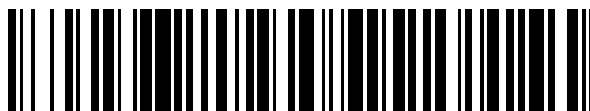


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 655 870**

51 Int. Cl.:

H02J 5/00 (2006.01)

F41A 19/63 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.08.2007 PCT/GB2007/002973**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.02.2008 WO08017818**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.08.2007 E 07804019 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.12.2017 EP 2050177**

54 Título: **Sistema inductivo de potencia**

30 Prioridad:

09.08.2006 GB 0615829

09.08.2006 EP 06254194

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
22.02.2018

73 Titular/es:

MBDA UK LIMITED (100.0%)

SIX HILLS WAY

STEVENAGE, HERTFORDSHIRE SG1 2DA, GB

72 Inventor/es:

POLLARD, KEITH, GRAHAM

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 655 870 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**Sistema inductivo de potencia**

La presente invención se refiere a sistemas inductivos de transferencia de potencia en los que la potencia es transportada a través de un hueco de aire desde una fuente a una carga, y en particular a la regulación de un sistema de transferencia de potencia de este tipo.

Muchos tipos de naves espaciales y sistemas de misiles usan un conector umbilical que se extiende entre un anfitrión y un vehículo a lanzar. Una conexión umbilical de este tipo permite la transferencia de potencia y datos entre el anfitrión y el vehículo antes del lanzamiento y debe ser desconectada cuando el vehículo a lanzar es separado mecánicamente del anfitrión. La desconexión es conseguida típicamente mediante un conjunto de conector separable o mediante el uso de pequeños dispositivos explosivos que son activados de forma controlable para cortar la conexión en un momento apropiado. La temporización de la desconexión es absolutamente crítica en tales aplicaciones y el uso de mecanismos complejos de extracción de conector o de una carga explosiva, por muy pequeña que sea, es potencialmente problemático en tales entornos. Esto es debido a que las fuerzas resultantes del desacoplamiento mecánico o la explosión pueden afectar adversamente a la trayectoria planeada del vehículo recién lanzado o pueden causar daño a los sistemas del vehículo.

Hay muchas otras aplicaciones en las que sistemas de transmisión de energía convencionales, usando cables y conectores, presentan dificultades o no son factibles. Por ejemplo, en sistemas de automatización de fábricas, puede ser deseable poner en marcha componentes o subconjuntos para fines de prueba cuando pasan por un punto particular en la línea de producción. Adicionalmente, es esencial evitar el uso de contactos eléctricos en herramientas y otro equipamiento requeridos para operar en atmósferas explosivas, entornos de trabajo extremos o en equipamiento médico, donde la presencia de vapores, polvo, agua u otros contaminantes puede ser peligrosa. Aplicaciones adicionales se encuentran dentro de la industria petroquímica, en la preparación de alimentos y aplicaciones en las que se necesita un grado muy alto de aislamiento entre la fuente de potencia de entrada y el objeto que está siendo alimentado.

La transferencia inductiva de potencia ha sido implementada exitosamente en sistemas de transporte para alimentar un objeto móvil tal como un trolebús, tranvía, coche o tren usando el campo magnético generado por un carril alimentado con potencia para inducir energía eléctrica en un dispositivo de recepción montado en el vehículo. La estructura general de una instalación inductiva de transferencia de potencia es que hay uno o varios conductores primarios energizados con corriente alterna, y uno o varios dispositivos secundarios o de recepción dentro del objeto móvil que interceptan el flujo variable que rodea el conductor primario y convierten este flujo en energía eléctrica por medio de arrollamientos.

La transferencia inductiva de potencia también encuentra un uso extendido en muchos dispositivos portátiles de hoy en día tales como teléfonos móviles, ordenadores portátiles, asistentes digitales personales, máquinas de afeitar eléctricas y cepillos eléctricos de dientes. Estos dispositivos incorporan típicamente pilas "secundarias" que pueden ser recargadas por acoplamiento inductivo en vez de por conexión eléctrica directa, ahorrando al usuario el coste y la inconveniencia de tener que comprar regularmente nuevas pilas. Un ejemplo de un sistema de este tipo puede verse en el documento US-B1-6 184 651 que da a conocer un sistema inductivo de transferencia de potencia en el cual el dispositivo secundario se comunica con el dispositivo anfitrión usando una conexión RF (de radiofrecuencia). Estos dispositivos son típicamente dispositivos manuales tales como teléfonos móviles, buscapersonas, etc. La señal que es enviada por la unidad secundaria contiene información acerca de dicha unidad. Sin embargo, la regulación de sistemas inductivos de transferencia de potencia puede ser problemática. Si se induce insuficiente potencia en la unidad secundaria (la receptora), la carga queda falta de energía. Si la potencia transferida es excesiva, circula corriente en exceso dentro de la unidad de secundaria del sistema, sobrealimentando la carga y provocando daño, o pérdida de eficiencia por "desperdicio" de energía y la generación consiguiente de calor residual. Además, debido a las restricciones térmicas y los tiempos de respuesta asociados a componentes electrónicos del sistema, no es siempre práctico aplicar continuamente los niveles de potencia máximos al arrollamiento primario de modo que se transfiera la máxima potencia. Muchos sistemas inductivos de potencia emplean una circuitería compleja para controlar la transferencia de la potencia inductiva.

Constituye un objeto de la presente invención proporcionar un sistema inductivo de transferencia de potencia mejorado. Constituye otro objeto de la presente invención proporcionar un sistema inductivo de transferencia de potencia autorregulado, simple y efectivo. En un primer aspecto, la invención radica en un sistema inductivo de transferencia de potencia para acoplar una fuente de potencia a una carga a través de un hueco de aire, cuyo sistema comprende una unidad primaria asociada a una plataforma anfitriona y una unidad secundaria para aplicar una tensión a la carga, en que la unidad secundaria es separable de la unidad primaria y está dispuesta para recibir potencia inductivamente desde la unidad primaria cuando es colocada de forma próxima a ésta, comprendiendo la unidad primaria un arrollamiento de transformador primario y un medio de conmutación para controlar la aplicación de potencia al arrollamiento primario y comprendiendo la unidad secundaria un arrollamiento de transformador secundario, un medio de control que comprende un circuito comparador de múltiples etapas para monitorizar la

tensión aplicada y un medio de realimentación para transmitir una señal de realimentación a la unidad primaria cuando la tensión aplicada cae por debajo de una tensión predeterminada inferior y para desactivar dicha señal de realimentación cuando la tensión aplicada supera una tensión predeterminada superior, en que la unidad primaria está dispuesta para operar en un modo de baja potencia en el que se aplica potencia al arrollamiento primario sobre un periodo mínimo durante cada ciclo de conmutación cuando no se recibe ninguna señal de realimentación y en un modo de alta potencia en el que se aplica potencia al arrollamiento primario sobre la mayor parte de cada ciclo de conmutación cuando se recibe una señal de realimentación, de modo que la tensión aplicada puede ser regulada entre las tensiones predeterminadas superior e inferior.

De esta manera, son transferidas ráfagas de potencia desde la unidad primaria a la unidad secundaria, en que la frecuencia y la duración de las ráfagas son dependientes de condiciones de operación predeterminadas que provocan la activación de la señal de realimentación. La regulación de la salida hacia la carga en la unidad secundaria es conseguida mediante una señal de realimentación que tiene sólo dos estados, "no presente" o "presente". Estos dos estados de realimentación provocan que la unidad primaria funcione en uno de dos modos: baja potencia, en el que un pequeño impulso de energía es aplicado al arrollamiento primario en cada ciclo de conmutación cuando la señal de realimentación no está presente, y alta potencia, en el que es aplicada la máxima potencia al arrollamiento primario sobre la mayor parte del ciclo de conmutación cuando la señal de realimentación está presente. El medio de control es implementado como un comparador de múltiples etapas que presenta un medio sencillo, de bajo coste y efectivo mediante el cual puede conseguirse la regulación del sistema de transferencia de potencia.

En el modo de operación de alta potencia, la potencia es aplicada preferiblemente al arrollamiento primario excepto durante un periodo de banda muerta al comienzo y al final de cada ciclo de conmutación. La incorporación de una banda muerta corta dentro del ciclo de conmutación elimina problemas asociados a restricciones térmicas y los tiempos de aumento y caída de componentes electrónicos dentro de la unidad primaria,

El medio de control está dispuesto ventajosamente para monitorizar la tensión inducida en el arrollamiento secundario y para proporcionar de salida una señal al medio de realimentación cuando la tensión inducida supera una primera tensión umbral predeterminada, provocando que una señal de realimentación sea transmitida a la unidad primaria. Por lo tanto, aunque se induce al menos algo de energía en el arrollamiento secundario cuando está situado cerca de la unidad primaria, la unidad primaria se mantiene por defecto en su modo de baja potencia salvo que se supere el primer valor umbral predeterminado. Esto resulta en una demanda de potencia mínima sobre la primaria en la aplicación inicial de potencia.

El medio de control puede operar preferiblemente también para monitorizar el nivel de tensión en un condensador de almacenamiento acoplado al arrollamiento secundario y para activar un conmutador de salida para aplicar potencia a la carga cuando el nivel de tensión supera una segunda tensión umbral predeterminada. Esta disposición sirve para aislar la carga cuando la potencia transferida a la unidad secundaria es insuficiente para alimentar la carga.

El medio de control monitoriza la tensión aplicada a la carga y proporciona de salida una señal al medio de realimentación cuando la tensión aplicada supera la tensión umbral predeterminada superior provocando que sea desactivada la señal de realimentación a la unidad primaria. La unidad de control proporciona subsiguientemente de salida una señal al medio de realimentación cuando la tensión aplicada cae por debajo de la tensión umbral predeterminada inferior provocando que sea retransmitida una señal de realimentación a la unidad primaria. De este modo, las ráfagas de potencia que están siendo transferidas por la unidad primaria se hacen más frecuentes y de mayor duración cuando se incrementa la carga en la unidad secundaria o cuando se incrementa el hueco de aire, de modo que se transfiere más potencia o se mantiene la potencia cuando se incrementan las pérdidas por el hueco de aire. Las ráfagas de potencia también cambiarán su duración y frecuencia en correspondencia con variaciones en el suministro de potencia de entrada a la unidad primaria de modo que se mantenga la regulación de tensión de la potencia entregada a la unidad secundaria. Esto resulta en que una tensión sustancialmente constante es entregada a la carga por la unidad secundaria, a pesar de variaciones en el suministro de entrada a la unidad primaria, variaciones en el hueco de aire entre las unidades primaria y secundaria y variaciones en la intensidad de corriente demandada por la carga.

Un condensador de sintonización es conectado preferiblemente en paralelo con el arrollamiento secundario y está dispuesto para resonar a una frecuencia predeterminada cuando la anchura del hueco de aire que separa los núcleos de transformador de los arrollamientos primario y secundario está en el valor máximo que permitirá la operación del sistema de transferencia de potencia. Esto resulta en que el coeficiente de acoplamiento de energía se mantiene más constante respecto a variaciones de la distancia del hueco de aire.

La anchura del hueco de aire entre el arrollamiento primario y el secundario está preferiblemente en el intervalo de 1 a 6 mm con el fin de conseguir una eficiencia óptima cuando se transfieren niveles de potencia de hasta 200 vatios.

En una operación en modo de baja potencia, se aplica potencia preferiblemente al arrollamiento primario sobre un 5% del ciclo de conmutación, mientras que en una operación en modo de alta potencia, se aplica potencia

preferiblemente al arrollamiento primario sobre un 95% del ciclo de conmutación. Estas formas de onda de conmutación en combinación con la regulación proporcionada por la unidad de control y el sistema de realimentación proporcionan un suministro óptimo a la carga cuando es necesario y compensan las restricciones térmicas y los tiempos de respuesta asociados a componentes electrónicos del sistema.

