

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 381 533**

51 Int. Cl.:  
**H03F 3/193** (2006.01)  
**H03F 3/21** (2006.01)  
**H03F 3/24** (2006.01)  
**H04L 27/36** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **09160027 .0**  
96 Fecha de presentación: **12.05.2009**  
97 Número de publicación de la solicitud: **2251976**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **17.11.2010**

54 Título: **Amplificador de RF con filtro digital para transmisor polar**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**29.05.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**29.05.2012**

73 Titular/es:  
**ST-Ericsson SA**  
**Chemin du Champ-des-Filles 39**  
**1228 Plan-les-Ouates, CH**

72 Inventor/es:  
**Frambach, Jan-Peter A.**

74 Agente/Representante:  
**de Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 381 533 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

Amplificador de RF con filtro digital para transmisor polar

## CAMPO DEL INVENTO

5 Este invento se refiere a amplificadores de potencia, especialmente amplificadores de potencia de RF, y a transmisores, transceptores, circuitos integrados correspondientes y a métodos para hacer funcionar los mismos.

## ANTECEDENTES DEL INVENTO

10 Es conocido a partir del documento US 2007275676 que los transmisores de RF inalámbricos modernos para aplicaciones tales como comunicaciones por teléfono móvil, personal y por satélite, emplean esquemas de modulación digital, tales como cifrado con desplazamiento de frecuencia (FSA), cifrado con desplazamiento de fase (PSK), y variantes de los mismos, a menudo en combinación con la comunicación de acceso múltiple de división por código (CDMA). La señal de salida del transmisor de RF tendrá una envolvente que en alguno de los esquemas de comunicación antes mencionados es una envolvente constante, y en otros esquemas de comunicación variará con el tiempo. Un ejemplo de un esquema de modulación de envolvente variable es el conocido como un transmisor polar. En un transmisor polar, los datos de banda de base digitales entran a un procesador digital que realiza la conformación y modulación de impulsos necesarias a alguna portadora FIF de frecuencia intermedia (IF) para generar la envolvente digital (modulada en amplitud) y señales digitales moduladas en fase. La señal digital modulada en amplitud es introducida a un convertidor de digital a analógico (DAC), seguido por un filtro pasaba bajos (LPF), a lo largo de un trayecto de amplitud. La señal digital modulada en fase es introducida a otro DAC, seguido por otro LPF, a lo largo de un trayecto de fase. La salida del LPF en el trayecto de amplitud es una señal de amplitud analógica, mientras la salida del LPF sobre el trayecto de fase es una señal de referencia analógica. La señal de referencia analógica es introducida a un bucle bloqueado en fase para permitir que la fase de la señal de salida de RF siga a la fase de la señal de referencia analógica. La señal de salida de RF es modulada en un amplificador de potencia (PA) no lineal por una señal analógica modulada en amplitud.

25 Así, en arquitecturas de transmisor polar, la componente de fase de la señal de RF es amplificada a través del PA no lineal mientras modulación de amplitud es realizada en la salida del PA. Esta arquitectura, sin embargo, requiere alineación en fase y amplitud para asegurar que los datos modulados en amplitud y modulados en fase son aplicados en el instante correcto. Además, los transmisores polares tienen también severos retos con relación a modulación de amplitud y control de potencia. Las técnicas de modulación de amplitud convencionales están basadas típicamente en la modulación de la alimentación de potencia. Sin embargo, la componente de amplitud de la señal de RF ocupa varias veces más ancho de banda que la combinación de los datos de fase y amplitud. Por ello, las técnicas de modulación de alimentación de corriente convencionales están limitadas para muchas aplicaciones de banda ancha. Además, en muchos sistemas inalámbricos, la potencia de salida debe ser controlada a fin de conservar que la señal recibida alcance a todos los usuarios en el mismo nivel de potencia. Sin embargo, en los amplificadores de potencia de conmutación, el control de potencia es realizado utilizando el mismo método que el usado para modulación de amplitud. Como resultado, en los amplificadores de potencia de conmutación, hay una solución intermedia entre el intervalo dinámico de control de potencia y la resolución de la modulación de amplitud. Además, el trayecto de señal de AM necesita ser extremadamente lineal. Cualquier distorsión conduce a emisiones de potencia espectrales inaceptables ("fuga espectral" o "recrecimiento espectral") en canales de transmisión contiguos.

40 Un amplificador de potencia de múltiples etapas es proporcionado en el documento US2007275676 antes mencionado para acceder a problemas con fuga del Oscilador Local. La corriente de fuga es ortogonal a la corriente de drenaje del transistor de conmutación debido a la diferencia de fase de 90° de la tensión y la corriente del condensador. Como resultado, cuando se aplica la modulación de amplitud, hay una variación en la fase de la portadora debido a la fuga que es una función de la envolvente de la portadora (amplitud). Este efecto es conocido como la conversión de AM a PM, y es crítico cuando el amplificador de potencia funciona y a un nivel de potencia de salida elevado. Para compensar la conversión de AM a PM en los transmisores polares, puede emplearse un filtro de distorsión previa o bucle de realimentación de fase. Además o en lugar de utilizar un filtro de distorsión previa y/o un bucle de realimentación de fase, pueden usarse transistores cascode sobre los transistores de conmutación, que también reduce la variación de tensión sobre los transistores de conmutación, y por ello reduce la conversión de AM a PM.

