

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 621 103**

51 Int. Cl.:

B60M 3/06

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.09.2009 PCT/ES2009/070371**

87 Fecha y número de publicación internacional: **18.03.2010 WO2010029203**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.09.2009 E 09812730 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.03.2017 EP 2343213**

54 Título: **Dispositivo y procedimiento de control para recuperación de energía cinética en sistemas ferroviarios**

30 Prioridad:

11.09.2008 ES 200802589

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

03.07.2017

73 Titular/es:

**INGETEAM POWER TECHNOLOGY, S.A. (100.0%)
Parque Tecnológico de Bizkaia, Edificio 106, 2a
planta
48170 Zamudio, Bizkaia, ES**

72 Inventor/es:

**IBAIONDO MADARIAGA, HARKAITZ;
ROMO BERGADO, ASIER;
GONZÁLEZ NARVAIZA, IKER;
GARIN IBARZABAL, XABIER y
OLEA UNAMUNO, FRANCISCO JAVIER**

74 Agente/Representante:

IGARTUA IRIZAR, Ismael

ES 2 621 103 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).

DESCRIPCION

“Dispositivo y procedimiento de control para recuperación de energía cinética en sistemas ferroviarios”

5

OBJETO DE LA INVENCION

La presente invención, tal y como se expresa en el enunciado de esta memoria descriptiva, se refiere a un dispositivo y procedimiento de control para recuperación de energía cinética en sistemas ferroviarios, cuya finalidad consiste en optimizar la recuperación de energía posibilitada en las frenadas de los trenes, permitiendo inyectar en la correspondiente red de tensión una corriente trifásica de alta calidad incluso en situaciones de tensión de red elevadas y empleando el transformador preexistente en la correspondiente acometida de la subestación. Mediante la invención se produce una regeneración de energía en sistemas de tracción durante los procesos de frenado de los trenes asociados a una catenaria de corriente continua, de manera que mediante el dispositivo de la invención cuando la tensión leída en la catenaria supera un valor determinado se comienza a extraer energía para inyectarla en la red de alterna correspondiente; superando inconvenientes del estado de la técnica tales como el escaso aprovechamiento respecto de toda la energía disponible que se podría inyectar en la red y las fluctuaciones de tensión que se producen en otros sistemas.

20

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Son conocidos sistemas ferroviarios que cuentan con una catenaria de tensión continua conectada a un bloque de puentes rectificadores que a su vez conecta con el secundario de un transformador existente en la acometida de la correspondiente subestación y cuyo primario conecta con una red de corriente alterna trifásica, conectándose un dispositivo de aprovechamiento de energía entre la catenaria y el secundario del transformador, de manera que en las frenadas de los trenes se entrega determinada tensión a dicha red para facilitar un aprovechamiento de energía.

La figura 12, correspondiente al estado de la técnica muestra un esquema existente en subestaciones ferroviarias con catenaria de tensión continua, donde la catenaria 20 se alimenta a través de puentes rectificadores no controlados 40 que no permiten el flujo de energía de esa catenaria 20 hacia la red de alterna 10, de manera que la unidad ferroviaria o tren al efectuar una frenada limita la tensión sobre la catenaria 20 y la energía sobrante se quema en un sistema 30 instalado para tal efecto en la propia unidad ferroviaria.

Superando la situación descrita en el párrafo anterior se han propuesto soluciones tales como la mostrada en la figura 13, correspondiente también al estado de la técnica permitiendo recuperar energía mediante un dispositivo 60a, que sin embargo presenta inconvenientes relativos a que solo puede recuperar energía cuando la tensión en la catenaria 20 es suficientemente elevada para que el correspondiente circuito inversor pueda regular la corriente que se entrega a la red 10. Esta solución que se muestra en la figura 12 no es satisfactoria porque no se aprovecha toda la energía disponible en la catenaria 20 y porque la calidad de la corriente entregada a la red 10 se puede ver mermada por la falta de tensión suficiente.

Otra solución del estado de la técnica se muestra en la figura 14, donde el correspondiente dispositivo 60b emplea un transformador independiente 70 para elevar la tensión. En este caso se presentan inconvenientes relativos a que la inversión y el volumen de la instalación son mayores y aun así el sistema se encuentra sujeto a fluctuaciones de tensión de la red 10, sin que la tensión de trabajo sea la necesaria para optimizar la calidad de la corriente entregada.

EP 1 350 666 A1 divulga el preámbulo de la reivindicación 1.

50

DESCRIPCION DE LA INVENCION

Para lograr los objetivos y evitar los inconvenientes indicados en anteriores apartados, la invención consiste en un dispositivo y procedimiento de control para recuperación de energía cinética en sistemas ferroviarios donde el sistema ferroviario cuenta con una catenaria de tensión continua conectada a un bloque de puentes rectificadores que a su vez conecta con el secundario de un transformador, existente en la acometida de la correspondiente subestación, cuyo primario conecta con una red de corriente alterna trifásica, conectándose el dispositivo entre la catenaria y el secundario del transformador.

60

Novedosamente, según la invención, el dispositivo de la misma cuenta con un primer bloque de elevación de tensión DC/DC, que aísla armónicos y fluctuaciones de la catenaria, conectado entre la catenaria y un bus intermedio provisto de condensador que a su vez conecta con un segundo bloque de generación de corriente trifásica DC/AC unido al secundario del transformador; de manera que en las frenadas del correspondiente tren el aludido primer bloque permite elevar la tensión DC de la catenaria generando una tensión controlada en el bus intermedio; en tanto

65

que el referido segundo bloque, a partir de dicha tensión controlada, permite generar una corriente trifásica de alta calidad que se entrega a la red trifásica a través del transformador.

5 Según las realizaciones preferentes de la invención, el aludido dispositivo de la misma se dimensiona inferior en capacidad de potencia y energía al sistema de alimentación de la catenaria preexistente basado en los puentes rectificadores; de manera que el transformador pueda soportar el flujo de energía resultante.

10 En una realización preferente de la invención para el aludido primer bloque éste se encuentra formado por al menos una rama con al menos tres interruptores semiconductores donde al menos el interruptor del medio es controlable en el encendido y en el apagado; en tanto que el punto medio formado entre el interruptor semiconductor superior y el del medio está conectado a través de una bobina al polo positivo de la catenaria, y el punto medio formado entre el interruptor semiconductor inferior y el del medio está conectado a través de una bobina al polo negativo o tierra de la catenaria.

15 Para dicha realización y en la aludida rama los interruptores semiconductores superior e inferior son unidireccionales en corriente y de tipo diodo, mientras que el interruptor del medio es bidireccional en Corriente y de tipo IGBT.

20 En una segunda realización del referido primer bloque éste se encuentra formado por dos ramas con al menos dos interruptores semiconductores en cada una, de manera que el punto medio de una de las ramas está conectado a través de una bobina al polo positivo de la catenaria y el punto medio de la otra rama está conectado a través de otra bobina a tierra o polo negativo de la catenaria.

25 En una realización de esas dos ramas el interruptor semiconductor superior de la rama asociada al polo positivo de la catenaria y el interruptor semiconductor inferior de la rama asociada al polo negativo de la catenaria son unidireccionales en corriente y de tipo diodo, mientras que los otros dos interruptores semiconductores son bidireccionales en corriente y de tipo IGBT.

30 En otra realización de las referidas dos ramas los mencionados interruptores semiconductores de cada una de las dos ramas son bidireccionales en corriente y de tipo IGBT.

35 En una tercera realización del referido primer bloque del dispositivo dicho primer bloque está formado por al menos una rama con al menos cuatro interruptores semiconductores donde al menos los dos interruptores del medio son controlables en el encendido y en el apagado; y el punto medio formado entre los dos interruptores semiconductores superiores está conectado a través de una bobina al polo positivo de la catenaria; en tanto que el punto medio formado entre los dos interruptores semiconductores inferiores está conectado a través de una bobina al polo negativo de la catenaria.

40 Para esa tercera realización del primer bloque la aludida rama puede presentar los dos interruptores semiconductores superior e inferior unidireccionales en corriente y de tipo diodo y los dos interruptores semiconductores del medio bidireccionales en corriente y de tipo IGBT; habiéndose previsto además que en dicha tercera realización del primer bloque la mencionada rama presente sus cuatro interruptores semiconductores bidireccionales en corriente de tipo IGBT.

45 En una primera realización del aludido segundo bloque del dispositivo de la invención, dicho segundo bloque está formado por tres ramas con al menos dos interruptores semiconductores bidireccionales en corriente en cada rama, de manera que cada rama corresponde a una fase del sistema de tensión trifásico de la red trifásica y presenta opcionalmente una inductancia conectada entre el punto medio de la rama y la fase correspondiente del transformador; pudiéndose prescindir de dichas inductancias en caso de que la correspondiente inductancia de fugas del transformador sea suficiente para asegurar la regulación de la corriente.

50 En una segunda realización del referido segundo bloque del dispositivo, prevista para aplicaciones de tensión elevada, se utiliza un circuito de tipo trinivel NPC con interruptores semiconductores unidireccionales en corriente de tipo diodo unidos a un punto medio del bus intermedio, que limitan la tensión soportado por otros interruptores semiconductores de tipo IGBT; presentando en este caso el bus intermedio dos condensadores entre los que se establece el referido punto medio.

55 Por otra parte, para ampliaciones de potencia con corrientes elevadas, el dispositivo de la invención puede presentar un primer bloque encargado de regular la tensión del bus intermedio dimensionado con el número de ramas necesarias para poder trabajar con la correspondiente corriente, a la vez que uno o varios del referido segundo bloque son puestos en paralelo a partir de ese único bus intermedio de continua provisto de un único condensador.

60 Además, según otra realización de la invención, entre la catenaria y el bloque de elevación de tensión DC/DC es susceptible de interconectarse un bloque adicional optativo formado por un diodo cuyo ánodo esté conectado al polo positivo de la catenaria y cuyo cátodo se conecte al polo positivo del bloque de elevación de tensión DC/DC, y por un condensador conectado entre el cátodo del referido diodo y el polo negativo o tierra de la catenaria; con la funcionalidad de aportar armónicos de la corriente consumida por el bloque de elevación de tensión DC/DC de

65

manera que no se consuman de la catenaria y no se perturbe a la misma, quedando desacoplado el referido condensador de las perturbaciones existentes en la catenaria gracias al aludido diodo.

5 Según el procedimiento de control de la presente invención, que emplea el dispositivo que se ha descrito, para la regulación de la potencia y calidad de corriente entregada a la red de alterna, se presenta la acción de dos reguladores acoplados, de los cuales uno regula la tensión del bus intermedio a un valor determinado, controlando la corriente a través del bloque de elevación de tensión DC/DC, quedando el bus intermedio desacoplado de las variaciones y perturbaciones existentes en la catenaria; mientras que el otro regula la potencia que el bloque de generación de corriente trifásica DC/AC entrega a la red, establecida a partir de la tensión medida en la catenaria siempre que ésta supere un umbral determinado, optimizándose la dinámica del sistema con una señal feedforward a través de la que el segundo regulador manda al primero el valor de la potencia que entrega a la red.

15 Además, en el procedimiento de control que se ha aludido se incluye una regulación por parte de un control asociado al bloque de elevación de tensión DC/DC de una tensión del bus intermedio superior a la tensión de catenaria, permitiendo la recuperación de energía en situaciones de tensión de red elevadas y cercanas a la tensión de catenaria, logrando así la optimización de la energía total recuperada.

20 Según el procedimiento de control que se viene describiendo, mediante el mismo se efectúa una minimización de la componente armónica de la corriente entregada por el bloque de generación de Corriente trifásica DC/AC, estableciendo el valor de tensión de bus intermedio óptimo para cada valor de tensión de red.

