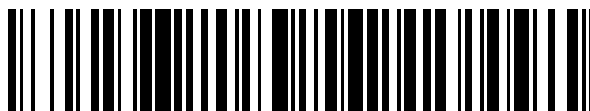


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 579 203**

51 Int. Cl.:

H02J 9/06 (2006.01)

B60L 1/00 (2006.01)

B60L 3/00 (2006.01)

B60L 9/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.07.2008 E 08161463 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.03.2016 EP 2020726**

54 Título: **Procedimiento de alimentación de cargas auxiliares de emergencia, convertidor auxiliar y vehículo ferroviario para este procedimiento**

30 Prioridad:

03.08.2007 FR 0756933

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

08.08.2016

73 Titular/es:

**ALSTOM TRANSPORT TECHNOLOGIES (100.0%)
3, avenue André Malraux
92300 Levallois-Perret, FR**

72 Inventor/es:

**BOUSAADA, JOHNNY y
MASSELUS, JEAN-EMMANUEL**

74 Agente/Representante:

PONTI SALES, Adelaida

ES 2 579 203 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

Procedimiento de alimentación de cargas auxiliares de emergencia, convertidor auxiliar y vehículo ferroviario para este procedimiento.

5

[0001] La presente invención se refiere a un procedimiento de alimentación de cargas auxiliares de emergencia, un convertidor auxiliar y un vehículo ferroviario que emplea este procedimiento.

[0002] Un procedimiento de alimentación de cargas eléctricas a partir de un dispositivo recargable de almacenamiento de energía se describe en el documento US20007/159858 A1 y también en el artículo "A novel three-phase three-port UPS employing a single high-frequency isolation transformer" (Chuanhong Zhao; Kolar J W, 2004 IEEE 35th Annual Power Electronics Specialists Conference, 20-25 de junio de 2004, Aachen, Alemania).

[0003] Existen procedimientos de alimentación de carga auxiliar de emergencia de un vehículo ferroviario a partir de un dispositivo recargable de almacenamiento de energía eléctrica incorporado en el vehículo. El dispositivo de almacenamiento de energía es capaz de almacenar una cantidad de energía suficiente para permitir, en un modo de emergencia, el funcionamiento de las cargas auxiliares de emergencia durante más de treinta minutos a partir de esta única fuente de energía, normalmente entre 30 minutos y una hora.

[0004] Los procedimientos existentes constan de un modo normal en el que un cargador de batería alimenta las cargas auxiliares a baja tensión y carga el dispositivo de almacenamiento de energía eléctrica, siendo este cargador capaz de producir una tensión continua que permite cargar el dispositivo de almacenamiento de energía eléctrica a partir de una tensión trifásica.

[0005] La invención propuesta se refiere a la mejora de un convertidor auxiliar:

- para alimentación continua desde una catenaria bajo tensión continua o desde un puente monofásico de conmutación forzada (PMCF) en el caso de una catenaria bajo tensión alterna,

de topología general DPI (*Direct PWM Inverter*), con transformador de baja frecuencia en la salida (normalmente 50 Hz o 60 Hz),

- con un cargador de batería alimentado por el transformador de baja frecuencia y eventualmente también a partir de una toma de puerto de 400 Vac.

35

[0006] La tensión trifásica se obtiene a partir de la energía eléctrica continua captada en una catenaria mediante un ondulador o en un bus intermedio de corriente continua alimentado por un puente rectificador monofásico de conmutación forzada (PMCF) en el caso de una catenaria bajo tensión alterna.

[0007] El cargador consta de:

- tres bornes de entrada conectados, cada uno, a una de las fases de la tensión trifásica,

- al menos dos bornes de salida, generalmente tres, de los cuales dos están conectados al dispositivo de almacenamiento de energía eléctrica, a los que se suministra la tensión continua rectificada.

[0008] En efecto, generalmente, los cargadores de batería tienen tres bornes de salida: dos con polaridad positiva y uno con polaridad negativa, el primer borne con polaridad positiva está conectado directamente a la batería. El segundo borne con polaridad positiva está dotado de un diodo antirretorno, alimenta las cargas auxiliares que deben ser alimentadas bajo tensión continua, permitiendo de este modo crear una red auxiliar de baja tensión alimentada eventualmente por varias baterías y varios cargadores en un tren, con la garantía de que, en caso de cortocircuito de una batería o de un cargador, el bus siga estando alimentado.

[0009] El cargador también consta de

55

- un rectificador trifásico del que cada uno de los tres brazos está conectado en entrada a la red trifásica y cuya salida continua está conectada a los bornes de salida del cargador de batería, siendo el rectificador un puente de tiristores, o un puente mixto de tiristor y diodos,

- una unidad de control de la conmutación de los tiristores para rectificar la tensión trifásica.

[0010] Las cargas auxiliares de un vehículo ferroviario son todas las cargas eléctricas incorporadas en un vehículo ferroviario a excepción de los motores de propulsión del vehículo ferroviario. Estas cargas auxiliares son de dos tipos:

- cargas trifásicas alternas alimentadas a media tensión, y
- cargas alimentadas a baja tensión.

10

[0011] Las cargas trifásicas alternas de media tensión son alimentadas por razones de redundancia por varios convertidores auxiliares mediante redes diferentes (generalmente dos), que pueden conectarse en caso de avería de un convertidor auxiliar gracias a un contactor de acoplamiento entre ellas o mediante una red única, estando entonces los convertidores auxiliares sincronizados entre sí. Por media tensión, se debe entender una tensión trifásica comprendida entre 350 Vac y 500 Vac. Estas cargas auxiliares de media tensión son, por ejemplo, climatizadores, radiadores para calentar el interior de los coches, luces o humidificadores.

15

[0012] Las cargas alimentadas a baja tensión continua son alimentadas por la red de baja tensión con la batería tampón, siendo las tensiones de batería normalizadas de 24, 48, 72, 96 y 110 Vdc. Estas cargas auxiliares de baja tensión son por ejemplo de aparellaje, elementos electrónicos de control, servicios de información al viajero, toda o una parte de la iluminación...

20

[0013] Por convertidor auxiliar, se designa el equipo eléctrico capaz de producir la media tensión trifásica y la baja tensión continua que alimentan las cargas auxiliares a partir de la energía eléctrica captada por medio de la catenaria. Generalmente, este equipo está alojado en el interior de un mismo recinto.

25

[0014] Se designa también en este texto, por «baja tensión» una tensión continua cuyo valor es inferior a 150 Vdc.

30

[0015] Por el término «catenaria» se designa, tanto cables aéreos suspendidos por encima de las vías de ferrocarril y que permiten alimentar el vehículo ferroviario, como un tercer rail en el suelo que se extiende a lo largo de las vías de ferrocarril y sobre el que roza un patín, para alimentar el vehículo ferroviario con energía eléctrica.

35

[0016] La frecuencia de conmutación de un elemento electrónico controlable de conmutación de potencia se define como inversa al número de conmutaciones de este elemento por unidad de tiempo. Esta frecuencia de conmutación es, normalmente igual a la frecuencia de la portadora de una modulación de anchura de pulsos cuando los instantes de conmutación se determinan mediante dicho procedimiento. La expresión «modulación de anchura de pulsos» es, a veces, más conocida con el acrónimo de PWM (*Pulse Width Modulation*).

40

[0017] En los procedimientos existentes, los interruptores controlables están formados por tiristores y un filtro de paso bajo está conectado entre los bornes de salida del cargador para alisar la tensión continua rectificada. Este filtro consta normalmente de un condensador y una inductancia en serie, este tipo de filtro es necesario, ya que "almenas" de tensión son aplicadas por los tiristores a la salida del rectificador.

45

[0018] Actualmente, este filtro L-C es voluminoso y pesado, y la presencia de armónicos de rectificación impone también limitaciones al filtro trifásico de la red de media tensión.

50

[0019] Gracias a un rectificador regenerativo del tipo descrito en el artículo IEEE «PWM Regenerative Rectifiers: state of the Art» de J. Rodríguez et al., en lugar del rectificador de tiristores, es posible suprimir la inductancia del filtro del cargador así como los armónicos de baja frecuencia debidos a la rectificación.

55

[0020] Por otro lado, algunas cargas auxiliares con alimentación trifásica alterna concretamente la ventilación de emergencia de los metros, requieren la instalación de onduladores dedicados conectables a la batería, para poder ser alimentados en modo de emergencia, es decir en ausencia de tensión de la catenaria, no estando ya alimentado el ondulator principal alimentado en modo normal por la catenaria.

[0021] Esto constituye una masa y un volumen importantes de equipos y, por consiguiente, un coste de fabricación más elevado.

[0022] El problema técnico es disminuir la masa y el volumen de los equipos necesarios en modo normal y en modo de emergencia, al tiempo que se conservan las prestaciones de filtración de los armónicos obtenidos para las configuraciones de equipos actuales.

5 **[0023]** A tal efecto, la invención tiene por objeto un procedimiento de alimentación de cargas auxiliares trifásicas en el que el procedimiento comprende las etapas que consisten en que:

- se suministran, en cada brazo del rectificador, dos elementos electrónicos controlables de conmutación de potencia que pueden cerrarse y abrirse de manera controlada y conmutar en modo normal la corriente que circula por el brazo
10 en el que están colocados,

- en modo normal, una unidad de control controla el encendido y el apagado de los elementos electrónicos en instantes determinados para rectificar la tensión trifásica, siendo la frecuencia de conmutación de los elementos electrónicos superior a al menos veinte veces la frecuencia fundamental de la tensión trifásica, y
15

- en modo de emergencia, es decir en ausencia de tensión de la catenaria, el ondulator principal ya no está controlado y el cargador de batería está controlado como un ondulator por la unidad de control,

- la unidad de control controla la conmutación de los elementos electrónicos del estado pasante hacia el estado no pasante y viceversa en instantes determinados para producir una tensión trifásica en la red auxiliar que permita el funcionamiento de las cargas auxiliares de emergencia, produciéndose esta tensión trifásica a partir de la energía almacenada en el dispositivo de almacenamiento de energía eléctrica.
20

[0024] En el procedimiento anterior, el hecho de utilizar elementos electrónicos controlables, concretamente transistores, permite determinar libremente no solamente el instante de encendido, sino también el instante de apagado. Un transistor ofrece, por lo tanto, más posibilidades de control que un tiristor del que solamente puede controlarse el encendido. Esta posibilidad adicional se emplea en este caso para cortar la corriente a rectificar con una frecuencia de conmutación mucho más elevada que la frecuencia de la tensión trifásica. El corte de alta frecuencia permite utilizar la inductancia de fuga del transformador para efectuar el alisado de la corriente y, por lo tanto, prescindir de inductancia de salida, el rectificador se transforma de este modo en fuente de corriente. Los armónicos de corriente creados de este modo pueden ser filtrados por un condensador colocado a la salida del cargador de batería.
25
30

[0025] Además, debido a que el rectificador está compuesto por seis elementos electrónicos controlables de conmutación de potencia, es intrínsecamente reversible, es decir que puede estar controlado como un ondulator en ausencia de tensión de la catenaria (modo de emergencia). Puede alimentar entonces ciertas cargas auxiliares con alimentación alterna (ventilación de emergencia) sin recurrir a un ondulator de emergencia específico e independiente.
35

