



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

11 CH 693 524 A5

51 Int. Cl.⁷: H 02 M 007/539
H 02 P 007/63
H 02 H 009/00

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

12 PATENTSCHRIFT A5

21 Gesuchsnummer: 01463/94

22 Anmeldungsdatum: 11.05.1994

24 Patent erteilt: 15.09.2003

45 Patentschrift
veröffentlicht: 15.09.2003

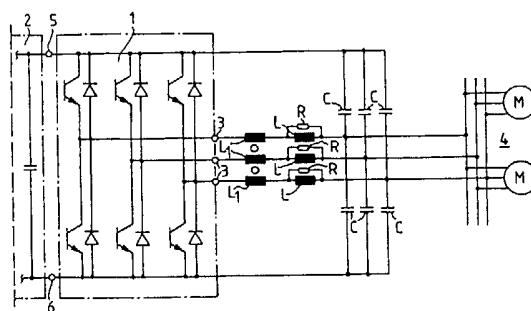
73 Inhaber:
Schaffner EMV AG, Nordstrasse 11,
4542 Luterbach (CH)

72 Erfinder:
Süsse, Heinz, Warstein (DE)
Stitz, Ullrich, Warstein (DE)

74 Vertreter:
Patents & Technology Surveys SA,
Rue des Terreaux 7, Case postale 2848,
2001 Neuchâtel (CH)

54 Einrichtung zur Begrenzung der Änderungsgeschwindigkeit der Ausgangsgrößen eines über einen Gleichspannungszwischenkreis selbstgeführten mehrphasigen Umrichters.

57 Die Einrichtung enthält Ausgangsklemmen (3) für den Anschluss von mindestens einer Drehfeldmaschine (4) sowie einen zwischen jeder Ausgangsklemme (3) und der mindestens einen Drehfeldmaschine (4) angeordneten LC-Tiefpass. Der Letztere ist als verlustbehafteter Tiefpass ausgebildet und weist entsprechende Widerstände (R) auf. Zwischen jeder Ausgangsklemme (3) und der mindestens einen Drehfeldmaschine (4) ist eine durch eine stromkompensierte Drossel (L_i) gebildete zusätzliche Induktivität vorgesehen.



Beschreibung

Die vorliegende Erfindung liegt auf dem Gebiet der Frequenzumrichter oder Wechselrichter, die seit einigen Jahren verstärkt zur Drehzahlregelung von Drehfeldmaschinen eingesetzt werden. Dabei werden vorwiegend so genannte U-Wechselrichter mit einem Gleichspannungs-Zwischenkreis verwendet. Der Letztere bildet aus der normalerweise konstanten Netzspannung eine Gleichspannung. Diese wird im Wechselrichter mittels Leistungshalbleiterschaltern geschaltet, wodurch das gewünschte dreiphasige Drehstromnetz mit veränderlicher Spannung und Frequenz bereitgestellt wird.

Als Leistungshalbleiter werden beispielsweise FETs oder IGBTs (Feldeffekt- bzw. Insulated-Gate-Bipolar-Transistoren) verwendet, also Bauteile, die zur Erzielung eines möglichst hohen Wirkungsgrades sehr schnell und mit sehr steilen Spannungsanstiegszeiten der Impulse arbeiten. Diese an sich vorteilhafte Eigenschaft führt zu folgenden Problemen beim Betrieb dieser Umrichter:

– Unzulässig hohe Beanspruchung der Isolation angeschlossener Drehfeldmaschinen durch sehr steile Spannungsimpulse (du/dt -Belastung): Insbesondere bei kürzeren Anschlusskabeln zu den angeschlossenen Drehfeldmaschinen gelangen sehr steile Spannungsimpulse an deren Wicklungsisolation. Dies führt zu einer ständig sehr hohen Umpolarisation innerhalb der Isolation, die zu Ausfällen aufgrund von Ermüdungserscheinungen der Wicklungsisolation und somit zur Reduzierung der Lebensdauer von Drehfeldmaschinen führt.

