(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
20. April 2023 (20.04.2023)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2023/061990 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
H02P 9/30 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2022/078211

(22) Internationales Anmeldedatum:
11. Oktober 2022 (11.10.2022)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2021 211 472.5
12. Oktober 2021 (12.10.2021) DE

(71) Anmelder: **MAHLE INTERNATIONAL GMBH** [DE/DE]; Pragstraße 26-46, 70376 Stuttgart (DE).

(72) Erfinder: **KOZLOWSKI, Peter**; Föhrichstr. 67, 70469 Stuttgart (DE). **TOPALOV, Penyo**; Werastr. 57, 70190 Stuttgart (DE). **ZIMMERSCHIED, Philipp**; Heusteigstr. 62, 70180 Stuttgart (DE).

(74) Anwalt: **BRP RENAUD UND PARTNER MBB**; Königstraße 28, 70173 Stuttgart (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH,

(54) **Title:** EXTERNALLY EXCITED ELECTRIC SYNCHRONOUS MACHINE

(54) **Bezeichnung:** FREMDERREGTE ELEKTRISCHE SYNCHRONMASCHINE

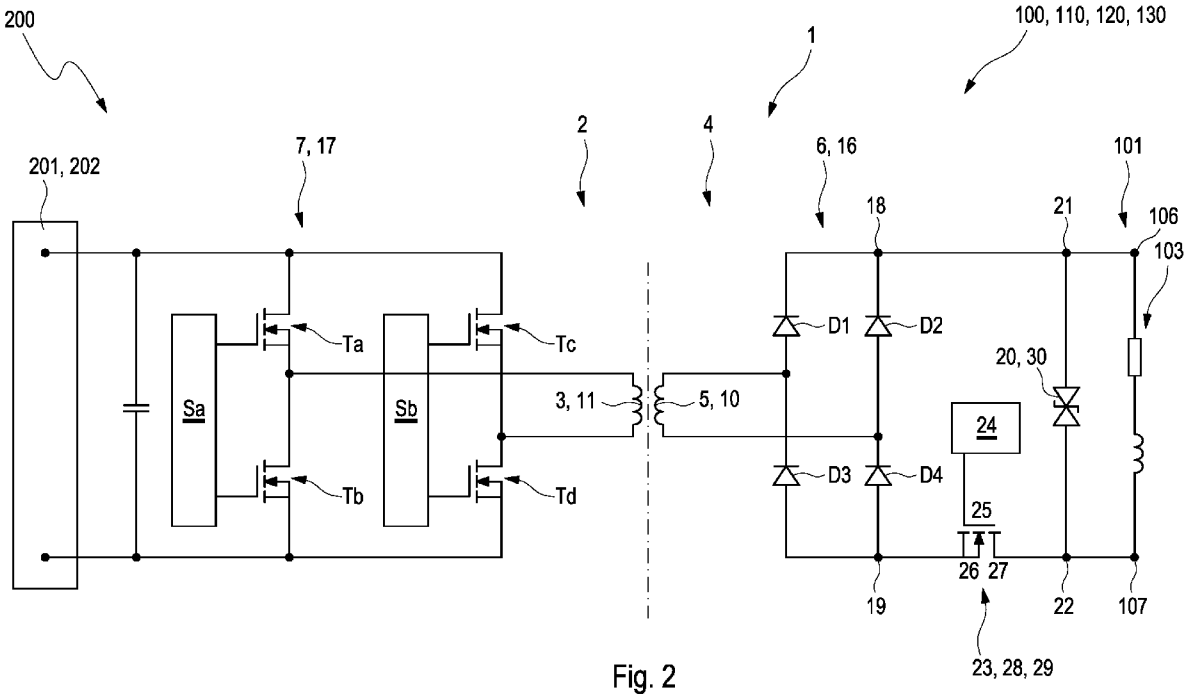


Fig. 2

(57) **Abstract:** The present invention relates to an externally excited electric synchronous machine (100) having a machine rotor (101) which has a machine rotor coil (103) which during operation generates a magnetic rotor field. The synchronous machine (100) also has a rectifier circuit (6) which supplies a DC voltage to the machine rotor coil (103) in order to generate the rotor field. The demagnetization of the machine rotor coil (103) is improved by a protection circuit (20) which is connected in parallel with the rectifier circuit (6) and the machine rotor coil (103) as well as by a switch (23) which is located between the protection circuit (20) and the rectifier circuit (6) and which is opened by means of a trigger circuit (24) in order to demagnetize the machine rotor coil (103).

WO 2023/061990 A1

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) **Bestimmungsstaaten** *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

— *vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)*

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft eine fremderregte elektrische Synchronmaschine (100) mit einem Maschinen-Rotor (101), der eine Maschinen-Rotorspule (103) aufweist, welche im Betrieb ein magnetisches Rotorfeld erzeugt. Die Synchronmaschine (100) weist ferner eine Gleichrichterschaltung (6) auf, welche die Maschinen-Rotorspule (103) zum Erzeugen des Rotorfelds mit einer Gleichspannung versorgt. Eine verbesserte Entmagnetisierung der Maschinen-Rotorspule (103) wird durch eine parallel zur Gleichrichterschaltung (6) und der Maschinen-Rotorspule (103) geschaltete Schutzschaltung (20) sowie einen zwischen der Schutzschaltung (20) und der Gleichrichterschaltung (6) angeordneten Schalter (23) erreicht, welcher zur Entmagnetisierung der Maschinen-Rotorspule (103) mittels einer Triggerschaltung (24) geöffnet wird.

Fremderregte elektrische Synchronmaschine

Die vorliegende Erfindung betrifft eine fremderregte elektrische Synchronmaschine mit einer Maschinen-Rotorspule, welche im Betrieb mittels einer Transformatorspule und einer Gleichrichterschaltung mit einer Gleichspannung versorgt ist und ein Rotorfeld erzeugt. Die Erfindung betrifft ferner Verwendungen einer solchen fremderregten elektrischen Synchronmaschine.

Eine fremderregte elektrische Synchronmaschine weist einen ortsfesten Stator sowie einen im Betrieb relativ zum Stator um eine Rotationsachse rotierenden Rotor auf, welche nachfolgend auch als Maschinen-Stator und Maschinen-Rotor bezeichnet werden. Dabei wirken ein magnetisches Rotorfeld des Maschinen-Rotors und ein magnetisches Statorfeld des Maschinen-Stators zusammen. In der fremderregten elektrischen Synchronmaschine wird das benötigte Rotorfeld des Maschinen-Rotors fremderregt. Zu diesem Zweck weist der Maschinen-Rotor in der Regel eine Maschinen-Rotorspule auf, welche mit einer Gleichspannung zum Erzeugen des magnetischen Felds versorgt wird. Die Versorgung der Maschinen-Rotorspule mit elektrischer Energie kann induktiv erfolgen. Zu diesem Zweck wird im Betrieb in einer Sekundärspule eine Wechselspannung induziert. Die induzierte Wechselspannung wird über eine Gleichrichterschaltung in die benötigte Gleichspannung umgewandelt und der Maschinen-Rotorspule zugeführt.

Eine solche fremderregte elektrische Synchronmaschine ist aus der DE 10 2016 207 392 A1 bekannt. Die fremderregte elektrische Synchronmaschine weist zur Maschinen-Rotorspule und zur Gleichrichterschaltung parallel eine Glättungskapazität auf. Mit der Maschinen-Rotorspule in Reihe geschaltet ist zudem ein Lastenelement. Das Lastenelement weist zwei Anschlüsse auf, welche mit den geschalteten Schalteranschlüssen eines Schalters verbunden sind. Ein Steueranschluss des Schalters wird über einen Spannungsteiler angesteuert.

Somit ist es möglich, die Maschinen-Rotorspule bei Bedarf, insbesondere im Fehlerfall, zu entmagnetisieren.

Die vorliegende Erfindung beschäftigt sich mit der Aufgabe, für eine fremderregte elektrische Synchronmaschine der eingangs genannten Art eine verbesserte oder zumindest andere Ausführungsform anzugeben. Insbesondere beschäftigt sich die vorliegende Erfindung mit der Aufgabe, für die fremderregte elektrische Synchronmaschine eine Ausführungsform anzugeben, welche sich durch eine verbesserte Entmagnetisierung einer Maschinen-Rotorspule der Synchronmaschine auszeichnet.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch den Gegenstand des unabhängigen Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

Die vorliegende Erfindung beruht demnach auf dem allgemeinen Gedanken, zur Entmagnetisierung einer Maschinen-Rotorspule einer fremderregten elektrischen Synchronmaschine eine für einen Überspannungsschutz einer Gleichtrichterschaltung für die Maschinen-Rotorspule vorgesehene und parallel zur Maschinen-Rotorspule geschaltete Schutzschaltung einzusetzen, wobei ein zwischen der Schutzschaltung und einer Gleichrichterschaltung angeordneter Schalter zur Entmagnetisierung der Maschinen-Rotorspule eine elektrische Verbindung der Maschinen-Rotorspule zur Gleichrichterschaltung trennt. Somit kommt die Schutzschaltung zugleich zum Schutz der Gleichrichterschaltung sowie zur Entmagnetisierung der Maschinen-Rotorspule zum Einsatz. Auf diese Weise wird eine einfache und zuverlässige Entmagnetisierung mittels der Schutzschaltung erreicht, wobei die in der Maschinen-Rotorspule gespeicherte Energie bei der Entmagnetisierung mittels der Schutzschaltung verbraucht wird. Ferner erfolgen somit ein vereinfachter Aufbau der fremderregten elektrischen

Synchronmaschine mit weniger Bauteilen sowie ein reduzierter Bauraumbedarf zur Umsetzung der Entmagnetisierung.