40 **[0026]** Las realizaciones de este procedimiento pueden constar de una o varias de las siguientes características:

- la frecuencia de conmutación de los elementos electrónicos es también al menos veinte veces superior a la frecuencia fundamental de la tensión trifásica producida;
45

- en modo normal, un transformador trifásico produce una media tensión trifásica comprendida entre 350 y 500 Vac en el bus auxiliar a partir de la energía captada en la catenaria para alimentar las cargas auxiliares que están conectadas a este bus auxiliar;

50 - la catenaria está en tensión continua y en modo normal, un ondulator produce una tensión trifásica en la entrada del transformador trifásico a partir de la energía captada en la catenaria,

- la catenaria está en tensión alterna y en modo normal un puente rectificador monofásico produce una tensión rectificadora continua en la entrada de un ondulator conectado en la entrada al transformador trifásico,
55

- en modo normal, la unidad de control es capaz de controlar de manera síncrona los interruptores controlables de los tres brazos y del ondulator,

- los elementos electrónicos controlables de conmutación de potencia son transistores (preferentemente de tipo

IGBT) o GTO (*Gate Turn off thyristor*),

- en modo normal:

- 5 - la unidad de control establece una magnitud representativa de la potencia activa a partir de medidas de la corriente trifásica y de la tensión trifásica,
- la unidad de control adquiere una consigna de potencia activa que determina el valor de la potencia activa transferida por el cargador entre sus bornes de entrada y de salida y también el sentido de transferencia de la potencia activa entre sus bornes,
- 10 - la unidad de control determina los instantes de conmutación de los elementos electrónicos controlables de conmutación de potencia en función de la diferencia entre la consigna de potencia activa y la magnitud establecida representativa de la potencia activa;
- 15 - la unidad de control establece una magnitud representativa de la potencia reactiva a partir de medidas de la corriente trifásica y de la tensión trifásica,
- la unidad de control está programada con una consigna de potencia reactiva que determina el valor de la potencia reactiva transferida por el cargador entre sus bornes de entrada y de salida y también el sentido de transferencia de la potencia reactiva entre sus bornes,
- 20 - la unidad de control determina los instantes de conmutación de los transistores en función de la diferencia entre la consigna de potencia reactiva y la magnitud establecida representativa de la potencia reactiva;
- 25 - en modo normal, la consigna de potencia reactiva es nula;
- en modo de emergencia, la unidad de control regula la tensión y la frecuencia de la red a valores predeterminados inscritos en una memoria;
- 30 - antes de una transición del modo normal hacia el modo de emergencia, la unidad de control determina los instantes de conmutación de los transistores, de modo que se anule la diferencia entre la fase de la tensión trifásica medida en el bus auxiliar y la fase de la tensión trifásica entre los bornes de entrada del cargador, estando esta última fase en función únicamente de los instantes de conmutación de los transistores.

35 **[0027]** Estas realizaciones del procedimiento de alimentación presentan, además, las siguientes ventajas:

- el control de la conmutación de los transistores para producir una tensión trifásica permite utilizar los mismos transistores para cargar el dispositivo de almacenamiento de energía y alimentar las cargas auxiliares de emergencia, lo que disminuye el coste y el volumen de los equipos necesarios para alimentar las cargas auxiliares de emergencia,
- 40 - utilizar un transformador trifásico para producir la media tensión que alimenta el bus auxiliar permite utilizar el mismo bus auxiliar para alimentar las cargas auxiliares de emergencia tanto en el modo normal como en el modo de emergencia,
- 45 - determinar los instantes de conmutación de los transistores en función de la diferencia entre la consigna de potencia reactiva y la magnitud medida representativa de la potencia reactiva permite regular la potencia reactiva que transita por los bornes de entrada hacia los bornes de salida del cargador,
- 50 - imponer una potencia reactiva nula en modo normal permite limitar las pérdidas de energía,
- determinar los instantes de conmutación de los transistores en función de la diferencia entre la fase de la tensión trifásica en el bus auxiliar y la fase de la tensión entre los bornes de entrada del cargador permite garantizar una continuidad de la fase de la tensión trifásica en el bus auxiliar cuando se pasa del modo normal al modo de emergencia.
- 55 - presentando el modo de emergencia la particularidad de generar de tensión en la entrada del ondulator principal, mediante rectificación pasiva de la tensión trifásica en el primario del transformador, este fenómeno puede

aprovecharse para

o Precargar el condensador del filtro de entrada del ondulator principal a partir de la batería, haciendo funcionar el cargador de batería como ondulator (supresión del contactor y de la resistencia de precarga),

5

o recrear la tensión en la catenaria, lo que podría utilizarse como fuente de energía para hacer avanzar al tren en ausencia de catenaria,

[0028] La invención también tiene por objeto un convertidor auxiliar, constando este convertidor de:

10

- un ondulator trifásico capaz de generar una tensión trifásica a partir de la energía eléctrica captada en una catenaria,

15 - un transformador trifásico con tres conjuntos primario, secundario y terciario de bobinados, conectado a la salida trifásica del ondulator por el primario del transformador, siendo el conjunto ondulator/transformador capaz, en modo normal, de transformar la tensión de la catenaria en media tensión trifásica comprendida entre 350 Vac y 500 Vac suministrable al secundario del transformador en una red auxiliar de alimentación de cargas auxiliares,

20 - un cargador, conectado al terciario del transformador y capaz, en modo normal, de generar una tensión continua rectificadora a partir de la tensión trifásica producida por el ondulator trifásico, constando este cargador de:

- tres bornes de entrada conectados, cada uno, a un bobinado del terciario del transformador,

25 • dos bornes de salida conectados al dispositivo de almacenamiento de energía eléctrica, a los que se suministra la tensión continua rectificadora,

- tres brazos conectados en paralelo entre los dos bornes de salida, constando cada brazo de dos interruptores controlables conectados en serie por medio de un punto medio, estando cada punto medio conectado a un borne de entrada respectivo,

30

- una unidad de control de la conmutación de los interruptores para rectificar la tensión trifásica,

35 - los interruptores constan, cada uno, de al menos un elemento electrónico controlable de conmutación de potencia que puede abrirse, estado no pasante, y cerrarse, estado pasante, de manera controlada y puede conmutar la corriente que circula por el brazo en el que está colocado, y

40 - la unidad de control es capaz de controlar la conmutación de los elementos electrónicos del cargador del estado pasante hacia el estado no pasante y del estado no pasante hacia el estado pasante en instantes determinados para rectificar la tensión trifásica, siendo la frecuencia de conmutación de los elementos electrónicos superior a al menos veinte veces la frecuencia fundamental de la tensión trifásica.

[0029] Las realizaciones de este convertidor pueden constar de una o varias de las siguientes características:

45 - la unidad de control es capaz, en modo de emergencia, de controlar la conmutación de los elementos electrónicos del estado pasante hacia el estado no pasante y viceversa en instantes determinados para producir una tensión trifásica entre los bornes de entrada a partir de la tensión continua presente entre sus bornes de salida, siendo la frecuencia de conmutación de los transistores al menos veinte veces superior a la frecuencia de la tensión trifásica producida;

50 - el cargador está aislado eléctricamente del ondulator trifásico por medio del transformador trifásico.

[0030] La invención también tiene por objeto un vehículo ferroviario que consta de:

55 - una red auxiliar trifásica,

- al menos una carga auxiliar de emergencia cuya alimentación debe mantenerse durante más de treinta minutos en un modo de emergencia, estando esta carga conectada a la red auxiliar,

- un dispositivo recargable de almacenamiento de energía eléctrica conectable a cada carga auxiliar de emergencia,

siendo este dispositivo capaz de almacenar una cantidad de energía suficiente para permitir, en modo de emergencia, el funcionamiento de todas las cargas auxiliares de emergencia durante más de diez minutos a partir de esta única fuente de energía,

5 - al menos el convertidor auxiliar anterior para alimentar la red auxiliar.

[0031] La invención se entenderá mejor con la lectura de la descripción a continuación, que se da únicamente a modo de ejemplo no limitante y realizada en referencia a los dibujos, en los que:

10 - la figura 1 es una ilustración esquemática de un vehículo ferroviario equipado con un cargador de batería,

- la figura 2 es una ilustración esquemática de una unidad de control del cargador de batería de la figura 1,

15 - la figura 3 es un organigrama de un procedimiento de alimentación de cargas auxiliares de emergencia en el vehículo de la figura 1,

- la figura 4 es un gráfico que representa cierto número de vectores utilizados en el procedimiento de la figura 3,

20 - la figura 5 es una ilustración esquemática de un modelo del cargador de batería del vehículo ferroviario de la figura 1 utilizado para simular el procedimiento de la figura 3,

- las figuras 6, 10 y 14 son cronogramas que ilustran el aspecto de la forma de onda de una fase de la corriente trifásica producida por el cargador de batería,

25 - las figuras 7 y 11 son gráficos que representan el espectro de la corriente representada, respectivamente, en las figuras 6 y 10,

- las figuras 8, 12 y 15 son cronogramas que representan la evolución de la tensión continua rectificada por el cargador de batería para diferentes frecuencias de conmutación, y

30

- las figuras 9 y 13 son gráficos que ilustran el espectro de las tensiones ilustradas, respectivamente, en las figuras 8 y 12.

[0032] En estas figuras, se utilizan las mismas referencias para designar los mismos elementos.

35

[0033] En lo sucesivo en esta descripción, las características y funciones bien conocidas por el experto en la materia no se describen en detalle.

[0034] La figura 1 representa un vehículo ferroviario 2 alimentado con electricidad por medio de un pantógrafo 4 que roza contra una catenaria 6 de alimentación. La catenaria 6 es alimentada con alta tensión, es decir normalmente una tensión continua de un valor nominal superior o igual a 600 Vdc. Por ejemplo en este caso, la tensión de alimentación de la catenaria 6 es igual a 1500 Vdc.

[0035] El vehículo 2 es, por ejemplo, un metro equipado con una ventilación de emergencia, un tren o un tranvía.

45

[0036] El vehículo 2 comprende un convertidor auxiliar 10 capaz de alimentar con media tensión trifásica una red auxiliar 12. La tensión trifásica en el bus 12 es igual a 400 Vac.

50 **[0037]** La red auxiliar 12 comprende tres conductores de fase 14 a 16 y un conductor neutro 18.

[0038] Normalmente, la red auxiliar 12 se extiende por varios coches del vehículo 2.

[0039] Como variante, el vehículo 2 comprende al menos dos convertidores auxiliares y generalmente al menos dos bus a 400 Vac.

55

[0040] El conjunto de las cargas auxiliares incorporadas en este vehículo 2 están conectadas al bus 12. Las cargas de baja tensión continua no se representan en este caso.

