

SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 708 510 B1

(51) Int. Cl.: H02M 7/797 (2006.01)

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) **PATENTSCHRIFT**

(21) Anmeldenummer: 01544/13

(73) Inhaber:
ETH Zürich ETH Transfer, HG E 47-49 Rämistrasse 101
8092 Zürich ETH-Zentrum (CH)

(22) Anmeldedatum: 09.09.2013

(72) Erfinder:
Johann Walter Kolar, 8044 Zürich (CH)
Patricio Cortes Estay, 8047 Zürich (CH)

(43) Anmeldung veröffentlicht: 13.03.2015

(24) Patent erteilt: 14.07.2017

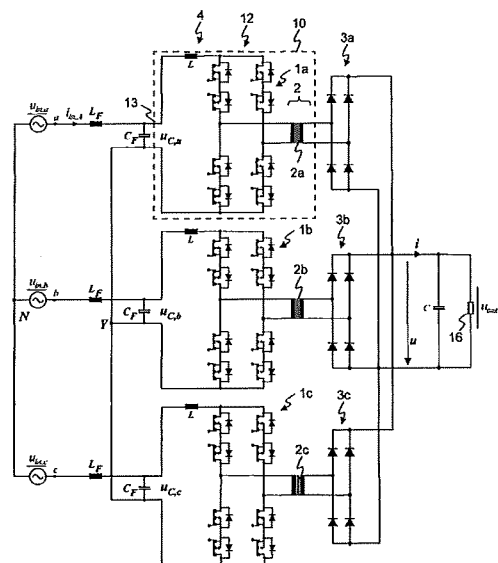
(74) Vertreter:
Frei Patentanwaltsbüro AG, Postfach 1771
8032 Zürich (CH)

(45) Patentschrift veröffentlicht: 14.07.2017

(54) **Elektronischer Leistungswandler.**

(57) Der erfindungsgemässe elektronische Leistungswandler dient zur Leistungsübertragung von einer mehrphasigen Primärseite an eine Sekundärseite oder umgekehrt.

- Der Leistungswandler weist für jede der Phasen einen Transformator (2a, 2b, 2c) auf, wobei jeweils eine primärseitige Wicklung eines Transformators (2a, 2b, 2c) an eine zugeordnete Schalteinrichtung (1a, 1b, 1c) angeschlossen ist und wobei sekundärseitige Wicklungen der Transformatoren (2a, 2b, 2c) parallel geschaltet sind, wodurch ein Summenstrom (i) der sekundärseitigen Wicklungen bildbar ist.
- Es ist für jede der Phasen die Schalteinrichtung (1a, 1b, 1c) dazu eingerichtet, einen zugeordneten Phasenstrom oder den negativen Phasenstrom oder den Strom Null in die primärseitige Wicklung des zugeordneten Transformators (2a, 2b, 2c) einzuprägen.
- Der Leistungswandler weist in jeder der Phasen ein Glättungselement (4) zum Einprägen und Glätten eines primärseitigen Stroms auf.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft das Gebiet der leistungselektronischen Schaltungen und bezieht sich auf einen AC/DC-Konverter zur Leistungsübertragung von einer mehrphasigen Primärseite an eine Sekundärseite oder umgekehrt.

[0002] Schaltungen zum Gleichrichten einer Dreiphasen-Netzspannung sind bekannt. In den folgenden Artikeln werden phasenmodulare Gleichrichter mit Leistungsfaktorkorrektur (PFC) vorgestellt, bei denen einer Wechselspannungsphase jeweils ein Phasenmodul zugeordnet ist, mit welchem über einen Phasenumrichter und einen Phasentransformator eine Wechselspannung erzeugt wird. Die Wechselspannungen der Phasentransformatoren werden durch Serieschaltung an Ausgangsseiten der Phasentransformatoren addiert. Eingangsseitig können die Phasenmodule eine Sternschaltung bilden.

