(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
05. April 2018 (05.04.2018)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2018/059823 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
H02H 3/33 (2006.01) *H02H 7/12* (2006.01)
G01R 31/02 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/070816

(22) Internationales Anmeldedatum:
17. August 2017 (17.08.2017)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
16190797.7 27. September 2016 (27.09.2016) EP

(71) Anmelder: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT** [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

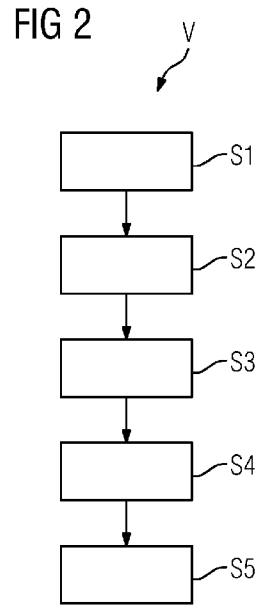
(72) Erfinder: **SCHIERLING, Hubert**; Pommernstr. 18 G, 91052 Erlangen (DE). **WEIS, Benno**; Amselstraße 8, 91334 Hemhofen (DE).

(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, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW,

(54) Title: METHOD FOR PREVENTING A DANGEROUS, HIGHER-FREQUENCY EARTH FAULT CURRENT FOR AN ELECTRICAL DRIVE SYSTEM

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR VERMEIDUNG EINES GEFÄHRLICHEN ERDFEHLERSTROMS HÖHERER FREQUENZ FÜR EIN ELEKTRISCHES ANTRIEBSSYSTEM



(57) Abstract: The invention relates to a method (V) for preventing a dangerous, higher-frequency earth fault current (IEF) for an electrical drive system (2) which is operated in an electrical grid (1) and has a power converter (3) and an electrical drive machine (4), wherein: in a first method step (S1), a common-mode voltage (UCM) is produced in the power converter (3), said common-mode voltage having a defined common-mode voltage component (UCMA) at a selected low frequency; in a second method step (S2), in the event of an earth fault (ES) in the electrical drive system (2), a common-mode current component (ICMA) of a common-mode current (ICM) flows through a predominantly ohmic conductor-earth impedance (ZO) at the selected low frequency on the basis of the defined common-mode voltage component (UCMA); in a third method step (S3), a total current (IS) of the common-mode current (ICM) is sensed by means of current sensing (7) in one of several current circuits (8) of the electrical drive system (2); in a fourth method step (S4), the common-mode current component (ICMA) of the common-mode current (ICM) at the selected low frequency is determined from the total current (IS) by means of a current evaluation (STW); and, in a fifth method step (S5), the electrical drive system (2) is disconnected from the electrical grid (1) by means of an electrical switching element (13) if the common-mode current component (ICMA) reaches a reference value (VW).

(57) Zusammenfassung: Verfahren zur Vermeidung eines gefährlichen Erdfehlerstroms höherer Frequenz für ein elektrisches Antriebssystem Die Erfindung betrifft ein Verfahren (V) zur Vermeidung eines gefährlichen Erdfehlerstroms (IEF) höherer Frequenz für ein an einem elektrischen Netz (1) betriebenes elektrisches Antriebssystem (2) mit einem Stromrichter (3) und einer elektrischen Antriebsmaschine (4), wobei in einem ersten Verfahrensschritt (S1) im Stromrichter (3) eine Gleichtaktspannung (UCM) erzeugt wird, welche bei einer ausgewählten niederen Frequenz einen bestimmten Gleichtaktspannungsanteil (UCMA) aufweist, wobei in einem zweiten Verfahrensschritt (S2) im Falle eines Erdschlusses (ES) am elektrischen Antriebssystem (2) aufgrund des bestimmten Gleichtaktspannungsanteils (UCMA) durch eine überwiegend ohmsche Leiter-Erde-Impedanz (ZO) bei der ausgewählten niederen Frequenz ein Gleichtaktstromanteil (ICMA) eines Gleichtaktstroms (ICM)

WO 2018/059823 A1

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

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, 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)*

fließt, wobei in einem dritten Verfahrensschritt (S3) mittels einer Stromerfassung (7) in einem von mehreren Stromkreisen (8) des elektrischen Antriebssystems (2) ein Summenstrom (IS) des Gleichtaktstroms (ICM) erfasst wird, wobei in einem vierten Verfahrensschritt (S4) mittels einer Stromauswertung (STW) aus dem Summenstrom (IS) der Gleichtaktstromanteil (ICMA) des Gleichtaktstroms (ICM) bei der ausgewählten niederen Frequenz ermittelt wird und wobei in einem fünften Verfahrensschritt (S5) das elektrische Antriebssystem (2) mittels eines elektrischen Schaltelements (13) vom elektrischen Netz (1) getrennt wird, wenn der Gleichtaktstromanteil (ICMA) einen Vergleichswert (VW) erreicht.

Beschreibung

Verfahren zur Vermeidung eines gefährlichen Erdfehlerstroms höherer Frequenz für ein elektrisches Antriebssystem

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Vermeidung eines gefährlichen Erdfehlerstroms höherer Frequenz für ein an einem elektrischen Netz betriebenes elektrisches Antriebssystem mit einem Stromrichter und einer elektrischen Antriebsmaschine sowie eine Fehlerstromschutzvorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

Ein Versagen oder eine Überbrückung von Leiter-Erde-Isolationen durch Erdschlüsse an elektrischen Geräten, Kabeln oder anderen Komponenten in Anlagen, welche oft auch elektrische Antriebsysteme aufweisen, kann z.B. durch einen Brand zu einer Gefährdung der Verfügbarkeit des elektrischen Antriebssystems führen. Wird der Erdschluss von einer Person durch Berührung eines elektrischen Leiters herbeigeführt, können ebenfalls gefährliche Erdfehlerströme entstehen, welche in Form von unzulässig hohen Berührungsströmen eine lebensbedrohliche Gefährdung dieser Person darstellen.

Als Schutz gegen derartige Gefährdungen kommen neben Lösungen wie der Schutzerdung oder des Schutzpotentialausgleichs auch Fehlerstromschutzsysteme zum Einsatz, welche im allgemeinen Sprachgebrauch oftmals auch als Fehlerstromschutzschalter (FI-Schalter) bezeichnet werden. Deren Aufgabe es ist, gefährliche Erdfehlerströme zu erkennen und spätestens bei Erreichung von z.T. durch Normen bzw. vergleichbare gesetzlicher Vorgaben festgelegten Grenzwerten das gefährdete bzw. für Personen gefährliche Anlagenteil vom elektrischen Netz zu trennen.

Genannte Fehlerstromschutzschalter sind zwar nicht geeignet und auch nicht dafür vorgesehen, einen Erdschluss zu verhindern, sie begrenzen aber im Falle des Erdschlusses die Höhe und das zeitliche Bestehen des sich bildenden gefährlichen

Erdfehlerstroms auf ein für Personen und/oder Anlagen ungefährliches Maß.

Wird ein Fehlerstromschutzschalter bzw. eine entsprechende Fehlerstromschutzvorrichtung beispielsweise für den Brandschutz von Anlagen ausgelegt, ist aufgrund brandschutztechnischer Erkenntnisse davon auszugehen, dass bei einem Erdschluss mit einer über einen längeren Zeitraum anstehenden elektrischen Fehlerleistung von 60 W oder mehr ein Brand ausbrechen kann. Für den Brandschutz in Anlagen wird aus diesem Grund als Grenzwert, bis zu dem eine Auslösung des Fehlerstromschutzschalters erfolgen muss, üblicherweise ein Bemessungsfehlerstrom von maximal 300 mA vorgeschrieben. Für den Schutz von Personen ist meist als Grenzwert ein Bemessungsfehlerstrom von 30 mA festgelegt. Für spezielle Anwendungen wird dieser Grenzwert auch auf 10 mA heruntergesetzt.

Kommen in Anlagen elektrische Antriebssysteme zum Einsatz, welche insbesondere Frequenzumrichter aufweisen, besteht häufig aufgrund systemimmanenter Eigenschaften derartiger Antriebssysteme die Herausforderung, dass bekannte Fehlerstromschutzschalter hier nicht oder nur mit erheblichen Einschränkungen betrieben werden können.

Derartige Frequenzumrichter weisen oftmals Leistungshalbleiterschalter auf, welche je nach Betriebsart mittels hoher Schaltfrequenzen größer 1 kHz geschalten werden, wobei systembedingt vorhandene Leiter-Erdkapazitäten des elektrischen Antriebssystems Erdableitströme mit Erdableitfrequenzen gleicher Höhe erzeugen. Das Auftreten dieser höherfrequenten Erdableitströme führt bei einem Einsatz bekannter Fehlerstromschutzschalter jedoch oft zu einer Auslösung und somit zur Trennung des elektrischen Antriebssystems vom elektrischen Netz, obwohl im elektrischen Antriebssystem kein Erdschluss vorliegt. Derartige Fehlauslösungen gefährden die Verfügbarkeit und somit auch die Betriebssicherheit des elektrischen Antriebssystems bzw. der gesamten Anlage.