- [0041]** Las cargas auxiliares están distribuidas en dos grupos, un grupo de cargas auxiliares simples y un grupo de cargas auxiliares de emergencia. Las cargas auxiliares simples son aquellas que deben ser alimentadas en modo normal y que no deben ser alimentadas en modo de emergencia. El modo normal se define, en este caso, como siendo el modo de funcionamiento en el que las cargas auxiliares simples son alimentadas a partir de la energía captada por medio del pantógrafo 4. Las cargas auxiliares de emergencia también son alimentadas por medio del bus 12 a partir de la energía captada por medio del pantógrafo 4 en modo normal.
- [0042]** Se define el modo de emergencia como siendo el modo de funcionamiento en el que solamente se alimentan las cargas auxiliares de emergencia. En el modo de emergencia, estas cargas son alimentadas únicamente a partir de un dispositivo de almacenamiento de energía eléctrica incorporado en el vehículo 2.
- [0043]** Normalmente, el modo de emergencia corresponde a un modo de funcionamiento del vehículo 2 tras una interrupción de la alimentación del vehículo 2 a partir de la catenaria 6. Dicha interrupción de la alimentación puede ser de origen accidental o ser provocado.
- [0044]** Para simplificar la figura 1, solamente se han representado una carga auxiliar simple 20 y una carga auxiliar 22 de emergencia.
- [0045]** La carga 20 es, por ejemplo, la climatización de un coche. La carga 20 está conectada a la red auxiliar 12 por medio de un contactor controlable 24. El contactor 24 es capaz de aislar eléctricamente la carga 20 del bus 12 en modo de emergencia.
- [0046]** La carga 22 está conectada, sin pasar por contactores, a la red 12 de modo que es alimentada tanto en modo normal como en modo de emergencia. La carga 22 es, por ejemplo, un ventilador para hacer circular aire en uno de los coches del vehículo 2 alimentado con media tensión.
- [0047]** El convertidor 10 es, también en este caso, capaz de alimentar con baja tensión un bus continuo formado por dos conductores 28 y 30 aislados eléctricamente entre sí. En este caso, la baja tensión es normalmente igual a 110 Vdc.
- [0048]** Un dispositivo recargable 32 de almacenamiento de energía eléctrica está conectado eléctricamente entre los conductores 28 y 30. El dispositivo recargable 32 de almacenamiento de energía comprende dos bornes de salida.
- [0049]** El dispositivo 32 es adecuado para almacenar suficiente energía para permitir alimentar sin ayuda alguna las cargas auxiliares de emergencia durante más de treinta minutos. Por ejemplo, en este caso, el dispositivo 32 es una batería.
- [0050]** El convertidor 10 está conectado por medio de conductores 36 y 38 aislados eléctricamente entre sí.
- [0051]** El convertidor 10 comprende, alojado en un solo y único recinto metálico, conectados unos después de otros y en el orden a continuación, los siguientes elementos:
- un circuito de aislamiento y de precarga 40,
 - un filtro 42,
 - un ondulator 44,
 - un filtro de salida sinusoidal constituido por un conjunto de tres inductancias trifásicas L1, L2, L3 y, de un conjunto de condensadores C1, C2, C3
 - un transformador 48.
- [0052]** El circuito 40 comprende un interruptor o contactor 50 conectado en serie con el conductor 36 para poder aislar el convertidor cuando el interruptor 50 está abierto y, en alternancia, para conectar el convertidor a su alimentación cuando el interruptor 50 está cerrado.
- [0053]** Como variante, en el caso de una catenaria alternativa, el convertidor 10 está conectado por medio de

los conductores 36 y 38 a un puente monofásico de conmutación forzada (PMCF) alimentado por la catenaria mediante un transformador.

5 **[0054]** El circuito 40 comprende también, conectado en paralelo al interruptor 50, un interruptor controlable o contactor 52 conectado en serie con una resistencia 54 de precarga. Los circuitos de precarga se conocen y el circuito 40 no se describe, por lo tanto en el presente documento con más detalle.

10 **[0055]** El filtro 42 es un filtro LC que consta de una inductancia L conectada en serie al conductor 36 y un condensador C_f conectado entre el conductor 36 y el conductor 38.

15 **[0056]** El ondulator 44 es capaz de transformar la tensión continua filtrada por el filtro 42 en una tensión trifásica de frecuencia f_T . Normalmente, la frecuencia f_T está comprendida entre 45 Hz y 65 Hz. En este caso, la frecuencia f_T es igual a 50 Hz. Cada una de las fases de la tensión trifásica producida es suministrada por un borne respectivo 58 a 60.

20 **[0057]** El filtro de salida sinusoidal permite filtrar la tensión trifásica producida por el ondulator 44 en los bornes 58 a 60. Por ejemplo, el filtro de salida sinusoidal está formado por tres inductancias L_1 , L_2 y L_3 conectadas por un extremo, respectivamente, a los bornes 58 a 60 y por el otro extremo a bornes respectivos 62 a 64 de salida del filtro 46. En la práctica, las inductancias L_1 , L_2 , L_3 están integradas en forma de inductancias de fuga del transformador.

25 **[0058]** Los bornes 62, 63 y 64 están conectados a un extremo respectivo de tres bobinados primarios 70 a 72 del transformador 48. Los bobinados primarios 70 a 72 están conectados en triángulo y forman un conjunto de bobinados primario.

30 **[0059]** Estos bobinados primarios 70 a 72 están conectados mediante acoplamiento electromagnético a tres bobinados secundarios 74 a 76 que forman un conjunto de bobinados secundario, conectados en estrella. Los extremos de los bobinados 74 a 76 que no están conectados al punto medio de la estrella están conectados, respectivamente, a los bornes 78 y 80 de salida de la media tensión trifásica. El punto medio de la conexión en estrella de los bobinados secundarios está conectado a un borne de salida 82.

[0060] Los condensadores C_1 , C_2 y C_3 están conectados respectivamente entre los bornes 78 y 79, 79 y 80, y 78 y 80.

35 **[0061]** La relación del número de espiras entre los bobinados primarios y secundarios se selecciona para suministrar una media tensión trifásica a los bornes 78 a 80. Los bornes 78 a 80 y el borne 82 están, respectivamente, conectados a los conductores 14 a 16 y 18. El transformador 48 permite, por lo tanto, alimentar con media tensión la red auxiliar 12.

40 **[0062]** El transformador 48 comprende también tres bobinados terciarios 84 a 86 acoplados electromagnéticamente a los bobinados primarios 70 a 72 y a los bobinados secundarios 74 a 76 y que forman un conjunto de bobinados terciario. Un extremo de los bobinados terciarios está conectado a un punto medio para formar una conexión en estrella. El otro extremo de estos bobinados terciarios está conectado a bornes de salida, respectivamente, 88 a 90.

45 **[0063]** El convertidor 2 comprende también un cargador 100 de batería. Este cargador 100 comprende tres bornes de entrada 102 a 104 conectados, respectivamente, a los bornes 88 a 90.

50 **[0064]** El cargador 100 comprende también dos bornes 106 y 108, asociados respectivamente a los bornes del dispositivo de carga 32 conectados eléctricamente a los conductores 28 y 30.

[0065] Como variante, cargas auxiliares no representadas también pueden estar conectadas a la salida del cargador de batería y en paralelo a ésta.

55 **[0066]** La corriente de carga de la batería 32 también se mide por medio de un sensor de corriente.

[0067] En este caso, el cargador 100 es reversible, es decir que es capaz de transferir la energía eléctrica de los bornes de entrada 102 a 104 hacia los bornes de salida 106 y 108 para cargar el dispositivo 32 pero también en sentido inverso para poder alimentar las cargas auxiliares de emergencia a partir del dispositivo 32.

- [0068]** El cargador 100 comprende a tal efecto, un rectificador reversible 110 que consta de tres brazos 112 a 114 conectados en paralelo entre los bornes 106 y 108. Cada brazo comprende dos interruptores controlables I_H e I_B conectados en serie por medio de un punto medio. Los puntos medios de las ramas 112 a 114 llevan, respectivamente, las referencias 116 a 118. Los puntos medios 116 a 118 están, respectivamente, conectados a los bornes 102 a 104.
- [0069]** Los interruptores I_H e I_B son interruptores bidireccionales en corriente cuando están cerrados y unidireccionales en corriente cuando están abiertos.
- [0070]** Cada interruptor I_B comprende:
- un transistor de potencia 120 cuyo colector está conectado eléctricamente al borne 106 y el emisor al punto medio, y
 - un diodo 122 conectado en paralelo entre el colector y el emisor cuyo cátodo está conectado al borne 106 y el ánodo al mismo punto medio.
- [0071]** Cada transistor I_H consta de:
- un transistor de potencia 124 cuyo colector está conectado al punto medio y cuyo emisor está conectado al borne 108, y
 - un diodo 126 conectado en paralelo entre el colector y el emisor del transistor 124, estando el cátodo del diodo 126 conectado al mismo punto medio mientras que el ánodo está conectado al borne 108.
- [0072]** Para simplificar la figura 1, las referencias 120, 122, 124 y 126 se han indicado una sola vez para los interruptores I_H e I_B del brazo 112.
- [0073]** Por transistor de potencia, se designan transistores capaces de conmutar corrientes de más de 50 A. Por ejemplo, los transistores 120 y 124 son transistores IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistor*).
- [0074]** Cada uno de estos transistores 120, 124 es capaz de conmutar de un estado no pasante a un estado pasante y viceversa, en respuesta a una orden recibida por en su parrilla.
- [0075]** A tal efecto, las parrillas de cada uno de estos transistores están conectadas a una unidad de control 130 del rectificador 110 por medio de conexiones eléctricas esquematizadas mediante una flecha doble 132.
- [0076]** La unidad de control 130 o unidad central es capaz de controlar el rectificador 110 así como, de manera síncrona, el ondulator 44. La unidad de control 130 permite que el rectificador 110 funcione como rectificador en modo normal y, de forma alterna, funcione como ondulator en modo de emergencia. A tal efecto, la unidad central 130 está conectada a sensores de corriente 134 a 136 capaces de medir la intensidad de las corrientes I_R , I_S , I_T circulantes, respectivamente, por medio de los bornes 104 a 102. La unidad 130 está conectado también a dos sensores 138, 140, respectivamente, de las tensiones V_{RT} y V_{RS} . Las tensiones V_{RT} y V_{RS} son las tensiones, respectivamente, entre los bornes 104 y 102 y 104 y 103.
- [0077]** La unidad 130 se describe con más detalle con referencia a la figura 2.
- [0078]** La unidad 130 está conectada a una memoria 142 que contiene los valores, en modo normal, para consignas I_{dcsg} de potencia activa y I_{qcsg} de potencia reactiva. En modo normal, el valor de la consigna I_{dcsg} es negativo. Por ejemplo, lo mismo puede decirse para el valor de la consigna I_{qcsg} .
- [0079]** En modo de emergencia, no hay regulación de potencia activa y reactiva. En modo de emergencia, la unidad 130 regula la tensión y la frecuencia del bus 12 a valores predeterminados inscritos en la memoria 142 (por ejemplo: 250V y 35 Hz). El papel de estas consignas surgirá más claramente con la lectura de lo sucesivo de esta descripción.
- [0080]** El cargador 100 comprende también un condensador 150 conectado entre los bornes 106 y 108. La capacidad de este condensador 152 es inferior a 50 mF. Más exactamente, la capacidad de este condensador 150

se selecciona para que la ondulación de tensión en sus bornes sea del orden del 1%.

