

(12) FASCÍCULO DE PATENTE DE INVENÇÃO

(22) Data de pedido: **1999.04.15**

(30) Prioridade(s): **1998.04.21 DE 19817752**

(43) Data de publicação do pedido: **1999.10.27**

(45) Data e BPI da concessão: **2009.04.08**
088/2009

(73) Titular(es):

SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT
WITTELSBACHERPLATZ, 2 80333 MÜNCHEN

(72) Inventor(es):

BERND LASKA, DR.	DE
WOLFGANG FETTER	DE
MICHAEL BRAUER	DE
MARTIN GLINKA	DE
STEFAN GUMBRECHT	DE

(74) Mandatário:

MARIA SILVINA VIEIRA PEREIRA FERREIRA
RUA CASTILHO, N.º 50, 5º - ANDAR 1269-163 LISBOA **PT**

(54) Epígrafe: **DISPOSIÇÃO DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS PARA A ALIMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE TRACÇÃO ELÉCTRICO**

(57) Resumo:

RESUMO

"DISPOSIÇÃO DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS PARA A ALIMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE TRACÇÃO ELÉCTRICO"

A presente invenção refere-se a uma disposição de circuitos eléctricos para a alimentação de um sistema de tracção eléctrico, nomeadamente um sistema de tracção eléctrico para um veículo motor ferroviário, compreendendo uma multiplicidade de grupos de tracção (18), que compreendem pelo menos um motor de tracção (M) e um grupo conversor de entrada (12) e que estão conectados electricamente e em série entre si a uma rede de distribuição (U_N). A cada grupo conversor de entrada (12) está atribuído pelo menos um grupo de transformadores (14) que por meio do respectivo lado secundário e através de um conversor de tracção alimenta o motor de tracção (M) do grupo de tracção (18). Para a obtenção de uma distribuição de tensão homogénea pelos grupos conversores de entrada (12) de acordo com a presente invenção está previsto um circuito de compensação (20) que conecta os lados de entrada dos conversores de tracção electricamente entre si. Deste modo, é assegurada uma carga homogénea dos grupos conversores de entrada (12) em todas as situações operacionais.

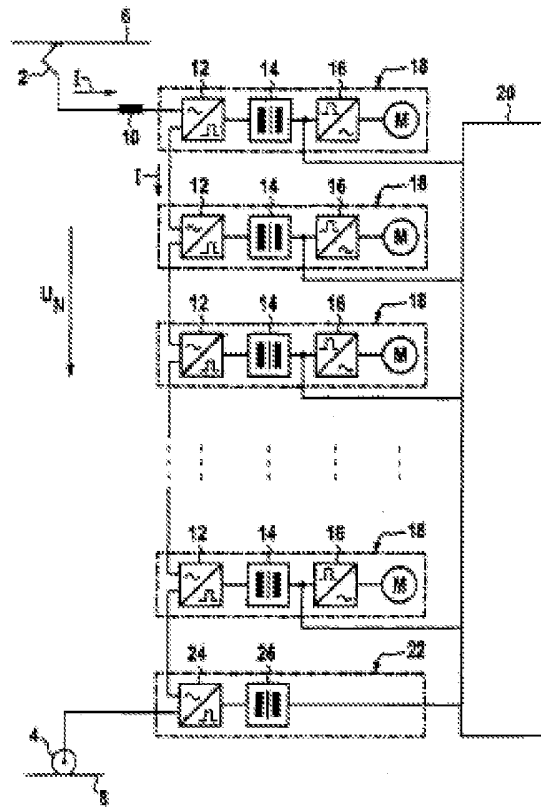


Fig. 1

DESCRIÇÃO
"DISPOSIÇÃO DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS PARA A ALIMENTAÇÃO DE
UM SISTEMA DE TRACÇÃO ELÉCTRICO"

A presente invenção refere-se a uma disposição de circuitos eléctricos para a alimentação de um sistema de tracção eléctrico, nomeadamente um sistema de tracção eléctrico para um veículo motor ferroviário, compreendendo uma multiplicidade de grupos de tracção, que compreendem pelo menos um motor de tracção.

No desenvolvimento de veículos motores para a circulação ferroviária de alta velocidade um dos objectivos de desenvolvimento é o de reduzir o peso de todos os componentes. Um componente de peso essencial são os transformadores de alta tensão necessários para a separação de potencial do sistema de tracção de acordo com o estado da técnica. Por exemplo no conceito de tracção eléctrica divulgado na revista "ZEV + DET Glasers Annalen 119", N.º9/10, 1995, págs. 425-435, um transformador é directamente alimentado com a tensão da catenária através de um colector de corrente. Trata-se de uma tensão da catenária de alta tensão de baixa frequência de 15 kV com uma frequência de $16 \frac{2}{3}$ Hz. Dois enrolamentos de tracção por bogie, no lado secundário, disponibilizam a tensão de entrada para dois conversores de tensão de entrada ou de entrada, que estão concebidos como conversores de quatro quadrantes (4QS), para poderem devolver a energia gerada pelos motores de tracção para a rede da catenária. Dois onduladores por pulsão independentes alimentam um motor de tracção com tensão e frequência variáveis, respectivamente, a partir de um circuito indirecto. O que é problemático

nesta disposição de circuitos eléctricos é o peso elevado e a má eficiência do transformador de alta tensão. Por isso, na prática, existem tentativas de reduzir ao máximo o peso do transformador de alta tensão. Contudo, este factor piora a respectiva eficiência, de modo que constantemente tem lugar uma optimização pouco satisfatória entre o peso e a eficiência.

O referido problema é divulgado, por exemplo, na revista "ZEV + DET Glasers Annalen 121", N.º2/3, 1997, págs. 64-80, relativamente à alimentação da rede de bordo de um veículo motor ferroviário. Na referida revista, na página 5, figura 5, é apresentado um bloco de alimentação de energia para os sistemas auxiliares do ICE 2, em que em vez do transformador de 16 2/3 Hz utilizado para a separação de potencial entre o barramento do comboio de 1000 V e os sistemas auxiliares no respectivo antecessor (ICE 1) é utilizada uma multiplicidade de módulos de conversores conectados em série que estão directamente ligados ao barramento do comboio de 1000 V. Nos referidos módulos de conversores é gerada uma frequência de 20 kHz que é conduzida para o transformador para a separação de potencial localizado à saída. Quatro transformadores no lado de saída conectados paralelamente alimentam uma rede de tensão contínua de 600 V através de um rectificador, respectivamente. Deste modo, assegura-se uma carga homogénea de todos os níveis de conversores. Deste modo, foi possível reduzir a massa do transformador de 713 kg para 4 x 19 kg.

No entanto, este conceito não é transferível para consumidores que têm de funcionar de forma independente, ou seja, de forma electricamente desacoplada, tal como é o

caso, por exemplo, dos motores de tracção pertencentes a eixos distintos. A potência necessária para os motores de tracção por eixo depende, por exemplo, do estado da área dos carris em que as rodas se encontram num determinado momento. Conforme o estado do sistema roda/carril mesmo no modo de condução normal a potência necessária dos motores de tracção pertencentes a eixos distintos pode apresentar diferenças significativas e cronologicamente variáveis, que nos casos extremos se podem situar entre a plena carga e a marcha em vazio. Para evitar que as referidas diferenças de carga sejam directamente transmitidas ao circuito de entrada, no conceito conhecido seria necessária a utilização de armazenadores de energia no lado secundário do transformador de alta tensão. Contudo, este factor aniquilaria parcialmente a redução de peso dos transformadores alcançada.

A EP 0 820 893 A2 e a DE 196 14 627 A1 divulgam outras disposições de circuitos eléctricos para a alimentação de sistemas de tracção eléctricos.

A presente invenção tem por objectivo apresentar uma disposição de circuitos eléctricos para a alimentação de um sistema de tracção eléctrico, nomeadamente um sistema de tracção eléctrico para um veículo motor ferroviário, com melhorias relativamente ao respectivo peso e à respectiva eficiência e comparativamente com as disposições de circuitos eléctricos conhecidas.

O referido objectivo de acordo com a presente invenção é alcançado através de uma disposição de circuitos eléctricos com as características apresentadas na reivindicação 1. As formas de realização vantajosas da presente invenção são

objecto das reivindicações dependentes 2 a 22. A disposição de circuitos eléctricos para a alimentação de um sistema de tracção eléctrico, nomeadamente um sistema de tracção eléctrico para um veículo motor ferroviário, compreende uma multiplicidade de grupos de tracção que compreendem pelo menos um motor de tracção e um grupo conversor de entrada. Os grupos conversores de entrada estão conectados electricamente e em série entre si a uma rede de distribuição. A cada grupo conversor de entrada está atribuído pelo menos um grupo de transformadores que por meio do respectivo lado secundário e através de um conversor de tracção alimenta o motor de tracção do grupo de tracção, sendo que está previsto um circuito de compensação que para a obtenção de uma distribuição de tensão homogénea pelos grupos conversores de entrada conecta os lados de entrada dos conversores de tracção electricamente entre si.

