

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 145/2023
(22) Anmeldetag: 15.12.2023
(45) Veröffentlicht am: 15.06.2025

(51) Int. Cl.: **H02M 3/158** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
GUESMI, S. et al. "Improved of Electrical Performance of Floating Output Interleaved Converter applied in Photovoltaic Application" 2022 International Conference of Advanced Technology in Electronic and Electrical Engineering (ICATEEE), 26. November 2022 (26.11.2022), Seiten 1-6. [ermittelt am 18. November 2024].<doi: 10.1109/ICATEEE57445.2022.10093699>. Ermittelt von <<https://ieeexplore.ieee.org/document/10018479>>, XP034330157. CN 108512423 A
LIMA, L.R. et al. "Performance Analysis of Interleaved Bidirectional DC-DC Converters for Battery Control in Islanded Microgrid", 2023 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM) [online], 16. Juli 2023 (17.07.2023), Seiten 1-5. [ermittelt am 18. November 2024].<doi: 10.1109/PESGM52003.2023.10252638>. Ermittelt von <<https://ieeexplore.ieee.org/document/10252638>>, XP034430619. CN 107517003 A AT 500921 B1

(73) Patentinhaber:
Himmelstoss Felix Dipl.-Ing. Dr.
2351 Wiener Neudorf (AT)

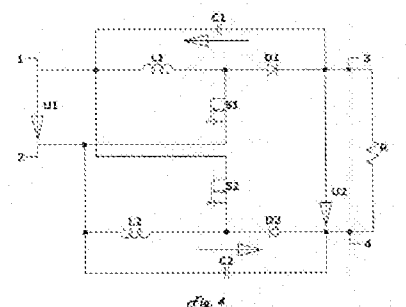
(72) Erfinder:
Himmelstoss Felix Dipl.-Ing. Dr.
2351 Wiener Neudorf (AT)

(54) Modifizierter schwebender doppelter Hochsetzsteller

(57) Die Erfindung betrifft einen schwebenden doppelten Hochsetzsteller, bestehend aus einer ersten (L1) und einer zweiten Spule (L2), einem ersten (S1) und einem zweiten elektronischen Schalter (S2), einer ersten (D1) und einer zweiten Diode (D2), einer positiven (1) und einer negativen Eingangsklemme (2), an denen die Eingangsspannung (U1) angeschlossen ist, einer positiven (3) und einer negativen Ausgangsklemme (4), an denen die Last (R) angeschlossen ist, wobei an die positive Eingangsklemme (1) der erste Anschluss der ersten Spule (L1) und der positive Anschluss des zweiten elektronischen Schalters (S2) geschaltet sind, an den zweiten Anschluss der ersten Spule (L1) der positive Anschluss des ersten elektronischen Schalters (S1) und die Anode der ersten Diode (D1) geschaltet sind, an die Kathode der ersten Diode (D1) der positive Ausgangsanschluss (3) geschaltet ist, an die negative Ausgangsklemme (4) die Anode der zweiten Diode (D2) geschaltet ist, an die Kathode der zweiten Diode (D2) der negative Anschluss des zweiten elektronischen Schalters (S2) und der erste

Anschluss der zweiten Spule (L2) geschaltet sind, der zweite Anschluss der zweiten Spule (L2) an den negativen Anschluss des ersten elektronischen Schalters (S1) und an die negative Eingangsklemme (2) geschaltet ist.

Um den Einschaltstromstoß zu verringern werden die Kondensatoren (C1, C2) zwischen Ein- und Ausgang der Stufen geschaltet. Dies verringert gleichzeitig die Spannungsbelastung. Die Schaltung kann auch bidirektional ausgeführt werden. Der Konverter eignet sich unter anderen als Ladegerät und zum Ansteuern von Leuchtmitteln.