[0081] La figura 2 representa con más detalle la unidad 130. Esta unidad 130 comprende un demodulador 160 capaz de establecer la intensidad de la corriente activa I_d y la intensidad de la corriente reactiva I_q , a partir de las medidas de las corrientes I_R , I_S y I_T realizadas por los sensores 134 a 136 y de las tensiones V_{RS} y V_{RT} realizadas por los sensores 138 y 140 en el caso del funcionamiento en modo normal.

[0082] Se recuerda en este caso que la potencia activa PA se define mediante la siguiente relación:

$$10 \quad PA = IU \cos \varphi \quad (1)$$

donde:

- I es el valor efectivo de la corriente trifásica

15 - U es el valor efectivo de la tensión trifásica, y

- φ es el valor del desfase entre la corriente y la tensión trifásica.

20 **[0083]** De forma similar, se define la potencia reactiva PR mediante la siguiente relación:

$$PR = IU \sin \varphi \quad (2)$$

25 **[0084]** Las corrientes activa I_d y reactiva I_q son, respectivamente, iguales a $I \cos \varphi$ e $I \sin \varphi$.

[0085] En el vehículo 2, el valor efectivo U es prácticamente constante, de modo que puede considerarse que las intensidades de las corrientes I_d e I_q son representativas por sí mismas, respectivamente, de la potencia activa y de la potencia reactiva.

30 **[0086]** El demodulador 160 envía los valores de las corrientes I_d e I_q a una entrada negativa, respectivamente, de sustractores 162 y 164. Una entrada positiva del sustractor 162 está concebida para recibir el valor de la consigna I_{dcsg} . Una salida del sustractor 162 está conectada a un regulador 166 para transmitir a este último la diferencia entre la consigna I_{dcsg} y la intensidad medida de la corriente I_d . El regulador 166 es capaz de calcular, a partir de esta diferencia la abscisa V_d de un vector $U_{\alpha\beta csg}$ de tensión a generar.

35 **[0087]** La entrada positiva del sustractor 164 está concebida para recibir el valor de la consigna I_{qcsq} registrado en la memoria 142. Una salida del sustractor 164 suministra a un regulador 168 la diferencia entre el valor de la consigna I_{qcsq} y la intensidad medida de la corriente I_q . A partir de esta diferencia, el regulador 168 es capaz de calcular la ordenada V_q del vector $U_{\alpha\beta csg}$ de tensión a generar.

40 **[0088]** El demodulador 160 también es capaz de suministrar un ángulo p que corresponde al ángulo entre un vector $U_{\alpha\beta m}$ y el eje α de una referencia $\alpha\beta$.

45 **[0089]** La unidad 130 comprende un bloque 170 de conversión capaz de calcular el módulo M y el ángulo α del vector $U_{\alpha\beta csg}$ a partir de las abscisas y ordenadas V_d y V_q .

[0090] Un sustractor 172 permite calcular la diferencia ε entre el ángulo p y un ángulo γ suministrado por un modulador 174 de anchura de pulsos.

50 **[0091]** El sustractor 172 es capaz de suministrar a un bucle 176 con bloqueo de fases (más conocido con el acrónimo PLL (*Phase Locked Loop*)) la diferencia ε a la que se ha añadido el valor del ángulo α . A partir de la suma del ángulo α y de la diferencia ε , el bucle 176 es capaz de generar una consigna f_s de frecuencia.

55 **[0092]** El modulador 174 es capaz, a partir del módulo M y de la frecuencia f_s , de determinar los instantes en los que se deben conmutar los diferentes transistores y de controlar la conmutación de estos transistores en los instantes determinados. A tal efecto, por ejemplo, el modulador 174 utiliza las intersecciones de una portadora con una moduladora. La frecuencia de la portadora fija la frecuencia de conmutación de los transistores.

[0093] El funcionamiento del vehículo 2 se describirá a continuación con más detalle en referencia al procedimiento de la figura 3 y con ayuda del gráfico de la figura 4.

5 **[0094]** Inicialmente, se supone que el vehículo 2 funciona en modo normal durante una fase 180. Durante esta fase 180, el vehículo 2 es alimentado por medio del pantógrafo 4 y de la catenaria 6. El interruptor 50 está en el estado pasante mientras que el interruptor 52 que sirve únicamente para precargar el filtro de entrada, una vez cargado el filtro, se controla abierto. Inicialmente, durante una etapa 182, las cargas auxiliares simples están conectadas eléctricamente al bus 12 para poder ser alimentadas a partir de éste.

10

[0095] A continuación, durante una etapa 184, el ondulator 44 produce en los bornes 58 a 60 una tensión trifásica a partir de la tensión continua presente entre los conductores 36 y 38.

15 **[0096]** Durante una etapa 186, el transformador 48 transforma la tensión trifásica producida por el ondulator 44 en una media tensión trifásica suministrada al bus auxiliar 12.

[0097] Durante una etapa 188, las diferentes cargas auxiliares conectadas al bus 12 son alimentadas, por lo tanto, a partir de la energía captada por el pantógrafo 4. De este modo, las cargas 20 y 22 son alimentadas y funcionan.

20

[0098] En paralelo, durante una etapa 190, el transformador 48 suministra también la tensión trifásica a los bornes de entrada 102 a 104 del cargador 100.

25 **[0099]** Durante una etapa 192, a partir de la tensión trifásica presente en los bornes de entrada 102 a 104, el cargador 100 carga el dispositivo 32. A tal efecto, el cargador 100 rectifica la tensión trifásica presente en los bornes 102 a 104 para producir una tensión continua rectificadora entre los bornes 106 y 108, lo que permite cargar el dispositivo 32.

30 **[0100]** Más exactamente, durante una operación 194, los sensores 134 a 136, 138 y 140 miden las tensiones V_{RS} , V_{RT} y las intensidades de las corrientes I_R , I_S e I_T .

35 **[0101]** A continuación, durante una operación 196, los valores de las consignas I_{dcsq} e I_{qcsq} que corresponden al modo normal de funcionamiento son calculados por el regulador 130 para respetar una ley de carga de la batería. Estos valores son negativos, lo que corresponde a una transferencia de energía por medio del rectificador reversible 110 que va de los bornes de entrada 102 a 104 hacia los bornes de salida 106 y 108. En este caso, la consigna I_{qcsq} es nula para no consumir la potencia reactiva.

40 **[0102]** Durante una operación 198, el demodulador 160 determina, a partir de las medidas realizadas durante la etapa 194, las coordenadas V_a y V_b de un vector $U_{\alpha\beta m}$ de tensión en la referencia $\alpha\beta$. A tal efecto, se utiliza la transformada de Concordia. Las coordenadas V_a y V_b se determinan, en este caso, a partir de las siguientes relaciones:

$$\begin{cases} V_a = \frac{V_{RS} + V_{RT}}{3} \\ V_b = \frac{V_{RS} - V_{RT}}{\sqrt{3}} \end{cases} \quad (3)$$

45 **[0103]** Este vector $U_{\alpha\beta m}$ se representa en la referencia $\alpha\beta$ de la figura 4. Este vector $U_{\alpha\beta m}$ forma un ángulo p con el eje α .

50 **[0104]** En la figura 4, se ha representado también un vector $I_{\alpha\beta m}$, que corresponde a la corriente trifásica medida expresada en la referencia $\alpha\beta$. Las coordenadas de este vector $I_{\alpha\beta m}$ se indican respectivamente como I_a e I_b . Estas coordenadas se calculan, por ejemplo, una vez más con ayuda de la transformada de Concordia. Por ejemplo, las coordenadas I_a e I_b se determinan con ayuda de la siguiente relación:

$$\begin{cases} I_a = \frac{2 \cdot I_R + I_S + I_T}{3} \\ I_b = \frac{I_T - I_S}{\sqrt{3}} \end{cases} \quad (4)$$

[0105] Por ejemplo, el valor del ángulo p se establece a partir de las coordenadas V_a y V_b .

5 **[0106]** A continuación, siempre durante la operación 198, el demodulador 160 establece la corriente activa I_d medida y la corriente reactiva I_q medida con ayuda de las siguientes relaciones:

$$\begin{cases} I_d = I_a \cdot \sin(\rho) + I_b \cdot \cos(\rho) \\ I_q = I_a \cdot \cos(\rho) - I_b \cdot \sin(\rho) \end{cases} \quad (5)$$

10 **[0107]** A continuación, durante una operación 200, los sustractores 162 y 164 calculan las diferencias ΔI_d y ΔI_q con ayuda de las siguientes relaciones:

$$\Delta I_d = I_{dcsq} - I_d \quad (6)$$

$$\Delta I_q = I_{qcsq} - I_q \quad (7)$$

15 **[0108]** A continuación, se calculan las coordenadas V_d y V_q del vector $U_{\alpha\beta csq}$ de consigna de tensión que permiten anular las diferencias ΔI_d y ΔI_q . A tal efecto, durante una operación 202, el regulador 166 calcula a partir de la diferencia ΔI_d la coordenada V_d del vector $U_{\alpha\beta csq}$. El regulador 166 es, por ejemplo, un regulador PI (Proporcional Integral) para establecer la regulación de la potencia activa. Por ejemplo, el valor de la coordenada V_d se calcula con ayuda de la siguiente relación:

20

$$V_d = K_{pd} \cdot \Delta I_d + \int K_{id} \cdot \Delta I_d \quad (8)$$

donde:

25 - K_{pd} y K_{id} son las constantes proporcional e integral del regulador PI.

[0109] De forma similar, durante una operación 204, el regulador 168 calcula el valor de la coordenada V_q a partir de la diferencia ΔI_q . Durante la operación 204, la coordenada V_q se calcula, por ejemplo, con ayuda de la siguiente relación:

30

$$V_q = K_{pq} \cdot \Delta I_q + \int K_{iq} \cdot \Delta I_q \quad (9)$$

[0110] Las constantes K_{pq} y K_{iq} de la relación (9) no tienen necesariamente los mismos valores que los de la relación (8), K_{pd} y K_{id} .

35

[0111] Durante una operación 206, el módulo 170 calcula el ángulo α y el módulo M del vector $U_{\alpha\beta csq}$ en la referencia $\alpha\beta$ a partir de las coordenadas V_d y V_q .

[0112] El módulo M es transmitido directamente al modulador 174 mientras que el ángulo α es transmitido al sustractor 172.

40

[0113] Durante una operación 208, el sustractor 172 calcula la diferencia ε con ayuda de la siguiente relación:

$$\varepsilon = \rho - \gamma \quad (10)$$

donde γ es el ángulo de una tensión trifásica $U_{\alpha\beta\gamma}$ que corresponde a los instantes de conmutación determinados por el modulador 174 con respecto al eje α de la referencia $\alpha\beta$.

5

[0114] El ángulo γ es un dato numérico producido por el modulador 174.

[0115] ε representa la diferencia entre la fase medida de la tensión trifásica y la fase de la tensión trifásica producida o absorbida por el rectificador 110 en el mismo instante.

10

[0116] Para que el rectificador 110 se sincronice a la tensión trifásica medida, esta diferencia ε debe ser nula.

