(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 636 909**

(51) Int. CI.:

H02M 7/48 (2007.01)
H02M 1/00 (2007.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.12.2013 PCT/IB2013/061221**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **26.06.2014 WO14097261**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.12.2013 E 13828862 (6)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.06.2017 EP 2936669**

(54) Título: **Método para el accionamiento de inversores, e inversor adaptado para reducir pérdidas de conmutación**

(30) Prioridad:

20.12.2012 IT TO20121112

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.10.2017

(73) Titular/es:

HITACHI RAIL ITALY S.P.A. (100.0%)
Via Argine 425
Napoli, IT

(72) Inventor/es:

BUSATTO, GIOVANNI;
FRATELLI, LUIGI;
IANNUZZO, FRANCESCO y
ABBATE, CARMINE

(74) Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

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

Método para el accionamiento de inversores, e inversor adaptado para reducir pérdidas de conmutación

Campo técnico

La presente invención se refiere a un método para el accionamiento de inversores y a un inversor adaptado para reducir las pérdidas de conmutación.

Antecedentes de la técnica

Son conocidos inversores en los que se adapta un puente (por ejemplo un puente en H) para trocear una tensión a partir de una fuente de tensión continua para la alimentación de una tensión alterna a un primario de un transformador; el inversor comprende adicionalmente un circuito rectificador-alisador de diodos que recibe la tensión alterna de entrada desde el secundario del transformador para conseguir una tensión alisada alimentada a un troceador que a su vez alimenta la carga. El troceador incluye generalmente una pluralidad de ramas en paralelo (son posibles diferentes estructuras de troceador con dos, tres o más etapas), cada una de las cuales consiste en un par de interruptores de semiconductor electrónicos dispuestos en serie e interpuestos entre una línea de suministro de alimentación positiva y una línea de suministro de alimentación negativa desde el circuito rectificador-alisador. Los terminales comunes de los interruptores electrónicos del troceador comunican con las líneas de suministro de alimentación de la carga; cada interruptor electrónico del troceador está provisto también con un diodo de recirculación dispuesto en paralelo.

La conmutación de los interruptores electrónicos del troceador está controlada por una unidad electrónica que opera con un cierto programa de alimentación de cargas (por ejemplo, si dicha carga es un motor eléctrico, la velocidad de rotación del motor y la potencia entregada por el motor en sí puede fijarse y ajustarse).

Las unidades electrónicas conocidas controlan la conmutación de los interruptores del troceador, bajo muchas condiciones de operación, en presencia de tensión en los extremos de los interruptores en sí mismos; dicha operación —tal como es conocida por la física de semiconductores— da como resultado una disipación de potencia que contribuye a una parte considerable de las pérdidas de conmutación.

El documento de la técnica anterior US 2005/180175 A1 divulga un método para el control de la conmutación de un inversor y un inversor con las características de los preámbulos de las reivindicaciones 1 y 4.

Divulgación de la invención

Es el objeto de la presente invención proporcionar un método para el control de un inversor y un inversor en el que dichas pérdidas de conmutación se minimizan.

El objeto anterior se consigue por la presente invención dado que se refiere a un método de control de la conmutación de un inversor, en la que se adapta un puente para trocear una tensión a partir de una fuente de tensión continua para alimentar una tensión troceada a un primario de un transformador; comprendiendo el inversor un circuito rectificador de diodos que recibe la tensión de entrada desde el secundario del transformador para conseguir una tensión alimentada a un troceador que alimenta una carga; comprendiendo dicho puente al menos en una primera rama y una segunda rama, consistiendo cada una en un par de interruptores electrónicos dispuestos en serie; los terminales comunes de los interruptores electrónicos se conectan a los terminales de dicho primario; estando provisto cada interruptor electrónico con un diodo de recirculación dispuesto en paralelo, estando caracterizado el método por que comprende la ejecución de: una etapa en la que los interruptores de dicho puente son accionados de modo que la fuente de suministro de alimentación se desconecta desde dicho primario y cuyos terminales se conectan recíprocamente por al menos dos de dichos interruptores electrónicos y dichos diodos de recirculación de modo que la tensión presente en el secundario de dicho transformador sea nula; conmutación de al menos un interruptor electrónico de una rama de dicho troceador cuando la tensión del secundario es sustancialmente nula debido a que dicha tensión no se aplica al primario que tiene terminales conectados en cortocircuito entre sí mediante dos componentes de la primera/segunda rama para minimizar las pérdidas de conmutación debido a la apertura/cierre de dicho interruptor electrónico de dicho troceador.

En particular, se conecta un condensador que tiene un primer terminal a una primera línea desde el rectificador y se conecta un segundo terminal a una segunda línea desde el rectificador a través de un diodo que permite que el condensador se cargue con la corriente desde la carga M en condiciones de bajo factor de potencia, impidiendo así la sobretensión en la primera y segunda líneas; comprendiendo dicho método la etapa de cerrar un interruptor dispuesto en paralelo con el diodo mediante la descarga del condensador hacia la carga para recuperar la energía almacenada, incrementando así la eficiencia del circuito.

Más aún, se proporciona un condensador amortiguador, del que un primer terminal se conecta a una primera línea desde el rectificador y se conecta un segundo terminal a una segunda línea desde el rectificador, lo que permite que

todos los interruptores de dicho troceador se conmuten con tensión cero incluso en presencia de corriente negativa hacia la carga.

Breve descripción de los dibujos

Se divulgará ahora la invención con referencia a los dibujos adjuntos que muestran una realización preferida de la misma, en los que:

la figura 1 muestra un inversor que opera de acuerdo con el método de la presente invención; y
las figuras 2-9 muestran etapas consecutivas operadas por el método.

Mejor modo de llevar a cabo la invención

En la figura 1, el número de referencia 1 indica como un conjunto un inversor 1 de acuerdo con la presente invención al que se aplica un método de accionamiento de acuerdo con la presente invención.

En particular, el inversor 1 incluye un puente en H 2 que está adaptado para trocear una tensión a partir de una fuente de tensión continua 4 (por ejemplo V = 1500 voltios) para la alimentación de una tensión troceada a un primario L1 de un transformador 5. El inversor 1 comprende adicionalmente un circuito rectificador de diodos 6 que recibe la tensión alterna de entrada desde el secundario L2 del transformador 5 para conseguir una tensión alimentada a un troceador trifásico 7 que, en el ejemplo, alimenta una carga trifásica M, tal como un motor eléctrico.