Beschreibung

MODIFIZIERTER SCHWEBENDER DOPPELTER HOCHSETZSTELLER

[0001] Die Erfindung betrifft einen schwebenden doppelten Hochsetzsteller, bestehend aus einer ersten (L1) und einer zweiten Spule (L2), einem ersten (S1) und einem zweiten elektronischen Schalter (S2), einer ersten (D1) und einer zweiten Diode (D2), einer positiven (1) und einer negativen Eingangsklemme (2), an denen die Eingangsspannung (U1) angeschlossen ist, einer positiven (3) und einer negativen Ausgangsklemme (4), an denen die Last (R) angeschlossen ist, wobei an die positive Eingangsklemme (1) der erste Anschluss der ersten Spule (L1) und der positive Anschluss des zweiten elektronischen Schalters geschaltet sind, an den zweiten Anschluss der ersten Spule (L1) der positive Anschluss des ersten elektronischen Schalters (S1) und die Anode der ersten Diode (D1) geschaltet sind, an die Kathode der ersten Diode (D1) der positive Ausgangsanschluss (3) geschaltet ist, an die negative Ausgangsklemme (4) die Anode der zweiten Diode (D2) geschaltet ist, an die Kathode der zweiten Diode (D2) der negative Anschluss des zweiten elektronischen Schalters (S2) und der erste Anschluss der zweiten Spule (L2) geschaltet sind, der zweite Anschluss der zweiten Spule (L2) an den negativen Anschluss des ersten elektronischen Schalters (S1) und an die negative Eingangsklemme (2) geschaltet ist.

[0002] Die Erfindung wird mit Hilfe einiger Figuren beschrieben. Die elektronischen Schalter sind beispielhaft als MOSFETs gezeichnet.

[0003] Fig. 1 zeigt das Schaltbild eines schwebenden doppelten Hochsetzstellers.

[0004] Fig. 2 zeigt eine Erweiterung mit einer Vorstufe zur Vermeidung des Einschaltstromimpulses.

[0005] Fig. 3 zeigt die Wirkung dieser Stufe beim Anschalten an ein steifes Netz.

[0006] Fig. 4 zeigt das Schaltbild der gegenständlichen Erfindung und

[0007] Fig. 5 zeigt die Wirkung der Schaltung beim Anlegen der Eingangsspannung.

[0008] Fig. 6 zeigt die bidirektionale Variante des Konverters.

[0009] Der Stand der Technik und die Abgrenzung werden anhand von fünf Dokumenten gezeigt. D1 S. Guesmi, W. Hanini and M. Ghariani, "Improved of Electrical Performance of Floating Output Interleaved Converter applied in Photovoltaic Application," 2022 International Conference of Advanced Technology in Electronic and Electrical Engineering (ICATEEE), M'sila, Algeria, 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICATEEE57445.2022.10093699 zeigt einen schwebenden Hochsetzer, wobei jede Stufe aus einem elektronischen Schalter, zwei Dioden, zwei Kondensatoren und zwei magnetisch miteinander gekoppelten Spulen gebildet ist. Diese Schaltung unterscheidet sich vom normalen Hochsetzer und auch von der gegenständlichen Erfindung. Wenn der Transistor eingeschaltet ist, fließt kein Strom in der zweiten Wicklung, es fließt nur Strom in der ersten Wicklung. Wenn der aktive Schalter (der Transistor) abschaltet, schalten beide Dioden ein. Der Strom in der ersten Wicklung sinkt und der Strom in der zweiten Wicklung steigt. Bei gleicher Windungszahl und idealer Kopplung wird der Strom in beiden Wicklungen auf den halben ursprünglichen Wert der ersten Wicklung absinken, da der Fluss nicht springen darf und daher die Durchflutung gleichbleiben muss. Der Kondensator parallel zur zweiten Spule und der ersten Diode unterstützt den Kommutierungsvorgang. Dies ist bei nicht-idealer Kopplung günstig.

[0010] D2 CN 108512423 A (WETOWN ELECTRIC GROUP CO LTD) zeigt einen schwebenden Hochsetzsteller, wie er Stand der Technik ist und erweitert ihn dann indem jeder Stufe aus mehreren Hochsetzern, die jeweils phasenversetzt angesteuert sind, besteht. Der Konverter unterscheidet sich topologisch von der gegenständlichen Erfindung.