[0117] El sustractor 172 añade también a esta diferencia ε el valor del ángulo α suministrado por el módulo 170. El resultado de esta adición es transmitido al bucle 176 que calcula, durante una operación 209, la frecuencia f_s

15

que permite al mismo tiempo anular la diferencia ε y alcanzar las consignas I_{dcsg} e I_{qcsq} de potencia activas y reactivas impuestas. Por ejemplo, el bucle 176 calcula la frecuencia f_s con ayuda de la siguiente relación:

$$f_s = k_{pPLL} \cdot e_{kPLL} + \int k_{iPLL} \cdot e_{kPLL} \quad (11)$$

20 donde:

- $e_{kPLL} = \alpha + \varepsilon$,

- k_{pPLL} y k_{iPLL} son las constantes proporcional e integral de la regulación PI del bucle 176.

25

[0118] A continuación, durante una operación 210, el modulador 174 determina los instantes de conmutación de los transistores 120 y 124 para producir una tensión trifásica de frecuencia f_s y cuyo valor efectivo es igual al módulo M. El modulador 174 controla también las conmutaciones de los transistores 120 y 124 en los instantes determinados.

30

[0119] Las operaciones 194 y 210 se repiten de forma permanente, de modo que la batería 32 se cargue con ayuda de una corriente continua obtenida de la rectificación de la corriente alterna.

[0120] El conjunto de los transistores 120 a 124 continua conmutando en una etapa 214 garantizando una corriente nula en la batería y la alimentación de todas las cargas auxiliares conectadas en paralelo en la batería.

35

[0121] Si, tras un incidente de explotación, la catenaria 6 ya no está alimentada con alta tensión, mientras el convertidor 10 deja de funcionar en modo normal. Se pone fin a la fase 180 y se transita a una fase 216 de funcionamiento en modo de emergencia.

40

[0122] La fase 216 es idéntica a la fase 180 a excepción del hecho de que la etapa 182 se sustituye por una etapa 218 y se omiten las etapas 184 y 214. Durante la etapa 218, las cargas auxiliares simples se desconectan del bus auxiliar 12. Por ejemplo, durante la etapa 218, el contactor 24 está abierto para aislar eléctricamente la carga 20 de la red auxiliar 12. Por el contrario, el conjunto de las cargas auxiliares de emergencia sigue conectado eléctricamente al bus 12. Durante la etapa 218, los interruptores 50 y 52 también están abiertos.

45

[0123] Para simplificar la figura 3, las etapas 186 a 192 que se ejecutan después de la etapa 218 se representaron mediante una línea discontinua.

[0124] Durante la etapa 192, la transferencia de energía ya no se realiza desde los bornes 102 a 104 hacia los bornes 106 a 108, sino en sentido inverso, lo que permite alimentar el bus 12 a partir de la energía almacenada en el dispositivo 32. De este modo, durante la etapa 186, la carga 22 es alimentada a partir del dispositivo 32 y por medio del acoplamiento electromagnético entre los bobinados secundarios y terciarios, de modo que ésta siga funcionando incluso si el vehículo 2 ya no es alimentado por medio de la catenaria 6.

50

[0125] La figura 5 representa un modelo de la parte de potencia del cargador 100. En este modelo, el bloque

55

R, L corresponde a una resistencia y una inductancia conectadas en serie. Esta inductancia y esta resistencia se incorporan en los bobinados terciarios 84 a 86 del transformador 48 y no se han representado, por lo tanto, en la figura 1.

5 **[0126]** Las figuras 6 a 15 representan resultados de simulaciones obtenidos con ayuda del modelo de la figura 5. Las simulaciones se realizaron con los siguientes los valores numéricos:

- $V_{RS} = 45 \text{ Vac}$,

10 - la frecuencia de la red alternativa es de 50 Hz,

- el valor efectivo de la corriente trifásica es de 321,68 A,

- la inductancia L es igual a 15 mH,

15

- la resistencia R es igual a 236 m Ω ,

- la capacidad de salida C del cargador es de 1,1 mF

20 - la tensión continua V_{cc} entre los bornes 106 y 108 es igual a 120 Vdc,

- la corriente continua I_{cc} de carga del dispositivo 32 es igual a 208,33 A,

- la potencia eléctrica suministrada entre los bornes 106 y 108 es igual a 25 kW,

25

- el desfase φ entre la corriente trifásica y la tensión trifásica se toma igual a 0.

[0127] Las figuras 6 a 9 se obtuvieron cuando la frecuencia de la portadora de la modulación de anchura de pulsos empleada por el modulador 174 es igual a 1050 Hz.

30

[0128] La figura 6 representa la evolución en función del tiempo de la corriente que atraviesa uno de los bornes de entrada 102 a 104 cuando se carga el dispositivo 32. La intensidad cresta máxima es igual a 841 A.

[0129] La figura 7 representa el espectro de la curva representada en la figura 6. Se puede observar que la frecuencia fundamental de esta fase es igual a 50 Hz. El armónico de la frecuencia fundamental más cercano está en las inmediaciones de 1050 Hz (la frecuencia de conmutación). Además, la amplitud de la fundamental es al menos cuatro veces superior a la amplitud del primer armónico. En este caso, la amplitud de la fundamental es de 454 A.

35

40 **[0130]** La figura 8 representa la evolución en función del tiempo de la tensión de salida del cargador 100 cuando se carga el dispositivo 32. La amplitud cresta máxima es de 43,7 Vdc, lo que representa una tasa de ondulación inferior al 37%.

45 **[0131]** La figura 9 representa el espectro de la tensión de salida del cargador representada en la figura 8 que comprende una componente continua. El primer armónico significativo de 50 Hz es rechazado más allá de 1050 Hz. La amplitud de la componente continua no representada en la figura 9 también es superior a al menos cuatro veces la amplitud del primer armónico.

50 **[0132]** Siempre y cuando todo lo demás no varíe, las figuras 10 a 13 se obtuvieron cuando la frecuencia de la portadora de la modulación de anchura de pulsos es igual a 3450 Hz.

La figura 10 representa la evolución en función del tiempo de la intensidad de la corriente que atraviesa uno de los bornes 102 a 104. La intensidad cresta máxima es igual a 575 A.

55 La figura 11 representa el espectro de la corriente representada en la figura 10. La escala utilizada para la figura 11 es la misma que la utilizada para la figura 7. En la figura 11, la fundamental se sitúa a 50 Hz. El primer armónico está situado más allá de 3450 Hz. La amplitud de la fundamental es al menos diez veces superior a la amplitud del primer armónico.

La figura 12 representa la tensión continua rectificada producida por el cargador 100 cuando se carga el dispositivo 32. La mayor amplitud cresta es en este caso de 11,9 Vdc, lo que representa una tasa de ondulación inferior al 10%.

La figura 13 representa el espectro de la tensión continua rectificada de la figura 12 que comprende una componente continua situada a 0 Hz y no representada. El primer armónico significativo de 50 Hz se rechaza a más de 3450 Hz de la fundamental. Además, la amplitud de la componente continua es al menos cinco veces superior a la amplitud del primer armónico.

[0133] Siempre y cuando todo lo demás no varíe, las figuras 14 y 15 se obtuvieron con una frecuencia de 15150 Hz para la portadora de la modulación de anchura de pulsos. La figura 14 representa la intensidad de la corriente que atraviesa uno de los bornes 102 a 104. La intensidad cresta máxima es de 484,2 A.

[0134] En el espectro de la corriente de la fase de la figura 14, el primer armónico es rechazado a más de 15150 Hz de la frecuencia de la fundamental.

[0135] La figura 15 representa la envoltura exterior de las variaciones de la tensión continua rectificada producida por el cargador 100 cuando carga el dispositivo 32. La amplitud cresta máxima es igual a 2,55 Vdc, lo que corresponde a una tasa de ondulación inferior al 3%.

[0136] En el espectro de la tensión continua rectificada, el primer armónico es rechazado a más de 15150 Hz de la fundamental. Como puede constatare, cuanto más elevada es la frecuencia de la portadora de la modulación de anchura de pulsos, es decir más elevada es la frecuencia de conmutación, más lejos de la fundamental es rechazado el primer armónico. De este modo, más aumenta la frecuencia de conmutación, más pueden reducirse el valor de la inductancia de dispersión del transformador y la capacidad del condensador 152, lo que se traduce en una disminución del volumen de estos componentes y en particular del filtro 150.

[0137] Son posibles muchas otras realizaciones.

[0138] Por ejemplo, el cargador 100 puede conectarse a los conductores 14, 15 y 16 por medio de un transformador trifásico independiente del transformador 48. En ese caso, los bobinados terciarios del transformador 48 pueden omitirse.

[0139] El control del cargador de batería 110 descrito en este caso un control vectorial. Sin embargo, como variante, puede utilizarse un control escalar en vez y en lugar del control vectorial a partir del momento en el que la frecuencia de conmutación de los transistores sigue siendo al menos veinte veces superior a la frecuencia fundamental de la tensión trifásica.

[0140] En la figura 1, solamente se ha representado un convertidor auxiliar en el vehículo 2. Sin embargo, en la práctica, los vehículos ferroviarios constan al menos de un segundo convertidor auxiliar idéntico, por ejemplo, al convertidor 10.

[0141] Como variante, las cargas auxiliares de emergencia son alimentadas por medio de un bus continuo de baja tensión conectado a los bornes del dispositivo 32 y no por medio del bus auxiliar trifásico 12.

[0142] Como variante, el banco de condensador C1, C2, C3 puede descomponerse en dos partes con una parte que se elimina para poder suministrar la potencia reactiva en funcionamiento normal y para compensar la corriente magnetizante del transformador en modo de emergencia.

[0143] Como variante, la precarga del condensador puede efectuarse a partir de la batería (supresión del dispositivo de precarga 52, 54).