- M. A. de Rooij, J. A. Ferreira, and J. D. Van Wyk, «A three phase, soft switching, transformer isolated, unity power factor front end converter», in 29th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference (PESC98), vol. 1, 1998, pp. 798–804.
- Y. K. E. Ho, S. Hui, and Y. S. Lee, «Characterization of single-stage three-phase power-factor-correction circuit using modular single-phase pwm dc-to-dc converters», IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 15, no. 1, pp. 62–71, 2000.
- W. Phipps, R. Duke, and M. J. Harrison, «A proposal for a new generation power converter with pseudo-derivative control», in 28th Annual International Telecommunications Energy Conference (INTELEC'06), 2006, pp. 1–5.

[0003] Es ist Aufgabe der Erfindung, einen elektronischen Leistungswandler zur Leistungsübertragung von einer mehrphasigen Primärseite an eine Sekundärseite oder umgekehrt zu schaffen, welche eine Alternative zu herkömmlichen Wandlern bietet.

[0004] Die Aufgabe wird durch einen elektronischen Leistungswandler gemäss dem unabhängigen Anspruch 1 gelöst.

[0005] Der elektronische Leistungswandler dient zur Leistungsübertragung von einer mehrphasigen Primärseite an eine Sekundärseite oder umgekehrt.

- Es weist der Leistungswandler für jede der Phasen einen Transformator auf, wobei jeweils eine primärseitige Wicklung eines Transformators an eine zugeordnete Schalteinrichtung angeschlossen ist und wobei sekundärseitige Wicklungen der Transformatoren entweder parallel geschaltet sind oder jeweils an einen Eingang einer Gleichrichterschaltung angeschlossen sind, und Ausgänge der Gleichrichterschaltungen der Phasen parallel geschaltet sind, wodurch ein Summenstrom zur Speisung einer Last bildbar ist.
- Es ist für jede der Phasen die Schalteinrichtung dazu eingerichtet, einen zugeordneten Phasenstrom oder den negativen Phasenstrom oder den Strom Null in die primärseitige Wicklung des zugeordneten Transformators einzuprägen.
- Es weist der Leistungswandler in jeder der Phasen ein Glättungselement zum Einprägen eines primärseitigen Stroms in die jeweilige Schalteinrichtung auf.

[0006] Die Phasenmodule des Leistungswandlers arbeiten dabei typischerweise als Hochsetzsteller (boost-type converter).

[0007] Im Folgenden wird der Erfindungsgegenstand anhand von bevorzugten Ausführungsbeispielen, welche in den beiliegenden Zeichnungen dargestellt sind, näher erläutert. Es zeigen die Fig. 1 und 2 Schaltungen von elektronischen Leistungswandlern gemäss der Erfindung. Fig. 3 bis 6 zeigen verschiedene Ausführungsformen von darin verwendbaren Phasenmodulen. Grundsätzlich sind in den Figuren gleiche oder gleich wirkende Teile mit gleichen Bezugszeichen versehen.

[0008] Die Fig. 1 und 2 zeigen Leistungswandler mit einzelnen Phasenmodulen. Jeweils ein Phasenmodul ist an eine Phase a, b, c eines Wechselspannungssystems mit Phasenspannungen $u_{in,a}$, $u_{in,b}$, $u_{in,c}$ bezüglich eines wechsellspannungsseitigen Eingangssternpunktes N angeschlossen.

[0009] Der Einfachheit halber, weil oftmals ein Leistungsfluss von einer Quelle oder einem Netz an der Primärseite zu einer Last an der Sekundärseite stattfindet, wird hier die Primärseite auch als Eingangsseite oder Eingang bezeichnet, und die Sekundärseite als Ausgangsseite oder Ausgang. Ungeachtet dessen kann mit den beschriebenen Schaltungen auch ein Leistungsfluss in der Gegenrichtung stattfinden, sofern die Schalteinrichtungen entsprechend mit aktiven Schaltelementen ausgeführt sind.

[0010] Fig. 1 zeigt einen elektronischen Leistungswandler 1 mit drei Transformatoren 2a, 2b, 2c mit Übersetzungsverhältnis N_1/N_2 , wobei jeweils eine primärseitige Wicklung eines Transformators 2a, 2b, 2c an eine zugeordnete Schalteinrichtung 1a, 1b, 1c angeschlossen ist. Jeweils eine Schalteinrichtung 1a, 1b, 1c und ein dazugehöriger Transformator 2a, 2b, 2c bilden ein Phasenmodul 10. In der Fig. 1 ist beispielhaft ein Phasenmodul 10 strichliert umrandet.