Con mayor detalle, el puente en H 2 incluye una primera rama 8 y una segunda rama 9, consistiendo cada una en un par de interruptores electrónicos 8A, 8B y 9A, 9B (tal como MOS) dispuestos en serie. Los terminales comunes de los interruptores electrónicos 8A, 8B y 9A, 9B se conectan a los terminales del primario L1, mientras que los lados opuestos de las ramas 8 y 9 se conectan al terminal positivo//negativo de la fuente de tensión continua 4.

Cada interruptor electrónico 8A, 8B y 9A, 9B está provisto con un diodo de recirculación 10A, 10B y 11A, 11B dispuesto en paralelo y que opera de una forma conocida.

El circuito rectificador 6 comprende una primera rama 12 y una segunda rama 13, consistiendo cada una en un par de diodos 14A, 14B y 15A, 15B dispuestos en serie. Los terminales comunes de los diodos 14A, 14B y 15A, 15B se conectan a los terminales del secundario L2, mientras que los lados opuestos de las ramas 12 y 13 se conectan a una línea de alimentación positiva 16 y a una línea de alimentación negativa 17, respectivamente.

Se dispone un condensador amortiguador 50 entre las líneas 16 y 17.

El troceador trifásico 7 incluye una primera, una segunda y una tercera rama 21, 22 y 23 interpuestas entre las líneas 16 y 17.

Cada rama 21, 22 y 23 comprende un par de interruptores electrónicos 25A, 25B-26A, 26B-27A, 27B (tal como MOS) dispuestos en serie; una primera, una segunda y una tercera línea 31, 32 y 33 para la alimentación de la carga M ramificadas desde los terminales comunes de los interruptores 25A, 25B-26A, 26B-27A, 27B.

El troceador trifásico 7 comprende, para cada interruptor 25A, 25B-26A, 26B-27A, 27B, un diodo de recirculación respectivo 35A, 35B-36A, 36B-37A, 37B dispuesto en paralelo y operando de una forma conocida.

La conmutación de los interruptores 8A, 8B y 9A, 9B para el puente en H 2 y de los interruptores 25A, 25B-26A, 26B-27A, 27B se controla mediante una unidad de control 40 que opera de acuerdo con el método de la presente invención.

Un condensador 43 con una gran capacidad tiene un primer terminal conectado a una primera línea (la línea negativa 17 en el ejemplo) y un segundo terminal conectado a una segunda línea (la línea positiva 16) a través de un diodo de bloqueo 46 lo que permite al condensador 43 cargarse con la corriente desde la carga M si es de tipo inductivo (tal como un caso que se ejemplificará en el presente documento a continuación).

Se dispone un interruptor electrónico 47 (tal como un MOS) en paralelo con el diodo 46; el cierre de dicho interruptor 47 permite al condensador 43 descargarse hacia la carga M para recuperar eficientemente la energía previamente almacenada. Las operaciones del método de la presente invención se ejemplificarán con la ayuda de las figuras 2-9, que muestran una secuencia posible de operaciones de conmutación de acuerdo con el presente método.

ETAPA 1 (figura 2). Los interruptores 8A y 9B se cierran (los interruptores 8B y 9A se mantienen abiertos) y la tensión V de la fuente 4 se aplica al devanado primario L1.

Se induce una tensión k·V (en la que k es la relación de transformación del transformador 5) en el devanado secundario L2, cuya tensión k·V es rectificada por el circuito 6 en el que conducen los diodos 14A y 15B. La tensión

presente en las líneas 16 y 17 se aplica al motor M por medio de los interruptores 25B, 26A y 27A que se cierran (los otros interruptores se abren). Los interruptores cerrados/abiertos pueden ser obviamente otros distintos a aquellos mostrados; esta es una simplificación.

ETAPA 2 (figura 3). El interruptor 8A se deja cerrado y el interruptor 9B se abre (los interruptores 8B y 9A se mantienen abiertos); para continuidad de la corriente en el devanado L1, la corriente en el primario L1 cierra la malla formada por el interruptor 8A y el diodo de recirculación 11A que conduce. La tensión en el secundario del transformador L2 va así a cero y así lo hace la tensión presente entre las líneas 16 y 17. El condensador amortiguador 50 descarga sobre la carga a través de las líneas 16 y 17 y los interruptores 25B, 26A y 27A. La disposición de los interruptores del troceador trifásico 7 se mantiene igual a la de la **ETAPA 1**.

ETAPA 3 (figura 4). Se inicia la operación de cierre del interruptor 9A (dicha operación se indica por la línea discontinua); el interruptor 9A se cierra con una tensión igual a cero, dado que conduce el diodo de recirculación 11A. La tensión de las líneas 16 y 17 se anula a través de los diodos 15A y 15B. La disposición de los interruptores del troceador trifásico 7 se mantiene igual a la de la **ETAPA 1**.

ETAPA 4 (figura 5). La disposición del puente en H 2 permanece sin cambiar; de acuerdo con la presente invención, se controla una conmutación de al menos una rama del troceador trifásico (en el ejemplo, el interruptor 26A previamente cerrado es controlado hacia apertura y el interruptor 26B previamente abierto se controla a cierre; son obviamente posibles otras operaciones de conmutación), cuando la tensión entre las líneas 16 y 17 es próxima a cero debido a que, en el puente en H, la tensión continua de la fuente 4 no se aplica al primario del transformador 5, cuyos extremos se conectan entre sí mediante dos componentes (en el ejemplo, el interruptor 8A y el diodo de recirculación 11A o el interruptor 9A) del puente 2. Si la corriente en la línea 32 es positiva hacia la carga, el diodo 36B conduce, permitiendo así que el interruptor 26B se inicie mientras la tensión es cero. Si la corriente en la línea 32 en el ejemplo es negativa hacia la carga, el condensador amortiguador 50 permite la caída a cero de la corriente en el interruptor 26B mientras la tensión en las líneas 16 y 17 es aún baja. La conmutación de la rama ocurre así, en cualquier caso, cuando la tensión es cero o casi cero, y por lo tanto con muy pocas pérdidas.

