deben ser bloqueadas. De esta manera, los parámetros de calibración de las rutas de señal individuales del receptor, como amplificación o ruido, se pueden determinar permanentemente durante la grabación de datos de medición para cualesquiera posiciones de antena. También es ventajoso que los cambios dependientes tanto del tiempo como de la dirección y de la distancia de los parámetros de calibración pueden ser vigilados y determinados, ya que la determinación de los parámetros de calibración se efectúa para cada posición de antena y cada puerta de rango.

15 Además, es ventajoso que la comparabilidad de los datos medidos a lo largo del tiempo mejora gracias a la calibración permanente.

Alternativamente, el radar meteorológico puede presentar un equipo de conmutación para separar la señal de prueba y la señal de radar que cambie cíclicamente entre las dos señales. En este ejemplo de realización, es ventajoso que la estructura del receptor se simplifica.

20 Además, la al menos una frecuencia de la señal de prueba puede seleccionarse con un desplazamiento de frecuencia con respecto a la frecuencia de la señal de radar, dependiendo del ancho de banda del equipo de procesamiento del receptor. Es ventajoso que las frecuencias de la señal de prueba se puedan seleccionar preferentemente fuera del rango de fluctuación de la frecuencia de la señal de radar. Si el desplazamiento de frecuencia se selecciona inferior al 10%, en particular preferentemente inferior al 5% de la frecuencia intermedia del radar, es ventajoso que el modelado de la dependencia de la frecuencia de los parámetros de calibración es particularmente preciso, ya que los parámetros de calibración muestran solo una ligera variación en dicho rango de frecuencia.

30 Por procedimientos conocidos por el estado de la técnica, se pueden inferir los parámetros de calibración, como amplificación o ruido, de la ruta de señal para la frecuencia de la señal de prueba. Para calibrar el receptor, los parámetros de calibración de la ruta de señal para la frecuencia de la señal de radar entrante deben determinarse a partir de los parámetros de calibración de la ruta de señal para la frecuencia de la señal de prueba, ya que la función de transferencia del receptor no es necesariamente idéntica para ambas señales. Esto se realiza de acuerdo con la invención modelando la dependencia de la frecuencia de los parámetros de calibración que establece una relación entre los parámetros de calibración a diferentes frecuencias. Para este propósito, se pueden usar diferentes modelos matemáticos en el equipo de evaluación.

40 Por ejemplo, puede utilizarse un modelo constante, independiente de la frecuencia. En este caso, los parámetros de calibración para la frecuencia de prueba pueden adoptarse como parámetros de calibración para la frecuencia de radar. Para un desplazamiento de frecuencia Δf pequeño en comparación con la frecuencia intermedia de radar de, por ejemplo, $\Delta f \leq 5\%$ de la frecuencia intermedia del radar, puede emplearse preferentemente este modelo, ya que las propiedades de la ruta de señal apenas diferirán para frecuencias con un desplazamiento de frecuencia tan pequeño. Una ventaja de este modelo es su sencilla de implementación.

45 Otro modelo se basa en el supuesto de que la dependencia de la frecuencia de los parámetros de calibración es separable de las influencias de condiciones externas. En este caso, son constantes a lo largo del tiempo condiciones determinadas una vez en una calibración principal a partir de los parámetros de calibración de la ruta de señal para la frecuencia de prueba y la frecuencia del radar. Una ventaja de este modelo es su aplicabilidad incluso para grandes desplazamientos de frecuencia Δf , ya que se tiene en cuenta la función de transferencia del equipo de procesamiento.

50 Otros modelos de dependencia de frecuencia se basan en la interpolación o extrapolación. Para ello, la señal de prueba debe presentar al menos dos frecuencias. En el caso más simple, la señal de prueba consta de dos frecuencias que son diferentes de la frecuencia del radar, situándose una de ellas por encima y la otra por debajo de la frecuencia del radar. Para cada una de las frecuencias de señal de prueba, se pueden determinar individualmente los parámetros de calibración de la ruta de señal. A partir de ello se puede averiguar la dependencia de la frecuencia de los parámetros de calibración por interpolación. Los parámetros de calibración para la frecuencia del radar se pueden determinar a partir de la dependencia de la frecuencia interpolada. También se pueden usar modelos en los

5 que debe interpolarse entre más de dos frecuencias de señal de prueba o en los que la frecuencia del radar se sitúa fuera de las frecuencias de la señal de prueba, de tal modo que la dependencia de la frecuencia de los parámetros de calibración también debe ser modelada por extrapolación. Una ventaja de estos modelos de interpolación es que no es necesario realizar una calibración principal. También es ventajoso que el modelado de la dependencia de la frecuencia de los parámetros de calibración es particularmente preciso. Además, es ventajoso que la determinación de los parámetros de calibración para al menos dos frecuencias de señal de prueba permite un control de plausibilidad de los valores obtenidos. Si los parámetros de calibración se sitúan inusualmente alejados entre sí para las frecuencias de prueba individuales, probablemente se esté ante un error.

10 El acoplador para alimentar la señal de prueba también puede estar realizado como un diplexor. Un diplexor puede agrupar varias señales con diferentes frecuencias o dividir las en sus frecuencias. Dado que la pérdida por inserción de un diplexor es esencialmente menor que la de un acoplador, es ventajoso en este caso que los parámetros de calibración se pueden determinar con mayor precisión debido a las menores pérdidas por atenuación en la ruta de señal.

15 Un radar meteorológico puede presentar, además de los canales de recepción habituales, un denominado canal de muestreo TX con el que se pueden medir las propiedades del pulso de transmisión. Dado que el canal de muestreo TX pasa a través del receptor como otro canal receptor completo en una ruta de señal, presenta características de deriva similares a las de los demás canales receptores y también puede calibrarse de acuerdo con la invención. La ventaja de ello es que la comparabilidad de los datos medidos en el canal de muestreo TX y los otros canales receptores mejora con el tiempo.

20 La frecuencia de la señal de radar entrante se puede cambiar con el tiempo, por ejemplo, cuando se usa un transmisor magnetrón en el radar meteorológico. Por esta razón, el receptor del radar meteorológico puede configurarse de tal modo que el procesamiento de la señal dentro del equipo de procesamiento sea adaptable a la frecuencia modificada. Además, la frecuencia de la señal de prueba debe poder seguir la frecuencia de la señal de radar. Una ventaja de este diseño es que incluso los radares meteorológicos con transmisor magnetrón, que permiten mediciones mejoradas debido a su mayor potencia de transmisión, pueden calibrarse permanentemente.

25 La forma de la señal de prueba puede predefinirse a través del generador de señales de prueba. En este diseño, es ventajoso que se pueden simular diferentes condiciones meteorológicas con la ayuda de la señal de prueba en el canal de señal de prueba y, por lo tanto, la función prevista del radar meteorológico también se puede verificar para señales complejas durante el funcionamiento.

30 Otras ventajas y diseños de la invención se desprenden de la siguiente descripción y de las reivindicaciones dependientes.

A continuación, se explica con más detalle la invención sobre la base de los ejemplos de realización representados en los dibujos adjuntos.