[0011] Für jede der Phasen ist die Schalteinrichtung 1a, 1b, 1c dazu eingerichtet, den jeweilig zugeordneten, in der Regel der Phasenspannung $u_{C,a}$, $u_{C,b}$, $u_{C,c}$ proportionalen Strom oder den negativen Strom oder den Strom Null in die primärseitige Wicklung des zugeordneten Transformators 2a, 2b, 2c einzuprägen. Im gezeigten Beispiel ist dazu ein Matrixumrichter gezeigt. In die Schalteinrichtung 1a, 1b, 1c und jeweils eine Eingangsfilterkapazität C_F fliesst von der Primärseite her gesehen jeweils ein Eingangsphasenstrom $i_{in,A}$, $i_{in,B}$, $i_{in,C}$.

[0012] Eine Eingangsfilterkapazität C_F kann zur Ausfilterung eines schaltfrequenten Rippels des jeweiligen Brücken-Eingangstromes angeordnet sein. Im gezeigten Beispiel ist diese Eingangsfilterkapazität C_F zwischen einem Eingangsphasenanschluss 13 und einem gemeinsamen Sternpunkt Y der Schalteinrichtungen 1a, 1b, 1c eingezeichnet.

[0013] Eine Eingangsfilterinduktivität L_F kann zur Glättung eines jeweiligen Eingangsphasenstromes vorliegen; an Anschlusspunkten zwischen den Eingangsfilterinduktivitäten L_F und den Schalteinrichtungen 1a, 1b, 1c sind die Eingangsfilterkapazitäten C_F angeschlossen.

[0014] Weitere Induktivitäten oder Glättungs-Induktivitäten L bilden jeweils Glättungselemente 4 für die Schalteinrichtungen 1a, 1b, 1c. Diese Glättungs-Induktivitäten L sind zwischen dem Anschluss der jeweiligen Eingangsfilterkapazität C_F und der jeweiligen Schalteinrichtung 1a, 1b, 1c angeordnet. Eine solche Glättungs-Induktivität L prägt also der jeweiligen Schalteinrichtung 1a, 1b, 1c einen Strom ein, im Gegensatz zu der Eingangsfilterinduktivität L_F , deren Strom sich auf die Schalteinrichtung 1a, 1b, 1c und die Eingangsfilterkapazität C_F auf.

[0015] Die sekundärseitigen Wicklungen der Transformatoren 2a, 2b, 2c sind jeweils auf einen Eingang eines Gleichrichters 3a, 3b, 3c zum Gleichrichten der Ströme in den sekundärseitigen Wicklungen geschaltet. Die Ausgänge der Gleichrichter sind parallel geschaltet. Diese Spannung wird auch als sekundärseitige Spannung u des Leistungswandlers bezeichnet. Ein sekundärseitiger Strom i ist durch Addition der gleichgerichteten Ströme durch die sekundärseitigen Wicklungen der Transformatoren 2a, 2b, 2c gebildet. Eine Ausgangsfilterkapazität C kann als Glättungskapazität zum Bilden einer geglätteten Ausgangsspannung u_{out} an einer Last 16 angeordnet sein.

[0016] Fig. 2 zeigt, ausgehend von der Topologie der Fig. 1, eine Variante des elektronischen Leistungswandlers. Es werden daher nur die Unterschiede beschrieben: Die sekundärseitigen Wicklungen der Transformatoren 2a, 2b, 2c sind parallel zueinander geschaltet. Es liegen also keine dazwischengeschalteten Gleichrichter zwischen den sekundärseitigen Wicklungen und der Parallelschaltung vor. An der Parallelschaltung liegt die sekundärseitige Spannung u des Leistungswandlers an.

[0017] Die Variante weist ferner eine Last 16 an einem Serien-LC-Resonanzkreis auf. Der Serien-LC-Resonanzkreis weist eine Resonanzkreisinduktivität L_R und eine Resonanzkreisinduktivität L_R auf. Die Resonanzkreisinduktivität L_R ist in Serie zu der im Wesentlichen ohmschen Last 16 geschaltet. Damit ist bei entsprechender Betriebsfrequenz die Spannung u_{out} über der Last im Wesentlichen unabhängig vom Widerstand der Last 16. Die Last wird resonant mit der sekundärseitigen Spannung u des Leistungswandlers gespeist. Dabei entfällt also die Gleichrichtung der Spannungen und vereinfacht sich die Schaltung.