ETAPA 5 (figura 6). Tras el patrón de cambios previos descrito en la **ETAPA 4**, la tensión en la línea 16 podría incrementarse hasta polarizar directamente el diodo de bloqueo 46 debido a la inductancia de fugas, y basándose en la corriente inicial en el devanado L2. En este caso, la carga en exceso es absorbida por el condensador 43 (con un alto valor de capacidad), lo que limita la tensión entre las líneas 16 y 17. En particular, la tensión en los extremos del condensador 43 se ajusta y mantiene constante en el valor de pico de las curvas sinusoidales de salida.

En este caso, como se resumirá posteriormente, el exceso de carga almacenado en el condensador 43 se recupera mediante el cierre del interruptor 47 y disponiendo el condensador 43 entre las líneas 16 y 17; de ese modo, en el siguiente ciclo, la energía del condensador 43 se devolverá de nuevo a la carga M, obteniendo así una alta eficiencia energética.

ETAPA 6 (figura 7). Se abre el interruptor 8A y se cierra el interruptor 8B del puente en H 2 para invertir la dirección de la corriente que circula en el devanado primario L1.

ETAPA 7 (figura 8). Primero, dada la magnetización previa del primario L1, la corriente circula en los diodos 10B y 11A. Sin embargo, como L1 está así sometido a una tensión en la dirección opuesta con respecto a la corriente inicial, se desmagnetiza y la corriente que fluye a su través se invierte en dirección con respecto a la tomada durante la ETAPA 1, a través de los interruptores 9A y 8B; en consecuencia, la tensión en los extremos del secundario L2 también se invierte con respecto a la presente en la **ETAPA 1**. El ciclo descrito se repite comenzando desde una etapa similar a la de la ETAPA 1 y simétrica de acuerdo con la configuración de los interruptores del puente en H 2. En la repetición del siguiente ciclo, la conmutación de uno de los interruptores de las ramas 21, 22 y 23 se operará cuando la tensión entre las líneas 16 y 17 es igual a cero, dado que los terminales del primario cierran por medio del interruptor 8B y del diodo 11B (o interruptor 9B).

El método anteriormente descrito permite así que las pérdidas de conmutación de todo el convertidor 1 se reduzcan significativamente. De hecho, comparado con una topología convencional, la denominada conmutación dura, la conmutación del troceador 5 tiene lugar, para todos los interruptores del mismo, sin pérdidas, debido a que conmutan a ZV (tensión nula). Lo mismo se aplica a los interruptores del puente en H 2, que es accionado con una técnica de desplazamiento de fase (de tipo conocido), lo que permite *per se* la conmutación a ZV (tensión nula).

La descripción de la ETAPA 4 en la figura 4 se refiere a una carga M que es meramente de naturaleza resistiva. Por el contrario, en presencia de una carga M inductiva, y que, por ejemplo, tenga un factor de potencia menor de 0,866, durante la ETAPA 4 habría en ciertos momentos un flujo de potencia a lo largo de las líneas 31, 32 y 33 desde la carga M hacia el convertidor 1; dicho fenómeno produciría una sobretensión inducida en las líneas 16 y 17. En consecuencia, la conmutación de la rama en la ETAPA 4 ocurriría con una tensión potencialmente más alta que la nominal, dando como resultado así la posible rotura de los interruptores del troceador. Dicho inconveniente se resuelve con la presencia del diodo 46 que, en la ETAPA 4, junto con el condensador 43 de alto valor, limita la tensión entre las líneas 16 y 17. La descarga del condensador 43 hacia la carga M tiene lugar en la siguiente etapa,

con el cierre del interruptor 47 (figura 9).

REIVINDICACIONES

1. Un método para el control de la conmutación de un inversor (1), en el que se adapta un puente (2) para trocear una tensión desde una fuente de tensión continua (4) para alimentar una tensión troceada a un primario (L1) de un transformador (5); comprendiendo el inversor (1) un circuito rectificador de diodos (6) que recibe la tensión de entrada desde el secundario (L2) del transformador (5) para conseguir una tensión alimentada a un troceador (7) que alimenta una carga (M);
comprendiendo dicho puente (2) al menos una primera rama (8) y una segunda rama (9), estando formada cada una por un par de interruptores electrónicos (8A, 8B y 9A, 9B) dispuestos en serie entre sí; los terminales comunes de los interruptores electrónicos (8A, 8B y 9A, 9B) se conectan a los terminales de dicho primario (L1); estando provisto cada interruptor electrónico (8A, 8B y 9A, 9B) con un diodo de recirculación (10A, 10B y 11A, 11B) dispuesto en paralelo,
comprendiendo el método la ejecución de:

- una etapa en la que los interruptores de dicho puente (2) se accionan de modo que la fuente de suministro de alimentación (4) se desconecta de dicho primario (L1) y cuyos terminales se conectan recíprocamente mediante al menos dos de dichos interruptores electrónicos y dichos diodos de recirculación de modo que la tensión presente en el secundario (L2) de dicho transformador es nula;

estando el método **caracterizado por que** comprende la ejecución de la conmutación de al menos un interruptor electrónico de una rama de dicho troceador cuando la tensión en el secundario es sustancialmente nula debido a que dicha tensión (4) no se aplica al primario (L1) que tiene terminales conectados en cortocircuito entre sí mediante dos componentes de la primera / segunda rama (8, 9) para minimizar las pérdidas de conmutación debido a la apertura/cierre de dicho interruptor electrónico de dicho troceador.

2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que se conecta un condensador (43) que tiene un primer terminal a una primera línea (16) desde el rectificador (6) y se conecta un segundo terminal a una segunda línea (17) desde el rectificador (6) a través de un diodo (46) que permite que el condensador (43) se cargue con la corriente desde la carga M en condiciones de bajo factor de potencia, impidiendo así la sobretensión en la primera y segunda líneas (16 y 17); comprendiendo dicho método la etapa de cerrar un interruptor (47) dispuesto en paralelo con el diodo (46) mediante la descarga del condensador (43) hacia la carga (M) para recuperar la energía almacenada, incrementando así la eficiencia del circuito.

3. Un método de acuerdo con la reivindicación 2, en el que dicho interruptor (47) se cierra una vez se ha cerrado el interruptor electrónico de una rama de dicho troceador, lo que modifica el patrón previo del propio troceador para disponer dicho condensador (43) entre las líneas de alimentación (16, 17) de dicho troceador, impidiendo así una variación de tensión debido a un efecto inductivo debido a la variación del patrón.