25 Según el procedimiento de control de la invención, se monitoriza la corriente circulante por el bloque de puente rectificadores durante el proceso de regeneración y se ajusta el valor de la tensión umbral a regular en la catenaria de modo que el valor de la corriente recirculante entre el bloque de puente rectificadores y el dispositivo de la invención sea mínimo o igual a cero.

30 Con la estructura que se ha descrito, el dispositivo de la invención presenta ventajas tales como que el sistema inicial basado en diodos para la alimentación de la catenaria permanece inalterado y con el dispositivo de la invención se facilita un sistema de recuperación de energía transparente a su funcionamiento, de manera que en caso de avería el dispositivo de la invención se desconecta permaneciendo la subestación operativa. Además, en el dispositivo de la invención, el paso previo de conversión DC/DC aísla el condensador del bus intermedio de fluctuaciones y armónicos existentes en la catenaria, de manera que la generación de la corriente trifásica se realiza a partir de una tensión de bus estabilizada y la vida útil del condensador del bus no se ve reducida por armónicos existentes en la catenaria. Asimismo, en caso de cortocircuito en la catenaria, el dispositivo de la invención no se ve afectado y no aporta energía dicho corto circuito ya que el bus intermedio permanece aislado de la catenaria.

40 En el dispositivo de la invención, la estrategia de control se basa en la medida y regulación de la tensión de catenaria. En el proceso de frenado, los trenes elevan la tensión de la catenaria para entregar energía a la misma. El control del dispositivo trata de limitar la tensión máxima existente en la catenaria extrayendo corriente de la misma.

El dispositivo de regeneración de energía de la invención monitoriza en todo momento la tensión en la catenaria. Cuando la tensión leída supera el valor de un umbral deseado se comienza a extraer energía de la catenaria tratando que la tensión en la misma no supere el umbral deseado.

45 La potencia máxima que se extrae de la catenaria viene limitada por la potencia máxima para la que se ha diseñado el dispositivo. El dispositivo de la invención puede además cumplir otras funciones. Así, en la parte de alterna, el dispositivo de la invención puede funcionar como filtro activo y mejorar la calidad de onda de la intensidad consumida por el puente de diodos o compensar la energía reactiva para conseguir un valor de $\cos(\phi)$ cercano a 1.

50 Además, en el caso de que el referido primer bloque del dispositivo de la invención sea bidireccional en corriente, el dispositivo completo se puede utilizar durante las aceleraciones del tren para aportar energía a la catenaria 20, consumiendo corriente de alta calidad de la red de alterna. También se puede utilizar el referido primer bloque o circuito chopper del dispositivo de la invención para compensar armónicos en la catenaria.

55 A continuación, para facilitar una mejor comprensión de esta memoria descriptiva y formando parte integrante de la misma, se acompañan unas figuras en las que con carácter ilustrativo y no limitativo se ha representado el objeto de la invención.

60 BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Figura 1.- Representa esquemáticamente un diagrama de bloques funcionales de un dispositivo para recuperación de energía cinética en sistemas ferroviarios realizado según la presente invención.

65 Figura 2.- Representa esquemáticamente una primera realización de un primer bloque existente en la anterior figura 1.

Figura 3.- Representa esquemáticamente una segunda realización del primer bloque referido en la anterior figura 2.

Figura 4.- Representa una variante de la segunda realización referida en la anterior figura 3.

Figura 5.- Representa esquemáticamente al circuito de una tercera realización del referido primer bloque de la anterior figura 1.

Figura 6.- Representa una variante de esa tercera realización que se aludió en la figura 5.

Figura 7.- Representa esquemáticamente al circuito de una primera realización de un segundo bloque existente en la anterior figura 1.

Figura 8.- Representa al circuito de una segunda realización del referido segundo bloque aludido en la anterior figura 7.

Figura 9.- Representa un diagrama de bloques funcionales de un dispositivo para recuperación de energía cinética en sistemas ferroviarios análogo al de la anterior figura 1 pero según una segunda realización de la invención.

Figura 10.- Representa un diagrama de bloques funcionales de un dispositivo para recuperación de energía cinética en sistemas ferroviarios análogo al de las anteriores figuras 1 y 9 pero según una tercera realización de la invención.

Figura 11.- Representa un diagrama de tensiones y corrientes facilitado con el diagrama de bloques de la anterior figura 1.

Figura 12.- Representa esquemáticamente un diagrama de bloques funcionales del estado de la técnica con elementos empleados en la presente invención.

Figura 13.- Representa un diagrama de bloques funcionales del estado de la técnica de un dispositivo para recuperación de energía en sistemas ferroviarios que emplea una solución distinta a las que se presentan en esta invención.

Figura 14.- Representa un diagrama de bloques funcionales del estado de la técnica con una solución distinta de la de la anterior figura 12 y de las presentadas en esta invención.

DESCRIPCIÓN DE UNO O VARIOS EJEMPLOS DE REALIZACIÓN DE LA INVENCION

Seguidamente se realiza una descripción de varios ejemplos de la invención haciendo referencia a la numeración adoptada en las figuras.

Así, en la figura 1 se muestra el esquema general o diagrama de bloques funcionales de la realización principal de la invención, donde el dispositivo de la misma referenciado como 50 se conecta entre una catenaria de tensión continua 20 y el secundario de un transformador 30 preexistente en la subestación correspondiente y conectado a una red de distribución de corriente alterna trifásica 10. Además, hay un bloque de puentes rectificadores 40 conectado entre la catenaria 20 y el secundario del transformador 30. El dispositivo de la invención 50 está formado por un segundo bloque 52 que tiene la capacidad de generar tensión alterna trifásica a partir de la tensión continua de un bus intermedio con condensador 53 que es regulado por un primer bloque 51 del dispositivo y que está provisto con interruptores semiconductores para intercambiar energía entre dos fuentes de tensión continua. Así, el primer bloque 51 es un bloque de elevación de tensión DC/DC mientras que el segundo bloque 52 es un bloque de generación de corriente trifásica DC/AC.

En todas las realizaciones que se muestran en este apartado, el dispositivo 50 se dimensiona inferior en capacidad de potencia y energía al sistema de alimentación de la catenaria 20 preexistente y basado en los puentes rectificadores 40, de manera que el transformador 30 pueda soportar el flujo de energía resultante.

La configuración de elementos 51, 52 Y 53 del dispositivo 50 que se acaba de mencionar posibilita que en las frenadas de un tren el primer bloque 51 eleve la tensión DC de la catenaria 20 generando una tensión controlada en el bus intermedio o bornas del condensador 53, en tanto que el segundo bloque 52, a partir de dicha tensión controlada genera una corriente trifásica de alta calidad que se entrega a la red trifásica 10 a través del transformador 30.

En las figuras 2 a 6 se muestran varios circuitos de realizaciones preferentes para la parte del dispositivo 50 referida como primer bloque 51 de elevación de tensión.

- Así, en la figura 2 ese primer bloque referenciado como 51a está formado por al menos una rama 55 con al menos tres interruptores semiconductores donde al menos el interruptor del medio es controlable en el encendido y en el apagado, en tanto que el punto medio formado entre el interruptor semiconductor superior y el del medio está conectado a través de una bobina al polo positivo de la catenaria 20; y el punto medio formado entre el interruptor semiconductor inferior y el del medio está conectado a través de una bobina al polo negativo o tierra de la catenaria 20. Los interruptores semiconductores superior e inferior de la referida rama 55 son unidireccionales en corriente y de tipo diodo, referenciándose como 58; mientras que el interruptor del medio es bidireccional en corriente de tipo IGBT y referenciado como 59, según se aprecia en la aludida figura 2.
- Por otra parte, en las figuras 3 y 4 ese primer bloque del dispositivo 50 se referencia como 51 b Y muestra una segunda realización del primer bloque en el que hay dos ramas, 56a para la figura 3 y 56b para la figura 4. Estas dos ramas 56a o 56b cuentan con al menos dos interruptores semiconductores cada una de ellas, de manera que el punto medio de una de las ramas está conectado a través de una bobina al polo positivo de la catenaria 20 y el punto medio de la otra rama está conectado a través de otra bobina a tierra o polo negativo de la catenaria 20.
- En la figura 3, en esas dos ramas 56a el interruptor semiconductor superior de la rama asociada al polo positivo de la catenaria y el interruptor semiconductor inferior de la rama asociada al polo negativo son unidireccionales en corriente y de tipo diodo 58, mientras que los otros dos interruptores semiconductores son bidireccionales en corriente y de tipo IGBT 59.
- En la variante de la segunda realización del primer bloque del dispositivo 50, mostrada en la figura 4, esas dos ramas 56b presentan los dos interruptores semiconductores de cada una de las dos ramas bidireccionales y de tipo corriente IGBT 59, tal y como se aprecia en la figura 4.
- En las figuras 5 y 6 se muestra una tercera realización para el primer bloque del dispositivo 50 que está especialmente diseñado para aplicaciones de mayor tensión y que se ha referenciado como 51c. Así, en la figura 5 el primer bloque 51c está formado por al menos una rama 57a con al menos cuatro interruptores semiconductores donde al menos los dos interruptores del medio son controlables en el encendido y en el apagado; y el punto medio formado entre los dos interruptores semiconductores superiores está conectado a través de una bobina al polo positivo de la catenaria, en tanto que el punto medio formado entre los dos interruptores semiconductores inferiores está conectado a través de una bobina al polo negativo de la catenaria. En dicha rama 57a los dos interruptores semiconductores superior e inferior de la rama son unidireccionales en corriente de tipo diodo 58 Y los dos interruptores semiconductores del medio son bidireccionales en corriente de tipo IGBT 59.
- La configuración de la figura 6 es análoga a la anterior figura 5 pero en ella la rama correspondiente 57b del bloque 51c presenta los cuatro interruptores semiconductores bidireccionales en corriente de tipo IGBT 59.
- En esta tercera realización del primer bloque 51c, tal y como puede verse en las figuras 5 y 6, el condensador 53 del dispositivo es sustituido por un bloque condensador 53' que presenta dos condensadores con puntos de conexión 20 al primer bloque en los extremos y entre dichos condensadores.
- En estas figuras que se han explicado 2 a 6 se representa además con líneas discontinuas la posibilidad de aumentar la capacidad de corriente y con ello la capacidad de potencia del dispositivo 50, de manera que se aprecia la posibilidad de conectar en paralelo las ramas o unidades que se requieran para cada caso concreto de aplicación según las corrientes que se vayan a emplear.
- En la figura 7 se muestra una primera realización para el segundo bloque del dispositivo 50 que se ha referenciado como 52a, mostrando un circuito que está formado por tres ramas con al menos dos interruptores semiconductores bidireccionales en corriente 59 en cada rama; de manera que cada rama corresponde a una fase del sistema de tensión trifásico de la red trifásica 10 y presenta opcionalmente una inductancia 60 para cada rama conectada entre el punto medio de la correspondiente rama y la fase correspondiente del transformador 30; pudiéndose prescindir de esas inductancias 60 en caso de que la correspondiente inductancia de fugas del transformador 30 sea suficiente para asegurar la regulación de la corriente.
- En la figura 8 se muestra una segunda realización del segundo bloque del dispositivo 50 para aplicaciones de tensión elevada y referenciado como 52b, constituyendo un circuito de tipo trinivel NPC con interruptores semiconductores unidireccionales en corriente de tipo diodo 58 unidos a un punto medio del bus intermedio, y que limitan la tensión soportada por otros interruptores semiconductores de tipo IGBT 59, presentando en este caso el bus intermedio dos condensadores 53' entre los que se establece el referido punto medio, tal y como puede apreciarse en la figura 8.
- La figura 9 representa una segunda realización del esquema general del dispositivo 50, mostrando la posibilidad de ampliaciones de potencia con Corrientes elevadas, para lo cual, el referido primer bloque 51 se encarga de regular la tensión del bus intermedio y se dimensiona con el número de ramas necesarias para poder trabajar con la corriente correspondiente, al tiempo que uno o varios del referido segundo bloque 52 son puestos en paralelo a partir de ese único bus intermedio de continua provisto de un único condensador 53, tal y como se representa en la figura 9. Hay

que indicar que en esta figura 9 la topología del bloque 51 podría ser cualquiera de las mostradas en las figuras 2 a 6, mientras que la topología de los bloques 52 podría ser cualquiera de las mostradas en las figuras 7 y 8.