La Figura 1 muestra esquemáticamente la estructura de un radar meteorológico según el estado de la técnica.

35 La Figura 2 muestra esquemáticamente la estructura de un primer ejemplo de realización del radar meteorológico de acuerdo con la invención en el que las señales superpuestas se pueden separar por medio de un equipo divisor.

La Figura 3 muestra un ejemplo de las posiciones de las bandas de paso de los filtros utilizados para la separación de las señales de prueba y de radar de acuerdo con el ejemplo de realización 1.

40 La Figura 4 muestra esquemáticamente la estructura de un segundo ejemplo de realización del radar meteorológico de acuerdo con la invención en el que las señales superpuestas se pueden separar por medio de un equipo conmutador.

La Figura 5 muestra esquemáticamente la estructura de un tercer ejemplo de realización del radar meteorológico de acuerdo con la invención que presenta un canal de muestreo TX.

45 En la figura 1, se representa esquemáticamente la estructura de un radar meteorológico según el estado de la técnica. Un pulso de radar generado por un transmisor 10 puede alimentarse a una antena 12 en un intervalo de transmisión a través de un duplexor 11. En la subsiguiente fase de recepción, la señal de radar 3 retrodispersada recibida por la antena 12 puede ser alimentada por el duplexor 11 al equipo receptor del receptor de radar meteorológico 2. En la ruta de señal 1 dentro del receptor 2, a la señal de radar 3 puede superponerse a través de un acoplador 4 una señal de prueba 5 generada por un generador de señales de prueba 26. Según el estado de la técnica, la frecuencia de la señal de prueba 5 se corresponde a este respecto con la de la señal de radar 3. A
50 continuación, las dos señales superpuestas 3, 5 pueden alimentarse al equipo de procesamiento 6 para la amplificación, el filtrado y la conversión de las dos señales 3, 5.

ES 2 750 050 T3

Las etapas de procesamiento habituales dentro del equipo de procesamiento 6 son una preamplificación de la señal de GHz por medio de un amplificador de bajo nivel de ruido 13, la conversión de la señal de alta frecuencia a una frecuencia intermedia en el rango de MHz con ayuda de un oscilador local estable (STALO) 14 y un mezclador 15, y la amplificación y el filtrado de la señal de frecuencia intermedia por medio de un amplificador de frecuencia intermedia 16 y un filtro antialiasing 17. En los radares meteorológicos modernos, la digitalización de las señales ya tiene lugar en el rango de frecuencia intermedia. El convertidor analógico/digital 18 utilizado para este propósito divide el receptor 2 en una sección analógica 2.1 y una sección digital 2.2. A continuación, las señales digitalizadas con ayuda de un convertidor digital descendente (DDC) que comprende un oscilador numérico 19 y otro mezclador 20 pueden convertirse a la banda base y filtrarse con un filtro adaptado 21. Además de los componentes mencionados, el equipo de procesamiento 6 puede contener componentes adicionales para el procesamiento de señales. Las señales así procesadas se pueden alimentar al equipo de evaluación 7.

En el equipo de evaluación 7, se pueden inferir a partir de la señal de prueba 5 parámetros de calibración de la ruta de señal 1, como ruido y amplificación, para la frecuencia de la señal de prueba 5, que sirven para determinar la intensidad de señal de la señal de radar entrante 3. Dado que la señal de prueba 5 según el estado de la técnica presenta la misma frecuencia que la señal de radar 3, durante esta determinación, el equipo receptor del receptor 2 o bien debe estar bloqueado, o bien la antena 12 debe haberse movido a una posición en la que no se pueden recibir señales de retrodispersión para que la señal de radar 3 no afecte a la medición de la señal de prueba 5.

Los procedimientos para determinar los parámetros de calibración ruido y amplificación del receptor 2 pueden describirse como sigue a continuación.

El receptor 2 contiene una ruta de señal 1 para la amplificación, el filtrado y la conversión a frecuencias más bajas de la señal de radar 3 y la señal de prueba 5. La señal de salida S_E de un receptor amplificador linealmente 2 puede describirse aproximadamente mediante

$$S_E = V_E \cdot S_A + N,$$

siendo V_E la amplificación del receptor 2, S_A la intensidad de señal de la señal de radar 3 retrodispersada, recibida por una antena, que entra en el receptor, y describiendo N el ruido de la señal de salida. Para determinar la intensidad de señal S_A de la señal de radar 3 a partir de la señal de salida S_E del receptor 2, deben ser determinados los parámetros de calibración de la ruta de señal 1 V_E y N . Si un receptor de radar meteorológico presenta varias rutas de señal, los parámetros de calibración para cada ruta de señal individual 1 pueden adoptar valores diferentes. Solo cuando se conocen todos los parámetros de calibración, se puede determinar a partir de la señal de salida S_E del receptor 2, la intensidad de señal de la señal de radar S_A entrante que contiene la información.

El ruido N puede determinarse según el estado de la técnica con el denominado procedimiento de "muestreo de ruido". Para este propósito, la antena 12 está colocada en una posición inclinada definida previamente y el transmisor 10 o bien se detiene o bien la medición con el transmisor 10 en funcionamiento está limitada a celdas espaciales que ya no contienen señales de retrodispersión debido a la inclinación de la antena 12. Como en ambos casos la señal de radar 3 de la antena 12 no contiene información ($S_A = 0$), el nivel del ruido N puede medirse directamente durante un período de tiempo definido ($S_E = N$)

La amplificación V_E del receptor amplificador lineal 2 puede determinarse mediante la denominada calibración de punto único. Para este propósito, una señal de prueba 5 con una frecuencia que se corresponde con la de la señal de radar 3, y una intensidad de señal seleccionable S_T es alimentada con un acoplador 4 a la ruta de señal 1. Este acoplador 4 también puede estar realizado como un interruptor con el que la entrada del receptor 2 que debe ser calibrado se conmuta entre la señal de radar 3 y la señal de prueba 5. Si se elige la intensidad de la señal S_T de la señal de prueba 5 con tal magnitud que puede no tenerse en cuenta el ruido N del receptor 2, se obtiene con un factor de pérdida de acoplamiento conocido K_T del acoplador 4 la relación $S_E \approx V_E \cdot K_T \cdot S_T$, a partir de la cual se puede calcular la amplificación V_E del receptor 2. Si el receptor 2 contiene un convertidor analógico/digital, la señal ya se presenta en forma digital en la salida del receptor 2. En este caso, la calibración de la amplificación se puede usar simultáneamente para normalizar las unidades digitales arbitrarias a la potencia.

Si se utiliza un receptor 2 de amplificación no lineal (por ejemplo, logarítmico), no basta una calibración de punto único en general, sino que la amplificación debe calibrarse para todo su rango dinámico.

Según el estado de la técnica, en estos procedimientos para determinar los parámetros de calibración de una ruta de señal 1, como, por ejemplo, ruido y amplificación, debe interrumpirse la grabación de los datos medidos durante el período de calibración. Esto sucede en una fase de calibración independiente o en funcionamiento de pulso, reservándose determinadas celdas de distancia, en las que se divide el período de recepción, para la calibración.