Dem Erfindungsgedanken entsprechend weist die fremderregte elektrische Synchronmaschine, nachfolgend auch kurz als Synchronmaschine bezeichnet, einen Rotor und einen Stator auf. Der Rotor wird nachfolgend auch Maschinen-Rotor und der Stator als Maschinen-Stator bezeichnet. Der Maschinen-Rotor weist eine Rotorwelle auf, an der die Maschinen-Rotorspule drehfest versehen ist. Die Maschinen-Rotorspule erzeugt im Betrieb ein magnetisches Feld, welches nachfolgend auch als Rotorfeld bezeichnet wird. Die Maschinen-Rotorspule weist zwei Anschlüsse auf, welche nachfolgend auch als erster Rotorspulenanschluss und zweiter Rotorspulenanschluss bezeichnet werden. Der Maschinen-Stator weist zumindest eine zum Maschinen-Stator feste Spule auf, welche nachfolgend auch als Maschinen-Statorspule bezeichnet wird. Die zumindest eine Maschinen-Statorspule erzeugt im Betrieb ein magnetisches Feld, welches nachfolgend auch als Statorfeld bezeichnet wird. Dabei wirken im Betrieb Rotorfeld und Statorfeld derart zusammen, dass der Maschinen-Rotor um eine axiale Rotationsachse rotiert. Zum Erzeugen des Rotorfelds benötigt die Maschinen-Rotorspule eine Gleichspannung, welche der Maschinen-Rotorspule über eine Spule bereitgestellt wird, in welcher im Betrieb eine Wechselspannung induziert wird. Diese Spannung wird nachfolgend auch als Transformatorspannung bezeichnet. Die Spule wird nachfolgend auch als Transformator-Sekundärspule bezeichnet. Die Transformator-Sekundärspule dient also dem elektrischen Versorgen der Maschinen-Rotorspule. Die Transformator-Sekundärspule ist mit dem Maschinen-Rotor drehfest verbunden. Zwischen der Transformator-Sekundärspule und der Maschinen-Rotorspule ist die Gleichrichterschaltung geschaltet. Die Gleichrichterschaltung wandelt im Betrieb die in der Transformator-Sekundärspule induzierte Transformatorspannung in die Gleichspannung für die Maschinen-Rotorspule um. Entsprechend ist die Gleichrichterschaltung ausgestaltet. Die Gleichrichterschaltung weist zwei Anschlüsse auf, welche nachfolgend auch als

erster Gleichrichteranschluss und zweiter Gleichrichteranschluss bezeichnet werden. Die Schutzschaltung dient dem Schutz der Gleichrichterschaltung vor Überspannung und weist zwei Anschlüsse auf, welche nachfolgend auch als erster Schutzanschluss und zweiter Schutzanschluss bezeichnet werden. Dabei ist der erste Gleichrichteranschluss mit dem ersten Schutzanschluss und der zweite Gleichrichteranschluss mit dem zweiten Schutzanschluss verbunden. Zudem ist der erste Schutzanschluss mit dem ersten Rotorspulenanschluss und der zweite Schutzanschluss mit dem zweiten Rotorspulenanschluss verbunden ist, derart, dass die Schutzschaltung parallel zwischen dem Maschinen-Rotor und der Gleichrichterschaltung geschaltet ist. Der Schalter ist zwischen dem zweiten Gleichrichteranschluss und dem zweiten Schutzanschluss angeordnet. Zudem weist die Synchronmaschine eine Triggerschaltung auf, welche mit dem Schalter verbunden und derart ausgestaltet ist, dass sie den Schalter zum Entmagnetisieren der Maschinen-Rotorspule öffnet.

Die vorliegend angegebenen Richtungen beziehen sind auf die Rotationsachse. Dementsprechend verläuft "axial" parallel zur Rotationsachse. Zudem verläuft "radial" quer zur Rotationsachse.

Der erste Gleichrichteranschluss und der zweiter Gleichrichteranschluss dienen dem elektrischen Verbinden der Gleichrichterschaltung mit der Maschinen-Rotorspule und sind somit Ausgangsanschlüsse der Gleichrichteranschluss. Die Gleichrichterschaltung weist vorteilhaft eingangsseitig zwei weitere Gleichrichteranschlüsse für die eingehende Transformator-Wechselspannung auf.

Die Schutzschaltung dient vorteilhaft auch dem Schutz der Maschinen-Rotorspule von Überspannung.

Die Gleichrichterschaltung, die Schutzschaltung und die Triggerschaltung sind vorteilhaft mit dem Maschinen-Rotor drehfest. Das heißt, dass die

Gleichrichterschaltung, die Schutzschaltung und die Triggerschaltung im Betrieb mit dem Maschinen-Rotor um die Rotationsachse rotieren.

Im geöffneten Zustand des Schalters ist die elektrische Verbindung zwischen dem zweiten Gleichrichteranschluss und dem zweiten Schutzanschluss getrennt. Demgegenüber ist die elektrische Verbindung zwischen dem zweiten Gleichrichteranschluss und dem zweiten Schutzanschluss im geschlossenen Zustand des Schalters hergestellt.

Die Gleichrichterschaltung kann prinzipiell beliebig ausgestaltet sein.

Bevorzugt sind Ausführungsformen, bei denen die Gleichrichterschaltung derart ausgestaltet ist, dass sie Stromflüsse in Richtung der Transformator-Sekundärspule sperrt. Demgegenüber erlaubt die Gleichrichterschaltung Stromflüsse in Richtung der Maschinen-Rotorspule. Auf diese Weise erfolgt eine beschleunigte Entmagnetisierung der Maschinen-Rotorspule beim Öffnen des Schalters. Die Gleichrichterschaltung kann zu diesem Zweck beliebig ausgestaltet sein. Insbesondere kann die Gleichrichterschaltung zu diesem Zweck als ein Brückengleichrichter mit vier Dioden ausgebildet sein.

Vorteilhaft wird der Schalter lediglich zur Entmagnetisierung der Maschinen-Rotorspule geöffnet. Im Übrigen bleibt der Schalter geschlossen, sodass ein Normalbetrieb herrscht, in welcher die Maschinen-Rotorspule mit der mittels der Gleichrichterschaltung bereitgestellten Gleichspannung versorgt wird.

Die Schutzschaltung ist vorteilhaft eine solche, welche beim Überschreiten einer vorgegebenen Grenzspannung die die Grenzspannung überschreitende Spannung verbraucht. Die Schutzschaltung weist vorteilhaft zumindest ein Lastelement, beispielsweise eine Suppressordiode, einen Varistor, eine IGBT-Schaltung und dergleichen auf.

Wird der Schalter zur Entmagnetisierung der Maschinen-Rotorspule geöffnet, ist ein Stromfluss nur über die Schutzschaltung möglich, was zu einem Abbau der in der Maschinen-Rotorspule gespeicherten Energie führt. Hierbei steigt die Spannung an der Schutzschaltung oberhalb der Grenzspannung, sodass die Schutzschaltung die Energie verbraucht. Zugleich kommt es durch das sich abbauende Rotorfeld zu einer Kommutierung des Stroms und somit zu einer Umpolung der Spannung an der Maschinen-Rotorspule. Auf diese Weise erfolgt eine zügigere Entmagnetisierung der Maschinen-Rotorspule über die Schutzschaltung.

Der Schalter kann prinzipiell beliebig ausgestaltet sein, sofern er sich mit der Triggerschaltung öffnen und schließen lässt.

Vorteilhaft ist der Schalter als ein Transistor, bevorzugt als ein MOSFET oder ein IGBT ausgestaltet. Vorteilhafterweise lässt sich der Schalter zudem möglichst verlustarm im eingeschalteten Zustand betreiben. Somit lässt sich der Schalter zuverlässig und effektiv und mit niedrigen Schaltspannungen schalten. Dabei weist der Schalter einen Steueranschluss auf, welcher mit der Triggerschaltung verbunden ist. Zudem weist der Schalter zwei geschaltete Anschlüsse auf, welche nachfolgend auch als erster geschalteter Schalteranschluss und zweiter geschalteter Schalteranschluss bezeichnet werden. Bevorzugt ist dabei der zweite Gleichrichteranschluss mit dem ersten geschalteten Schalteranschluss und der zweite Schutzanschluss mit dem zweiten geschalteten Schalteranschluss verbunden.

Ist der Schalter als ein MOSFET ausgebildet, entspricht der Steueranschluss dem Gate, der erste Schalteranschluss bevorzugt dem Source und der zweite Schalteranschluss bevorzugt dem Drain.

Die Triggerschaltung kann prinzipiell beliebig ausgestaltet sein, sofern sie den Schalter zur Entmagnetisierung der Maschinen-Rotorspule öffnet.

Die Triggerschaltung kann insbesondere derart ausgestaltet sein, dass sie den Schalter bei einer fehlerhaften Funktion der Transformator-Sekundärspule und/oder bei einer ausbleibenden oder unzureichenden Transformatorspannung selbsttätigend öffnet.

Bei vorteilhaften Ausführungsformen weist die Triggerschaltung einen Spannungsteiler auf. Der Spannungsteiler ist derart, dass der Schalter bei einer ausbleibenden Transformatorspannung geöffnet wird. Unter "ausbleibende" Transformatorspannung sind dabei sowohl eine fehlende als auch eine unzureichende Transformatorspannung zu verstehen. Zum Öffnen des Schalters bei ausbleibender Transformatorspannung ist der Spannungsteiler bevorzugt mit dem Steueranschluss und dem ersten geschalteten Schalteranschluss des Schalters verbunden. Somit kann der Schalter abhängig von der Spannungsdifferenz zwischen dem Steueranschluss und dem ersten geschalteten Schalteranschluss geöffnet und geschlossen werden. Entsprechend ist der Spannungsteiler ausgestaltet.

Der Spannungsteiler weist zweckmäßig zwei passive Zweipole, insbesondere zwei elektrische Widerstände auf.

Vorstellbar ist es, dass der Spannungsteiler mit der Gleichrichterschaltung verbunden ist, derart, dass der Schalter bei ausbleibender Gleichspannung durch die Gleichrichterschaltung öffnet. Unter "ausbleibende" Gleichspannung sind dabei sowohl eine fehlende als auch eine unzureichende Gleichspannung zu verstehen. Somit erfolgt eine Entmagnetisierung der Maschinen-Rotorspule, wenn durch die Gleichrichterschaltung keine oder eine unzureichende Gleichspannung bereitgestellt wird.

Bevorzugt erfolgt das Induzieren der Transformatorspannung in der Transformator-Sekundärspule mittels eines elektrischen Drehtransformators, dessen Bestandteil die Transformator-Sekundärspule ist. Dies führt zu einer einfachen, effektiven sowie zuverlässigen Energieübertragung auf die Transformator-Sekundärspule.

Die Synchronmaschine weist also bevorzugt den elektrischen Drehtransformator auf. Der Drehtransformator weist einen Stator und einen Rotor auf, welche nachfolgend auch als Drehtransformator-Stator und Drehtransformator-Rotor bezeichnet werden. Der Drehtransformator-Stator weist eine Spule auf, welche nachfolgend auch als Transformator-Primärspule bezeichnet wird. Der Drehtransformator-Stator ist zum Maschinen-Stator fest und der Drehtransformator-Rotor mit dem Maschinen-Rotor drehfest. Der Drehtransformator-Rotor ist also relativ zum Drehtransformator-Stator um die Rotationsachse drehbar und rotiert im Betrieb mit dem Maschinen-Rotor um die Rotationsachse. Der Maschinen-Rotor weist dabei die Transformator-Sekundärspule auf. Im Betrieb wirken die Transformator-Primärspule und die Transformator-Sekundärspule zum Induzieren der Transformatorspannung in der Transformator-Sekundärspule induktiv zusammen. Das heißt, dass im Betrieb die Transformator-Primärspule in der Transformator-Sekundärspule die Transformatorspannung induziert.

Die Transformator-Primärspule und die Transformator-Sekundärspule können axial gegenüberliegend angeordnet. Die Transformator-Primärspule und die Transformator-Sekundärspule können ebenso radial gegenüberliegend angeordnet sein.

