

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 432 101**

51 Int. Cl.:

**H03F 3/58**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA MODIFICADA  
TRAS OPOSICIÓN

T5

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.10.2011 E 11186209 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea modificada tras oposición: **01.02.2017 EP 2445104**

54 Título: **Amplificador flexible de ondas progresivas de muy alta eficacia**

30 Prioridad:

**22.10.2010 EP 10290571**

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

**12.07.2017**

73 Titular/es:

**THALES (100.0%)  
45, rue de Villiers  
92200 Neuilly Sur Seine, FR**

72 Inventor/es:

**CUIGNET, ETIENNE;  
FAYT, PHILIPPE y  
TONELLO, EMILE**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 432 101 T5**

## DESCRIPCIÓN

Amplificador flexible de ondas progresivas de muy alta eficacia

La presente invención se refiere a un amplificador flexible de ondas progresivas de muy alta eficacia. Se aplica, notablemente, a satélites de telecomunicación.

5 Los satélites de telecomunicación comprenden normalmente una plataforma y una carga útil, comprendiendo ésta última todos los equipos, en particular, todos los dispositivos destinados para generar y transmitir señales de radiofrecuencia de alta potencia - denominadas en adelante en la presente memoria señales de RF - hacia el suelo. Se recurre a distintas técnicas conocidas para transmitir señales de RF de alta potencia.

10 Una primera técnica se basa en la tecnología del estado sólido, e implica Amplificadores de Potencia de Estado Sólido, habitualmente denominados SSPA. Los SSPA tienen, en particular, el inconveniente de no estar en condiciones de gestionar los niveles de potencia de RF habitualmente solicitados.

15 Una segunda técnica está basada en el uso de Amplificadores de Tubo de Ondas progresivas, denominados en adelante, en la presente memoria, TWTA. Los TWTA comprenden, destacadamente, un Tubo de Ondas progresivas, denominado en adelante, en la presente memoria, TWT. Las cargas útiles de satélites de telecomunicación, hoy en día, usan extensamente los TWTA. Los TWTA son dispositivos especialmente eficaces para canales de transmisión de RF de alta potencia, y admiten gestionar muy altos niveles de potencia de RF transmitida. Sin embargo, el TWTA depende de una tecnología basada en tubos que demanda una afinación muy precisa, no solamente en el nivel de fabricación, sino también en cuando a la precisión de las interfaces eléctricas. Un TWT se describe en gran detalle más adelante, con referencia a la Figura 1, y comprende, básicamente, una entrada de RF y una salida de RF, una hélice y electrodos que  
20 comprenden un cátodo emisor de electrones que forman un haz de electrones, un ánodo, habitualmente denominado un "Ánodo Cero" o "Ánodo 0", que enfoca el haz de electrones, y una pluralidad de colectores.

Además, cada TWTA producido es único, y está optimizado para la finalidad de una única aplicación, en términos de frecuencia transmitida, nivel de potencia transmitida y eficacia. Una vez diseñado, fabricado y posiblemente optimizado, un TWTA y su equipo de control asociado tienen que seguir funcionando de la misma manera durante todo el ensamblaje, integración y prueba de un satélite, y durante la misión en vuelo del satélite en que están colocados. Es decir: una vez que el satélite de telecomunicación ha sido ensamblado, estos equipos serán operados bajo las condiciones específicas para las cuales han sido diseñados. Además, las prestaciones de eficacia de los TWTA son dependientes de la frecuencia. Por lo tanto, en paralelo, un satélite destinado para transmitir a través de una pluralidad de canales estará conteniendo otros tantos TWTA, con consecuencias afines en términos de coste, peso y bulto. Además, un TWTA que está siendo  
30 habitualmente destinado para transmitir a través de un canal dado, por la duración habitual de una misión de más de 15 años, hace que el diseño de la carga útil y el aprovisionamiento de los TWTA sean muy restrictivos, e induce severas restricciones en términos de la gestión de riesgos.

Se conocen los TWTA de banda ancha en la técnica anterior, pero los dispositivos existentes habitualmente padecen una degradación de la eficacia de alrededor del 2 por ciento, en comparación con los TWTA análogos optimizados en una  
35 banda de RF más estrecha.

Los TWT de la técnica anterior se hallan en los artículos "Ajuste de voltaje catódico para compensar la tolerancia de inclinación de la hélice en los TWT", por D'Agostino et al, IEE 2004, XP006024619; "Tubos de Ondas progresivas por Hélice de Banda-Ka y Banda-Q de Alta Potencia para Aplicaciones de Comunicaciones y de Radar", por Chong et al, Conferencia de Comunicaciones Militares, IEEE 2005, XP010901452; "Un TWT de Cavidad Acoplada de 500 W para la  
40 Comunicación de Banda-Ka", por Legarra et al, Transacciones del IEEE de 2005 sobre Dispositivos Electrónicos, XP011130941; "Funcionamiento Eficaz de un Amplificador de Tubo de Ondas progresivas con Voltajes de Sesgo de Colector Dinámicamente Ajustados", por Qiu et al, Simposio de Microondas, 2007, IEEEIMTT-S Internacional, XP031112164; y en el documento US2811664.

Por todos los motivos precitados, una parte muy larga y costosa del desarrollo de carga útil de un satélite de telecomunicación es el proponer una respuesta técnica a las necesidades finales del cliente, en términos del número de canales, la adjudicación de frecuencia y potencia, minimizando la demanda de potencia para la plataforma y dentro de requisitos datos de fiabilidad.  
45

Un objetivo de la presente invención es paliar al menos los inconvenientes precitados, proponiendo un TWTA que presenta una eficacia similar a la de los TWTA conocidos de banda estrecha afinada, siendo capaz a la vez de ser operado en una gran variedad de frecuencias, como un TWTA de banda ancha.  
50

Una ventaja adicional de la presente invención es que el TWTA ofrece la capacidad de ser fácilmente controlado, no solamente en tierra, sino también durante operaciones en vuelo en una misión de un satélite.

Una ventaja adicional de la presente invención es que un TWTA según una de las realizaciones descritas usa electrónica

de control que puede ser adaptable para circuitos electrónicos existentes cualesquiera de alto voltaje.

Una ventaja adicional de la presente invención es que atenúa el recurrir a la redundancia de los TWT de a bordo para aplicaciones dadas, ya que todos los TWT controlados dentro de los TWTA que siguen las realizaciones de la presente invención pueden ser operados sobre una banda ancha.

- 5 Una ventaja adicional de la presente invención es que admite la adaptación del perfil de la misión a lo largo de toda la vida de la carga útil del satélite, sin afectar a la eficacia global de la carga útil.

Una ventaja adicional de la presente invención es que ofrece una flexibilidad de fases que brinda la oportunidad de reemplazar hardware dedicado, desplazador de fases, en ciertas aplicaciones.

- 10 Todas las ventajas citadas más adelante presentan en verdad ventajas en términos de planificación, peso, coste y optimización de la gestión de fallos.