Wird nun bei bekannten Fehlerstromschutzschaltern die Auslösung auf eine Erkennung gefährlicher Erdfehlerströme niederer Frequenz bis beispielsweise 1 kHz beschränkt, oder wird die Empfindlichkeit der Erkennung im Bereich der höheren Frequenzen reduziert, verbleibt bzgl. des Fehlerstromschutzes von Anlagen mit einem entsprechenden elektrischen Antriebssystem ein hohes Gefährdungspotential für Mensch und/oder Maschine, da gefährliche Erdfehlerströme höherer Frequenz nicht oder nicht mit der notwendigen Sicherheit erkannt werden.

Der Erfindung liegt nunmehr die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung für den Fehlerstromschutz eines elektrischen Antriebssystems bereitzustellen, welche ein Auftreten von gefährliche Erdfehlerströme höherer Frequenz gegenüber dem bekannten Fehlerstromschutz besser vermeidet und dabei Fehlauslösungen verhindert.

Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass ein bedarfsgerechter und über alle Betriebsarten sicherer Fehlerstromschutz für elektrische Antriebssysteme, welche systembedingt hochfrequente Erdableitströme aufweisen, mittels bekannter Fehlerstromvorrichtungen nur unzureichend realisierbar ist. So können Fehlauslösungen bei bekannten Fehlerstromschutzvorrichtungen auftreten, da ein systemimmanent vorhandener, aufgrund von Leiter-Erdkapazitäten erzeugter, betriebsbedingter Erdableitstrom hoher Frequenz nicht zuverlässig von einem durch einen Erdschluss auftretenden gefährlichen Erdfehlerstrom hoher Frequenz unterschieden werden kann.

Die Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den im Patentanspruch 1 angegebenen Verfahrensschritten gelöst. Ferner wird die Aufgabe durch eine Fehlerstromschutzvorrichtung zur Durchführung des Verfahrens mit den im Patentanspruch 9 angegebenen Merkmalen gelöst.

Bei einem erfindungsgemäßen Verfahren zur Vermeidung eines gefährlichen Erdfehlerstroms höherer Frequenz für ein an einem elektrischen Netz betriebenes elektrisches Antriebssystem

mit einem Stromrichter und einer elektrischen Antriebsmaschine wird in einem ersten Verfahrensschritt im Stromrichter eine Gleichtaktspannung erzeugt, welche bei einer ausgewählten niederen Frequenz einen bestimmten Gleichtaktspannungsanteil aufweist, fließt in einem zweiten Verfahrensschritt im Falle eines Erdschlusses am elektrischen Antriebssystem aufgrund des bestimmten Gleichtaktspannungsanteils durch eine überwiegend ohmsche Leiter-Erde-Impedanz bei der ausgewählten niederen Frequenz ein Gleichtaktstromanteil eines Gleichtaktstroms, wird in einem dritten Verfahrensschritt mittels einer Stromerfassung in einem von mehreren Stromkreisen des elektrischen Antriebssystems ein Summenstrom des Gleichtaktstroms erfasst, wird in einem vierten Verfahrensschritt mittels einer Stromauswertung aus dem Summenstrom der Gleichtaktstromanteil des Gleichtaktstroms bei der ausgewählten niederen Frequenz ermittelt und wird in einem fünften Verfahrensschritt das elektrische Antriebssystem mittels eines elektrischen Schaltelements vom elektrischen Netz getrennt, wenn der Gleichtaktstromanteil des Gleichtaktstroms bei der ausgewählten niederen Frequenz einen Vergleichswert erreicht.

Der Stromrichter, welcher insbesondere ein Frequenzumrichter sein kann, erzeugt gegenüber einem Erd- bzw. Schutzleiterpotential den bestimmten Gleichtaktspannungsanteil bei der ausgewählten niederen Frequenz der Gleichtaktspannung derart, dass der bestimmte Gleichtaktspannungsanteil einem erwarteten Spannungswert entspricht, wobei die ausgewählte niedere Frequenz entsprechend bekannt ist.

Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht in vorteilhafter Weise eine indirekte Überwachung des elektrischen Antriebssystems bzgl. eines Auftretens von gefährlichen Erdfehlerströmen hoher Frequenz. Dabei kann ein anstehender Erdschluss erkannt und die Trennung des elektrischen Antriebssystems vom elektrischen Netz ausgelöst werden, obwohl der gefährliche Erdfehlerstrom hoher Frequenz noch nicht zum Fließen gekommen ist, wobei der gefährliche Erdfehlerstrom hoher Frequenz ohne die Trennung des elektrischen Antriebssystems vom elektri-

schen Netz je nach Betriebsart des Stromrichters aber zum Fließen kommen würde.

Elektrische Bauelemente des elektrischen Antriebssystems, wie beispielsweise elektrische Leitungen mit oder ohne einer isolierenden Ummantelung, weisen gegenüber einem Erd- bzw. Schutzleiterpotential kapazitive Impedanzen aufgrund von Leiter-Erdkapazitäten (auch parasitäre Kapazitäten genannt) auf. In diesen Leiter-Erdkapazitäten verursacht der vom Stromrichter erzeugte bestimmte Gleichtaktspannungsanteil der Gleichtaktspannung betriebsmäßig nur einen geringen Stromfluss, weil die jeweilige Impedanz dieser Leiter-Erdkapazitäten bei der ausgewählten niederen Frequenz sehr groß ist. Dieser geringe Stromfluss ist sehr viel kleiner (beispielweise um einen Faktor 100) als ein Bemessungsfehlerstrom von beispielsweise 300 mA, welcher in der DIN VDE 0100 - 482 als Grenzwert für den Brandschutz von Kabel- und Leitungsanlagen in TN- und TT- Systemen vorgesehen ist.

Tritt im elektrischen Antriebssystem nun der Erdschluss beispielsweise zwischen der elektrischen Leitung und dem Erd- bzw. Schutzleiterpotential auf, fließt der Gleichtaktstromanteil des Gleichtaktstroms proportional zum Gleichtaktspannungsanteil der Gleichtaktspannung bei der ausgewählten niederen Frequenz. Diese Proportionalität ist frequenzunabhängig, weil der Erdschluss die überwiegend ohmsche Leiter-Erde-Impedanz aufweist. Dies gilt u.a. für den Erdschluss im Sinne eines Versagens beispielsweise der isolierenden Ummantelung der elektrischen Leitungen gegen das Erd- bzw. Schutzleiterpotential wie auch für den Erdschluss im Sinne einer Herbeiführung einer leitfähigen Verbindung zwischen beispielsweise der elektrischen Leitung und dem Erd- bzw. Schutzleiterpotential durch eine gefährliche Berührung der elektrischen Leitung von Personen.

Der Gleichtaktstromanteil des Gleichtaktstroms bei der ausgewählten niederen Frequenz ist daher ein Indiz für eine Aussage, ob der gefährliche Erdfehlerstrom durch den Erdschluss

auftreten kann. Dazu wird der Gleichtaktstrom als Summenstrom mittels der Stromerfassung in einem der Stromkreise des elektrischen Antriebssystems erfasst und der Gleichtaktstromanteil des Gleichtaktstroms mittels der Stromauswertung bei der niederen Frequenz ermittelt. Dieser ermittelte Gleichtaktstromanteil wird mit dem Vergleichswert verglichen. Der Vergleichswert kann sich an Bemessungsfehlerströmen verringert um beispielsweise einen Faktor 10 orientieren, wobei die Bemessungsfehlerströme Normen bzw. gesetzlichen Vorgaben für den Fehlerstromschutz in Anlagen bzgl. Personen- (Bemessungsfehlerstrom z.B. 30 mA) und Brandschutz (Bemessungsfehlerstrom z.B. 300 mA) entnehmbar sind. Die Trennung des elektrischen Antriebssystems vom elektrischen Netz erfolgt, wie schon beschrieben, wenn der ermittelte Gleichtaktstromanteil des Gleichtaktstroms den Vergleichswert erreicht.

Vorteilhafte Ausgestaltungsformen des Verfahrens sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

Bei einer ersten vorteilhaften Ausgestaltungsform des Verfahrens erfolgen sowohl die Erkennung des gefährlichen Erdfehlerstroms, insbesondere des gefährlichen Erdfehlerstroms höherer Frequenz, wie auch die Trennung des elektrischen Antriebssystems vom elektrischen Netz unabhängig von einem im elektrischen Antriebssystem fließenden betriebsbedingten Erdableitstrom.