4. Un inversor (1), un puente (2) del cual se adapta para trocear una tensión continua desde una fuente (4) para alimentar una tensión troceada a un primario (L1) de un transformador (5); el inversor (1) comprende un circuito rectificador de diodos (6) que recibe la tensión de entrada desde el secundario (L2) del transformador (5) para conseguir una tensión alimentada a un troceador (7) que alimenta una carga (M); comprendiendo dicho puente (2) al menos una primera rama (8) y una segunda rama (9), consistiendo cada una en un par de interruptores electrónicos (8A, 8B y 9A, 9B) dispuestos en serie entre sí; los terminales comunes de los interruptores electrónicos (8A, 8B y 9A, 9B) se conectan a los terminales de dicho primario (L1); estando provisto cada interruptor electrónico (8A, 8B y 9A, 9B) con un diodo de recirculación (10A, 10B y 11A, 11B) dispuesto en paralelo,
comprendiendo el inversor medios de control electrónicos de dicho puente y de dicho troceador configurados para accionar los interruptores de dicho puente (2) en una etapa (ETAPA 4) en la que la fuente de suministro de alimentación (4) se desconecta de dicho primario (L1), cuyos terminales se conectan recíprocamente mediante al menos dos de dichos interruptores electrónicos y dichos diodos de recirculación de modo que la tensión presente en el secundario (L2) de dicho transformador es nula;
estando el inversor **caracterizado por que** dichos medios de control electrónico están adaptados para conmutar al menos un interruptor electrónico de una rama de dicho troceador para la alimentación de dicha carga (M) cuando la tensión en el secundario es sustancialmente nula debido a que dicha tensión (4) no se aplica al primario (L1) que tiene terminales conectados en cortocircuito entre sí mediante dos componentes de la primera / segunda rama (8, 9), para minimizar las pérdidas de conmutación debido a la apertura/cierre de dicho interruptor electrónico de dicho troceador.

5. Un inversor de acuerdo con la reivindicación 4, en el que se incluye un condensador (43), que tiene un primer terminal conectado a una primera línea (16) desde el rectificador (6) y un segundo terminal conectado a una segunda línea (17) desde el rectificador (6) a través de un diodo (46), lo que permite que el condensador (43) se cargue con la corriente desde la carga M en condiciones de bajo factor de potencia, impidiendo así la sobretensión en la primera y segunda líneas (16 y 17); estando adaptados dichos medios de control electrónico para cerrar un interruptor (47) dispuesto en paralelo con el diodo (46) mediante la descarga del condensador (43) hacia la carga (M) para recuperar la energía almacenada, incrementando así la eficiencia del circuito.

6. Un inversor de acuerdo con la reivindicación 4, en el que se incluye un condensador amortiguador (50), que tiene un primer terminal conectado a una primera línea (16) desde el rectificador (6) y un segundo terminal conectado a una segunda línea (17) desde el rectificador (6), lo que permite que los interruptores del troceador (5) se conmuten a tensión cero (ZV) incluso en presencia de corriente negativa hacia la carga (M).