– Unzulässig hohe Beanspruchung der Isolation angeschlossener Drehfeldmaschinen durch Überspannungen bei längeren Anschlusskabeln: Je nach Leitungslänge zwischen Umrichter und Drehfeldmaschinen können infolge von Signallaufzeiten und Reflexionen der Impulse Überspannungen auftreten, die mehr als das Doppelte der Zwischenkreisspannung betragen können, dies führt ebenfalls zu einer unzulässigen Belastung der Wicklungsisolation, die die Lebensdauer eines Antriebs erheblich reduzieren kann.

– Unzulässige Beeinflussung oder Funktionsbeeinträchtigung benachbarter Baugruppen oder von zum Verbindungskabel zwischen Umrichter und Drehmaschinen parallel geführten Kabeln: Bedingt durch die physikalische Arbeitsweise der Umrichter, d.h. durch die sehr kurzen Spannungsanstiegs- und -abfallzeiten der Impulse, können über die kapazitive und induktive Kopplung sowie über Abstrahlung Beeinflussungen, insbesondere Fehlfunktionen oder Ausfälle, benachbarter elektrischer Baugruppen oder Geräte auftreten. Die vom Umrichter erzeugten Spannungsimpulse wirken nicht nur zwischen den angeschlossenen Leitungsadern (symmetrische Spannungen), sondern es treten auch Spannungssprünge gegenüber dem Erdpotenzial auf (unsymmetrische oder asymmetrische Störspannungen). Dies führt zu parasitären Störströmen im Erdungssystem, welche bei einem schlecht ausgeführten Erdungssystem benachbarte Baugruppen oder Kabel störend beeinflussen können.

Häufig werden zur Erfüllung der Normen bezüglich

Störfestigkeit und Funkentstörung zwischen Umrichter und Drehmaschinen geschirmte Verbindungskabel eingesetzt, durch welche die kapazitive Kopplung und damit die Beeinflussbarkeit benachbarter Kabel und Baugruppen reduziert werden soll. Dabei treten aber infolge der Koppelkapazität der geschirmten Verbindungskabel, das ist die Kapazität zwischen Einzeladern und Schirm, hochfrequente Ströme auf, welche im Kabelschirm fließen und über magnetische Kopplung Störströme in benachbarten Kabeln induzieren, was zu Beeinflussungen führen kann. Ausserdem kann sich auf Grund der hochfrequenten Ströme und der Länge des Kabels ein Teil der vorhandenen Störenergie in Form von Abstrahlung vom Kabel lösen und benachbarte Baugruppen und Geräte unzulässig beeinflussen. Dieser Effekt tritt natürlich auch bei ungeschirmten Kabeln auf.

– Unzulässige Beanspruchung der Leistungshalbleiter im Umrichter durch die ausgangsseitig angeschlossenen Leitungen zu den Drehfeldmaschinen: Bei längeren Verbindungskabeln zwischen Umrichter und Drehmaschinen werden die Leistungshalbleiter durch die Kabelkapazität zusätzlich mit Auf- und Entladeströmen belastet, welche der Umrichter zusätzlich zu den erforderlichen Betriebsströmen der Drehmaschinen liefern muss. Diese zusätzliche Belastung steigt umso mehr, je höher die Schaltfrequenz des Umrichters gewählt wird. Da heutige Umrichter zumeist kurzschlussfest sind oder zumindest über eine Stromregelung verfügen, muss für Anwendungen mit längeren Verbindungskabeln ein Umrichter gewählt werden, der diesen zusätzlichen symmetrischen Strom zwischen den Leitungen ungefährdet verarbeiten kann. Das bedeutet für den Anwender, dass er eventuell einen erheblich leistungsstärkeren und teureren Umrichter verwenden muss.

Bei geschirmten Verbindungskabeln kommt es schon bei mittleren Kabellängen zu unzulässigen Belastungen der Leistungshalbleiter, indem durch die Koppelkapazität des Kabelschirms unsymmetrische Ströme auftreten, welche die Leistungshalbleiter zusätzlich belasten.