50 En funcionamiento a baja potencia, la fuga de LO a través del condensador de CGD puede ser comparable o incluso mayor que la señal de salida de RF. Como resultado, la fuga cubre la señal de RF a la salida, y por ello limita el intervalo dinámico de control de potencia. La señal de fuga puede también limitar la linealidad de la modulación de amplitud y en operaciones de baja potencia. Para superar el problema de fuga a baja potencia, el tamaño del conmutador es disminuido para niveles de potencia bajos previendo múltiples etapas en el amplificador de potencia. Por ejemplo puede dividirse en tres etapas con relaciones de tamaño de conmutador de \*1, \*8, y \*64. Cada etapa incluye un par de conmutadores y una fuente de corriente terminal correspondiente. Cada fuente de corriente está acoplada de manera operativa para recibir la señal modulada en amplitud y los bits de control de potencia para controlar la corriente a través de su par conmutador

respectivo y cada etapa está asociada con un nivel de potencia diferente para minimizar la fuga a niveles de baja potencia. Los conmutadores conectados a cada par de conmutadores seleccionan una más de las etapas para generar la potencia de salida apropiada para el amplificador de potencia, o la selección de etapas puede ser hecha utilizando los bits más significativos (MSB) de la palabra de control de potencia para activar las etapas apropiadas. Los bits menos significativos restantes (LSB) pueden ser usados para controlar la corriente de cola. Desactivando las grandes etapas se mejora la linealidad del amplificador de potencia en el funcionamiento a baja potencia.

Es también conocido usar un así llamado "RF DAC" o DAC de Envolvente", que es esencialmente un amplificador de potencia de RF con conmutación combinado con un DAC Nyquist de múltiples bits. Véase por ejemplo P.T.M van Zeijl, M. Collados, "Un Modulador de Envolvente Digital para un transmisor polar de WLAN OFDM en CMOS de 90 nm", IEEE Journal de Circuitos de Estado Sólido. El "RF DAC" (= el PA) puede proporcionar una capacidad de predicción/exactitud en el tiempo, necesarias para corregir la recombinación de AM y de PM, alimentando directamente los datos de amplitud digitalizados al PA. Por tanto el retardo de propagación puede saberse que está dentro de 100 ps. La exactitud de amplitud depende sin embargo de la correspondencia del dispositivo de las celdas de la unidad ponderada binaria que constituyen el PA. Como estos dispositivos necesitan funcionar en RF, usualmente varios GHz, sus dimensiones necesitan ser pequeñas. Consiguientemente, la correspondencia será pobre (haciendo corresponder escalas con área). Para aliviar este problema el "RF DAC" puede estar construido a partir de celdas de unidad codificadas por termómetro, en vez de celdas de unidad ponderadas binarias. Los trastornos pueden ser gestionados a un nivel bajo aceptable, pero en principio, el desequilibrio del dispositivo perjudicará a la reconstrucción fiel de la señal de AM.

Es conocido a partir del documento US 2007/160164 proporcionar un transmisor digital que utiliza un filtro digital para generar una señal de envolvente a partir de una componente de magnitud, y genera una señal modulada en fase a partir de una componente de fase. Una señal modulada digitalmente es generada a partir de la señal de envolvente y la señal modulada en fase que es amplificada para dar una salida de RF.

#### RESUMEN DEL INVENTO

Un objeto del invento es proporcionar amplificadores de potencia especialmente amplificadores de potencia de RF, y transmisores, transceptores, circuitos integrados correspondientes y métodos para hacer funcionar los mismos.

De acuerdo con un primer aspecto, el invento proporciona un amplificador de potencia de RF como se ha descrito en la reivindicación 1.

De acuerdo con realizaciones del presente invento el amplificador de acuerdo con el puede ser utilizado con frecuencias tales como 25 kHz o mayores, por ejemplo como las usadas en comunicaciones inalámbricas desde longitud de onda de radio hasta transmisiones inalámbricas de banda ultra ancha (UWB), o transmisiones por cable tales como ADSL, hasta el nivel de 150 GHz o 300 GHz.

El amplificador de potencia propuesto PA, apodado "FIR-PA" o "PA de corriente de bits", utiliza una corriente de un bit que por ello tiene solamente dos estados (dos valores), consiguiendo así linealidad en principio. Debido a la corriente de bits de 1 bit, la componente de amplitud codificada digitalmente puede ser exacta y fielmente reproducida en la salida amplificada.

Realizaciones del invento pueden tener cualesquiera otras características añadidas, algunas de tales características tradicionales están descritas en reivindicaciones dependientes y descritas con más detalle a continuación.