Vorstellbar sind Ausführungsformen, bei denen die Triggerschaltung eine induktiv mit der Transformator-Primärspule gekoppelte, von der Transformator-

Sekundärspule separate Spule aufweist, welche nachfolgend auch als Triggerspule bezeichnet wird. Im Betrieb induziert die Transformator-Primärspule in der Triggerspule eine Spannung, welche nachfolgend auch als Triggerspannung bezeichnet wird. Dabei ist die Triggerspule mit dem Spannungsteiler verbunden, derart, dass der Schalter bei einem Ausbleiben der Triggerspannung öffnet. Unter "Ausbleiben" der Triggerspannung sind sowohl eine fehlende als auch eine unzureichende Triggerspannung zu verstehen. Somit erfolgt eine Entmagnetisierung der Maschinen-Rotorspule, sobald mittels der Transformator-Primärspule keine oder eine unzureichende Spannung induziert wird. Durch die von der Transformator-Sekundärspule separate Triggerspule wird dabei ein Einfluss der Triggerschaltung auf die Transformator-Sekundärspule verhindert oder zumindest reduziert.

Eine unabhängige Entmagnetisierung der Maschinen-Rotorspule kann durch eine Signalübertragung an die Triggerschaltung erfolgen, wobei die Triggerschaltung den Schalter beim Empfangen eines Steuersignals öffnen. Das Steuersignal kann unabhängig von der Funktion des Drehtransformators und/oder der Maschinen-Rotorspule erzeugt und an die Triggerschaltung gesendet werden. Somit wird eine hohe Flexibilität bei der Entmagnetisierung der Maschinen-Rotorspule erreicht.

Zu diesem Zweck weist die Synchronmaschine bevorzugt eine Signalübertragungseinrichtung zur drahtlosen Signalübertragung an die Triggerschaltung auf. Dabei ist die Triggerschaltung derart ausgestaltet, dass sie den Schalter beim Empfangen des Steuersignals öffnet. Zu diesem Zweck weist die Triggerschaltung einen mit dem Maschinen-Rotor drehfesten Empfänger zum Empfangen des Steuersignals auf oder ist mit einem solchen Empfänger kommunizierend verbunden.

Alternativ oder zusätzlich kann die Triggerschaltung eine Entmagnetisierung der Maschinen-Rotorspule einleiten, wenn ein Fehler vorliegt und/oder ein zu großer elektrischer Strom durch die Maschinen-Rotorspule fließt.

Die Triggerschaltung weist zu diesem Zweck bevorzugt einen Strommesser auf. Der Strommesser ist derart ausgestaltet, dass er im Betrieb den durch die Maschinen-Rotorspule fließenden elektrischen Strom ermittelt. Dabei ist die Triggerschaltung derart ausgestaltet, dass sie den Schalter öffnet, wenn der mittels des Strommessers ermittelte Strom einen vorgegebenen Wert überschreitet.

Der Strommesser kann prinzipiell beliebig ausgestaltet sein. Insbesondere kann der Strommesser einen Shunt und/oder einen Hallsensor aufweisen.

Zum Schalten des Schalters weist die Triggerschaltung bevorzugt einen mit dem Strommesser verbundenen Komparator und eine mit dem Komparator und dem Schalter verbundene Gate-Treiberschaltung auf. Die Gate-Treiberschaltung ist also zwischen dem Komparator und dem Schalter geschaltet und bevorzugt mit dem Steueranschluss des Schalters verbunden.

Es versteht sich, dass der Maschinen-Rotor aus zwei oder mehr Maschinen-Rotorspulen aufweisen kann.

Der Maschinen-Stator weist vorteilhaft zumindest zwei Maschinen-Statorspulen auf.

Bevorzugt weist der Maschinen-Stator drei oder ein ganzes Vielfaches von drei Maschinen-Statorspulen auf. Die Anzahl der Maschinen-Statorspulen entspricht also bevorzugt 3 * N, wobei N eine natürliche Zahl größer Null ist.

Die Synchronmaschine kann prinzipiell in beliebigen Anwendungen zum Einsatz kommen.

Die Synchronmaschine kommt insbesondere in einem Kraftfahrzeug zum Einsatz, welches als elektrische Energiequelle zum Betreiben der Synchronmaschine eine Batterie umfassen kann. Dabei dient die Synchronmaschine insbesondere dem Antrieb des Kraftfahrzeugs, ist also insbesondere als ein fremderregter elektrischer Synchronmotor ausgebildet und ein Traktionsmotor.

Ebenso kann die Synchronmaschine als Stellmotor im Betrieb ein Verstellelement, insbesondere in einem Kraftfahrzeug, verstellen.

Weitere wichtige Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen, aus den Zeichnungen und aus der zugehörigen Figurenbeschreibung anhand der Zeichnungen.

Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

Bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert, wobei sich gleiche Bezugszeichen auf gleiche oder ähnliche oder funktional gleiche Komponenten beziehen.

Es zeigen, jeweils schematisch,

Fig. 1 eine isometrische, teilweise geschnittene Ansicht eines Teils einer fremderregten elektrischen Synchronmaschine mit einem induktivem Drehtransformator,

Fig. 2 bis 6 jeweils einen stark vereinfachten Ausschnitt aus dem Schaltplan der fremderregten elektrischen Synchronmaschine in einem Kraftfahrzeug,

Fig. 7 einen stark vereinfachten Schnitt durch die fremderregte elektrische Synchronmaschine.

Eine fremderregten elektrischen Synchronmaschine 100, nachfolgend auch kurz als Synchronmaschine 100 bezeichnet, wie sie beispielsweise in den Figuren 1 bis 7 gezeigt ist, kann in einem Kraftfahrzeig 200 (siehe Figuren 2 bis 6) zum Einsatz kommen. Die fremderregte elektrische Synchronmaschine 100 kann als ein Synchronmotor 110 zum Antreiben des Kraftfahrzeugs 200, also als ein Traktionsmotor 120, zum Einsatz kommen. Auch kann die fremderregte elektrische Synchronmaschine 100 kann als ein Synchronmotor 110 zum Verstellen eines Verstellelements, also als ein Stellmotor 130, zum Einsatz kommen.

Die Synchronmaschine 100 weist, wie insbesondere den Figuren 1 und 7 entnommen werden kann, einen Rotor 101 auf. Der Rotor 101 wird nachfolgend auch als Maschinen-Rotor 101 bezeichnet. Der Maschinen-Rotor 101 weist eine Rotorwelle 102 und eine an der Rotorwelle 102 drehfest versehene Spule 103 (siehe Figuren 2 bis 7) auf. Die Spule 103 wird nachfolgend auch als Maschinen-Rotorspule 103 bezeichnet. Im Betrieb erzeugt die Maschinen-Rotorspule 103 ein magnetisches Feld, welches nachfolgend auch als Rotorfeld bezeichnet wird. Die Maschinen-Rotorspule 103 ist in den Figuren 1 bis 6 als eine Induktivität und ein ohmscher Widerstand symbolisiert. Die Synchronmaschine 100 weist ferner einen

in Figur 7 gezeigten Stator 104 auf, der nachfolgend auch als Maschinen-Stator 104 bezeichnet wird. Die Synchronmaschine 100 weist zumindest eine zum Maschinen-Stator 104 feste Spule 105 auf (siehe Figur 7), welche nachfolgend auch als Maschinen-Statorspule 105 bezeichnet wird. Im Betrieb erzeugt die zumindest eine Maschinen-Statorspule 105 ein magnetisches Feld, welches nachfolgend auch als Statorfeld bezeichnet wird. Dabei wirken Statorfeld und Rotorfeld im Betrieb derart zusammen, dass der Maschinen-Rotor 101 um eine axiale Rotationsachse 90 rotiert. Zum Erzeugen des Rotorfelds benötigt der Maschinen-Rotor 101, insbesondere die Maschinen-Rotorspule 103, eine Gleichspannung. Zum Versorgen der Maschinen-Rotorspule 103 mit der Gleichspannung weist die Maschinen-Rotorspule 103 zwei Anschlüsse 106, 107 auf, welche nachfolgend auch als erster Rotorspulenanschluss 106 und zweitet Rotorspulenanschluss 107 bezeichnet werden. Die Gleichspannung wird der Maschinen-Rotorspule 103 mittels einer Transformator-Sekundärspule 5 zugeführt, in welche im Betrieb induktiv eine Wechselspannung induziert wird.

Die vorliegend angegebenen Richtungen beziehen sind auf die Rotationsachse 90. Dementsprechend verläuft "axial" parallel zur Rotationsachse. Zudem verläuft "radial" quer zur Rotationsachse 90.

In den gezeigten Ausführungsbeispielen ist die Transformator-Sekundärspule 5 Bestandteil eines elektrischen Drehtransformators 1. Der Drehtransformator 1 weist einen Stator 2 und einen Rotor 4 auf. Der Stator 2 wird nachfolgend als Drehtransformator-Stator 2 bezeichnet. Der Rotor 3 wird nachfolgend als Drehtransformator-Rotor 4 bezeichnet. Der Drehtransformator-Stator 2 ist zum Maschinen-Stator 104 fest. Der Drehtransformator-Rotor 4 ist mit dem Maschinen-Rotor 101 drehfest. Der Drehtransformator-Rotor 4 ist somit relativ zum Drehtransformator-Stator 2 um die Rotationsachse 90 rotierbar. Im Betrieb rotiert also der Drehtransformator-Rotor 4 also mit dem Maschinen-Rotor 101 relativ zum Drehtransformator-Stator 2 um die Rotationsachse 90. Zur induktiven

Energieübertragung weist der Drehtransformator-Stator 2 eine Primärspule 3 und der Drehtransformator-Rotor 4 den Transformator-Sekundärspule 5 auf. Die Primärspule 3 wird nachfolgend auch als Transformator-Primärspule 3 bezeichnet. Die Transformator-Primärspule 3 und die Transformator-Sekundärspule 5 sind, wie Figur 1 entnommen werden kann, in den gezeigten Ausführungsbeispielen axial gegenüberliegend angeordnet. Im Betrieb induziert die Transformator-Primärspule 3 in der Transformator-Sekundärspule 5 die Wechselspannung, welche nachfolgend auch als Transformatorspannung bezeichnet wird.

Um die Maschinen-Rotorspule 103 mit der benötigten Gleichspannung zu versorgen, ist, wie den Figur 2 bis 6 entnommen werden kann, zwischen der Transformator-Sekundärspule 5 und der Maschinen-Rotorspule 103 eine Gleichrichterschaltung 6 geschaltet, welche die Transformatorspannung in die Gleichspannung umwandet. Die Gleichrichterschaltung 6 ist mit dem Maschinen-Rotor 101 drehfest und kann Bestandteils des Drehtransformator-Rotors 4, sein.

Wie insbesondere Figur 1 ferner entnommen werden kann, ist in den gezeigten Ausführungsbeispielen der Drehtransformator 1 an einer axialen Stirnseite der Maschinen-Rotors 101 und zur Maschinen-Rotorspule 103 sowie zur zumindest einen Maschinen-Statorspule 105 beabstandet angeordnet.