- 5 En una realización preferida, la fuente de potencia en la unidad primaria está dispuesta para producir una tensión dc (del inglés "direct current", corriente continua) de salida de 270 V. La mayoría de las aeronaves actuales generan típicamente corriente a 200 V, trifásica a 400 Hz, que cuando es sometida a rectificación de onda completa proporciona nominalmente 270 Vdc, pero está especificado que tipos más nuevos y futuros de aeronaves proporcionen potencia principal a 270 Vdc. La mayoría de las aeronaves actuales generan típicamente corriente a 10 200 V, trifásica a 400 Hz, que cuando es sometida a rectificación de onda completa proporciona nominalmente 270 Vdc, pero está especificado que tipos más nuevos y futuros de aeronaves proporcionen potencia principal a 270 Vdc. La unidad primaria es preferiblemente portada por una aeronave anfitriona y la unidad secundaria es portada por un vehículo lanzable. Esta disposición evita el uso de una conexión umbilical para transferir potencia entre el anfitrión y el vehículo previamente al lanzamiento y los problemas asociados a la desconexión anteriormente discutidos. 15

Una realización de la presente invención será descrita ahora con referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:

- la figura 1 es una representación de diagrama de bloques de un sistema inductivo de transferencia de potencia de acuerdo con una realización preferida de la presente invención;
- 20 la figura 2 es un diagrama de temporización que ilustra formas de onda de transformador idealizadas del sistema inductivo de transferencia de potencia de la figura 1;
- la figura 3 es un diagrama de circuito de la configuración del generador de formas de onda del sistema inductivo de transferencia de potencia de la figura 1;
- la figura 4 es un diagrama de circuito del amplificador de potencia y su etapa de guía del sistema inductivo de transferencia de potencia de la figura 1;
- 25 la figura 5 es un diagrama de circuitería del receptor de realimentación del sistema inductivo de transferencia de potencia de la figura 1;
- la figura 6 es un diagrama de circuito del sistema de suministro de potencia perteneciente a la etapa de unidad primaria del sistema inductivo de transferencia de potencia de la figura 1;
- 30 la figura 7 es un diagrama de circuito del módulo de control de la unidad secundaria del sistema inductivo de transferencia de potencia de la figura 1;
- la figura 8a es una forma de onda que representa la tensión aplicada a la carga de salida de la unidad secundaria de la figura 7;
- la figura 8b es una forma de onda que representa la tensión presente en el condensador 76 (C2) de la figura 7;
- 35 la figura 8c es una forma de onda que representa el estado activo/inactivo de la señal de realimentación enviada por el módulo de control de la unidad secundaria de la figura 7 a la unidad primaria; y
- la figura 9 es un diagrama de circuito del transmisor de realimentación del sistema inductivo de transferencia de potencia de la figura 1.

- 40 Con referencia ahora a la figura 1, se muestran los componentes principales de un sistema inductivo de transferencia de potencia 10 diseñado para el uso en un entorno de aeronaves. El sistema de transferencia de potencia comprende un transformador de potencia 12 que tiene un arrollamiento transmisor de potencia primario 14 y un arrollamiento receptor de potencia secundario 16 separados por un hueco de aire 18. El hueco de aire 18 puede ser variado entre 1 mm y 10 mm, dependiendo del tamaño físico del transformador de potencia y de la cantidad de potencia a transferir, con compensación automática por variaciones en el hueco que está siendo abarcado. Sin embargo, debe reconocerse que la eficiencia de la transferencia de potencia cae cuando se incrementa el tamaño del hueco de aire. Idealmente, se ha encontrado que el hueco de aire no debe ser menor de 1 mm ni mayor de 6 mm para una eficiencia de sistema óptima cuando se transfieren niveles de potencia de hasta 200 vatios. El sistema comprende componentes de unidad primaria acoplados al arrollamiento primario 14 y componentes de unidad secundaria acoplados al arrollamiento secundario 16, con componentes de realimentación para alimentar una señal desde la unidad secundaria 22 a la unidad primaria 20. 45 50

La unidad primaria 20 incluye un módulo de potencia de entrada 24 al que se aplica una entrada de potencia ac (del inglés "alternate current", corriente alterna) primaria de 200 V, trifásica o una potencia dc de 270 V. La mayoría de

las aeronaves actuales generan típicamente corriente a 200 V, trifásica a 400 Hz, que cuando es sometida a rectificación de onda completa proporciona nominalmente 270 Vdc, pero está especificado que tipos más nuevos y futuros de aeronaves proporcionen potencia principal a 270 Vdc. Sin embargo, debe apreciarse que mediante una selección adecuada de componentes y de arrollamientos de transformador de potencia, pueden aceptarse suministros de potencia de entrada ac o dc que varían desde unos pocos voltios a algunos centenares de voltios, dependiendo de la aplicación particular. La unidad primaria 20 es portada por la aeronave anfitriona (no mostrada) mientras que la unidad secundaria es separable de la unidad primaria y es portada por un vehículo lanzable (no mostrado).

El módulo de potencia de entrada 24 acepta corriente alterna monofásica o trifásica, o entrada de potencia de corriente continua e incluye un suministro de potencia local 26 que realiza una conversión apropiada para conseguir una salida de 12 V que funciona a una intensidad de corriente de carga de nominalmente 20 mA para alimentar los componentes electrónicos en la unidad primaria 20 del sistema de transferencia de potencia. Un generador de formas de onda 28 proporciona la función de control central de la operación de la unidad primaria 20 del sistema inductivo de transferencia de potencia y proporciona de salida dos señales a una etapa de amplificador de potencia 30 para permitir la aplicación de potencia al transformador 12 en un formato reversible (*push-pull*). Este formato reversible es necesario para asegurar una inversión de flujo dentro del núcleo magnético del transformador primario cada medio ciclo, evitando con ello cualquier tendencia a saturación de núcleo a través de desviaciones "dc". El arrollamiento primario 14 del transformador de potencia 12 está arrollado con un número de espiras para adecuarse a la tensión de entrada al sistema. El generador de formas de onda 28 responde a una entrada desde un módulo receptor de realimentación 32 en la unidad primaria 20 que sirve para recibir y procesar una señal de realimentación desde un módulo transmisor de realimentación 36 en la unidad secundaria 22 del transformador de transferencia de potencia 12. Una guía dentro de la etapa amplificadora de potencia 30 desplaza de nivel las señales a un formato adecuado para el amplificador de potencia de salida que energiza el arrollamiento primario 14. Este amplificador de potencia de salida de la etapa amplificadora de potencia 30 es alimentado en sí mismo directamente desde el módulo de potencia de entrada 22.

La unidad secundaria 22 del sistema de transferencia de potencia 10 comprende un bloque de control 34 acoplado al arrollamiento secundario 16 del transformador de potencia 12 que sirve para convertir energía inducida en el arrollamiento secundario a una tensión dc y para transmitir señales a un módulo transmisor de realimentación 36. El arrollamiento secundario 16 del transformador de potencia 12 está arrollado con un número de espiras para adecuarse a la tensión de salida del sistema hacia su carga externa (no mostrada). El módulo transmisor de realimentación 36 transmite una señal al módulo receptor de realimentación 32 cuando se satisfacen ciertas condiciones de operación. El bloque de control 34 también contiene un conmutador de salida (mostrado en la figura 7) que sirve para aislar la carga cuando el nivel de la tensión convertida a partir de energía inducida en el arrollamiento secundario 16 está por debajo de un nivel predeterminado, y luego para aplicar potencia a la carga cuando la tensión supera este valor.

Antes de describir en más detalle la configuración y operación de los diversos elementos individuales del sistema inductivo de transferencia de potencia, será descrita ahora la operación básica del sistema con referencia a los diagramas de temporización mostrados en las figuras 2a-c.

Como se ha descrito anteriormente, la energía aplicada al arrollamiento secundario 14 del transformador de transferencia de potencia 12 invierte su polaridad a través de cada ciclo de conmutación de modo que se evita una tendencia hacia la saturación del transformador. Debido a restricciones térmicas y debido a que los componentes electrónicos en la unidad primaria 20 son incapaces de conmutar instantáneamente entre sus estados ACTIVO e INACTIVO por causa del almacenamiento finito de energía dentro de los dispositivos y por causa del tiempo necesario para disipar dicha energía almacenada, no es práctico aplicar continuamente los niveles de potencia máxima teórica, mostrados en la figura 2a, al arrollamiento primario 14. Por este motivo, la forma de onda de potencia es modificada como se muestra en las figuras 2b y 2c, para incluir un período de "banda muerta" de modo que se tengan en cuenta las características de componentes indicadas anteriormente.

De este modo, la unidad primaria 20 del sistema de transferencia de potencia 10 opera ventajosamente en sólo dos modos: un modo de alta potencia mostrado en la figura 2b y un modo de baja potencia mostrado en la figura 2c. En el modo de baja potencia, la energía es conmutada hacia el transformador de transferencia de potencia 12 sólo sobre un período corto y equivale a la aplicación de sólo nominalmente un 5% de su capacidad de potencia máxima durante cada medio ciclo de conmutación. En el modo de alta potencia, la energía es transferida sobre la mayor parte del ciclo de conmutación, excepto sobre el corto período de tiempo conocido como la "banda muerta", entre cada inversión de polaridad de la potencia en cada ciclo de conmutación. Este modo de alta potencia equivale a que la circuitería del lado primario aplica su capacidad de potencia máxima al arrollamiento primario que es nominalmente un 95% de una duración de forma de onda cuadrada ideal y la banda muerta un 5%.

Por lo tanto, el lado primario del sistema inductivo de transferencia de potencia es esencialmente un amplificador de potencia oscilatorio que es capaz de operar, una vez puesto en marcha, en dos modos sólo, es decir, de baja

potencia y de alta potencia.

Como se describirá en más detalle posteriormente, el generador de formas de onda 28 contiene un generador de reloj que, cuando es sometido a una división, proporciona la frecuencia de conmutación fundamental del sistema más la circuitería lógica que genera la potencia máxima práctica y las formas de onda de baja potencia. Queda claro a partir de los diagramas de temporización en la figura 2 que la frecuencia general de operación se mantiene igual para los modos de alta y baja potencia, cambiando sólo la energía aplicada al transformador 12 (ignorando cualesquiera efectos de bajo orden que surgen del contenido de armónicos de la forma de onda de conmutación).

En la aplicación inicial de potencia y/o si la unidad secundaria 2 del sistema inductivo de transferencia de potencia 10 no está presente, no es recibida ninguna señal de realimentación por el receptor de realimentación en la unidad primaria y el generador de formas de onda pasa por defecto al modo de señal de guía de salida de baja potencia, es decir, sólo es aplicado un pequeño impulso de energía cada medio ciclo. Esto resulta en una demanda de potencia mínima por parte de la unidad primaria 20 en la plataforma anfitriona (en este caso una aeronave), y también en una baja emisión de campo magnético desde la unidad primaria 20 del transformador 12. Cuando es recibida una señal de realimentación en la unidad primaria 20 desde el transmisor de realimentación 36 en la unidad secundaria 22, el receptor de realimentación 32 envía de salida una señal lógica de cambio de estado al generador de formas de onda 28, resultando en que es generada la señal de guía de salida de alta potencia y por lo tanto es aplicada la potencia máxima al arrollamiento primario del transformador. De este modo, sólo hay dos estados de operación de la unidad primaria 20, el modo de baja potencia, cuando no es detectada ninguna señal de realimentación por el receptor de realimentación 32 de la unidad primaria, y el modo de alta potencia, cuando es detectada una señal de realimentación por el receptor de realimentación 32 de la unidad primaria. Cuando el lado primario del sistema inductivo de transferencia de potencia es puesto en marcha, pasa por defecto al modo de baja potencia y se mantiene en el modo de baja potencia salvo que sea "comandado" para pasar al modo de alta potencia por la presencia de una señal de realimentación desde el lado secundario.