Los valores de los parámetros de calibración dependen de influencias externas. El ruido está compuesto de ruido de fondo o de antena, que recibe el radar meteorológico, y del ruido inherente del receptor 2, caracterizado por la

denominada figura de ruido. Depende, por tanto, entre otras cosas, de la posición de la antena, del día y la época del año, pero también de la temperatura. La amplificación del receptor 2 también es una magnitud variable en el tiempo que cambia, por ejemplo, debido a desviaciones condicionadas térmicamente. Además, los parámetros de calibración de una ruta de señal 1 dependen de la frecuencia de la señal que se debe procesar. Por estos motivos,

5 es necesario determinar los parámetros de calibración con la mayor frecuencia posible y para cualquier posición de antena, para que los datos registrados en diferentes momentos y desde diferentes direcciones espaciales sean comparables.

El objeto de la presente invención difiere del estado de la técnica anteriormente descrito como se describe a continuación: La figura 2 muestra un primer ejemplo de realización del radar meteorológico de acuerdo con la invención. Como se indicó anteriormente, está previsto un transmisor 10 para medir señales de radar en el rango de GHz, que genera un impulso de radar. Este impulso de radar se puede alimentar a través de un duplexor 11 a una antena 12. En la subsiguiente fase de recepción, la señal de radar 3 retrodispersada recibida por la antena 12 puede ser alimentada por el duplexor 11 al equipo receptor 2. En la al menos una ruta de señal 1 dentro del receptor 2, a la señal de radar 3 puede superponerse a través de un acoplador 4 una señal de prueba 5 generada por un generador de señales de prueba 26. A diferencia del estado de la técnica, a la señal de radar 3 puede superponerse una señal de prueba 5 en el acoplador 4 que presenta al menos una frecuencia diferente de la señal de radar 3. La señal de radar 3 y la señal de prueba 5 pueden ser procesadas por separado por el equipo de evaluación 7. Los parámetros de calibración de la ruta de señal 1 para la frecuencia de la señal de radar 3 pueden determinarse a partir de la señal de prueba 5 modelando la dependencia de la frecuencia de los parámetros de calibración para frecuencias en torno a las de la señal de radar 3. Esto se explicará en detalle a continuación.

En el caso más sencillo, la señal de prueba 5 solo tiene una frecuencia f_T que difiere por un desplazamiento de frecuencia Δf de la frecuencia del radar f_R , es decir, $f_T = f_R + \Delta f$ o $f_T = f_R - \Delta f$. La señal de radar 3 atraviesa, superpuesta con la señal de prueba 5, el subsiguiente equipo de procesamiento 6 del receptor. Después de varias etapas de procesamiento, la señal de prueba 5 se puede separar nuevamente de la señal de radar 3 dentro del equipo de procesamiento 6, de tal modo que las señales 3, 5 pueden procesarse por separado en un subsiguiente equipo de evaluación 7. Los parámetros de calibración de la ruta de señal 1 para la frecuencia de la señal de radar 3 pueden determinarse, pues, a partir de la señal de prueba 5 en el equipo de evaluación 7 modelando la dependencia de la frecuencia de los parámetros de calibración para frecuencias en torno a las de la señal de radar 3.

Para la separación de las señales superpuestas 3, 5, se configura un equipo divisor 8 dentro del equipo de procesamiento 6, estando realizado un segundo canal de medición para la frecuencia de la señal de prueba en el receptor 2 que presenta un correspondiente desplazamiento de frecuencia con respecto al canal principal en la frecuencia del radar. La separación de las señales tiene lugar preferentemente al final del equipo de procesamiento 6 para que todos los componentes del receptor 2 que contribuyen a su ruido y que pueden derivar sean también registrados. Para este propósito, el flujo de datos del convertidor analógico/digital 18 se divide preferentemente y se usan dos convertidores descendentes digitales que comprenden los osciladores numéricos 19, 22, que son ajustables en cada caso de tal modo que conviertan la señal de radar 3 y la señal de prueba 5 por medio de mezcladores 20, 23 a su respectiva banda base. A partir de las señales convertidas, la señal de radar 3 puede extraerse por medio del filtro adaptado 21 y la señal de prueba 5 por medio del filtro de señal de prueba 24, que luego se pueden alimentar separadas una de la otra en paralelo al equipo de evaluación 7. Los filtros 21, 24 pueden implementarse alternativamente entre el convertidor analógico/digital 18 y los DDC. En ambos casos, el filtro adaptado 21 determina el ancho de banda del canal de señal de radar y el filtro de señal de prueba 24, el ancho de banda del canal de señal de prueba dentro de los cuales se pueden seleccionar las frecuencias de la señal de radar 3 y la señal de prueba 5. Preferentemente, se seleccionan las frecuencias de la señal de radar 3 o de la señal de prueba 5 en el rango de las frecuencias centrales del canal de radar o del canal de señal de prueba. Los anchos de banda de los canales. B_R , B_T pueden ser diferentes. En este caso, la diferencia de ancho de banda debe tenerse en cuenta en el equipo de evaluación 7. Un ejemplo de las posiciones de los pasabandas P_R , P_T de filtro adaptado 21 y filtro de señal de prueba 24 y de los anchos de banda de los canales B_R , B_T se representa en la figura 3 en el rango dinámico D del receptor 2.

Un segundo ejemplo de realización de un radar meteorológico de acuerdo con la invención se muestra en la figura 4. Con el acoplador 4, a la señal de radar 3 puede superponerse una señal de prueba 5 con al menos una frecuencia diferente de la frecuencia de radar. La separación de las señales tiene lugar mediante un equipo conmutador 9. A través de un conmutador de frecuencia 25, la frecuencia del oscilador numérico 19 puede controlarse de tal modo que, a partir de la señal superpuesta, la frecuencia del radar y la al menos una frecuencia de prueba se conviertan cíclicamente a la banda base. En esta realización, ambas señales 3, 5 en la ruta de señal 1 pasan a través del mismo filtro adaptado 21. De esta manera, la señal alimentada al equipo de evaluación 7 puede conmutar entre la señal de prueba 5 y la señal de radar 3. Si la señal de prueba 5 contiene a este respecto solo una frecuencia diferente de la frecuencia del radar, el oscilador numérico 19 debe ser modificado cíclicamente durante la duración de uno o varios pulsos de transmisión con el correspondiente desplazamiento de frecuencia con respecto a la frecuencia del radar. Para los correspondientes intervalos de recepción, la señal de prueba 5 puede recibirse en al menos una frecuencia de prueba. Las señales recibidas deben marcarse como datos de prueba excluirse del procesamiento de datos operativos y utilizarse solo para la calibración y validación. En esta versión simplificada no

se realiza ningún canal de medición adicional y no se necesita ningún filtro adicional. Sin embargo, el registro de datos de medición se interrumpe durante el registro de los datos de prueba, pero ventajosamente se mantiene que los parámetros de calibración se puedan determinar para cualquier posición de antena y puedan estar disponibles en todo el rango de distancia correspondiente. Por lo demás, las explicaciones anteriores relativas al primer ejemplo de realización se cumplen en este caso correspondientemente.