[0011] D3 L. R. d. Lima, P. A. de Alcântara, L. C. S. Soares, C. M. V. Barros and L. S. Barros, "Performance Analysis of Interleaved Bidirectional DC-DC Converters for Battery Control in Islanded Microgrid," 2023 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM), Orlando, FL, USA, 2023, pp. 1-5, doi: 10.1109/PESGM52003.2023.10252638 zeigt einen schwebenden Drei-

stufen Konverter, wobei es sich dabei eigentlich um einen realisierten unidirektionalen Konverter mit drei Zuständen handelt der eine komplexe Ansteuerung erfordert. Das Spannungsübersetzungsverhältnis, das mit diesem aufwendigen Konverter (viele Bauelemente) erzielt wird, ist das gleiche wie bei der wesentlich simpleren und einfacher anzusteuernenden Schaltung der gegenständlichen Erfindung.

[0012] D4 CN 107517003 A (UNIV JIANGSU) zeigt einen doppelten schwebenden Hochsetzsteller, wobei an den Ausgängen jeweils eine Serienschaltung einer Spule, die mit der ersten Spule magnetisch gekoppelt nachgeschaltet ist. Die Topologie unterscheidet sich daher von der gegenständlichen Erfindung.

[0013] D5 AT 500921 B1 (FACHHOCHSCHULE TECHNIKUM WIEN) zeigt einen Hochsetzsteller, wobei ein Kondensator zwischen der positiven Eingangsklemme und der positiven Ausgangsklemme geschaltet ist. Diese Topologie eignet sich besonders für steife Eingangsspannungen.

[0014] Der Ausgangspunkt für die hier beschriebene Erfindung ist der doppelte schwebende Hochsetzsteller gemäß Fig. 1. Eine Literaturrecherche zeigt, dass der Konverter speziell für Brennstoffzellen- und Solaranwendungen geeignet ist. Die beiden Hochsetzsteller sind am Eingang parallel, am Ausgang in Serie geschaltet. Die beiden Konverter bestehen jeweils aus einer Spule L, einer Diode D, einem aktiven Schalter S und einem Kondensator C. Die Ausgangsspannung U_2 setzt sich aus der Summe der beiden Spannungen an den Kondensatoren C1 und C2 minus der Eingangsspannung U_1 zusammen. Die Steuersignale für die beiden aktiven Schalter S1 und S2 werden zueinander um 180 Grad versetzt. Dadurch wird die Frequenz des Eingangsstroms doppelt so groß wie die Schaltfrequenz. Es ist dabei sinnvoll, den Konverter voll symmetrisch aufzubauen (gleiche Spulen und Kondensatoren in den einzelnen Konverterstufen) und gleiches Tastverhältnis d (Einschaltzeit des elektronischen Schalters zur Schaltperiode) zu verwenden. Das Spannungsübersetzungsverhältnis ergibt sich dann zu

$$M = \frac{U_2}{U_1} = \frac{1+d}{1-d}$$

[0015] Die Schaltung hat Probleme beim Inbetriebsetzen, besonders bei steifen DC-Netzen. Einerseits gibt es einen sehr hohen Eingangsstrom beim Anschalten einer steifen Eingangsspannung wie z.B. Batterien oder Batterie und/oder Superkapazität gestütztes DC-Netz. Dieser Strom belastet Quelle und insbesondere die Spulen und die Kondensatoren des Konverters. Da die Spulen dabei in Sättigung gehen, steigt der Strom noch schneller und wird noch höher. Andererseits wird die Spannung am Ausgang kurz negativ beim Einschalten.

[0016] Eine Abhilfe um diesen Eingangsstrom zu begrenzen ist eine vorgeschaltete Stufe mit zwei aktiven Schaltern SIN1 und SIN2, einer Diode DIN und einem Kondensator CIN (Fig. 2).