Die Transformator-Primärspule 3 benötigt zum Induzieren der Transformatorspannung in der Transformator-Sekundärspule 5 eine Wechselspannung. Wie den Figuren 2 bis 6 entnommen werden kann, wird die Transformator-Primärspule 3 in den gezeigten Ausführungsbeispielen über eine elektrische Energiequelle 201 versorgt, welche eine Gleichspannung bereitstellt. Bei der Energiequelle 201 handelt es sich in den gezeigten Ausführungsbeispielen um eine Batterie 202 des Kraftfahrzeugs 200. Zum Versorgen der Transformator-Primärspule 3 mit der Wechselspannung ist zwischen der Energiequelle 201 und der Transformator-Primärspule 3 eine Wechselrichterschaltung 7 vorgesehen. Die

Wechselrichterschaltung 7 wandelt die Gleichspannung der Energiequelle 201 in die Wechselspannung für die Transformator-Primärspule 3 um. Vorstellbar ist es dabei, dass die Wechselrichterschaltung 7 einen Umrichter umfasst.

Wie Figur 1 entnommen werden kann, weist der Drehtransformator-Rotor 4 in den gezeigten Ausführungsbeispielen eine Leiterplatte 8 auf, welche mit der Transformator-Sekundärspule 5 versehen ist. Die Leiterplatte 8 ist scheibenförmig ausgebildet und weist eine runde Form, auf, ist also in der Art einer runden Scheibe bzw. eines Rings ausgebildet. Die Transformator-Sekundärspule 5 weist in den gezeigten Ausführungsbeispielen zumindest eine Leiterbahn 9 der Leiterplatte 8 auf, welche nachfolgend auch als Transformator-Leiterbahn 9 bezeichnet wird. In den gezeigten Ausführungsbeispielen besteht die Transformator-Sekundärspule 5 aus der zumindest einen Transformator-Leiterbahn 9 und ist als eine Planarwicklung 10 ausgebildet.

Eine drehfeste Verbindung der Rotorwelle 102 mit dem Drehtransformator-Rotor 4 kann, wie Figur 1 entnommen werden kann, über eine in der Leiterplatte 8 zentrale Öffnung 14 realisiert sein, durch welche die Rotorwelle 102 geführt ist.

Wie Figur 1 entnommen werden kann, kann die Transformator-Primärspule 3 als eine Flachspule 11 ausgebildet sein. Wie Figur 1 ferner entnommen werden kann, sind die Transformator-Primärspule 3 und die Transformator-Sekundärspule 5 in den gezeigten Ausführungsbeispielen in einem zum Drehtransformator-Stator 2 festen Magnetkern 12, insbesondere in einem Ferritkern 13, angeordnet. Der Magnetkern 12 wird nachfolgend auch als Transformator-Magnetkern 12 bezeichnet. Der Transformator-Magnetkern 12 ist radial offen, sodass die Leiterplatte 9 mit der Transformator-Sekundärspule 5 in den Transformator-Magnetkern 12 eindringt und darin rotierbar angeordnet ist. Zudem weist der Transformator-Magnetkern 12 eine axial offene Ausnehmung 15 auf, in welcher die Transformator-Primärspule 3 angeordnet ist.

In den gezeigten Ausführungsbeispielen ist die Gleichrichterschaltung 6 rein beispielhaft als ein Brückengleichrichter 16 mit vier Dioden D1-D4, nämlich einer ersten Diode D1, einer zweiten Diode D2, einer dritten Diode D3 und einer vierten Diode D4 ausgebildet. Dabei sind die erste Diode D1 und die dritte Diode D3 sowie die zweite Diode D2 und die die vierte Diode D4 jeweils hintereinander und parallel zur Transformator-Sekundärspule 5 und zur Maschinen-Rotorspule 103 geschaltet. Somit erlaubt die Gleichrichterschaltung 6 lediglich elektrische Ströme in Richtung der Maschinen-Rotorspule 103 und sperrt Ströme in Richtung der Transformator-Sekundärspule 5.

In den gezeigten Ausführungsbeispielen ist die Wechselrichterschaltung 7 rein beispielhaft als ein Vollbrückenwechselrichter 17 ausgebildet, der vier Transistoren Ta-d und zwei Schalter Sa-b aufweist.

Die Gleichrichterschaltung 6 weist ausgangsseitig zwei Anschlüsse 18, 19 auf, welche nachfolgend auch als erster Gleichrichteranschluss 18 und zweiter Gleichrichteranschluss 19 bezeichnet werden. Die Transformator-Sekundärspule 5 ist in den gezeigten Ausführungsbeispielen zwischen der ersten Diode 1 und der dritten Diode D3 sowie zwischen der zweiten Diode D2 und der vierten Diode D4 mit der Gleichrichterschaltung 6 verbunden.

Wie den Figuren 2 bis 6 entnommen werden kann, ist parallel zwischen der Maschinen-Rotorspule 103 und der Gleichrichterschaltung 6 eine Schutzschaltung 20 vorgesehen, welche die Maschinen-Rotorspule 103 vor Überspannung schützt. In den gezeigten Ausführungsbeispielen ist die Schutzschaltung 20 als eine bidirektionale Suppressordiode 30 ausgebildet. Die Schutzschaltung 20 weist zwei Anschlüsse 21, 22 auf, welche nachfolgend auch als erster Schutzanschluss 21 und zweiter Gleichrichteranschluss 19 bezeichnet werden. Der erste Schutzanschluss 21 mit dem ersten Rotorspulenanschluss 106 und der zweite

Schutzanschluss 22 mit dem zweiten Rotorspulenanschluss 107 verbunden. Zudem ist der erste Schutzanschluss 21 ist mit dem ersten Gleichrichteranschluss 18 verbunden. Der zweite Schutzanschluss 22 ist über einen Schalter 23 mit dem zweiten Gleichrichteranschluss 19 verbunden. Somit ist die Schutzschaltung 20 parallel zwischen dem Maschinen-Rotor 101 und der Gleichrichterschaltung 6 geschaltet. Der Schalter 23 verbindet im geschlossenen Zustand den zweiten Gleichrichteranschluss 19 und den zweiten Schutzanschluss 22 elektrisch und trennt im geöffneten Zustand die elektrische Verbindung zwischen dem zweiten Gleichrichteranschluss 19 und dem zweiten Schutzanschluss 22. Eine Triggerschaltung 24 ist mit dem Schalter 23 verbunden und derart ausgestaltet ist, dass sie den Schalter 23 zum Entmagnetisieren der Maschinen-Rotorspule 103 öffnet. Im Übrigen ist der Schalter 23 geschlossen, sodass die Maschinen-Rotorspule 103 das Rotorfeld erzeugt.

Wird der Schalters 23 geöffnet, ist ein Stromfluss von der der Maschinen-Rotorspule 103 aufgrund des geöffneten Schalters 23 und der Ausgestaltung der Gleichrichterschaltung 6 nur durch die Schutzschaltung 20 möglich. Hierdurch steigt die Spannung an der Schutzschaltung 20, so dass einen Grenzspannung der Schutzschaltung 20 zügig erreicht wird. Zudem kommt es durch das sich abbauende Rotorfeld zu einer Kommutierung des Stroms. Im Ergebnis kommt es zu einer Umpolung der Spannung an der Maschinen-Rotorspule 103. Auf diese Weise erfolgt eine zügige Entmagnetisierung der Maschinen-Rotorspule 103 über die Schutzschaltung 20.

In den gezeigten Ausführungsbeispielen weist der Schalter 23 einen Steueranschluss 25 sowie zwei geschaltete Anschlüsse 26, 27 auf. Die geschalteten Anschlüsse 26, 27 werden nachfolgend auch als erster geschalteter Schalteranschluss 26 und zweiter geschalteter Schalteranschluss 27 bezeichnet. Der Schalter 23 ist somit als ein Transistor 28, bevorzugt als ein MOSFET 29 ausgebildet. Dabei ist die Triggerschaltung 24 mit dem Steueranschluss 25

verbunden. Zudem ist der zweite Gleichrichteranschluss 19 mit dem ersten geschalteten Schalteranschluss 26 und der zweite Schutzanschluss 22 mit dem zweiten geschalteten Schalteranschluss 27 verbunden. Somit sind zum Schalten des Schalters 23 niedrige Spannungen notwendig. Die Triggerschaltung 24 kann auf diese Weise zuverlässig und effektiv betrieben werden. Beim als MOSFET 29 ausgebildeten Schalter 23 entspricht der Steueranschluss 25 dem Gate. Zudem entspricht in den gezeigten Ausführungsbeispielen der erste Schalteranschluss 26 dem Source und der zweite Schalteranschluss 27 dem Drain.

Bei den in den Figuren 3 bis 5 gezeigten Ausführungsbeispielen weist die Triggerschaltung 24 einen Spannungsteiler 31 auf. Der Spannungsteiler 31 weist auf bekannte Weise zwei elektrische Widerstande R1 und R2, nämlichen einen ersten Widerstand R1 und einen zweiten Widerstand R2, als passive Zweipole auf und ist mit dem Steueranschluss 25 und dem ersten geschalteten Schalteranschluss 26 verbunden. In den gezeigten Ausführungsbeispielen weist die Triggerschaltung 24 ferner eine Kapazität Ct auf.

In den in den Figuren 3 und 4 gezeigten Ausführungsbeispielen ist der Spannungsteiler derart, dass der Schalter 23 bei ausbleibender Transformatorspannung, also bei fehlender oder unzureichender Transformatorspannung, öffnet. Somit erfolgt eine Entmagnetisierung der Maschinen-Rotorspule 103 beispielsweise, wenn der Drehtransformator 1 außer Betrieb ist.

Im Ausführungsbeispiel der Figur 3 ist der Spannungsteiler 31 über den ersten Widerstand R1 mit der vierten Diode D4 der Gleichrichterschaltung 6 und somit mit der Transformator-Sekundärspule 5 verbunden. Der ersten Widerstand R1 ist ferner mit dem Steueranschluss 25 verbunden. Der zweite Widerstand R2 ist mit dem zweiten Gleichrichteranschluss 19 und dem ersten geschalteten Schalteranschluss 26 verbunden. Stellt die Gleichrichterschaltung 6 eine

ausbleibende, also keine oder eine unzureichende, Gleichspannung bereit, fällt die Spannungsdifferenz zwischen dem Steueranschluss 25 und dem ersten geschalteten Schalteranschluss 26 unterhalb der Schwellspannung des Schalters 23 und der Schalter 23 öffnet. In der Folge wird der Schalter 23 bei ausbleibender Gleichspannung durch die Gleichrichterschaltung 6 geöffnet und die Maschinen-Rotorspule 103 entmagnetisiert.