[0144] Finalmente, si se busca únicamente alimentar cargas auxiliares de emergencia por medio del mismo dispositivo que el utilizado para cargar el dispositivo 32, mientras que no es necesario que la frecuencia de conmutación sea superior a al menos veinte veces la frecuencia fundamental de la tensión trifásica. En este último caso, el volumen y la masa del filtro 150 no disminuyen necesariamente sino que, por el contrario, se conserva la ventaja de tener un solo y mismo rectificador reversible para cambiar la energía eléctrica en los dos sentidos entre las cargas auxiliares y el dispositivo 32.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de alimentación de cargas auxiliares (22) de emergencia de un vehículo ferroviario a partir de un dispositivo recargable (32) de almacenamiento de energía eléctrica incorporado en el vehículo ferroviario 5 y capaz de almacenar una cantidad de energía suficiente para permitir, en un modo de emergencia, el funcionamiento de las cargas auxiliares de emergencia durante más de treinta minutos a partir de esta única fuente de energía, constando este procedimiento de un modo normal (180) en el que un cargador (100) carga el dispositivo (32) de almacenamiento de energía eléctrica, siendo este cargador (100) capaz de producir una tensión continua rectificadora que permite cargar el dispositivo (32) de almacenamiento de energía eléctrica a partir de una tensión 10 trifásica de modo normal obtenida a partir de la energía eléctrica captada en una catenaria (4), constando este cargador de:

- tres bornes de entrada (102-104) conectados, cada uno, a una de las fases de la tensión trifásica,

15 • dos bornes de salida (106, 108) conectados al dispositivo de almacenamiento de energía eléctrica, a los que se suministra la tensión continua rectificadora,

- tres brazos (112-114) conectados en paralelo entre los dos bornes de salida, constando cada brazo de dos interruptores controlables (I_H , I_B) conectados en serie por medio de un punto medio (116-118), estando cada punto 20 medio conectado a un borne de entrada respectivo,

- una unidad de control (130) de la conmutación de los interruptores para rectificar la tensión trifásica,

caracterizado porque el procedimiento comprende las etapas que consisten en que:

25

- se proporciona en cada interruptor un elemento electrónico (120, 124) controlable de conmutación de potencia que puede abrirse, estado no pasante, y cerrarse, estado pasante, de manera controlada y que puede conmutar la corriente que circula por el brazo en el que está colocado,

30 - en modo normal, la unidad de control (130) controla (210) la conmutación de los elementos electrónicos controlables de conmutación de potencia (120, 124) del estado pasante al estado no pasante y viceversa en instantes determinados libremente para rectificar la tensión trifásica, siendo la frecuencia de conmutación de los elementos electrónicos controlables de potencia (120, 124) superior a al menos veinte veces la frecuencia fundamental de la tensión trifásica, y

35

- en modo de emergencia, las cargas auxiliares (22) de emergencia con alimentación alterna están conectadas a los bornes de entrada del cargador por medio de una red auxiliar de media tensión trifásica (12), y

40 - la unidad de control (130) controla (210) la conmutación de los elementos electrónicos del estado pasante al estado no pasante y viceversa en instantes determinados libremente para producir una tensión trifásica auxiliar en la red auxiliar (12) que permite el funcionamiento de las cargas auxiliares de emergencia (22), produciéndose esta tensión trifásica auxiliar a partir de la energía almacenada en el dispositivo de almacenamiento de energía eléctrica.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que, en modo de emergencia, la frecuencia de 45 conmutación de los elementos electrónicos es también al menos veinte veces superior a la frecuencia fundamental de la tensión trifásica producida.

3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, en el que, en modo normal, un transformador trifásico (48) produce una media tensión trifásica comprendida entre 350 y 500 Vac en la red auxiliar (12) a partir de la 50 energía captada en la catenaria para alimentar las cargas auxiliares (20, 22) que están conectadas a esta red auxiliar (12).

4. Procedimiento según la reivindicación 3, en el que la catenaria (4) está bajo tensión continua y en el que en modo normal, un ondulator (44) produce una tensión trifásica en la entrada del transformador trifásico (48) a 55 partir de la energía captada en la catenaria.

5. Procedimiento según la reivindicación 3, en el que la catenaria (4) está bajo tensión alterna y en el que en modo normal un puente rectificador monofásico produce una tensión rectificadora continua en la entrada de un ondulator (44) conectado en entrada al transformador trifásico (48).

6. Procedimiento según la reivindicación 4 o 5, en el que en modo normal, la unidad de control (130) es capaz de controlar de manera síncrona los interruptores controlables de los tres brazos (112-114) y el ondulador (44).
- 5
7. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que los elementos electrónicos de potencia son transistores, concretamente de tipo IGBT o GTO.
8. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que, en modo normal:
- 10
- la unidad de control establece (198) una magnitud (I_d) representativa de la potencia activa a partir de medidas de la corriente trifásica y de la tensión trifásica efectuadas en la entrada del cargador,
 - la unidad de control está programada (196) con una consigna de potencia activa que determina el valor de la potencia activa transferida por el cargador entre sus bornes de entrada y de salida y también el sentido de transferencia de la potencia activa entre sus bornes,
- 15
- la unidad de control determina (210) los instantes de conmutación de los elementos eléctricos controlables de conmutación de potencia en función de la diferencia entre la consigna de potencia activa y la magnitud establecida representativa de la potencia activa.
- 20
9. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que, en modo normal:
- la unidad de control establece (198) una magnitud (I_q) representativa de la potencia reactiva a partir de medidas de la corriente trifásica y de la tensión trifásica,
 - la unidad de control adquiere (196) una consigna de potencia reactiva que determina el valor de la potencia reactiva transferida por el cargador entre sus bornes de entrada y de salida y también el sentido de transferencia de la potencia reactiva entre sus bornes,
- 30
- la unidad de control determina (210) los instantes de conmutación de los transistores en función de la diferencia entre la consigna de potencia reactiva y la magnitud establecida representativa de la potencia reactiva.
10. Procedimiento según la reivindicación 9, en el que, en modo normal, la consigna de potencia reactiva es nula.
- 35
11. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en el que en un modo de emergencia, la unidad de control (130) regula la tensión y la frecuencia del bus (12) a valores predeterminados inscritos en una memoria (142).
- 40
12. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que antes de una transición del modo normal hacia el modo de emergencia, la unidad de control determina (209) los instantes de conmutación de los elementos electrónicos, de modo que se anule la diferencia entre la fase de la tensión trifásica medida en la red auxiliar y la fase de la tensión trifásica entre los bornes de entrada del cargador, estando esta última fase en función únicamente de los instantes de conmutación de los elementos electrónicos.
- 45
13. Convertidor auxiliar que se puede emplear en un vehículo ferroviario, constando este convertidor auxiliar de:
- 50
- un ondulador trifásico (44) capaz de generar una tensión trifásica a partir de la energía eléctrica captada en una catenaria bajo una tensión,
 - un transformador trifásico (48) con tres conjuntos primario, secundario y terciario de bobinados conectado a la salida trifásica del ondulador (44) por el conjunto de bobinados primario (70-72), el conjunto ondulador (44)/transformador (48) capaz, en modo normal, de transformar la tensión de la catenaria en una media tensión trifásica comprendida entre 350 Vac y 500 Vac suministrable al secundario (74-76) del transformador en una red auxiliar (12) de alimentación de cargas auxiliares,
 - un cargador (100) conectado al conjunto de bobinados terciario (84-86) del transformador (48) capaz, en modo
- 55

normal, de generar una tensión continua rectificada a partir de la tensión trifásica producida por el ondulator trifásico (46), constando este cargador de:

- 5 • tres bornes de entrada (102-104) conectados, cada uno, a un bobinado terciario (84-86) del transformador (148),
- dos bornes de salida (106, 108) conectables a un dispositivo de almacenamiento de energía eléctrica (32), a los que se suministra la tensión continua rectificada,
- 10 • tres brazos (112-114) conectados en paralelo entre los dos bornes de salida, comprendiendo cada brazo dos interruptores controlables (I_H , I_B) conectados en serie por medio de un punto medio (116-118), estando cada punto medio conectado a un borne de entrada respectivo,
- una unidad de control (130) de la conmutación de los interruptores para rectificar la tensión trifásica,

15 **caracterizado porque:**

- los interruptores (I_H , I_B) constan, cada uno, de al menos un elemento electrónico controlable de conmutación de potencia (120, 124) que puede abrirse, estado no pasante, y cerrarse, estado pasante, de manera controlada y que puede conmutar la corriente que circula por el brazo en el que está colocado conmutando de un estado pasante hacia un estado no pasante y viceversa, y

- la unidad de control (130) es capaz, en modo normal, de controlar la conmutación de los elementos electrónicos controlables de conmutación de potencia (120, 124) del cargador del estado pasante hacia el estado no pasante y del estado no pasante hacia el estado pasante en instantes determinados para rectificar la tensión trifásica, siendo la frecuencia de conmutación de los elementos electrónicos superior a al menos veinte veces la frecuencia fundamental de la tensión trifásica, y

- la unidad de control (130) es capaz, en modo de emergencia, de controlar la conmutación de los elementos electrónicos controlables de conmutación de potencia (120, 124) del estado pasante hacia el estado no pasante y viceversa en instantes determinados para producir una tensión trifásica entre los bornes de entrada (102-104) a partir de una tensión continua presente entre sus bornes de salida (106, 108).

14. Convertidor auxiliar según la reivindicación 13, **caracterizado porque**, en modo de emergencia, la frecuencia de conmutación de los elementos electrónicos controlables de potencia (120, 124) es al menos veinte veces superior a la frecuencia de la tensión trifásica producida.

15. Convertidor según la reivindicación 13 o 14, en el que el cargador (100) está aislado eléctricamente del ondulator trifásico (44) por medio de un bobinado primario (70-72) del transformador trifásico (48) cuando se utiliza durante la alimentación de la red auxiliar en modo normal.

16. Convertidor según una cualquiera de las reivindicaciones 13 a 15, en el que los elementos electrónicos de potencia controlables son transistores concretamente de tipo IGBT o GTO.

17. Vehículo ferroviario alimentado por medio de una catenaria, constando este vehículo de:

- 45 - una red auxiliar trifásica (12),
- al menos una carga auxiliar (22) de emergencia cuya alimentación debe mantenerse durante más de treinta minutos en un modo de emergencia, estando esta carga conectada a la red auxiliar (12),
- 50 - un dispositivo recargable (32) de almacenamiento de energía eléctrica conectable a cada carga auxiliar de emergencia (22), siendo este dispositivo capaz de almacenar una cantidad de energía suficiente para permitir, en modo de emergencia, el funcionamiento de todas las cargas auxiliares de emergencia durante más de treinta minutos a partir de esta única fuente de energía,
- 55 - al menos un convertidor auxiliar para alimentar la red auxiliar,

caracterizado porque el convertidor auxiliar (10) es según una cualquiera de las reivindicaciones 13 a 16.