[0017] Das Tastverhältnis des aktiven Schalters SIN1 am Eingang wird von null beginnend auf eins, d.h. der Transistor ist dann dauernd eingeschaltet, z.B. in kleinen Schritten erhöht. Während dieses Hochlaufs ist der zweite aktive Schalter SIN2 dauernd eingeschaltet. Dadurch wird der gefährliche Überstrom beim Einschalten vermieden. Ein weiterer Vorteil dieser Vorstufe ist auch, dass diese als Sicherung dienen kann bei Kurzschluss, Leerlauf, Überstrom oder Überhitzung. Wenn SIN1 ausschaltet, kann der Strom in den Spulen L1 und L2 in die Diode DIN kommutieren, dazu muss dann der elektronische Schalter SIN2 dauernd eingeschaltet werden. Um zu vermeiden, dass die Diode DIN bei Normalbetrieb auch eingreift, muss diese schaltbar sein, am einfachsten geschieht dies durch dauerndes Abschalten des elektronischen Schalters SIN2.

[0018] Fig. 3 zeigt beispielhaft den Hochlauf bei der Inbetriebsetzung. Die elektronischen Schalter S1 und S2 sind gesperrt. Das Bild wird von unten nach oben erklärt. Im untersten Teilbild sieht man die Eingangsspannung, die rasch auf 24 V ansteigt und die Rampe entspricht der gleichmäßig ansteigenden Spannung am Kondensator C1. Die Spannung an C2 baut sich gleichzeitig ebenso auf und ist im zweituntersten Bild zu sehen. Das nächste Teilbild stellt die Ausgangsspannung dar. Diese ist während des Hochlaufs pulsierend und ist dabei auch teilweise negativ! Das oberste Teilbild zeigt den Strom durch die erste Spule L1. Das Tastverhältnis wird bei diesem Beispiel innerhalb von 25 ms von 0 auf eins erhöht. Man sieht anschließend noch eine Schwin-

gung, die aber abklingt und durch die Resonanzen des Konverters verursacht ist. Man kann anschließend mit dem soft-start des Konverters beginnen und das Tastverhältnis ebenfalls rampenförmig steigern, bis das gewünschte Tastverhältnis (damit die gewünschte Ausgangsspannung U_2) erreicht ist.

[0019] Um den Einschaltstromstoß zu vermeiden und gleichzeitig auch die negative Spannung an der Last zu verhindern, wird hier nun vorgeschlagen, die Position der beiden Kondensatoren zu verändern (Fig.4). Der erste Kondensator wird zwischen der positiven Ausgangsklemme 3 und der positiven Eingangsklemme 1 geschaltet, und der zweite Kondensator C2 wird zwischen der negativen Ausgangsklemme 4 und der negativen Eingangsklemme 2 geschaltet.

[0020] Fig. 5 zeigt nun beispielhaft das Verhalten beim Anlegen der Betriebsspannung U_1 . Das Bild wird von unten beginnend erklärt. Die Eingangsspannung steigt sprunghaft an, die Ausgangsspannung ist sofort positiv und annähernd gleich der Eingangsspannung und schwingt sich gedämpft ein. Das obere Bild zeigt den Eingangsstrom und den Strom durch die erste Spule L1 (dieser hat die höhere Schwingamplitude). Man sieht, dass dieses Konzept beide Probleme der originalen Schaltung löst. Die gezeigte Vorstufe, die relativ aufwendig ist, zwei Highside Schalter und daher auch zwei isolierte Treiber benötigt, konnte auch nur den Überstrom beim Einschalten beseitigen, nicht aber das Auftreten einer negativen Spannung an der Last.

[0021] Ersetzt man die elektronischen Schalter und die Dioden durch strombidirektionale Schalter (elektronische Schalter mit antiparalleler Diode), so kann man die Verluste reduzieren, wenn der Spannungsabfall am Schalter geringer ist als der an der Diode. Des Weiteren ist es nun möglich die Energieflussrichtung umzudrehen (Fig. 6).