Otros aspectos del invento incluyen métodos correspondientes. Cualesquiera características adicionales pueden ser combinadas juntas y combinadas con cualquiera de los aspectos. Otras ventajas serán evidentes para los expertos en la técnica, especialmente sobre otra técnica anterior. Numerosas variaciones y modificaciones pueden hacerse sin salir de las reivindicaciones del presente invento. Por ello, debería comprenderse claramente que la forma del presente invento es ilustrativa solamente y no pretende limitar el marco del presente invento.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

A continuación se describirá cómo el presente invento puede ser llevado a efecto a modo de ejemplo con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La fig. 1 muestra el aparato de acuerdo con una primera realización.

La fig. 2 muestra el aparato de acuerdo con una segunda realización.

La fig. 3 muestra el aparato de acuerdo con una tercera realización.

#### DESCRIPCIÓN DETALLADA DE REALIZACIONES

El presente invento será descrito con respecto a realizaciones particulares y con referencia a ciertos dibujos pero el invento no está limitado a ellos sino solamente por las reivindicaciones. Los dibujos descritos son solamente esquemáticos y no son limitativos. En los dibujos, el tamaño de alguno de los elementos puede estar exagerado y no dibujado a escala con propósitos ilustrativos. Cuando se ha utilizado el término “que comprende” o “comprendiendo” en la presente descripción y reivindicaciones, no excluye otros elementos u operaciones. Cuando se ha utilizado un artículo indeterminado o determinado en referencia a un nombre singular, por ejemplo “un” o “una”, “el” o “la”, esto incluye un plural de ese nombre a menos que se haya establecido específicamente algo más.

El término “que comprende” o “comprendiendo”, utilizado en las reivindicaciones, no debería ser interpretado como estando restringido a los medios enumerados a continuación; no excluye otros elementos u operaciones. Así, el marco de la expresión “un dispositivo que comprende medios A y B”. Significa que con respecto al presente invento, los únicos componentes relevantes del dispositivo son A y B.

Además, los términos primero, segundo, tercero y similares en la descripción y en las reivindicaciones, son utilizados para distinguir entre elementos similares y no necesariamente para describir un orden secuencial o cronológico. Debe comprenderse que los términos tan usados son intercambiables bajo circunstancias apropiadas y que las realizaciones del invento descritas aquí son capaces de funcionar en otras secuencias que las descritas o ilustradas aquí.

Además, los términos superior, inferior, sobre, bajo y similares en la descripción y en las reivindicaciones son usados con propósitos descriptivos y no necesariamente para describir posiciones relativas. Ha de comprenderse que los términos así usados son intercambiables bajo circunstancias apropiadas y que las realizaciones del invento descritas aquí son capaces de funcionar en otras orientaciones que las descritas o ilustradas aquí.

Las referencias a lo largo de esta memoria a “una sola realización” o “una realización” significan que una característica o estructura particular descrita en conexión con la realización está incluida en al menos una realización del presente invento. Así, las apariciones de las frases “en una sola realización” o “en una realización” en distintos lugares a lo largo de esta memoria no se refieren todas necesariamente a la misma realización, pero pueden hacerlo. Además, las características o estructuras particulares pueden ser combinadas en cualquier forma adecuada, como sería evidente para un experto en la técnica a partir de esta exposición, en una o más realizaciones.

De modo similar debería apreciarse que en la descripción de las realizaciones ejemplares del invento, distintas características del invento son agrupadas juntas algunas veces en una única realización, figura, o descripción de las mismas con el propósito de modernizar la exposición y ayudar a la comprensión de uno o más de los diferentes aspectos del invento. Este método de exposición, sin embargo, no debe ser interpretado como que refleja una intención de que el invento reivindicado requiere más características que las que son citadas expresamente en cada reivindicación. En su lugar, como reflejan las reivindicaciones siguientes, los aspectos del invento se basan en menos cosas que todas las características de una única realización descrita anteriormente. Así, las reivindicaciones que siguen a la descripción detallada son aquí incorporadas expresamente a esta descripción detallada, con cada reivindicación basándose sobre sí misma como una realización separada de este invento.

Además, aunque algunas realizaciones descritas aquí incluyen alguna pero no otras características incluidas en otras realizaciones, combinaciones de características de diferentes realizaciones significan que están dentro del marco del invento, y forman diferentes realizaciones, como sería comprendido por los expertos en la técnica. Por ejemplo, en las reivindicaciones siguientes, cualquiera de las realizaciones reivindicada puede ser usada en cualquier combinación.