Através da disposição dos transformadores necessários para a separação de potencial à saída dos grupos de conversores de entrada, os transformadores podem ser operados com uma frequência que se situa nitidamente acima da frequência da rede e, preferencialmente, entre 400 Hz e 1 kHz (área de frequência média). Este factor possibilita a utilização de transformadores de baixo peso, pouco volumosos e com uma maior eficiência.

Considerando que todas as tensões alternadas existentes à saída dos conversores de tracção estão conectadas entre si através do circuito de compensação, a potência entre os diferentes grupos de tracção pode ser arbitrariamente substituída. Este factor possibilita uma distribuição de potência homogénea ou simétrica por todos os grupos

conversores de entrada e em todos os casos de carga, e, por conseguinte, uma distribuição de tensão simétrica à entrada dos grupos conversores de entrada. Deste modo, assegura-se que a tensão de entrada máxima admissível nos grupos conversores de entrada mesmo em caso de falha de potência de um conversor de tracção ou de um motor de tracção não é ultrapassada.

O circuito de compensação compreende um actuador para cada conversor de tracção a este conectado no lado de entrada, sendo que os actuadores do circuito de compensação estão paralelamente conectados entre si no lado de saída e alimentam um circuito indirecto de tensão contínua secundário comum.

Numa outra forma de realização vantajosa da presente invenção está previsto um circuito de conversor directo como conversor de tracção, ou seja, um circuito de conversor sem um circuito indirecto com armazenador de energia. Isto é possível considerando que através do circuito de compensação é constantemente assegurada uma distribuição de potência simétrica pelos grupos conversores de entrada mesmo sem o referido armazenador de energia.

Mais especificamente, cada grupo conversor de entrada apresenta pelo menos um conversor de entrada que compreende um rectificador de entrada que, através de um circuito indirecto de tensão contínua primário, alimenta um ondulator, cuja saída apresenta uma tensão alternada rectangular, cuja largura de blocos e duração de período são controláveis. Através do controlo da largura de blocos a potência reactiva pode ser reduzida.

Preferencialmente como rectificadores de entrada e onduladores estão previstos conversores de quatro quadrantes de circuito oscilador capacitivo de dois ou três pontos e com válvulas de semicondutores que podem ser desconectadas.

Mais especificamente, em cada circuito indirecto de tensão contínua primário está conectado um circuito de absorção para a filtragem da potência pulsante injectada pela rede.

Numa outra forma de realização preferida cada grupo conversor de entrada compreende uma multiplicidade de conversores de entrada conectados em série no lado de entrada que no lado de saída estão conectados de forma electricamente desacoplada ao lado primário do grupo de transformadores. Deste modo, aumenta-se a tensão de entrada máxima incorporável de um grupo conversor de entrada. A referida tensão de entrada máxima incorporável depende da capacidade de supressão das válvulas de semicondutores individuais, e, por conseguinte, da tensão máxima admissível no circuito indirecto de tensão contínua primário.

Numa forma de realização vantajosa o grupo de transformadores compreende um número de transformadores correspondente ao número de conversores de entrada, nomeadamente conversores de enrolamento duplo, que estão conectados paralelamente no lado secundário. Este factor possibilita um conceito de construção modular com as respectivas vantagens na construção, na produção e na manutenção.

Numa forma de realização alternativa da presente invenção o grupo de transformadores compreende um transformador de enrolamento múltiplo com enrolamentos secundários separados. Este factor possibilita uma redução adicional do peso do grupo de transformadores.

Numa outra forma de realização da presente invenção o conversor de tracção compreende uma derivação de conversor directo concebido num circuito central para cada fase, sendo que à derivação de conversor directo de cada fase, respectivamente, é atribuída uma tomada central de um enrolamento secundário separado do grupo de transformadores, que estão conectadas em estrela entre si. Deste modo, assegura-se que a potência reactiva frequente do motor de tracção seja compensada através do fluxo magnético, e, por conseguinte, não seja transmitida para o circuito indirecto de tensão contínua primário.

Numa outra forma de realização vantajosa as derivações de conversor directo estão conectadas paralelamente no lado de entrada. Também esta medida assegura a compensação da potência reactiva do motor. Além disso, através da conexão paralela no lado secundário dos transformadores a carga é distribuída de forma homogénea pelos conversores de entrada, ou seja, sucede-se uma distribuição de potência e de tensão simétrica pelos conversores de entrada individuais.

Mais especificamente, no circuito de compensação está previsto um actuador concebido como conversor de quatro quadrantes, preferencialmente um circuito oscilador capacitivo de dois ou de três pontos, ou um circuito em ponte antiparalelo ou um circuito central.

Numa outra forma de realização vantajosa da presente invenção no circuito indirecto de tensão contínua secundário do circuito de compensação está previsto um circuito de absorção. Neste caso, pode abdicar-se dos circuitos de absorção nos conversores de entrada.

Numa outra forma de realização da presente invenção no circuito indirecto de tensão contínua secundário do circuito de compensação está conectado um conversor de entrada adicional de um circuito redundante. Deste modo, sem grandes recursos a circuitos, pode ser compensada a falha de um conversor de entrada.

Para um esclarecimento adicional da presente invenção, seguem-se as formas de realização exemplificativas apresentadas nas figuras, em que:

- FIG 1 apresenta uma perspectiva esquemática de uma disposição de circuitos eléctricos de acordo com a presente invenção através de um esquema de blocos;
- FIG 2 apresenta mais detalhadamente o princípio de circuitos subjacente à presente invenção através de dois grupos conversores de entrada conectados em série com circuito redundante;
- FIG 3,4 apresentam formas de realização preferidas para os rectificadores de entrada utilizados no grupo conversor de entrada;
- FIG 5,6 apresentam formas de realização preferidas para os onduladores utilizados no grupo conversor de entrada;
- FIG 7-10 apresentam formas de realização vantajosas para os actuadores no circuito de compensação;

FIG 11,12 apresentam uma forma de realização exemplificativa para um conversor de tracção utilizado no lado de carga;

FIG 13 apresenta uma perspectiva em que, através de um diagrama, no qual a tensão de entrada no lado primário do transformador é colocada contra o tempo, é apresentado o comando da tensão de entrada no lado secundário para o conversor de tracção.

De acordo com a FIG 1 a disposição de circuitos eléctricos é conectada através de um colector de corrente 2 e de um rodado 4 entre uma catenária de alta tensão U_N 6 e um carril 8. Uma multiplicidade de grupos conversores de entrada 12 estão conectados em série com uma bobina de rede 10 e em série entre si e conectados ao lado primário de um grupo de transformadores 14 no lado de saída, respectivamente. Com o auxílio do grupo conversor de entrada 12 a alta tensão U_N de baixa frequência é transformada numa tensão alternada rectangular ou em forma de blocos de média frequência U_1 .

Através de um conversor de tracção, preferencialmente um circuito de conversor directo 16, cada grupo de transformadores 14 alimenta pelo menos um motor de tracção M. O conjunto formado pelo grupo conversor de entrada 12, pelo grupo de transformadores 14, pelo circuito de conversor directo 16 e pelo motor de tracção M, constitui um grupo de tracção 18.

Os lados secundários dos grupos de transformadores 14 estão conectados a um circuito de compensação 20 comum. Através do comando adequado do circuito de compensação 20 a

potência transmitida pelos grupos de transformadores 14, respectivamente, independentemente da necessidade de potência actual dos motores de tracção M, pode ser influenciada de modo a ser semelhante para todos os grupos de tracção 18. Deste modo, possibilita-se uma distribuição homogénea da alta tensão U_N pelos grupos conversores de entrada 12 conectados em série.

Na figura apenas são apresentados quatro grupos conversores de entrada 12, cujo número real depende do número de motores de tracção M independentes a alimentar. Cada grupo conversor de entrada, por sua vez, pode ser constituído por vários conversores de entrada conectados em série. O número de conversores de entrada depende da alta tensão U_N , de modo que com os semicondutores de potência actualmente disponíveis com uma capacidade de supressão de aproximadamente 3,5 kV a uma alta tensão U_N de 15 kV, são necessários aproximadamente 16 conversores de entrada conectados em série na técnica de dois pontos que se distribuem por um número de grupos conversores de entrada 12 correspondente ao número de grupos de tracção 18.