Im Ausführungsbeispiel der Figur 4 weist die Triggerschaltung 24 eine induktiv mit der Transformator-Primärspule 3 gekoppelte Triggerspule 32 auf, sodass die die Transformator-Primärspule 3 im Betrieb in der Triggerspule 32 eine Triggerspannung induziert. Die Triggerspule 32 ist mit einem Ende mit dem ersten Widerstand R1 und mit dem andern Ende mit dem zweiten Widerstand R2 verbunden. Der erste Widerstand R1 ist mit dem Steueranschluss 25 verbunden. Der zweite Widerstand R2 ist mit dem zweiten Gleichrichteranschluss 19 und dem ersten geschalteten Schalteranschluss 26 verbunden. Bei ausbleibender, also keiner oder eine unzureichender, induzierter Triggerspannung fällt die Spannungsdifferenz zwischen dem Steueranschluss 25 und dem ersten geschalteten Schalteranschluss 26 unterhalb der Schwellspannung des Schalters 23 und der Schalter 23 öffnet. Somit wird die Maschinen-Rotorspule 103 entmagnetisiert. Im gezeigten Ausführungsbeispielen weist die Triggerschaltung 24 ferner zum Steueranschluss 25 und dem ersten geschalteten Schalteranschluss 26 parallel geschaltet eine unidirektionale Suppressordiode Dt zur Begrenzung der Steuerspannung des Schalters 23 auf. Ferner sind zwischen der Triggerspule 32 und dem ersten Widerstand R1 eine Diode D5 und ein dritter Widerstand R3 geschaltet.

Beim Ausführungsbeispiel der Figur 5 weist die Synchronmaschine 1 eine Signalübertragungseinrichtung 33 zur drahtlosen Signalübertragung an die Triggerschaltung 24 auf. Die Triggerschaltung 24 ist dabei derart ausgestaltet ist, dass sie den Schalter 23 beim Empfangen eines mittels der

Signalübertragungseinrichtung 33 empfangenen Steuersignals öffnet. Somit ist es möglich, die Maschinen-Rotorspule 102 je nach Bedarf und insbesondere unabhängig vom Drehtransformator 1 zu entmagnetisieren.

Im in Figur 5 gezeigten Ausführungsbeispiel weist die Signalübertragungseinrichtung 33 eine zum Maschinen-Rotor 101 drehfeste Spule 37 auf, welche nachfolgend auch als Rotorsignalspule 37 bezeichnet wird. Zudem weist die Signalübertragungseinrichtung 33 eine zum Maschinen-Stator 104 feste Spule 38 auf, welche nachfolgend auch als Statorsignalspule 38 bezeichnet wird. Die Signalübertragungseinrichtung 33 weist ferner eine der Statorsignalspule 38 vorgeschaltete Signalerzeugungseinheit 39 auf. Wenn eine Entmagnetisierung der Maschinen-Rotorspule 103 erwünscht ist, erzeugt die Signalerzeugungseinheit 39 ein Steuersignal und übermittelt das Steuersignal mit der Statorsignalspule 38 an die Rotorsignalspule 37. Dabei fungiert die Rotorsignalspule 37 im Wesentlichen wie die Triggerspule 32 im Ausführungsbeispiel der Figur 4. Die Rotorsignalspule 37 ist also mit einem Ende mit dem ersten Widerstand R1 und mit dem andern Ende mit dem zweiten Widerstand R2 verbunden. Der erste Widerstand R1 ist mit dem Steueranschluss 25 verbunden. Der zweite Widerstand R2 ist mit dem zweiten Gleichrichteranschluss 19 und dem ersten geschalteten Schalteranschluss 26 verbunden. Auch im Ausführungsbeispiel der Figur 5 sind zum Steueranschluss 25 und dem ersten geschalteten Schalteranschluss 26 parallel eine unidirektionale Suppressordiode Dt und zwischen der Rorotsignalspule 37 und dem ersten Widerstand R1 eine Diode D5 und ein dritter Widerstand R3 geschaltet.

Beim im Figur 6 gezeigten Ausführungsbeispiel weist die Triggerschaltung 24 einen Strommesser 34 auf, welcher im Betrieb den durch die Maschinen-Rotorspule 103 fließenden elektrischen Strom ermittelt. Die Triggerschaltung 24 ist derart ausgestaltet ist, dass sie den Schalter 23 öffnet, wenn der mittels des Strommessers 34 ermittelte Strom einen vorgegebenen Wert überschreitet. Somit

ist es möglich, die Maschinen-Rotorspule 103 zu entmagnetisieren, wenn durch die Maschinen-Rotorspule 103 ein zu hoher Strom fließt.

Im in Figur 6 gezeigten Ausführungsbeispiel weist die Triggerschaltung 24 einen mit dem Strommesser 34 verbundenen Komparator 35 und eine mit dem Komparator 35 und dem Schalter 23 verbundene Gate-Treiberschaltung 36 auf. Der Strommesser 34 kann einen Shunt 40 und/oder einen Hall-Sensor 41 aufweisen.

Obwohl in den Figuren 2 bis 6 jeweils lediglich eine Maschinen-Rotorspule 103 gezeigt ist, kann der Maschinen-Rotor 101, wie in Figur 1 gezeigt, auch zwei oder mehr Maschinen-Rotorspulen 103 aufweisen.

*****

Ansprüche

1. Fremderregte elektrische Synchronmaschine (100),
   - mit einem Maschinen-Rotor (101), der eine Rotorwelle (102) und eine an der Rotorwelle (102) drehfest versehene Maschinen-Rotorspule (103) aufweist, welche im Betrieb ein magnetisches Rotorfeld erzeugt, und welche einen ersten Rotorspulenanschluss (106) und einen zweiten Rotorspulenanschluss (107) aufweist,
   - mit einem Maschinen-Stator (104), der zumindest eine zum Maschinen-Stator (104) feste Maschinen-Statorspule (105) aufweist, welche im Betrieb ein magnetisches Statorfeld erzeugt, welches mit dem Rotorfeld derart zusammenwirkt, dass der Maschinen-Rotor (101) im Betrieb um eine axiale Rotationsachse (90) rotiert,
   - mit einer Transformator-Sekundärspule (5) zum elektrischen Versorgen der Maschinen-Rotorspule (103), welche mit dem Maschinen-Rotor (101) drehfest ist,
   - mit einer zwischen der Transformator-Sekundärspule (5) und der Maschinen-Rotorspule (103) geschalteten Gleichrichterschaltung (6), welche die im Betrieb eine in der Transformator-Sekundärspule (5) induzierte Transformatorspannung in eine Gleichspannung umwandelt und einen ersten Gleichrichteranschluss (18) und einen zweiten Gleichrichteranschluss (19) aufweist,
   - mit einer Schutzschaltung (20) zum Schutz der Gleichrichterschaltung (6) vor Überspannung, die einen mit dem ersten Gleichrichteranschluss (18) verbundenen ersten Schutzanschluss (21) und einen mit dem zweiten Gleichrichteranschluss (19) verbundenen zweiten Schutzanschluss (22) aufweist,

- wobei der erste Schutzanschluss (21) mit dem ersten Rotorspulenanschluss (106) und der zweite Schutzanschluss (22) mit dem zweiten Rotorspulenanschluss (107) verbunden ist, derart, dass die Schutzschaltung (20) parallel zwischen dem Maschinen-Rotor (101) und der Gleichrichterschaltung (6) geschaltet ist,
- mit einem zwischen dem zweiten Gleichrichteranschluss (19) und dem zweiten Schutzanschluss (22) angeordneten Schalter (23),
- mit einer Triggerschaltung (24), welche mit dem Schalter (23) verbunden und derart ausgestaltet ist, dass sie den Schalter (23) zum Entmagnetisieren der Maschinen-Rotorspule (103) öffnet.

2. Synchronmaschine nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Schalter (23) einen mit der Triggerschaltung (24) verbundenen Steueranschluss (25), einen mit dem zweiten Gleichrichteranschluss (19) verbundenen ersten geschalteten Schalteranschluss (26) und einen mit dem zweiten Schutzanschluss (22) verbundenen zweiten geschalteten Schalteranschluss (27) aufweist.

3. Synchronmaschine nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet,
- dass die Triggerschaltung (24) einen Spannungsteiler (31) aufweist,
- dass der Spannungsteiler (31) mit dem Steueranschluss (25) und dem ersten geschalteten Schalteranschluss (26) verbunden ist, derart, dass der Schalter (23) bei ausbleibender Transformatorspannung öffnet.

4. Synchronmaschine nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Spannungsteiler (31) mit der Gleichrichterschaltung (6) verbunden

ist, derart, dass der Schalter (23) bei ausbleibender Gleichspannung durch die Gleichrichterschaltung (6) öffnet.

5. Synchronmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet,
   - dass die Synchronmaschine (100) einen elektrischen Drehtransformator (1) aufweist,
   - dass der Drehtransformator (1) einen Drehtransformator-Stator (2) mit einer Transformator-Primärspule (3) aufweist,
   - wobei der Drehtransformator-Stator (2) zum Maschinen-Stator (104) fest ist,
   - dass der Drehtransformator einen zum Maschinen-Rotor (101) drehfesten Drehtransformator-Rotor (4) mit der Transformator-Sekundärspule (5) aufweist,
   - dass die Transformator-Primärspule (3) und die Transformator-Sekundärspule (5) und im Betrieb zum Erzeugen der Transformatorspannung in der Transformator-Sekundärspule (5) induktiv zusammenwirken.

6. Synchronmaschine nach Anspruch 5 und nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet,
   - dass die Triggerschaltung eine induktiv mit der Transformator-Primärspule (3) gekoppelte Triggerspule (32) aufweist, in welcher die Transformator-Primärspule (3) im Betrieb eine Triggerspannung induziert,
   - dass die Triggerspule (32) mit dem Spannungsteiler (31) verbunden ist, derart, dass der Schalter (23) bei einem Ausbleiben der Triggerspannung öffnet.

7. Synchronmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
dadurch gekennzeichnet,
- dass Synchronmaschine (1) eine Signalübertragungseinrichtung (33) zur drahtlosen Signalübertragung an die Triggerschaltung (24) aufweist,
- dass die Triggerschaltung (24) derart ausgestaltet ist, dass sie den Schalter (23) beim Empfangen eines Steuersignals mittels der Signalübertragungseinrichtung (33) öffnet.

8. Synchronmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
dadurch gekennzeichnet,
- dass die Triggerschaltung (24) einen Strommesser (34) aufweist, welcher im Betrieb den durch die Maschinen-Rotorspule (103) strömenden elektrischen Strom ermittelt,
- dass die Triggerschaltung (24) derart ausgestaltet ist, dass sie den Schalter (23) öffnet, wenn der mittels des Strommessers (34) ermittelte Strom einen vorgegebenen Wert überschreitet.

9. Synchronmaschine nach Anspruch 8,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Triggerschaltung (24) einen mit dem Strommesser (34) verbundenen Komparator (35) und eine mit dem Komparator (35) und dem Schalter (23) verbundene Gate-Treiberschaltung (36) aufweist.

10. Synchronmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 9,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Gleichrichterschaltung (6) derart ausgestaltet ist, dass sie Stromflüsse in Richtung der Transformator-Sekundärspule (5) sperrt.

11. Synchronmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 10,
dadurch gekennzeichnet,

dass die Anzahl der Maschinen-Statorspulen (105) 3 oder ein ganzes Vielfaches von 3 beträgt.

12. Verwendung einer fremderregten elektrischen Synchronmaschine (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 11 als Traktionsmotor (120) in einem Kraftfahrzeug (200).