En un ejemplo de realización alternativo no representado, el equipo divisor 8 está construido de manera diferente que en el primer ejemplo de realización. En este caso, el flujo de datos del convertidor analógico/digital no se divide y la señal superpuesta con un DDC en la banda base de una de las dos señales 3, 5 se mezcla a la baja. A continuación, la señal superpuesta se puede separar en la señal de radar 3 y la señal de prueba 5 a través procesamiento de filtro paralelo (por ejemplo, con un filtro de paso bajo y un filtro de paso de banda). La señal de radar 3 y la señal de prueba 5 también pueden procesarse en paralelo por medio del equipo de evaluación 7 en este ejemplo de realización. Si, alternativamente, en lugar de un procesamiento de filtro paralelo, la señal suministrada al equipo de evaluación 7 se puede conmutar cíclicamente con un conmutador entre las dos señales filtradas, esta disposición se corresponde con una construcción alternativa de un equipo conmutador 9 en comparación con el segundo ejemplo de realización.

Los anchos de banda de los canales de radar y de señal de prueba están determinados por las zonas de paso de los filtros 21, 24 utilizados para separar las señales 3, 5. Los anchos de banda de los dos canales pueden ser diferentes. Para que las dos señales 3, 5 no puedan influenciarse entre sí en la ruta de señal 1 del receptor 2, las bandas de paso de los filtros 21, 24 no deben solaparse. Debido a ello, las frecuencias de la señal de prueba 5 y la señal de radar 3 presentan preferentemente un desplazamiento de frecuencia Δf que es mayor que los anchos de banda de los canales. El tamaño máximo del desplazamiento de frecuencia Δf está determinado por el ancho de banda del equipo de procesamiento 6 del receptor 2. El ancho de banda del equipo de procesamiento 6 debe ser tan grande que tanto la señal de radar 3 como la señal de prueba 5 pasen por todo el equipo de procesamiento 6. Por ello, la al menos una frecuencia de la señal de prueba 5 presenta preferentemente un desplazamiento de frecuencia Δf con respecto a la frecuencia de la señal de radar 3, que puede seleccionarse en función del ancho de banda del equipo de procesamiento 6 y el ancho de banda respectivamente seleccionado del filtro 21. Es preferente un desplazamiento de frecuencia que sea menor del 10%, de manera particularmente preferente menor del 5% de la frecuencia intermedia del radar.

Para modelar la dependencia de la frecuencia de los parámetros de calibración de la al menos una ruta de señal 1, se pueden usar diferentes modelos dentro del equipo de evaluación 7.

Para desplazamientos de frecuencia Δf menores del 5% de la frecuencia de radar intermedia, se utiliza preferentemente un modelo en el que la dependencia de la frecuencia de los parámetros de calibración de la ruta de señal 1 entre las frecuencias de la señal de radar 3 y la señal de prueba 5 está modelada constantemente, de tal modo que los parámetros de calibración de la ruta de señal 1 para la frecuencia de prueba se puedan adoptar como parámetros de calibración de la ruta de señal 1 para la frecuencia de radar. Este modelo es particularmente fácil de implementar, ya que, en particular, no requiere una calibración principal y presenta para pequeños desplazamientos de frecuencia Δf una precisión suficiente, dado que los parámetros de calibración para los desplazamientos de frecuencia Δf apenas difieren en este rango.

Para desplazamientos de frecuencia Δf mayores del 5% de la frecuencia intermedia del radar, se utiliza preferentemente un modelo dentro del equipo de evaluación 7 en el que la dependencia de la frecuencia de los parámetros de calibración de la ruta de señal 1 se modela como independiente de influencias externas, de tal modo que las relaciones formadas a partir de los parámetros de calibración de la ruta de señal 1 para la frecuencia de la señal de radar 3 y de la señal de prueba 5 se modelan como temporalmente constantes. Este modelo tiene en cuenta la función de transferencia del receptor y, por lo tanto, proporciona resultados más precisos para desplazamientos de frecuencia mayores en comparación con el modelo de parámetros de calibración constantes.

El modelo se basa en el supuesto de que la dependencia de la frecuencia de los parámetros de calibración y la dependencia de otras influencias es separable, es decir, que se cumple, por ejemplo, para el ruido $N_R(f, T, \dots) = n_1(f) \cdot n_2(T, \dots)$, siendo n_1 una función de frecuencia f y n_2 , una función de temperatura T y de otros parámetros de influencia externa. En este modelo, los parámetros de calibración se sitúan a una frecuencia de prueba f_T y a la frecuencia del radar f_R en relaciones fijas independientes de las circunstancias externas, ya que la dependencia de los parámetros externos se recorta en la formación de la relación. Para el ruido que se obtiene, por ejemplo: $N_R(f_R, T, \dots) / N_T(f_T, T, \dots) = n_1(f) / n_1(f_T) = R_n$. Estas relaciones se pueden determinar una vez para todos los parámetros de calibración en una calibración principal en la que se interrumpe la grabación de datos para determinar los parámetros de calibración en los canales de radar y de prueba de acuerdo con los procedimientos conocidos por el estado de la técnica para las frecuencias individuales. En la subsiguiente calibración operativa, los valores actuales en cada caso de los parámetros de calibración para la frecuencia del radar pueden determinarse multiplicando los parámetros de calibración actuales para la frecuencia de prueba con estas relaciones, es decir, por ejemplo, para el ruido de acuerdo con la relación $N_R(f_R, T, \dots) = R_n \cdot N_T(f_T, T, \dots)$. Dado que los parámetros de calibración para las frecuencias de la señal de prueba pueden medirse continuamente sin interrupción de la adquisición de datos, se

puede calibrar el radar meteorológico de esta manera permanentemente durante el funcionamiento. Para verificar la aplicabilidad del modelo y ajustar las condiciones, si es necesario, fluctuaciones a largo plazo, la calibración principal se puede repetir en grandes intervalos (por ejemplo, mensualmente). Alternativamente, también es posible medir la función de transferencia de toda la banda de paso del receptor 2, a partir de la cual se pueden averiguar dinámicamente las relaciones analógicas $R_N(f_R, f_T)$ para todos los parámetros de calibración y para cualquier frecuencia f_R y f_T dentro de la banda de paso. En esta forma, este modelo de dependencia de frecuencia también es útil para sistemas de radar en los que la frecuencia de transmisión no es constante (por ejemplo, cuando se usa un transmisor magnetrón).

Para determinar la amplificación actual del receptor para la frecuencia del radar, puede formarse análogamente una relación R_V que se pueda multiplicar en la calibración operativa con la amplificación V_T actual en cada caso de la señal de prueba. Alternativamente, puede utilizarse para ello una relación de dos intensidades de señal $R_S = S_{ER}/S_{ET}$ para la calibración, que se forma a partir de las intensidades de señal medidas que se obtienen cuando se alimenta una señal con un nivel conocido S_R en la frecuencia del radar f_R y una señal con un nivel de señal S_T constante en la frecuencia de la señal de prueba f_T en la salida del receptor en una calibración principal. La señal de prueba 5 con nivel de señal constante S_T se puede alimentar permanentemente, de tal modo que el factor de calibración actual S_{ER} se puede obtener por multiplicación de R_S por el valor actual de S_{ET} . Para la calibración del receptor 2 debe tenerse en cuenta también el factor de pérdida por acoplamiento conocido K_T de tal modo que, cuando un nivel S_R en la entrada de señal de prueba del acoplador 4 lleva a una intensidad de señal S_{ER} en la salida del receptor 2 ($S_{ER} S_R$ en la entrada de señal de prueba), esta se corresponde con una fuerza de señal S_R/K_T en la entrada de señal de radar del acoplador 4 ($S_{ER} S_R/K_T$ en la entrada de señal de radar). De esta manera, el receptor 2 puede calibrarse con respecto al puerto de entrada de radar del acoplador de señal de prueba 4.