[0022] Um den Einfluss der parasitären Induktivität zwischen einem Pufferkondensator, z.B. in der Steckdose des DC Netzes oder der Batterie, gering zu halten, wird man am Eingang einen Kondensator parallel zu den Eingangsklemmen schalten, genauer wie in weiter unten beschrieben.

[0023] Eine interessante Anwendung des bidirektionalen Konverters ist die Verwendung als Interface für Batterien. Dazu wird zwischen den Ausgangsklemmen 3 und 4 die Serienschaltung einer Spule mit den Batterien geschaltet. Man kann nun die Batterien laden und wieder die Energie zurück in den Eingangskreis speisen.

[0024] Die unidirektionale Variante (oder die bidirektionale Variante, bei der die Dioden mit den parallelliegenden Schaltern überbrückt werden um die Verluste zu reduzieren) eignet sich auch gut zur Ansteuerung von Leuchtmitteln z.B. LEDs. Auch hier wird man zu den Leuchtmitteln eine Spule in Serie schalten, um einen konstanten Strom (sehr geringer Rippel des Stroms durch die Leuchtmittel) zu gewinnen und durch Veränderung des Stroms die Beleuchtung dimmen zu können.

[0025] Um Einflüsse von Änderungen der Eingangsspannung rasch ausgleichen zu können, kann statt einer reinen Regelung eine Kombination mit einer Steuerung vorgesehen sein. Das Steuergesetz für die Erzielung einer gewünschten Ausgangsspannung U_{2soll} ergibt sich aus dem Spannungsübersetzungsverhältnis zu

$$d = \frac{U_{2soll} - U_1}{U_{2soll} + U_1}$$

[0026] Einen schwebenden doppelten Hochsetzsteller mit der Vermeidung eines starken Einschaltstromes beim Anschalten einer steifen Eingangsspannung zu realisieren wird erfindungsgemäß dadurch realisiert, dass der erste Kondensator (C1) zwischen der Kathode der ersten Diode (D1) und dem ersten Anschluss der ersten Spule (L1) geschaltet ist, und der zweite Kondensator (C2) zwischen dem zweiten Anschluss der zweiten Spule (L2) und der Anode der zweiten Diode (D2) geschaltet ist.

[0027] Um die Verluste klein zu halten und/oder die Energieflussrichtung umdrehen zu können werden die aktiven und passiven Schalter so ersetzt, dass antiparallel zu den elektronischen Schaltern (S1, S2) jeweils eine Diode geschaltet ist, und antiparallel zu den Dioden (D1, D2) jeweils ein elektronischer Schalter geschaltet ist. Die Antiparallelschaltung eines elektronischen

Schalters mit einer Diode kann man auch als strombidirektionalen Schalter bezeichnen.

[0028] Um die Frequenz des Eingangsstromes doppelt so groß wie die Schaltfrequenz der einzelnen Stufen zu machen wird man die Ansteuerung so gestalten, dass die elektronischen Schalter (S1, S2) durch gleiche Steuersignale, die zueinander um 180 Grad verschoben sind, angesteuert werden.

[0029] Um den Einfluss der parasitären Induktivität am Eingang gering zu halten wird man den Eingang des schwebenden doppelten Hochsetzstellers so gestalten, dass zwischen dem ersten Anschluss der ersten Spule (L1) und dem negativen Anschluss des ersten elektronischen Schalters (S1) und zwischen dem positiven Anschluss des zweiten elektronischen Schalters (S2) und dem zweiten Anschluss der zweiten Spule (L2) je ein weiterer Kondensator oder eine Gruppe von Kondensatoren geschaltet sind.

[0030] Um die Schaltung als Batterieladegerät zu verwenden wird zwischen den Ausgangsklemmen (3, 4) die Serienschaltung einer weiteren Spule und Batterien geschaltet.

[0031] Um die Schaltung als Ansteuergerät für Leuchtmittel zu verwenden wird zwischen den Ausgangsklemmen (3, 4) die Serienschaltung einer weiteren Spule und Leuchtmittel geschaltet.