5 En la figura 10 se muestra una tercera realización de la invención que presenta la opción de intercalar un bloque adicional optativo 54 entre la catenaria 20 y el bloque de elevación de tensión DC/DC 51, tal y como se representa en esa figura 10.

10 Este bloque adicional optativo 54 cuenta con un diodo 54.a cuyo ánodo está conectado al polo positivo de la catenaria 20 y cuyo cátodo se conecta al polo positivo del bloque de elevación de tensión DC/DC 51, presentando además un condensador 54.b conectado entre el cátodo del referido diodo y el polo negativo o tierra de la catenaria 20, según se ha representado en la figura 10.

15 La funcionalidad del condensador 54.b es la de aportar los armónicos de la corriente consumida por el bloque de elevación de tensión 51, de manera que no se consuman de la catenaria 20 y no se perturbe a la misma. Por otra parte, el diodo 54.a lo que hace es desacoplar la tensión del condensador de las perturbaciones existentes en la catenaria 20 en los períodos en los que el conjunto de la invención o dispositivo 50 no esté recuperando energía. Además, en caso de cortocircuito en la red, dicho diodo 54.a impide que el condensador 54.b se descargue y por tanto el equipo no se ve afectado por el cortocircuito.

20 Para la regulación de la potencia y calidad de corriente entregada a la red de alterna 10 se emplea un procedimiento de control utilizando el dispositivo que se ha descrito y que presenta la acción de dos reguladores acoplados, de los cuales uno regula la tensión del bus intermedio del condensador 53 a un valor determinado, controlando la corriente a través del bloque de elevación de tensión 51, quedando ese bus intermedio desacoplado de las variaciones y perturbaciones existentes en la catenaria 20; mientras que el otro regula la potencia que el bloque de generación de corriente trifásica 52 entrega a la red 10 establecida a partir de la tensión medida en la catenaria 20 siempre que ésta supere un umbral determinado, optimizándose la dinámica del sistema con una señal feedforward a través de la que el segundo regulador manda al primero el valor de la potencia que entrega a la red 10. Esto es una estrategia de control que presenta dos controles en paralelo; uno el asociado al bloque de elevación de tensión 51 para controlar la tensión del bus intermedio y el otro asociado al bloque de generación de corriente trifásica 52 para controlar la tensión en la catenaria 20 y que no pase de un umbral determinado calculando la potencia que hay que sacar de la catenaria 20. Para agilizar la dinámica del control, el control asociado al bloque 52 manda el valor de la potencia extraído al otro control.

35 Además, en el procedimiento de control que se ha aludido se presenta una regulación por parte de un control asociado al bloque de elevación de tensión 51 de una tensión del bus intermedio del condensador 53, superior a la tensión de la catenaria 20, permitiendo la recuperación de energía en situaciones de tensión de red 10 elevadas y cercanas a la tensión de catenaria 20, logrando así la optimización de la energía total recuperada. Gracias a esto se puede trabajar en situaciones de tensión de red alta.

40 Además, según el procedimiento de control de la invención, se efectúa una minimación de la componente armónica de la corriente entregada por el bloque de generación de corriente trifásica 52, estableciendo el valor de tensión del bus intermedio del condensador 53 óptimo para cada valor de tensión de red 10. Así, la tensión en el bus intermedio se ajusta siempre a la tensión existente en la red, ya que ésta puede fluctuar en un $\pm 10\%$, de manera que la componente de armónico resultante en la corriente entregada sea siempre mínima.

45 Por otra parte, según el procedimiento de control de la invención, se monitoriza la corriente circulante por el bloque de puentes rectificadores 40 durante el proceso de regeneración y se ajusta el valor de tensión umbral a regular en la catenaria 20 de modo que el valor de la corriente recirculante entre el bloque de puentes rectificadores 40 y el dispositivo 50 sea mínimo o igual a cero. Con ello se evita calentamiento de los equipos y se evita que empeore la calidad de la corriente entregada. Durante los períodos en los que el bloque de generación de corriente trifásica está funcionando se lee la Corriente que pasa a través del bloque de puentes rectificadores, y para hacer que esta corriente sea muy pequeña o igual a cero, lo que se hace es aumentar el umbral de tensión de catenaria que el control asociado a ese bloque de generación de corriente trifásica trata de controlar. Así se consigue que la corriente mencionada se anule, logrando el valor óptimo de energía total recuperada.

50 En la figura 11 se muestra la evolución de las variables de regulación en los distintos estados de funcionamiento del sistema correspondiente al dispositivo 50. El tiempo comprendido entre t_0 y t_1 muestra el sistema en estado de reposo, durante el cual ningún tren se encuentra traccionando o frenando. La tensión en la catenaria 20 es igual a la tensión rectificadora de vacío de la subestación y la tensión de umbral de regulación del dispositivo 50 es calculada en función de la tensión existente en la red trifásica 10.

60 En el tiempo comprendido entre t_1 y t_2 , un tren se encuentra traccionando y la tensión en la catenaria 20 baja al valor correspondiente a la tensión rectificadora en la carga. La corriente en el dispositivo 50 se mantiene a 0 ya que la tensión en la catenaria es inferior a la tensión umbral de regulación. El puente rectificador 40 de la subestación entrega la Corriente de tracción a la catenaria 20.

65

ES 2 621 103 T3

En el tiempo comprendido entre t_2 y t_3 , el tren ha dejado de acelerar y solo consume una corriente pequeña resultante del mantenimiento de la velocidad, así como del consumo de los convertidores auxiliares.

- 5 En el tiempo t_3 , un tren comienza a frenar elevando la tensión de la catenaria 20 por encima de la tensión de vacío. En el instante t_4 la tensión de la catenaria 20 alcanza el valor del umbral de regulación y el dispositivo 50 comienza a entregar potencia a la red regulando la tensión de la catenaria 20.

- 10 El tiempo comprendido entre t_4 y t_5 muestra la estrategia de control actuando sobre el valor de la tensión umbral de regulación para minimizar o anular la corriente de recirculación entre el puente rectificador 40 y el dispositivo 50 durante el proceso de regeneración de energía. En el instante t_4 se comienza a extraer energía de la catenaria 20 y se crea una corriente de recirculación. El control ajusta el valor umbral de regulación al valor necesario para anular dicha corriente. En el instante t_5 la tensión de umbral crece al valor necesario que elimina la corriente de recirculación.

- 15 El tiempo comprendido entre t_4 y t_6 muestra el dispositivo 50 en funcionamiento y regenerando energía. La tensión de la catenaria 20 es regulada extrayendo energía de la misma y entregándola a la red trifásica 10 (la figura 10 muestra la evolución del valor RMS de la corriente entregada a la red trifásica 10). En el instante t_6 el tren deja de frenar y el sistema pasa otra vez al estado de reposo.

20

REIVINDICACIONES

- 5 1. Dispositivo para recuperación de energía cinética en sistemas ferroviarios, donde el sistema ferroviario cuenta con una catenaria de tensión continua (20) conectada a un bloque de puentes rectificadores (40) que a su vez conecta con el secundario de un transformador (30), existente en la acometida de la correspondiente subestación, cuyo primario conecta con una red de corriente alterna trifásica (10), conectándose el dispositivo entre la catenaria (20) y el secundario del transformador (30); **caracterizado porque** el dispositivo (50) cuenta con un primer bloque de elevación de tensión DC/DC (51, 51a, 51 b, 51c), que aísla de armónicos y fluctuaciones de la catenaria, conectado entre la catenaria (20) y un bus intermedio provisto de condensador (53, 53') que a su vez conecta con un segundo bloque de generación de corriente trifásica DC/AC (52, 52a, 52b) unido al secundario del transformador (30); de manera que en las frenadas del correspondiente tren el aludido primer bloque permite elevar la tensión DC de la catenaria generando una tensión controlada en el bus intermedio; en tanto que el referido segundo bloque, a partir de dicha tensión controlada, permite generar una corriente trifásica de alta calidad que se entrega a la red trifásica (10) a través del transformador (30).
- 15 2. Dispositivo para recuperación de energía cinética en sistemas ferroviarios, según la reivindicación 1, **caracterizado porque** dicho dispositivo (50) se dimensiona inferior en capacidad de potencia y energía al sistema de alimentación de la catenaria (20) preexistente y basado en los puentes rectificadores (40); de manera que el transformador (30) pueda soportar el flujo de energía resultante.
- 20 3. Dispositivo para recuperación de energía cinética en sistemas ferroviarios, según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el referido primer bloque (51a) está formado por al menos una rama (55) con al menos tres interruptores semiconductores donde al menos el interruptor del medio es controlable en el encendido y en el apagado; en tanto que el punto medio formado entre el interruptor semiconductor superior y el del medio está conectado a través de una bobina al polo positivo de la catenaria (20); y el punto medio formado entre el interruptor semiconductor inferior y el del medio está conectado a través de una bobina al polo negativo o tierra de la catenaria (20).
- 25 4. Dispositivo para recuperación de energía cinética en sistemas ferroviarios, según la reivindicación 3, **caracterizado porque** en la referida rama (55) los interruptores semiconductores superior e inferior son unidireccionales en corriente de tipo diodo (58) y el interruptor del medio es bidireccional en corriente de tipo IGBT (59).
- 30 5. Dispositivo para recuperación de energía cinética en sistemas ferroviarios, según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el referido primer bloque (51b) está formado por al menos dos ramas (56a o 56b) con al menos dos interruptores semiconductores cada una, de manera que el punto medio de una de las ramas está conectado a través de una bobina al polo positivo de la catenaria (20) y el punto medio de la otra rama está conectado a través de otra bobina a tierra o polo negativo de la catenaria (20).
- 35 6. Dispositivo para recuperación de energía cinética en sistemas ferroviarios, según la reivindicación 5, **caracterizado porque** en esas dos ramas (56a) el interruptor semiconductor superior de la rama asociada al polo positivo de la catenaria (20) y el interruptor semiconductor inferior de la rama asociada al polo negativo de la catenaria (20) son unidireccionales en corriente de tipo diodo (58) y los otros dos interruptores semiconductores son bidireccionales en corriente de tipo IGBT (59).
- 40 7. Dispositivo para recuperación de energía cinética en sistemas ferroviarios, según la reivindicación 5, **caracterizado porque** en esas dos ramas (56b) los dos interruptores semiconductores de cada una de las dos ramas son bidireccionales en corriente de tipo IGBT (59).
- 45 8. Dispositivo para recuperación de energía cinética en sistemas ferroviarios, según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el referido primer bloque (51c) está formado por al menos una rama (57a) con al menos cuatro interruptores semiconductores donde al menos los dos interruptores del medio son controlables en el encendido y en el apagado; y el punto medio formado entre los dos interruptores semiconductores superiores está conectado a través de una bobina al polo positivo de la catenaria (20); en tanto que el punto medio formado entre los dos interruptores semiconductores inferiores está conectado a través de una bobina al polo negativo de la catenaria (20).
- 50 9. Dispositivo para recuperación de energía cinética en sistemas ferroviarios, según la reivindicación 8, **caracterizado porque** en dicha rama (57a) los dos interruptores semiconductores superior e inferior de la rama son unidireccionales en corriente de tipo diodo (58) y los dos interruptores semiconductores del medio son bidireccionales en corriente de tipo IGBT (59).
- 55 10. Dispositivo para recuperación de energía cinética en sistemas ferroviarios, según la reivindicación 8, **caracterizado porque** en dicha rama (57b) los cuatro interruptores semiconductores son bidireccionales en corriente de tipo IGBT (59).
- 60 65

