(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2014 119 015 B4** 2016.12.01

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2014 119 015.7**
(22) Anmeldetag: **18.12.2014**
(43) Offenlegungstag: **23.06.2016**
(45) Veröffentlichungstag der Patenterteilung: **01.12.2016**

(51) Int Cl.: ***H02M 1/34*** (2007.01)
H02M 3/155 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
SMA Solar Technology AG, 34266 Niestetal, DE

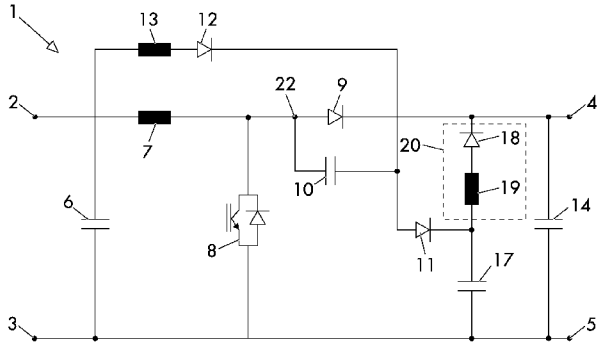
(72) Erfinder:
Mondzik, Andrzej, Skarysko Koscielne, PL; Penczek, Adam, Krakow, PL; Rylko, Marek, Bielsko-Biala, PL; Stala, Robert, Krakow, PL; Szot, Slawomir, Krosno, PL; Szarek, Milosz, Krakow, PL

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	**26 39 589**	**A1**
US	**7 385 833**	**B2**
WO	**2015/ 014 866**	**A1**
JP	**H07- 95 766**	**A**

(54) Bezeichnung: **Hochsetzsteller, entsprechender Wechselrichter und Verfahren zur Verminderung von Ausschaltverlusten**

(57) Zusammenfassung: Es ist ein Hochsetzsteller (1) offenbart, der eine erste Induktivität (7), die einen ersten Gleichspannungseingang (2) des Hochsetzstellers (1) mit einem ersten Verbindungspunkt (22) elektrisch verbindet, einen Halbleiterschalter (8), der den ersten Verbindungspunkt (22) mit einem zweiten Gleichspannungseingang (3) und einem zweiten Gleichspannungsausgang (5) des Hochsetzstellers (1) verbindet, eine erste Diode (9), die den ersten Verbindungspunkt (22) mit einem ersten Gleichspannungsausgang (4) des Hochsetzstellers (1) verbindet, umfasst. Der Hochsetzsteller (1) weist weiterhin eine Snubberschaltung mit einem Ladepfad und einem Entladepfad auf, wobei der Entladepfad als Serienschaltung eines Kondensators (10) und einer zweiten Diode (11) an seinem einen Ende an dem ersten Verbindungspunkt (22) angeschlossen ist und derart eingerichtet ist, dass der Kondensator (10) beim Ausschalten des Halbleiterschalters (8) entladen wird, und wobei der Ladepfad von dem ersten Gleichspannungseingang (2) oder von einem Anschluss der Ausgangskapazität (14) zu einem Verbindungspunkt zwischen dem Kondensator (10) und der zweiten Diode (11) verläuft und derart eingerichtet ist, dass der Kondensator (10) beim Einschalten des Halbleiterschalters (8) aufgeladen wird.
Bei dem Hochsetzsteller (1) ist ein Hilfskondensator (17) zwischen dem anderen Ende des Entladepfades und dem zweiten Gleichspannungsausgang (5) angeschlossen ist und weiterhin ist eine Entladeschaltung (20) zwischen dem anderen Ende des Entladepfades und dem ersten Gleichspannungsausgang (4) angeschlossen und derart eingerichtet ist, dass ein Strom durch die Entladeschaltung (20) in Richtung des ersten Gleichspannungsausgangs (4) fließt, sobald die Spannung an dem Hilfskondensator (17) auf einen Wert ansteigt, der größer ist als der Wert der Spannung an der Ausgangskapazität (14). Weiterhin offenbart ist ein Wechselrichter, insbesondere ein photovoltaischer Wechselrichter, der einen solchen Hochsetzsteller aufweist, sowie ein Verfahren zur Verminderung der Ausschaltverluste eines Leistungshalbleiterschalters in einem Gleichspannungswandler, insbesondere in einem Hochsetzsteller.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Hochsetzsteller sowie einen Wechselrichter, insbesondere einen photovoltaischen Wechselrichter, mit einem solchen Hochsetzsteller. Weiterhin betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Verminderung der Ausschaltverluste eines Leistungshalbleiterschalters in einem Gleichspannungswandler.