Para una determinación particularmente precisa de los parámetros de calibración de la ruta de señal 1 para la frecuencia de la señal de radar 3, se puede alimentar preferentemente una señal de prueba 5 que presente al menos dos frecuencias. Para cada frecuencia de la señal de prueba 5, se realiza un canal de señal de prueba independiente en el receptor 2, de tal modo que los parámetros de calibración de la ruta de señal 1 se puedan determinar para cada una de estas frecuencias. Preferentemente, al menos una de las frecuencias de la señal de prueba 5 está por encima y por debajo de la frecuencia de la señal de radar 3. En esta forma de realización, se usa preferentemente un modelo de la dependencia de la frecuencia de los parámetros de calibración en el equipo de evaluación 7 que modela la dependencia de la frecuencia de los parámetros de calibración de la ruta de señal 1 mediante interpolación o extrapolación. A partir de los parámetros de calibración continuamente determinables por separado de la ruta de señal 1 para las frecuencias de prueba, se pueden determinar mediante interpolación o extrapolación los parámetros de calibración de la ruta de señal 1 para la frecuencia de radar. De este modo, se elimina la necesidad de una calibración principal y surge la posibilidad de un control de plausibilidad mediante comparación de los parámetros de calibración obtenidos de los diferentes canales de señal de prueba. Las diferencias inusualmente grandes en los parámetros de calibración en los diferentes canales de señal de prueba en este caso indican un funcionamiento no adecuado del radar meteorológico.

De acuerdo con un ejemplo de realización no representado, el acoplador de alimentación 4 puede estar realizado como diplexor. Un diplexor puede agrupar varias señales con diferentes frecuencias o dividir las en sus frecuencias. Su pérdida por inserción es mucho menor que la de un acoplador.

De acuerdo con un tercer ejemplo de realización, que se representa en la figura 5, el radar meteorológico está equipado con un canal de muestreo TX, de tal modo que el receptor 2 presenta una ruta de señal adicional 1 para el canal de muestreo TX. La configuración de un canal de muestreo TX permite la medición de la frecuencia, la fase y la potencia de cada pulso de transmisión. Para ello, la señal que se debe medir del pulso del radar 3.2 se puede desacoplar a través de un acoplador 29 en la línea del transmisor y alimentarse al equipo receptor del receptor 2 separadamente de la señal de radar 3.1 retrodispersada recibida por la antena 12. Como el canal de muestreo TX pasa a través del receptor 2 como un canal receptor completo en una ruta de señal 1, presenta características de deriva similares a las de los otros canales receptores y sus parámetros de calibración también se pueden determinar de acuerdo con la invención durante el funcionamiento.

La configuración y la calibración de acuerdo con la invención de un canal de muestreo TX es en particular preferente si el radar meteorológico está equipado con un transmisor 10 cuya frecuencia es modificable, de tal modo que la frecuencia del pulso de radar 3.2 y, por lo tanto, también la de la señal de radar entrante 3.1 no es constante durante el funcionamiento. Este es el caso, por ejemplo, con un transmisor magnetrón. Debido a que un magnetrón es un oscilador de microondas de alta potencia cuya frecuencia es ajustable a través de una cavidad resonante, la frecuencia de transmisión depende de la temperatura del tubo de electrones utilizado y de la del resonador. A medida que la temperatura cambia durante el funcionamiento, la frecuencia de transmisión tampoco es constante. Preferentemente, por ello se configura de manera adaptable el procesamiento de señal dentro del equipo de procesamiento 6 de la frecuencia de la señal de radar 3.1 que cambia con el tiempo. Para este propósito, las frecuencias centrales del canal de radar y el canal de señal de prueba de la frecuencia de transmisión del pulso de radar 3.2 están diseñadas de forma rastreadable.

Esto puede hacerse mediante una función de control automático de frecuencia (AFC). A este respecto, la frecuencia de transmisión actual, que se puede medir, por ejemplo, por medio de un canal de muestreo TX, se puede determinar dentro del receptor digital 2.2 o en una sección 27 configurada para ello del equipo de evaluación 7. A través de una línea de retroalimentación 28, la frecuencia del STALO 14 o la frecuencia del oscilador numérico 19 puede controlarse de manera que la posición de la señal de radar 3 permanezca dentro de la banda de paso del filtro adaptado 21, preferentemente en el rango de su frecuencia central. Al ajustar un oscilador externo como el STALO 14 en su frecuencia, la señal de radar 3.1 se puede convertir a una frecuencia de entrada fija del receptor digital 2.2, mientras que la frecuencia de entrada del receptor digital 2.2 de la señal de radar 3.1 en el caso de AFC numérico (reajuste del oscilador numérico 19) varía. Esta variación se debe considerar cíclicamente dentro del receptor digital 2.2 mediante una correspondiente variación de la frecuencia del oscilador numérico 19.

Para evitar una superposición de las bandas de paso del filtro adaptado 21 y del filtro de señal de prueba 24 dentro del ancho de banda del equipo de procesamiento 6, por ejemplo, pueden rastrearse las frecuencias de la señal de prueba 5.1 de la frecuencia de la señal de radar 3.1 también a través de una línea de retroalimentación 28. En el caso de AFC numérico, la frecuencia del segundo oscilador numérico 22 es correspondientemente variable, de tal modo que la posición de la señal de prueba 5.1 permanece dentro de la banda de paso del filtro de señal de prueba 24, preferentemente en el rango de su frecuencia central. Si el ancho de banda del equipo de procesamiento 6 es lo suficientemente grande, la frecuencia de la señal de prueba 5.1 puede seleccionarse fuera del rango de fluctuación de la frecuencia de la señal de radar 3.1. En este caso, no es necesario rastrear la frecuencia de la señal de prueba 5.1.

Una forma discrecional de la señal de prueba 5 puede predefinirse a través del generador de señales de prueba 26. Como resultado, el canal de señal de prueba se puede utilizar para simular condiciones meteorológicas y, por lo tanto, la funcionalidad prevista del radar meteorológico se puede comprobar durante el funcionamiento.

Adicionalmente, la invención puede permitir mediciones paralelas operativas, por ejemplo, radiométricas o mediciones con fuentes externas en cualquier posición de antena que no eran posibles hasta ahora. Por ejemplo, adicionalmente a la frecuencia del radar, se puede recibir a la frecuencia de prueba sin que se alimente una señal de prueba en la ruta de señal.