Além disso, ao circuito de compensação 20 está conectado um circuito redundante 22 que compreende um conversor de entrada 24 que está igualmente conectado em série relativamente aos grupos conversores de entrada 12 entre o carril 8 e a catenária 6. O referido conversor de entrada 24 do referido circuito redundante 22 está conectado ao circuito de compensação 20 através de um transformador 26. Ao conversor de entrada 24 do circuito de compensação 22 não está directamente atribuído um motor de tracção, de modo que este pode ser utilizado para substituição em caso de falha de um dos grupos conversores de entrada 12 ou de

um dos respectivos conversores de entrada, através do circuito de compensação 20 para o comando do motor de tracção M afectado pela falha.

Assim, através do circuito redundante 22 conectado ao circuito de compensação 20 podem ser total ou parcialmente substituídos grupos conversores de entrada 12 em falha. Neste caso o circuito redundante 22 injecta a potência do conversor de corrente de entrada no grupo de tracção 18 correspondente através do circuito de compensação 20.

No modo de funcionamento normal o circuito redundante 22 não tem de estar operacional. Neste caso, o respectivo conversor de entrada 24 pode ser curto-circuitado no lado da rede e separado do circuito de compensação 20 no lado de saída.

Em vez de um único circuito redundante 22 também podem estar previstos vários circuitos redundantes 22, para assegurar a disponibilidade da tracção mesmo em caso de falha de vários grupos conversores de entrada 12.

Na FIG 2 a disposição de circuitos eléctricos é mais detalhadamente explicada com base em dois grupos conversores de entrada 12 que alimentam um motor de tracção M, respectivamente, através de um grupo de transformadores 14 e de um grupo de conversor directo 16. Cada grupo conversor de entrada 12 compreende dois conversores de entrada 12a e 12b que estão conectados ao enrolamento primário 146a e 146b de um transformador 14a ou 14b no lado de saída. Nesta forma de realização exemplificativa, o grupo de transformadores compreende dois transformadores 14a, b (transformadores de enrolamento duplo).

Os respectivos enrolamentos secundários 142a e 142b estão conectados paralelamente e ligados à entrada do circuito de conversor directo 16. O circuito de conversor directo 16, sem armazenadores intermédios de energia, gera um sistema de corrente trifásica de baixa frequência com frequência e amplitude fundamental variáveis a partir de uma corrente alternada monofásica de frequência elevada. Em vez dos dois conversores de entrada 12a e 12b por grupo conversor de entrada 12 apresentados na figura também podem estar previstos um ou mais de dois conversores de entrada, sendo que a cada conversor de entrada seria atribuído um transformador de enrolamento duplo.

Cada conversor de entrada 12a e 12b compreende um rectificador de entrada 28 concebido como conversor de quatro quadrantes que através de um circuito indirecto de tensão contínua 29 primário e de um ondulador 30 está conectado ao sistema de enrolamento primário 146a ou 146b do transformador 14a ou 14b.

Cada circuito indirecto de tensão contínua 29 compreende um circuito de absorção 31 para a filtragem da potência pulsante gerada pelo rectificador de entrada 28 e da respectiva ondulação de tensão.

Tanto no caso do rectificador de entrada 28 como no caso do ondulador 30 trata-se de conversores de quatro quadrantes para possibilitar uma devolução da potência dos motores de tracção mesmo em caso de travagem.

No circuito de compensação 20 a entrada de cada circuito de conversor directo 16 está acoplada a um circuito indirecto de tensão contínua 34 através de um actuador 32

controlável. A cada circuito de conversor directo 16 está atribuído um actuador 32, sendo que cada actuador 32 alimenta o circuito indirecto de tensão contínua 34 secundário através de um elemento de filtragem 33, na forma de realização exemplificativa uma bobina no lado de saída.

Através dos actuadores 32 controláveis pode alcançar-se tensões de entrada U_A dos circuitos de conversor directo 16 semelhantes, independentemente da necessidade de potência dos motores de tracção M. Considerando que a corrente que flui através dos conversores de entrada 12a, 12b e 14 é igual, a potência transmitida pelos conversores de entrada 12a e 12b apenas pode ser regulada através da tensão de entrada U_E nos conversores 12a e 12b. Para alcançar uma simetrização da potência para todos os conversores de entrada 12a e 12b a posição de fase e a amplitude da corrente que flui no lado secundário I_A é controlada através dos actuadores 32 do circuito de compensação 20, de modo que os grupos de transformadores 14 de todos os grupos de tracção 18 transmitam uma potência semelhante. Deste modo, assegura-se que a tensão de rede U_N total seja distribuída de forma homogénea por todos os conversores de entrada 12a e 12b.

Sem a existência do circuito de compensação 20, por exemplo, a marcha em vazio de um dos dois motores de tracção M implicaria que praticamente a tensão de rede U_N total nos conversores de entrada 12a e 12b fosse conduzida para um único grupo conversor de entrada 12. Consequentemente, ou os conversores de entrada 12a e 12b teriam de ser correspondentemente dimensionados ou o número de conversores de entrada correspondentemente aumentado, para poder processar as referidas cargas assimétricas. Para

uma rede habitual com uma tensão de rede de 15 kV e uma frequência de $16 \frac{2}{3}$ Hz de acordo com o estado da técnica actual são necessários aproximadamente 16 conversores de entrada 12a e 12b na técnica de dois pontos com uma capacidade de supressão dos semicondutores de 3,5 kV. Devido à simetrização de potência gerada pelo circuito de compensação 20, ou seja, à absorção de potência homogénea de todos os conversores de entrada 12a e 12b do grupo conversor de entrada 12, não é necessário que os grupos conversores de entrada 12 sejam sobredimensionados para o domínio de cargas extremamente diferentes dos grupos de tracção 18 relativamente ao número de conversores de entrada.

O conversor de entrada 24 do circuito redundante 22 no modo de funcionamento normal está conectado de modo que a tensão de entrada por este libertada é igual a zero e de modo que este entra em funcionamento em caso de falha de um dos conversores de entrada 12a ou 12b. Através do circuito redundante 22 pode igualmente ser aumentada a tensão de rede U_N máxima admissível, sendo que a potência transmitida pelo circuito redundante 22 pode ser arbitrariamente distribuída pelos grupos de tracção 18.

A tensão contínua no circuito indirecto de tensão contínua 34 pode ser regulada de forma variada com o auxílio dos actuadores 32. Deste modo, é igualmente possível uma alimentação de tensão redundante múltipla dos sistemas de funcionamento auxiliares que relativamente ao potencial de ligação à terra se situa num potencial significativamente mais baixo que a tensão de rede U_N .

Numa forma de realização alternativa pode ser eliminado o actuador 32 atribuído ao circuito de compensação 20 do circuito redundante 22 e a respectiva função ser realizada por um dos actuadores 32 atribuídos aos grupos de tracção 18, conforme se encontra assinalado na figura.

Numa outra forma de realização alternativa podem ser eliminados os circuitos de absorção 31 conectados aos circuitos indirectos de tensão contínua 29 primários, respectivamente, quando em vez dos referidos circuitos de absorção 31 existe um único circuito de absorção 35 no circuito indirecto de tensão contínua 34 secundário, conforme se encontra assinalado na figura.

De acordo com a FIG 3 como rectificador de entrada 28 está previsto um conversor de quatro quadrantes de circuito oscilador capacitivo de dois pontos com IGBTs como válvulas de semicondutores 36 que podem ser desconectadas.

Numa forma de realização alternativa de acordo com a FIG 4 como rectificador de entrada 28 está previsto um conversor de quatro quadrantes de circuito oscilador capacitivo de três pontos igualmente com IGBTs como válvulas de semicondutores 36 que podem ser desconectadas.

De acordo com a FIG 5 como ondulador 30 está previsto um conversor de quatro quadrantes de circuito oscilador capacitivo de dois pontos com IGBTs como válvulas de semicondutores 36 que podem ser desconectadas.

Numa forma de realização alternativa de acordo com a FIG 6 como ondulador 30 está previsto um conversor de quatro quadrantes de circuito oscilador capacitivo de três pontos

igualmente com IGBTs como válvulas de semicondutores 36 que podem ser desconectadas.

De acordo com a FIG 7 como actuador 32 está previsto um circuito oscilador capacitivo de dois pontos com IGBTs como válvulas de semicondutores 36 que podem ser desconectadas.

Numa forma de realização alternativa de acordo com a FIG 8 como actuador 32 está previsto um circuito oscilador capacitivo de três pontos com IGBTs como válvulas de semicondutores 36 que podem ser desconectadas.