[0018] Im Zusammenhang mit der hier beschriebenen Erfindung ist die Kombination mit einem Serien-LC-Resonanzkreis wie oben beschrieben vorteilhaft, da dessen Kapazität gleichzeitig auch zur Glättung respektive Einprägung der sekundärseitigen Spannung u dient. Dadurch vereinfacht sich der Aufbau der kombinierten Schaltung noch weiter.

[0019] Fig. 3 zeigt ein Phasenmodul vom Typ eines Matrixumrichters, wie er in den Schaltungen der Fig. 1 und Fig. 2 eingesetzt ist.

[0020] Fig. 4 zeigt als alternative Form eines Phasenmoduls einen Umrichter vom indirekten Matrix-Typ mit einer Gleichrichterbrücke 41 und einer aktiven Brückenschaltung 42, sowie mit der Glättungs-Induktivität L (auch Hochsetz-Induktivität oder «boost inductor» genannt) am Eingang des Phasenmoduls, also vor der Gleichrichterbrücke 41.

[0021] Fig. 5 zeigt als weitere alternative Form eines Phasenmoduls einen Umrichter vom indirekten Matrix-Typ, wobei die Glättungs- oder Hochsetz-Induktivität L zwischen der Gleichrichterbrücke 41 und der aktiven Brückenschaltung 42 angeordnet ist.

[0022] Fig. 6 zeigt als weitere alternative Form eines Phasenmoduls, mit mehreren in Serie geschalteten Teil-Umrichtern, hier beispielhaft Matrixumrichtern. Die Eingänge sind an den jeweiligen Phaseneingang und den gemeinsamen Sternpunkt angeschlossen. Die Ausgänge können, wie in der Fig. 1, an einen jeweils zugeordneten Diodengleichrichter angeschlossen sein.

Patentansprüche

- Elektronischer Leistungswandler zur Leistungsübertragung von einer mehrphasigen Primärseite an eine Sekundärseite oder umgekehrt, wobei
 - der Leistungswandler für jede der Phasen einen Transformator (2a, 2b, 2c) aufweist, wobei jeweils eine primärseitige Wicklung eines Transformators (2a, 2b, 2c) an eine zugeordnete Schalteinrichtung (1a, 1b, 1c) angeschlossen ist und wobei sekundärseitige Wicklungen der Transformatoren (2a, 2b, 2c) entweder parallel geschaltet sind oder jeweils an einen Eingang einer Gleichrichterschaltung (3a, 3b, 3c) angeschlossen sind, und Ausgänge der Gleichrichterschaltungen der Phasen parallel geschaltet sind, wodurch ein Summenstrom (i) zur Speisung einer Last (16) bildbar ist;
 - für jede der Phasen die Schalteinrichtung (1a, 1b, 1c) dazu eingerichtet ist, einen zugeordneten Phasenstrom oder den negativen Phasenstrom oder den Strom Null in die primärseitige Wicklung des zugeordneten Transformators (2a, 2b, 2c) einzuprägen;
 - der Leistungswandler in jeder der Phasen ein Glättungselement (4) zum Einprägen und Glätten eines primärseitigen Stroms aufweist.

CH 708 510 B1

2. Elektronischer Leistungswandler gemäss Anspruch 1, wobei die sekundärseitigen Wicklungen der Transformatoren (2a, 2b, 2c) jeweils an einen Eingang einer der Gleichrichterschaltungen (3a, 3b, 3c) angeschlossen sind, und die Parallelschaltung der Ausgänge der Gleichrichterschaltungen der Phasen eine Parallelschaltung aufweisend eine Ausgangsfilterkapazität C und eine Last (16) speist.
3. Elektronischer Leistungswandler gemäss Anspruch 1, wobei die sekundärseitigen Wicklungen der Transformatoren (2a, 2b, 2c) parallel geschaltet sind und die Parallelschaltung der sekundärseitigen Wicklungen der Transformatoren (2a, 2b, 2c) auf einen Serien-LC-Resonanzkreis geführt ist, mit einer im Wesentlichen ohmschen Last (16) in Serie zur Induktivität respektive einer Resonanzkreisspule L_R des Resonanzkreises.