Con ese fin, la presente invención propone un amplificador de tubo de ondas progresivas adecuado para un satélite de telecomunicaciones que comprende al menos un tubo de ondas progresivas, que comprende un cátodo, una hélice, una entrada de RF, una salida de RF y una pluralidad de colectores  $C_i$ , un acondicionador de potencia electrónico que proporciona una fuente de alimentación y la polarización de electrodos a dicho tubo de ondas progresivas; dicho  
15 acondicionador de potencia electrónico comprende medios de control de flexibilidad que permiten ajustar, mediante comandos de control, el voltaje de hélice a cátodo, a fin de permitir ajustar la frecuencia operativa del TWT dentro de una gama determinada, con una eficacia óptima. Dichos medios de control de flexibilidad están configurados para ajustar los voltajes  $C_i$  de colectores, permaneciendo constante la razón entre el voltaje de hélice a cátodo y los voltajes  $C_i$  de colectores.

- 20 En una realización ejemplar de la presente invención, los comandos de control pueden ser enviados a través de un bus de datos.

En una realización ejemplar de la presente invención, el acondicionador de potencia electrónico puede comprender medios primarios de control que comprenden una célula de energía que controla un medio de generación y control de alto voltaje, que comprende un transformador de alto voltaje en etapas múltiples, cuyo sector primario está controlado por  
25 dicha célula de energía, y que genera los altos voltajes solicitados por dichos al menos un colector, cátodo y hélice, comprendiendo dicho medio de control de flexibilidad medios para ajustar una referencia de voltaje que controla un bucle de control de voltaje, controlando dicho bucle de control de voltaje a la célula de energía mediante la modulación de la amplitud de pulso.

- 30 En una realización ejemplar de la presente invención, los medios de generación y control de alto voltaje pueden comprender un regulador fijado al sector secundario de dicho transformador de alto voltaje en múltiples etapas, y suministrar un voltaje de hélice a cátodo, ajustado con respecto a una referencia de voltaje de hélice a cátodo, comprendida en dichos medios de control de flexibilidad.

En una realización ejemplar de la presente invención, los medios de control de flexibilidad pueden comprender  
35 adicionalmente un descodificador que emite palabras de control de señales desde dichos comandos de control, y dicha referencia de voltaje de hélice a cátodo puede comprender un primer convertidor de digital a analógico, que convierte palabras binarias de salida generadas por un descodificador, en base a palabras binarias de entrada enviadas mediante dicho bus de datos.

- 40 En una realización ejemplar de la presente invención, dichos medios para ajustar la referencia de voltaje pueden comprender un segundo convertidor de digital a analógico, que convierte las palabras binarias de salida generadas por el descodificador, en base a palabras binarias de entrada enviadas mediante dicho bus de datos.

En una realización ejemplar de la presente invención, dicho descodificador puede generar palabras de salida de  $n$  bits hacia la referencia de voltaje de hélice a cátodo, y palabras de salida de  $m$  bits, siendo  $m$  menor que  $n$ , hacia los medios para ajustar la referencia de voltaje, en base a palabras de entrada de  $n$  bits recibidas desde el bus de datos.

- 45 En una realización ejemplar de la presente invención, el número  $m$  de bits de las palabras de salida hacia los medios, para ajustar la referencia de voltaje, puede ser escogido a fin de permitir ajustar la fase de la señal de RF.

En una realización ejemplar de la presente invención, los medios de generación y control de alto voltaje pueden ser implementados dentro de un módulo de generación y control de alto voltaje, que comprende en su entrada el sector secundario del transformador de alto voltaje, también conectado con un controlador de precisión de voltaje de hélice, formado por un transistor bipolar regido por el regulador, y cuyo emisor está fijado a tierra a través de un elemento  
50 disipador.

Estas y otras características y ventajas de la invención resultarán más claras a la vista de la descripción detallada dada

más delante de una realización preferida, proporcionada solamente a modo de ejemplo ilustrativo y no limitador, así como los dibujos adjuntos, que representan:

- Figura 1: una vista en perspectiva que ilustra un TWT típico conocido en la técnica anterior;
- Figura 2: un diagrama de bloques funcionales que ilustra un acondicionador de potencia electrónico, o EPC, comprendido en un amplificador de tubo de ondas progresivas, o TWTA, según una realización ejemplar de la presente invención;
- Figura 3: un diagrama eléctrico simplificado que ilustra un EPC que es parte de un amplificador flexible de ondas progresivas, según una realización ejemplar de la presente invención;
- Figura 4: un diagrama eléctrico simplificado que ilustra parte de la etapa de alto voltaje de un EPC que es parte de un TWTA flexible, según una realización ejemplar de la presente invención;
- Figura 5: un diagrama eléctrico simplificado que ilustra un módulo de control de flexibilidad, comprendido en un TWTA flexible, según una realización ejemplar de la presente invención.

La Figura 1 presente una vista en perspectiva que ilustra un TWT típico conocido en la técnica anterior. Un TWT es uno de los elementos clave comprendidos en un TWTA.

Un TWT 10 es básicamente un tubo de vacío alargado que comprende una entrada 12 de radiofrecuencia y una salida 14 de radiofrecuencia, un cátodo 15 que forma un cañón de electrones que genera un haz 17 de electrones enfocado y ajustado por un Ánodo Cero 13 que atraviesa una hélice 18 hasta una pluralidad de colectores 19.

El cátodo 15 es calentado y emite electrones en uno de sus extremos. Un campo magnético es generado esencialmente alrededor de la hélice 18, a fin de contener los electrones como el haz 17 de electrones enfocados. El haz de electrones atraviesa el eje medio de la hélice 18. La hélice 18 se extiende desde la entrada 12 de RF hasta la salida 14 de RF. El haz 17 de electrones finalmente golpea los colectores 19. La señal de RF viaja a lo largo de la hélice 18 a una velocidad que está cercana a la del haz 17 de electrones. El efecto de amplificación se debe a la interacción entre el campo electromagnético inducido por la señal de RF en la hélice 18, y el haz 17 de electrones, mediante un fenómeno cuántico. Con el fin de mejorar el rendimiento del TWT en términos de energía, es decir: optimizar el reciclaje de la energía todavía disponible en el extremo del haz 17 de electrones, puede emplearse una pluralidad de colectores 19, habitualmente: cuatro o cinco.

Un TWTA comprende normalmente un TWT, asociado a un Acondicionador de Potencia Electrónico adicional, denominado en adelante, en la presente memoria, un EPC, cuyo propósito es proporcionar al TWT las condiciones operativas eléctricas requeridas. El EPC es normalmente un convertidor de Corriente Continua a Corriente Continua provisto de energía a través de un bus, y que genera los niveles de suministro de voltaje solicitados en cada uno de los electrodos comprendidos en el TWT, con un nivel de precisión que permite asegurar las prestaciones del TWT, es decir: la eficacia y la estabilidad de la transferencia de energía. En particular, el alto voltaje entre la hélice 18 y el cátodo 15 será bastante preciso, ya que está determinando las prestaciones del TWT. En efecto, en cuanto al voltaje entre hélice y cátodo: se requieren precisiones del orden de 1 voltio, para voltajes que oscilan hasta varios kilovoltios; por ejemplo, los voltajes requeridos entre la hélice y el cátodo, para aplicaciones dentro de la banda Ku, son habitualmente del orden de entre 6 kilovoltios y 7,5 kilovoltios. El control de dichos niveles de voltaje es gestionado por el EPC.