[0032] Zu Erhöhung der Dynamik wird eine zusätzliche Vorrichtung zur Berechnung des Steuerungsgesetzes für das Tastverhältnis vorgesehen und dieses mit einer Regelung kombiniert.

Patentansprüche

1. Schwebender doppelter Hochsetzsteller, bestehend aus einer ersten (L1) und einer zweiten Spule (L2), einem ersten (S1) und einem zweiten elektronischen Schalter (S2), einer ersten (D1) und einer zweiten Diode (D2), einer positiven (1) und einer negativen Eingangsklemme (2), an denen die Eingangsspannung (U1) angeschlossen ist, einer positiven (3) und einer negativen Ausgangsklemme (4), an denen die Last (R) angeschlossen ist, wobei an die positive Eingangsklemme (1) der erste Anschluss der ersten Spule (L1) und der positive Anschluss des zweiten elektronischen Schalters geschaltet sind, an den zweiten Anschluss der ersten Spule (L1) der positive Anschluss des ersten elektronischen Schalters (S1) und die Anode der ersten Diode (D1) geschaltet sind, an die Kathode der ersten Diode (D1) der positive Ausgangsanschluss (3) geschaltet ist, an die negative Ausgangsklemme (4) die Anode der zweiten Diode (D2) geschaltet ist, an die Kathode der zweiten Diode (D2) der negative Anschluss des zweiten elektronischen Schalters (S2) und der erste Anschluss der zweiten Spule (L2) geschaltet sind, der zweite Anschluss der zweiten Spule (L2) an den negativen Anschluss des ersten elektronischen Schalters (S1) und an die negative Eingangsklemme (2) geschaltet ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass der erste Kondensator (C1) zwischen der Kathode der ersten Diode (D1) und dem ersten Anschluss der ersten Spule (L1) geschaltet ist, und der zweite Kondensator (C2) zwischen dem zweiten Anschluss der zweiten Spule (L2) und der Anode der zweiten Diode (D2) geschaltet ist.
2. Schwebender doppelter Hochsetzsteller gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass antiparallel zu den elektronischen Schaltern (S1, S2) jeweils eine Diode geschaltet ist, und antiparallel zu den Dioden (D1, D2) jeweils ein elektronischer Schalter geschaltet ist.
3. Schwebender doppelter Hochsetzsteller gemäß Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die elektronischen Schalter (S1, S2) durch gleiche Steuersignale, die zueinander um 180 Grad verschoben sind, angesteuert werden.
4. Schwebender doppelter Hochsetzsteller gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwischen dem ersten Anschluss der ersten Spule (L1) und dem negativen Anschluss des ersten elektronischen Schalters (S1) und zwischen dem positiven Anschluss des zweiten elektronischen Schalters (S2) und dem zweiten Anschluss der zweiten Spule (L2) je ein weiterer Kondensator oder eine Gruppe von Kondensatoren geschaltet sind.
5. Schwebender doppelter Hochsetzsteller gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwischen den Ausgangsklemmen (3, 4) die Serienschaltung einer weiteren Spule und Batterien geschaltet ist.
6. Schwebender doppelter Hochsetzsteller gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwischen den Ausgangsklemmen (3, 4) die Serienschaltung einer weiteren Spule und Leuchtmittel geschaltet ist.
7. Schwebender doppelter Hochsetzsteller gemäß Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuersignale ein vorherbestimmtes Tastverhältnis aufweisen, welches durch eine zusätzliche Vorrichtung zur Berechnung eines Steuergesetzes erzielt wird und mit einer Regelung kombiniert ist.