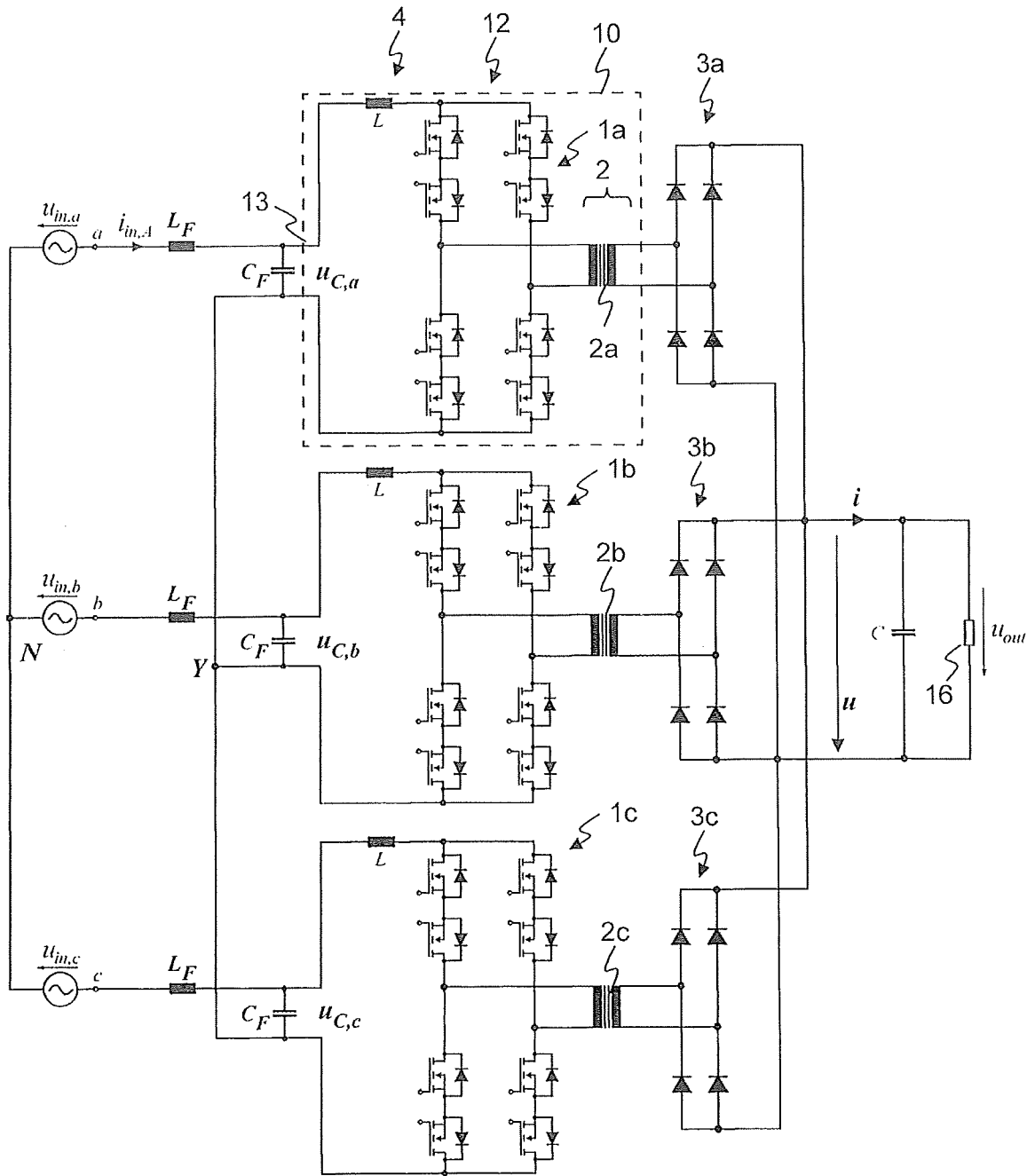


Fig. 1

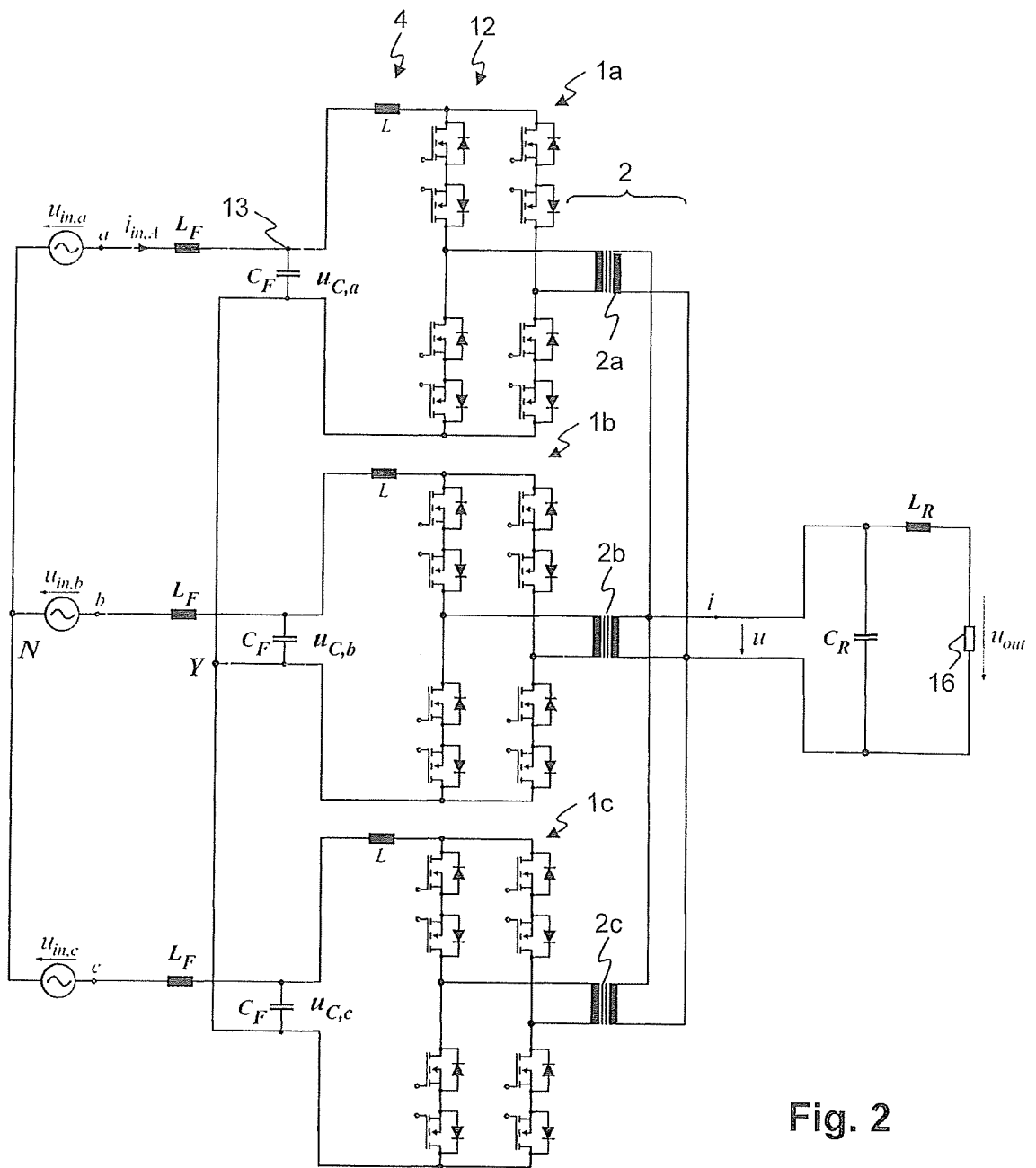


Fig. 2