Como se describirá en más detalle posteriormente, el arrollamiento secundario 16 del transformador de potencia 12 es hecho resonar a la frecuencia de conmutación mediante la adición de un condensador de sintonización adecuado conectado en paralelo al arrollamiento secundario 16. Debe observarse que la inductancia del arrollamiento secundario 16 cambia con relación a la distancia del hueco de aire (es decir la distancia entre los núcleos de los arrollamientos primario 14 y secundario 16 del transformador). Por lo tanto, la inductancia del arrollamiento secundario 16 es determinada para el hueco de aire máximo que será encontrado cuando las unidades tanto primaria 20 como secundaria 22 están en sus posiciones operativas y seleccionando entonces el condensador de sintonización apropiado de modo que se cause resonancia con esta inductancia a la frecuencia de conmutación. Esto resulta entonces en que el coeficiente de acoplamiento de energía se mantiene óptimamente constante sobre variaciones en la distancia del hueco de aire, dado que la resonancia mejora el acoplamiento para una posición de hueco de aire más grande y, con un hueco de aire más pequeño cuando el efecto de resonancia es disminuido, el hueco reducido mejora el acoplamiento, siendo compensado así un cambio por el otro.

Cuando el arrollamiento secundario 16 está situado cerca del arrollamiento primario 14, se induce al menos algo de energía en el arrollamiento secundario 16, pero salvo que ésta supere el valor umbral predeterminado, la unidad primaria 20 se mantendrá por defecto en su modo de baja potencia. Sin embargo, el acoplamiento entre primario y secundario, incluso cuando no estén exactamente en resonancia debido a la variación de la distancia entre el núcleo de la unidad primaria y el núcleo de la unidad secundaria y al cambio resultante de inductancia de arrollamiento, es ampliamente mejorado por la resonancia anteriormente descrita.

Como se describirá también en más detalle posteriormente, la energía inducida en el arrollamiento secundario 16 es rectificada para producir una tensión dc, suavizada y aplicada a un condensador de almacenamiento de valor alto 76 (mostrado en la figura 7). Si, por ejemplo, el arrollamiento secundario 16 y su circuitería asociada tuvieran que ser situados de forma alejada de la unidad primaria 20 y luego movidos gradualmente hacia ésta, la tensión dc así producida en la unidad secundaria 22 se incrementará cuando los dos arrollamientos 14, 16 del transformador 12 se aproximen entre sí. El bloque de control 34 de la unidad secundaria 22 comprende un comparador de tensión de múltiples etapas (mostrado en la figura 7) que es inicialmente alimentado por la tensión desarrollada a partir de la energía inducida en el arrollamiento secundario 16. Este circuito comparador de tensión de múltiples etapas consume muy poca potencia por sí mismo y no requiere así que sea transferido un nivel alto de energía desde la unidad primaria 20 a la unidad secundaria 22. El comparador de múltiples etapas y su referencia de tensión están dispuestos y polarizados de tal modo que se colocan en un estado por defecto predeterminado a tensiones mucho más bajas que las encontradas bajo condiciones de operación normales, asegurando así la estabilidad cuando el sistema se pone en marcha. Entonces, cuando una etapa del circuito comparador de múltiples etapas (VC 3) ha determinado que ha sido inducida suficiente energía en el arrollamiento secundario 16, una señal es enviada de salida hacia la etapa transmisora de realimentación 36 mostrada en la figura 1.

La presencia de esta señal de transmisión de realimentación ("estado presente de señal de realimentación") es detectada por el receptor de realimentación 32 en la unidad primaria 20 y el generador de formas de onda 28 cambia su señal de salida desde el modo de baja potencia al modo de alta potencia, provocando así que el transformador de

potencia 12 sea guiado hasta su máxima amplitud. Como consecuencia de que la unidad primaria 20 pase desde el modo de baja potencia al modo de alta potencia, la energía inducida en el arrollamiento de transformador secundario 16 se incrementa inmediatamente y el condensador de almacenamiento de tensión dc 76 (mostrado en la figura 7) aumenta con rapidez.

- 5 Previamente a este aumento, el conmutador de salida 78 (mostrado en la figura 7) en la unidad secundaria 22 es llevado a su estado por defecto de aislar la carga, pero al pasar la tensión en aumento en el condensador de almacenamiento 76 a través del nivel de un segundo comparador de tensión VC 1 del comparador de múltiples etapas del bloque de control 34, el conmutador de salida 78 (mostrado en la figura 7) es activado y es aplicada potencia a la carga. Suponiendo que el sistema no esté sobrecargado, la tensión en el condensador 76 continúa aumentando, suministrando más energía a la carga y almacenando simultáneamente más energía en el condensador.

- 15 Un tercer comparador (VC 2) del comparador de múltiples etapas del bloque de control 34 monitoriza la tensión aplicada a la carga y al detectarse la aplicación de una tensión límite predeterminada superior, una señal de anulación es transmitida al primer comparador (VC 3) provocando que la señal de transmisión de realimentación cese. Al producirse la pérdida de esta señal de realimentación al receptor de realimentación 32 en la unidad primaria 20, es adoptado el modo de baja potencia de la unidad primaria. Con la unidad primaria 20 pasando a su modo de baja potencia, la energía que está siendo transferida desde la unidad primaria 20 a la unidad secundaria 22 es ahora insuficiente para mantener la potencia hacia la carga, de modo que el condensador de almacenamiento 76 mantiene su carga, pero la tensión en el condensador de almacenamiento 76 cae gradualmente como resultado de ello. El 20 tercer comparador, que ha sido dotado de algo de histéresis, detecta cualquier caída así en la tensión en el condensador de almacenamiento y retira la anulación de la salida del primer comparador cuando la tensión aplicada cae por debajo de una tensión predeterminada inferior, provocando así que la señal de realimentación sea transmitida y por lo tanto que la unidad primaria 20 retorne a su modo de alta potencia.

- 25 De esta manera, la unidad primaria 20 alternará entre modos de baja y alta potencia a un ritmo determinado por la tensión existente en el condensador de almacenamiento 76 en la unidad secundaria 22 y la carga en ese condensador, así como la configuración de histéresis del tercer comparador. Esta disposición resulta en que la tensión de salida presentada a la carga en la unidad secundaria 22 varía gradualmente entre límites predeterminados, en correspondencia con las ráfagas de alta potencia que están siendo transmitidas por la unidad primaria 20. Típicamente, para una carga de unidad secundaria que está siendo alimentada nominalmente a 28 Vdc, la variación de tensión, que es efectivamente una tensión ondulada, experimentada por esa carga estará entre 28,5 V y 29,5 V. Sin embargo, debe entenderse que pueden conseguirse otras tensiones de salida seleccionando componentes de circuito adecuados.

- 35 De este modo, este sistema de transferencia de potencia funciona aplicando ráfagas de potencia desde la unidad primaria 20 a la secundaria 22, haciéndose las ráfagas más frecuentes y de mayor duración cuando la carga en la unidad secundaria 22 se incrementa o el hueco de aire se incrementa, para que se transfiera más potencia o se mantenga la potencia cuando se incrementan las pérdidas por el hueco de aire. Las ráfagas de potencia también cambiarán su duración y frecuencia en correspondencia con variaciones del suministro de potencia de entrada a la unidad primaria 20, para mantener así la regulación de tensión de la potencia entregada a la unidad secundaria 22. Esto resulta en que es entregada una tensión sustancialmente constante a la carga en la unidad secundaria 22 a pesar de variaciones del suministro de entrada a la unidad primaria 20, variaciones del hueco de aire entre las 40 unidades primaria 20 y secundaria 22 y variaciones de la intensidad de corriente demandada por la carga.

- La regulación de la tensión de salida en la unidad secundaria 22 es conseguida mediante una señal de realimentación que tiene sólo dos estados, "no presente" o "presente". Estos dos estados de realimentación provocan que la unidad primaria 20 funcione en sólo dos modos, de baja potencia cuando la señal de realimentación no está presente y de alta potencia cuando la señal de realimentación está presente. No hay modulación u otra 45 forma forma de procesamiento de señal aplicada a la señal de realimentación aparte de que esté presente (es decir, activa) o no presente (es decir, inactiva). El ritmo de señalización de realimentación de alternancias entre la señal de realimentación ACTIVA y la señal de realimentación INACTIVA se producen a frecuencias relativamente bajas, que están claramente dentro de la banda de frecuencia de audio (menor de 15 kHz) y permiten que los componentes que proporcionan esta función de realimentación tengan sólo requisitos modestos de rendimiento. El ritmo de 50 señalización real y las duraciones de los periodos individuales de activación y desactivación de la señal de realimentación dependen principalmente de las dimensiones del hueco de aire entre los lados primario y secundario, la naturaleza de la potencia de entrada principal al lado primario y el nivel de acumulación de carga existente en el lado secundario.

- 55 Si la unidad secundaria 22 del sistema tuviera que ser retirada, como ocurriría al ser lanzado un vehículo portado por la aeronave anfitriona, la unidad primaria 20 volvería a su modo de baja potencia, dado que no podría seguir estando presente una señal de realimentación. Igualmente, en el caso de que una carga excesiva fuera colocada en la unidad secundaria 22, el sistema de transferencia de potencia 10 no sería capaz de entregar suficiente energía, provocando así que la tensión de salida cayera por debajo de límites especificados y que eventualmente oscilara en

su modo de alta/baja potencia cuando la carga reduce la tensión secundaria por debajo de su nivel de “detección”. Este efecto proporciona alguna “protección” al sistema de suministro de potencia de la plataforma anfitriona (aeronave) si ocurriera un fallo por sobrecarga dentro de la carga de la unidad secundaria, por ejemplo, por daño en batalla.

- 5 Con referencia ahora a la figura 3, la configuración y operación del generador de formas de onda serán descritas en detalle. El generador de formas de onda 28 incluye un oscilador de reloj más dispositivo divisor (CD4060) 40 que han sido configurados para proporcionar dos salidas de señal de forma de onda rectangular con un ciclo de servicio 50:50, estando la salida Q6 a 93,75 kHz y estando la salida Q7 a 46,875 kHz. Esta disposición de temporización provoca que la frecuencia de conmutación fundamental de la señal aplicada al transformador de transferencia de potencia 12 sea de 46,875 kHz. Sin embargo, debe observarse que pueden emplearse otras frecuencias en el sistema inductivo de transferencia de potencia, dada una selección adecuada de material de núcleo de transformador y otras consideraciones operativas tales como niveles de emanación electromagnética permisible.

- 15 La función monoestable dual proporcionada por los dispositivos 42, 44 (CD4538) ha sido configurada para proporcionar dos salidas de impulso cuyas duraciones son ajustables independientemente, en que una duración de impulso alude a la baja potencia y la otra duración de impulso alude a las funciones de alta potencia anteriormente descritas. Dos dispositivos de puerta NOR de entrada dual de tipo *quad* 46 y 48 (C4001) proporcionan la selección de las formas de onda de alta o baja potencia a partir de los dispositivos monoestables duales 42, 44 mediante el estado lógico de la entrada de CONTROL, y proporcionan de salida los impulsos seleccionados a la frecuencia de temporización, pero separados por un intervalo igual a dos veces la frecuencia de temporización, a la circuitería de guía de amplificador de potencia 30. Las formas de onda presentadas en la unidad a mano derecha de la figura 3 ilustran estas salidas de impulso.