El electrodo denominado Ánodo Cero 13, o "Ánodo 0", permite controlar el haz 17 de electrones generado por el cátodo 15.

Un tipo específico de TWTA es denominado normalmente LTWTA, que significa "TWTA Linealizado". Los LTWTA comprenden un preamplificador linealizado adicional cuyo objetivo es acondicionar el nivel de señales de RF con la entrada 12 de RF, y proporcionar compensación para fenómenos de no linealidad espuria introducidos, destacadamente, por el TWT. Las realizaciones de la presente invención, descritas más adelante en la presente memoria, pueden aplicarse, destacadamente, a ambos tipos de TWTA.

Normalmente, para los TWT ya conocidos en la técnica anterior, los fabricantes de TWT especifican parámetros de polarización para el EPC, según los parámetros de afinación del tubo. Especialmente, el voltaje de hélice fija el punto operativo de la frecuencia, mientras que los voltajes de colector están afinados a fin de optimizar la eficacia global del TWT. En cuanto se fija el punto operativo del TWTA, el TWTA no puede ser operado en condiciones seguras y eficaces en otra frecuencia que no sea aquella para la cual ha sido afinado el punto operativo. La presente invención propone conferir flexibilidad al TWTA controlando el valor del voltaje de hélice dentro de una gama fijada por la excursión de frecuencia esperada, junto con la corrección relevante de los voltajes de colector, a fin de mantener el nivel óptimo de la eficacia. El control, por ejemplo, puede hacerse al nivel del suelo, antes del lanzamiento de una misión, pero también en toda la extensión de la misión en vuelo del satélite, de manera remota, por ejemplo, mediante el bus de datos de comunicación de a bordo del satélite.

Mientras el control del voltaje de hélice sobre la gama completa de flexibilidad permite, por ejemplo, transferir la frecuencia operativa del TWT desde la parte inferior de la banda de RF permitida a la parte superior - o al contrario -, la resolución del control también permite proporcionar pequeñas variaciones de la fase de señales de RF resultante de la variación relevante del voltaje. Por tanto, la flexibilidad propuesta también ofrece la oportunidad de corregir la fase de salida del TWT, que es una característica que puede ser especialmente útil en Amplificadores MultiPuerto, usualmente denominados con el acrónimo MPA, donde los TWTA paralelizados requieren una afinación de fase muy precisa, lo cual usualmente recurre a costosos dispositivos desplazadores de fase. Los MPA permiten generar señales más potentes, añadiendo señales coherentes en fase, generadas por una pluralidad de TWTA paralelizados.

Según la presente invención, es posible adaptar el voltaje de hélice a cátodo a fin de permitir una eficacia óptima, independientemente de posibles variaciones de la frecuencia operativa del TWT, y se propone controlar los voltajes de colector simultáneamente con el control del voltaje de hélice a cátodo, mediante controles dedicados, a fin de mantener óptima la eficacia del amplificador.

La presente invención puede ser realizada mediante medios adecuados implementados dentro del EPC de un TWTA.

La Figura 2 presenta un diagrama de bloques funcionales que ilustra un acondicionador de potencia electrónico, o EPC, comprendido en un amplificador de tubo de ondas progresivas, o TWTA, flexible, según una realización ejemplar de la presente invención.

En un ejemplo no limitador ilustrado por la figura, un TWTA flexible comprende los medios 20 de control de energía primaria, que controlan los medios 22 de generación y control de alto voltaje, y que mantienen interfaces con los medios 24 de control de flexibilidad.

Los medios 20 de control de energía primaria reciben la energía primaria desde un bus de energía primaria, y comprenden una célula 200 de energía que asegura el control del sector primario de un transformador 220 de alto voltaje, descrito más adelante en la presente memoria, y por tanto gestionan la regulación de energía, por ejemplo, mediante dos bucles anidados, un bucle 204 de control de corriente que regula la célula de energía mediante la modulación del ancho de pulso, estando el bucle 204 de control de corriente regulado por los medios 202 de detección de corriente, y por un bucle 206 de control de voltaje. Es una característica específica de la presente invención que el bucle 206 de control de voltaje pueda ser regulado por una referencia 208 de voltaje ajustable. Los medios para ajustar la referencia 208 de voltaje están comprendidos en los medios 24 de control de flexibilidad, y son descritos adicionalmente más adelante en la presente memoria. Los medios 20 de control de energía primaria regulan luego los medios 22 de generación y control de alto voltaje. Una realización ejemplar de un módulo de generación y control de alto voltaje es descrita más adelante en la presente memoria, con referencia a la Figura 4.

En su nivel de entrada, los medios 22 de generación y control de alto voltaje comprenden un transformador 220 de alto voltaje de múltiples etapas. El transformador 220 de alto voltaje de múltiples etapas puede comprender adicionalmente rectificadores y filtros. El transformador 220 de alto voltaje de múltiples etapas genera los altos voltajes solicitados por un tubo 226 de ondas progresivas; destacadamente, el transformador 220 de alto voltaje de múltiples etapas puede generar una pluralidad  $i$  de voltajes para la pluralidad  $i$  de colectores  $C_i$ ; además, el transformador 220 de alto voltaje puede asimismo generar el voltaje  $A_0$  del electrodo "Ánodo 0" y, posiblemente, un voltaje  $A_1$  del electrodo "Ánodo 1", lo que permite ajustar la potencia emitida, mediante reguladores no mostrados en la figura. Es otra característica específica de la presente invención que el voltaje  $V_{KH}$  de hélice a cátodo puede ser suministrado a través de un regulador 222 fijado al sector secundario del transformador 220 de alto voltaje de múltiples etapas, y controlado por un módulo 224 de determinación de voltaje de hélice a cátodo. El módulo 224 de determinación del voltaje  $V_{KH}$  de hélice a cátodo está ajustado con respecto a una referencia 244 del voltaje de hélice a cátodo que está comprendida en los medios 24 de control de flexibilidad. La referencia 244 del voltaje de hélice a cátodo, por ejemplo, puede comprender un DAC (Convertidor de Digital a Analógico), y una realización ejemplar de la misma está descrita más adelante con referencia a la Figura 5.

El medio 24 de control de flexibilidad comprende adicionalmente un descodificador 240 de  $n$  bits que recibe palabras binarias desde un bus de datos. El bus de datos, por ejemplo, puede ser el bus de comunicación de datos que está normalmente presente a bordo de satélites de telecomunicación. El descodificador 240 puede generar una palabra binaria de  $n$  bits emitida hacia la referencia 244 del voltaje de hélice a cátodo, así como una palabra de  $m$  bits (siendo  $m$  menor que  $n$ ) hacia la referencia 208 de voltaje mencionada anteriormente, a través de un módulo 242 de aislación de descarga a tierra.