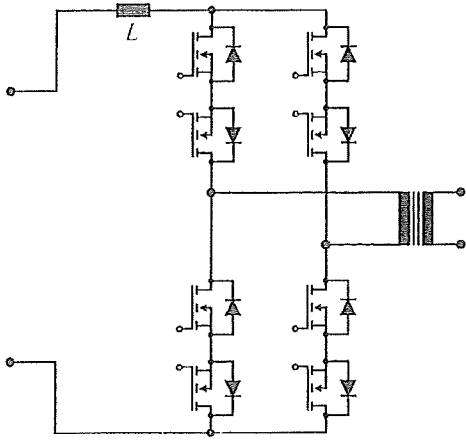


Fig. 3

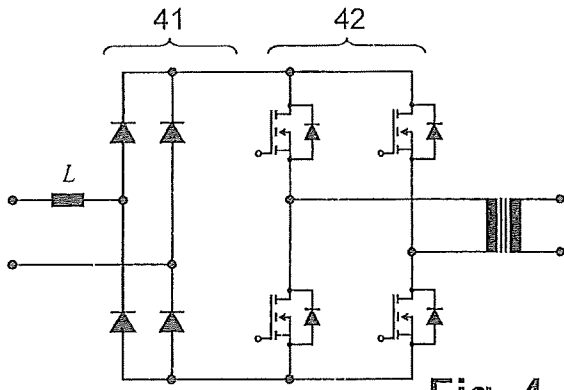


Fig. 4