- 20 Debe observarse que las duraciones de impulso de baja potencia y alta potencia proporcionadas por la circuitería ajustable aquí descrita pueden ser también fijas en su configuración y todas las funciones lógicas ilustradas en la figura 3 podrían ser integradas en un dispositivo lógico programado único. Típicamente, la duración de impulso de “baja potencia” será un 5% de la duración del “impulso completo” y la duración de impulso de “alta potencia” será un 95% de la duración del “impulso completo”.

- 25 La configuración y operación del amplificador de potencia y su guía están mostradas en más detalle en la figura 4. Un dispositivo IR2113 50 toma las dos señales de salida proporcionadas por el generador de formas de onda 28 y almacena temporalmente estas señales de modo que los dispositivos FET (del inglés “Field Effect Transistor”, transistor de efecto de campo) de potencia 52 y 54 en el amplificador de salida 30 son guiados correctamente. El suministro de alta tensión a un extremo del arrollamiento primario 14 es tomado centralmente de forma dinámica por dos condensadores de 470 μ F 56 y 58 conectados en serie, de modo que la mitad del potencial de suministro de alta tensión está presente en este extremo del arrollamiento primario 14 del transformador de transferencia de potencia. El otro extremo del arrollamiento primario 14 está acoplado por corriente ac entre los dos transistores FET de potencia 52 y 54 conectados en serie. El condensador 60 que consigue este acoplamiento ac es seleccionado para presentar un circuito nominalmente resonante en serie, en conjunción con la inductancia de “circuito abierto” del arrollamiento primario, a la frecuencia de conmutación. Aquí, esta inductancia es determinada sin que el núcleo de la unidad secundaria esté en las cercanías del núcleo de la unidad primaria, lo que podría provocar un incremento de la inductancia de la bobina de la unidad primaria. Los transistores FET 52 y 54 están alternativamente ACTIVOS e INACTIVOS, estando ACTIVO sólo un transistor FET en cualquier instante. Esto tiene el efecto de que el extremo del arrollamiento primario 14 acoplado a ellos está conectado de forma alterna al suministro de alta tensión y luego a los nodos de retorno del suministro de alta tensión. Esto es conocido como una disposición de circuito de medio puente.

- 30 Como la energía conmutada hacia el transformador 12 es esencialmente la misma cada medio ciclo, pero invertida en su polaridad, el potencial en el enlace entre los dos condensadores de 470 μ F 56 y 58 se mantiene esencialmente constante, a la mitad del potencial del suministro de entrada. Dos resistores de 120 k Ω 62 y 64 conectados en paralelo con cada uno de los dos condensadores 56 y 58 están previstos para descargar los condensadores al producirse la retirada de potencia y también compensar cualesquiera corrientes de fuga dc pequeñas dentro de los condensadores. Los condensadores 56 y 58 proporcionan también una función secundaria de almacenamiento de energía, de modo que se mantiene la transferencia de potencia a través de interrupciones transitorias cortas del suministro de potencia de entrada principal en una medida determinada por la carga de salida presente en el sistema más la capacidad presentada por los condensadores 56 y 58.

- 35 El dispositivo IR2113 50 de la guía del amplificador de potencia proporciona una señal de guía a cada transistor FET 52 y 54 de manera que conmuta rápidamente cada transistor a ACTIVO e INACTIVO en el instante apropiado. Esta acción de conmutación rápida es conseguida mediante dispositivos de conmutación conectados en “polo tótem” activo dentro de las etapas de salida del dispositivo 1 R2113 50. El dispositivo IR2113 50 también sirve para “levantar” la señal de guía para el transistor FET superior 52 a nominalmente la mitad del potencial de suministro de alta tensión. Esto se consigue mediante la circuitería interna del dispositivo IR2113 50 más una bomba de carga proporcionada por el transistor FET de baja potencia 54 más un diodo de conmutación rápida 66 y el condensador

de 1 μ F 68 asociado.

El receptor de realimentación 32 está ilustrado en la figura 5 y comprende un dispositivo receptor IR (infrarrojo) 70 que contiene un filtro de paso de banda centrado en torno a 38 kHz para minimizar cualquier respuesta espuria, más un dispositivo comparador de tensiones 72 para proporcionar funciones de almacenamiento temporal y desplazamiento de nivel. Este circuito proporciona una salida lógica baja cuando no se detecta ninguna señal IR (es decir, no se detecta ninguna señal de realimentación) y una salida lógica alta cuando se detecta una señal IR (es decir, se detecta la señal de realimentación), cubriendo así los requisitos del generador de formas de onda representado en la figura 3.

Las disposiciones de suministro de potencia de la unidad primaria están ilustradas en la figura 6, que para esta explicación está configurada para aceptar un suministro de 200 Vac, trifásico, de 400 Hz como el proporcionado por una aeronave típica. Sin embargo, son igualmente aplicables otras fuentes de potencia a este sistema de transferencia de potencia. La figura 6 muestra que el suministro de entrada desde la aeronave anfitriona tiene rectificación de onda completa, tras el filtrado, proporcionando así nominalmente 270 Vdc. Este suministro de 270 Vdc es el suministro de potencia primario al amplificador de potencia mostrado en la figura 4. La figura 6 muestra también un circuito convertidor de dc a dc de baja potencia que convierte el suministro de 270 Vdc a 12 Vdc, en que esta dc de 12 V alimenta entonces el generador de formas de onda mostrado en la figura 3, la etapa de guía mostrada en la figura 4 y el receptor de realimentación mostrado en la figura 5.

El módulo de control de la unidad secundaria es presentado en la figura 7. Este aspecto del sistema inductivo de transferencia de potencia es descrito ahora en detalle con referencia también a las formas de onda de tensión de las figuras 8a, 8b y 8c, dado que proporciona las actividades de control principales necesarias para regular efectivamente la potencia que es transferida a través del hueco de aire 18. Los valores numéricos presentados en esta descripción han sido adoptados para adecuarse a un sistema inductivo de transferencia de potencia que proporciona de salida nominalmente 29 V a la carga. Sin embargo, debe entenderse que podrían estar previstas igualmente otras tensiones de salida con una selección apropiada de valores numéricos y componentes de circuito, dependiendo de los requisitos de carga.

Cuando es aplicada inicialmente potencia a la unidad primaria 20 y la unidad secundaria 22 está demasiado alejada de ella, inicialmente no puede haber ninguna señal de realimentación desde la unidad secundaria 22, dado que esta unidad todavía no estará totalmente puesta en marcha por la transferencia inductiva desde la unidad primaria 20. De este modo, la unidad primaria pasa por defecto a su modo de baja potencia, radiando así un campo magnético alterno de baja energía. En este modo de baja potencia del lado primario y sin el lado secundario presente para absorber alguna potencia desde el lado primario, más el impulso corto (aproximadamente un 5% de la forma de onda de potencia completa) que está siendo aplicado al inductor de transferencia de potencia del lado primario, la potencia de entrada principal resultante hacia el lado primario es mínima. Este condición de potencia de entrada principal mínima (es decir, la potencia de entrada de "espera"), es afectada por la duración del "impulso corto" y la tasa de aumento de la intensidad de corriente en la inductancia de la bobina primaria, que es de naturaleza gradual. Dado que el lado secundario está alejado del lado primario, no puede haber energía tomada por el lado secundario y de ahí la tensión nula presente en C2 en la figura 7. El lado secundario es así eléctricamente inerte. Esta condición está representada por el punto A en el diagrama de temporización de la figura 8b.

Cuando la unidad secundaria es movida más cerca del lado primario, la energía radiada será "capturada" por la geometría del núcleo de transformador de las unidades primaria y secundaria y se producirá algo de acoplamiento inductivo (limitado). Esto provocará que una tensión alterna sea inducida en el arrollamiento secundario de transformador 16 mostrado en la figura 7 y el efecto de "captura" será incrementado por el hecho de que el núcleo secundario está sintonizado a resonancia o casi a resonancia con la frecuencia de conmutación del lado primario (debido al circuito de sintonización paralelo formado por la autoinductancia del arrollamiento secundario y el condensador de sintonización 74 (C1)). La tensión alterna desarrollada por este circuito sintonizado es sometida entonces a rectificación de onda completa por el puente de diodo, D1 a D4 para producir así una tensión dc. Esta tensión dc es suavizada y, en conjunción con la intensidad de corriente disponible del suministro rectificado, cargará el condensador de almacenamiento de energía 76 (C2). La tensión presente en el condensador 76 (C2) dependerá de las dimensiones del hueco de aire entre los lados primario y secundario, incrementándose al reducirse la distancia, en que el circuito comparador consume una intensidad de corriente despreciable. Esta condición está representada por los puntos B a C en el diagrama de temporización de la figura 8b.

Mientras que la distancia entre los lados primario y secundario sea demasiado grande como para proporcionar un acoplamiento significativo, la tensión en C2 en la figura 7 se mantendrá por debajo del umbral mínimo de comparador, punto C en la LÍNEA B en la figura 8. La señal de realimentación se mantendrá ausente y el lado primario se mantendrá en su modo de baja potencia. Aquí, habrá un ligero incremento de potencia de entrada principal al lado primario, al ser absorbida algo de energía limitada por el lado secundario. Al incrementarse el acoplamiento entre el lado primario y el lado secundario, por acercamiento adicional del lado secundario al lado primario, la tensión en C2 continuará incrementándose, aproximándose así al punto C en la figura 8b.