- 5 11. Dispositivo para recuperación de energía cinética en sistemas ferroviarios, según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el referido segundo bloque (52a) está formado por tres ramas con al menos dos interruptores semiconductores bidireccionales en corriente (59) en cada rama; de manera que cada rama corresponde a una fase del sistema de tensión trifásico de la red trifásica (10) y presenta opcionalmente una inductancia (60) conectada entre el punto medio de la rama correspondiente y la fase correspondiente del transformador (30); pudiéndose prescindir de dichas inductancias (60) en caso de que la correspondiente inductancia de fugas del transformador (30) sea suficiente para asegurar la regulación de la corriente.
- 10 12. Dispositivo para recuperación de energía cinética en sistemas ferroviarios, según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el referido segundo bloque (52b), para aplicaciones de tensión elevada, es del tipo trinivel NPC con interruptores semiconductores unidireccionales en corriente de tipo diodo (58) unidos a un punto medio del bus intermedio, y que limita la tensión soportada por otros interruptores semiconductores de tipo IGBT (59); presentando en este caso el bus intermedio dos condensadores (53') entre los que se establece el referido punto medio.
- 15 13. Dispositivo para recuperación de energía cinética en sistemas ferroviarios, según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el dispositivo (50), para ampliaciones de potencia con corrientes elevadas, presenta el referido primer bloque (51) encargado de regular la tensión del bus intermedio con un dimensionado provisto de un número de ramas necesarias para poder trabajar con la corriente correspondiente, mientras que uno o varios del referido segundo bloque (52) son puestos en paralelo a partir de ese único bus intermedio de tensión continua.
- 20 14. Dispositivo para recuperación de energía cinética en sistemas ferroviarios, según la reivindicación 1, **caracterizado porque** entre la catenaria (20) y el bloque de elevación de tensión DC/DC (51) es susceptible de interconectarse un bloque adicional optativo (54) formado por un diodo (54a) cuyo ánodo está conectado al positivo de la catenaria (20) y cuyo cátodo se conecta al polo positivo del bloque de elevación de tensión DC/DC (51), y por un condensador 20 (54b) conectado entre el cátodo del referido diodo (54a) y el polo negativo o tierra de la catenaria (20).
- 25 15. Procedimiento de control, empleando el dispositivo de la reivindicación 1, para la regulación de la potencia y calidad de corriente entregada a la red de alterna (10); **caracterizado porque** presenta la acción de dos reguladores acoplados, de los cuales uno regula la tensión del bus intermedio del condensador (53) a un valor determinado, controlando la corriente a través del bloque de elevación de tensión DC/DC (51), quedando el referido bus intermedio desacoplado de las variaciones y perturbaciones existentes en la catenaria (20); mientras que el otro regula la potencia que el bloque de generación de corriente trifásica DC/AC (52) entrega a la red (10) establecida a partir de la tensión medida en la catenaria (20) siempre que ésta supere un umbral determinado, optimizándose la dinámica del sistema con una señal *feedforward* a través de la que el segundo regulador manda al primero el valor de la potencia que entrega 30 a la red (10).
- 30 16. Procedimiento de control, según la reivindicación 15, **caracterizado** por presentar una regulación por parte de un control asociado al bloque de elevación de tensión DC/DC (51) de una tensión del bus intermedio del condensador (53) superior a la tensión de catenaria (20) permitiendo la recuperación de energía en situaciones de tensión de red (10) elevadas y cercanas a la tensión de catenaria (20), logrando así la optimización de la energía total recuperada.
- 35 40 17. Procedimiento de control, según la reivindicación 15, **caracterizado porque** se efectúa una minimización de la componente armónica de la corriente entregada por el bloque de generación de corriente trifásica DC/AC (52) estableciendo el valor de tensión del bus intermedio del condensador (53) óptimo para cada valor de tensión de red (10).
- 45 50 18. Procedimiento de control, según la reivindicación 15, **caracterizado porque** se monitoriza la corriente circulante por el bloque de puentes rectificadores (40) durante el proceso de regeneración y se ajusta el valor de la tensión umbral a regular en la catenaria (20) de modo que el valor de la corriente recirculante entre el bloque de puentes rectificadores (40) y el dispositivo (50) sea mínimo o igual a cero.