13. Verwendung einer fremderregten elektrischen Synchronmaschine (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 11 als Stellmotor (130).

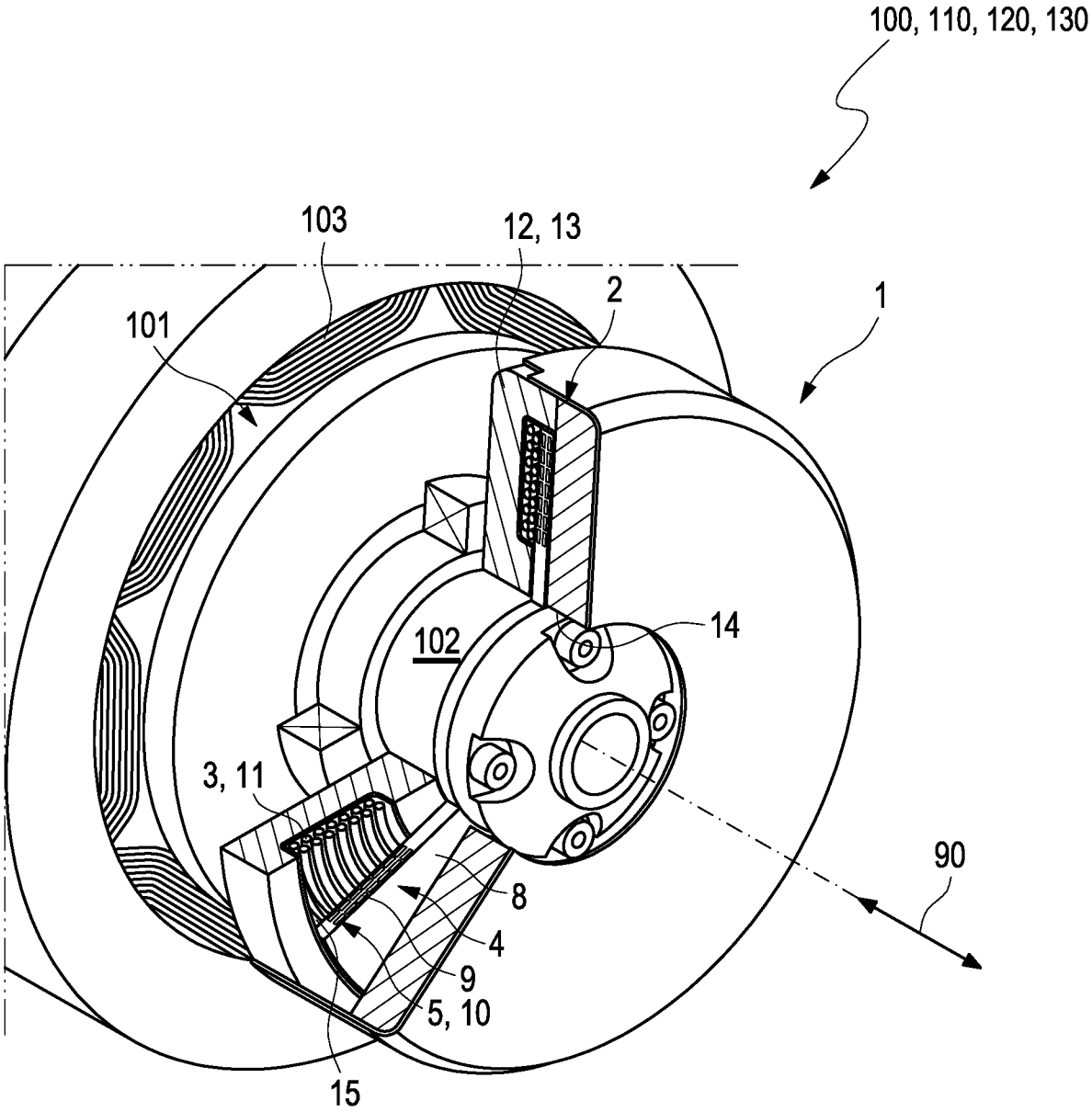


Fig. 1

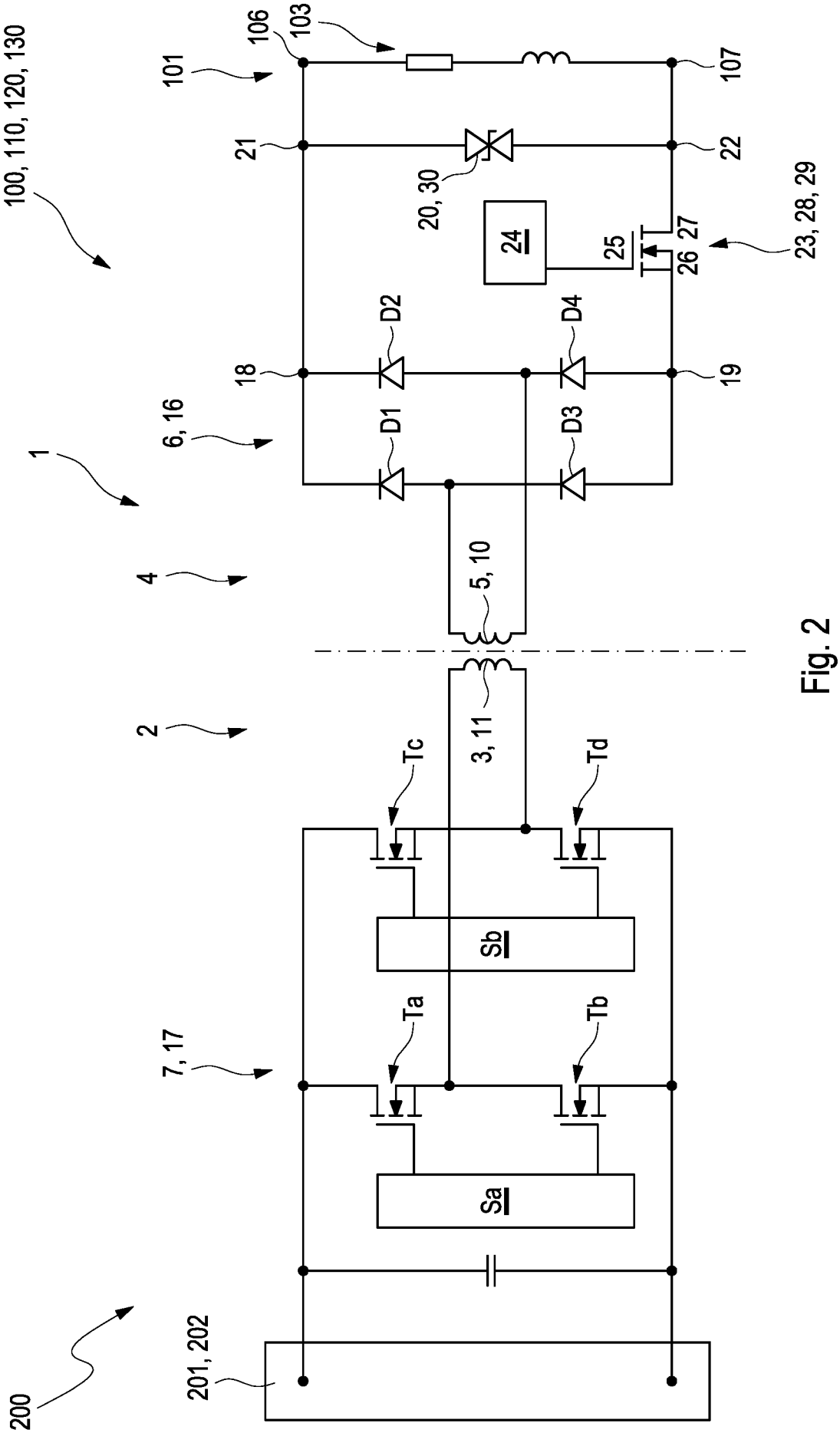

100, 110, 120, 130
101
106
103
107
21
22
20, 30
24
25
26
27
23, 28, 29
D2
D4
18
19
6, 16
D1
D3
1
4
5, 10
2
3, 11
Tc
Td
Sb
Ta
Tb
7, 17
Sa
200
201, 202

Fig. 2

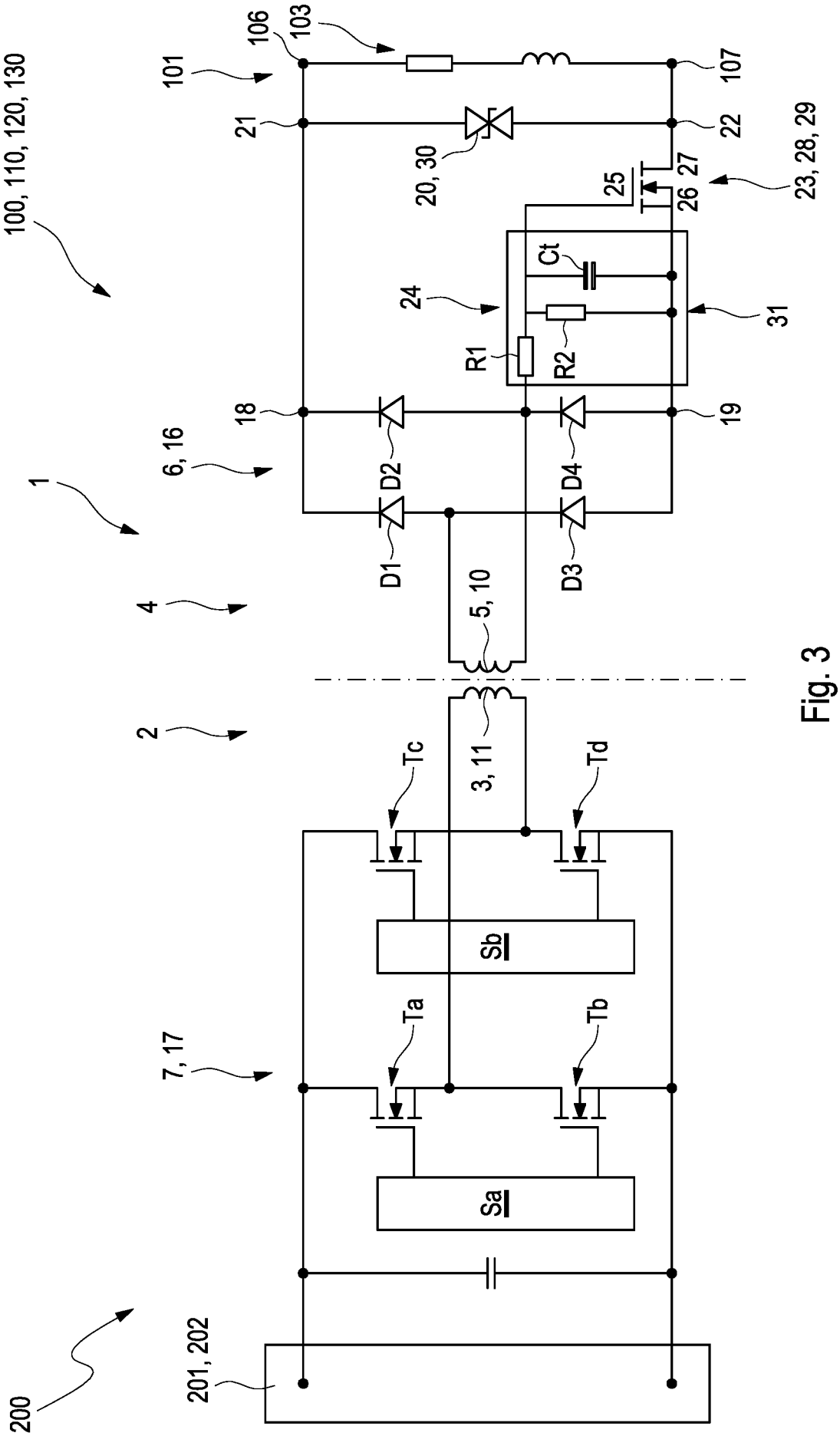

100, 110, 120, 130
101
106
103
107
21
22
20, 30
25
26
27
23, 28, 29
Ct
24
31
R1
R2
18
19
6, 16
D2
D4
1
D1
D3
4
5, 10
2
3, 11
Tc
Td
Sb
Ta
Tb
7, 17
Sa
200
201, 202