- En esta etapa, el conmutador de carga de salida (FET1) 78 todavía no ha sido activado, lo que será explicado aquí posteriormente, y como el circuito comparador demanda muy poca energía, la tensión en el condensador de almacenamiento 76 (C2) continuará aumentando. La tensión en aumento en el condensador 76 (C2) es filtrada a través de R1, D5 y C3 y luego aplicada al generador de referencia de tensión 80 (VR1) a través de R2. El circuito de regulación R1, D1 y VR2 establece el suministro de potencia operativa del circuito comparador nominalmente en +10 V. Simultáneamente, la referencia de tensión para todos los comparadores, nominalmente +2,5 V, es establecida cuando la tensión en aumento en el condensador de almacenamiento 76 (C2) ha alcanzado nominalmente +5 V. Esta disposición asegura que la referencia de tensión del circuito comparador es establecida “pronto” en la secuencia de puesta en marcha del lado secundario.
- 10 La tensión aún en aumento en el condensador de almacenamiento 76 (C2) es aplicada a la entrada del regulador de tensión 82 (VR2) a través de R1 y D5, lo que mantendrá su salida a nominalmente +10 V una vez que su entrada supere +13 V. Este suministro de +10 V regulado es empleado entonces para alimentar el circuito comparador de múltiples etapas y también el transmisor de realimentación 36, que será descrito posteriormente. De este modo, la referencia de tensión de +2,5 V del circuito comparador a través de VR1 y el suministro de potencia de +10 V del
- 15 circuito son establecidos y estables, una vez que la tensión en aumento en el condensador de almacenamiento 76 (C2) ha alcanzado +13 V. Igualmente, la salida del comparador 84 (VC3) es baja, provocando así que la señal de control de salida al transmisor de realimentación desde el comparador 86 (VC4) sea también baja.
- 20 Cuando la tensión en aumento en el condensador 76 (C2) filtrada a través de R1, D5 y C3, y muestreada a través de R17 y R18 alcanza aproximadamente +17 V (V1 en la figura 8b), la salida del comparador 84 (VC3) pasa a alta, a través de R15. En esta situación, la salida del comparador 88 (VC2) que también se conecta a R15, es también alta. Esta condición es ilustrada por el punto C en el diagrama de temporización de la figura 8b y en este momento la tensión en el condensador 76 (C2) se mantiene desconectada de la carga de salida como se ilustra en el diagrama de temporización de la figura 8a.
- 25 Siendo altas ambas salidas de los comparadores 84 (VC3) y 88 (VC2), la salida del comparador 86 (VC4) también pasa a alta, estableciendo así la señal de control de salida al transmisor de realimentación (36) en ACTIVA como se muestra en la figura 8c. Cuando la señal de control al transmisor de realimentación 36 está ACTIVA, el transmisor radia una señal hacia la unidad primaria 20 del sistema inductivo de transferencia de potencia. Como se ha explicado anteriormente, cuando el receptor de realimentación 32 de la unidad primaria detecta la señal de realimentación desde la unidad secundaria 22, establece la forma de onda de salida del generador de formas de
- 30 onda 28, de modo que la unidad primaria 20 pasa de su modo de operación de baja potencia al de alta potencia.
- 35 Con la unidad primaria 20 operando ahora en su modo de alta potencia, la energía transferida al arrollamiento secundario de transformador 16 acoplado está en una intensidad máxima, provocando que la tensión en el condensador de almacenamiento de energía 76 (C2) aumente rápidamente como se muestra por los puntos C a D en la figura 8b. Cuando esta tensión en aumento en el condensador 76 (C2) supera +22 V (V2 en la figura 8b), muestreada por R5, R6 y R7, la salida desde el comparador 90 (VC1) pasa a baja. Esto aplica entonces un potencial negativo a la puerta del conmutador de salida 78 (FET1) con respecto a su drenaje, provocando que el conmutador 78 (FET1) se active y se aplique potencia a la carga del lado secundario. Este instante es ilustrado en el punto D en la figura 8b.
- 40 Con la carga de salida conectada ahora al condensador 76 (C2), la tasa de aumento de tensión en el condensador 76 (C2) se reduce, pero sigue produciéndose un aumento, como resultado de que la señal de realimentación desde la unidad secundaria 22 a la unidad primaria 20 se mantiene ACTIVA y la unidad primaria 20 opera a alta potencia. Esto es mostrado por los puntos D a E1 en la figura 8b. Suponiendo que la energía demandada por la carga sea menor que la que está siendo transferida desde la unidad primaria 20 (que sigue operando en modo de potencia completa) a la unidad secundaria 22, entonces la tensión en el condensador 76 (C2) continuará incrementándose. El
- 45 circuito comparador con histéresis formado por R10, R11, R12, R13, R14 y el comparador 88 (VC2) monitoriza la tensión aplicada a la carga a través del conmutador 78 (FET1) y es regulado de tal modo que su salida se mantiene alta hasta que la tensión en aumento en la carga alcanza un umbral superior de +29,5 V (V4 en la figura 8b). La salida del comparador 88 (VC2) cambia entonces a baja.
- 50 Mientras que la tensión en la carga de salida (figura 8a) continúa aumentando hacia +29,5 V (V4 en el punto E1 en la figura 8b), la señal de realimentación desde el lado secundario al lado primario se mantiene ACTIVA y el lado primario continúa operando a alta potencia. Cuando la tensión en la carga de salida alcanza +29,5 V, el comparador 88 (VC2) establece su salida a baja, (lo que anula la salida de VC3), y la salida del comparador 86 (VC4) también pasa a baja. La señal de control al transmisor de realimentación 36 de la unidad primaria 20 es establecida en INACTIVA, provocando así que el lado primario retorne a su modo de baja potencia.
- 55 Con la unidad primaria 20 establecida en su modo de baja potencia, la energía transmitida a la unidad secundaria 22 es ahora insuficiente para mantener la tensión en el condensador 76 (C2), provocando que éste se descargue hacia la carga y que su tensión en aumento en la carga caiga consecuentemente. La tasa de caída es determinada por el valor de capacidad del condensador 76 (C2) y la cantidad de carga de salida presente. De este modo, la tensión aplicada a la

carga de salida caerá desde +29,5 V, la tensión conseguida justo antes de la señal de realimentación que es establecida en inactiva, hacia un umbral más bajo de +28,5 V, como es mostrado por los puntos E1 a F1 en la figura 8b. La disposición de histéresis del circuito comparador R10, R11, R12, R13, R14 y el comparador 88 (VC2) provoca que la salida del comparador 88 (VC2) cambie de vuelta a alta cuando la entrada cae por debajo de +28,5 V (V3 en la figura 8b).

Al pasar la salida del comparador 88 (VC2) a alta, la señal de control al transmisor de realimentación 36, la salida del comparador 86 (VC4), también pasará a alta. El comparador 88 (VC2) por lo tanto monitoriza efectivamente la tensión aplicada a la carga y controla la provisión, o no, de la señal de realimentación a la unidad primaria 20. La unidad primaria 20, en respuesta a la presencia de la señal de realimentación, conmuta a un modo de alta potencia, transmitiendo la máxima potencia a la unidad secundaria 22. La tensión en el condensador 76 (C2) empieza a aumentar nuevamente hacia +29,5 V y al alcanzar este valor (V4 en la figura 8a), el ciclo anterior es repetido. Esto es ilustrado por los puntos F1 a E2, luego E2 a F2, etc. en el diagrama de temporización de la figura 8b.

Esta histéresis en la conmutación del comparador 88 (VC2) para 28,5 V y 29,5 V resulta en que la tensión en el condensador de almacenamiento 76 (C2), y por lo tanto la carga, aumente gradualmente desde 28,5 V a 29,5 V bajo la influencia de la energía aplicada por la unidad primaria 20 y luego disminuya gradualmente desde 29,5 V a 28,5 V cuando el condensador de almacenamiento 76 (C2) entrega su energía almacenada, es decir la tensión de salida aplicada a la carga será nominalmente de 29 V con una oscilación en forma de "dientes de sierra" de 1 V de extremo a extremo impuesta sobre este valor nominal.

De este modo, la energía transportada a la unidad secundaria 22, y por lo tanto la carga, tiene el formato de ráfagas de alta energía intercaladas con periodos de baja energía, bajo el control de la señal de realimentación que mantiene una tensión regulada (entre dichos límites) en la carga de salida. La duración de las ráfagas de alta potencia y los intervalos entre estas ráfagas dependen del nivel de acumulación de carga secundaria, de las dimensiones del hueco de aire a través del cual está siendo transferida energía del lado primario al lado secundario y del nivel real de las ráfagas de alta potencia (que a su vez depende del nivel de tensión de la potencia de entrada principal). Si la carga de salida de la unidad secundaria es baja, entonces ráfagas infrecuentes y cortas de alta energía serán suficientes para mantener la tensión aplicada a la carga dentro de límites. Si la carga de la unidad secundaria es alta, entonces la tasa de repetición y la duración de los periodos de alta energía se incrementarán para compensar, manteniendo así la tensión aplicada a la carga dentro de límites. Similarmente, si el suministro de entrada a la unidad primaria 20 varía, lo que provocará entonces una variación del nivel de energía que es transmitida, entonces la tasa de repetición y la duración de los periodos de alta energía también variarán para compensar. Si la distancia entre los núcleos primario y secundario del transformador 12 variara, entonces la tasa de repetición y la duración de los periodos de alta energía también variarán para compensar. De este modo, la disposición de circuito comparador mantiene una regulación de tensión del lado secundario, a pesar de cambios de la carga de salida, variaciones del hueco de aire y variaciones del suministro de potencia de entrada, con una disposición sencilla de señal de realimentación única.

Así, se observará a partir de la descripción anterior que los estados de operación de la unidad primaria de dos estados, baja potencia (estado por defecto) y alta potencia (estado comandado), bajo la influencia de una señal de realimentación de dos estados desde la unidad secundaria (realimentación presente o realimentación no presente) mantendrán la regulación de tensión en la carga de la unidad secundaria dentro de límites de oscilación de tensión prescritos. Una regulación de tensión así de la unidad secundaria se mantendrá sobre variaciones de la carga secundaria, la potencia de entrada de la unidad primaria y el hueco entre las unidades primaria y secundaria.

Si la unidad primaria 20 es movida alejándola de la unidad secundaria 22, como ocurriría en el caso de un lanzamiento de misil cuando el misil abandona la aeronave de lanzamiento, o si un artículo es alejado de una estación de prueba sobre una cinta transportadora, entonces la tensión en el condensador 76 (C2) continuará reduciéndose. Esto es ilustrado por el punto G en la figura 8b. En el instante en el que la tensión ha caído a un nivel predeterminado V2, la carga de salida será eliminada a través del circuito comparador 90 (VC1), eliminando así potencia de la carga de salida como se ilustra en el punto H en las figuras 8a y 8b. Por lo tanto, hay efectivamente una transferencia de potencia continua y sustancial, suficiente para alimentar el misil continuamente durante el transporte sobre la plataforma de lanzamiento.

Una situación similar surgirá si se aplica una carga de salida demasiado grande con respecto a la cantidad de energía que puede ser transmitida a través del hueco de aire, pero en este caso la tensión de salida oscilará en torno a +22 V (V2 en la figura 8b) cuando la sobrecarga está presente, luego desactivada, luego presente, etc. Esta oscilación es efectivamente un limitador de sobrecarga, que evita que fluyan intensidades de corriente excesivas si se produce una sobrecarga gruesa (para un caso de diseño particular) con respecto a la carga de salida, protegiendo así esa carga y el sistema inalámbrico de transferencia de potencia frente a daños subsiguientes.

Debe entenderse que aunque la anterior descripción se refiere a una situación en la que la unidad secundaria 22 está inicialmente lejos de la unidad primaria 20 y es llevada cerca, los mismos modos de operación se producen, aunque mucho más rápidamente, para la situación en la que las unidades primaria y secundaria están cerca antes

de que la potencia de entrada principal sea aplicada a la unidad primaria 20. Con las unidades primaria 20 y secundaria 22 ya muy cerca cuando la potencia principal es aplicada al lado primario 20, éste se pone en marcha en su modo de baja potencia por defecto. La potencia transferida a través del hueco provoca rápidamente que la tensión en el condensador 76 (C2) aumente hasta el umbral V1 y así comienza el ciclo de transferencia y regulación de potencia.

La figura 8 muestra la circuitería del transmisor de señales de realimentación 36. Mientras que la señal de realimentación entre las unidades primaria y secundaria sólo tiene que ser una sencilla función ACTIVA/INACTIVA y podría ser transportada mediante luz visible, láser, ondas acústicas, radiofrecuencia, enlaces inductivos o muchos otros medios, se ha adoptado para esta aplicación un sistema de transmisión y recepción infrarrojo. Una referencia de 4,608 MHz es dividida bajando hasta 36 kHz dentro del dispositivo CD4060 92. La señal de 36 kHz es aplicada entonces al transistor de salida 94, configurado para intensidad de corriente constante, cuando es "permitido" por la señal de control desde el circuito comparador mostrado en la figura 7. El dispositivo LED (del inglés "Light Emitting Diode", diodo emisor de luz) de transmisión IR 96 está situado dentro del circuito colector del transistor de salida y es sometido a impulsos hasta un nivel máximo de algunos 8 mA a 36 kHz cuando el estado de la señal de control así lo ordena (control establecido en alto). Hay un flujo de corriente nulo en el dispositivo LED de transmisión IR 96 cuando la señal de control está establecida en baja. Un segundo LED, de monitor, 98 es mostrado en el circuito emisor del transistor de salida. Este LED 98 no juega ningún papel en el control de potencia dentro del sistema, sirviendo sólo para proporcionar una indicación visual del funcionamiento del bucle de control, para fines de prueba. La forma de onda de conmutación de 36 kHz aplicada al dispositivo LED que proporciona la función de transmisión de realimentación del lado secundario es simplemente una característica requerida alcanzar el camino de transmisión y recepción a través del hueco de aire y proporciona también seguridad de forma de onda de señal adicional debido a su anchura de banda limitada de operación. Debe entenderse que se tienen en cuenta diversas otras configuraciones y en principio, el camino de señal de realimentación podría alcanzarse simplemente a través de cualquier disposición que proporcione una señal ACTIVA o INACTIVA al lado primario.