Además, algunas de las realizaciones son descritas aquí como un método o combinación de elementos de un método que puede ser puesto en práctica por un procesador de un sistema de ordenador o por otros medios de realizar la función. Así, un procesador con las instrucciones necesarias para llevar a la práctica tal método o elemento de un método forma un medio para llevar a la práctica el método o elemento de un método. Además, un elemento descrito aquí de una realización del aparato es un ejemplo de un medio para llevar a la práctica la función realizada por el elemento con el propósito de llevar a la práctica el invento. Las referencias a una señal pueden abarcar cualquier tipo de señal en cualquier medio, y así pueden abarcar una señal eléctrica u óptica o inalámbrica u otra señal por ejemplo. Las referencias a analizar pueden abarcar el tratamiento de una señal de cualquier modo para derivar o mejorar la información acerca del material. Las referencias a un procesador pueden abarcar cualesquiera medios para tratar señales o datos en cualquier forma y así pueden abarcar por ejemplo un ordenador personal, un microprocesador, un circuito analógico, circuitos integrados de aplicación específica, software para los mismos, y así sucesivamente.

El término Radiofrecuencia (RF) es una frecuencia o valor de oscilación que puede encontrarse dentro del margen de aproximadamente 3 Hz a 300 GHz y es particularmente relevante para el margen de 25 kHz a 300 GHz y más particularmente de 25 kHz a 150 GHz de acuerdo con este invento. Este margen corresponde a la frecuencia de señales eléctricas de corriente alterna usadas para producir y detectar ondas de radio. La RF se refiere a oscilaciones en el aire o en circuitos eléctricos. Por consiguiente, las referencias a RF abarcan cualesquiera frecuencias usadas para retransmisión por aire o espacio o para transmisión por cable tal como ADSL, VDSL, SDSL, etc.

Las frecuencias de radio pueden ser clasificadas como sigue:

Frecuencia extremadamente baja, por ejemplo 3-30 Hz. Frecuencias súper bajas, por ejemplo 30-300 Hz. Ultrabaja Frecuencia, por ejemplo, 300-3000 Hz, Muy Baja Frecuencia, por ejemplo 3-25 kHz, Baja Frecuencia, por ejemplo de 25 a 300 kHz, por ejemplo como la utilizada en retransmisión en AM, Media frecuencia, por ejemplo 300-3000 kHz f 100-1000 m, Alta Frecuencia por ejemplo 3-30MHz, Muy Alta Frecuencia, por ejemplo 30-300 MHz, Ultra Alta Frecuencia, por ejemplo 300-3000 MHz, y Súper Alta Frecuencia, por ejemplo 3-30 GHz, Frecuencia Extremadamente alta, por ejemplo 30-300 GHz.

De acuerdo con realizaciones del presente invento el amplificador de acuerdo con él puede ser utilizado con frecuencias tales como 25 kHz o mayores, por ejemplo como las usadas en transmisiones por cable tales como ADSL, hasta el nivel de 150GHz o 300 GHz.

En la descripción proporcionada aquí, se han descrito numerosos detalles específicos. Sin embargo, se comprende que las realizaciones del invento pueden ser puestas en práctica sin estos detalles específicos. En otros casos, métodos, estructuras y técnicas bien conocidos no han sido mostrados en detalle con el fin de no obstaculizar una comprensión de esta descripción.

#### Introducción a algunas claves accedidas por alguna de las realizaciones

A modo de introducción a las realizaciones, se describirá el problema de los transceptores inalámbricos modernos que deberían estar integrados en procesos intensos de CMOS inferiores a la micra. Deberían emplear conceptos de arquitectura y de circuitos para producir la puesta en práctica robusta en estos procesos accionados "digitalmente". Uno de esos conceptos es el Transmisor Polar. El Transmisor Polar descompone un vector de RF arbitrario en Amplitud (AM) y Fase (PM), en vez de en componentes En-fase y en Cuadratura de fase (I/Q). La componente de PM es transferida desde la banda de base a RF por medio de un Bucle de Fase Bloqueado (PLL). En procesos intensos inferiores a la micra normalmente un así llamado PLL Digital (DPLL). La componente de AM puede ser tratada de diferentes formas, pero ambas señales, AM y PM, necesitan ser recombinadas antes de la Antena. Usualmente esto sucede en el Amplificador de Potencia, que es a continuación denominado un "Amplificador de Potencia Polar". Para una recombinación satisfactoria, las señales de AM y PM deberían ser alineadas de forma apropiada en el tiempo. Como el trayecto de AM y de PM tienen naturalezas muy diferentes, la alineación en el tiempo no es intrínseca a la arquitectura, pero necesita un diseño cuidadoso.

Además, el trayecto de señal AM necesita ser extremadamente lineal. Cualquier distorsión conduce a emisiones de potencia espectral inaceptables ("fuga espectral" o "recrecimiento espectral") en canales de transmisión contiguos. Por estas razones, en las realizaciones descritas, el trayecto de señal AM será procesado de una manera "digital", para hacerlo lineal por diseño y para hacer el retardo en la propagación tanto exacto como predecible.