Fig. 3

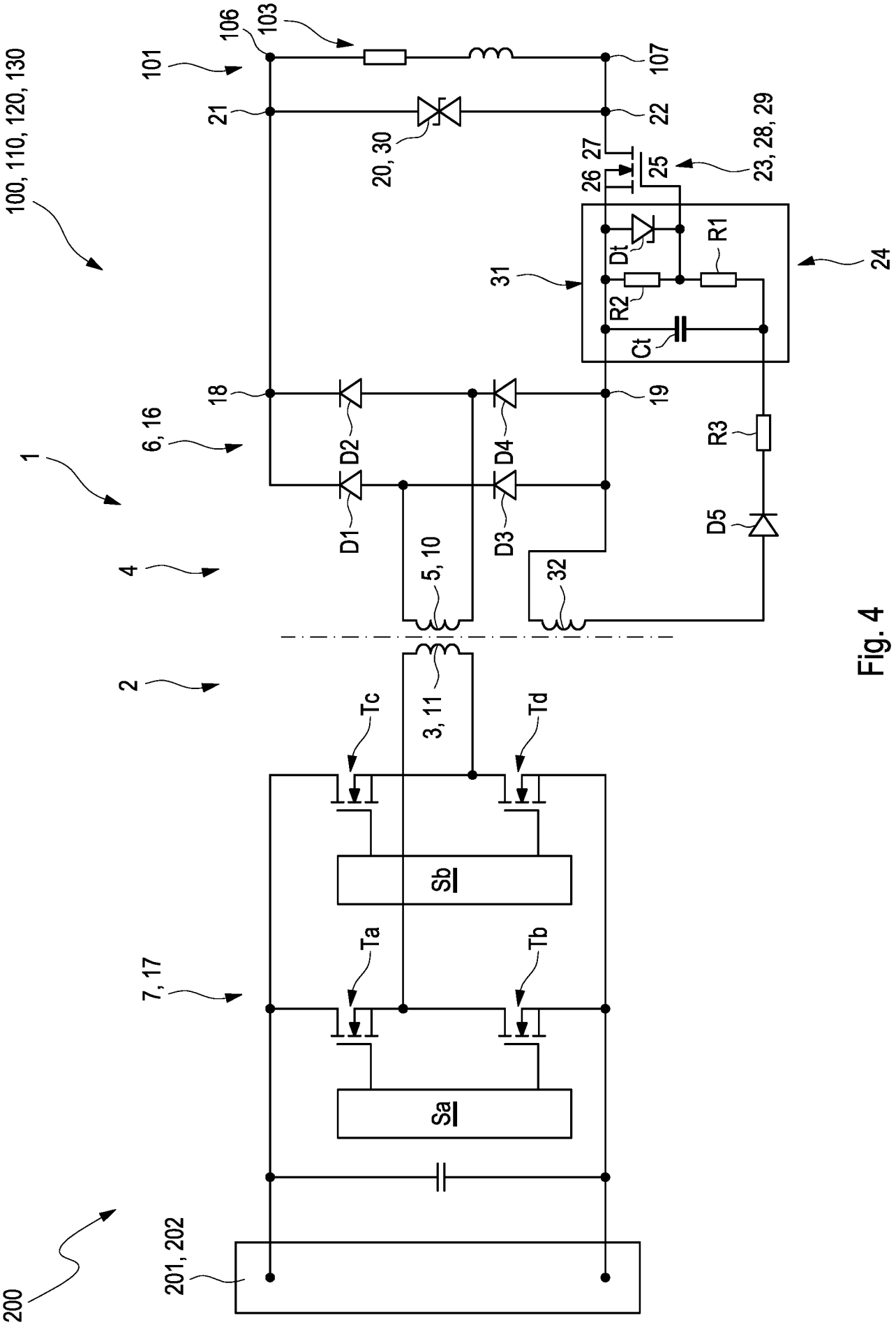

100, 110, 120, 130
101
106
103
107
21
22
20, 30
26
27
25
23, 28, 29
Dt
R1
24
31
R2
Ct
18
19
6, 16
D2
D4
R3
1
D1
D3
D5
4
5, 10
32
2
3, 11
Tc
Td
Sb
Ta
Tb
7, 17
Sa
200
201, 202

Fig. 4

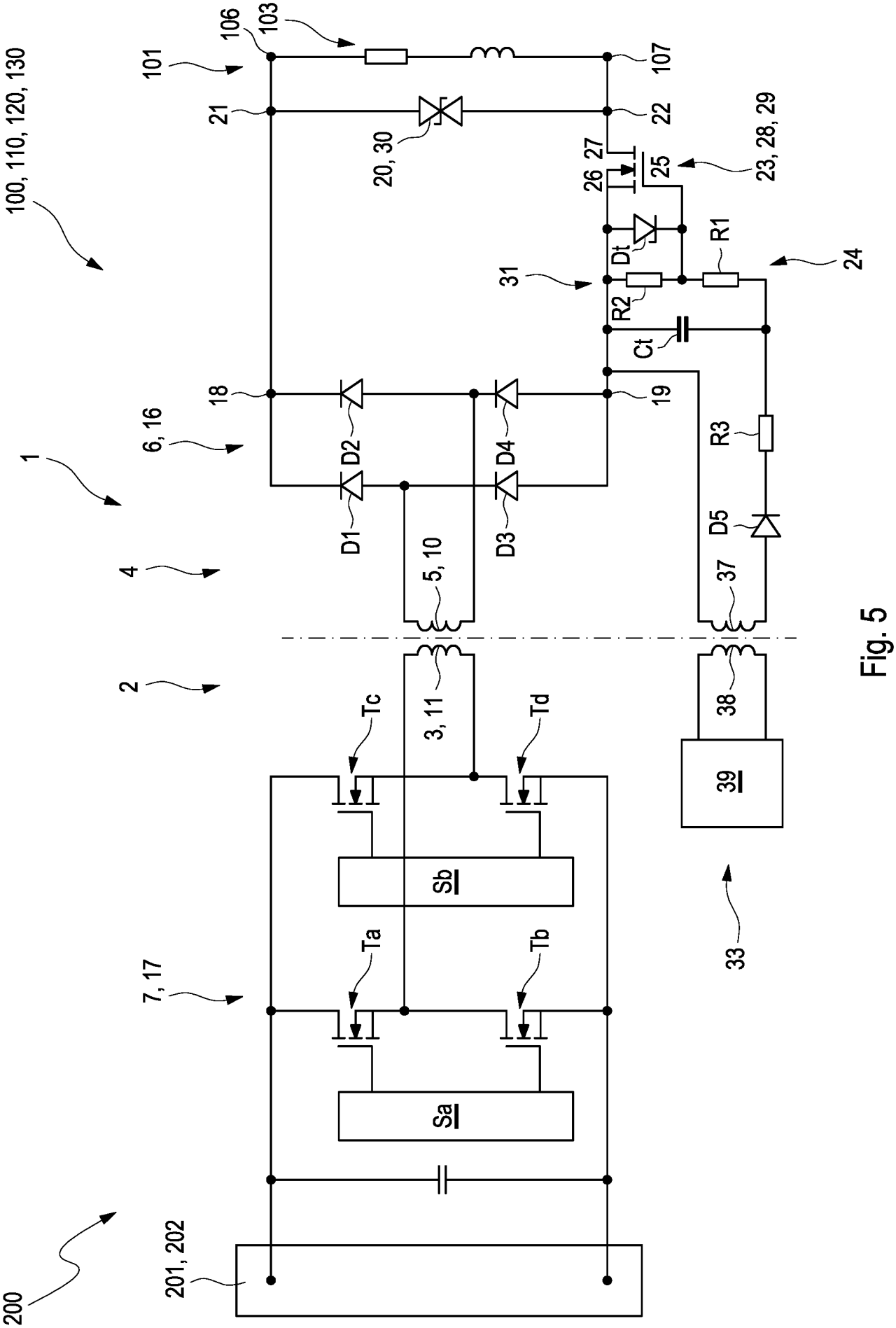

100, 110, 120, 130
101
106
103
107
21
22
20, 30
23, 28, 29
26
27
25
Dt
R1
24
31
R2
Ct
18
19
6, 16
D2
D4
R3
1
D1
D3
D5
4
5, 10
37
2
3, 11
38
Tc
Td
39
Sb
33
Ta
Tb
7, 17
Sa
200
201, 202