Im Gegensatz zu bekannten Fehlerstromschutzschaltern bzw. Fehlerstromschutzsystemen haben die betriebsbedingten Erdableitströme, gleich welche Frequenz sie aufweisen, keinen Einfluss auf die Erkennung und die Abschaltung eines gefährlichen Erdfehlerstroms mittels des Verfahrens. Fehlauslösungen in elektrischen Antriebssystemen, wie sie bei bekannten Fehlerstromschutzschaltern bedingt durch die oft mit hohen Schaltfrequenzen betriebenen Leistungshalbleiter in Stromrichtern auftreten, sind demnach künftig ausgeschlossen.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltungsform des Verfahrens ist die höhere Frequenz des gefährlichen Erdfehlerstroms größer als 1 kHz und ist die ausgewählte niedere Frequenz des bestimmten Gleichtaktspannungsanteils der Gleichtaktspannung kleiner als 1 kHz.

Da der Gleichtaktstromanteil des Gleichtaktstromes bei der niederen Frequenz von kleiner 1 kHz nur dann zum Fließen kommt, wenn der bestimmte Gleichtaktspannungsanteil der Gleichtaktspannung bei dieser niederen Frequenz einerseits mittels des Stromrichters erzeugt wird und bedingt durch den Erdschluss am elektrischen Antriebssystem sich andererseits die für den Erdschluss charakteristische, überwiegend ohmsche Leiter-Erde-Impedanz aufbaut, wird der Vergleichswert in vorteilhafter Weise deutlich niedriger ausgelegt, als für übliche Bemessungsfehlerströmen, wie sie in bekannten Fehlerstromschutzschaltern vorgesehen sind. Da der Vergleichswert beispielsweise um den Faktor zehn geringerer wählbar ist als gegenüber den üblichen Bemessungsfehlerströmen, erlaubt dies im Falle des Erdschlusses in vorteilhafter Weise einen sensitiveren Fehlerstromschutz mit einer erhöhten Sicherheit für den Personen- und Brandschutz in Anlagen mit elektrischen Antriebssystemen. So können Erdschlüsse erkannt werden, deren überwiegend ohmsche Leiter-Erde-Impedanz noch hochohmig ist (hochohmig meint ab ca. 10 kΩ) und gefährliche Erdfehlerströme, deren höhere Frequenz größer 1 kHz bereits nachweisbar ist, wobei gefährliche Erdfehlerströme kleiner 1 kHz ggf. noch nicht auftreten.

Ferner toleriert das Verfahren betriebsbedingte Erdableitströme mit einer Erdableitfrequenz, welche der höheren Frequenz des gefährlichen Erdfehlerstroms im Falle des Erdschlusses entspricht. Die für das elektrische Antriebssystem zum Einsatz kommenden Stromrichter können für den Fehlerstromschutz kritische Arbeitspunkte, wie beispielsweise das Schalten der Leistungshalbleiter mittels sehr hoher Schaltfrequenzen, beibehalten oder ausbauen, ohne dass der Fehlerstromschutz künftig Fehlauslösungen erzeugt. Auch sind bei

einem Einsatz des Verfahrens konstruktive Maßnahmen zur Veränderung der Leiter-Erde-Kapazitäten des elektrischen Antriebssystems nicht notwendig (z.B. Verstärkung der isolierenden Ummantelung der elektrischen Leiter), da die Auslösung der Trennung des elektrischen Antriebssystems vom elektrischen Netz lediglich durch den gefährlichen Erdfehlerstrom, nicht aber durch die in Höhe und Frequenz vergleichbaren betriebsbedingten Erdableitströme bestimmt wird.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltungsform des Verfahrens ist die ausgewählte niedere Frequenz ein ganzzahliges Vielfaches einer Netzfrequenz des elektrischen Netzes und beträgt bei der Netzfrequenz von 50 Hz insbesondere 150 Hz.

Die Wahl der niederen Frequenz mit 150 Hz als dreifache Ganzzahlige der Netzfrequenz (50 Hz) für den Gleichtaktspannungsanteil der Gleichtaktspannung ist dahingehend vorteilhaft, weil insbesondere Frequenzumrichter als Stromrichter im elektrischen Antriebssystem den Gleichtaktspannungsanteil der Gleichtaktspannung bei 150 Hz gegenüber dem Erd- bzw. Schutzleiterpotential systemimmanent erzeugen können. Im fehlerfreien Fall, d.h. ohne Auftreten des Erdschlusses, kann mittels Anlegen dieses Gleichtaktspannungsanteils der Gleichtaktspannung bei 150 Hz an die Leiter-Erdkapazitäten des elektrischen Antriebssystems kein entsprechend großer Gleichtaktstromanteil des Gleichtaktstromes bei 150 Hz zum Fließen kommen, welcher annähernd eine Höhe des Vergleichswerts, beispielsweise den Bemessungsfehlerstrom von 30 mA oder 300 mA, erreicht. Eine entsprechende Fehlauslösung des elektrischen Schaltelements, die zur unerwünschten Trennung des elektrischen Antriebssystems vom elektrischen Netz führt, wird somit verhindert.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltungsform des Verfahrens erzeugt der Stromrichter die Gleichtaktspannung mit dem bestimmten Gleichtaktspannungsanteil bei der ausgewählten niederen Frequenz mittels eines Gleichrichters und/oder mittels eines Wechselrichters.

Ferner besteht die Möglichkeit, den bestimmten Gleichtaktspannungsanteil der Gleichtaktspannung bei der ausgewählten niederen Frequenz in einer kombinierten Ansteuerung des Wechselrichters gemeinsam mit dem Gleichrichter zu erzeugen. Soweit der Gleichrichter ein ungesteuerter Gleichrichter ist, wird der bestimmte Gleichtaktspannungsanteil der Gleichtaktspannung der niederen Frequenz von beispielsweise 150 Hz bedingt durch netzgeführte Kommutierungsvorgänge systemimmanent erzeugt, während bei gesteuerten Gleichrichtern und Wechselrichtern die Erzeugung einer beliebigen niederen Frequenz bis 1 kHz erfolgen kann.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltungsform des Verfahrens wird die Gleichtaktspannung mittels einer Spannungserfassung an einem Gleichspannungszwischenkreis als einen der Stromkreise des Stromrichters oder an einem lastseitigen Stromrichterausgang als einen anderen der Stromkreise des Stromrichters erfasst und wird der bestimmte Gleichtaktspannungsanteil der Gleichtaktspannung bei der ausgewählten niederen Frequenz durch eine Spannungsauswertung ermittelt.

Die Zuverlässigkeit des Verfahrens hängt u.a. davon ab, dass im Stromrichter bei Einsatz mittels des gesteuerten Gleichrichters und/oder des Wechselrichters der bestimmte Gleichtaktspannungsanteil der Gleichtaktspannung bei der ausgewählten niederen Frequenz von beispielsweise 150 Hz gegenüber dem Erd- bzw. Schutzleiterpotential erzeugt werden muss. Aufgrund von Fehlfunktionen im Stromrichter kann es vorkommen, dass der bestimmte Gleichtaktspannungsanteil der Gleichtaktspannung bei der ausgewählten niederen Frequenz von hier beispielhaft 150 Hz nicht oder nicht in ausreichendem Maße erzeugt wird. Ebenfalls problematisch ist ein Ausfall einer Phase des elektrischen Netzes.

Daher ist es vorteilhaft, den durch die Spannungsauswertung ermittelten bestimmten Gleichtaktspannungsanteil bei der ausgewählten niederen Frequenz von hier beispielhaft 150 Hz hinsichtlich eines Erwartungswerts auf den bestimmten Gleich-

taktspannungsanteil zu überprüfen. Ist der Erwartungswert nicht oder nicht in ausreichender Höhe nachweisbar, wird das elektrische Antriebssystem mittels geeigneter Maßnahmen in einen sicheren Betriebszustand versetzt.

Beispielhafte Maßnahmen wären eine Abgabe einer Fehlermeldung an Sicherheits- bzw. Betriebsleitsysteme des elektrischen Antriebssystems verbunden mit einer Ausgabe einer Pulssperre an den Stromrichter, einer Trennung des elektrischen Antriebssystems vom elektrischen Netz mittels eines Netzschalters oder einer Herbeiführung eines sehr hochohmigen Erdschlusses zur Auslösung eines vor dem elektrischen Antriebssystem am elektrischen Netz implementierten herkömmlichen Fehlerstromschutzschalters, welcher dann entsprechend auslöst und das elektrische Netz auftrennt. Alle diese Maßnahmen können einzeln oder kombiniert durchgeführt werden.