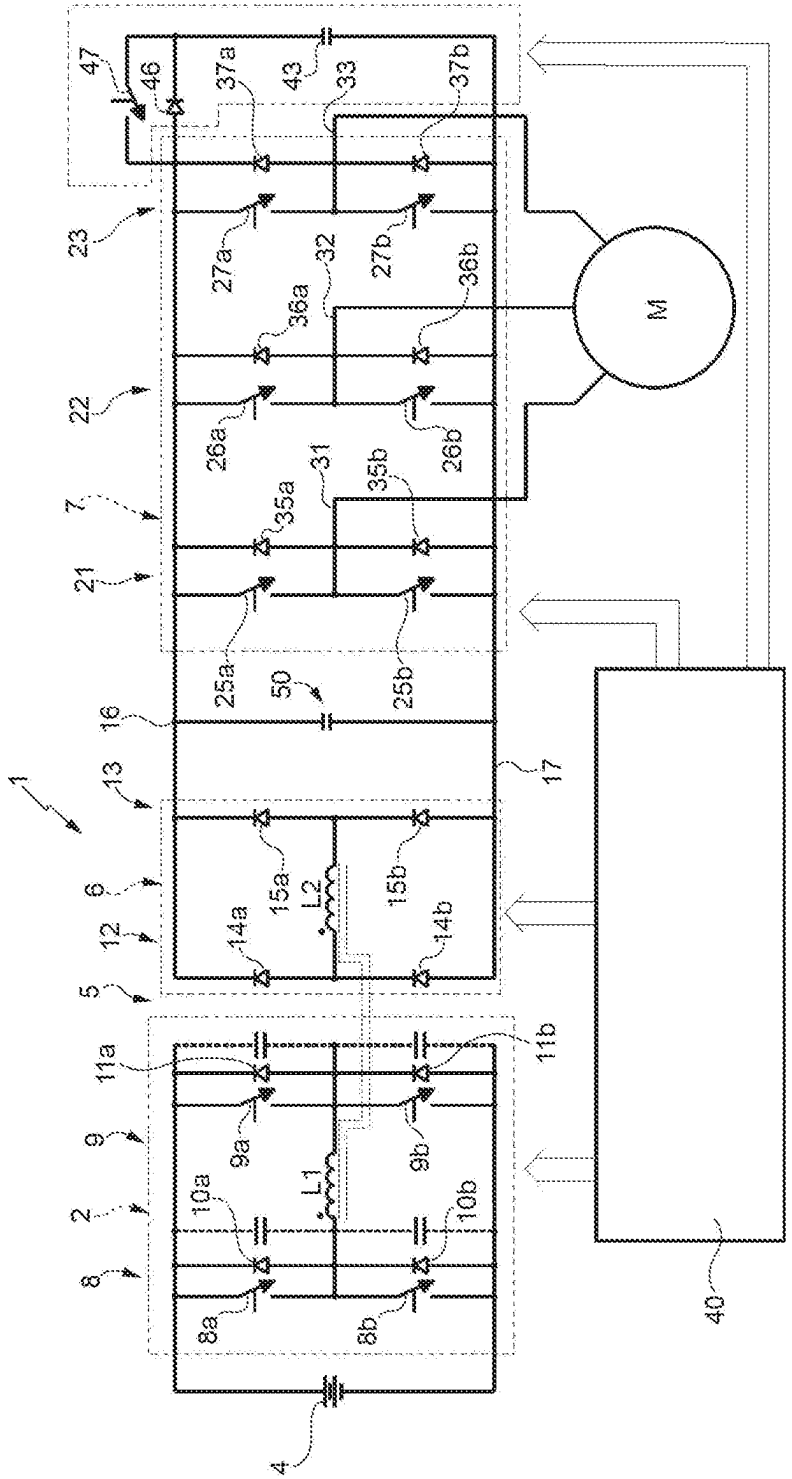

1
2
4
5
6
7
8
9
11a
11b
12
13
16
17
21
22
23
25a
25b
26a
26b
27a
27b
31
32
33
35a
35b
36a
36b
37a
37b
40
43
46
47
50
8a
8b
9a
9b
10a
10b
14a
14b
15a
15b
L1
L2
M