Fig. 5

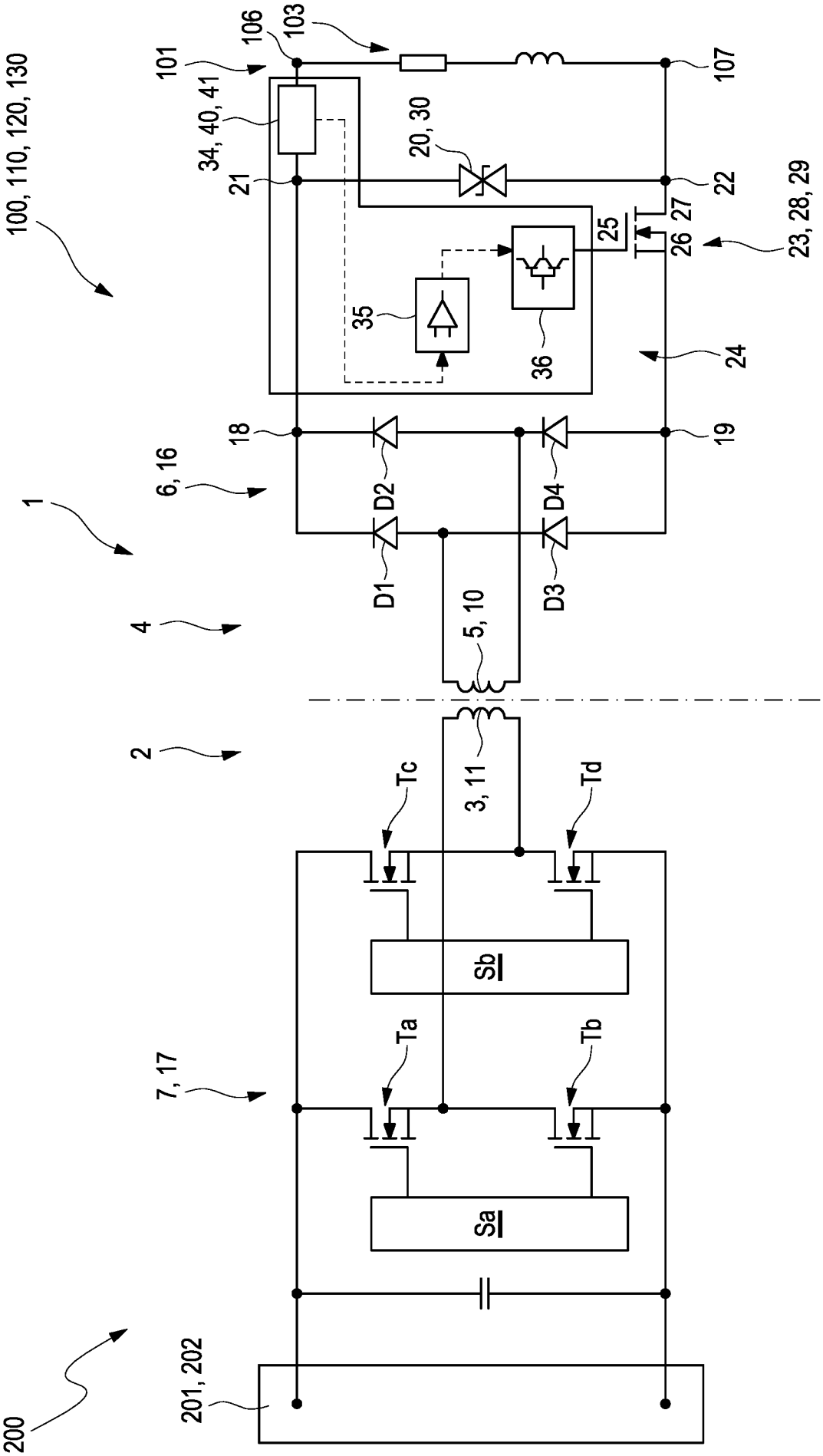

100, 110, 120, 130
101
106
103
107
34, 40, 41
20, 30
21
22
23, 28, 29
25
27
26
35
36
24
18
19
6, 16
D2
D4
1
D1
D3
4
5, 10
2
3, 11
Tc
Td
Sb
Ta
Tb
7, 17
Sa
200
201, 202

Fig. 6

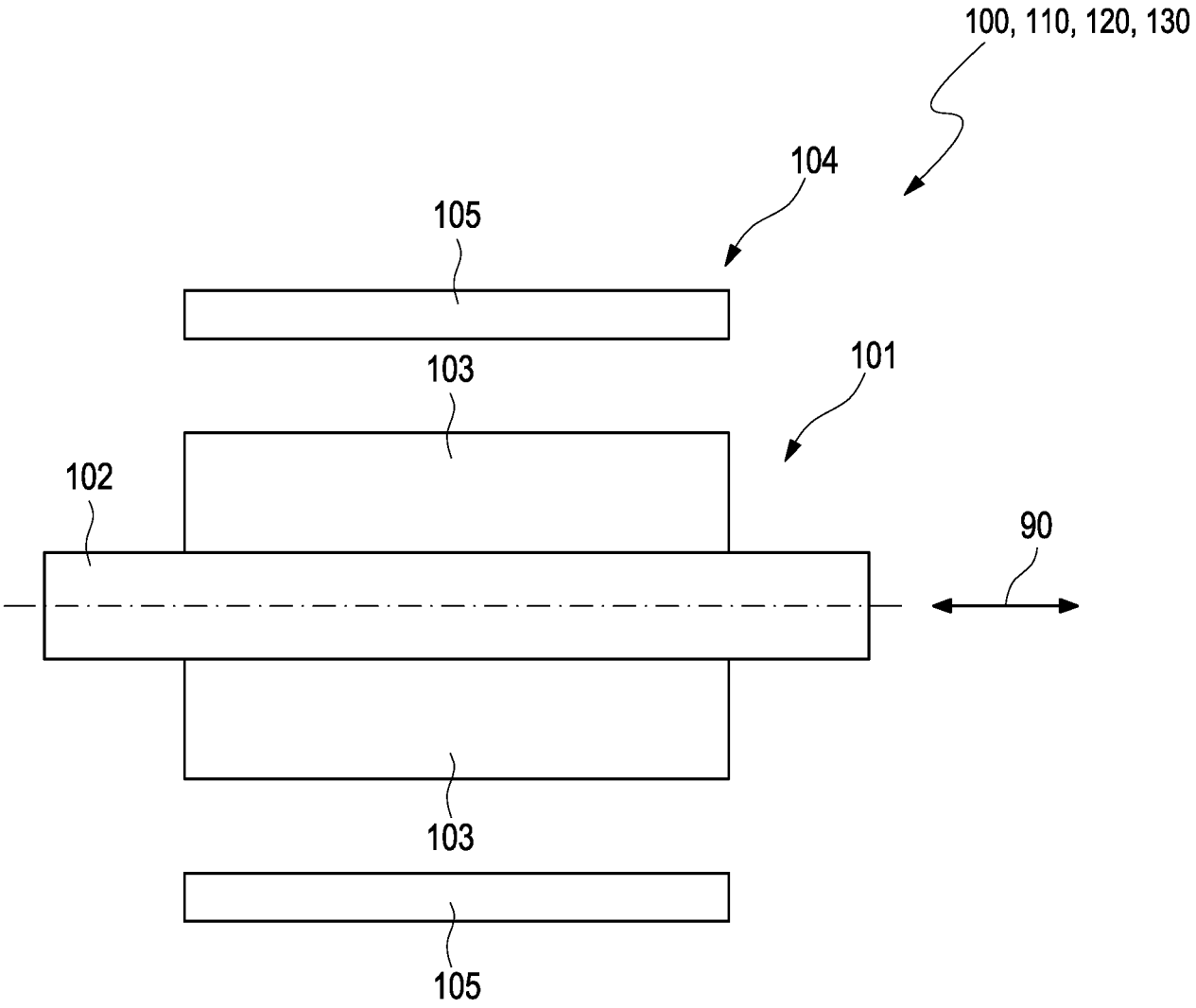


Fig. 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/EP2022/078211

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02P 9/30(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H02P

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 102014201903 A1 (BAYERISCHE MOTOREN WERKE AG [DE]; BRUSA ELEKTRONIK AG [CH]) 06 August 2015 (2015-08-06)	1,3,4,6,9,11-13
Y	paragraphs [0001], [0003], [0030], [0045]	5,8,11
A	paragraphs [0035] - [0057]	7
	figures 1, 2	
X	DE 102014209607 A1 (BAYERISCHE MOTOREN WERKE AG [DE]) 26 November 2015 (2015-11-26)	1
Y	paragraphs [0003], [0011], [0053]	5
	figure 4	
Y	DE 102017214766 A1 (CONTINENTAL AUTOMOTIVE GMBH [DE]) 26 April 2018 (2018-04-26)	5,11
	paragraphs [0001] - [0004]	
	paragraphs [0039], [0042], [0043]	
	paragraph [0058]	
	figure 4	

☑ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
01 February 2023	**09 February 2023**

Name and mailing address of the ISA/EP	Authorized officer
European Patent Office **p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk** **Netherlands**	**Roider, Anton**
Telephone No. **(+31-70)340-2040** Facsimile No. **(+31-70)340-3016**	Telephone No.

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 204089656 U (UNIV JINING) 07 January 2015 (2015-01-07) abstract figure 1	8
Y	DE 102008032210 A1 (SEW EURODRIVE GMBH & CO [DE]) 21 January 2010 (2010-01-21) paragraphs [0001], [0005] figure 2	11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/EP2022/078211

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
DE 102014201903 A1	06 August 2015	NONE	
DE 102014209607 A1	26 November 2015	CN 106105015 A	09 November 2016
		DE 102014209607 A1	26 November 2015
		US 2017070126 A1	09 March 2017
		WO 2015176936 A2	26 November 2015
DE 102017214766 A1	26 April 2018	CN 212518805 U	09 February 2021
		DE 102017214766 A1	26 April 2018
		WO 2019038080 A1	28 February 2019
CN 204089656 U	07 January 2015	NONE	
DE 102008032210 A1	21 January 2010	CN 102089965 A	08 June 2011
		DE 102008032210 A1	21 January 2010
		EP 2297843 A1	23 March 2011
		US 2011121773 A1	26 May 2011
		WO 2010003474 A1	14 January 2010

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2022/078211

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. H02P9/30
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
H02P

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2014 201903 A1 (BAYERISCHE MOTOREN WERKE AG [DE]; BRUSA ELEKTRONIK AG [CH]) 6. August 2015 (2015-08-06)	1,3,4,6, 9,11-13
Y	Absätze [0001], [0003], [0030], [0045]	5,8,11
A	Absätze [0035] - [0057] Abbildungen 1, 2	7

X	DE 10 2014 209607 A1 (BAYERISCHE MOTOREN WERKE AG [DE]) 26. November 2015 (2015-11-26)	1
Y	Absätze [0003], [0011], [0053] Abbildung 4	5

	-/--	

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen [X] Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung;; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung;; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
1. Februar 2023	09/02/2023

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Roider, Anton

1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2022/078211

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	DE 10 2017 214766 A1 (CONTINENTAL AUTOMOTIVE GMBH [DE]) 26. April 2018 (2018-04-26) Absätze [0001] - [0004] Absätze [0039], [0042], [0043] Absatz [0058] Abbildung 4	5,11
Y	CN 204 089 656 U (UNIV JINING) 7. Januar 2015 (2015-01-07) Zusammenfassung Abbildung 1	8
Y	DE 10 2008 032210 A1 (SEW EURODRIVE GMBH & CO [DE]) 21. Januar 2010 (2010-01-21) Absätze [0001], [0005] Abbildung 2	11

1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2022/078211

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102014201903 A1	06-08-2015	KEINE	
DE 102014209607 A1	26-11-2015	CN 106105015 A	09-11-2016
		DE 102014209607 A1	26-11-2015
		US 2017070126 A1	09-03-2017
		WO 2015176936 A2	26-11-2015
DE 102017214766 A1	26-04-2018	CN 212518805 U	09-02-2021
		DE 102017214766 A1	26-04-2018
		WO 2019038080 A1	28-02-2019
CN 204089656 U	07-01-2015	KEINE	
DE 102008032210 A1	21-01-2010	CN 102089965 A	08-06-2011
		DE 102008032210 A1	21-01-2010
		EP 2297843 A1	23-03-2011
		US 2011121773 A1	26-05-2011
		WO 2010003474 A1	14-01-2010