Aunque en la realización descrita, las tensiones de suministro son aquéllas típicamente usadas en entornos de aeronaves, debe observarse que son posibles también otras configuraciones. Por ejemplo, se contemplan 110 Vac o 415 Vac trifásica con cambios apropiados de componentes. Adicionalmente, aunque en la realización descrita la energía aplicada al arrollamiento primario del transformador de potencia invierte la polaridad a través de cada ciclo de conmutación, debe observarse que una forma de onda de guía de polaridad constante puede ser aplicada al transformador si se usa un tamaño de núcleo de transformador más grande para una aplicación dada y/o si pueden tolerarse niveles de eficiencia más bajos. Aunque la realización del sistema inductivo de transferencia de potencia aquí descrito emplea un formato de medio puente, debe observarse que podría emplearse un formato de puente completo para niveles de potencia más altos.

Debe entenderse que adicionalmente a la configuración descrita del circuito de guía del amplificador de potencia, están disponibles muchas otras configuraciones de circuito que podrían realizar esta función, dependiendo del formato del propio amplificador de potencia y de los niveles de tensión del suministro de potencia de entrada principal. Ciertamente, los circuitos electrónicos asociados a los diversos componentes del sistema inductivo de transferencia de potencia pueden ser implementados de varios modos por una persona experimentada y se contemplan diversas otras configuraciones.

Adicionalmente a los elementos infrarrojos usados en el sistema de realimentación de la realización descrita, son posibles diversos otros métodos de conseguir la funcionalidad de realimentación tal como mediante luz visible, láser, ondas acústicas, radiofrecuencia, enlaces inductivos. Los requisitos de respuesta de frecuencia de cualquier sistema de realimentación seleccionado usado en el presente sistema de transferencia de potencia son muy modestos en el sentido de que el límite de frecuencia superior no será más alto que la frecuencia de conmutación del transformador de potencia y el límite inferior será efectivamente dc. Sin embargo, cualquier sistema de realimentación usado debe ser capaz de funcionar en las inmediateces de campos magnéticos intensos, tales como los producidos dentro del hueco de aire entre las secciones primaria y secundaria del transformador de potencia.

Aunque en la realización descrita el sistema inductivo de transferencia de potencia está diseñado para uso en un entorno de aeronaves, se contemplan muchas aplicaciones diferentes de un sistema así. Por ejemplo, un sistema inductivo de transferencia de potencia así puede ser usado en sistemas de automatización de fábricas, en herramientas, equipamiento médico, dentro de la industria petroquímica, en la preparación de alimentos y otras aplicaciones en las que se necesita un grado muy alto de aislamiento entre la fuente de potencia de entrada y el objeto que está siendo alimentado.

REIVINDICACIONES

1. Sistema inductivo de transferencia de potencia (10) para acoplar una fuente de potencia (24) a una carga a través de un hueco de aire, cuyo sistema comprende una unidad primaria (20) asociada a una plataforma anfitriona y una
5 unidad secundaria (22) para aplicar una tensión a la carga, en que la unidad secundaria es separable de la unidad primaria (20) y está dispuesta para recibir potencia inductivamente desde la unidad primaria (20) cuando es colocada de forma próxima a ésta, comprendiendo la unidad primaria (20) un arrollamiento de transformador primario (14) y un medio de conmutación (28, 30) para controlar la aplicación de potencia al arrollamiento primario (14) y comprendiendo la unidad secundaria (22) un arrollamiento de transformador secundario (16), un medio de
10 control (34) que comprende un circuito comparador de múltiples etapas para monitorizar la tensión aplicada y un medio de realimentación (36) para transmitir una señal de realimentación a la unidad primaria (20) cuando la tensión aplicada cae por debajo de una tensión predeterminada inferior y para desactivar dicha señal de realimentación cuando la tensión aplicada supera una tensión predeterminada superior, **caracterizado porque** la unidad primaria (10) está dispuesta para operar en un modo de baja potencia en el que se aplica potencia al arrollamiento primario
15 (14) sobre un periodo mínimo durante cada ciclo de conmutación cuando no se recibe ninguna señal de realimentación y en un modo de alta potencia en el que se aplica potencia al arrollamiento primario (14) sobre la mayor parte de cada ciclo de conmutación cuando se recibe una señal de realimentación, de modo que la tensión aplicada puede ser regulada entre las tensiones predeterminadas superior e inferior.
2. Sistema inductivo de transferencia de potencia según la reivindicación 1, en que en el modo de operación de alta
20 potencia se aplica potencia al arrollamiento primario (14) excepto durante un periodo de banda muerta al comienzo y al final de cada ciclo de conmutación.
3. Sistema inductivo de transferencia de potencia según la reivindicación 1 ó 2, en que el comparador de múltiples etapas (84, 86, 88) puede operar para monitorizar la tensión inducida en el arrollamiento secundario (16) y para proporcionar de salida una señal al medio de realimentación (36) cuando la tensión inducida supera una primera
25 tensión predeterminada (V1), provocando que una señal de realimentación sea transmitida a la unidad primaria (10).
4. Sistema inductivo de transferencia de potencia según cualquier reivindicación precedente, en que el comparador de múltiples etapas (90) está dispuesto para monitorizar el nivel de tensión en un condensador de almacenamiento (76) acoplado al arrollamiento secundario (16) y para activar un conmutador de salida (78) para aplicar potencia a la carga cuando el nivel de tensión supera una segunda tensión predeterminada (V2).
- 30 5. Sistema inductivo de transferencia de potencia según la reivindicación 4, en que el circuito comparador de múltiples etapas (88) puede operar para monitorizar la tensión aplicada a la carga y para proporcionar de salida una señal al medio de realimentación (36) cuando la tensión aplicada supera dicha tensión predeterminada superior (V4) provocando que la señal de realimentación a la unidad primaria (10) sea desactivada.
6. Sistema inductivo de transferencia de potencia según la reivindicación 5, en que el circuito comparador de
35 múltiples etapas (86, 88) puede operar para proporcionar de salida una señal al medio de realimentación (36) cuando la tensión aplicada cae por debajo de dicha tensión predeterminada inferior (V3) provocando que una señal de realimentación sea transmitida a la unidad primaria (10).
7. Sistema inductivo de transferencia de potencia según cualquier reivindicación precedente, que comprende además un condensador de sintonización (74) conectado en paralelo con el arrollamiento secundario (16).
- 40 8. Sistema inductivo de transferencia de potencia según la reivindicación 7, en que el condensador de sintonización (74) está dispuesto para resonar a una frecuencia predeterminada cuando la anchura del hueco de aire que separa los núcleos de transformador de los arrollamientos primario y secundario (14, 16) es un valor máximo predeterminado.
9. Sistema inductivo de transferencia de potencia según cualquier reivindicación precedente, en que la anchura del
45 hueco de aire (18) entre los arrollamientos primario y secundario (14, 16) está en el intervalo de 1 a 6 mm.
10. Sistema inductivo de transferencia de potencia según cualquier reivindicación precedente, en que en la operación en modo de baja potencia, es aplicada potencia al arrollamiento primario sobre un 5% del ciclo de conmutación.
11. Sistema inductivo de transferencia de potencia según cualquier reivindicación precedente, en que en la
50 operación en modo de alta potencia, es aplicada potencia al arrollamiento primario sobre un 95% del ciclo de conmutación.
12. Sistema inductivo de transferencia de potencia según cualquier reivindicación precedente, en que la fuente de potencia (24) está dispuesta para producir una tensión dc de salida de 270 V.

13. Sistema inductivo de transferencia de potencia según cualquier reivindicación precedente, en que la fuente de potencia (24) incluye una fuente de potencia local (26) dispuesta para alimentar componentes dentro de la unidad primaria (20).
- 5 14. Sistema inductivo de transferencia de potencia según cualquier reivindicación precedente, en que el medio de realimentación (32, 36) comprende un sistema infrarrojo.
15. Sistema inductivo de transferencia de potencia según cualquier reivindicación precedente, en que el medio de conmutación comprende un amplificador de potencia que aplica potencia al arrollamiento primario en un formato reversible (*push-pull*).
- 10 16. Sistema inductivo de transferencia de potencia según cualquier reivindicación precedente, en que la unidad primaria (20) es portada por una aeronave anfitriona y la unidad secundaria es portada por un vehículo lanzable (22).
17. Sistema inductivo de transferencia de potencia según cualquier reivindicación precedente, en que dicha tensión aplicada puede ser regulada entre las tensiones predeterminadas superior e inferior independientemente de variaciones del suministro de entrada a la unidad primaria, variaciones en el hueco de aire entre las unidades primaria y secundaria y variaciones en la intensidad de corriente demandada por la carga.
- 15 18. Sistema inductivo de transferencia de potencia según cualquier reivindicación precedente, en que un condensador de almacenamiento (76) está acoplado al arrollamiento secundario (16) y cuando la tensión aplicada supera una tensión predeterminada superior y la señal de realimentación está desactivándose el condensador de almacenamiento se descarga hacia la carga.

Fig.1.

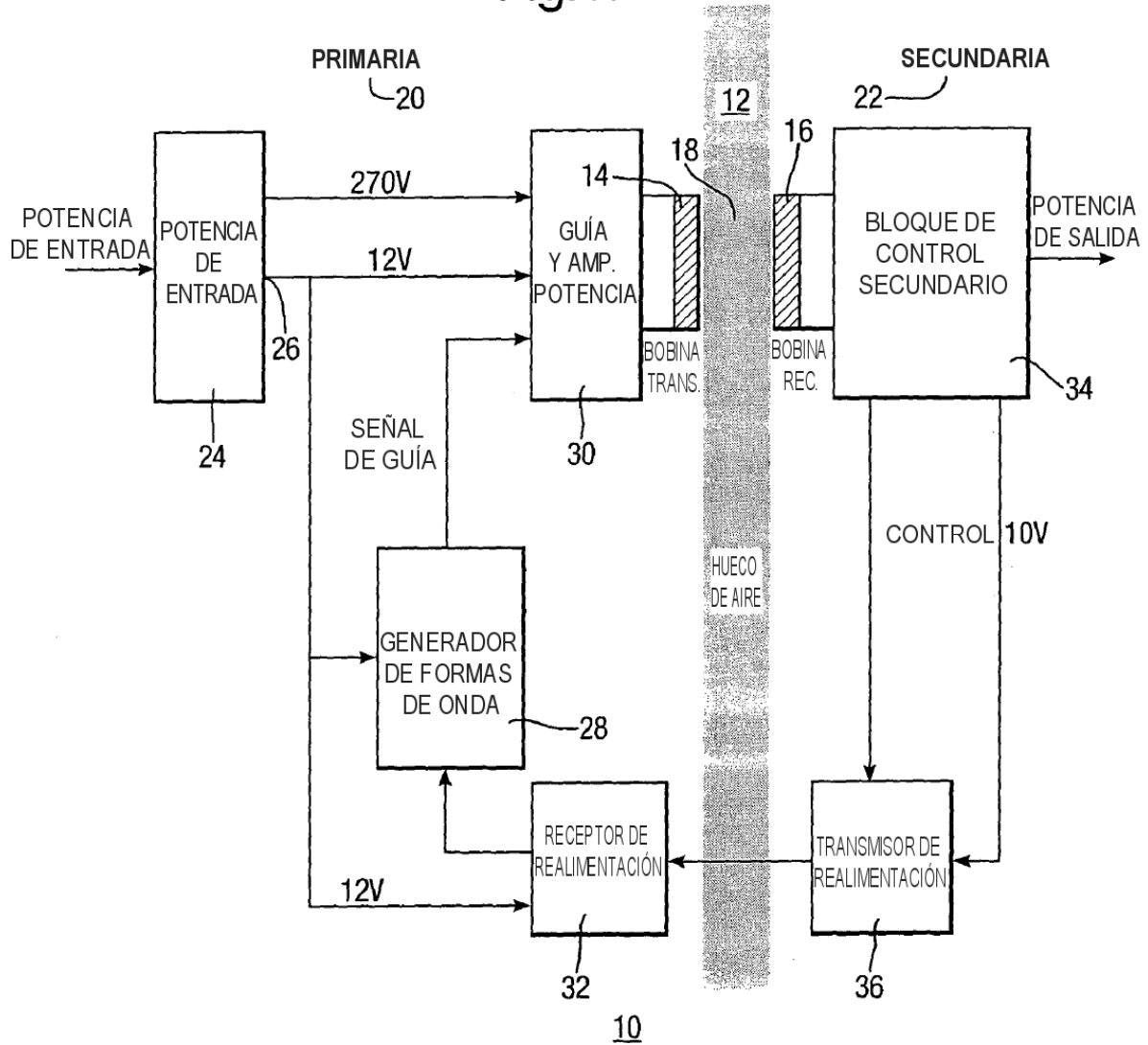


Fig.2a.