Kommen ferner im Stromrichter bei der Ansteuerung von gesteuertem Gleichrichter und Wechselrichter jeweils gleiche Modulationsarten zum Einsatz (z.B. jeweils eine Flat-Top-Modulation als Raumzeigermodulationsart mit diskontinuierlicher Taktung) und wird der Wechselrichter zudem mit einer Grundfrequenz betrieben, welche der Frequenz des elektrischen Netzes entspricht, kann ein unerwünschter Betriebszustand auftreten, bei dem der Wechselrichter bei der ausgewählten niederen Frequenz von 150 Hz einen Gleichtaktspannungsanteil einer Gleichtaktspannung gegenüber dem Erd- bzw. Schutzleiterpotential erzeugt, der gegenüber dem vom Gleichrichter erzeugten Gleichtaktspannungsanteil der Gleichtaktspannung bei der ausgewählten Frequenz von 150 Hz eine Phasenverschiebung von 180° aufweist.

Es besteht demnach eine Gefahr, dass der vom Wechselrichter erzeugte Gleichtaktspannungsanteil der Gleichtaktspannung den vom Gleichrichter erzeugten Gleichtaktspannungsanteil bei der ausgewählten niederen Frequenz kompensiert, so dass sich beim Erdschluss beispielsweise in der elektrischen Leitung, welche den Stromrichter mit der elektrischen Maschine verbindet, der

Gleichtaktstromanteil des Gleichtaktstroms bei der ausgewählten Frequenz hier am Beispiel von 150 Hz unerwünscht reduziert oder dieser im Grenzfall sogar zu Null wird. Der Gleichtaktstromanteil des Gleichtaktstroms kann dann den Vergleichswert nicht erreichen, obwohl ggf. schon ein gefährlicher Erdfehlerstrom durch die überwiegend ohmsche Leiter-Erde-Impedanz fließt.

Dieser unerwünschte Betriebszustand kann verhindert werden. Die mittels der Spannungserfassung erfasste Gleichtaktspannung und der durch die Spannungsauswertung ermittelte Gleichtaktspannungsanteil wird der Ansteuerung des Wechselrichters zugeführt, wobei die Ansteuerung des Wechselrichters derart ausgebildet ist, die Erzeugung des Gleichtaktspannungsanteils der Gleichtaktspannung bei der ausgewählten niederen Frequenz hier am Beispiel von 150 Hz mit der Phasenverschiebung von 180° zu verhindern. Zusätzlich kann das elektrische Antriebssystem mittels der bereits beschriebenen Maßnahmen in einen sicheren Betriebszustand versetzt werden, insbesondere dann, wenn nach Ersterkennung des unerwünschten Betriebszustands keine Veränderung erkennbar ist.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltungsform des Verfahrens wird der Vergleichswert aus einem Wertebereich von 0,1-mal einem vorgegebenen Bemessungsfehlerstrom bis zu 1-mal des vorgegebenen Bemessungsfehlerstroms bestimmt.

Die Auswahl des Vergleichswerts aus dem Wertebereich erlaubt in vorteilhafter Weise eine verbesserte Einstellung des Auslöseverhaltens für das elektrische Schaltelement, welches die Trennung des elektrischen Antriebssystems vom elektrischen Netz herbeiführt. Das Auslöseverhalten wird üblicherweise durch eine Kombination von Auslösezeit des elektrischen Schaltelements und Höhe des Bemessungsfehlerstroms bestimmt, so dass die Sensitivität der Auslösung durch die zusätzliche Beeinflussung der vorgegebenen Bemessungsfehlerströme mittels der Bestimmung des Vergleichswerts aus dem Wertebereich verändert werden kann.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltungsform des Verfahrens wird der bestimmte Gleichtaktspannungsanteil bei der ausgewählten niederen Frequenz der Gleichtaktspannung im Falle des Erdschlusses bei der ohmschen Leiter-Erde-Impedanz von kleiner oder gleich 15 kΩ derart erzeugt, dass der bei der ausgewählten niederen Frequenz des Gleichtaktstroms fließende Gleichtaktstromanteil den Vergleichswert erreicht.

Der zu erzeugende Gleichtaktspannungsanteil bei der ausgewählten niederen Frequenz der Gleichtaktspannung wird derart bestimmt, dass der im Falle des Erdschlusses durch die ohmsche Leiter-Erde-Impedanz fließende Gleichtaktstromanteil des Gleichtaktstroms bei der niederen Frequenz bis zu 15 kΩ in Höhe des Vergleichswerts zum Fließen kommen muss. Das beinhaltet, dass für die Bestimmung und Erzeugung des Gleichtaktspannungsanteils bei der ausgewählten niederen Frequenz der Gleichtaktspannung insbesondere auch berücksichtigt werden muss, dass verschiedene Vergleichswerte, z.B. für den Bemessungsfehlerstrom von 30 mA bei Personenschutz bzw. für den Bemessungsfehlerstrom von 300 mA bei Brandschutz, vorgebbar sind.

Für die Lösung der Aufgabe wird ferner eine Fehlerstromschutzvorrichtung für ein erfindungsgemäßes Verfahren vorgeschlagen, welche einen Stromrichter aufweist, in dem ein bestimmter Gleichtaktspannungsanteil einer Gleichtaktspannung bei einer ausgewählten niederen Frequenz erzeugbar ist, welche eine Stromerfassung aufweist, mittels der ein Summenstrom in einem von mehreren Stromkreisen eines elektrischen Antriebssystems erfassbar ist, welche eine Stromauswertung aufweist, mittels der ein Gleichtaktstromanteil eines Gleichtaktstroms bei der ausgewählten niederen Frequenz aus einem Summenstrom ermittelbar ist und mittels der der Gleichtaktstromanteil mit einem Vergleichswert vergleichbar ist und welche ein elektrisches Schaltelement aufweist, mittels dem das elektrische Antriebssystem von einem elektrischen Netz trennbar ist.

Bei einer ersten vorteilhaften Ausgestaltungsform der Fehlerstromschutzvorrichtung weist der Stromrichter einen Gleichrichter und/oder einen Wechselrichter zur Erzeugung des bestimmten Gleichtaktspannungsanteils der Gleichtaktspannung bei der ausgewählten niederen Frequenz auf.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltungsform der Fehlerstromschutzvorrichtung ist der Gleichrichter als ein ungesteuerter Gleichrichter oder als ein gesteuerter Gleichrichter ausgebildet.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltungsform der Fehlerstromschutzvorrichtung ist zur Erfassung der Gleichtaktspannung eine Spannungserfassung an einem Gleichspannungszwischenkreis des Stromrichters oder an einem lastseitigen Stromrichterausgang des Stromrichters angeordnet und ist eine Spannungsauswertung vorgesehen, mittels der der bestimmte Gleichtaktspannungsanteil der Gleichtaktspannung bei der ausgewählten niederen Frequenz ermittelbar ist.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltungsform der Fehlerstromschutzvorrichtung weist eine Prozessoreinheit mit der Stromauswertung und der Spannungsauswertung auf.

Diese Prozessoreinheit ist im Stromrichter oder im Gleichrichter und/oder im Wechselrichter des Stromrichters angeordnet, wobei die Prozessoreinheit die von der Spannungserfassung erfasste Gleichtaktspannung aufnimmt und an die Spannungsauswertung zur Ermittlung des bestimmten Gleichtaktspannungsanteils bei der ausgewählten niederen Frequenz weitergibt und wobei die Prozessoreinheit den von der Stromerfassung erfassten Gleichtaktstrom aufnimmt und zur Ermittlung des Gleichtaktstromanteils bei der ausgewählten niederen Frequenz an die Stromauswertung weitergibt.

Der Vergleich des Gleichtaktstromanteils des Gleichtaktstroms bei der ausgewählten niederen Frequenz mit dem Vergleichswert und die Überprüfung des vom Gleichrichter und/oder Wechsel-

richter erzeugten Gleichtaktspannungsanteils der Gleichtaktspannung bei der ausgewählten niederen Frequenz mit einem erwarteten Spannungswert sind mittels der Prozessoreinheit durchführbar.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltungsform der Fehlerstromschutzvorrichtung ist die Prozessoreinheit für eine Ansteuerung des gesteuerten Gleichrichters und/oder des Wechselrichters ausgebildet.

Die oben beschriebenen Eigenschaften, Merkmale und Vorteile dieser Erfindung sowie die Art und Weise, wie diese erreicht werden, werden klarer und deutlicher verständlich im Zusammenhang mit der folgenden Beschreibung der Ausführungsbeispiele, die im Zusammenhang mit den Figuren näher erläutert werden. Es zeigt:

FIG 1 eine erste schematische Darstellung eines an einem elektrischen Netz betriebenen Antriebssystems mit systemimmanent auftretenden Erdableitströmen und mit Erdschlüssen, welche im Betriebsfall gefährliche Erdfehlerströme höherer Frequenz aufweisen können,

FIG 2 ein Struktogramm mit wesentlichen Schritten des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Verhinderung eines gefährlichen Erdfehlerstroms höherer Frequenz für ein an einem elektrischen Netz betriebenes elektrisches Antriebssystem mit einem Stromrichter und einer elektrischen Antriebsmaschine nach FIG 1 und

FIG 3 in den Teilfiguren FIG 3A und FIG 3B eine weitere schematische Darstellung nach FIG 1 mit einer erfindungsgemäßen Fehlerstromschutzvorrichtung im elektrischen Antriebssystem 2 für das erfindungsgemäße Verfahren nach FIG 2.