#### Introducción a características de las realizaciones

En realizaciones del amplificador de potencia especialmente del amplificador de potencia de RF de acuerdo con el presente invento, un convertidor convierte la señal de componente de amplitud a una señal de amplitud digital de 1 bit, que es alimentada a un filtro de respuesta de impulsos finita digital. Las sucesivas etapas del filtro tienen cada una, una etapa de amplificación, por ejemplo una etapa de amplificación de RF dispuesta para amplificar versiones sucesivamente retardadas de la señal de amplitud digital de 1 bit. La amplificación es llevada a cabo preferiblemente de acuerdo con un coeficiente de etapa respectivo, y de acuerdo con la portadora de RF modulada por la componente de fase. El filtro está dispuesto para combinar las salidas de las etapas para proporcionar la señal de RF amplificada.

El amplificador de potencia PA, apodado "FIR-PA" o "PA de corriente de bits", utiliza una corriente de un bit que por ello tiene solamente dos estados (2 valores), consiguiendo así la linealidad en principio (ya que dos puntos pueden siempre ser conectados por una línea recta). La señal de componente de amplitud (AM) es codificada en una corriente de bits de 1 bit, por cualquier clase de convertidor. Un ejemplo es un convertidor que utiliza la modulación de anchura de impulso, otros pueden ser concebidos por el experto en la técnica y están incluidos dentro del marco de este invento. Un ejemplo de un convertidor es un Modulador Sigma Delta (SDM). Este es un dispositivo conocido que puede convertir una señal de entrada AM de m bits en una señal de 1 bit sobremuestreando y conformando el ruido. La corriente de bits resultante es exacta en amplitud y tiempo, los requisitos reconocidos anteriormente para una recombinación satisfactoria de señales en la antena.

La conformación de ruido del SDM da como resultado un suelo de ruido en banda bajo pero un ruido de fuera de banda alto. En un sistema inalámbrico un nivel bajo o emisiones no espectrales deberían ocurrir en canales contiguos. El ruido de fuera de banda necesita ser suprimido por un filtro agudo (atenuación progresiva pronunciada fuera del ancho de banda de interés). Una puesta en práctica analógica de tal filtro tendrá un retardo de grupo significativo (y variación del retardo de grupo sobre la banda de paso), violando los requisitos de alineación en el tiempo. Un filtro FIR digital proporciona en

5 general una atenuación progresiva aguda fuera de la banda de paso con un retardo de grupo consistente. Un filtro FIR puede también ser puesto en práctica de una manera "semi-digital", significando que el retardo es exacto (digital) y los coeficientes de etapa son analógicos, por ejemplo fuentes de corriente conmutadas. Tales filtros son conocidos a partir de aplicaciones de audio por ejemplo. Pueden verse las realizaciones descritas como basadas en una combinación particular de un FIR "semi-digital" con un PA Polar.

10 En algunas realizaciones la etapa de amplificación de cada etapa comprende una componente analógica dimensionada de acuerdo con el coeficiente de etapa respectivo. Esto puede implicar por ejemplo diseñar las dimensiones de un transistor de acuerdo con el coeficiente de etapa respectivo. La etapa de amplificación de cada etapa puede comprender una fuente de corriente conmutada dispuesta para alimentar una corriente que representa el coeficiente de etapa respectivo. Esto puede ser combinado con el dimensionamiento de la componente analógica, o ser una alternativa. Esto puede implicar más componentes, pero puede simplificar el diseño si hay menos necesidad de proporcionar dimensiones diferentes a todas las etapas.

Las fuentes de corriente conmutada pueden ser programables. Esto puede permitir la alteración dinámica de filtrado para permitir la operación múltiple estándar o permitir el filtrado programable mediante software por ejemplo.

15 La etapa de amplificación de cada etapa puede comprender una disposición de transistores de conmutación y cascode. La etapa de amplificación de cada etapa puede comprender un espejo de corriente. Cada etapa puede tener una puerta para permitir la entrada a la versión retardada respectivamente de la señal de amplitud digital de 1 bit de acuerdo con la portadora de RF modulada por la componente de fase. Este es un modo de realizar la amplificación de acuerdo con la portadora de RF modulada por la componente de fase. Haciéndolo así en el dominio digital, la linealidad y la temporización son preservadas mejor, y la diafonía a niveles de señal inferiores es reducida, ya que algunas de las etapas de amplificación no son activas.

20 Las etapas pueden tener una corriente de referencia común controlable para todas las etapas de santificación, para permitir el control de potencia de salida de RF total.