FIG. 1

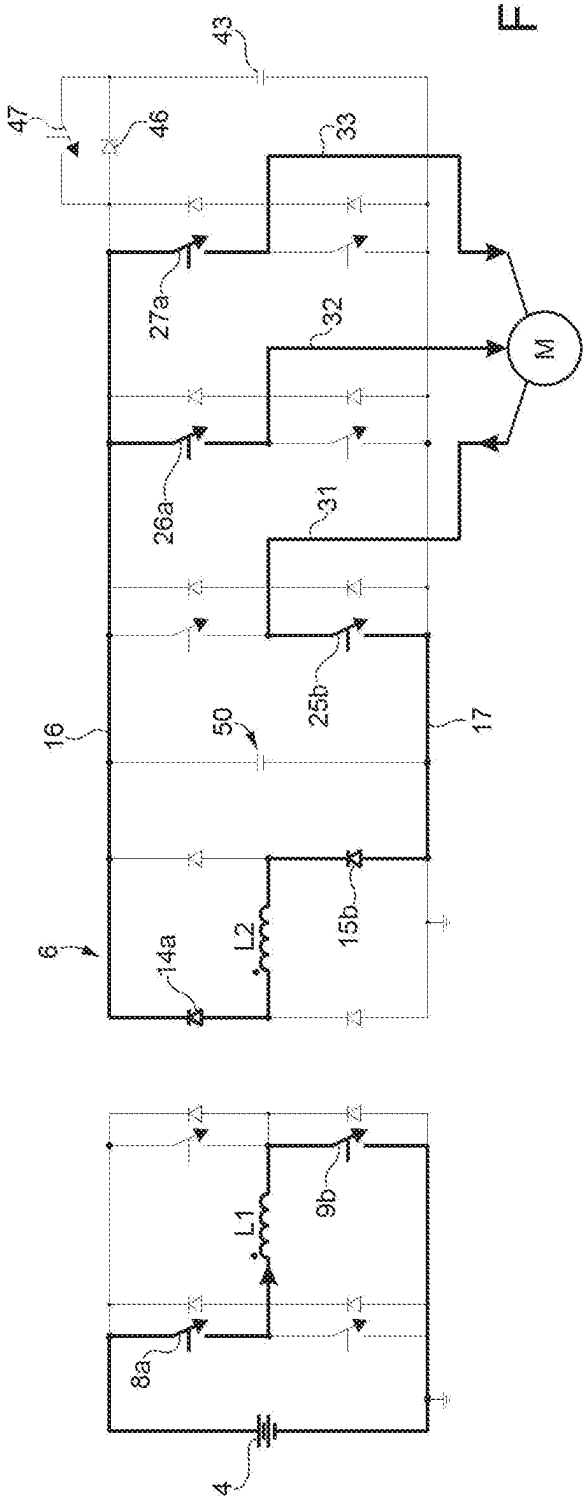

43
47
46
33
27a
32
M
26a
31
25b
16
50
17
6
14a
L2
15b
L1
9b
8a
4

FIG. 2

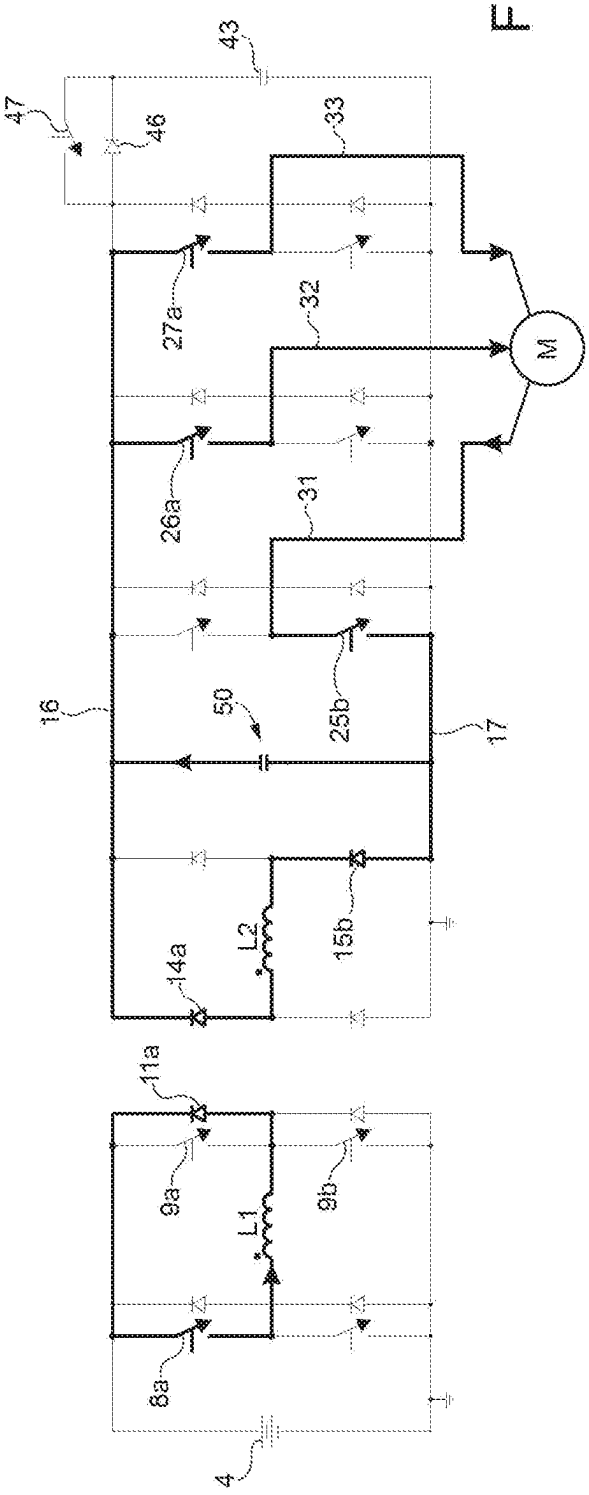

43
47
46
33
27a
32
M
26a
31
25b
16
50
17
14a
L2
15b
11a
9a
L1
9b
8a
4

FIG. 3

FIG. 4

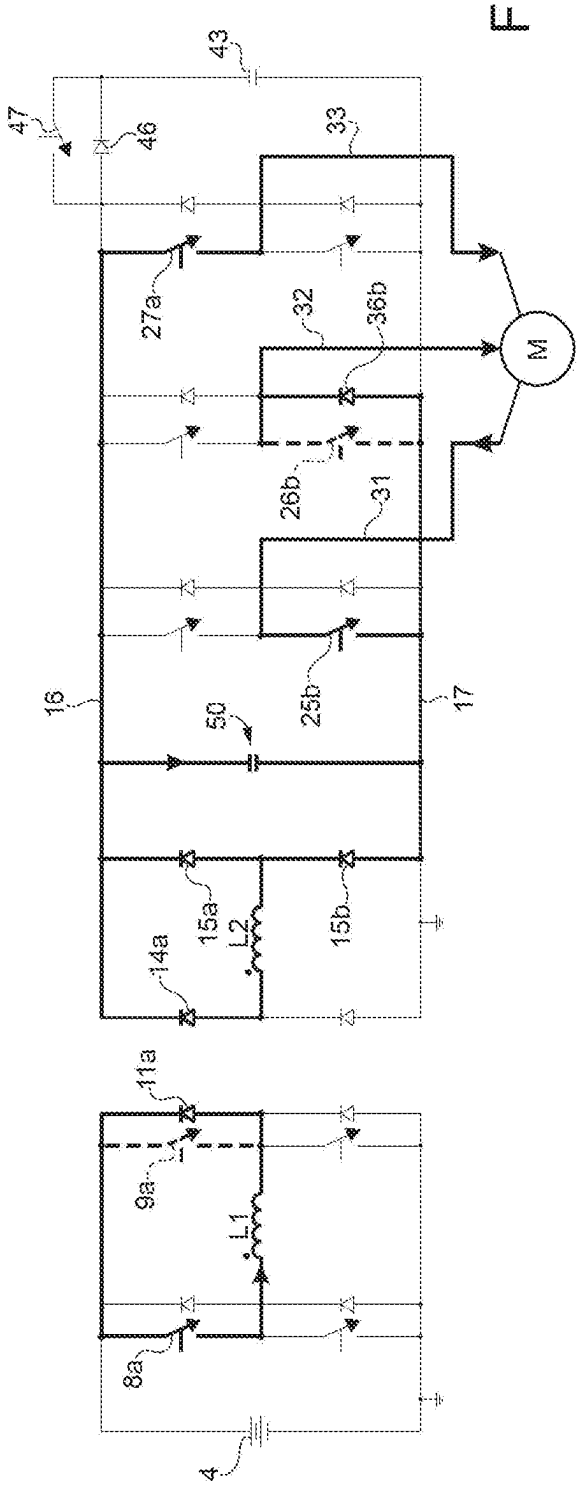
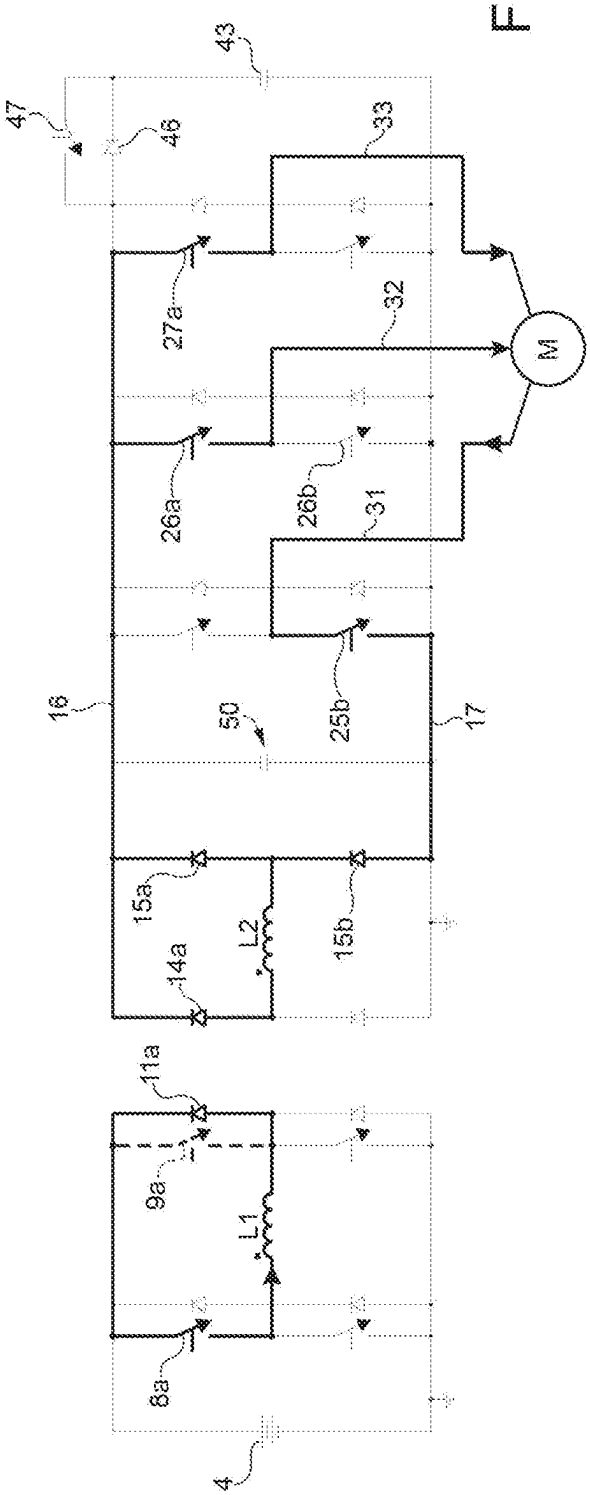