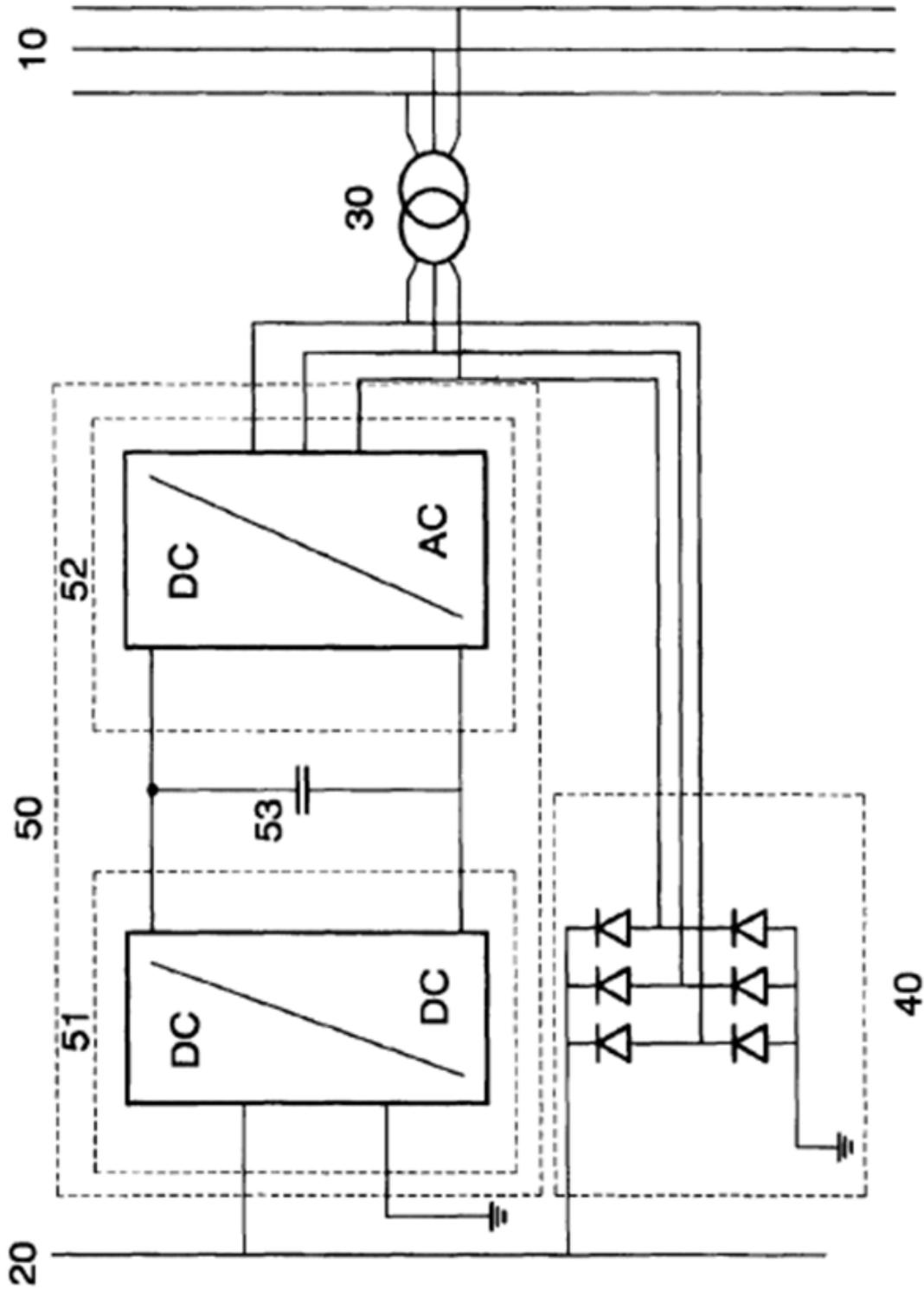


FIG. 1

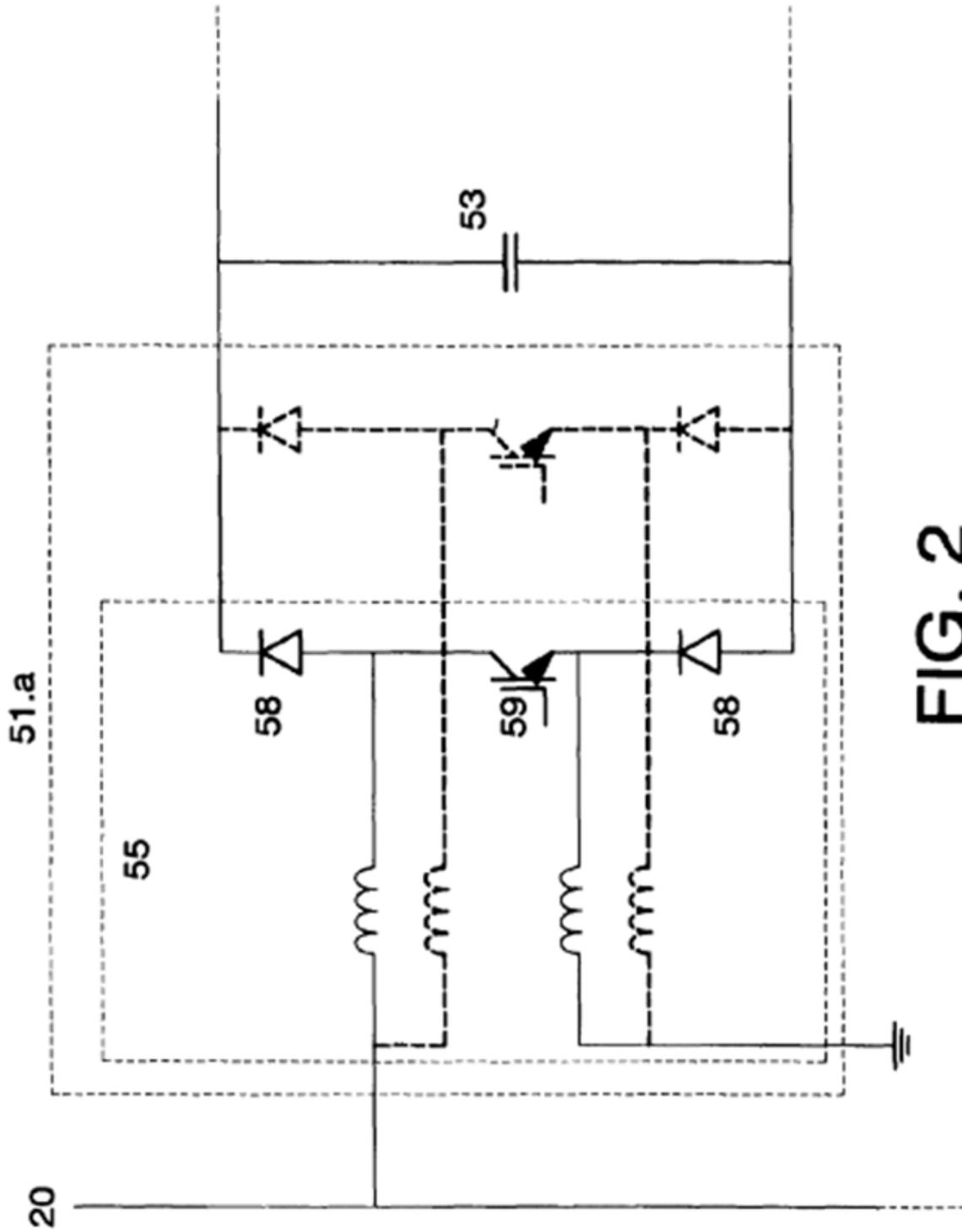


FIG. 2

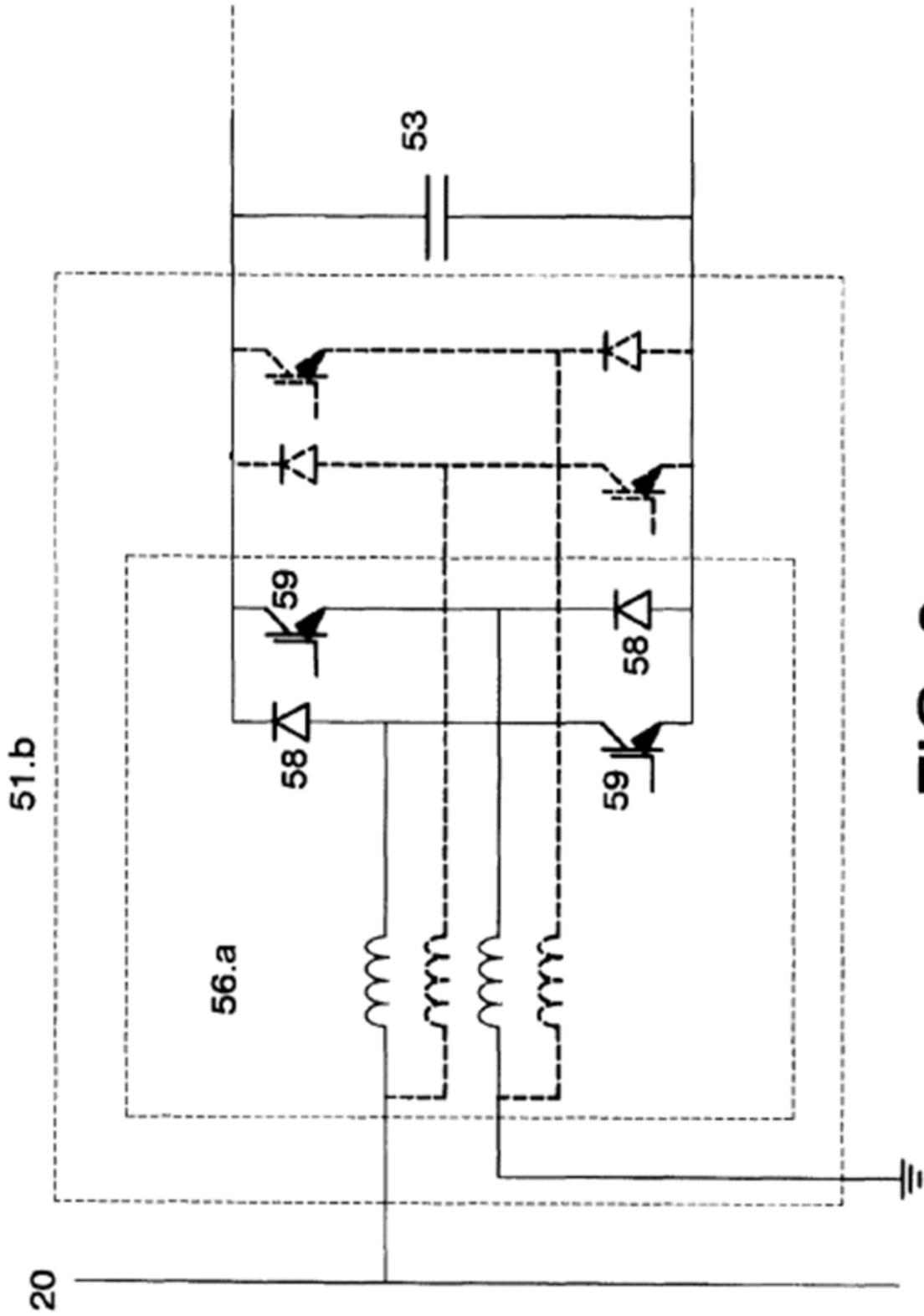


FIG. 3

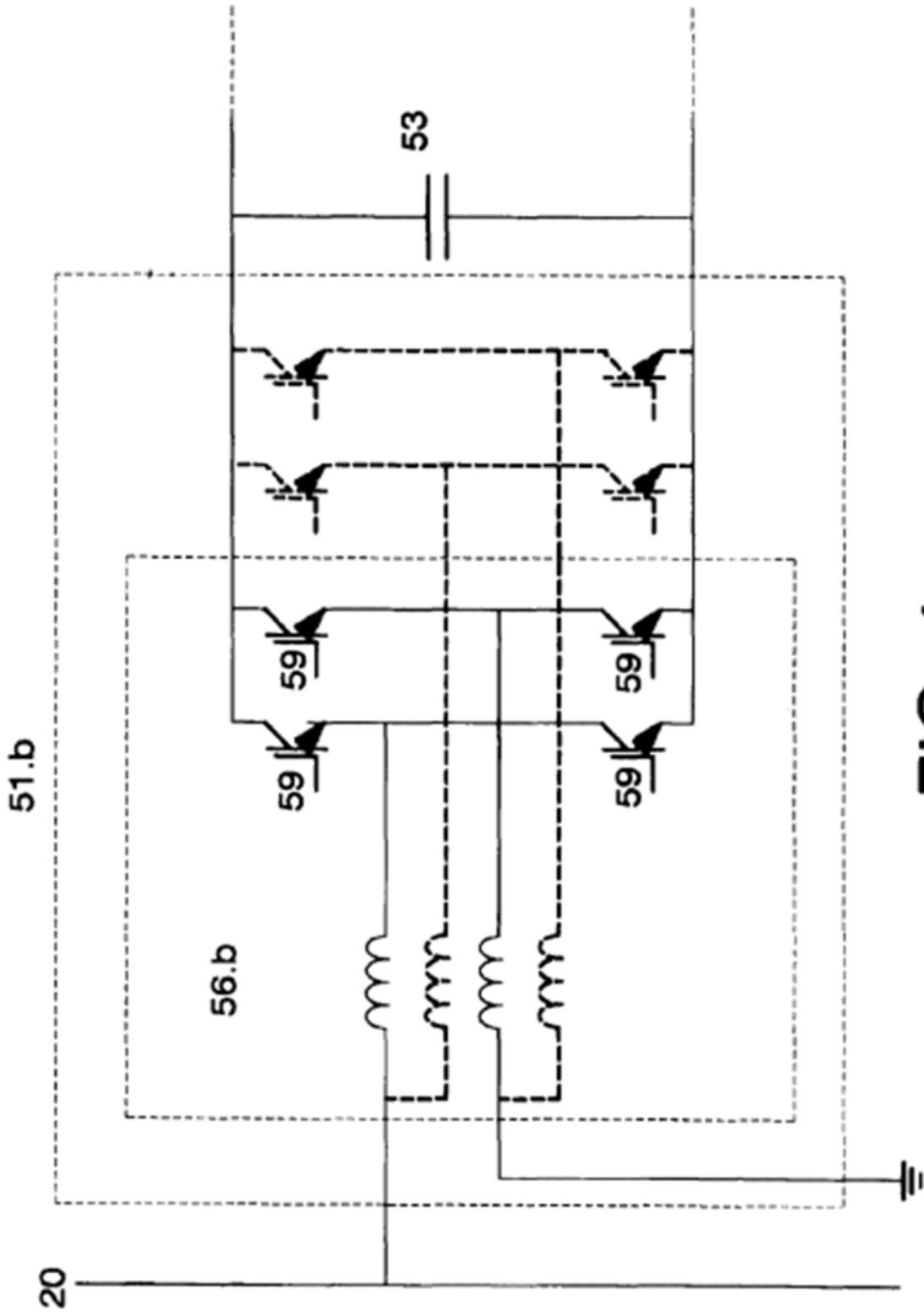