[0002] Hochsetzsteller werden insbesondere in photovoltaischen Anlagen zur Anpassung der Gleichspannung einzelner Strings an die Gleichspannung eines gemeinsamen Zwischenkreises verwendet. Wünschenswert ist hierbei ein Betrieb des Hochsetzstellers mit bestmöglichem Wirkungsgrad, um Energieverluste zu vermeiden und den Aufwand zur Kühlung der Komponenten des Hochsetzstellers, insbesondere eines Leistungshalbleiterschalters des Hochsetzstellers, zu reduzieren. Es ist beispielsweise von Resonanzwandlern bekannt, dass ein verlustarmes Schalten des Leistungshalbleiterschalters dadurch erreicht werden kann, dass der Schalter zu Zeitpunkten geschaltet wird, in denen der Schalter stromfrei oder spannungsfrei ist. Dies wird als sanftes Schalten bezeichnet.

[0003] Aus der Druckschrift DE 26 39 589 A1 ist ein Hochsetzsteller mit einer für Hochsetzsteller üblichen Anordnung einer Induktivität, eines Halbleiterschalters und einer Hochsetzstellerdiode zwischen Gleichspannungseingängen und Gleichspannungsausgängen bekannt, der eine Snubberschaltung mit einem Ladepfad und einem Entladepfad aufweist, wobei der Entladepfad als Serienschaltung eines Kondensators und einer Diode parallel zur Hochsetzstellerdiode verläuft. Über den Ladepfad, der eine Serienschaltung einer weiteren Diode und einer weiteren Induktivität umfasst und dessen eines Ende an einem Verbindungspunkt zwischen dem Kondensator und der Diode angeschlossen ist, wird der Kondensator beim Einschalten des Halbleiterschalters aufgeladen, wozu am anderen Ende des Ladepfads eine Spannung in Höhe der halben Ausgangsspannung des Hochsetzstellers angelegt wird. Die Druckschrift DE 26 39 589 A1 offenbart hierzu, dass der Ladepfad an den Mittelpunkt einer geteilten Ausgangskapazität zwischen den Gleichspannungsausgängen angeschlossen werden kann und zeigt dazu ferner eine Ausgleichsschaltung mit der eine durch die Ladeschaltung verursachte ungleiche Entladung der beiden Kapazitäten der geteilten Ausgangskapazität ausgeglichen werden kann.

[0004] Die Druckschrift US 7 385 833 B2 offenbart ebenfalls einen Hochsetzsteller mit der für Hochsetzsteller üblichen Anordnung einer Induktivität, eines Halbleiterschalters und einer Hochsetzstellerdiode zwischen Gleichspannungseingängen und Gleichspannungsausgängen, der eine Snubberschaltung mit einem Ladepfad und einem Entladepfad aufweist, wobei der Entladepfad als Serienschaltung eines Kondensators und einer Diode parallel zur Hochsetzstellerdiode verläuft und wobei der Ladepfad, dessen eines Ende an einem Verbindungspunkt zwischen dem Kondensator und der Diode angeschlossen ist, eine Serienschaltung einer weiteren Diode und einer weiteren Induktivität umfasst. Das andere Ende des Ladepfads ist an eine Leitung des Hochsetzstellers angeschlossen, die einen der Gleichspannungseingänge mit einem der Gleichspannungausgänge verbindet. Um den Kondensator beim Einschalten des Halbleiterschalters aufzuladen, ist die weitere Induktivität in dem Ladepfad mit der Induktivität des Hochsetzstellers magnetisch gekoppelt.

[0005] In der nachveröffentlichen Druckschrift mit dem internationalen Aktenzeichen WO 2015/ 014 866 A1 ist ebenfalls ein Hochsetzsteller offenbart, der die für Hochsetzsteller übliche Anordnung einer Induktivität, eines Halbleiterschalters und einer Hochsetzstellerdiode zwischen Gleichspannungseingängen und Gleichspannungsausgängen sowie eine Snubberschaltung mit einem Ladepfad und einem Entladepfad aufweist, wobei der Entladepfad als Serienschaltung eines Kondensators und einer Diode parallel zur Hochsetzstellerdiode verläuft und wobei der Ladepfad, dessen eines Ende an einem Verbindungspunkt zwischen dem Kondensator und der Diode angeschlossen ist, eine Serienschaltung einer weiteren Diode und einer weiteren Induktivität umfasst. Das andere Ende des Ladepfades ist bei dem Hochsetzsteller in der Druckschrift mit dem internationalen Aktenzeichen WO 2015/ 014 866 A1 an einem der Gleichspannungseingänge angeschlossen, so dass eine Aufladung des Kondensators aus einer Eingangskapazität möglich ist.