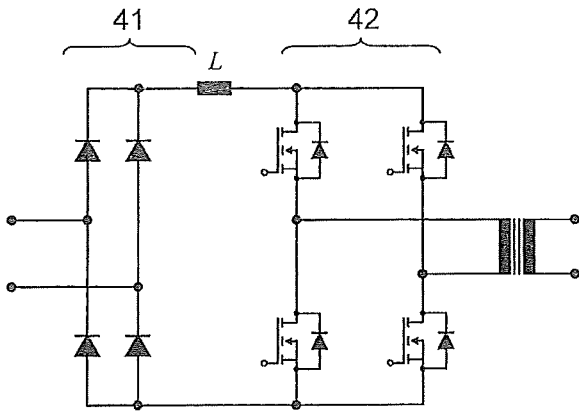


Fig. 5

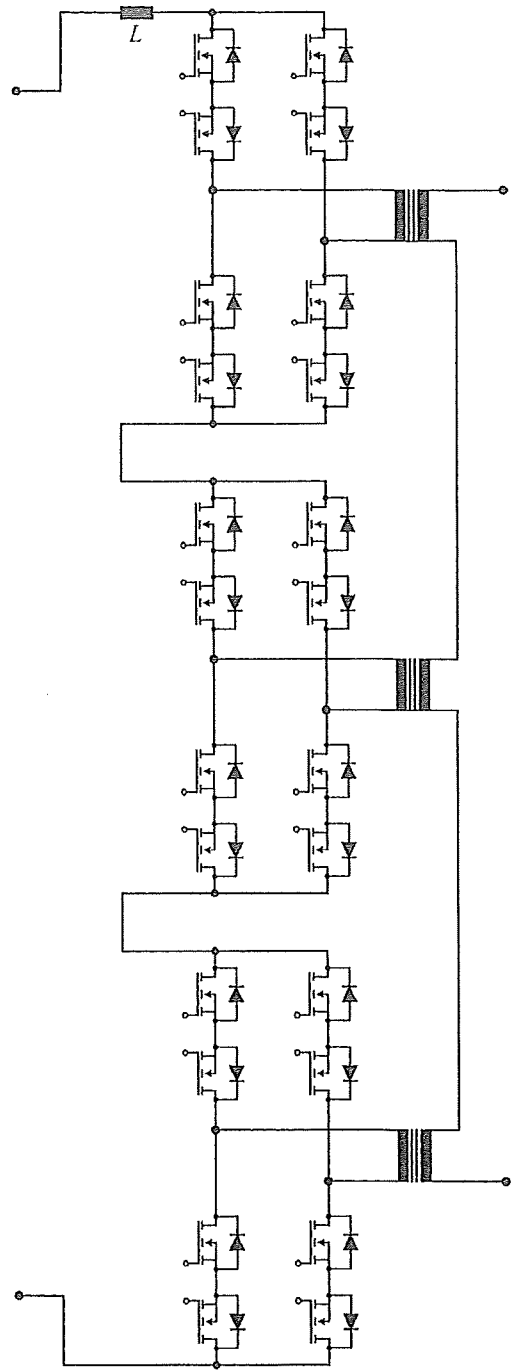


Fig. 6