La Figura 3 presenta un diagrama eléctrico simplificado que ilustra un EPC que es parte de un amplificador flexible linealizado de ondas progresivas, según una realización ejemplar de la presente invención.

Un EPC 300 comprende un filtro 302 de entrada que mantiene interfaces con el bus de energía del satélite, presentando un voltaje  $V_{BUS}$ . El filtro 302 de entrada es luego fijado a un inversor 306 a través de un regulador 304 de tipo reductor que forma parte de la célula 200 de energía descrita anteriormente con referencia a la Figura 2. El regulador 304 de tipo

reductor, por ejemplo, implementa componentes típicos tales como una célula conmutadora de reductor que comprende un transistor 3041 de conmutación y un diodo 3042 de rueda libre, y un filtro de salida basado en una inductancia 3044 reductora asociada a un condensador 3045 de salida. Una medición de corriente dedicada, por ejemplo, basada en un resistor 3043, puede ser usada con fines de bucle 3055 de control de corriente de fondo. La célula de energía del regulador de tipo reductor, formada por el transistor 3041 de conmutación y el diodo 3042 de rueda libre puede ser controlada por electrónica de regulación dedicada, comprendida en un módulo 305 de regulación. En el módulo 305 de regulación, las señales de control desde el bucle de regulación pueden ser digitalizadas, por ejemplo, por un comparador 3052 que compare la señal con una señal 3053 de diente de sierra dedicada, y que proporcione el comando de modulación del ancho de pulso a la rejilla del transistor reductor 3041 a través de un controlador dedicado 3051, y luego posiblemente a través de un resistor 3059 de rejilla. El módulo 305 de regulación implementa el bucle 206 de control de voltaje anidado y el bucle 204 de control de corriente citados más adelante con referencia a la Figura 2.

La electrónica de regulación comprendida en el módulo 305 puede estar basada en un bucle 3055 de control de corriente de fondo, controlado por un bucle de voltaje de salida. El bucle de voltaje puede comprender un puente resistor 3057, 3058 que proporciona la medición del voltaje de salida del reductor, que puede ser comparado con el voltaje  $V_{KCI}$  de configuración, por ejemplo, mediante un amplificador de errores comprendido en un bloque 3056 de bucle de control de voltaje. La ganancia del bucle de control de voltaje puede ser controlada por un bloque  $K_V$  3054 de control de ganancia dedicado. La señal de salida del bucle de control de voltaje puede ser usada como una referencia para el bucle de control de corriente. Un diodo Zener  $V_{limite}$  comprendido en el bucle de control de voltaje puede proporcionar una afirmación adecuada de la señal emitida del bucle de control de voltaje y, en consecuencia, fijar el máximo valor permitido por el bucle de control de corriente.

Según una característica específica de la presente invención, el módulo 305 de regulación puede comprender adicionalmente medios 3056 de ajuste de control de voltaje, cuyo funcionamiento es descrito en detalle más adelante en la presente memoria, con referencia a la Figura 5.

El inversor 306 está fijado a un transformador 308 de alto voltaje que forma, o es, parte del transformador 220 de alto voltaje de múltiples etapas, citado más adelante con referencia a la Figura 2. Un módulo 310 de remodelación de señales de alto voltaje está fijado al transformador 308 de alto voltaje, y tiene como objetivo proporcionar altos voltajes de corriente continua solicitados por un TWT 312. El módulo 310 de remodelación de señales de alto voltaje, por ejemplo, puede contener condensadores de alto voltaje y diodos puente. El TWT 312 comprende una entrada de señal de RF y emite una señal de RF de salida a una carga 314 de RF.

La Figura 4 presenta un diagrama eléctrico simplificado que ilustra parte de la etapa de alto voltaje de un EPC que es parte de un amplificador flexible linealizado de ondas progresivas, según una realización ejemplar de la presente invención.

Un módulo 40 de generación y control de alto voltaje, que implementa los medios 22 de generación y control de alto voltaje, con referencia a la Figura 2, comprende en su entrada el sector secundario 402 del transformador 220 de alto voltaje. Las salidas específicas del sector secundario 402 pueden ser directamente encaminadas a los colectores  $C_i$  del TWT después de la rectificación y el filtrado. Cada colector está asociado a su bobinado dedicado, así como, destacadamente, su condensador de filtrado. La suma de las capacitancias de los condensadores dedicados a todos los colectores  $C_i$  está representada en la figura como una capacitancia equivalente  $C_{equiv}$ . Además, un diodo rectificador  $D$  está representado en la figura en serie con el sector secundario 402 del transformador 220 de alto voltaje, y en paralelo con la rama de capacitancia equivalente  $C_{equiv}$ . El sector secundario 402 también puede estar conectado con un controlador  $V3$  de precisión del voltaje de hélice, regulado por el regulador 222. El controlador  $V3$  de voltaje de hélice está fijado a un elemento disipador 403, en sí mismo fijado, por ejemplo, a la tierra. El regulador 222 está controlado por la configuración del voltaje  $V_{KH}$  de hélice a cátodo. El controlador  $V3$  de precisión del voltaje de hélice puede estar formado por un transistor bipolar, cuyo emisor está fijado al elemento disipador 403, el cual puede, en sí mismo, estar formado por una resistencia. El colector del transistor bipolar es luego fijado al sector secundario 402 del transformador 220 de alto voltaje. La configuración del voltaje  $V_{KH}$  de hélice a cátodo, por ejemplo, puede ser hecha mediante el ajuste del voltaje de un diodo Zener, mediante un medio adecuado de ajuste de voltaje.

La presente invención propone transferir una parte de la gama de flexibilidad directamente al sector primario 401 del transformador 220 de alto voltaje, mediante el control del convertidor 20 de energía primaria, por ejemplo, mediante el regulador 304 de tipo reductor, con referencia a la Figura 3. En efecto, proporcionar directamente la gama completa de flexibilidad al voltaje de hélice mediante el regulador 222 impone una gran tensión en el controlador  $V3$  del voltaje de hélice, e induce disipaciones excesivas. Se observará aquí que los componentes de alto voltaje están normalmente encerrados en una resina aislante que pretende impedir todo riesgo de estallido que pueda ocurrir, debido a fenómenos de formación de arcos eléctricos. Por ejemplo, si el voltaje de hélice a cátodo ha de ser controlado sobre una gama muy grande, eso impondría demasiada energía térmica a disipar, y luego tensión sobre el controlador  $V3$  del voltaje de hélice. Esto puede ser aliviado gracias a la reducción del voltaje en el sector primario 401 del transformador 220 de alto voltaje que, por ejemplo, puede ser lograda mediante el ajuste del convertidor 20 de energía primaria, por ejemplo, mediante el

regulador 304 de tipo reductor. El ajuste del convertidor 20 de energía primaria puede ser hecho mediante el módulo 305 de regulación, con referencia a la Figura 3, y, más específicamente, un medio de ajuste del voltaje  $V_{KCI}$  de referencia, formado, por ejemplo, por un diodo Zener cuyo voltaje puede ser ajustado mediante los medios adecuados. En otras palabras, el voltaje  $V_{KCI}$  de configuración del regulador del reductor está actuando sobre el sector primario 401 y, posteriormente, sobre todos los voltajes  $C_i$  de colector, a través de sus bobinados dedicados.