In FIG 1 werden in einer schematischen Darstellung betriebsbedingt auftretende Erdableitströme IEA bzw. Erdableitteil-

ströme IEA´ und Erdschlüsse ES an einem elektrischen Antriebssystem 2 gezeigt, welches an einem elektrischen Netz 1 betriebenen wird, wobei im Betriebsfall durch die Erdschlüsse ES gefährliche Erdfehlerströme IEF höherer Frequenz in dem elektrischen Antriebssystem 2 fließen können.

Das am elektrischen Netz 1 betriebene elektrische Antriebssystem 2 weist in FIG 1 eine Anordnung elektrotechnischer Komponenten auf, wobei eine elektrische Maschine 4, welche eine Drehstrommaschine ist, mittels elektrischer Leitungen 18 mit einem Stromrichter 3 elektrisch verbunden ist (in FIG 1 ist diese elektrische Leitung nur schematisch als für ein Drehstromsystem 17 geeignet dargestellt). Die elektrische Verbindung des Stromrichters 3 mit der elektrischen Maschine 4 ist als Drehstromsystem 17 ausgebildet und zeigt einen von mehreren Stromkreisen 8 des elektrischen Antriebssystems 2.

Der Stromrichter 3 weist einen Gleichrichter 5 und einen Wechselrichter 15 auf, wobei der Gleichrichter 5 und der Wechselrichter 15 mittels elektrischer Leitungen 18 miteinander zu einem Gleichspannungszwischenkreis 6 elektrisch verbunden sind. Derartige Stromrichter 3 werden auch als Frequenzumrichter mit Gleichspannungszwischenkreis 6 bezeichnet. Die elektrische Verbindung des Gleichrichters 5 mit dem Wechselrichter 15 ist demnach als Gleichstromsystem 16 ausgebildet und zeigt einen weiteren von mehreren Stromkreisen 8 des elektrischen Antriebssystems 2.

Das elektrische Antriebssystem 2 ist ausgehend vom Stromrichter 3 mittels elektrischer Leitungen 18 mit dem elektrischen Netz 1 elektrisch verbunden. In diese elektrische Verbindung, welche als Drehstromsystem 17 ausgebildet ist, sind zwischen dem elektrischen Netz 1 und dem Stromrichter 3 des elektrischen Antriebssystems 2 ein aus dem Stand der Technik bekannter Fehlstromschutzschalter 14 und ein Netzfilter 12 elektrisch geschaltet, wobei der Netzfilter 12 auch ein Teil des elektrischen Antriebssystems 2 sein kann.

Sowohl beispielsweise in den elektrischen Leitungen 18, welche die elektrische Verbindung zwischen Stromrichter 3 und elektrischer Maschine 4 herstellen, wie auch in der elektrischen Maschine 4 selbst sind im Betrieb Leiter-Erdkapazitäten 11 vorhanden (dargestellt in FIG 1), welche in elektrischer Verbindung mit dem Erd- bzw. Schutzleiterpotential stehen. Die Leiter-Erdkapazitäten 11, beispielsweise der elektrischen Leitungen 18, werden u.a. durch deren isolierende Ummantelung 19 mitbestimmt.

Das elektrische Netz 1 und der Netzfilter 12 sind jeweils mit dem Erd- bzw. Schutzleiterpotential verbunden. Betriebsbedingte Erdableitströme IEA hoher Frequenz fließen nun, systemimmanent erzeugt durch den Stromrichter 3 des elektrischen Antriebssystems 2, über die Leiter-Erdkapazitäten 11 zum Erd- bzw. Schutzleiterpotential, wobei von den betriebsbedingt erzeugten Erdableitströmen IEA hoher Frequenz meist nur betriebsbedingte Erdableitteilströme IEA´ hoher Frequenz über das Erd- bzw. Schutzleiterpotential zum elektrischen Netz 1 und von dort über den Fehlerstromschutzschalter 14 zurück in das elektrische Antriebssystem 2 gelangen. Mittels des Netzfilters 12 wird demnach ein Großteil des betriebsbedingt erzeugten Erdableitstroms IEA hoher Frequenz herausgefiltert.

Bekannte Fehlerstromschutzschalter 14 interpretieren diesen Erdableitteilstrom IEA´ hoher Frequenz meist als gefährlichen Erdfehlerstrom IEF, welcher durch einen Erdschluss ES mit überwiegend ohmscher Leiter-Erde-Impedanz ZO beispielsweise an der elektrischen Leitung 18 zwischen dem Stromrichter 3 und der elektrischen Maschine 4 oder auch in der elektrischen Maschine selbst aufgetreten sei, in diesem Fall aber nicht aufgetreten ist. Als Folge dieser Interpretation löst der Fehlerstromschutzschalter 14 aus und trennt das elektrische Antriebssystem 2 unvermittelt und unerwünscht vom elektrischen Netz 1.

FIG 2 zeigt ein Struktogramm mit wesentlichen Schritten des erfindungsgemäßen Verfahrens V zur Erkennung und Abschaltung

eines gefährlichen Erdfehlerstroms IEF höherer Frequenz für ein an einem elektrischen Netz 1 betriebenes elektrisches Antriebssystem 2 mit einem Stromrichter 3 und einer elektrischen Antriebsmaschine 4 nach FIG 1.

In einem ersten Verfahrensschritt S1 des Verfahrens V wird im Stromrichter 3 eine Gleichtaktspannung UCM erzeugt, welche bei einer ausgewählten niederen Frequenz einen bestimmten Gleichtaktspannungsanteil UCMA aufweist. Der bestimmte Gleichtaktspannungsanteil UCMA entspricht dabei einem erwarteten Spannungswert, welcher als ein Parameter der Verfahrens V bekannt ist und/oder dessen Erzeugung überprüft werden kann.

In einem zweiten Verfahrensschritt S2 des Verfahrens V fließt im Falle eines Erdschlusses ES am elektrischen Antriebssystem 2 aufgrund des bestimmten Gleichtaktspannungsanteils UCMA durch eine überwiegend ohmsche Leiter-Erde-Impedanz ZO bei der ausgewählten niederen Frequenz ein Gleichtaktstromanteil ICMA eines Gleichtaktstroms ICM.

In einem dritten Verfahrensschritt S3 des Verfahrens V wird mittels einer Stromerfassung 7 in einem von mehreren Stromkreisen 8 des elektrischen Antriebssystems 2 ein Summenstrom IS des Gleichtaktstroms ICM erfasst. Der Summenstrom IS kann dabei in jedem der beispielhaft in FIG 1 gezeigten Stromkreise 8 erfasst werden.

In einem vierten Verfahrensschritt S4 wird mittels einer Stromauswertung STW aus dem Summenstrom IS der Gleichtaktstromanteil ICMA des Gleichtaktstroms ICM bei der ausgewählten niederen Frequenz ermittelt.

In einem fünften Verfahrensschritt S5 des Verfahrens V wird das elektrische Antriebssystem 2 mittels eines elektrischen Schaltelements 13 vom elektrischen Netz 1 getrennt, wenn der Gleichtaktstromanteil ICMA des Gleichtaktstroms ICM bei der

ausgewählten niederen Frequenz einen Vergleichswert VW erreicht.

Das erfindungsgemäße Verfahren V stellt demnach sicher, dass betriebsbedingte Erdableitströme IEA bzw. betriebsbedingte Erdableitteilströme IEA´ hoher Frequenz keinen Einfluss mehr auf die Erkennung von Erdschlüssen ES im elektrischen Antriebssystem 2 haben. Gefährliche Erdfehlerströme IEF, gleich welcher Frequenz, können demnach im Falle des Erdschlusses ES und vor dem Hintergrund auftretender betriebsbedingter Erdableitströme IEA bzw. Erdableitteilströme IEA´ hoher Frequenz sicher erkannt bzw. auch schon vor deren Auftreten verhindert werden, was die Zuverlässigkeit und die Sensitivität der Auslösung des elektrischen Schaltelements 13 entscheidend verbessert.

Die FIG 3 zeigt mit den Teilfiguren FIG 3A und FIG 3B eine weitere schematische Darstellung nach FIG 1 mit einer erfindungsgemäßen Fehlerstromschutzvorrichtung 9 im elektrischen Antriebssystem 2 für das erfindungsgemäße Verfahren V nach FIG 2.