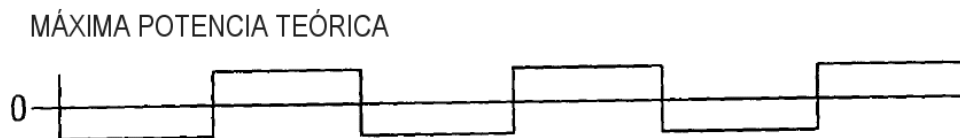


Fig.2b.



Fig.2c.



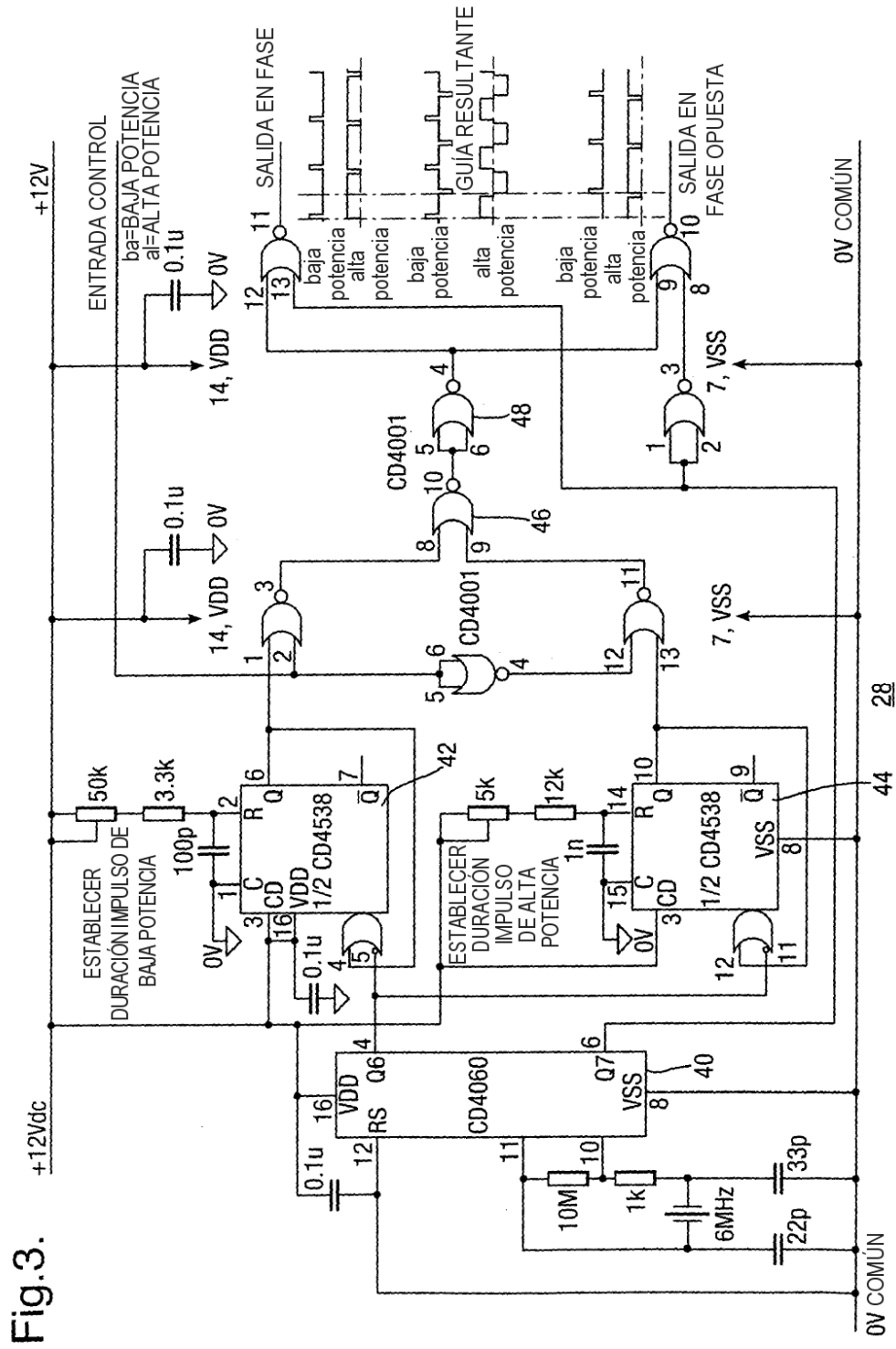


Fig.4.

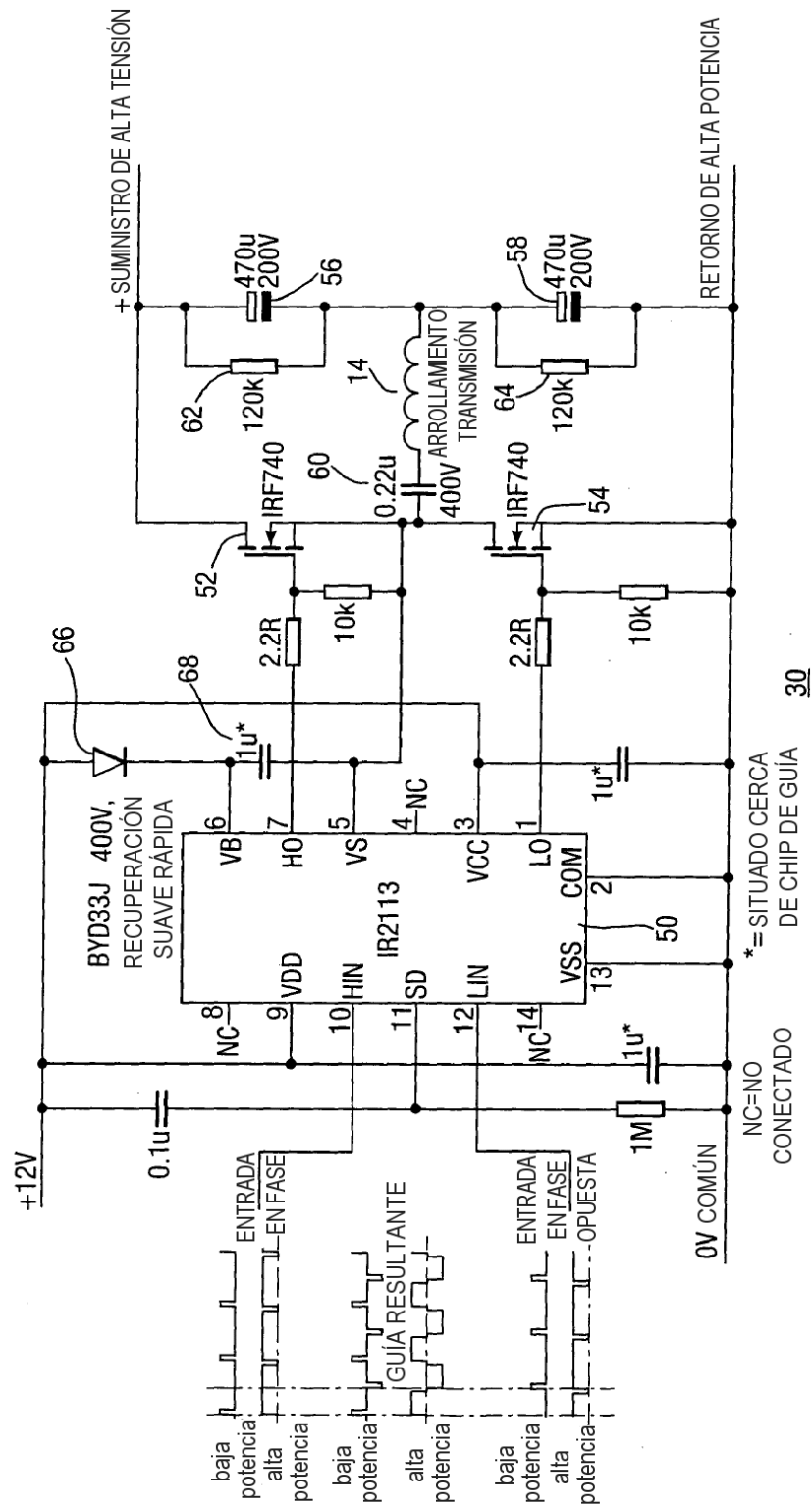
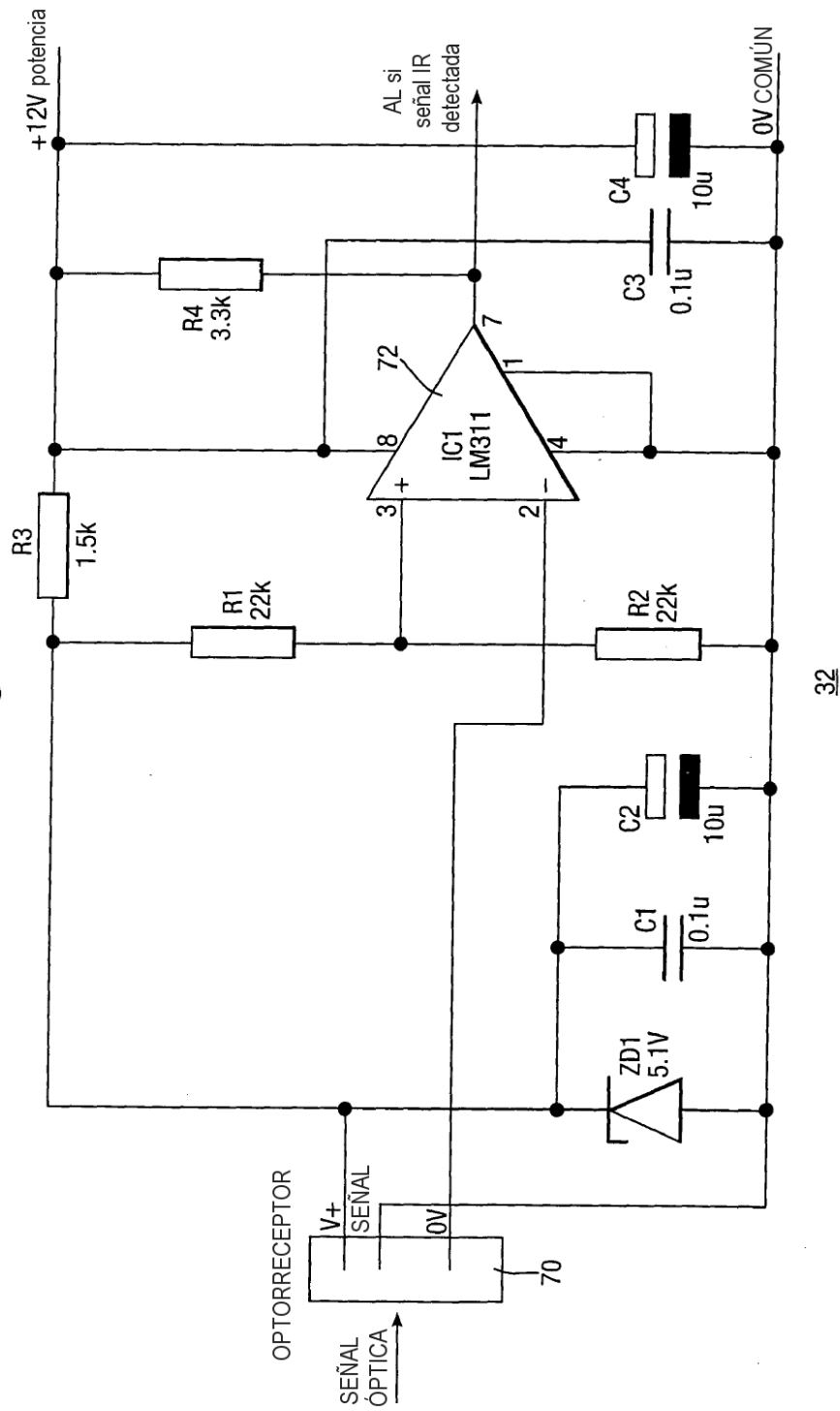