Ventajosamente, los voltajes de salida del transformador 220 de alto voltaje pueden ser cambiados en la misma proporción, dada una razón  $V_{KH} / V_{KCI}$  constante entre el voltaje de hélice a cátodo y los voltajes de colector, reduciendo a la vez el nivel de tensión en el regulador 222 de serie de hélices. El mantenimiento de una razón constante  $V_{KH} / V_{KCI}$  entre el voltaje de hélice a cátodo y los voltajes de colector permite asegurar la estabilidad del TWT y es particularmente ventajoso para un funcionamiento sobre una amplia gama de voltajes de hélice a cátodo, por ejemplo, sobre una gama de más de 50 voltios con un TWT funcionando en la banda Ku. Otra ventaja de mantener esta razón constante descansa en el hecho de que permite mantener la salida del TWT (es decir: la razón entre la potencia de RF y la potencia consumida) esencialmente constante durante toda la gama de funcionamiento.

La Figura 5 presenta un diagrama eléctrico simplificado que ilustra un módulo de control de flexibilidad, comprendido en un amplificador flexible linealizado de ondas progresivas, según una realización ejemplar de la presente invención.

Un módulo 50 de control de flexibilidad, que implementa los medios 24 de control de flexibilidad, según lo descrito más adelante con referencia a la Figura 2, puede comprender, en una realización ejemplar, el descodificador 240 que recibe datos de control a través del bus de datos, y que emite dos palabras binarias. Las palabras binarias de control de entrada pueden ser palabras de  $n$  bits, y el descodificador 240 puede remitir una palabra de control de configuración de  $V_{KH}$  a un primer DAC 504, fijado a un primer circuito 505 de modelación, a fin de generar un valor de configuración analógico para el voltaje  $V_{KH}$  de referencia de hélice a cátodo; en paralelo, el descodificador 240 puede emitir una palabra de control de configuración de  $V_{KCI}$  a un segundo DAC 506, por ejemplo, mediante un aislador galvánico 503, estando el segundo DAC 506 también fijado a un segundo circuito 507 de modelación, generando un valor de configuración analógico para el voltaje  $V_{KCI}$  de referencia del regulador de reducción. Los circuitos 505, 507 de modelación primero y segundo, por ejemplo, pueden comprender amplificadores y filtros.

Como un ejemplo más específico, el bus de datos puede ingresar palabras de control de 8 bits al descodificador 240. El descodificador, por ejemplo, puede remitir las palabras de control de 8 bits al primer DAC 504, y enviar palabras de 4 bits, por ejemplo, que consisten en los cuatro bits más significativos de la palabra de 8 bits, al segundo DAC 506. De este modo, el voltaje de referencia del regulador de tipo reductor se fija proporcionalmente y con una resolución inferior, en comparación con el voltaje  $V_{KH}$  de referencia de hélice a cátodo.

Ventajosamente, el punto de fijación puede ser forzado, al conmutar en el EPC, al valor medio de la gama de flexibilidad, a fin de evitar toda tensión sobre el TWT 226 durante la fase transitoria.

Por ejemplo, un EPC 300 puede proporcionar control del voltaje de hélice de hasta 8 kilovoltios, a través de comandos remotos, mediante el bus de datos de comunicación de a bordo del satélite, junto con el control simultáneo de los altos voltajes de colector, que oscilan entre 500 y 3.500 voltios, manteniendo a la vez la eficacia del TWT. El voltaje de hélice, por ejemplo, puede ser fijado de manera flexible dentro de una gama de entre 0 y 550 voltios alrededor del punto operativo nominal, con una resolución inferior a 2,5 voltios, según lo permitido por una palabra de control de 8 bits. Se observará aquí que el punto operativo nominal fijado puede variar habitualmente entre 2,5 y 7,7 kilovoltios, según la banda de frecuencia solicitada por la aplicación de destino - por ejemplo, en banda C, banda Ku, banda Ka, etc. Se observará que la resolución fina lograda de este modo para ajustar el voltaje de hélice a cátodo permite una adaptación fina de la respuesta de fase del TWT, habitualmente del orden de alrededor de 1 grado por voltio, y por tanto brinda la oportunidad de una sintonía fina de la fase de señal de RF emitida.