Die Anordnung des elektrischen Antriebssystems 2 am elektrischen Netz 1 in FIG 3 (gezeigt in FIG 3A und FIG 3B) entspricht der aus FIG 1. Darüber hinaus weist das elektrische Antriebssystem 2 eine Stromerfassung 7 zur Erfassung eines Summenstroms IS von einem Gleichtaktstrom ICM auf. Im Ausführungsbeispiel ist die Stromerfassung 7 beispielhaft angeordnet in einem der mehreren Stromkreise 8 des elektrischen Antriebssystems 2 im Drehstromsystem 17 am netzseitigen Stromrichtereingang 22 des Stromrichters 3. Eine Anordnung der Stromerfassung 7 an einem Gleichspannungszwischenkreis 6 oder an einem lastseitigen Stromrichterausgang 23 des Stromrichters 3 ist ebenfalls möglich.

Aus dem Summenstrom IS des Gleichtaktstroms ICM wird mittels der Stromauswertung STW ein Gleichtaktstromanteil ICMA bei einer niederen Frequenz ermittelt und mit einem Vergleichs-

wert VW verglichen. Wird bei dem Vergleich in Folge eines Erdschlusses ES festgestellt, dass der Gleichtaktstromanteil ICMA des Gleichtaktstroms ICM bei der niederen Frequenz den Vergleichswert VW erreicht, trennt ein elektrisches Schaltelement 13 das elektrische Antriebssystem 2 vom elektrischen Netz 1 und verhindert einen gefährlichen Erdfehlerstrom IEF.

Damit der Gleichtaktstromanteil ICMA im Falle des Erdschlusses ES über eine überwiegend niederohmige Leiter-Erde-Impedanz ZO zum Fließen kommt, wird in einem Stromrichter 3 des elektrischen Antriebssystems 2 mittels eines Gleichrichters 5 und/oder eines Wechselrichters 15 eine Gleichtaktspannung UCM mit einem bestimmten Gleichtaktspannungsanteil UCMA bei niederer Frequenz erzeugt. Der hier dargestellte Gleichrichter 5 ist als gesteuerter Gleichrichter 21 ausgelegt.

Zur Überprüfung des erzeugten bestimmten Gleichtaktspannungsanteils UCMA bei niederer Frequenz gegenüber einem erwarteten Spannungswert wird die Gleichtaktspannung UCM im Ausführungsbeispiel der FIG 3 (FIG 3B) beispielhaft mittels einer Spannungserfassung 10 am Gleichspannungszwischenkreis 6 erfasst. Vorteilhaft ist bei einer Anordnung zweier Gleichspannungszwischenkreiskapazitäten 25 am Gleichspannungszwischenkreis 6, die Gleichtaktspannung UCM an einem zwischen den Gleichspannungszwischenkreiskapazitäten 25 gebildeten Mittelpunkt 24 gegenüber dem Erd- bzw. Schutzleiterpotential zu erfassen. Prinzipiell kann die Spannungserfassung 10 aber auch an einem anderen der Stromkreise 8 nach dem Gleichspannungszwischenkreis 6 des Stromrichters 3 angeordnet werden, beispielsweise in einem der Stromkreise 8, welcher als Drehstromsystem 17 mit der elektrischen Maschine 4 ausgehend vom lastseitigen Stromrichterausgang 23 des Stromrichters 3 angeordnet ist.

Mittels der Spannungserfassung SPW wird der bestimmte Gleichtaktspannungsanteil UCMA bei niederer Frequenz ermittelt und kann mit dem erwarteten Spannungswert verglichen werden. Erreicht der ermittelte Gleichtaktspannungsanteil UCMA bei der niederen Frequenz der Gleichtaktspannung UCM nicht den erwar-

teten Spannungswert, liegt ein Fehler der Fehlerstromschutzvorrichtung 9 vor.

Im Fehlerfall können innerhalb des elektrischen Antriebssystems 2 oder darüber hinaus entsprechende Maßnahmen eingeleitet werden (in FIG 3 nicht dargestellt), wie z.B. eine Abgabe einer Fehlermeldung an Sicherheits- bzw. Betriebsleitsysteme des elektrischen Antriebssystems 2 verbunden mit einer Ausgabe einer Pulssperre an den Stromrichter 3, einer Trennung des elektrischen Antriebssystems 2 vom elektrischen Netz 1 mittels eines Netzschalters oder einer Herbeiführung eines sehr hochohmigen Erdschlusses zur Auslösung eines vor dem elektrischen Antriebssystem 2 am elektrischen Netz 2 implementierten herkömmlichen Fehlerstromschutzschalters 14, welcher dann entsprechend auslöst und das elektrische Netz 1 auftrennt.

Die Stromauswertung STW und die Spannungsauswertung SPW sind im Ausführungsbeispiel der FIG 3 (FIG 3B) in einer Prozessoreinheit 20 implementiert. Die Prozessoreinheit ist ferner dazu ausgebildet, sowohl den gesteuerten Gleichrichter 5, 21 wie auch den Wechselrichter 15 anzusteuern, um jeweils den bestimmten Gleichtaktspannungsanteil UCMA bei der niederen Frequenz der Gleichtaktspannung UCM zu erzeugen.

Patentansprüche

1. Verfahren (V) zur Vermeidung eines gefährlichen Erdfehlerstroms (IEF) höherer Frequenz für ein an einem elektrischen Netz (1) betriebenes elektrisches Antriebssystem (2) mit einem Stromrichter (3) und einer elektrischen Antriebsmaschine (4), wobei

- in einem ersten Verfahrensschritt (S1) im Stromrichter (3) eine Gleichtaktspannung (UCM) erzeugt wird, welche bei einer ausgewählten niederen Frequenz einen bestimmten Gleichtaktspannungsanteil (UCMA) aufweist,
- in einem zweiten Verfahrensschritt (S2) im Falle eines Erdschlusses (ES) am elektrischen Antriebssystem (2) aufgrund des bestimmten Gleichtaktspannungsanteils (UCMA) durch eine überwiegend ohmsche Leiter-Erde-Impedanz (ZO) bei der ausgewählten niederen Frequenz ein Gleichtaktstromanteil (ICMA) eines Gleichtaktstroms (ICM) fließt,
- in einem dritten Verfahrensschritt (S3) mittels einer Stromerfassung (7) in einem von mehreren Stromkreisen (8) des elektrischen Antriebssystems (2) ein Summenstrom (IS) des Gleichtaktstroms (ICM) erfasst wird,
- in einem vierten Verfahrensschritt (S4) mittels einer Stromauswertung (STW) aus dem Summenstrom (IS) der Gleichtaktstromanteil (ICMA) des Gleichtaktstroms (ICM) bei der ausgewählten niederen Frequenz ermittelt wird und
- in einem fünften Verfahrensschritt (S5) das elektrische Antriebssystem (2) mittels eines elektrischen Schaltelements (13) vom elektrischen Netz (1) getrennt wird, wenn der Gleichtaktstromanteil (ICMA) des Gleichtaktstroms (ICM) bei der ausgewählten niederen Frequenz einen Vergleichswert (VW) erreicht.

2. Verfahren (V) nach Anspruch 1,
wobei die Erkennung des gefährlichen Erdfehlerstroms (IEF), insbesondere des gefährlichen Erdfehlerstroms (IEF) höherer Frequenz, und die Trennung des elektrischen Antriebssystems (2) vom elektrischen Netz (1) unabhängig von einem im elek-

trischen Antriebssystem (2) fließenden betriebsbedingten Erdableitstrom (IEA) erfolgen.

3. Verfahren (V) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die höhere Frequenz des gefährlichen Erdfehlerstroms (IEF) größer ist als 1 kHz und wobei die ausgewählte niedere Frequenz des bestimmten Gleichtaktspannungsanteils (UCMA) der Gleichtaktspannung (UCM) kleiner ist als 1 kHz.

4. Verfahren (V) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die ausgewählte niedere Frequenz ein ganzzahliges Vielfaches einer Netzfrequenz des elektrischen Netzes (1) ist und bei der Netzfrequenz von 50 Hz insbesondere 150 Hz beträgt.

5. Verfahren (V) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Stromrichter (3) die Gleichtaktspannung (UCM) mit dem bestimmten Gleichtaktspannungsanteil (UCMA) bei der ausgewählten niederen Frequenz mittels eines Gleichrichters (5, 21) und/oder mittels eines Wechselrichters (15) erzeugt.

6. Verfahren (V) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Gleichtaktspannung (UCM) mittels einer Spannungserfassung (10) an einem Gleichspannungszwischenkreis (6) als einen der Stromkreise (8) des Stromrichters (3) oder an einem lastseitigen Stromrichterausgang (23) als einen anderen der Stromkreise (8) des Stromrichters (3) erfasst wird und wobei der bestimmte Gleichtaktspannungsanteil (UCMA) der Gleichtaktspannung (UCM) bei der ausgewählten niederen Frequenz durch eine Spannungsauswertung (SPW) ermittelt wird.