Además, se pueden usar diferentes modelos para modelar la dependencia de la frecuencia de los parámetros de calibración individuales de una ruta de señal en el receptor. Por ejemplo, para el ruido, podría usarse el modelo de dependencia de frecuencia constante y para la amplificación, un modelo de interpolación.

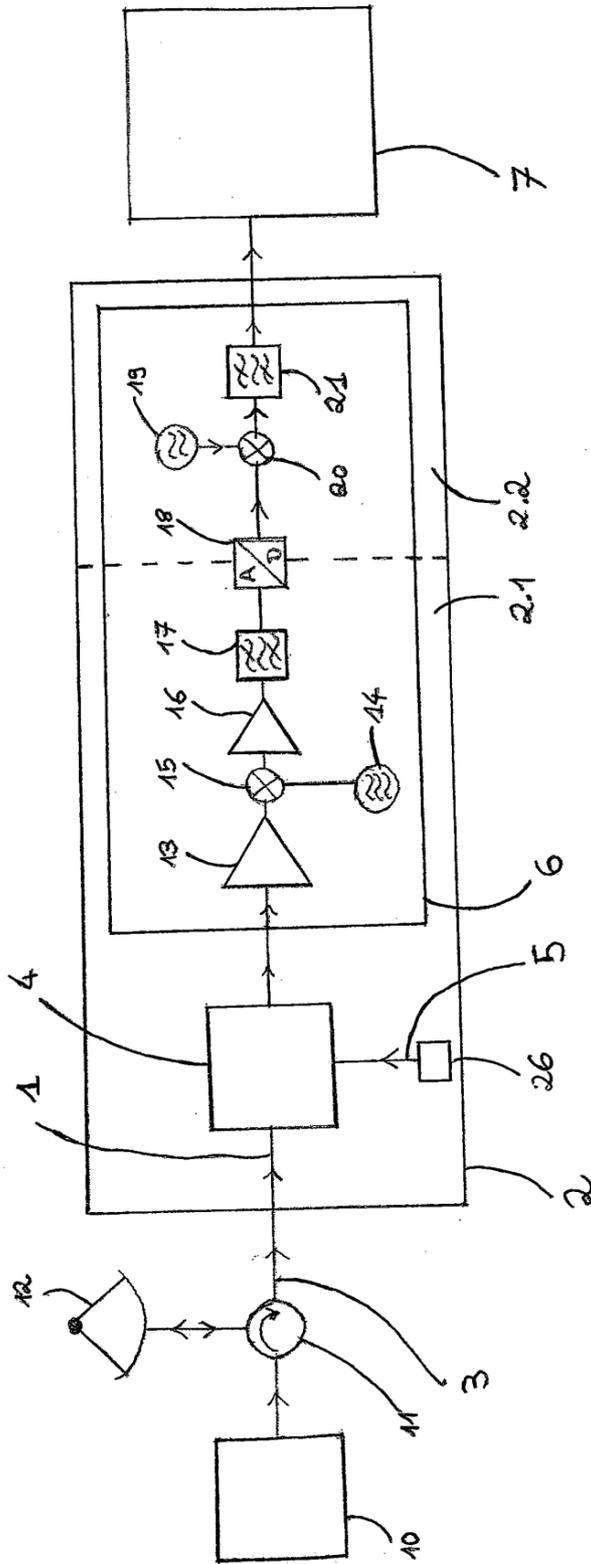
La digitalización de las señales de radar y de prueba también puede efectuarse, en lugar de en el rango de frecuencia intermedia del receptor, después de que ambas señales se hayan convertido a la banda base. En este caso, las dos señales se convierten a la banda base con la ayuda de otro oscilador local que asume las funciones del oscilador numérico como componente analógico. El convertidor analógico-digital utilizado para la digitalización se puede disponer en el área de banda base del receptor o en el equipo de evaluación.

REIVINDICACIONES

1. Radar meteorológico para medir señales de radar en el rango de GHz con un receptor (2) que contiene al menos una ruta de señal (1), y que comprende un equipo receptor para una señal de radar entrante (3), a la que puede superponerse en un acoplador (4) una señal de prueba (5) generada por un generador de señales de prueba (26), y un equipo de procesamiento (6) para amplificar, filtrar y convertir ambas señales a frecuencias más bajas, estando previsto para el filtrado un filtro adaptado (21), y con un equipo de evaluación (7) en el que se pueden inferir parámetros de calibración de la ruta de señal (1) para la frecuencia de la señal de prueba a partir de la señal de prueba (5) para determinar la intensidad de la señal de radar recibida (3), pudiendo superponerse la señal de prueba (5) con al menos una frecuencia diferente de la señal de radar (3) de tal modo que la señal de radar (3) y la señal de prueba (5) puedan ser procesadas por separado por el equipo de evaluación (7), y los parámetros de calibración de la ruta de señal (1) para la frecuencia de la señal de radar (3) puedan determinarse a partir de la señal de prueba (5) modelando la dependencia de la frecuencia de los parámetros de calibración para frecuencias en torno a las de la señal de radar (3).
2. Radar meteorológico según la reivindicación 1, **caracterizado por que** el receptor (2) presenta un equipo divisor (8) mediante el cual la señal de prueba (5) y la señal de radar (3) se pueden separar una de otra y alimentarse en paralelo al equipo de evaluación (7).
3. Radar meteorológico según la reivindicación 1, **caracterizado por que** el receptor tiene un equipo conmutador (9) con el cual la señal alimentada al equipo de evaluación (7) es conmutable entre la señal de prueba (5) y la señal de radar (3).
4. Radar meteorológico según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado por que** las frecuencias de la señal de prueba (5) y de la señal de radar (3) presentan un desplazamiento de frecuencia (Δf) que se puede seleccionar en función del ancho de banda del equipo de procesamiento (6).
5. Radar meteorológico según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado por que** el equipo de procesamiento (6) convierte las dos señales (3, 5) en frecuencias intermedias.
6. Radar meteorológico según la reivindicación 5, **caracterizado por que** el desplazamiento de frecuencia (Δf) es menor del 10%, en particular menor del 5% de la frecuencia intermedia de la señal de radar.
7. Radar meteorológico según una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado por que** la dependencia de la frecuencia de los parámetros de calibración de la al menos una ruta de señal (1) se puede modelar constantemente en el rango de frecuencia entre las frecuencias de la señal de radar (3) y la señal de prueba (5).
8. Radar meteorológico según una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado por que** la dependencia de la frecuencia de los parámetros de calibración de la al menos una ruta de señal (1) puede modelarse independientemente de influencias externas, de tal modo que las relaciones formadas a partir de los parámetros de calibración de la al menos una ruta de señal (1) para la frecuencia de la señal de radar (3) y para la frecuencia de la señal de prueba (5) se modelan constantemente a lo largo del tiempo.
9. Radar meteorológico según una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado por que** la señal de prueba (5) presenta al menos dos frecuencias que en cada caso son diferentes de la frecuencia de la señal de radar (3), y la dependencia de la frecuencia de los parámetros de calibración de la al menos una ruta de señal (1) puede modelarse mediante interpolación o extrapolación de los parámetros de calibración obtenidos para las frecuencias de señal de prueba.
10. Radar meteorológico según una de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado por que** el acoplador (4) está configurado como diplexor.
11. Radar meteorológico según una de las reivindicaciones 1 a 10, **caracterizado por que** el receptor (2) presenta una ruta de señal (1) de un canal de muestreo TX.
12. Radar meteorológico según la reivindicación 11, **caracterizado por que**, para una frecuencia variable en el tiempo de la señal de radar (3), está previsto un transmisor (10) y el procesamiento de la señal dentro del equipo de procesamiento (6) de la frecuencia cambiante en el tiempo de la señal de radar (3) se puede adaptar por medio de una línea de retroalimentación (28).
13. Radar meteorológico según la reivindicación 12, **caracterizado por que** el transmisor (10) está configurado como transmisor magnetrón.
14. Radar meteorológico según la reivindicación 12 o 13, **caracterizado por que** la al menos una frecuencia de la

señal de prueba (5) puede seguir la frecuencia de la señal de radar (3) a través de una línea de retroalimentación (28).