REIVINDICACIONES

1. Amplificador de tubo de ondas progresivas adecuado para un satélite de telecomunicaciones que comprende al menos:
  - \* un tubo (10, 226) de ondas progresivas que comprende un cátodo (15), una hélice (18), una entrada (12) de RF, una salida (14) de RF y una pluralidad de colectores  $C_i$  (19),
- 5       \* un acondicionador (300) de potencia electrónico que proporciona una fuente de alimentación y polarización de electrodos a dicho tubo (10, 226) de ondas progresivas,
  - comprendiendo dicho acondicionador (300) de potencia electrónico medios (24) de control de flexibilidad que ajustan, mediante comandos de control, el voltaje de hélice a cátodo, a fin de permitir el ajuste de la gama de frecuencias operativas del tubo (10, 226) de ondas progresivas,
- 10       **caracterizado porque** dichos medios de control de flexibilidad también están configurados para ajustar los voltajes  $C_i$  de colector, permaneciendo constante la razón entre el voltaje de hélice a cátodo y los voltajes  $C_i$  de colector.
2. Amplificador de tubo de ondas progresivas según la reivindicación 1, en el cual dichos comandos de control son enviados a través de un bus de datos.
3. Amplificador de tubo de ondas progresivas según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el cual el
 15       acondicionador (300) de potencia electrónico comprende medios (20) de control primario que comprenden una célula (200) de energía que regula un medio (22) de generación y control de alto voltaje, que comprende un transformador (220) de alto voltaje de múltiples etapas, cuyo sector primario está controlado por dicha célula (200) de energía, y que genera los altos voltajes solicitados por dicho al menos un colector (19), cátodo (15) y hélice (18), comprendiendo dichos medios
 20       (24) de control de flexibilidad medios para ajustar una referencia (208) de voltaje que regula un bucle (206) de control de voltaje, regulando dicho bucle (206) de control de voltaje la célula (200) de energía mediante la modulación del ancho de pulso.
4. Amplificador de tubo de ondas progresivas según la reivindicación 3, en el cual los medios (22) de generación y control de alto voltaje comprenden un regulador (222) fijado al sector secundario (402) de dicho transformador (220) de alto
 25       voltaje de múltiples etapas, y que suministra un voltaje ( $V_{KH}$ ) de hélice a cátodo, ajustado a una referencia (244) de voltaje de hélice a cátodo, comprendida en dichos medios (24) de control de flexibilidad.
5. Amplificador de tubo de ondas progresivas según la reivindicación 4, en el cual los medios (24) de control de flexibilidad comprenden adicionalmente un descodificador (240) que emite palabras de control de señales a partir de dichos
 30       comandos de control, comprendiendo dicha referencia (244) de voltaje de hélice a cátodo un primer convertidor (504) de digital a analógico, que convierte palabras de salida binarias, generadas por el descodificador (240), en una señal analógica que controla el voltaje ( $V_{KH}$ ) de hélice a cátodo.
6. Amplificador de tubo de ondas progresivas según la reivindicación 3, en el cual dicho medio para ajustar la referencia
 (208) de voltaje comprende un segundo convertidor (506) de digital a analógico que convierte palabras binarias de salida, generadas por el descodificador (240), en base a palabras binarias de entrada enviadas por dicho bus de datos.
7. Amplificador de tubo de ondas progresivas según cualquiera de las precedentes reivindicaciones 5 y 6, en el cual dicho
 35       descodificador (240) genera palabras de salida de n bits hacia la referencia (244) de voltaje de hélice a cátodo, y palabras de salida de m bits, siendo m menor que n, hacia el medio para ajustar la referencia (208) de voltaje, en base a palabras de entrada de n bits recibidas desde el bus de datos.
8. Amplificador de tubo de ondas progresivas según la reivindicación 7, en el cual el número m de bits de las palabras de
 40       salida hacia el medio para ajustar la referencia (208) de voltaje se escoge a fin de permitir el ajuste de la fase de señales de RF.
9. Amplificador de tubo de ondas progresivas según cualquiera de las precedentes reivindicaciones 4 a 8, en el cual los
 45       medios (22) de generación y control de alto voltaje están implementados dentro de un módulo (40) de generación y control de alto voltaje, que comprende en su entrada el sector secundario (402) del transformador (220) de alto voltaje, también conectado con un controlador (V3) de precisión de voltaje de hélice, formado por un transistor bipolar regulado por el regulador (222), y cuyo emisor está fijado a tierra a través de un elemento disipador (403).