FIG. 4

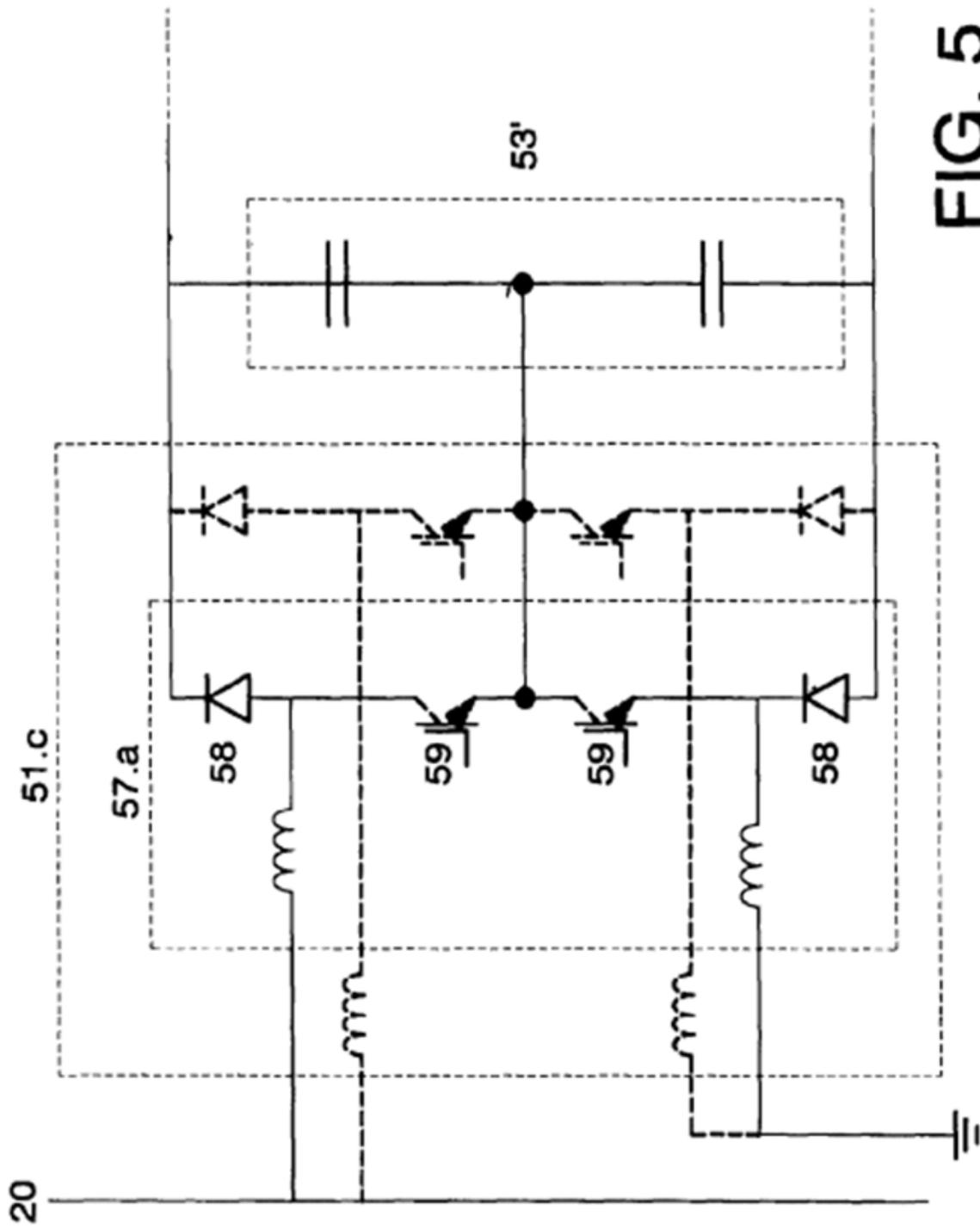


FIG. 5

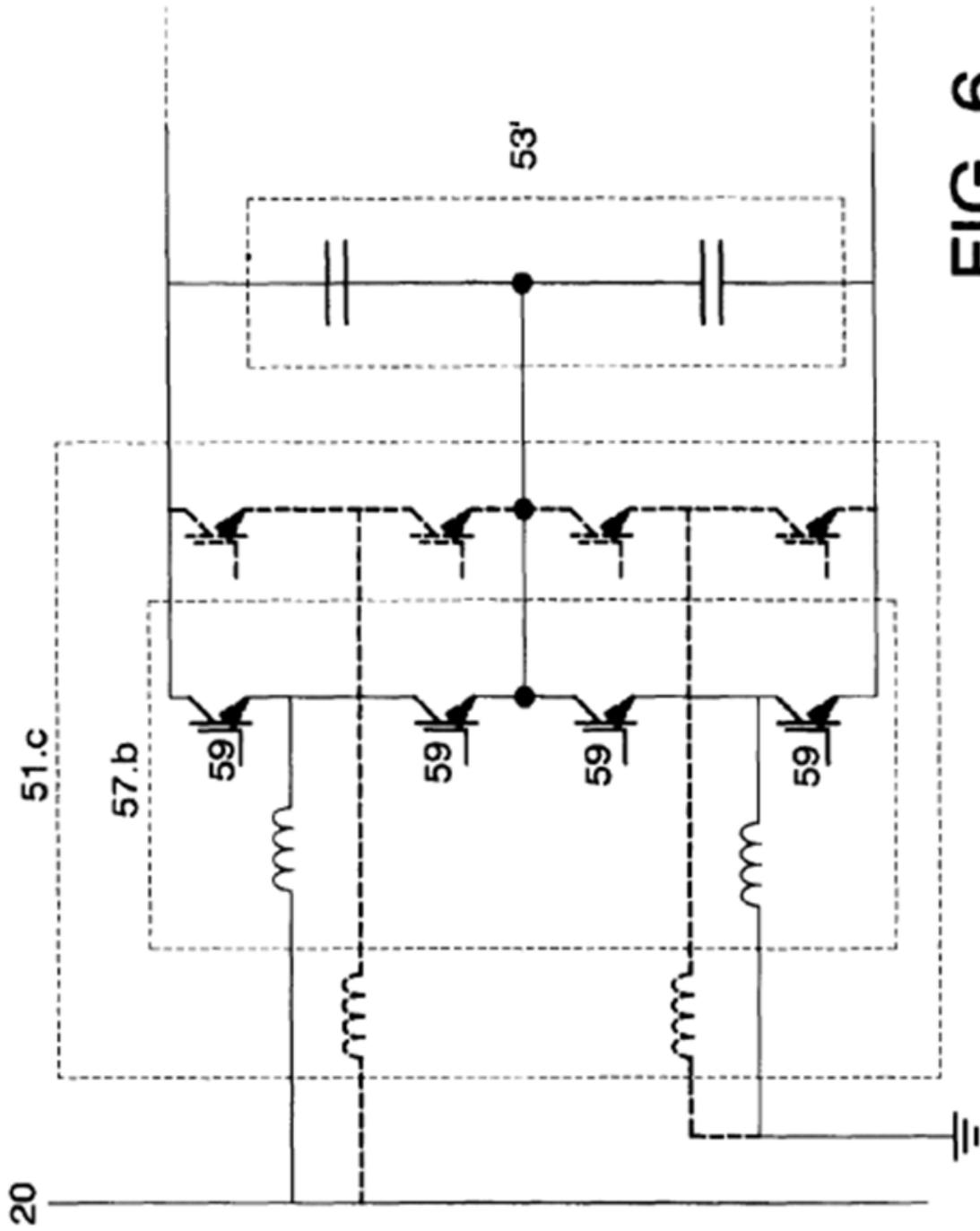


FIG. 6

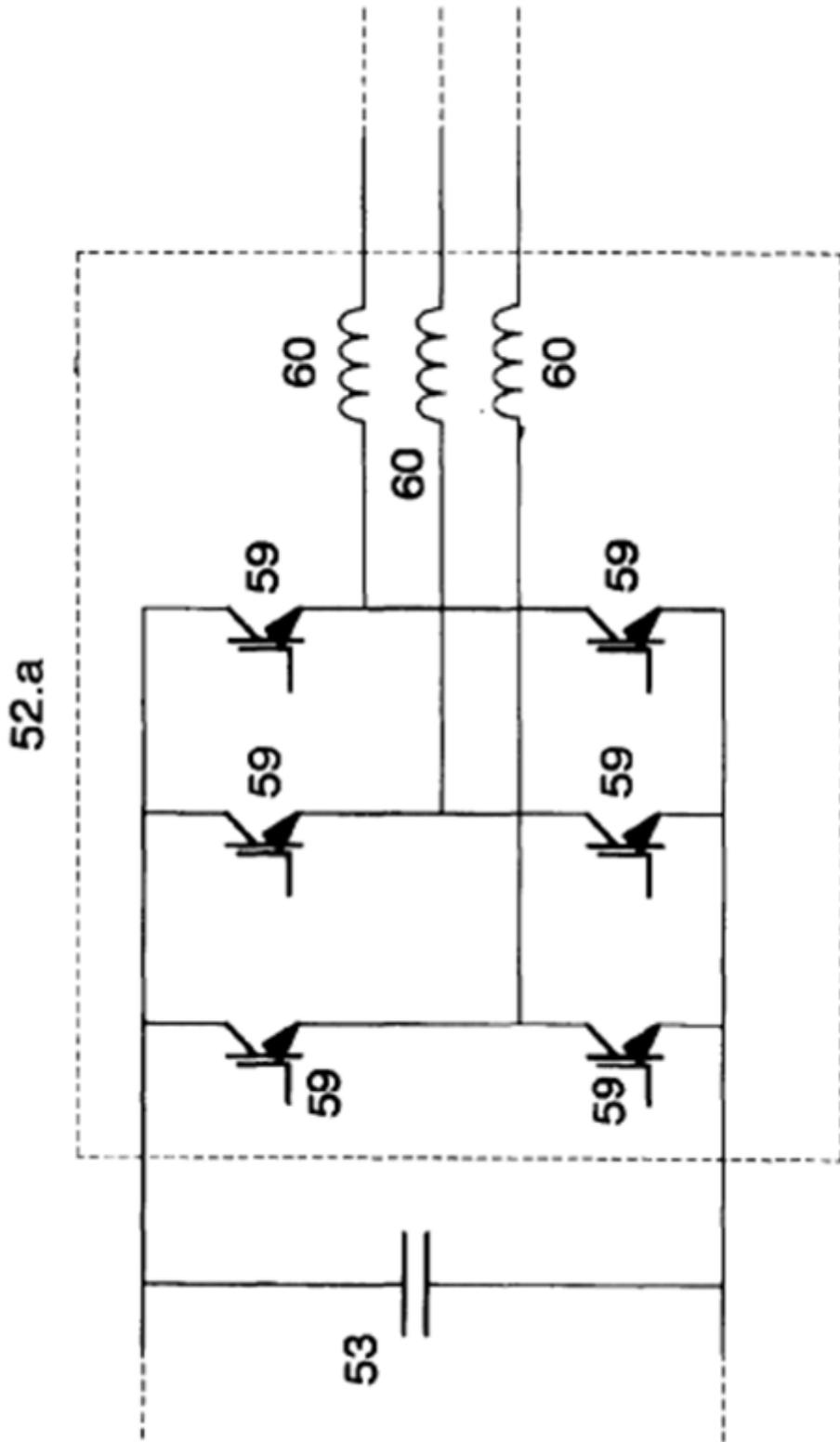


FIG. 7

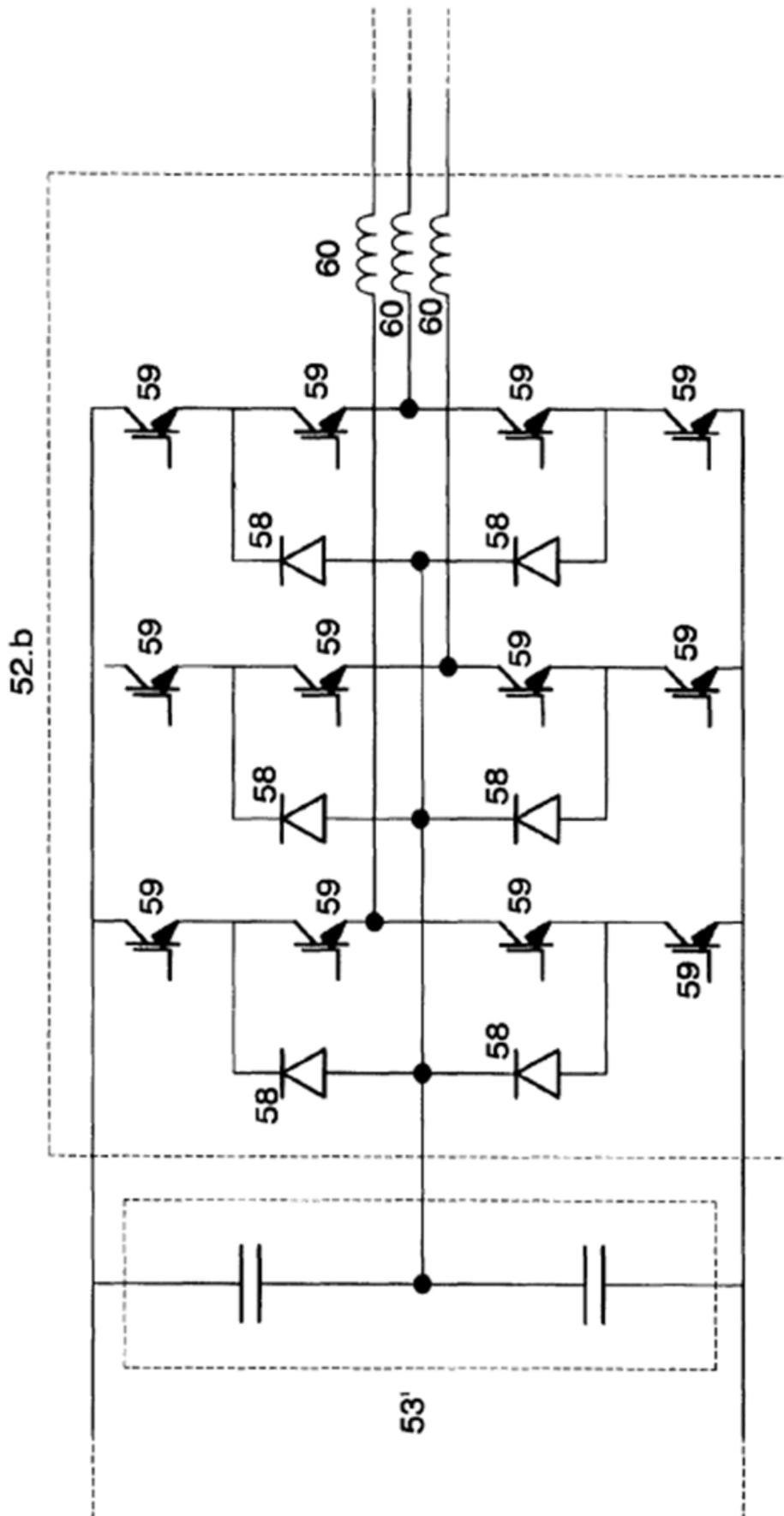