7. Verfahren (V) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Vergleichswert (VW) aus einem Wertebereich von 0,1-mal einem vorgegebenen Bemessungsfehlerstrom bis zu 1-mal des vorgegebenen Bemessungsfehlerstroms bestimmt wird.

8. Verfahren (V) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der bestimmte Gleichtaktspannungsanteil (UCMA) bei der ausgewählten niederen Frequenz der Gleichtaktspannung (UCM)

im Falle des Erdschlusses (ES) bei der ohmschen Leiter-Erde-Impedanz (ZO) von kleiner oder gleich 15 kΩ derart erzeugt wird, dass der bei der ausgewählten niederen Frequenz des Gleichtaktstroms (ICM) fließende Gleichtaktstromanteil (ICMA) den Vergleichswert (VW) erreicht.

9. Fehlerstromschutzvorrichtung (9) für ein Verfahren (V) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, aufweisend
- einen Stromrichter (3), in dem ein bestimmter Gleichtaktspannungsanteil (UCMA) einer Gleichtaktspannung (UCM) bei einer ausgewählten niederen Frequenz erzeugbar ist,
- eine Stromerfassung (7), mittels der ein Summenstrom (IS) in einem von mehreren Stromkreisen (8) eines elektrischen Antriebssystems (2) erfassbar ist,
- eine Stromauswertung (STW), mittels der ein Gleichtaktstromanteil (ICMA) eines Gleichtaktstroms (ICM) bei der ausgewählten niederen Frequenz aus einem Summenstrom (IS) ermittelbar ist und mittels der der Gleichtaktstromanteil (ICMA) mit einem Vergleichswert (VW) vergleichbar ist und
- ein elektrisches Schaltelement (13), mittels dem das elektrische Antriebssystem (2) von einem elektrischen Netz (1) trennbar ist.

10. Fehlerstromschutzvorrichtung (9) nach Anspruch 9, wobei der Stromrichter (3) einen Gleichrichter (5) und/oder einen Wechselrichter (15) zur Erzeugung des bestimmten Gleichtaktspannungsanteils (UCMA) der Gleichtaktspannung (UCM) bei der ausgewählten niederen Frequenz aufweist.

11. Fehlerstromschutzvorrichtung (9) nach Anspruch 10, wobei der Gleichrichter (5) als ein ungesteuerter Gleichrichter oder als ein gesteuerter Gleichrichter (21) ausgebildet ist.

12. Fehlerstromschutzvorrichtung (9) nach einem der Ansprüche 9 bis 11,
wobei zur Erfassung der Gleichtaktspannung (UCM) eine Spannungserfassung (10) an einem Gleichspannungszwischenkreis (6)

des Stromrichters (3) oder an einem lastseitigen Stromrichterausgang (23) des Stromrichters (3) angeordnet ist und wobei eine Spannungsauswertung (SPW) vorgesehen ist, mittels der der bestimmte Gleichtaktspannungsanteil (UCMA) der Gleichtaktspannung (UCM) bei der ausgewählten niederen Frequenz ermittelbar ist.

13. Fehlerstromschutzvorrichtung (9) nach einem der Ansprüche 10 bis 12,
aufweisend eine Prozessoreinheit (20) mit der Stromauswertung (STW) und der Spannungsauswertung (SPW).

14. Fehlerstromschutzvorrichtung (9) nach Anspruch 13,
wobei die Prozessoreinheit (20) für eine Ansteuerung des gesteuerten Gleichrichters (21) und/oder des Wechselrichters (15) ausgebildet ist.

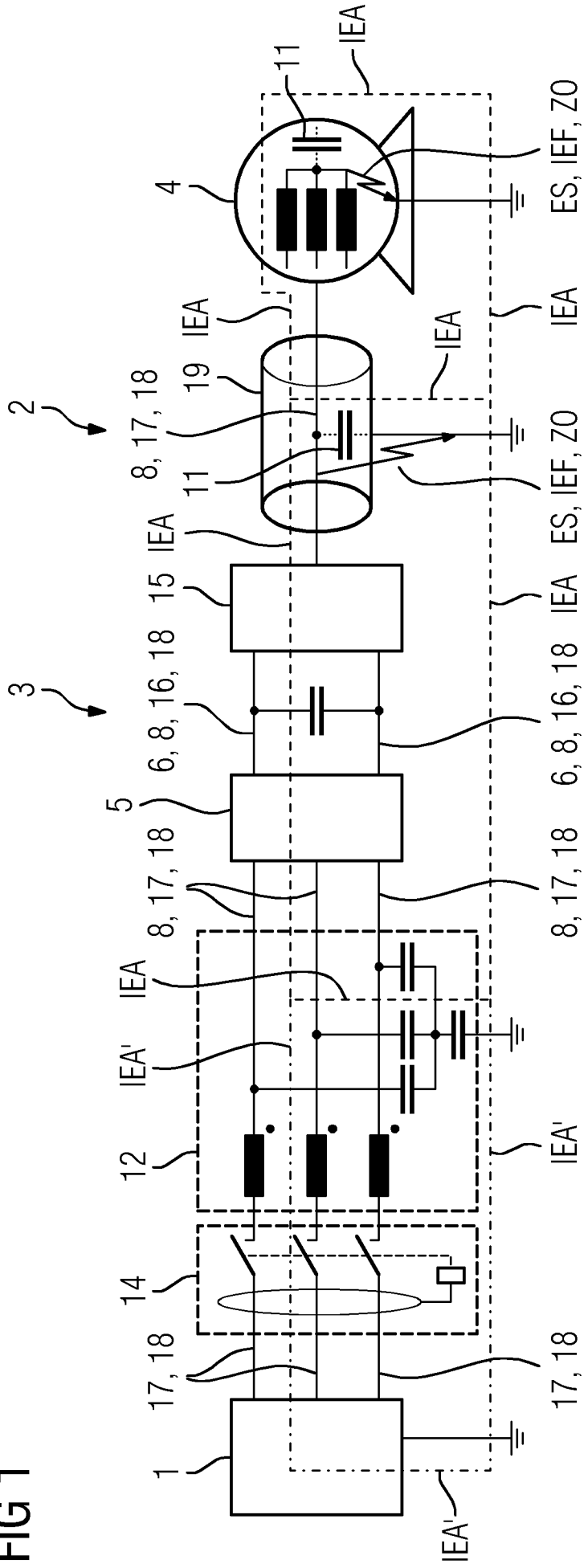
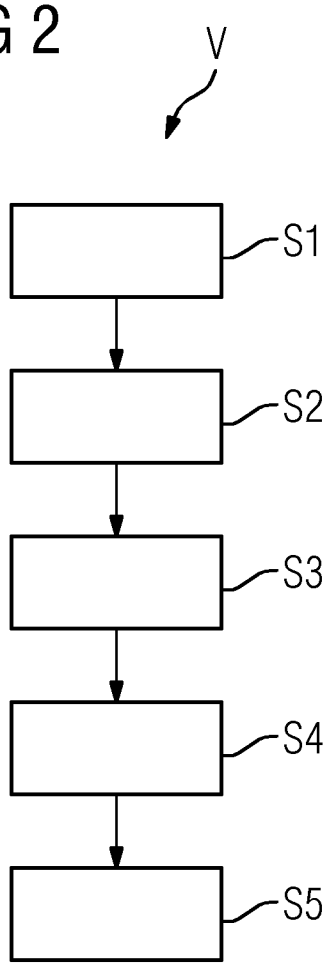

IEA
11
4
ES, IEF, ZO
IEA
IEA
IEA
19
8, 17, 18
2
11
ES, IEF, ZO
IEA
IEA
15
6, 8, 16, 18
3
6, 8, 16, 18
5
8, 17, 18
8, 17, 18
IEA
IEA'
12
IEA'
14
17, 18
17, 18
1
IEA'