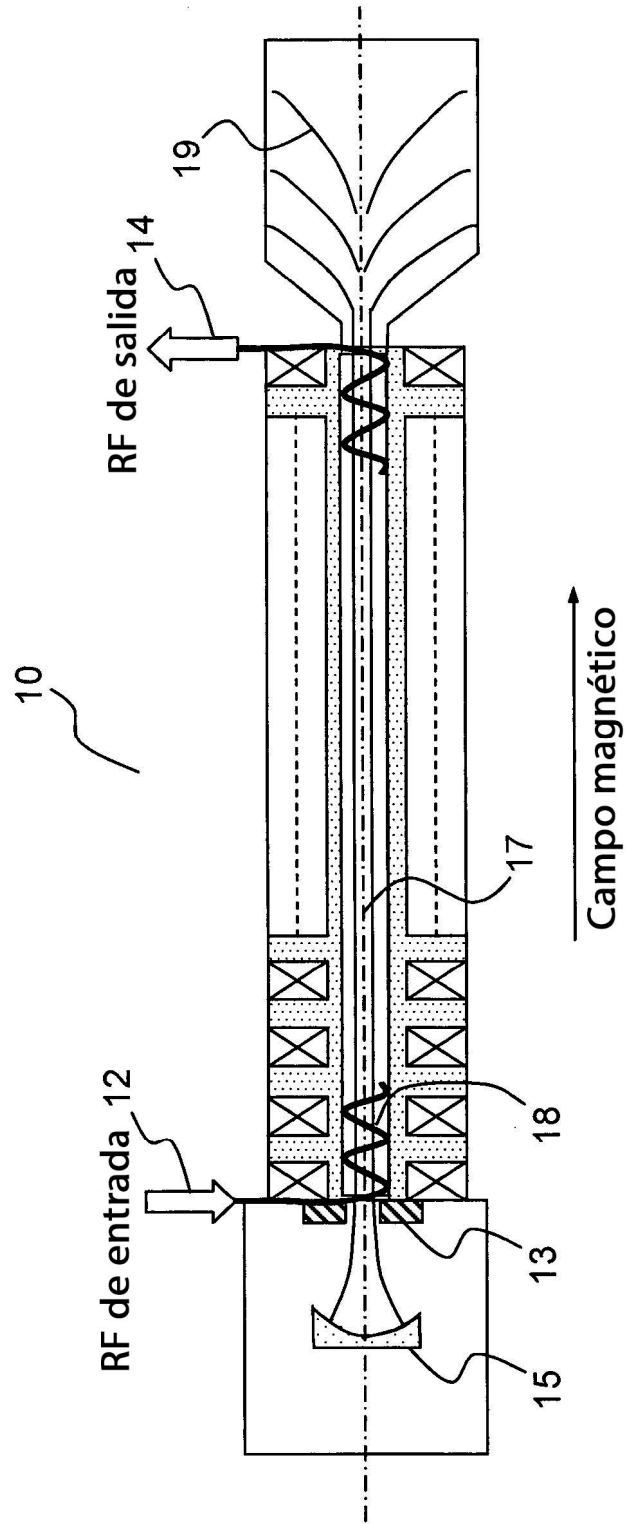


FIG.1

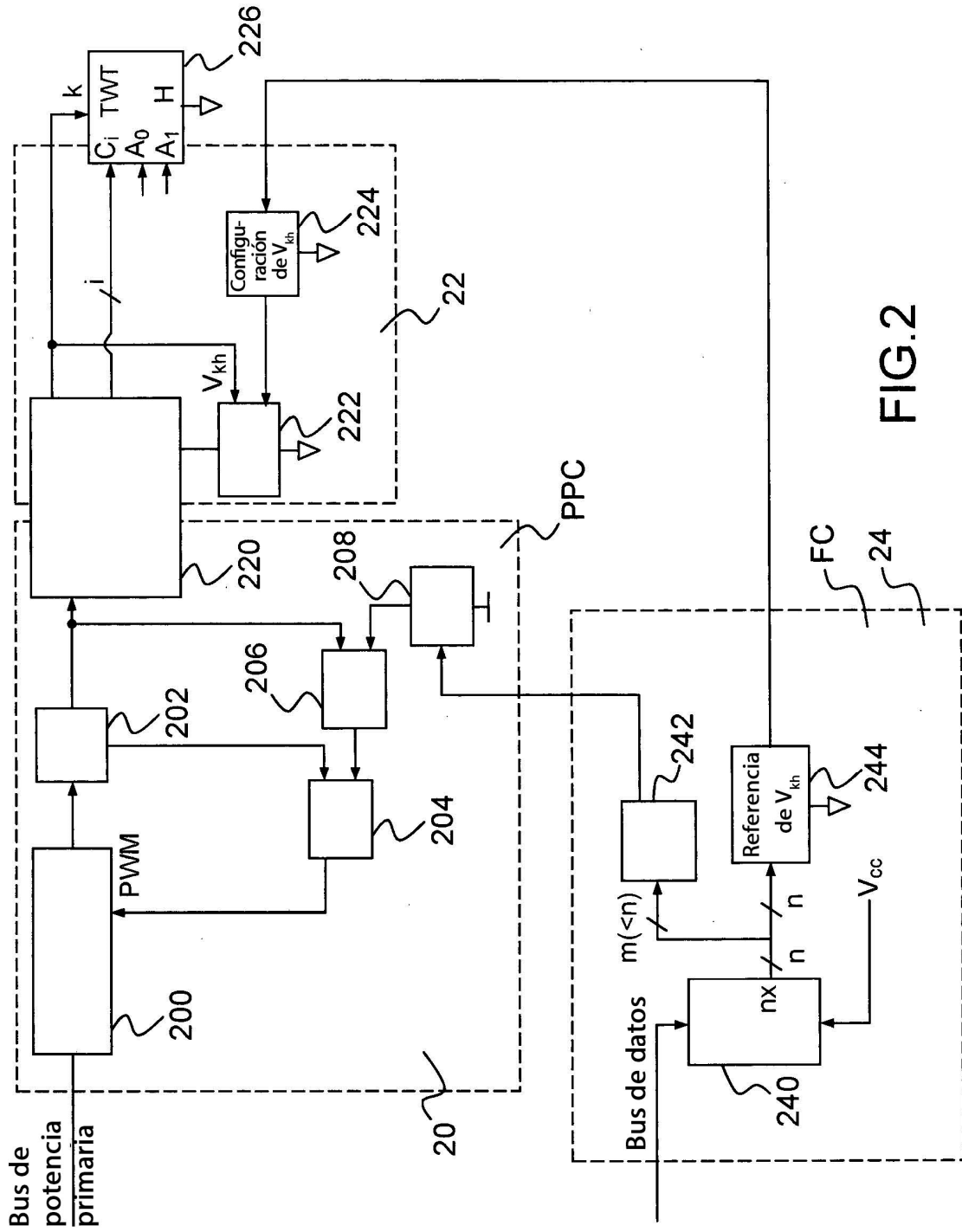


FIG. 2

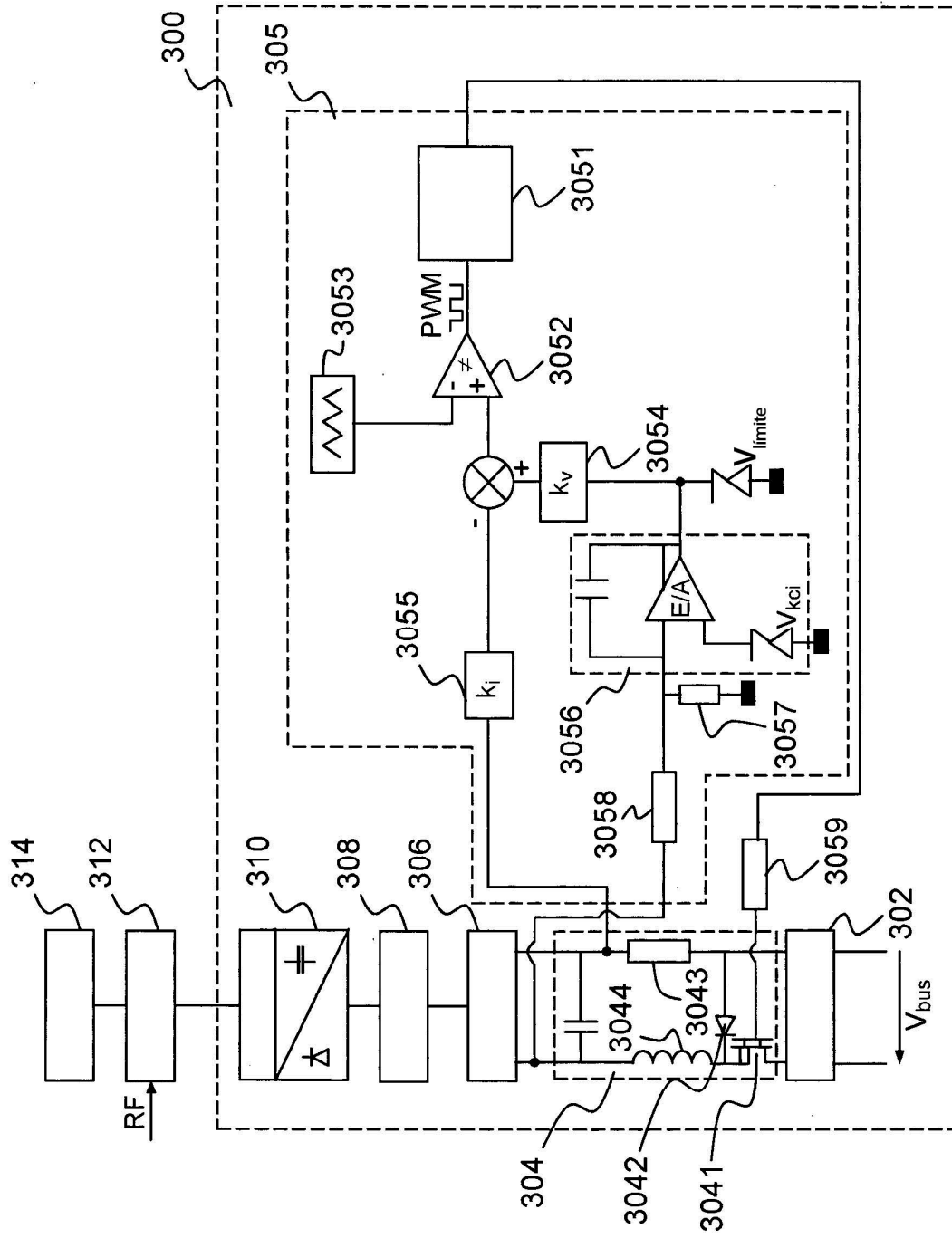