A FIG 9 apresenta outra forma de realização em que o actuador 32 está concebido como circuito em ponte antiparalelo, no qual são utilizados tiristores como válvulas de semicondutores 36 que não podem ser desconectadas.

Na forma de realização exemplificativa de acordo com a FIG 10 como actuador 32 está previsto um circuito central com tiristores como válvulas de semicondutores 36 que não podem ser desconectadas.

De acordo com a FIG 11 o circuito de conversor 16 é constituído por três derivações de conversor directo 162a-c concebidas como circuito central que, no lado de saída, geram um sistema de corrente trifásica com frequência e amplitude variáveis. O grupo de transformadores 14 apresenta um transformador de enrolamento múltiplo 140 com vários enrolamentos secundários 142a-d que, respectivamente, apresentam uma tomada central 143a-d. As tomadas centrais 143a-c dos três enrolamentos secundários 142a-c estão conectados em estrela. Além disso, a figura

demonstra que o grupo de transformadores 14 compreende um núcleo comum 144 de dois enrolamentos primários 146a e 146b separados entre si. Nesta forma de realização exemplificativa, tal como na forma de realização exemplificativa da FIG 2, o grupo conversor de entrada de um grupo de tracção compreende dois conversores de entrada. Um enrolamento secundário adicional 143d está conectado a um actuador 32 do circuito de compensação 20. O transformador de enrolamento múltiplo 140 que forma o grupo de transformadores 14 nesta forma de realização exemplificativa compreende dois enrolamentos primários 146a e 146b e quatro enrolamentos secundários separados 142a-d, sendo que o número de enrolamentos primários 146a e 146b corresponde ao número de conversores de entrada 12a e 12b. Nesta forma de realização exemplificativa, a potência reactiva frequente no motor é compensada no circuito magnético do grupo de transformadores 14.

De acordo com a FIG 12 as três derivações de conversor directo 162a-c estão paralelamente conectadas no lado de entrada. Adicionalmente, as derivações de conversor directo 162a-c individuais podem ser desacopladas entre si com indutâncias não apresentadas na figura. Nesta forma de realização exemplificativa o grupo de transformadores 14 compreende dois transformadores de enrolamento duplo 14a e 14b com núcleos 144a e 144b separados, cujos enrolamentos secundários 142a e 142b estão paralelamente conectados no lado de saída. Nesta forma de realização exemplificativa cada grupo conversor de entrada 12 apresenta dois conversores de entrada, aos quais é atribuído um enrolamento primário 142a ou 142b, respectivamente. O actuador 32 do circuito de compensação 20 neste caso também

está paralelamente conectado às fases individuais do circuito de conversor directo 16.

Para uma redução adicional de peso pode ser igualmente vantajosa a colocação dos enrolamentos primários e secundários 146a e 146b ou 142a e 142b num núcleo comum.

Através da construção do circuito de conversor directo de acordo com as figuras 11 ou 12 possibilita-se que a potência reactiva frequente nos motores entre as fases individuais do conversor directo seja compensada e transmitida para os conversores de entrada, onde nos circuitos indirectos de tensão contínua primários dos conversores de entrada conduziria a um aumento da ondulação de tensão e de corrente.

Os circuitos de conversor directo 16 apresentados nas figuras 11 e 12 preferencialmente são constituídos por derivações de conversor directo 162a-c guiadas na rede. Assim, gera-se o problema de através dos transformadores 14, tanto no modo de funcionamento nominal como também no modo de funcionamento com carga parcial, ser transmitida muita potência reactiva de média frequência. A referida potência reactiva traduzir-se-ia com uma ondulação correspondente no circuito indirecto de tensão contínua primário dos conversores de entrada. Para reduzir a potência reactiva transmitida no modo de funcionamento nominal como também no modo de funcionamento com carga parcial, e, por conseguinte, a respectiva potência real no circuito intermédio dos conversores de entrada, de acordo com a FIG 13 através da selecção adequada do ângulo de controlo α do controlo de guia do ondulador, a largura de blocos T_P da tensão de entrada U_1 no transformador pode ser

ajustada à amplitude da tensão de saída. A altura dos blocos de impulsos está limitada à tensão contínua U_D no circuito indirecto de tensão contínua dos conversores de entrada.

Em alternativa à cadência de blocos acima mencionada também pode estar prevista uma modulação de impulsos em frequência, na qual a frequência do clock é mais elevada do que a frequência de transformação.

Através da redução da potência reactiva reduz-se a potência aparente do transformador. Além disso, reduz-se a ondulação no circuito indirecto de tensão contínua dos conversores de entrada. Surgem menos oscilações harmónicas de rede e no sistema de tracção em geral menos correntes de crista no modo de tracção de corrente trifásica. Em termos gerais, este factor conduz a uma redução das perdas, tanto nas válvulas de semicondutores como também no transformador, sendo que se evita um regime de saturação do material nuclear do transformador como também se reduzem as perdas no núcleo do transformador em caso de modulação parcial. Além disso, podem ser significativamente reduzidas as perdas no ondulador do conversor de entrada.

Lisboa, 28 de Abril de 2009

REIVINDICAÇÕES

1. Uma disposição de circuitos eléctricos para a alimentação de um sistema de tracção eléctrico, nomeadamente um sistema de tracção eléctrico para um veículo motor ferroviário, compreendendo uma multiplicidade de grupos de tracção (18), que compreendem pelo menos um motor de tracção (M) e um grupo conversor de entrada (12) e que estão conectados electricamente e em série entre si a uma rede de distribuição (U_N), sendo que cada grupo conversor de entrada (12), pelo respectivo lado de saída, está conectado aos lados primários de um grupo de transformadores (14) que por meio do respectivo lado secundário e através de um conversor de tracção alimenta o motor de tracção (M) do grupo de tracção (18), caracterizada por apresentar um circuito de compensação (20) para a obtenção de uma distribuição de carga homogénea pelos grupos conversores de entrada (12) que conecta os lados de entrada dos conversores de tracção electricamente entre si e para cada conversor de tracção conectado no lado de entrada compreende um actuador (32), sendo que os referidos actuadores (32) no respectivo lado de saída e paralelamente entre si alimentam um circuito indirecto de tensão contínua secundário comum.

2. Uma disposição de circuitos eléctricos de acordo com a reivindicação 1, em que o conversor de tracção é um circuito de conversor directo.

3. Uma disposição de circuitos eléctricos de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, em que cada grupo conversor de entrada (12) apresenta pelo menos um conversor de entrada (12a, 12b, 24) que compreende um

rectificador de entrada (28) que, através de um circuito indirecto de tensão contínua primário (29), alimenta um ondulador (30), cuja saída apresenta uma tensão alternada rectangular (U₁), cuja largura de blocos (T_p) e duração de período (T) são controláveis.

4. Uma disposição de circuitos eléctricos de acordo com a reivindicação 3, em que o rectificador de entrada (28) é um conversor de quatro quadrantes com circuito oscilador capacitivo de dois pontos e válvulas de semicondutores (36) que podem ser desconectadas.

5. Uma disposição de circuitos eléctricos de acordo com a reivindicação 3, em que o rectificador de entrada (28) é um conversor de quatro quadrantes com circuito oscilador capacitivo de três pontos e válvulas de semicondutores (36) que podem ser desconectadas.

6. Uma disposição de circuitos eléctricos de acordo qualquer uma das reivindicações de 3 a 5, em que o ondulador (30) é um conversor de quatro quadrantes com circuito oscilador capacitivo de dois pontos e válvulas de semicondutores (36) que podem ser desconectadas.

7. Uma disposição de circuitos eléctricos de acordo qualquer uma das reivindicações de 3 a 5, em que o ondulador (30) é um conversor de quatro quadrantes com circuito oscilador capacitivo de três pontos e válvulas de semicondutores (36) que podem ser desconectadas.

8. Uma disposição de circuitos eléctricos de acordo qualquer uma das reivindicações de 3 a 7, que apresenta um

circuito de absorção (31) conectado ao circuito indirecto de tensão contínua primário (29), respectivamente.

9. Uma disposição de circuitos eléctricos de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, em que cada grupo conversor de entrada (12) compreende uma multiplicidade de conversores de entrada (12a, 12b) conectados em série no lado de entrada que, por sua vez, no respectivo lado de saída, estão conectados de forma electricamente desacoplada a um enrolamento primário (146a e b) de um grupo de transformadores (14).

10. Uma disposição de circuitos eléctricos de acordo com a reivindicação 9, em que o grupo de transformadores (14) compreende um número de transformadores (14a, b-d) correspondente ao número de conversores de entrada (12a, b) que estão conectados paralelamente no lado secundário.