47
46
43
33
27a
32
36b
M
26b
31
25b
16
50
17
15a
L2
15b
14a
11a
9a
L1
8a
4

FIG. 5


47
46
43
33
27a
32
M
26a
26b
31
25b
16
50
17
15a
L2
15b
14a
11a
9a
L1
8a
4

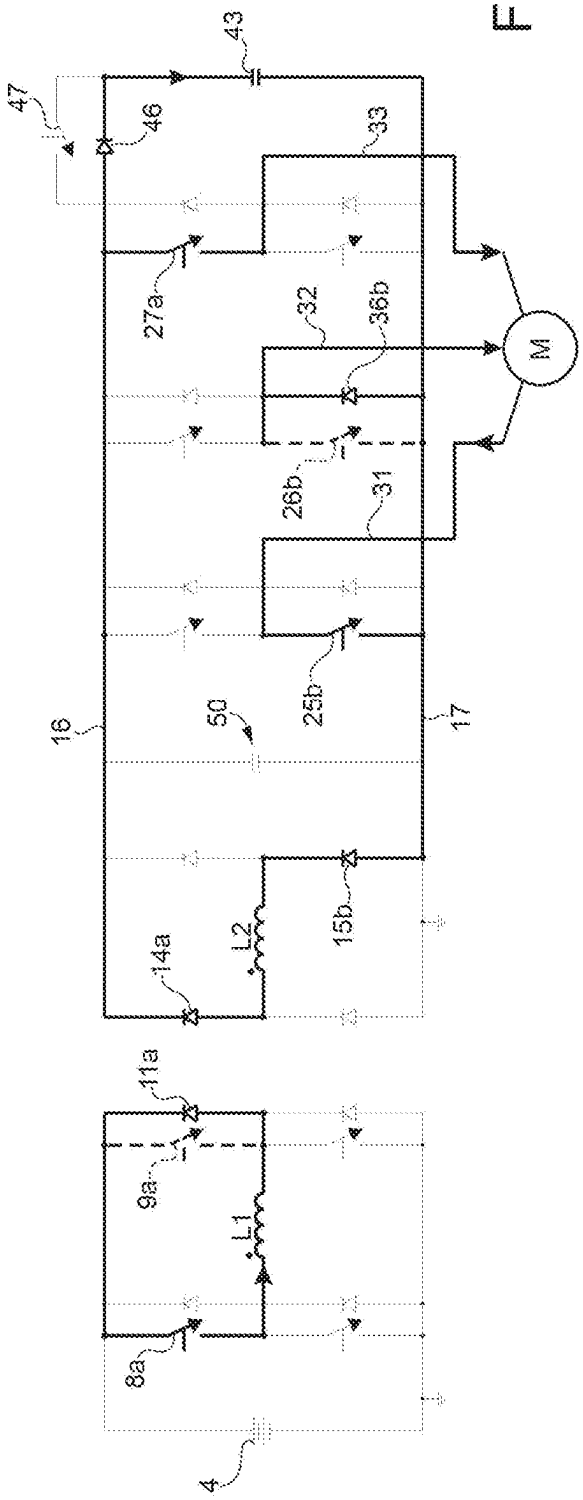

47
46
43
33
27a
32
36b
M
26b
31
25b
17
16
50
15b
L2
14a
11a
9a
L1
8a
4

FIG. 6

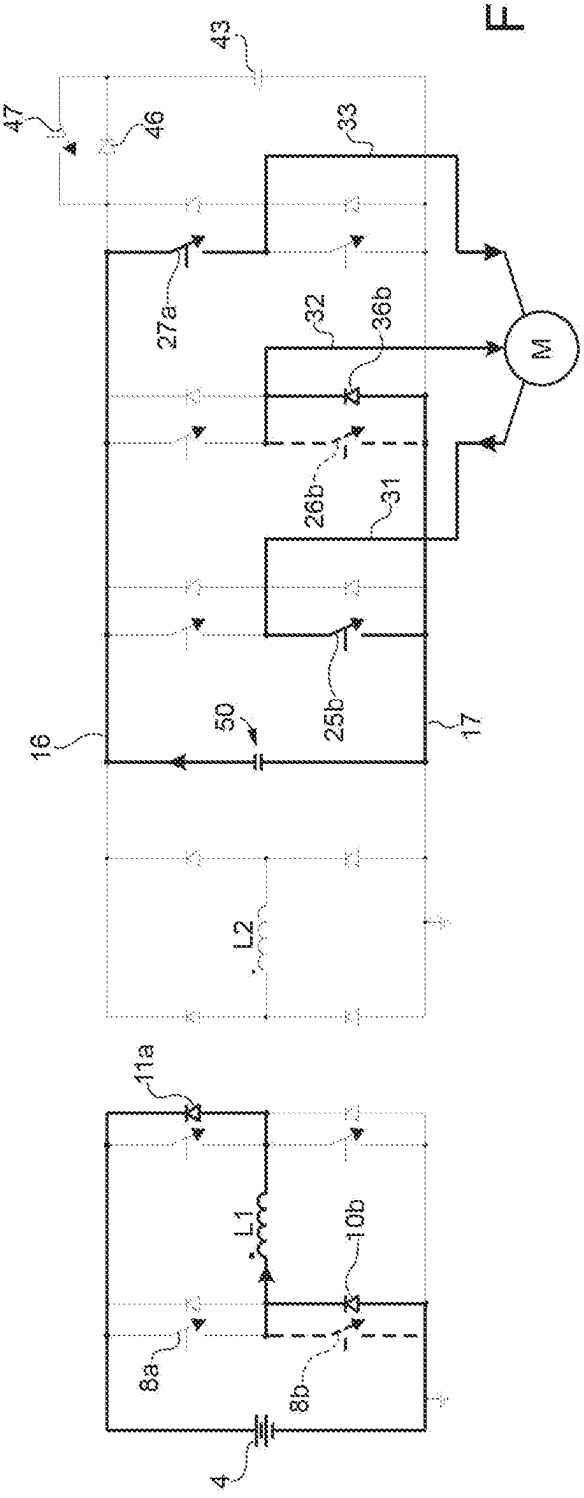