FIG 1

FIG 2



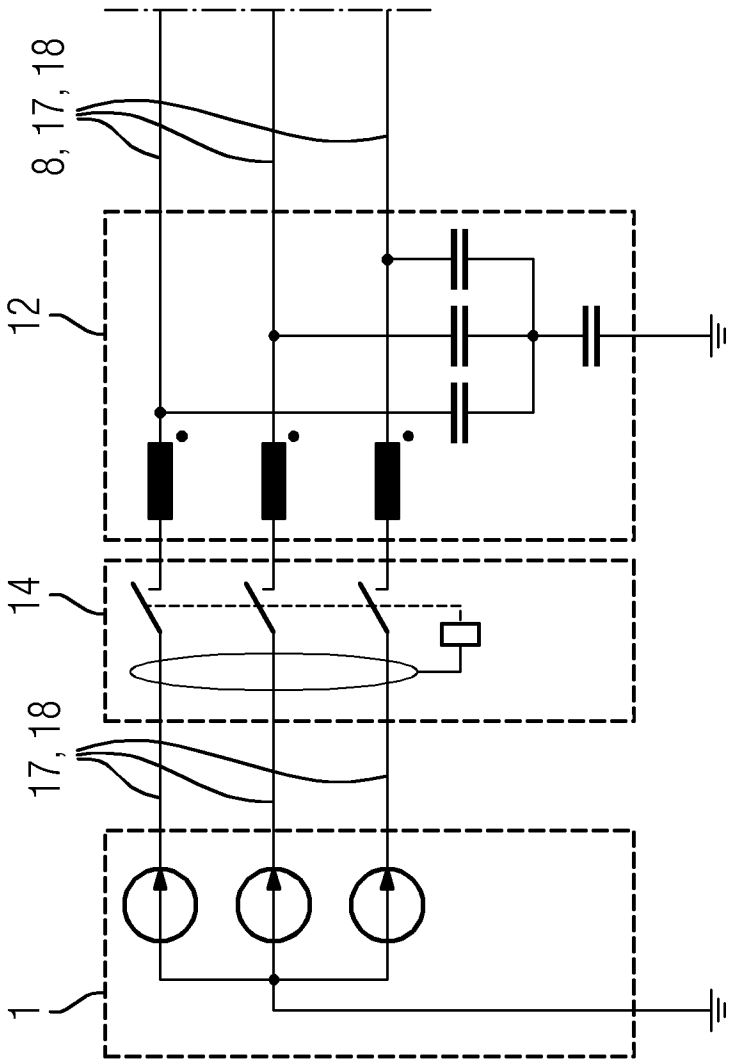


FIG 3A

FIG 3

FIG 3A	FIG 3B

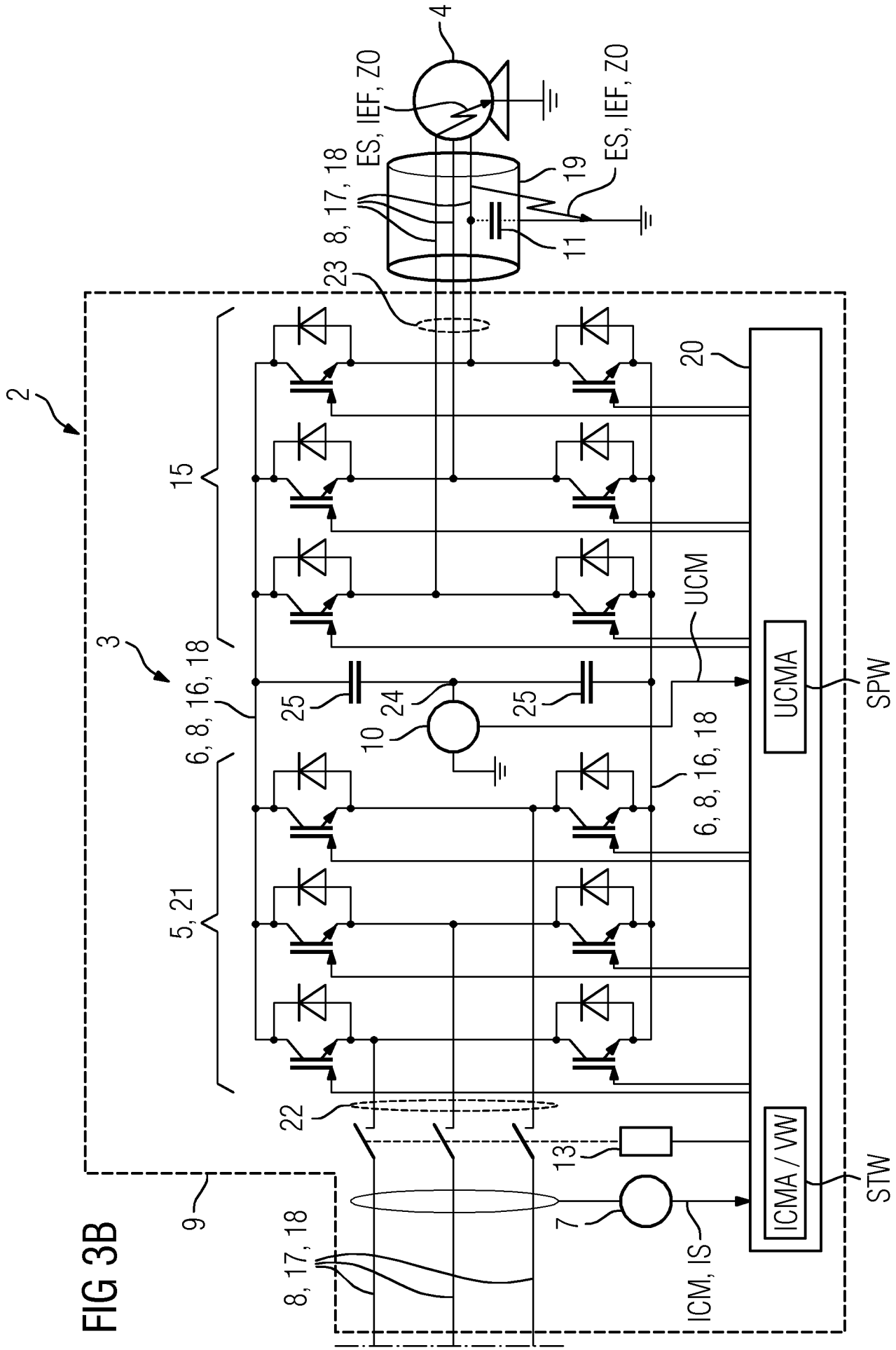

4
ES, IEF, ZO
ES, IEF, ZO
23
8, 17, 18
19
11
2
3
15
6, 8, 16, 18
25
24
25
10
UCM
20
UCMA
SPW
6, 8, 16, 18
5, 21
22
13
7
9
8, 17, 18
ICM, IS
ICMA / VW
STW

FIG 3B

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/070816

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H02H3/33 G01R31/02 H02H7/12
ADD.

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)
H02H G01R H02M

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	EP 2 568 560 A1 (SIEMENS AG [DE]) 13 March 2013 (2013-03-13)	1-5, 7-11,13, 14
A	abstract; figures 1-3 paragraphs [0002] - [0012], [0017] - [0019]	6,12

A	EP 1 229 629 A2 (CANON KK [JP]) 7 August 2002 (2002-08-07) abstract; figure 1	1-14

A	US 4 896 115 A (LEMAITRE PHILIPPE [FR] ET AL) 23 January 1990 (1990-01-23) the whole document	1-14

☐ 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
2 November 2017	14/11/2017

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Palukova, Mila

1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2017/070816

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 2568560 A1	13-03-2013	CN 103001187 A	27-03-2013
		CN 105591366 A	18-05-2016
		EP 2568560 A1	13-03-2013
		US 2013235618 A1	12-09-2013
EP 1229629 A2	07-08-2002	CN 1373368 A	09-10-2002
		EP 1229629 A2	07-08-2002
		JP 2002233045 A	16-08-2002
		KR 20020064680 A	09-08-2002
		US 2002105765 A1	08-08-2002
US 4896115 A	23-01-1990	DE 3882833 D1	09-09-1993
		DE 3882833 T2	24-02-1994
		EP 0297933 A1	04-01-1989
		ES 2043866 T3	01-01-1994
		FR 2616228 A1	09-12-1988
		US 4896115 A	23-01-1990

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2017/070816

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. H02H3/33 G01R31/02 H02H7/12
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
H02H G01R H02M

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	EP 2 568 560 A1 (SIEMENS AG [DE]) 13. März 2013 (2013-03-13)	1-5, 7-11,13, 14
A	Zusammenfassung; Abbildungen 1-3 Absätze [0002] - [0012], [0017] - [0019] -----	6,12
A	EP 1 229 629 A2 (CANON KK [JP]) 7. August 2002 (2002-08-07) Zusammenfassung; Abbildung 1 -----	1-14
A	US 4 896 115 A (LEMAITRE PHILIPPE [FR] ET AL) 23. Januar 1990 (1990-01-23) das ganze Dokument -----	1-14

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ 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
2. November 2017	14/11/2017

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	Palukova, Mila

1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2017/070816

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 2568560 A1	13-03-2013	CN 103001187 A	27-03-2013
		CN 105591366 A	18-05-2016
		EP 2568560 A1	13-03-2013
		US 2013235618 A1	12-09-2013
EP 1229629 A2	07-08-2002	CN 1373368 A	09-10-2002
		EP 1229629 A2	07-08-2002
		JP 2002233045 A	16-08-2002
		KR 20020064680 A	09-08-2002
		US 2002105765 A1	08-08-2002
US 4896115 A	23-01-1990	DE 3882833 D1	09-09-1993
		DE 3882833 T2	24-02-1994
		EP 0297933 A1	04-01-1989
		ES 2043866 T3	01-01-1994
		FR 2616228 A1	09-12-1988
		US 4896115 A	23-01-1990