Die Erfindung betrifft nun eine Einrichtung zur Begrenzung der Änderungsgeschwindigkeit der Ausgangsgrössen eines über einen Gleichspannungs-Zwischenkreis selbstgeführten mehrphasigen Umrichters welcher Ausgangsklemmen für den Anschluss von mindestens einer Drehfeldmaschine sowie einen zwischen jeder spannungsführenden Ausgangsklemme und der mindestens einen Drehfeldmaschine angeordneten LC-Tiefpass aufweist, wobei der benannte Umrichter an seinen Ausgangsklemmen ein dreiphasiges Drehstromnetz bereit stellt.

Bei einer aus der DE-A-4 135 680 bekannten Einrichtung dieser Art enthält der Tiefpass als Induktivitäten so genannte Stromanstiegsbegrenzungsdröseln, denen drei Zweige mit je zwei Dioden nachgeschaltet sind. Die Stromanstiegsbegrenzungsdröseln sind jeweils an das den Kathodenanschluss der einen Diode mit dem Anodenanschluss der anderen Diode eines Diodenzweigs verbindende Leitungsstück angeschlossen. Diese bekannte Einrich-

tung kann zwar einige der vorstehend aufgezählten Probleme, insbesondere die Beanspruchung der Isolation der angeschlossenen Drehfeldmaschinen durch steile Spannungsimpulse oder die Beanspruchung der Leistungshalbleiter durch die Verbindungskabel, merklich reduzieren, sie ist aber hinsichtlich anderer Probleme praktisch unwirksam. Dies hängt damit zusammen, dass diese Einrichtung im Wesentlichen nur auf die symmetrischen Spannungen, also auf die Spannungen zwischen den spannungsführenden Leitungen, wirkt und die unsymmetrischen Spannungen praktisch nicht beeinflusst.

Durch die Erfindung soll eine Einrichtung der genannten Art angegeben werden, die sowohl auf symmetrische als auch auf unsymmetrische Störspannungen wirkt und dadurch die eingangs genannten Probleme beseitigt oder zumindest ganz wesentlich reduziert.

Die erfindungsgemässe Lösung dieser Aufgabe ist dadurch gekennzeichnet, dass der LC-Tiefpass als verlustbehafteter Tiefpass ausgebildet ist und entsprechende Widerstände aufweist, und dass zwischen jeder spannungsführenden Ausgangsklemme und der mindestens einen Drehfeldmaschine eine durch eine stromkompensierte Drossel gebildete zusätzliche Induktivität angeordnet ist.

Die erfindungsgemässe Einrichtung reduziert die Anstiegs- und Abfallflanken der vom Umrichter erzeugten Spannungsimpulse, wodurch die Probleme mit der Beanspruchung der Isolation der Drehfeldmaschinen auf ein sinnvolles Mass reduziert werden. Gleichzeitig wirkt sie auf die unsymmetrischen Spannungen gegenüber dem Erdpotenzial, wodurch auch die durch diese unsymmetrischen Spannungen verursachten Störungen ausgeschaltet oder zumindest weit gehend reduziert werden.

Im Folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen und der Zeichnungen näher erläutert; dabei zeigt:

Fig. 1 eine Einrichtung zur Begrenzung der Änderungsgeschwindigkeit der Ausgangsspannung bei selbstgeführten Umrichtern mit einem verlustbehafteten Tiefpass; und

Fig. 2 bis 4 je ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemässen Verbesserung der Einrichtung von Fig. 1.