Hierzu 2 Blatt Zeichnungen

Figuren

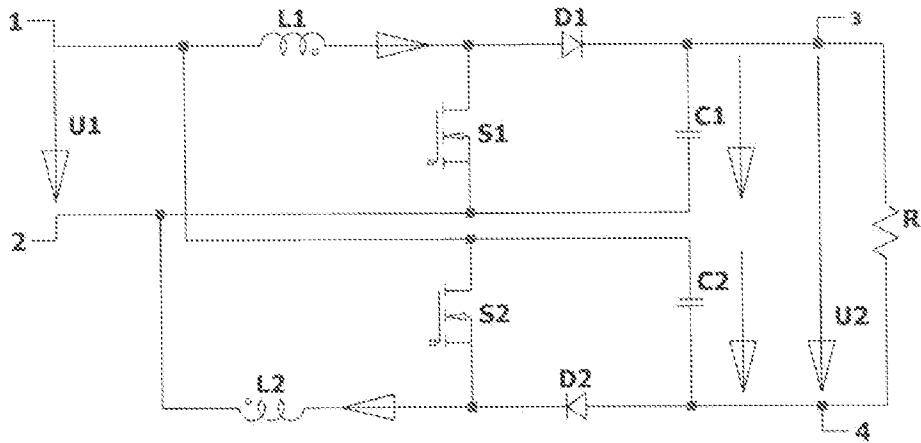


Fig. 1

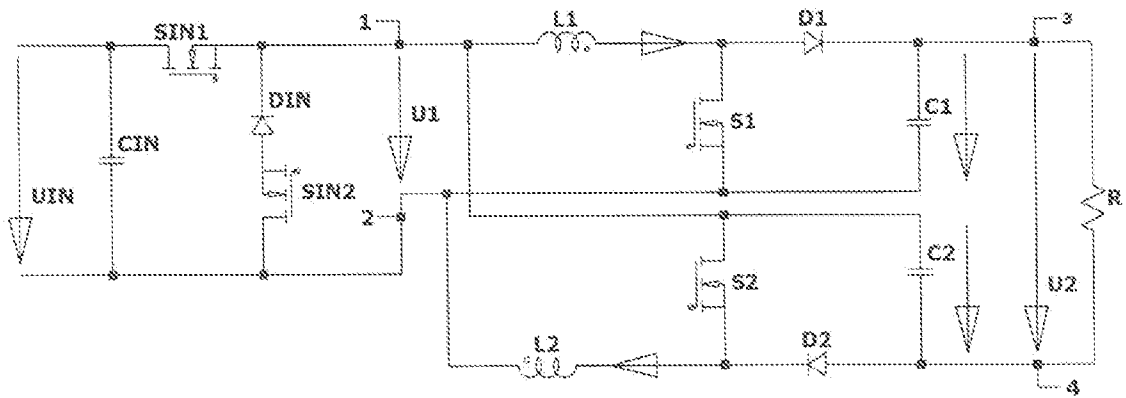


Fig. 2

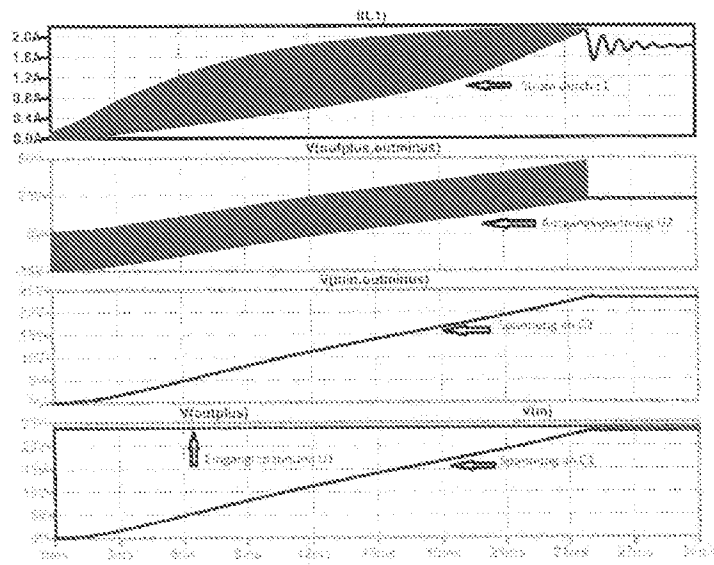