Fig.5.



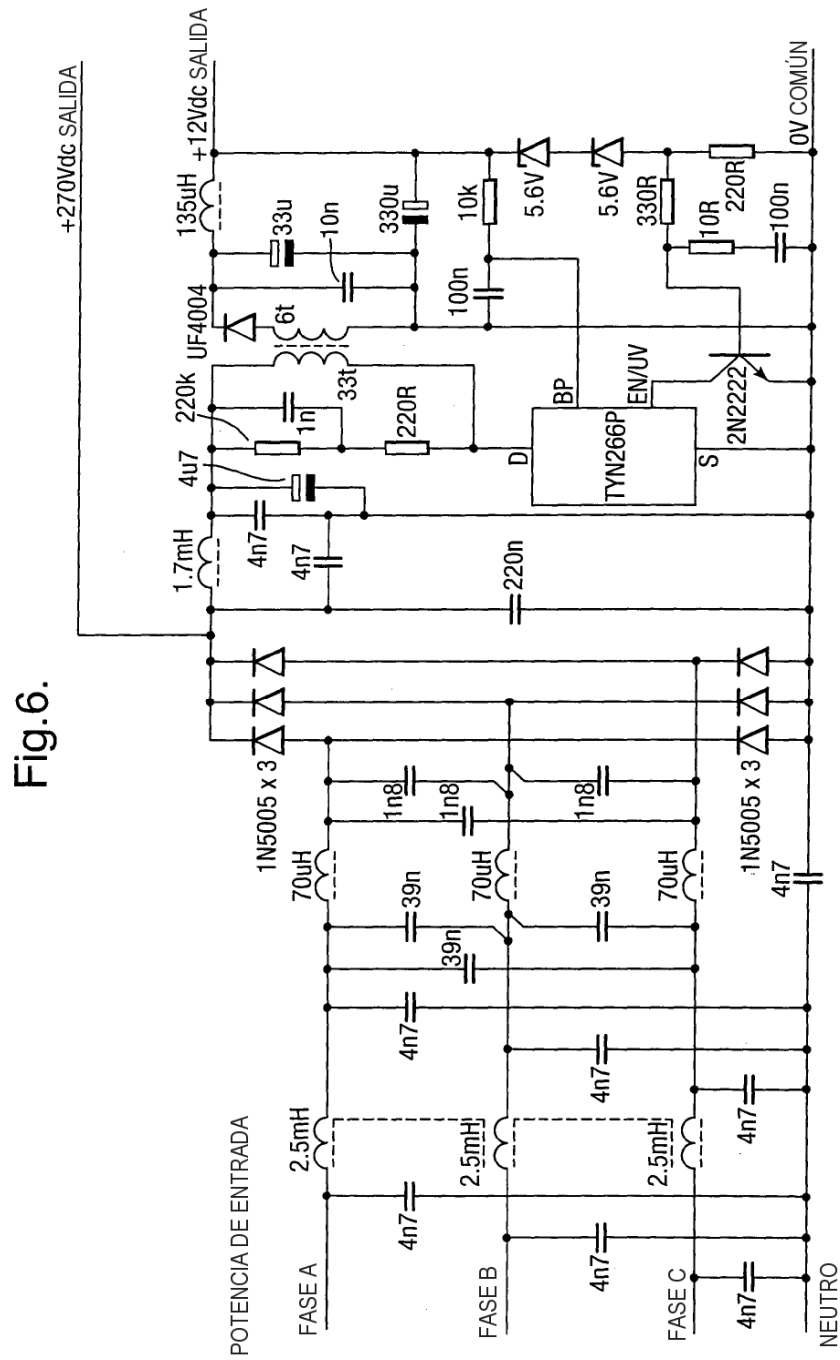


Fig. 6.

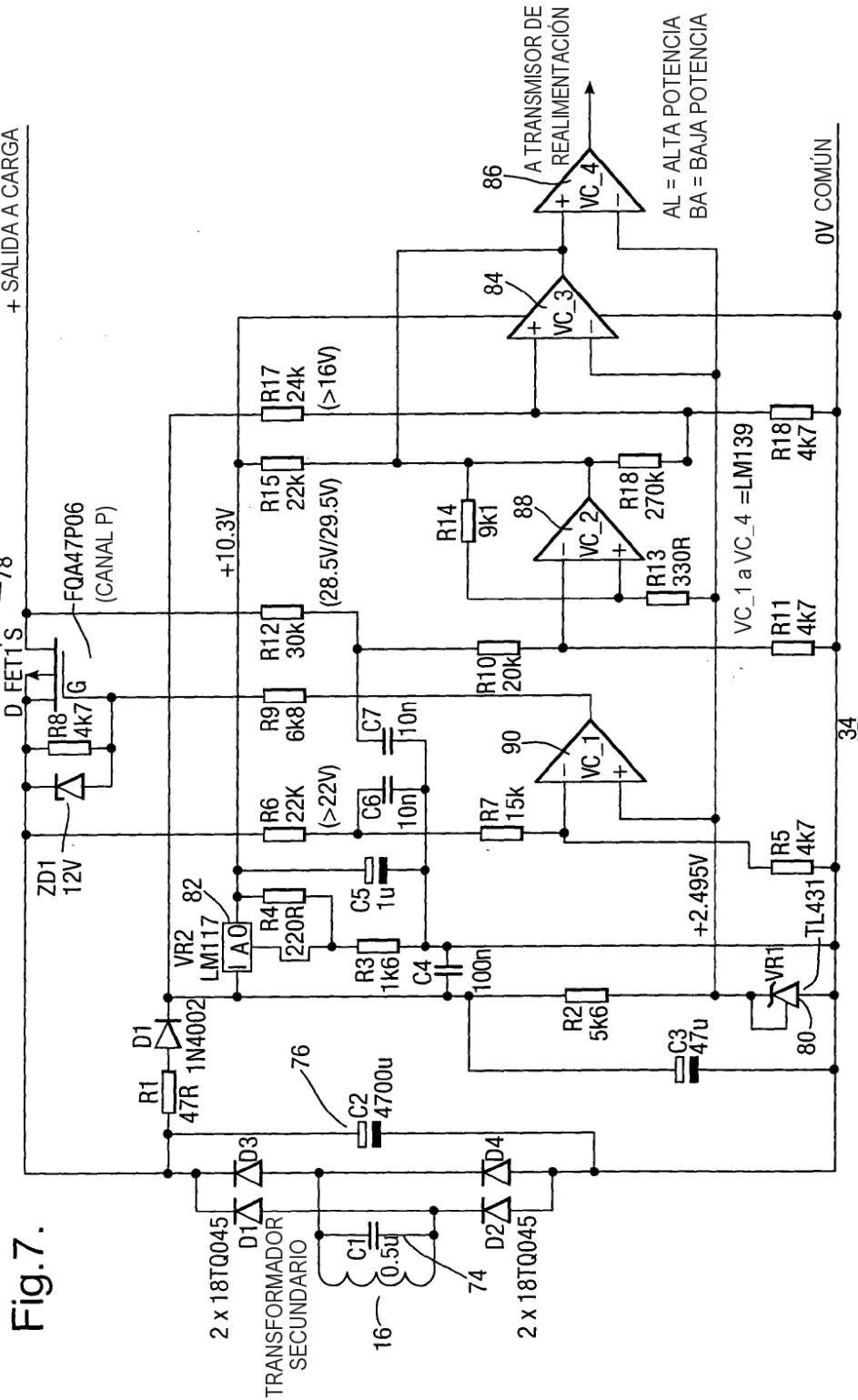


Fig.8a.

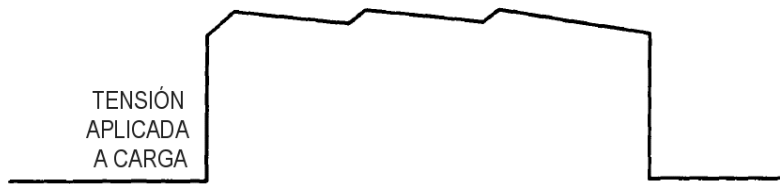


Fig.8b.

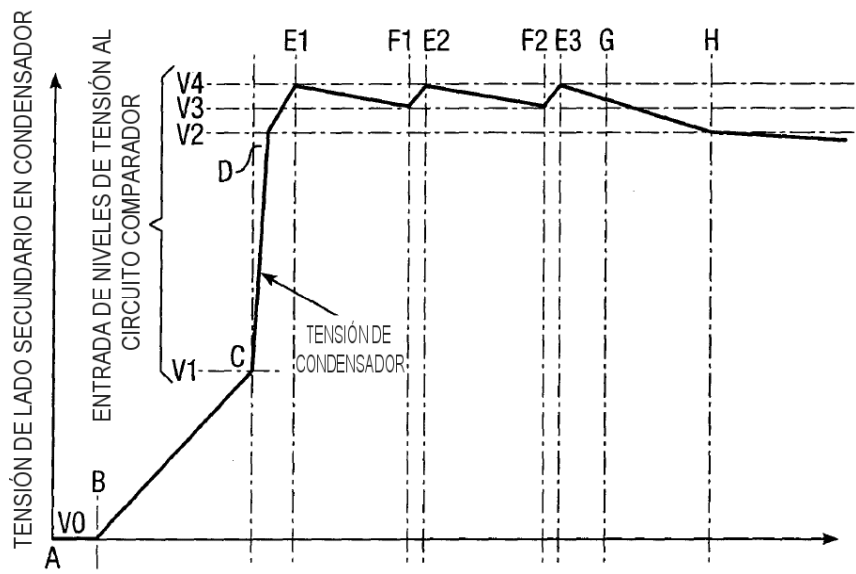


Fig.8c.



Fig.9.