Fig. 1 zeigt einen zur Drehzahlregelung von Drehfeldmaschinen vorgesehenen Wechselrichter oder Frequenzumrichter 1, der an einen durch einen Kondensator symbolisierten Gleichspannungs-Zwischenkreis 2 angeschlossen ist. Dieser ist durch einen an das Versorgungsnetz mit üblicherweise konstanter Spannung und konstanter Frequenz angeschlossenen Netzgleichrichter (nicht dargestellt) gespeist. Der Umrichter 1 schaltet die Gleichspannung des Gleichspannungs-Zwischenkreises 2 mittels Leistungshalbleiterschaltern und stellt an seinen Ausgangsklemmen 3 für die angeschlossenen Drehfeldmaschinen 4 (z.B. Motoren M) das gewünschte dreiphasige Drehstromnetz mit veränderlicher Frequenz und Spannung bereit. Wenn in dieser Beschreibung von Drehfeldmaschinen oder von

Drehfeldmaschine die Rede ist, dann ist immer beides, sowohl eine einzelne Maschine als auch eine Maschinengruppe, gemeint.

Als Leistungshalbleiterschalter werden beispielsweise FETs oder IGBTs verwendet, die sehr schnell und mit sehr steilen Anstiegsflanken der Impulse arbeiten. Dadurch werden zwar die Verluste im Umrichter 1 möglichst gering gehalten, sodass mit einem sehr hohen Wirkungsgrad gearbeitet werden kann, es ergeben sich aber die vorne in der Beschreibungseinleitung aufgezählten nachteiligen Probleme. Ein Teil lässt sich durch das Einfügen eines verlustbehafteten LC-Tiefpasses mit Induktivitäten L, Kapazitäten C und Widerständen R in das Verbindungskabel zwischen den Ausgangsklemmen 3 des Umrichters 1 und den Drehfeldmaschinen 4 eliminieren. Dabei können die Kapazitäten C sowohl in Y- als auch in Δ -Form geschaltet sein; das gilt auch für die in den Fig. 2 und 4 dargestellten Ausführungsbeispiele.

Der Tiefpass ermöglicht eine Reduzierung der Anstiegs- und Abfallzeiten der einzelnen Rechteck-Spannungsimpulse, mit denen die Drehfeldmaschinen 4 gespeist werden. Bedingt durch die Bemessung des Tiefpasses ergeben sich hierbei mehr oder weniger starke Überschwinger der Spannungsimpulse. Die in der Figur dargestellte Schaltung, die auf die symmetrischen Spannungen zwischen den spannungsführenden Leitungen wirkt, wird speziell dann angewendet, wenn eine hohe Dynamik des Antriebs erforderlich ist und zusätzliche Spannungsabfälle an der Drossel L wegen ihrer die Ausgangsleistung für den Antrieb reduzierenden Wirkung unerwünscht sind. Die Drossel wird also zur Begrenzung des Spannungsabfalls eine entsprechend relativ geringe Induktivität aufweisen müssen.

Die durch Potenziälsprünge am Ausgang des Umrichters 1 erzeugten unsymmetrischen Spannungen gegenüber dem Erdpotenzial bleiben bei der dargestellten Schaltung weitestgehend erhalten. Man könnte zwar theoretisch mit relativ hohen Induktivitätswerten die Spannungsanstiegszeiten wesentlich verlängern, was aber die Verwendung voluminöser und teurer Induktivitäten erfordern würde. Ausserdem würde durch den Einsatz grosser Induktivitäten an diesen ein relativ grosser Spannungsabfall hervorgerufen, der seinerseits die für die Drehfeldmaschine zur Verfügung stehende Spannung und damit deren Antriebsleistung reduzieren würde.

Fig. 2 zeigt eine Variante, die alle vorne diskutierten nachteiligen Eigenschaften der bekannten Umrichter weit gehend beseitigt. Darstellungsgemäss ist zwischen jede Ausgangsklemme 3 und die Drehfeldmaschine 4 eine stromkompensierte Drossel L_1 eingefügt. Ausserdem ist der Sternpunkt, zu dem die Kondensatoren C zusammengeführt sind, über eine weitere Kapazität C_e mit dem Erdpotenzial verbunden. Mit dieser Schaltung können die unsymmetrischen Spannungen gegenüber dem Erdpotenzial weitestgehend reduziert werden. Bei längeren Verbindungsleitungen zwischen Umrichter 1 und Drehfeldmaschine 4 kann die Kapazität C_e weggelassen werden, da dann die längeren Kabel eine entsprechend höhere Kapazität aufweisen.