60

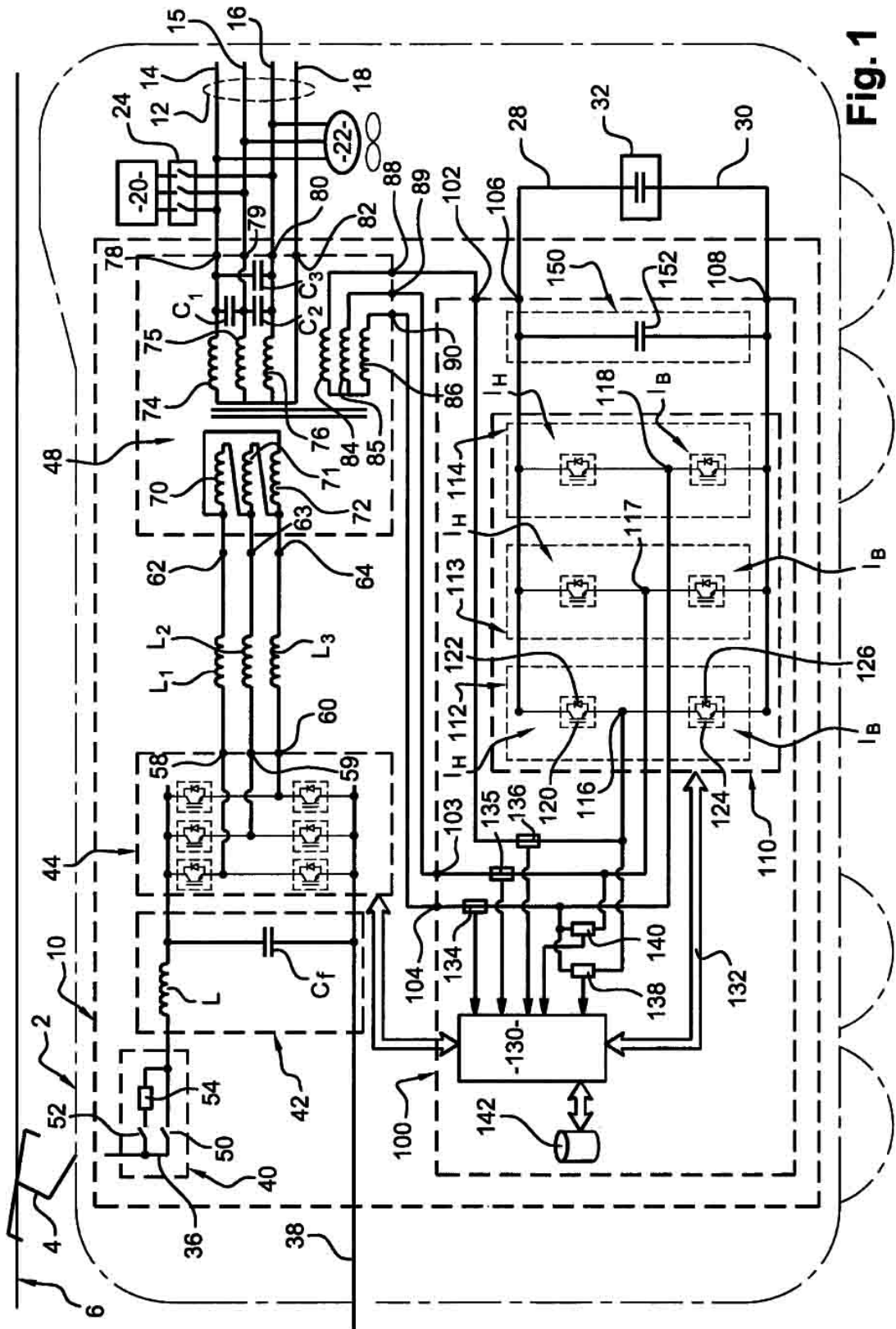


Fig. 1

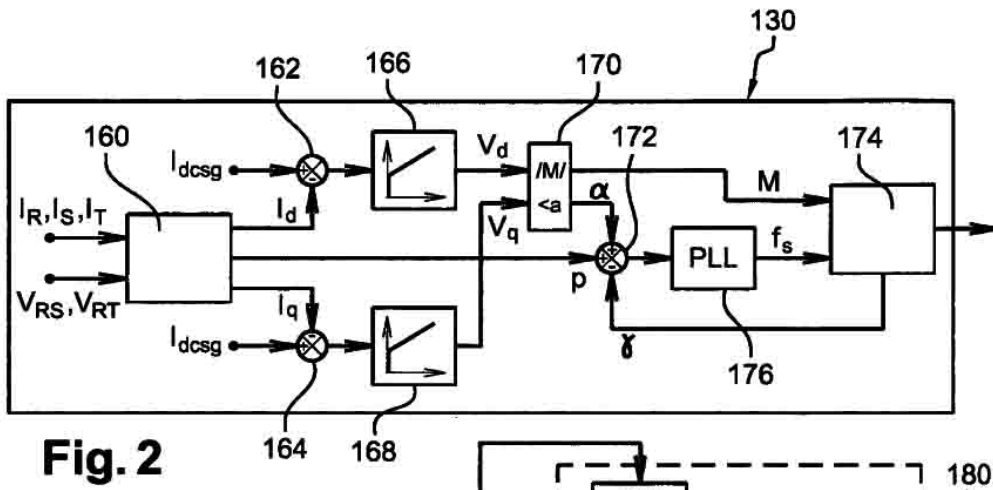


Fig. 2

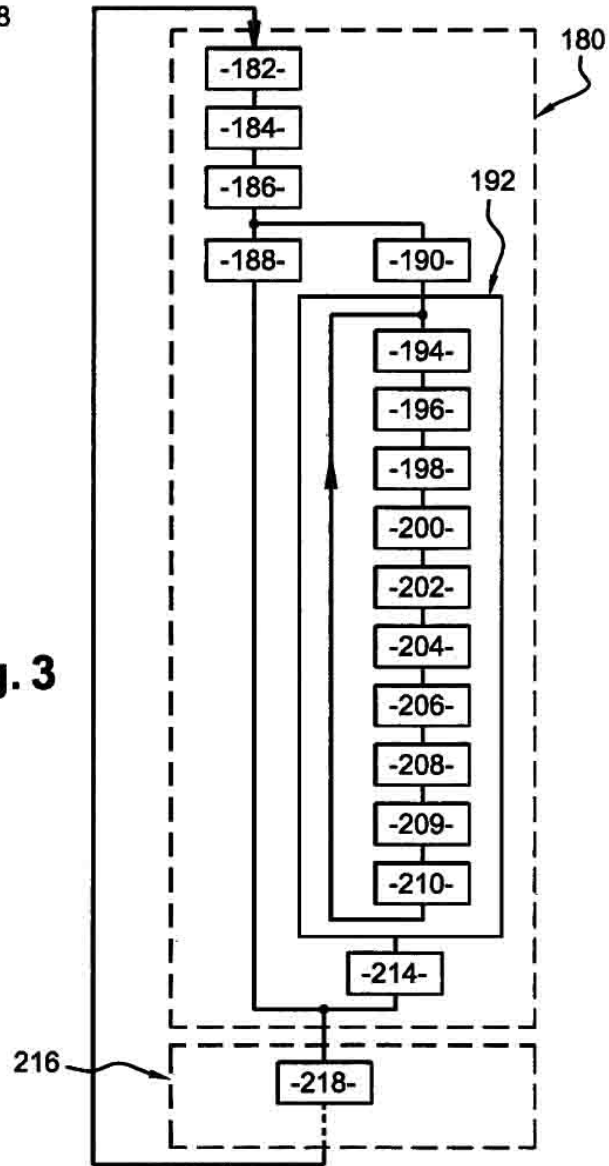


Fig. 3

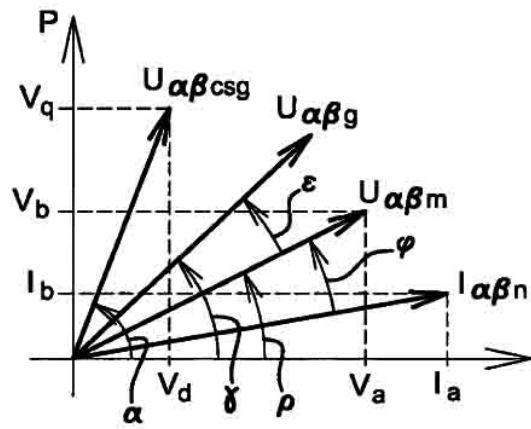


Fig. 4

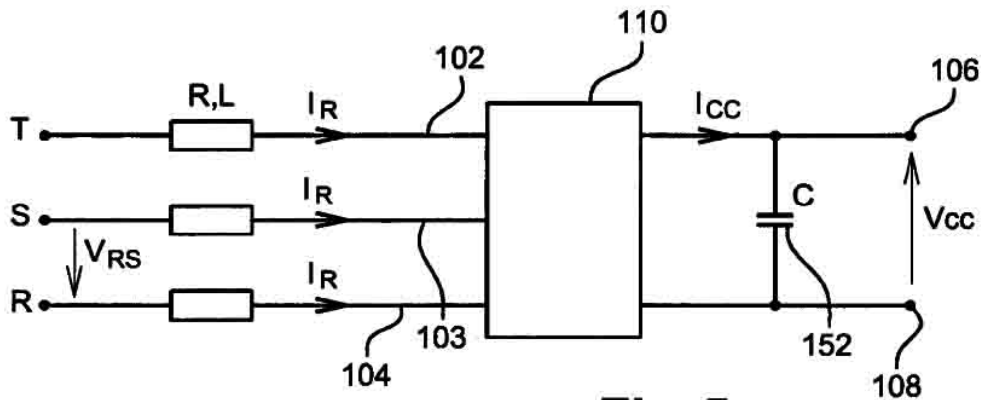


Fig. 5

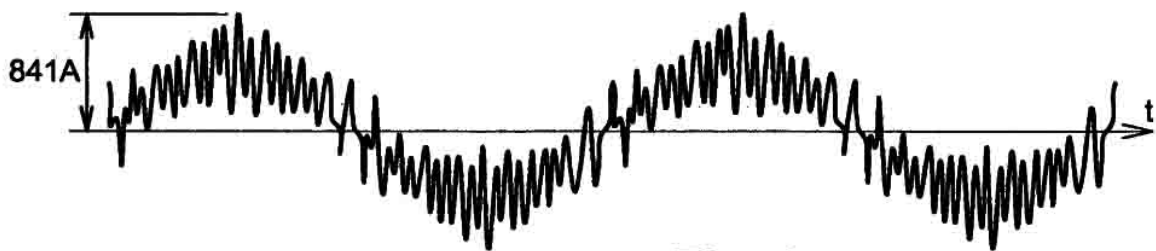


Fig. 6

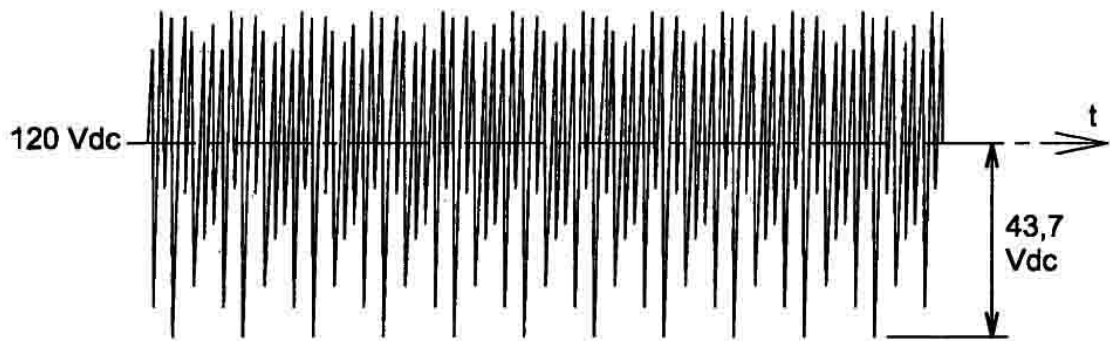
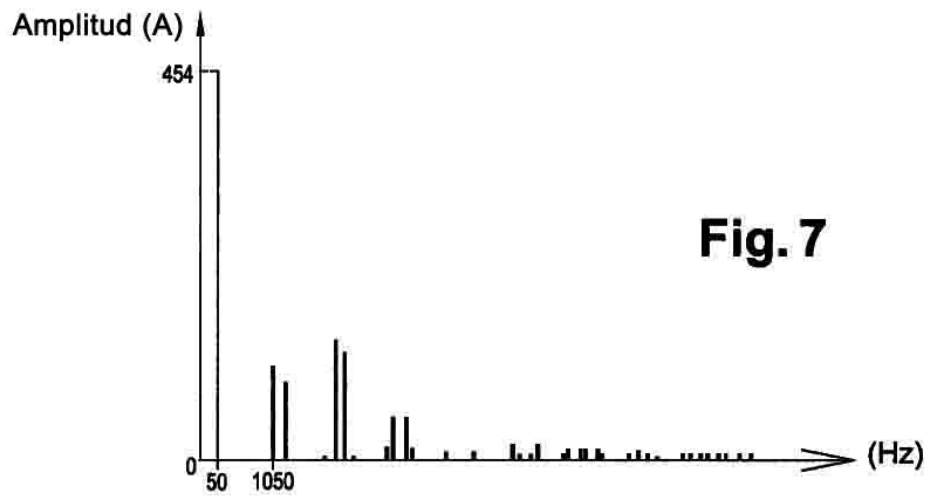