11. Uma disposição de circuitos eléctricos de acordo com a reivindicação 10, em que os transformadores (14a, b) são transformadores de enrolamento duplo.

12. Uma disposição de circuitos eléctricos de acordo com a reivindicação 9, em que o grupo de transformadores (14) compreende um transformador de enrolamento múltiplo (140) com enrolamentos secundários separados (142a-d).

13. Uma disposição de circuitos eléctricos de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 12, em que o circuito de conversor directo (16) compreende uma derivação de conversor directo (162a-c) para cada fase que é concebida como circuito central.

14. Uma disposição de circuitos eléctricos de acordo com a reivindicação 13, em que a cada derivação de conversor directo (162a-c) é atribuído um enrolamento secundário separado (142a-c) do grupo de transformadores (14), cuja tomada central (143a-c) é conectada em estrela.

15. Uma disposição de circuitos eléctricos de acordo com a reivindicação 13, em que as derivações de conversor directo (162a-c) estão conectadas paralelamente no lado de entrada.

16. Uma disposição de circuitos eléctricos de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 15, em que no circuito de compensação (20) está previsto um conversor de quatro quadrantes como actuador (32).

17. Uma disposição de circuitos eléctricos de acordo com a reivindicação 16, em que está previsto um conversor de quatro quadrantes com circuito oscilador capacitivo de dois pontos e válvulas de semicondutores que podem ser desconectadas (36) como actuador (32).

18. Uma disposição de circuitos eléctricos de acordo com a reivindicação 16, em que está previsto um conversor de quatro quadrantes com circuito oscilador capacitivo de três pontos e válvulas de semicondutores que podem ser desconectadas (36) como actuador (32).

19. Uma disposição de circuitos eléctricos de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 15, em que no circuito de compensação (20) está previsto um circuito em ponte antiparalelo como actuador (32).

20. Uma disposição de circuitos eléctricos de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 15, em que no circuito de compensação (20) está previsto um circuito central como actuador (32).

21. Uma disposição de circuitos eléctricos de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 20, em que no circuito indirecto de tensão contínua secundário (34) do circuito de compensação (20) está previsto um circuito de absorção (35).

22. Uma disposição de circuitos eléctricos de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, em que está conectado um conversor de entrada adicional (24) de um circuito redundante (22) ao circuito indirecto de tensão contínua secundário (34) do circuito de compensação (20).