25 El amplificador de potencia, especialmente el amplificador de potencia de RF puede ser puesto implantado en un circuito integrado CMOS inferior a la micra con otras partes. Esto es útil para niveles mayores de integración de circuitos digitales. Puede ser parte de un transceptor que tiene un transmisor polar. En uso para transmitir una señal de RF, una señal de componente de amplitud es convertida a una señal de amplitud digital de 1 bit, que es alimentada a un filtro de respuesta de impulso finito digital de modo que las etapas sucesivas del filtro amplifican cada una versiones retardadas sucesivamente de la señal de amplitud digital de 1 bit. La amplificación es hecha de acuerdo con un coeficiente de etapa respectivo, y de acuerdo con la portadora de RF modulada por la componente de fase. Combinar las salidas de las etapas proporciona una señal de RF amplificada para la transmisión. Se ha descrito un amplificador de potencia (PA) de RF, adecuado para un Transmisor Polar. Pues de ser directamente modulado en AM por una corriente de bits digital (1 bit). El PA es inherentemente lineal por diseño, ya que la corriente de 1 bit tiene solamente 2 estados. La corriente de bits puede ser ruido conformado por un Modulador Sigma Delta (SDM). A fin de suprimir el ruido de fuera de banda introducido por la conformación de ruido, el PA actúa como un filtro de Respuesta de Impulso Finito (filtro FIR) con una atenuación progresiva pronunciada. En contraste con otros PA modulados "digitalmente" la falta de adaptación del dispositivo no conduce a una distorsión de amplitud. La amplitud es codificada en la corriente de bits y no en el peso de los elementos de unidad del PA, así la amplitud puede ser reproducida fielmente sin distorsión, incluso en la presencia de una falta de adaptación del dispositivo. La falta de adaptación del dispositivo conduce de otro modo a variaciones en el ruido fuera de banda y en el retardo de grupo del PA. La potencia de salida del PA puede ser controlada por una corriente continua y es muy robusta a las variaciones de proceso, temperatura y tensión de alimentación (PVT). El PA puede ser muy adecuado para transceptores inalámbricos que deben ser integrados en procesos intensos de CMOS inferiores a la micra.

Fig. 1, una primera realización

45 En la realización de la fig. 1, un amplificador 10 de potencia de RF está mostrado con un convertidor 60 y un filtro 20 FIR de respuesta de impulso finito digital. El convertidor convierte la señal de componente de amplitud en una señal de amplitud digital de 1 bit, que es alimentada al filtro de respuesta de impulso finito digital. El filtro tienen un número de elementos de retardo 50 que proporcionan versiones sucesivamente retardadas de la señal de amplitud a etapas sucesivas 30 del filtro. Se han mostrado tres etapas, pero puede haber muchas más. Cada etapa tiene una etapa 40 de amplificación de RF dispuesta para amplificar las versiones retardadas de la señal de amplitud digital de 1 bit, siendo la amplificación de acuerdo con un coeficiente de etapa respectivo. Cada etapa de amplificación tiene también una entrada de una portadora de RF modulada por la componente de fase. El filtro está dispuesto para combinar las salida de las etapas para proporcionar la señal de RF amplificada. Esta puede ser alimentada a una antena, o guía de ondas, o a cualquier medio de transmisión. La modulación de la portadora de RF por la componente de fase puede ser llevada a cabo utilizando un PLL como se ha descrito anteriormente, o de otros modos.

55 Hay distintos modos de llevar a la práctica las distintas partes de la fig. 1. Algunos serán descritos con más detalle a

continuación con referencia a las figs. 2 y 3. Los componentes del circuito convencionales tales como transistores o puertas lógicas pueden ser utilizados, en forma de componentes discretos o circuitos integrados para adecuarse a la aplicación.

Fig. 2. una segunda realización

5 La fig. 2 muestra un amplificador de potencia de RF que tiene un FIR digital de N celdas de unidad, las etapas de un filtro  
 10 FIR de eNésimo orden. Cada celda de unidad consiste de un elemento de retardo  $Z^{-1}$  110 ( por ejemplo puesto en práctica  
 con un circuito flip-flop o biestable), una puerta tal como una puerta Y 100, y una etapa amplificadora en forma de un  
 transistor NMOS de conmutación de RF (NMOS inferior 120) y un NMOS Cascode (NMOS superior 130). Los drenajes de  
 15 los cascodes de las N celdas de unidad están combinados y conectados a la antena 190. La señal digital de AM es  
 convertida a una señal digital de 1 bit por un convertidor en forma de un Modulador Sigma Delta 180. Las puertas Y  
 combinan la corriente de bits de AM y la portadora de RF. El transistor 120 de conmutación de RF tiene pesos  $W_0 \dots W_n$ ,  
 como por los pesos de coeficientes de etapa requeridos para constituir la respuesta del filtro deseada. La ponderación es  
 conseguida utilizando diferentes dimensiones para los transistores de conmutación de diferentes etapas. El diodo  
 conectado al NMOS 140 a la izquierda y al transistor simulado 150 de RF, proporciona una corriente continua  
 20 relativamente simple para controlar la potencia de salida del PA. Un DAC 160 proporciona una señal de control de  
 potencia a una fuente de corriente 170 acoplada al diodo conectado al NMOS 140. El DAC actúa como una interfaz para  
 permitir el control por software o digital de la potencia. También, está mostrada una conexión inductiva 200 que  
 proporciona un acoplamiento de corriente continua a la salida combinada.

El gran condensador 125 proporciona el desacoplamiento de RF de las puertas Cascode, convirtiendo estos transistores  
 20 en amplificadores de “puerta común” bien conocidos. Las puertas Cascode son típicamente de tipo de óxido grueso para  
 asegurar la operación fiable a alta tensión (mucho más elevada que la tensión de núcleo de la tecnología), requerida para  
 conseguir una potencia de salida sustancial.