FIG.3

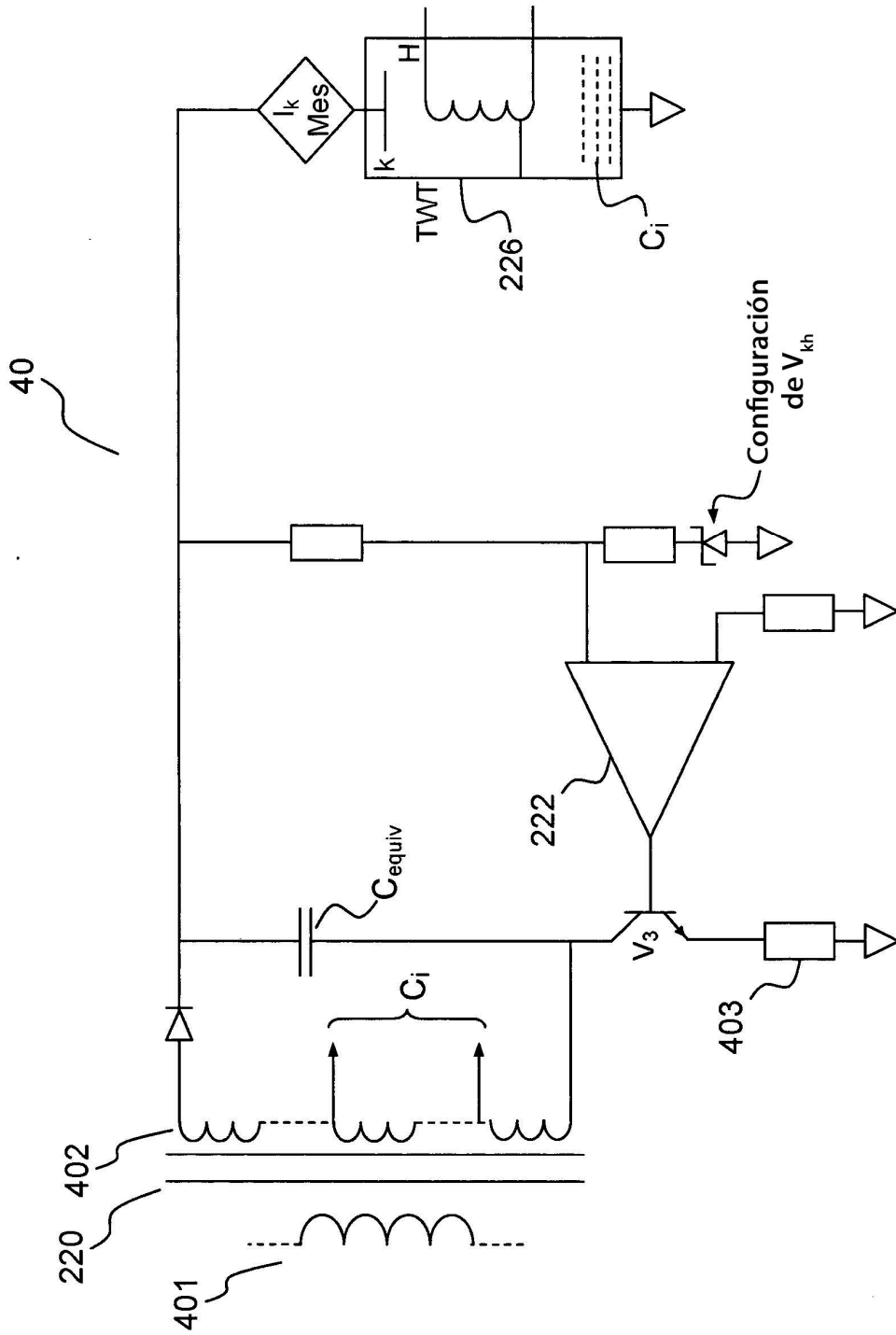


FIG.4

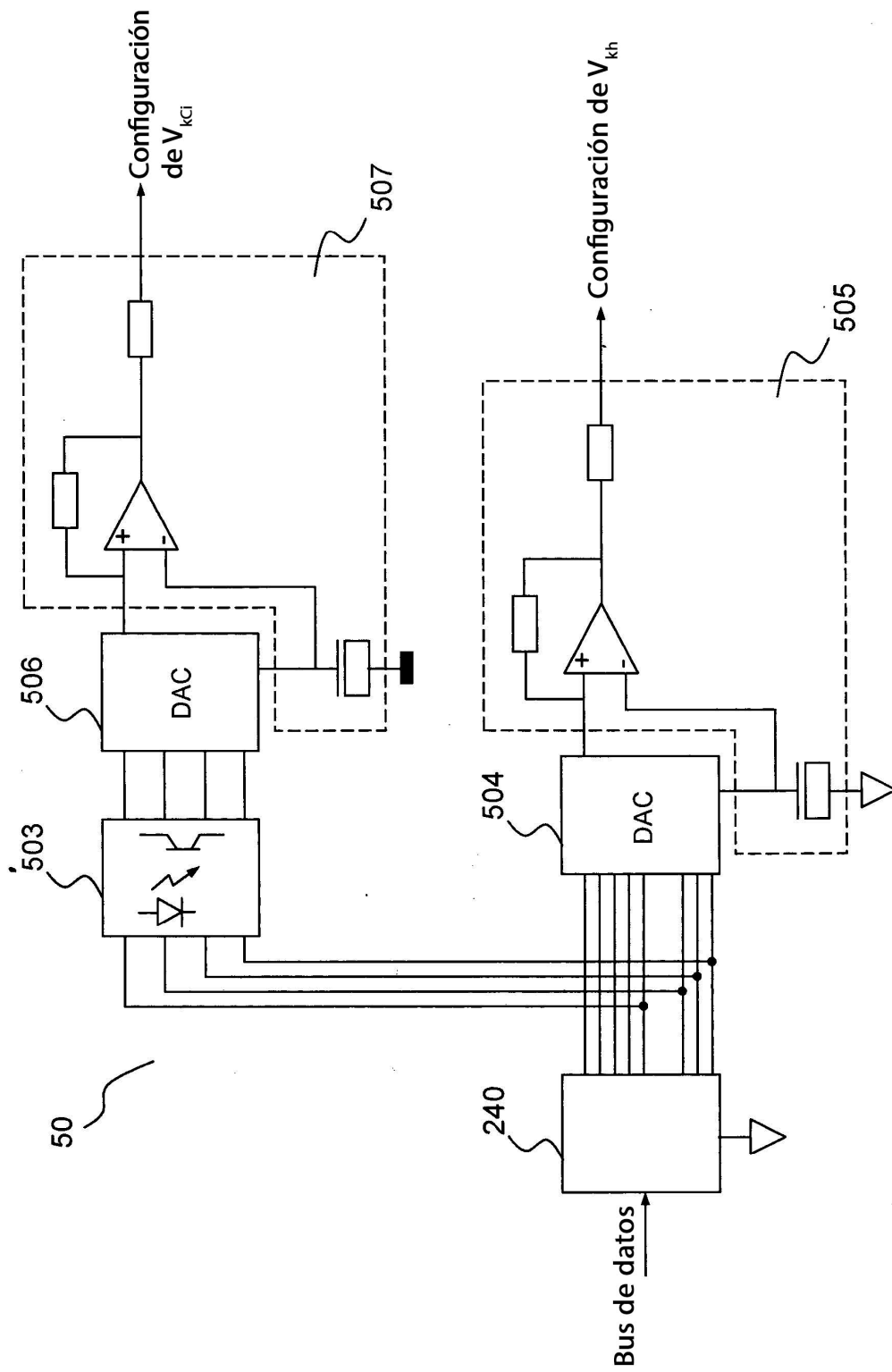


FIG.5