Lisboa, 28 de Abril de 2009

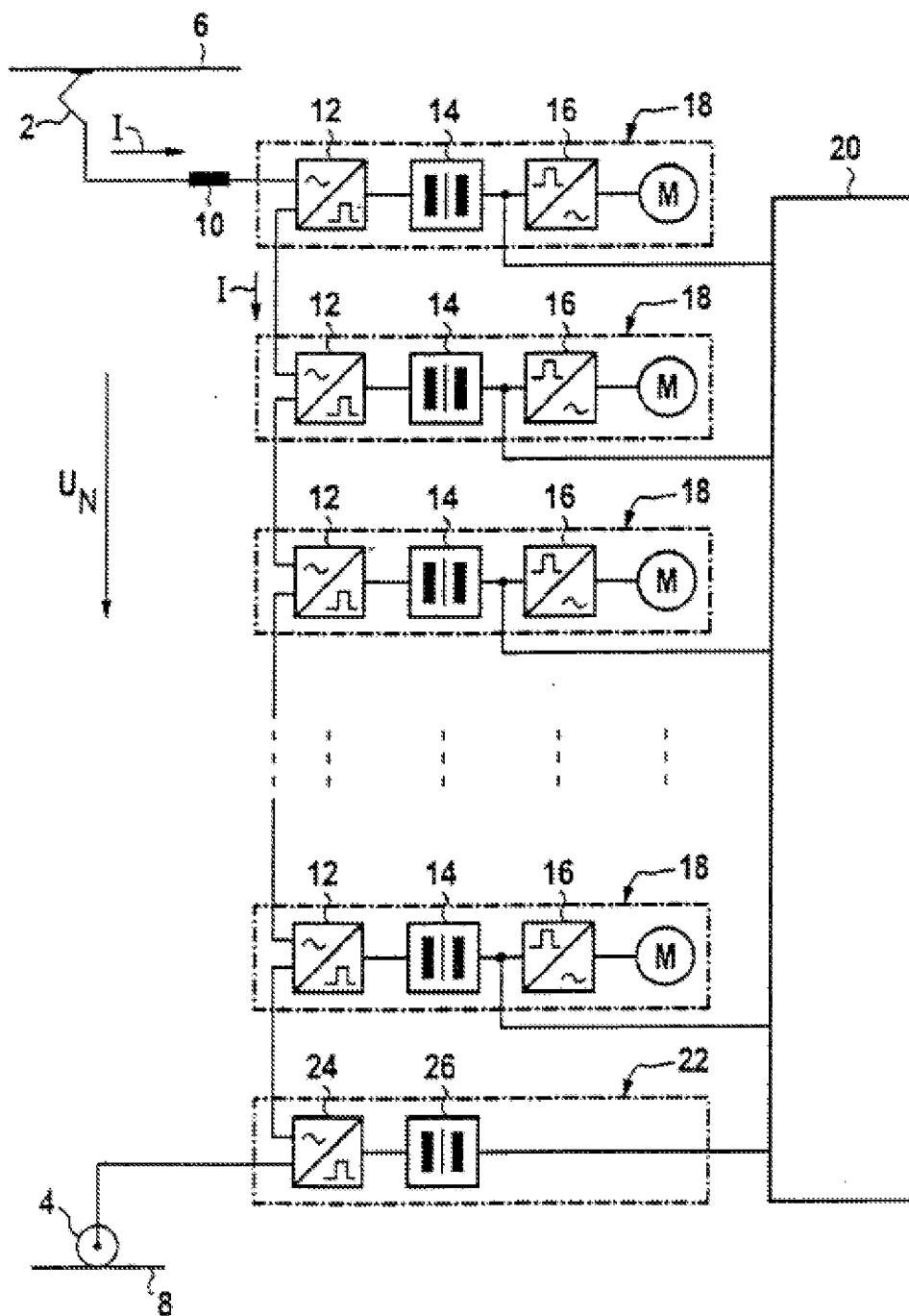


Fig. 1

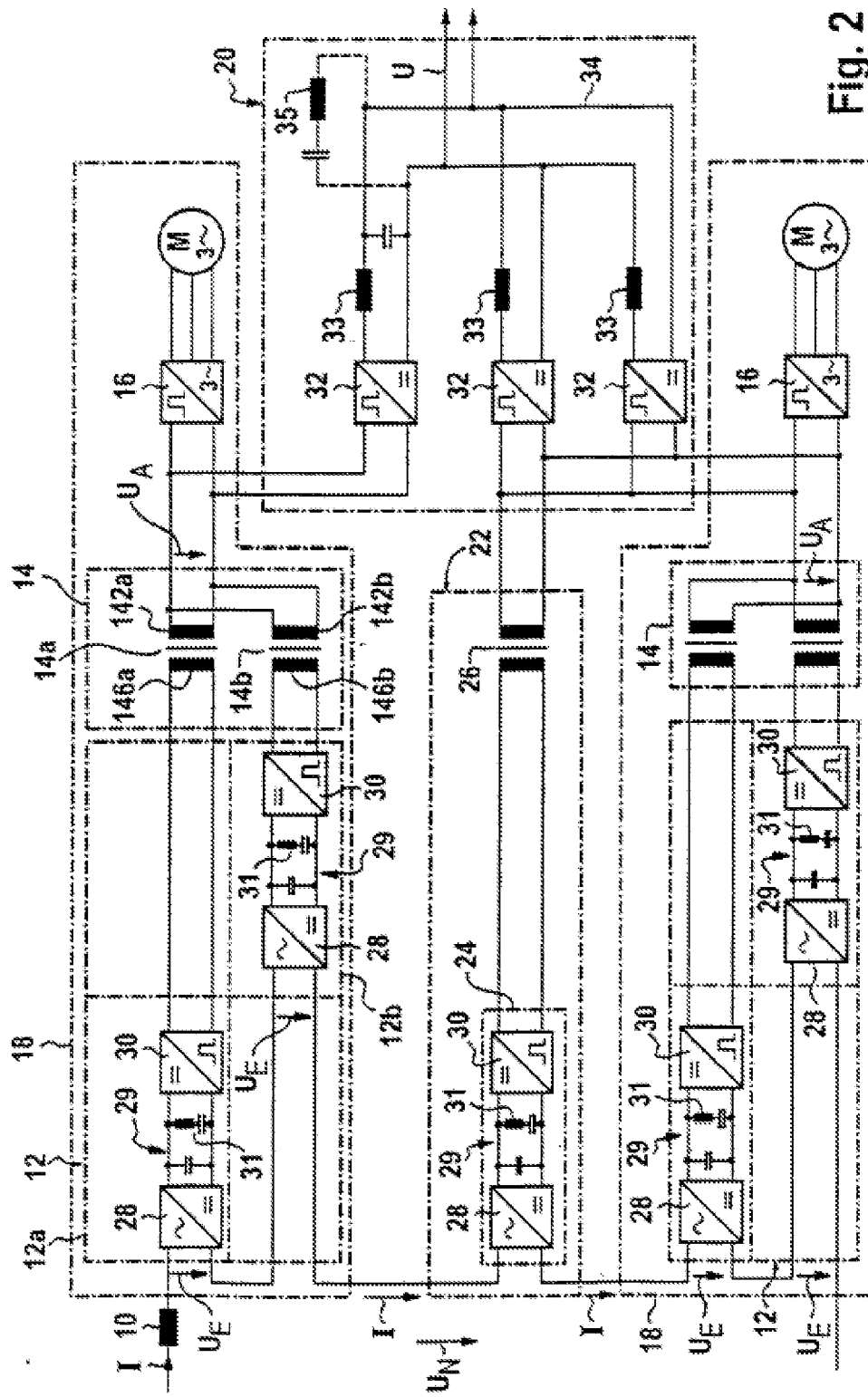


Fig. 2

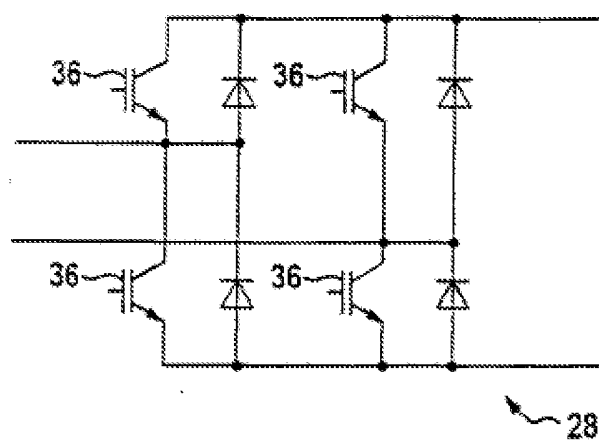


Fig. 3

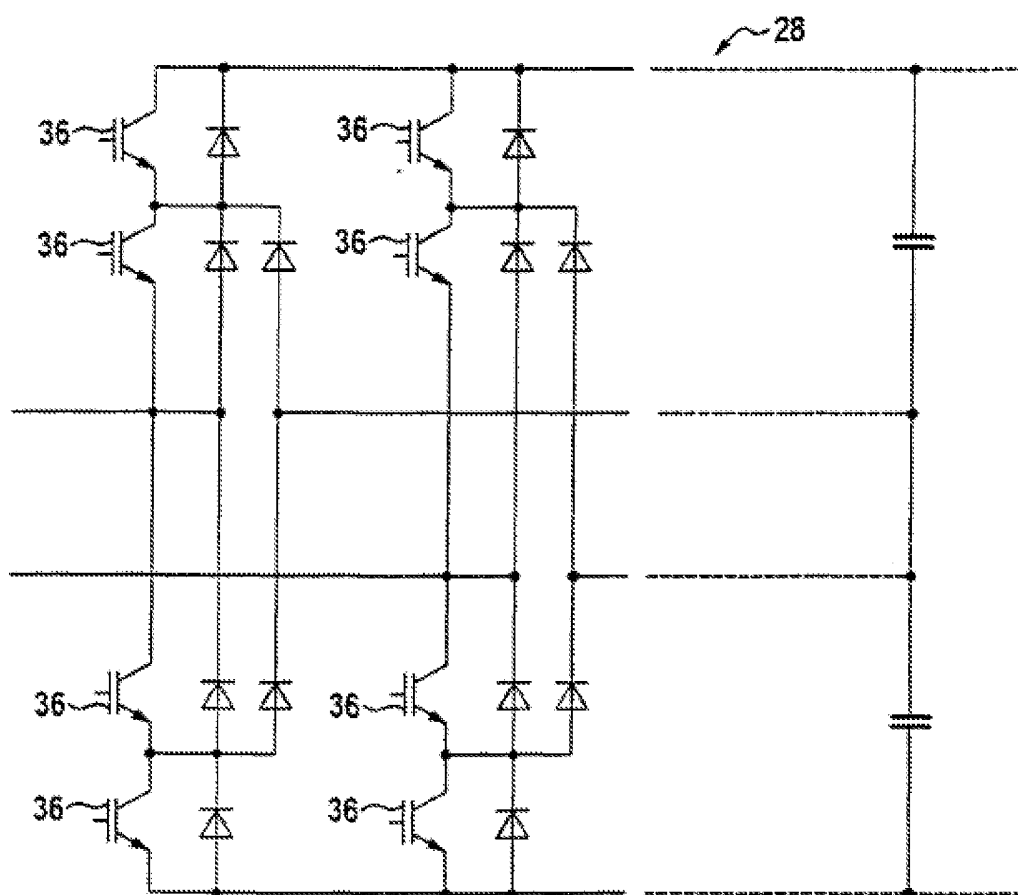
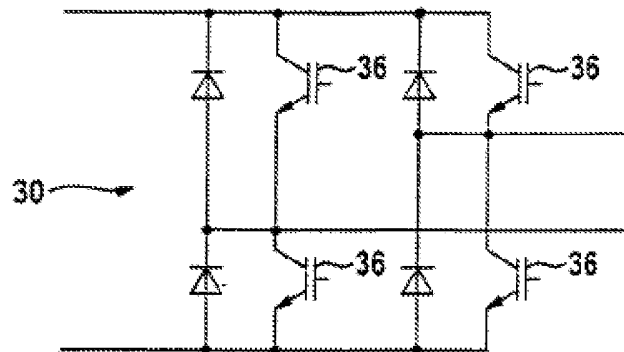
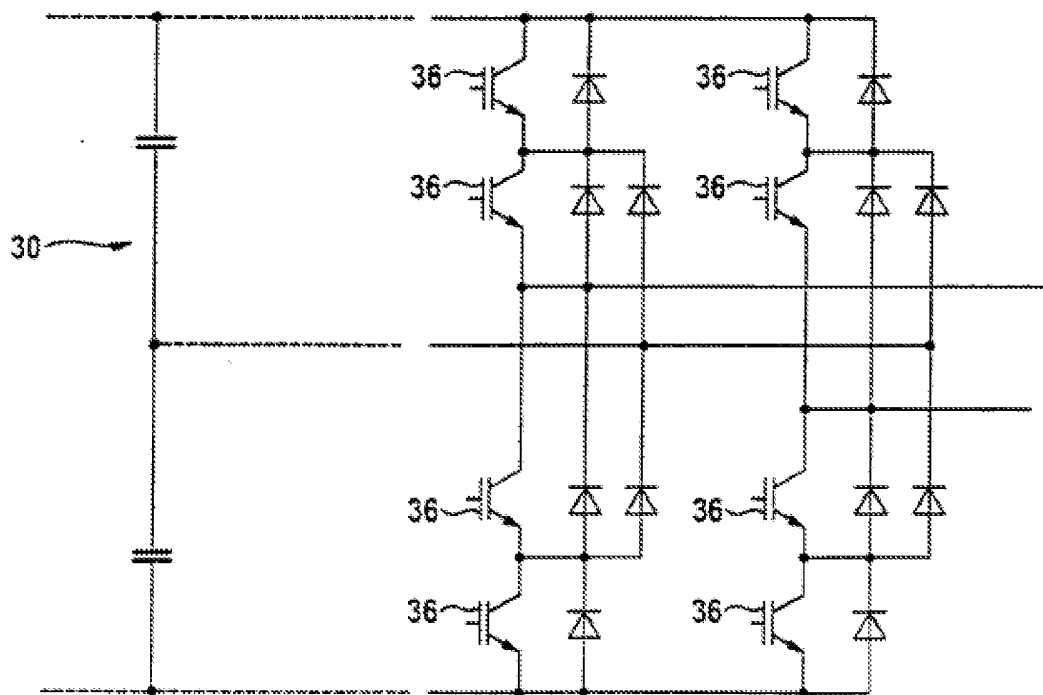