47
46
43
33
27a
32
36b
M
26b
31
25b
17
16
50
L2
11a
L1
10b
8a
8b
4

FIG. 7

FIG. 8

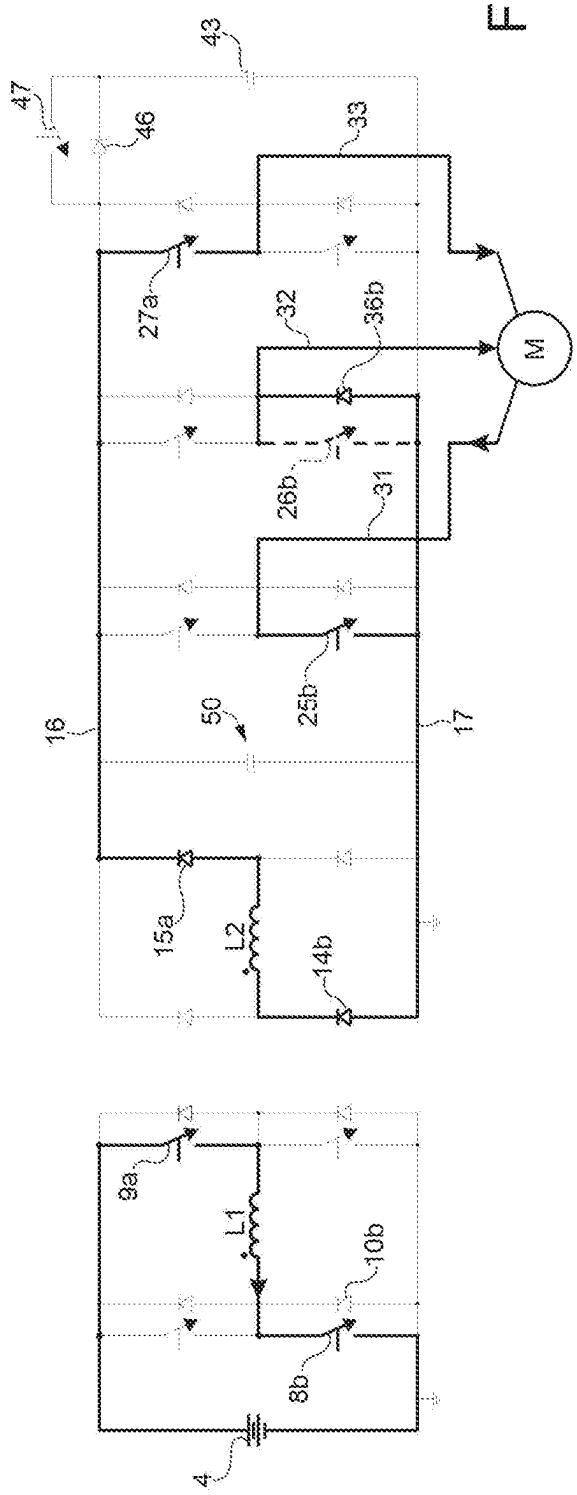
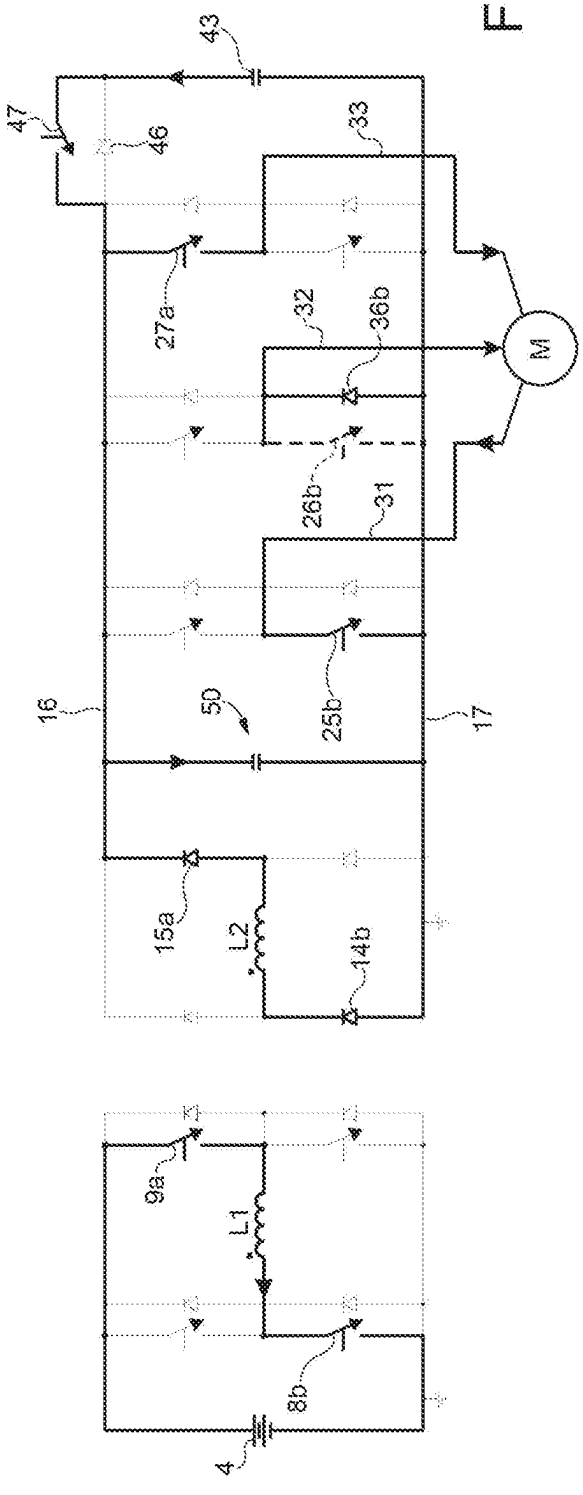

47
46
43
33
27a
32
36b
M
26b
31
25b
16
50
17
15a
L2
14b
9a
L1
10b
8b
4

FIG. 9


47
46
43
33
27a
32
36b
M
26b
31
25b
16
50
17
15a
L2
14b
9a
L1
8b
4