FIG. 8

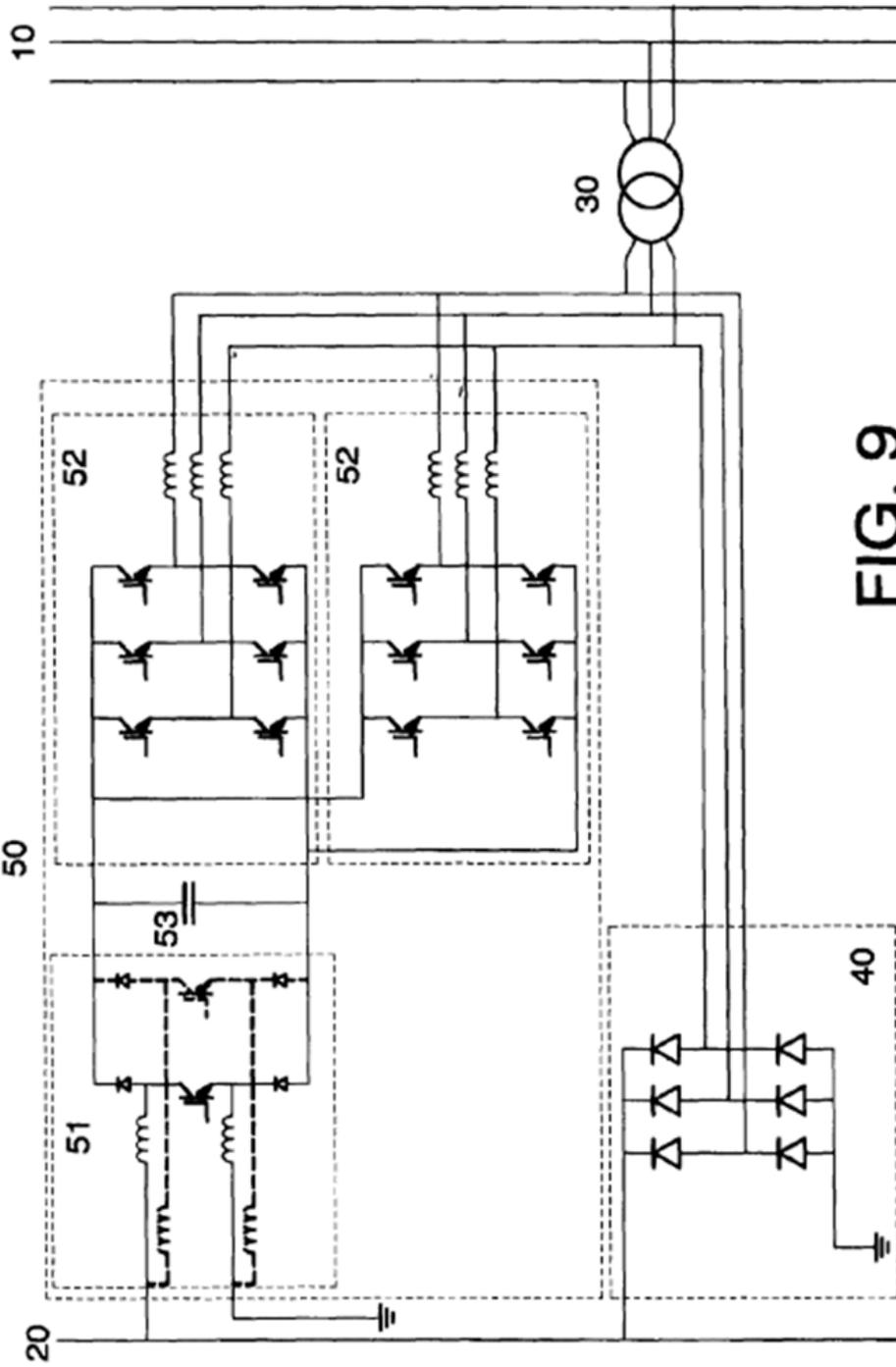


FIG. 9

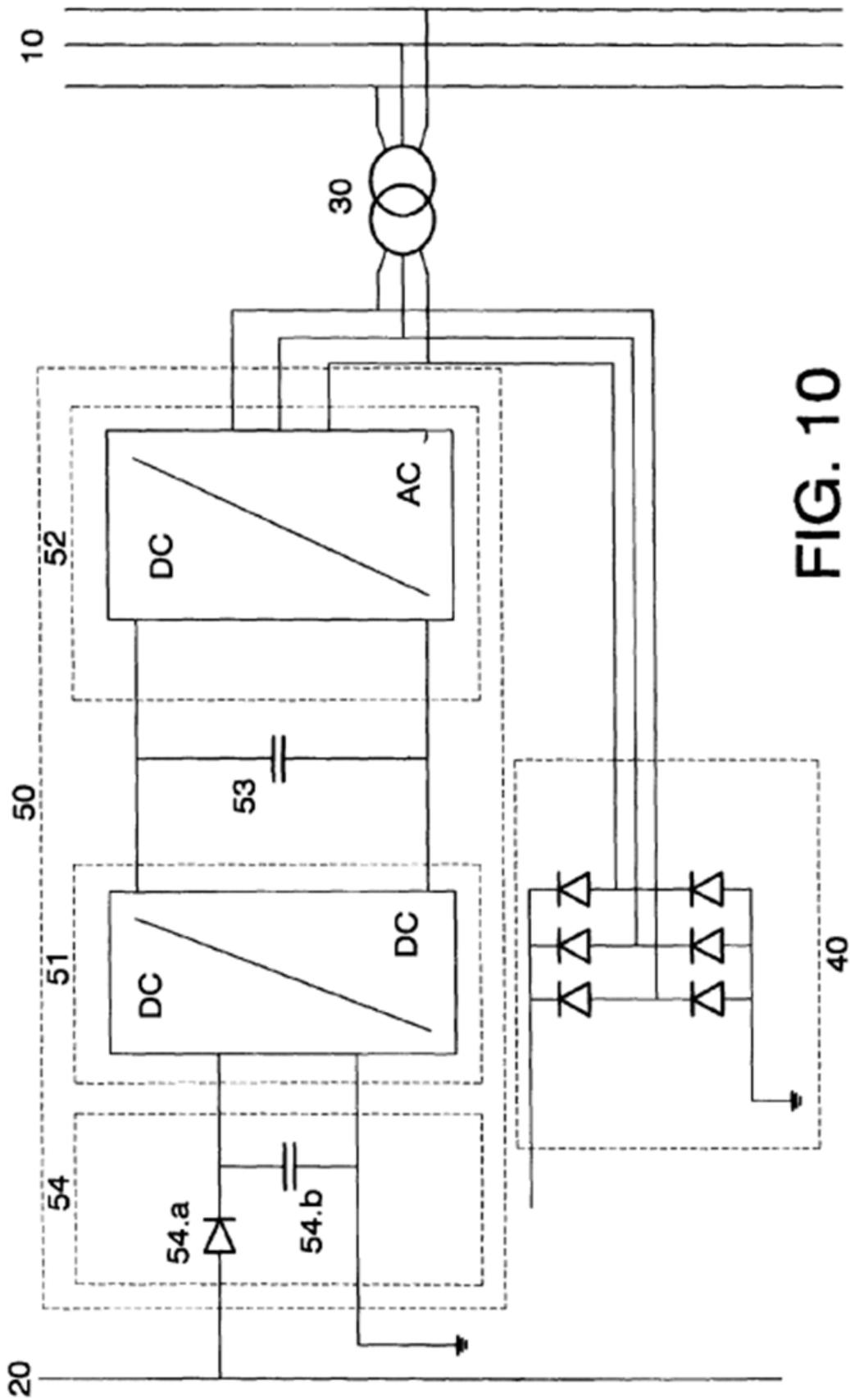


FIG. 10

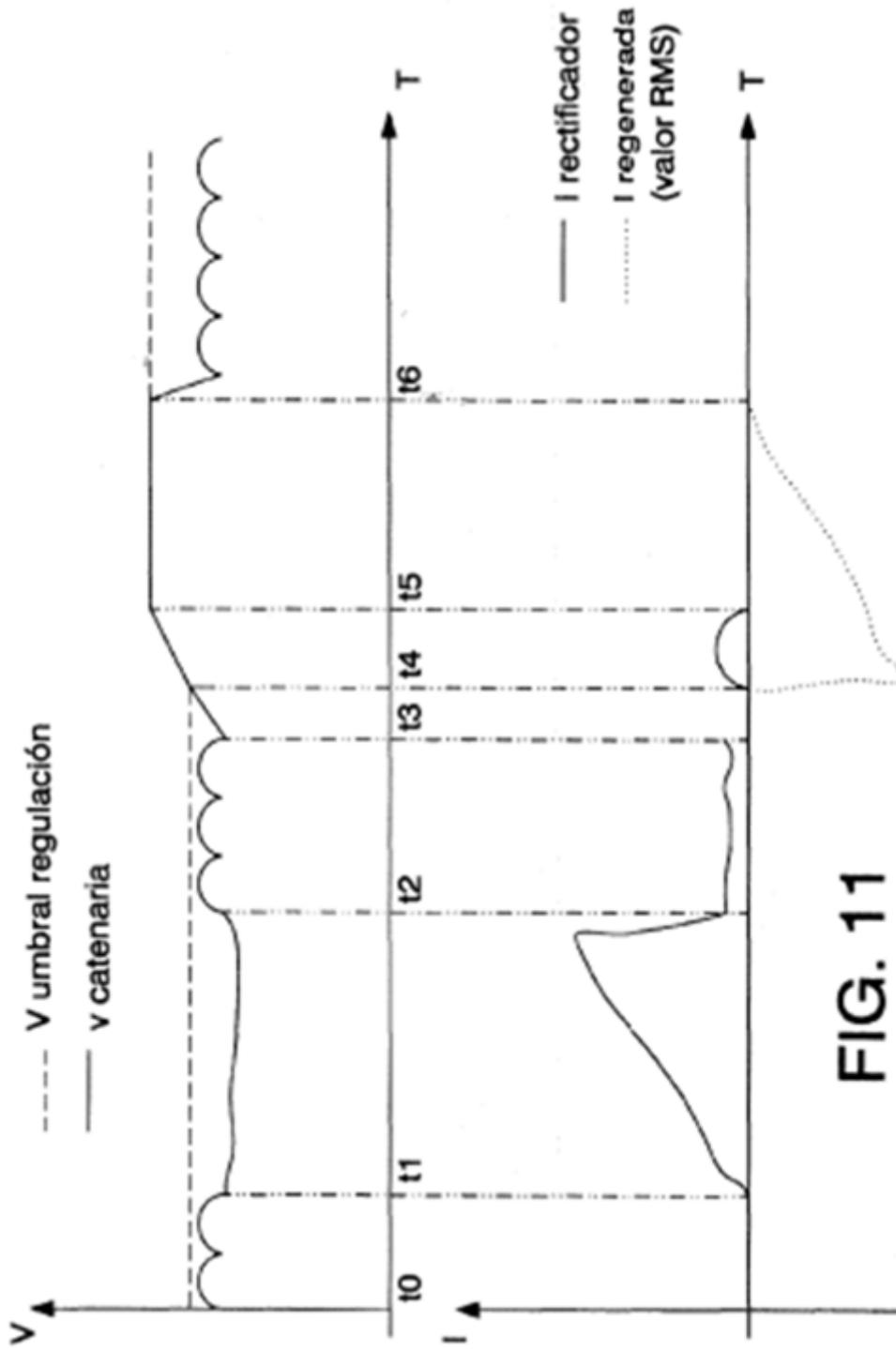


FIG. 11

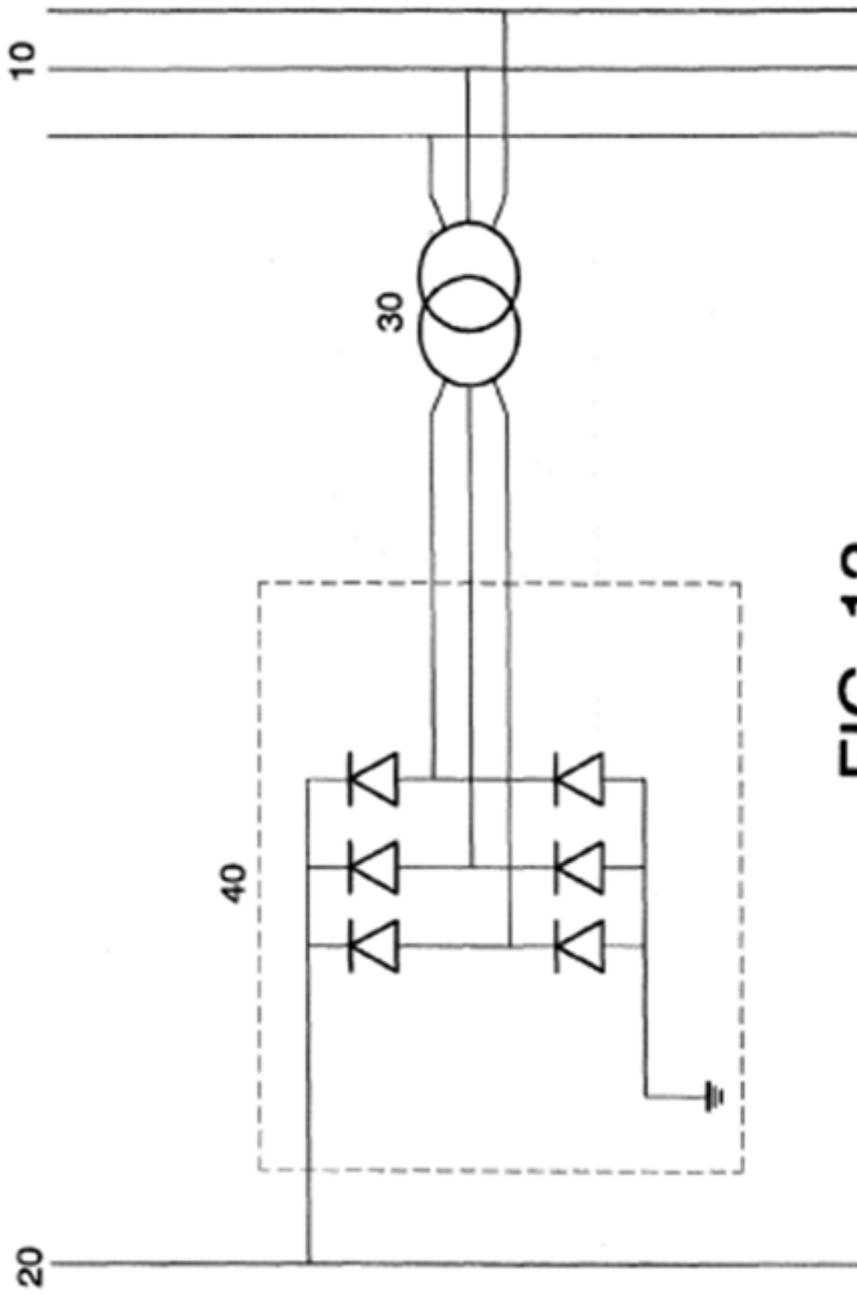