Fig. 4

**Fig. 5****Fig. 6**

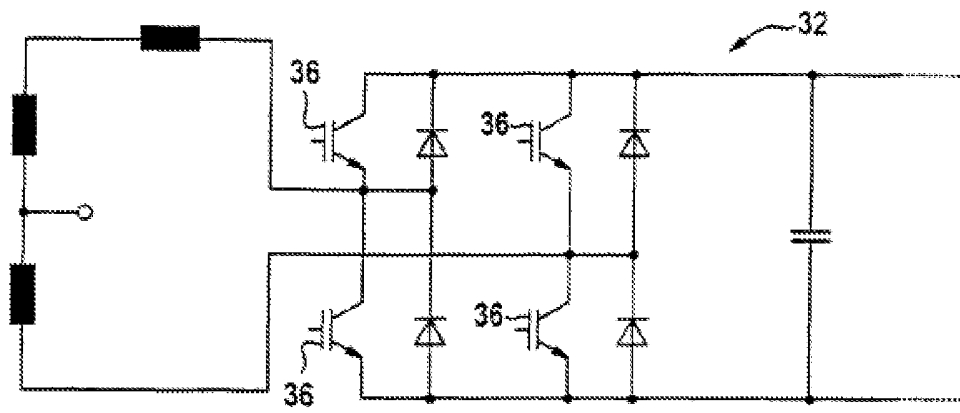


Fig. 7

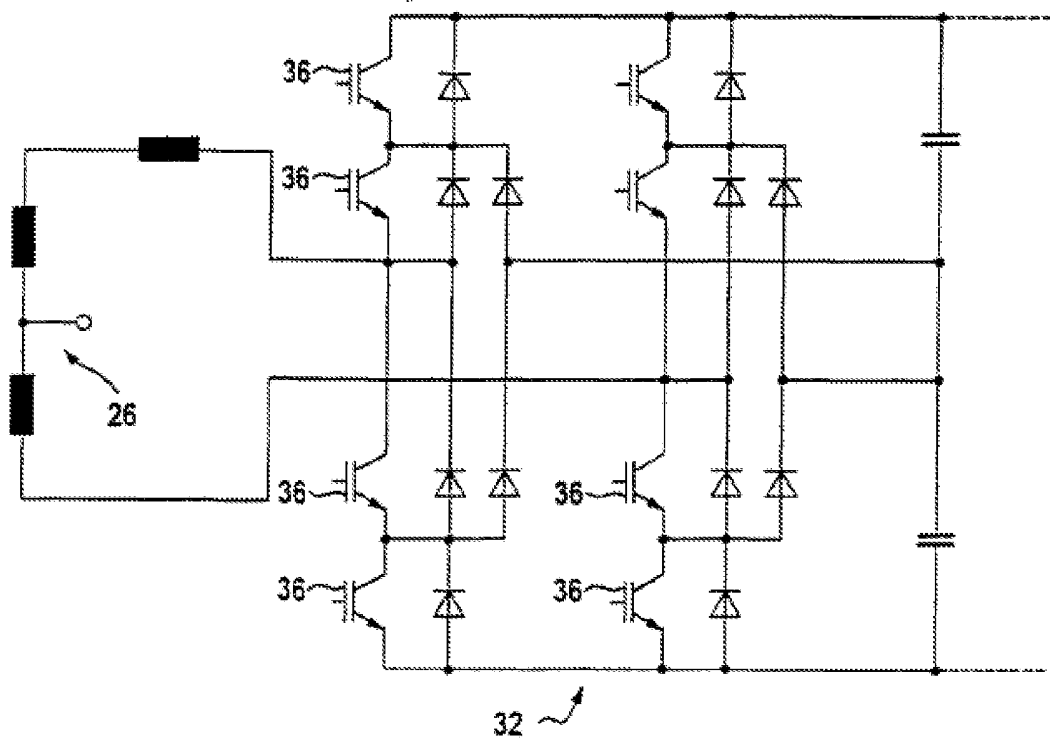


Fig. 8

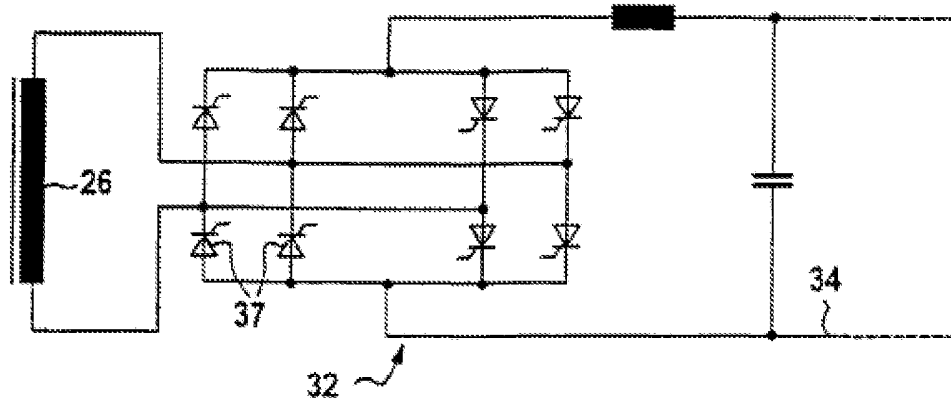


Fig. 9