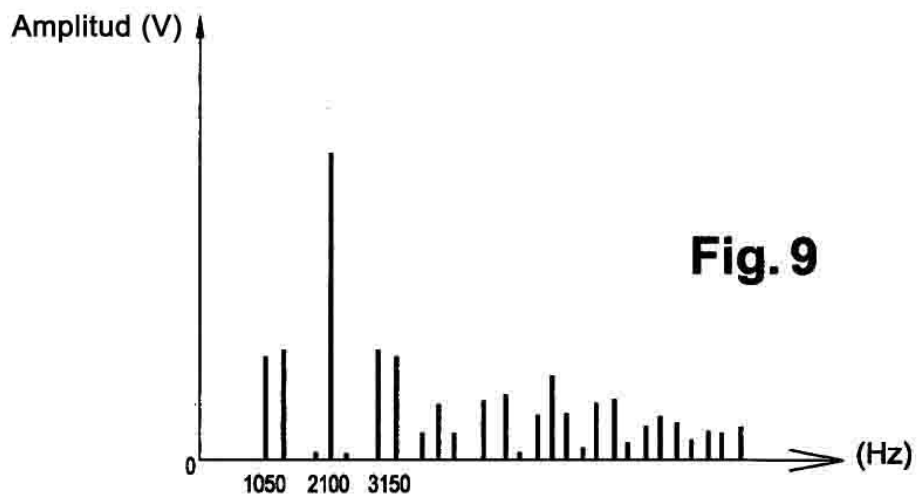


Fig. 8



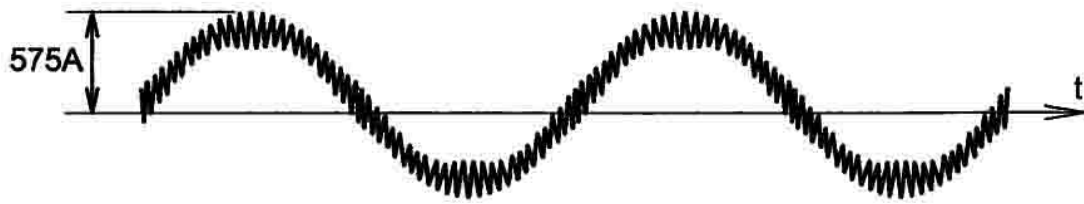


Fig. 10

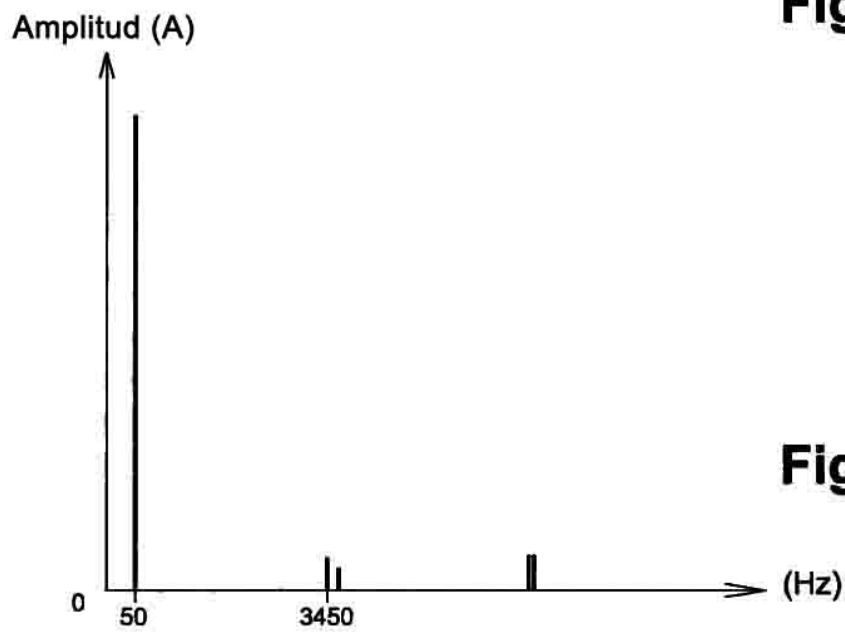
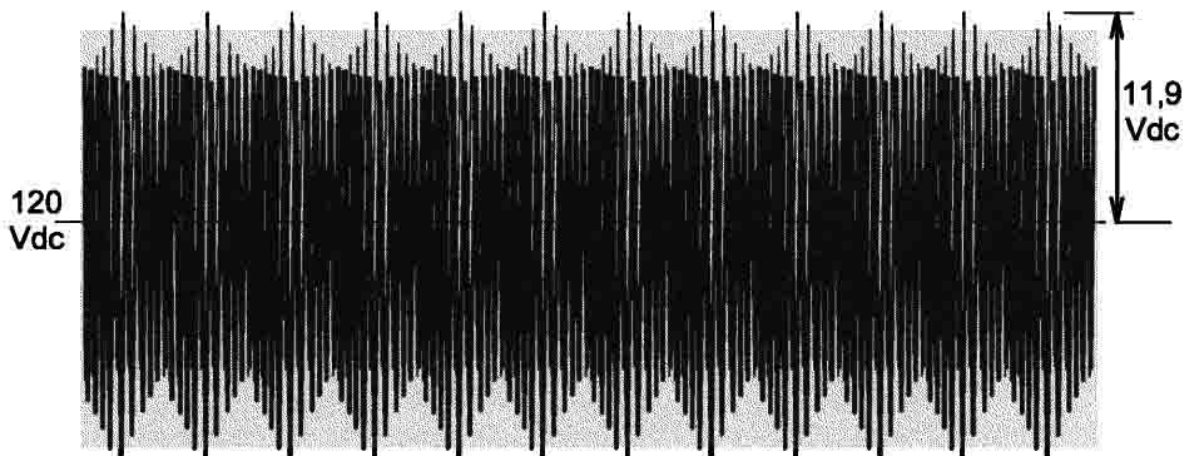


Fig. 11

Fig. 12



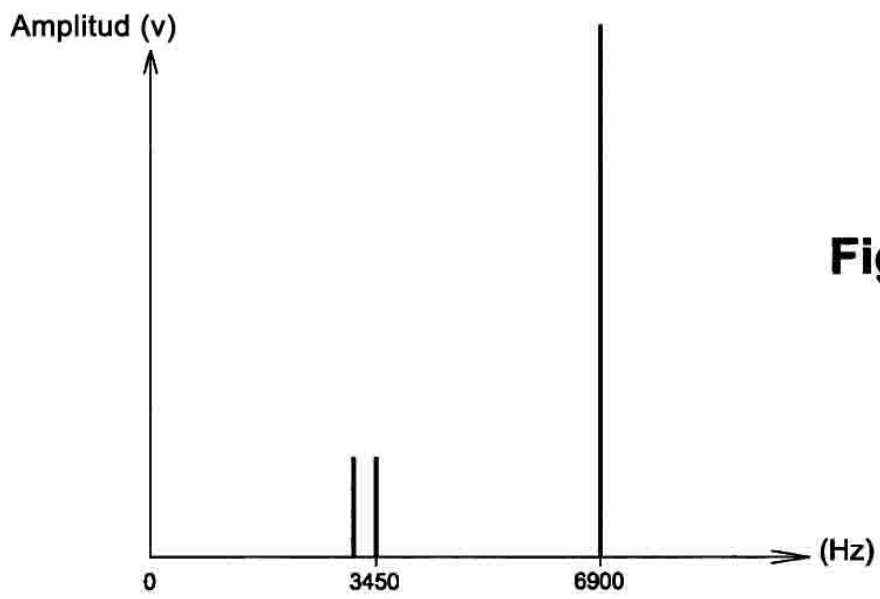


Fig. 13

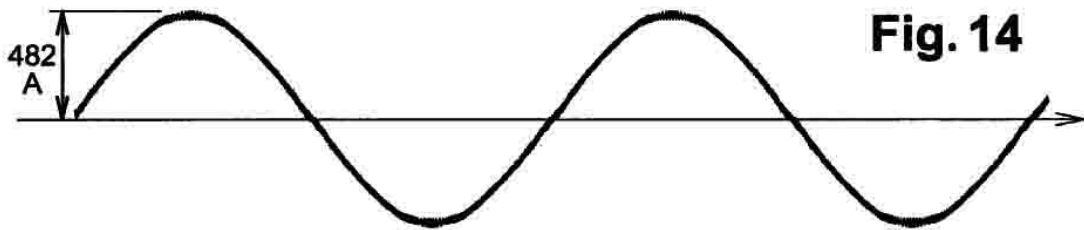


Fig. 14

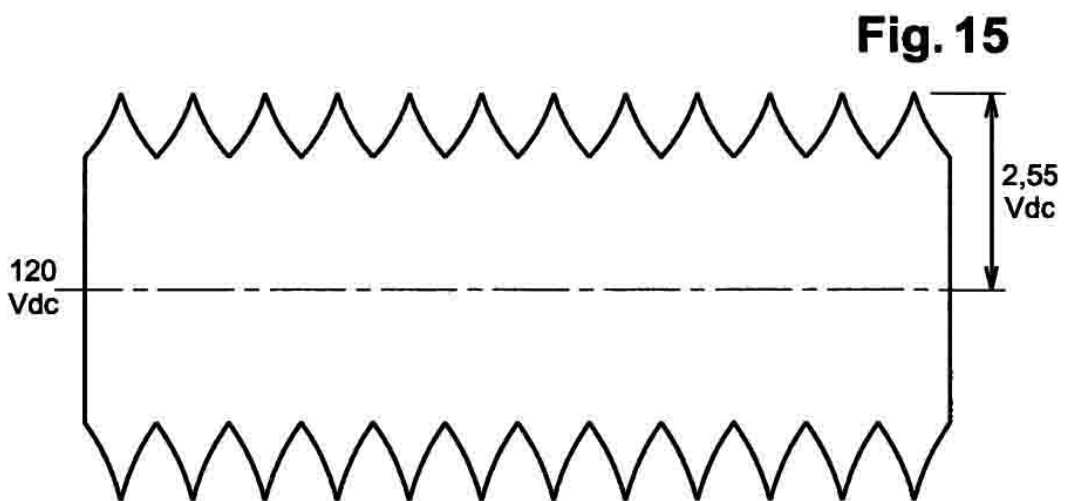


Fig. 15