FIG. 12
Estado de la técnica

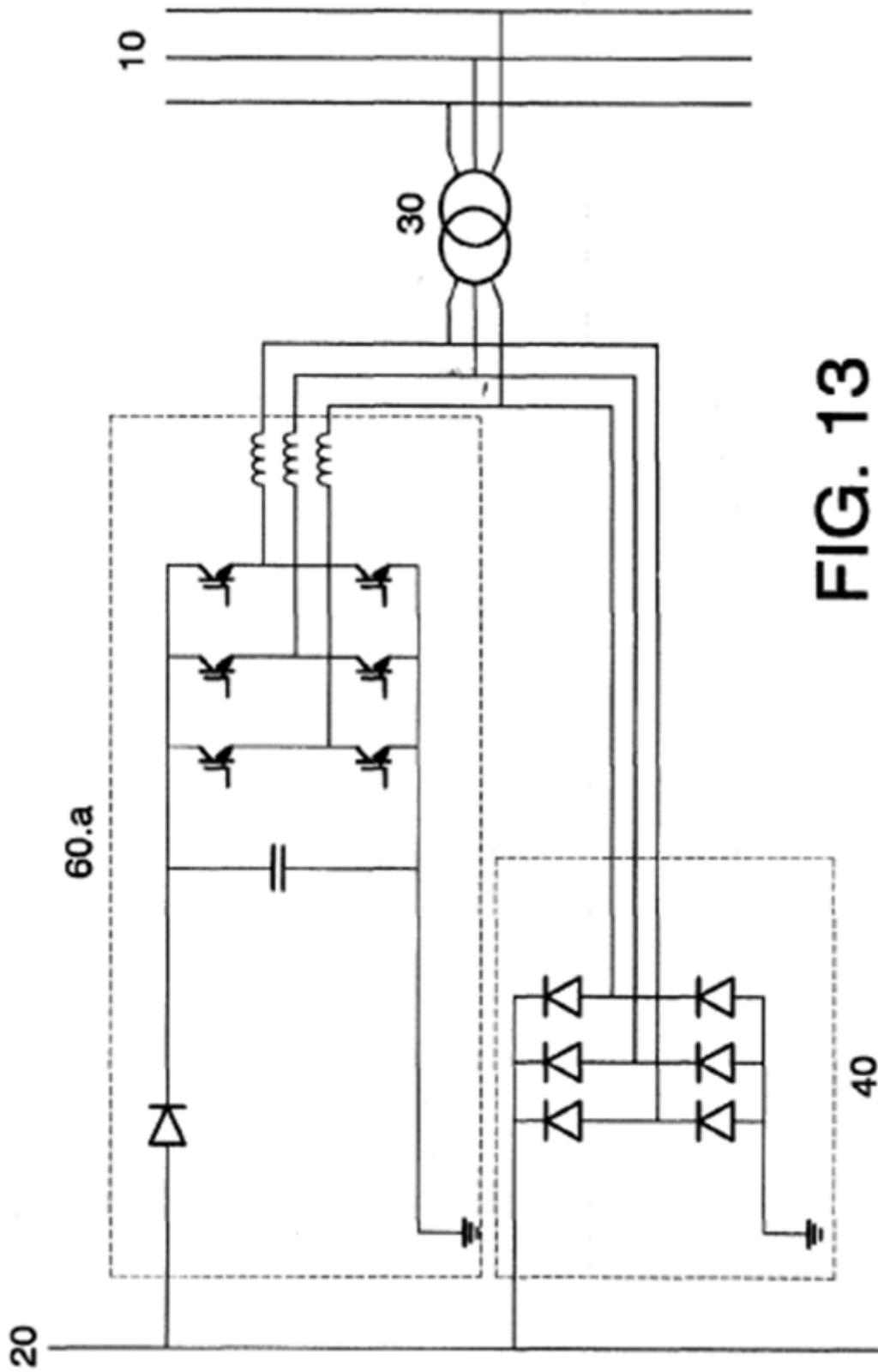


FIG. 13
Estado de la técnica

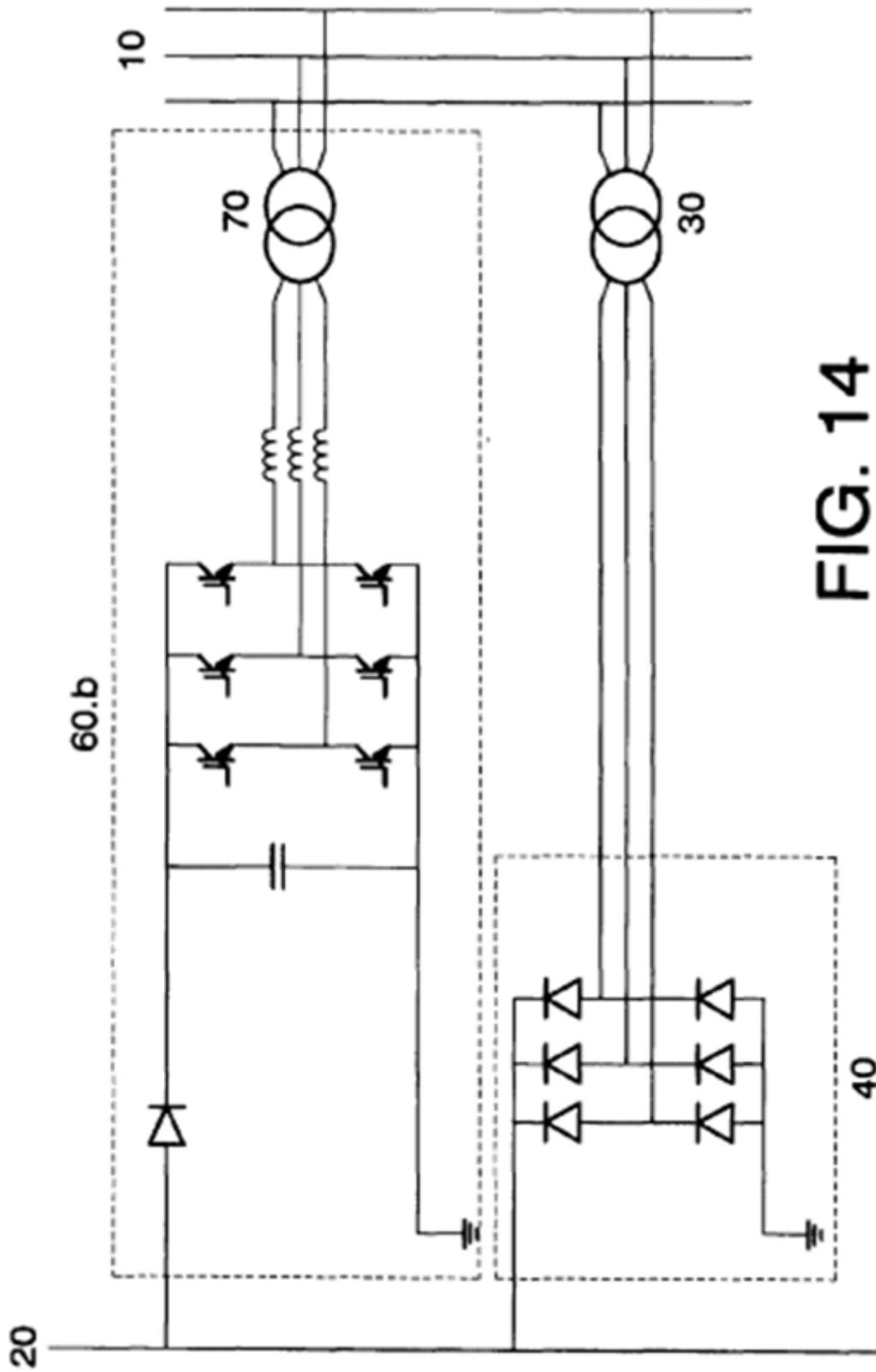


FIG. 14
Estado de la técnica