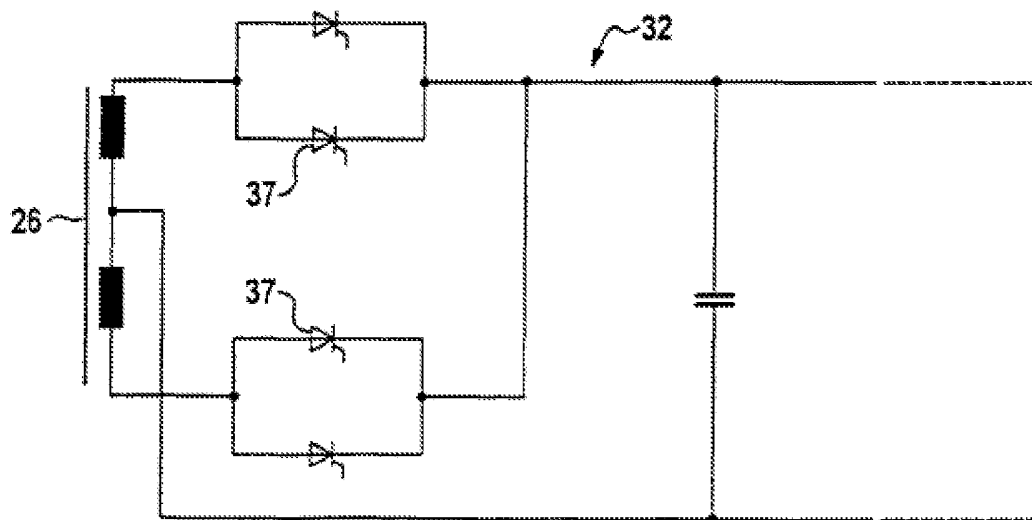


Fig. 10

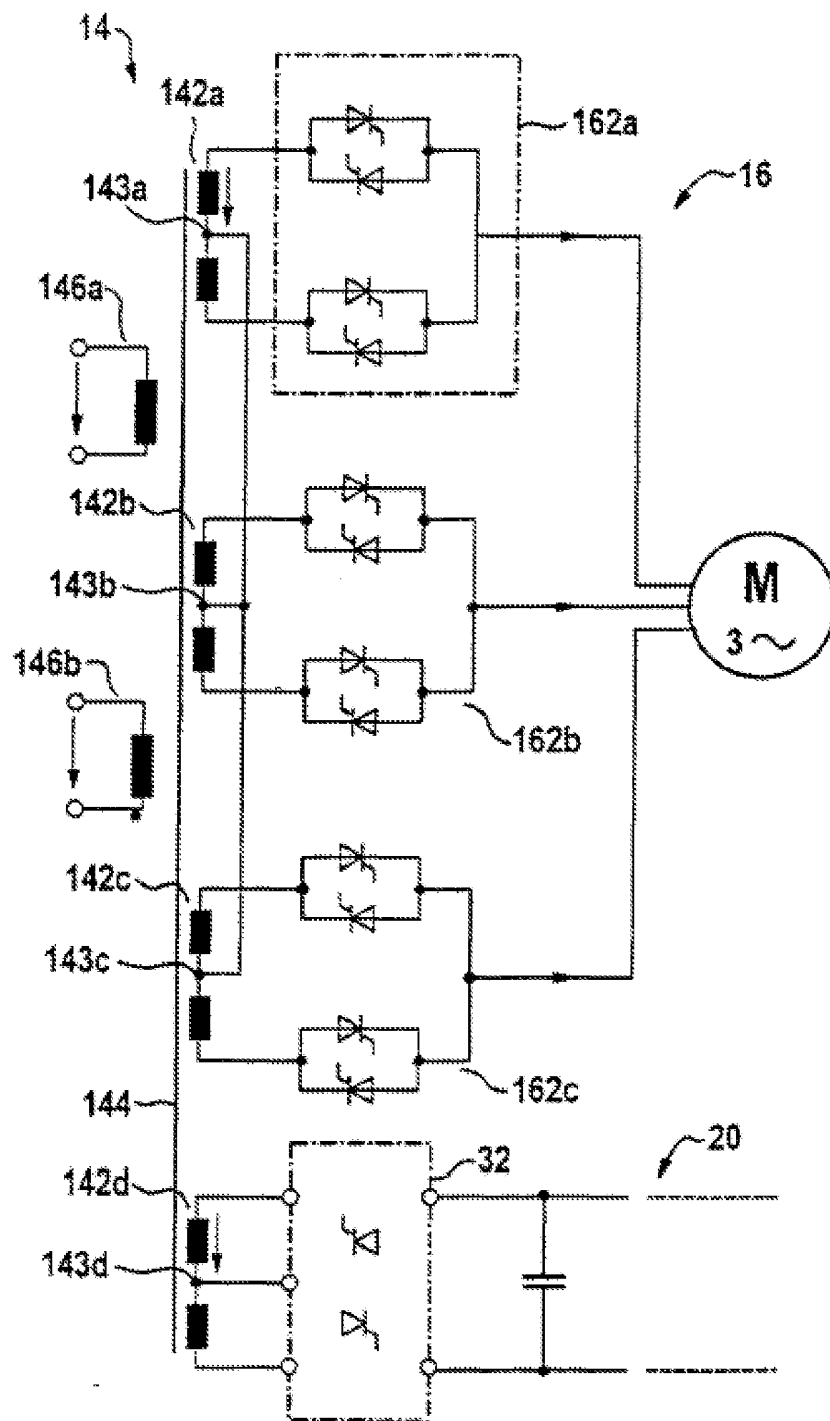


Fig. 11

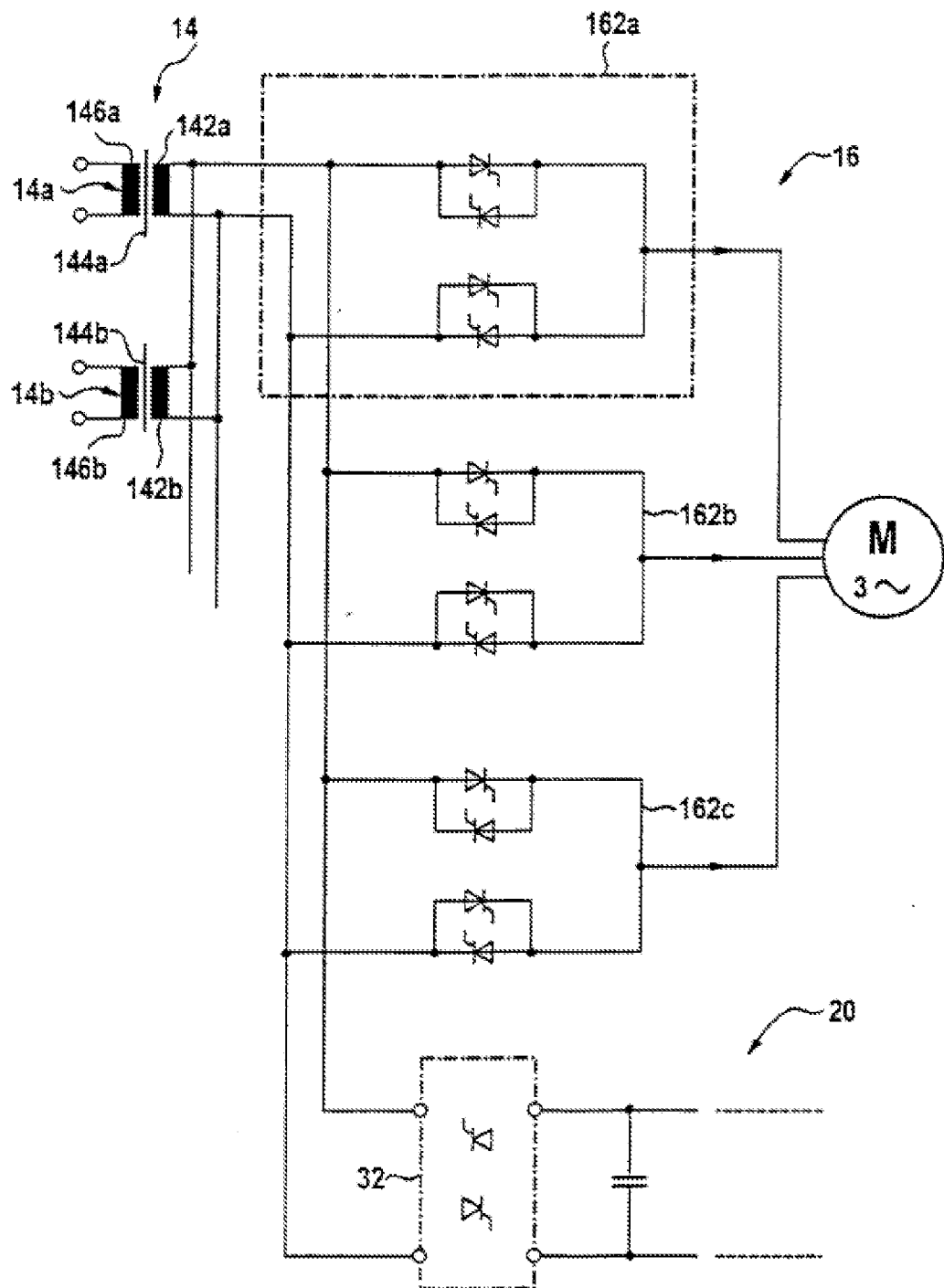


Fig. 12

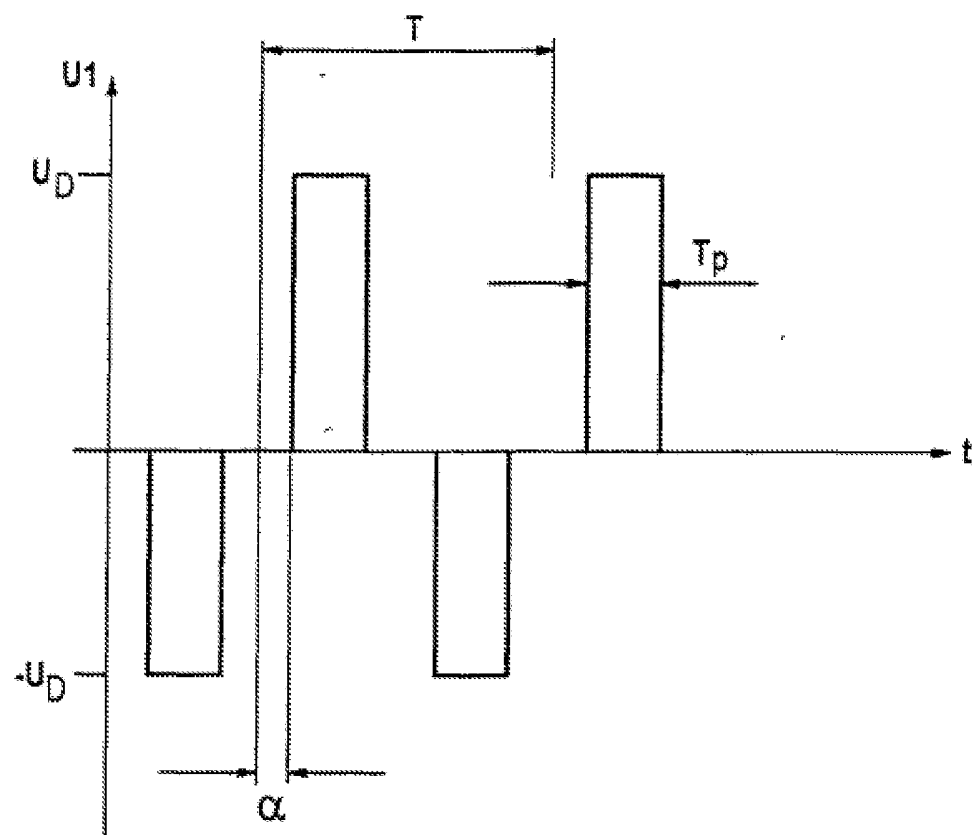


Fig 13