Stromkompensierte Drosseln sind so ausgebildet,

dass bei normalem Betriebsstrom (Motorstrom) die im Kern erzeugten magnetischen Flüsse sich gegenseitig aufheben und die Induktivitäten praktisch wirkungslos sind. Fließen jedoch unsymmetrische Ströme gegenüber Erdpotenzial ab oder an den Gleichspannungs-Zwischenkreis 2 zurück, so ist die Summe der gesamten Ströme ungleich, und die magnetischen Ströme heben sich nicht mehr auf. Ein besonderer Vorteil dieser stromkompensierten Drosseln liegt darin, dass bei relativ kleinem Bauvolumen hohe Induktivitätswerte erreicht werden können, wobei selbstverständlich die Grösse der Induktivität auf die auftretenden unsymmetrischen Ströme ausgelegt sein muss. Da diese stromkompensierten Drosseln für den normalen Betriebsstrom nur vernachlässigbar geringe Spannungsabfälle erzeugen, kann durch geeignete Dimensionierung des jeweiligen Tiefpasses eine für alle aufgezählten nachteiligen Probleme wirksame kompakte Einrichtung erstellt werden.

Bei der in Fig. 3 dargestellten Variante der Einrichtung von Fig. 2 sind die für den verlustbehafteten Tiefpass erforderlichen Widerstände R nicht in Reihe mit den Kapazitäten C, sondern parallel zu den Drosseln L geschaltet. Ausserdem unterscheidet sich die Anordnung der Kapazitäten C von derjenigen von Fig. 2. Darstellungsgemäss ist den beiden Induktivitäten L und L_1 ein Kapazitätsnetzwerk mit drei Zweigen nachgeschaltet, von denen jeder aus zwei in Reihe geschalteten Kondensatoren C besteht. Jede der spannungsführenden Leitungen zwischen den Induktivitäten L, L_1 und der Drehfeldmaschine 4 ist an den Mittelpunkt eines der Zweige des Kapazitätsnetzwerks geführt. Die Anschlüssen der Zweige des Kapazitätsnetzwerks sind auf den Plus- oder den Minusanschluss 5 bzw. 6 des Gleichspannungs-Zwischenkreises 2 geführt.

Bei dem in Fig. 4 dargestellten Ausführungsbeispiel sind im Unterschied zum Ausführungsbeispiel von Fig. 2 in die Verbindung zwischen den Ausgangsklemmen 3 des Umrichters 1 und der Drehfeldmaschine 4 zusätzliche Begrenzungsdioden D, so genannte Clamping-Dioden, geschaltet, welche eventuell vorhandene Überspannungen auf den Leitungen begrenzen. Ohne Einbau der stromkompensierten Drosseln L_1 in die Schaltung könnten in den Dioden D bei Verwendung von Drosseln L mit einer relativ kleinen Induktivität durch unsymmetrische Spannungen sehr hohe Schaltströme und damit auch hohe Verlustleistungen erzeugt werden. Die stromkompensierten Drosseln L_1 reduzieren hier zusätzlich zu den Anstiegs- und Abfallzeiten der unsymmetrischen Spannungen auch die Schaltströme in den Dioden D und machen somit deren Verwendung erst möglich.

Patentansprüche

1. Einrichtung zur Begrenzung der Änderungsgeschwindigkeit der Ausgangsgrössen eines über einen Gleichspannungs-Zwischenkreis selbstgeführten mehrphasigen Umrichters, welcher Ausgangsklemmen für den Anschluss von mindestens einer Drehfeldmaschine sowie einen zwischen jeder spannungsführenden Ausgangsklemme und der mindes-

tens einen Drehfeldmaschine angeordneten LC-Tiefpass aufweist, wobei der benannte Umrichter an seinen Ausgangsklemmen ein dreiphasiges Drehstromnetz bereitstellt, dadurch gekennzeichnet, dass der LC-Tiefpass als verlustbehafteter Tiefpass ausgebildet ist und entsprechende Widerstände (R) aufweist, und dass zwischen jeder spannungsführenden Ausgangsklemme (3) und der mindestens einen Drehfeldmaschine (4) eine durch eine stromkompensierte Drossel (L_1) gebildete zusätzliche Induktivität vorgesehen ist.

2. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Drossel (L) des LC-Tiefpasses und die stromkompensierte Drossel (L_1) in Reihe geschaltet sind, wobei die Reihenfolge beliebig ist.

3. Einrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass von jeder spannungsführenden Leitung zwischen den Drosseln (L, L_1) und der mindestens einen Drehfeldmaschine (4) ein Zweig mit einer Reihenschaltung eines Kondensators (C) und eines Widerstandes (R) des verlustbehafteten LC-Tiefpasses abzweigt, und dass die Zweige an ihrem anderen Ende auf einen Sternpunkt zusammengeführt sind.

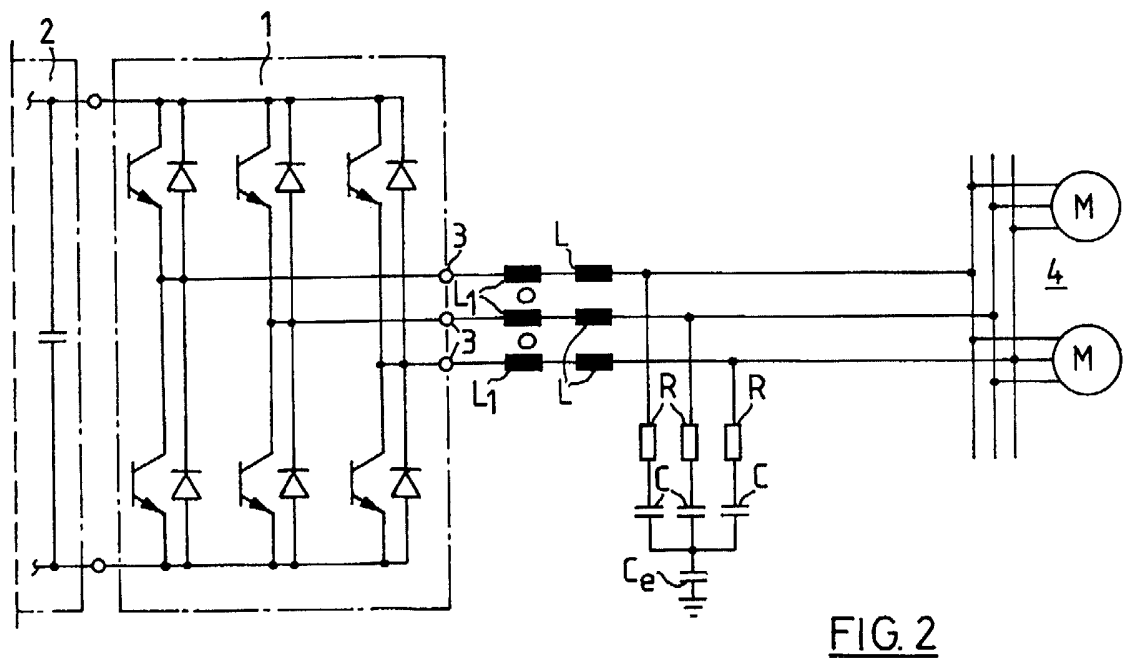
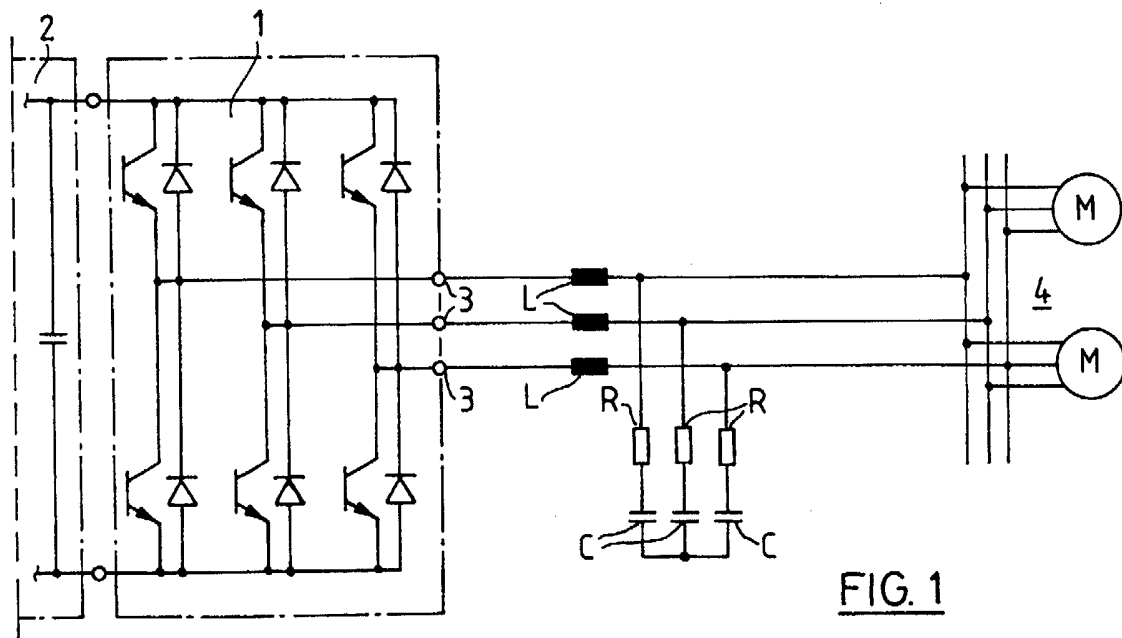
4. Einrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Sternpunkt über einen weiteren Kondensator (C_e) mit dem Erdpotenzial verbunden ist.

5. Einrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass in die Verbindung zwischen den spannungsführenden Anschlussklemmen (3) des Umrichters (1) und der mindestens einen Drehfeldmaschine (4) eine Diodenbrückenschaltung mit Anschluss an den Gleichspannungszwischenkreis zur Begrenzung von Überspannungen geschaltet ist.

6. Einrichtung nach Anspruch 3 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Kondensatoren (C) des LC-Tiefpasses in Y oder in Δ -Form geschaltet sind.

7. Einrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Widerstände (R) des verlustbehafteten LC-Tiefpasses parallel zu dessen Drosseln (L) geschaltet sind, und dass jede spannungsführende Leitung zwischen den Drosseln (L, L_1) und der mindestens einen Drehfeldmaschine (4) an den Mittelpunkt eines zwei in Reihe geschaltete Kondensatoren (C) enthaltenden Zweiges geführt ist.

8. Einrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, in welcher genau drei genannte Leitungen zwischen dem genannten Umrichter und der genannten Drehfeldmaschine geführt werden.



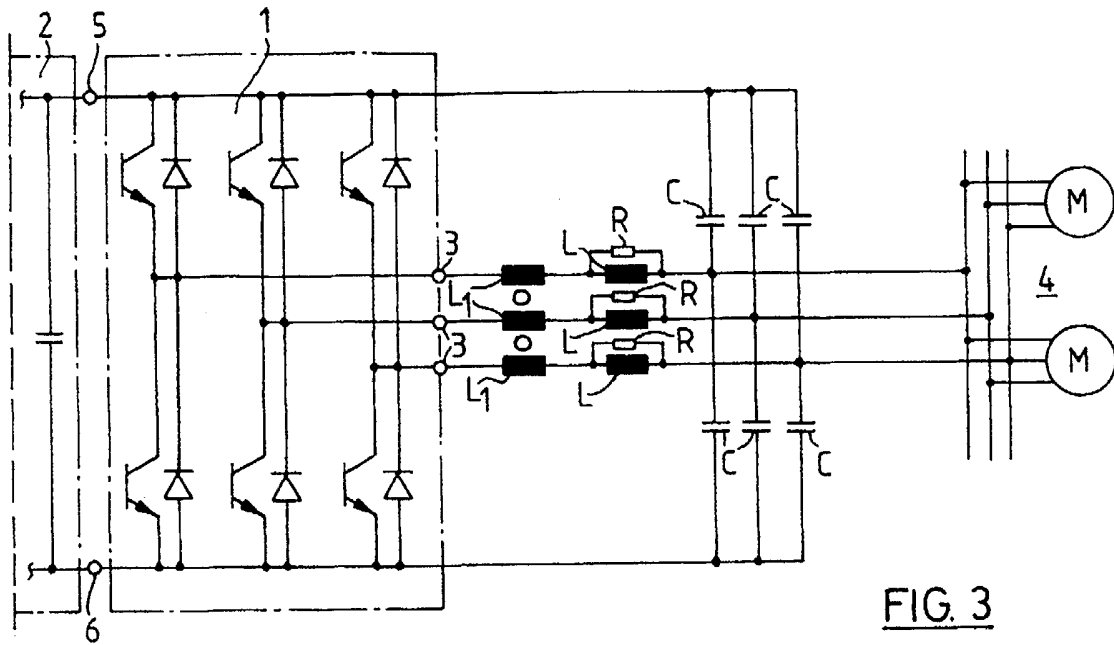


FIG. 3

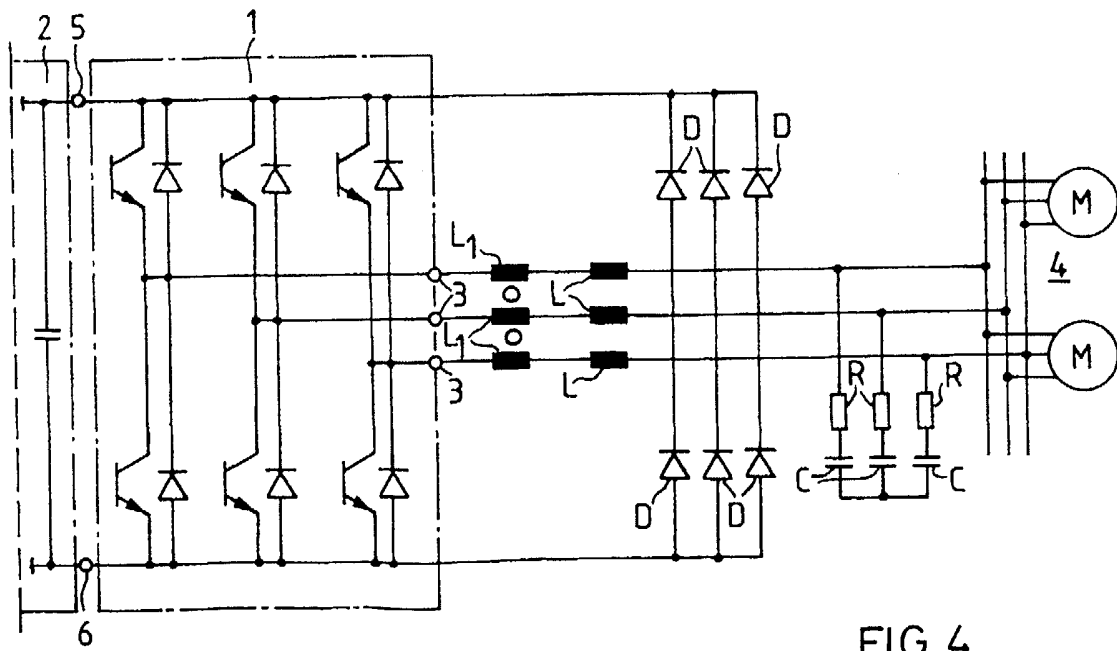


FIG. 4