5 15. Radar meteorológico según una de las reivindicaciones 1 a 14, **caracterizado por que** la forma de la señal de prueba (5) puede determinarse mediante un generador de señales de prueba (26) para simular las condiciones meteorológicas y para controlar la funcionalidad prevista del radar meteorológico.



Estado de la técnica

Fig. 1

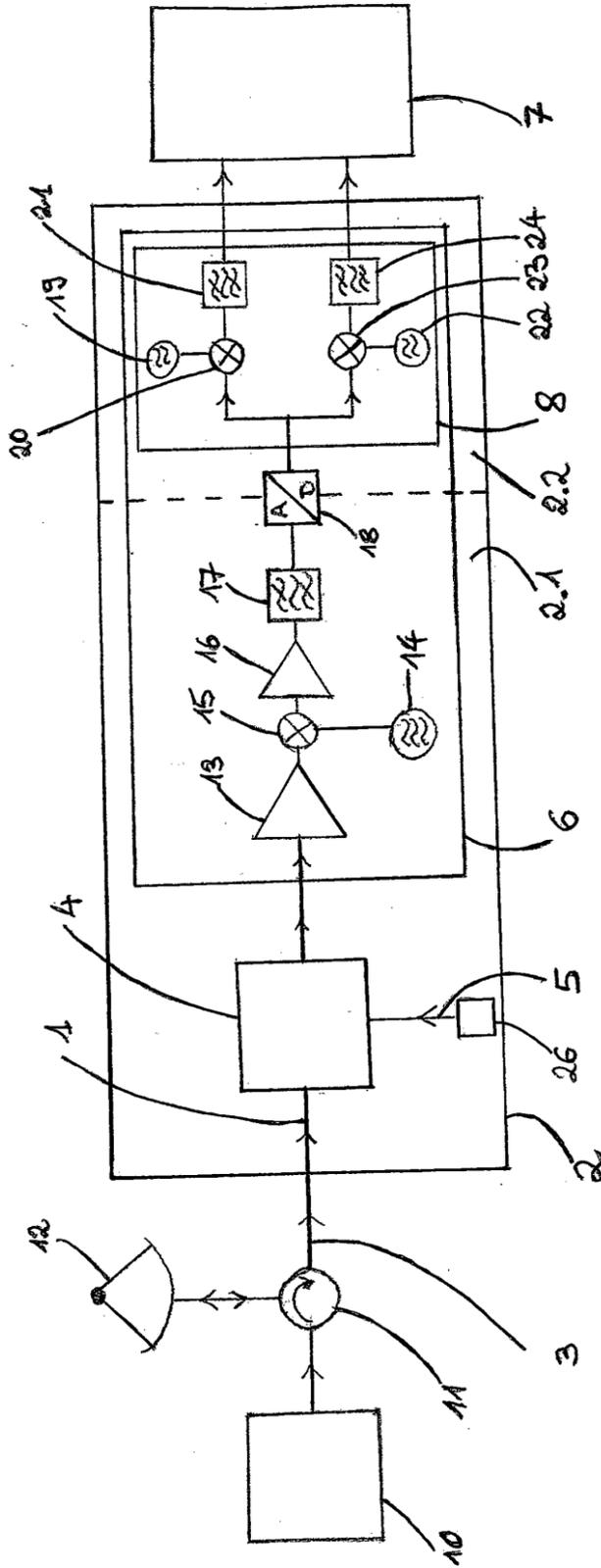


Fig. 2

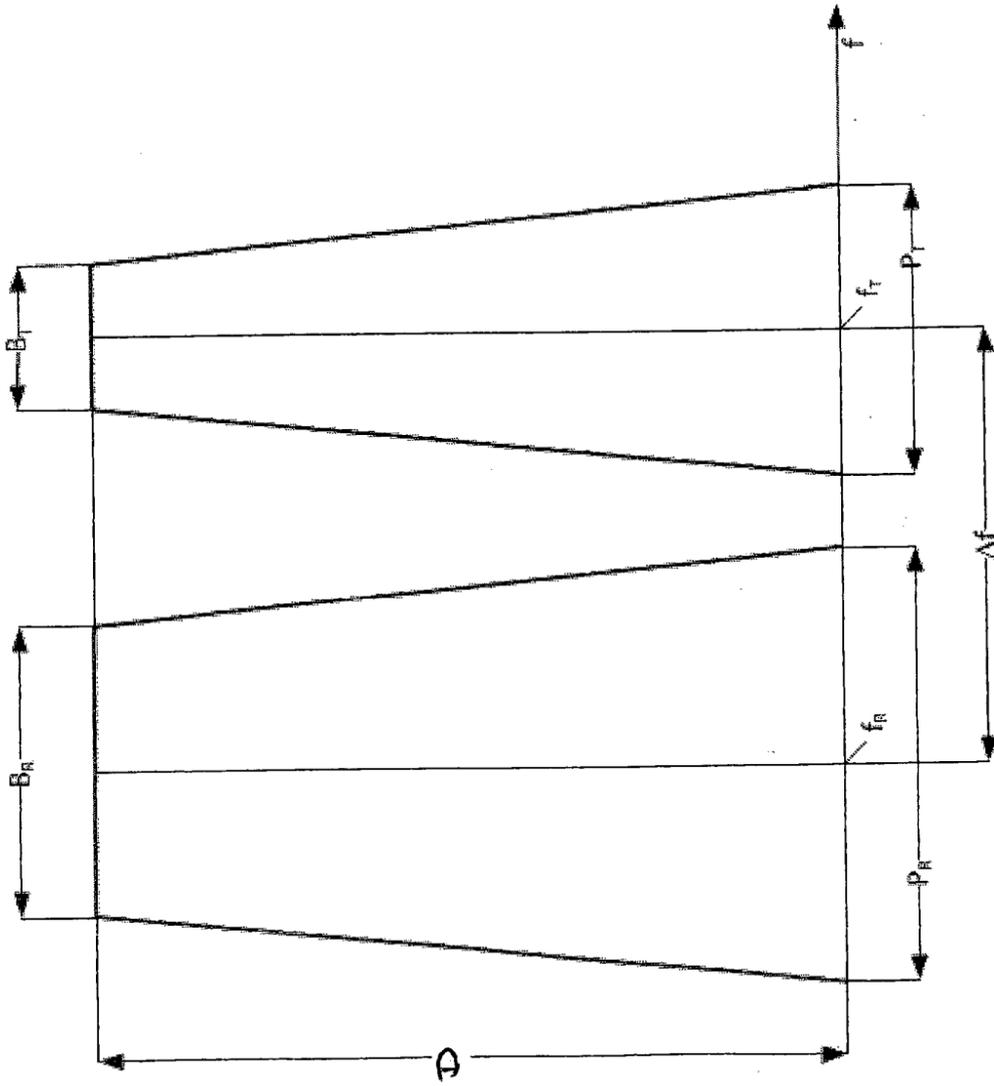


Fig. 3

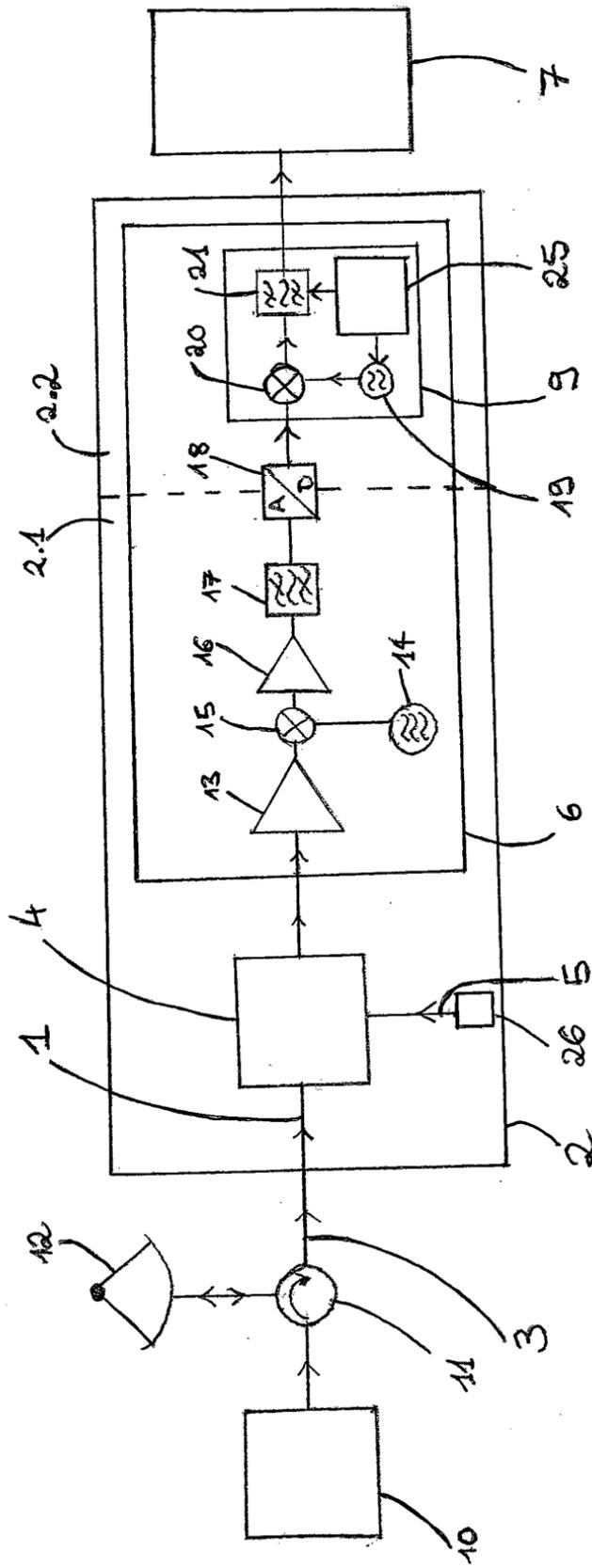


Fig. 4

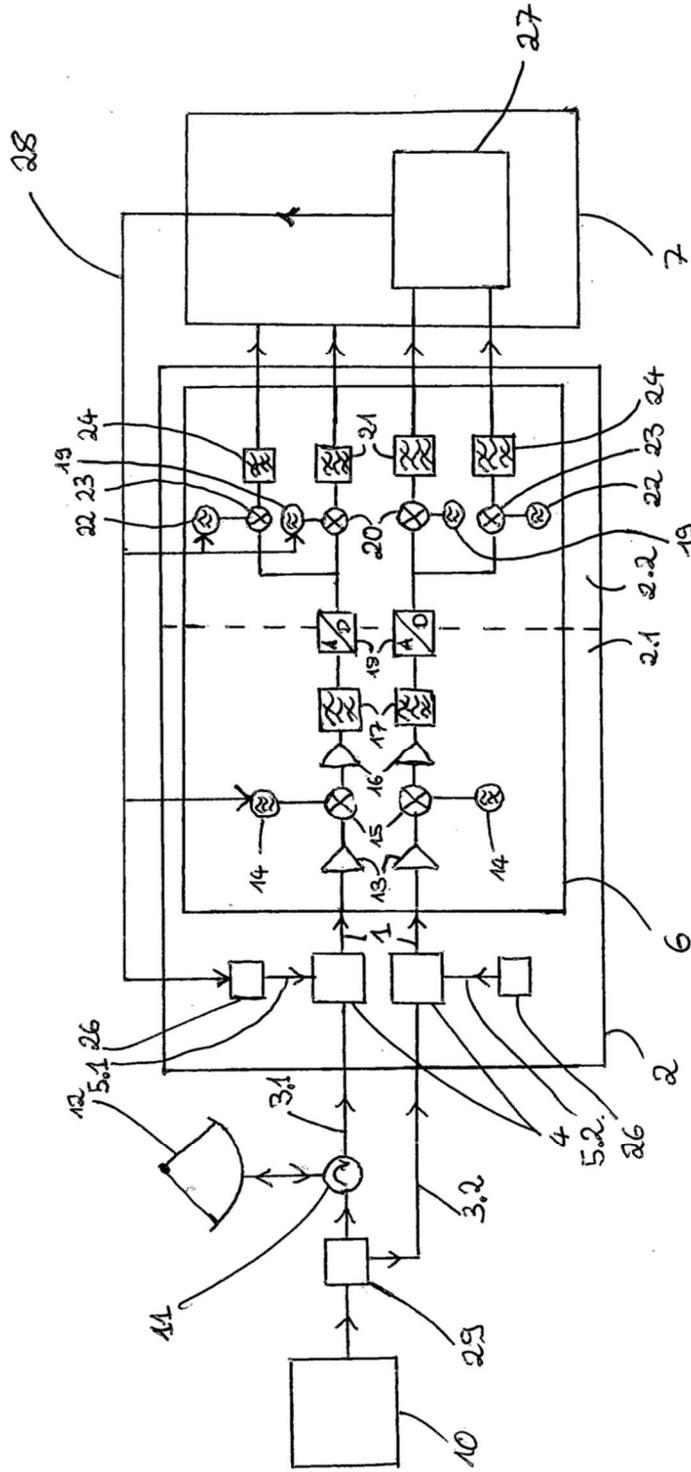


Fig. 5