Fig. 3. una tercera realización

En la realización de la fig. 3, algunas partes son similares a la fig. 2 y se han usados signos de referencia correspondientes  
 25 cuando es apropiado. Cada celda de PA de unidad consiste de un elemento de retardo, una puerta Y, un transistor de  
 conmutación de RF y un espejo de corriente, duplicando como el transistor Cascode. De manera diferente a la fig. 2, todas  
 las celdas de unidad tienen las mismas dimensiones W para los transistores. El peso del coeficiente de etapa del filtro FIR  
 ya no es determinado por las dimensiones, sino que en vez de ello es determinado por la corriente continua proporcionada  
 30 por fuentes 165 de corriente individuales en cada espejo unidad. En esta realización como todos los transistores de RF  
 tienen las mismas dimensiones, hay una buena correspondencia de características de RF y un diseño más fácil de la  
 implantación. La correspondencia de los coeficientes de etapa es determinada por transistores de corriente continua (las  
 fuentes de corriente  $I_0 \dots I_n$ , 165) pueden tener un tamaño grande (ya que no hay tensiones de RF, solamente corriente  
 continua).

El control de potencia es conseguido controlando una corriente de referencia común para alterar la corriente de escala  
 35 completa de todas las fuentes de corriente juntas. Las fuentes de corriente constituyen un espejo de corriente, porque el  
 control de potencia es una cuestión de cambiar la corriente de referencia. Cada fuente de corriente emite una corriente  
 que representa A ponderación de W multiplicada por un nivel de potencial PWR. Opcionalmente las fuentes de corriente  
 pueden ser fuentes de corriente programables individualmente. Cuando las fuentes de corriente para las diferentes etapas  
 40 pueden tener cada una un valor arbitrario, cualquier característica de frecuencia del filtro FIR que se pueda concebir  
 puede ser sintetizada. Al hacerlo así, el ruido de fuera de banda de amplificador de potencia puede ser conformado para  
 adecuar la aplicación a mano, en otras palabras “filtro bajo demanda”. Esto puede ser útil para la producción de  
 “sintonización” o para sistemas multi-modo, donde diferentes requisitos se aplican para diferentes estándares. Esto  
 permite el filtrado programable por software del ruido de fuera de banda, una interesante propiedad para Radio Definida  
 por Software, SDR.

45 Aplicaciones y otras cuestiones

Una notable propiedad de al menos algunas realizaciones es que son lineales por diseño. Debido a la corriente de bits de  
 1 bit, la señal de AM codificada digitalmente del modulador polar puede ser exacta y fielmente reproducida en la antena.  
 De hecho la no linealidad solamente es causada por el efecto Temprano del transistor Cascode. Este efecto es inevitable  
 si se usa un transistor cascode, independientemente del principio operativo, analógico o “digital”.

50 Otras propiedades favorables de algunas características de algunas realizaciones son:

- La señal de AM y PM son recombinadas por la puerta Y de manera digital
- La falta de adaptación entre celdas de unidad no conduce a no linealidad o distorsión.

La falta de adaptación del dispositivo conduce a un retardo de grupo y a variaciones de ruido de fuera de banda.

- La diafonía de la portadora de RF desde la puerta al drenaje del transistor inferior se escala con amplitud.

Un "0" lógico bloquea la portadora de RF y la puerta Y, así no hay señal presente en la puerta del transistor de RF. Solamente celdas accionadas por un "1" lógico son activas, contribuyendo a la diafonía. Cuando menor es la amplitud, más unidades son "0", menor es la diafonía. Consiguientemente también pequeñas señales pueden ser reproducidas fielmente (lo que es usualmente un problema).

- El retraso de la propagación de señal es exacto y conocido a priori todo el tiempo al transistor de RF.
- La potencia de salida del PA depende de una corriente de referencia de corriente continua (L\_PWR\_CTRL).

También permite control de potencia para  $\gg 30$  dB (lineal).

- Las Mayores variaciones de Proceso, Temperatura y Tensión de Alimentación (PVT) son exterminadas.

Robusto a tolerancias de fabricación.

- El transistor Cascode puede ser desacoplado apropiadamente para RF, consiguiendo características de "puerta común".

- Los transistores Cascode de óxido grueso pueden ofrecer buena fiabilidad a tensión de alimentación elevada.

Puede proteger los transistores de RF sensibles contra alta tensión y ESD.

Los amplificadores de potencia descritos pueden ser aplicados en transmisores y transceptores inalámbricos destinados a ser integrados en CMOS SoC's (Sistema en un chip) intensos inferiores a la micra (pero pueden también ser utilizados en solitario). Es particularmente útil para estándares inalámbricos que podrían emplear un Transmisor Polar, requerir un PA que pueda ser directamente modulado por controles digitales tanto en AM como en PM.