Fig. 3

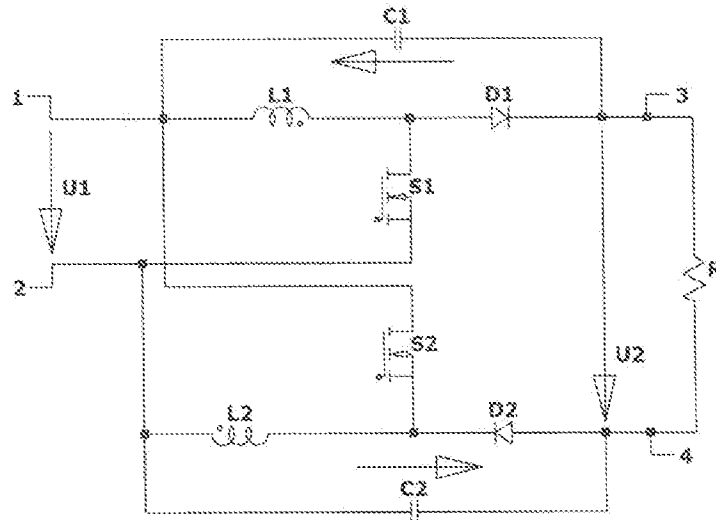


Fig. 4

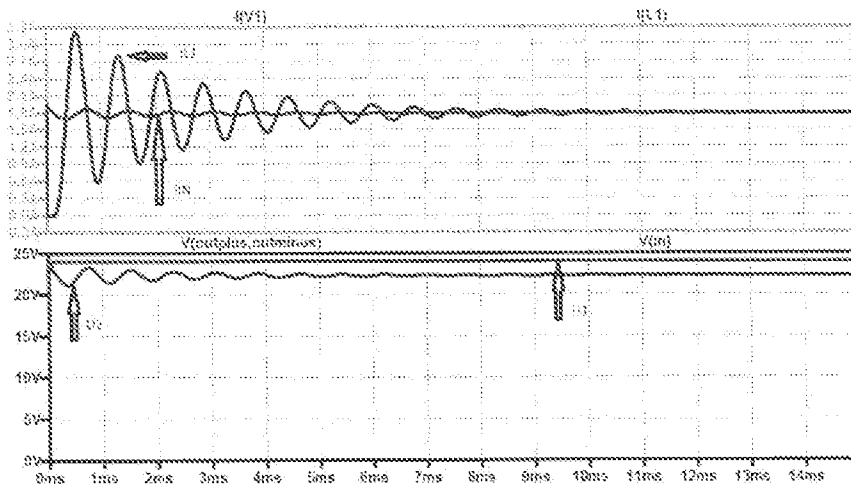


Fig. 5

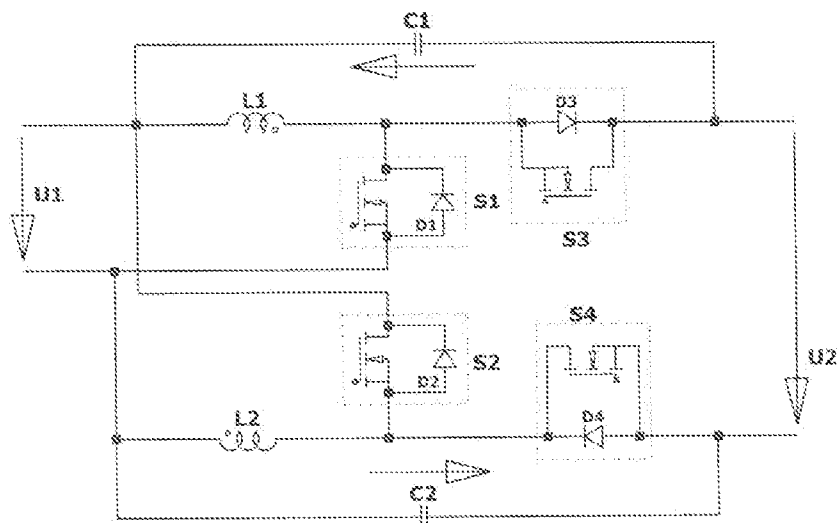


Fig. 6