Aplicaciones típicas incluyen un SoC Inalámbrico, que emplea un Bluetooth y Radio Celular. Sin restringir las aplicaciones, este FIR-PA es particularmente adecuado para un Transmisor Polar Digital, en unión con un PLL digital. Una de las realizaciones podría ser útil para Radio Definida por Software, que permite un Transmisor de RF multi-modo multi-estándar. Aplicaciones pueden ser en transmisores para Bluetooth/radio en FM en CMOS "CLN45" o PNX6730 de 45 nm [Banda de Base Celular con Bluetooth/GPS/radio FM] en CMOS "CLN45" de 45 nm.

Otras variaciones pueden ser consideradas dentro del marco de las reivindicaciones.

**REIVINDICACIONES**

- 5 1.- Un amplificador de potencia de RF para un transmisor polar, proporcionando el amplificador de potencia de RF una señal de RF amplificada basado en una señal de componente de amplitud y una portadora de RF modulada por una componente de fase, teniendo el amplificador de potencia de RF un convertidor (60, 180) para convertir la señal de componente de amplitud en una señal de amplitud digital de 1 bit, y teniendo un filtro de respuesta (20) de impulso finito digital alimentado por la señal de amplitud digital de 1 bit, sucesivas etapas del filtro cada una de las cuales comprende una etapa de amplificación de RF (40, 120, 130, 140, 150, 160, 165, 170) dispuesta para amplificar versiones sucesivamente retardadas de la señal de amplitud digital de 1 bit de acuerdo con un coeficiente de etapa respectivo y teniendo las etapas de amplificación de RF como una entrada la portadora de RF modulada por la componente de fase, y estando dispuesto el filtro para combinar las salidas de las etapas para proporcionar la señal de RF amplificada.
- 10 2.- El amplificador de potencia de RF según la reivindicación 1, comprendiendo la etapa de amplificación de cada etapa una componente analógica (120) dimensionada de acuerdo con el coeficiente de etapa respectivo.
- 15 3.- El amplificador de potencia de RF según la reivindicación 1 ó 2, comprendiendo la etapa de amplificación de cada etapa una fuente de corriente conmutada (165) dispuesta para alimentar una corriente que representa el coeficiente de etapa respectiva.
- 5 4.- El amplificador de potencia de RF según la reivindicación 3, siendo las fuentes de corriente conmutadas programables.
- 5.- El amplificador de potencia de RF según cualquier reivindicación precedente, comprendiendo la etapa de amplificación de cada etapa una disposición de transistores de conmutación y cascode.
- 20 6.- El amplificador de potencia de RF según cualquier reivindicación precedente, comprendiendo la etapa de amplificación de cada etapa un espejo de corriente.
- 7.- El amplificador de potencia de RF según cualquier reivindicación precedente, comprendiendo cada etapa una puerta (100) para permitir la entrada a la versión retardada respectivamente de la señal de amplitud de 1 bit de acuerdo a la portadora de RF modulada por la componente de fase, para hacer la amplificación de acuerdo a la portadora de RF modulada por la componente de fase.
- 25 8.- El amplificador de potencia de RF según cualquier reivindicación precedente, dispuesto para tener una corriente de referencia común controlable para todas las etapas de la amplificación, para permitir el control total de potencia de salida de RF.
- 9.- El amplificador de potencia de RF según cualquier reivindicación precedente, comprendiendo el convertidor un modulador sigma delta (180).
- 30 10.- Un circuito integrado CMOS inferior a la micra que comprende el amplificador de potencia de RF según cualquier reivindicación precedente.
- 11.- Un transceptor que tiene un transmisor polar que tiene el amplificador de potencia de RF de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9.
- 35 12.- Un método de amplificar una señal de RF en un Transmisor Polar, estando basada la amplificación en una señal de componente de amplitud y una portadora de RF modulada por una componente de fase, teniendo el método las operaciones de convertir una señal de componente de amplitud a una señal de amplitud digital de 1 bit, alimentar esta señal a un filtro de respuesta de impulso finito digital de modo que las etapas sucesivas del filtro amplifiquen cada una versiones retardadas sucesivamente de la señal de amplitud digital de 1 bit de acuerdo con un coeficiente de etapa respectivo, y de acuerdo con la portadora de RF modulada por la componente de fase, teniendo el método la operación de combinar las salidas de las etapas para proporcionar una señal de RF amplificada.
- 40 13.- El método según la reivindicación 12, que comprende además la transmisión inalámbrica de la señal amplificada.
- 14.- El método según las reivindicaciones 12 ó 13, en el que cada etapa comprende una puerta (100), comprendiendo además el método permitir la entrada a la versión retardada respectivamente de la señal de amplitud digital de 1 bit de acuerdo con la portadora de RF modulada por la componente de fase, para hacer la amplificación de acuerdo con la portadora de RF modulada por la componente de fase.
- 45 15.- El método según cualquiera de las reivindicaciones 12 a 14, en el que la operación de amplificación de cada etapa comprende alimentar una corriente que representa el coeficiente de etapa respectiva.

FIG 1