[0006] Die Druckschrift JPH07-095766A offenbart einen Hochsetzsteller mit der für Hochsetzsteller üblichen Anordnung einer Induktivität, eines Halbleiterschalters und einer Hochsetzstellerdiode zwischen Gleichspannungseingängen und Gleichspannungsausgängen. Parallel zu dem Halbleiterschalter ist eine Snubberschaltung bestehend aus einer Serienschaltung einer Diode und eines Kondensators angeordnet, bei der der Kondensator beim Ausschalten des Halbleiterschalters geladen wird. Zwischen der Diode und dem Kondensator zweigt eine Serienschaltung einer weiteren Induktivität und einer Diode ab, deren anderes Ende mit einem der Gleichspannungsausgänge verbunden ist und durch die der Kondensator in eine Ausgangskapazität entladen wird.

[0007] Den zuvor genannten Hochsetzstellern nach dem Stand der Technik aus den Druckschriften DE 26 39 589 A1, US 7 385 833 B2 und WO 2015/ 014 866 A1 ist gemein, dass der Kondensator beim Einschalten des Halbleiterschalters gela-

den wird und beim Ausschalten des Halbleiterschalters über die Diode in eine Ausgangskapazität zwischen den beiden Gleichspannungsausgängen entladen wird. Eine Schaltentlastung, d. h. ein weiches Schalten, wird für den Ausschaltvorgang des Halbleiterschalters dadurch erreicht, das der Kondensator zuvor während des Einschaltvorgangs auf eine Spannung geladen wurde, die den gleichen Wert, aber eine entgegengesetzte Polarität wie die Spannung an der Ausgangskapazität zwischen den beiden Gleichspannungsausgängen aufweist. Zu Beginn des Ausschaltvorgangs liegt dadurch eine Spannung von null an dem Halbleiterschalter an, welche dann während des weiteren Ausschaltvorgangs durch die Entladung des Kondensators in die Ausgangskapazität bis zum Wert der Spannung an der Ausgangskapazität ansteigt.

[0008] Der Strom von dem Kondensator in die Ausgangskapazität wird bei dem Entladevorgang durch die Induktivität des Hochsetzstellers begrenzt, da der Strom durch die Induktivität zum Zeitpunkt des Ausschaltens des Halbleiterschalters zunächst nicht auf die Hochsetzstellerdiode kommutiert, wie dies bei einem konventionellen Hochsetzsteller der Fall wäre, sondern auf den Entladepfad. Erst nach vollständiger Entladung des Kondensators kommutiert der Strom auf die erste Diode.

[0009] Nachteilig bei der beschriebenen Schaltentlastung mit der Snubberschaltung nach dem Stand der Technik ist die Tatsache, dass die Ausgangskapazität beim Entlastungsvorgang direkt beteiligt ist, so dass ihre Eigenschaften bei der Auslegung der Snubberschaltung berücksichtigt werden müssen. Insbesondere ist dadurch der Spannungswert, auf den der Kondensator aufzuladen ist, auf den Wert der Spannung an der Ausgangskapazität zwischen den beiden Gleichspannungsausgängen festgelegt. Dadurch wird eine optimale Schaltentlastung beispielsweise bei dem Hochsetzsteller aus der Druckschrift mit dem internationalen Aktenzeichen WO 2015/ 014 866 A1 nur für Übersetzungsverhältnisse des Hochsetzstellers von 1:1 bis 1:2 erreicht. Für größere Übersetzungsverhältnisse wird der Kondensator nicht mehr auf eine ausreichende Spannung aufgeladen, um zu Beginn des Ausschaltvorgangs eine Spannung von null am Halbleiterschalter bereitzustellen. Auch bei den anderen Schaltungen nach dem Stand der Technik kann es vorkommen, dass der Kondensator, beispielsweise bei geringer Last, nicht mehr auf eine ausreichende Spannung aufgeladen werden kann.

[0010] Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen Hochsetzsteller bereitzustellen, der es ermöglicht, einen Leistungshalbleiterschalter des Hochsetzstellers sanft zu schalten, und dabei eine verbesserte Unabhängigkeit von Eigenschaften der Ausgangskapazität, insbesondere von der an ihr anliegenden Spannung, bei der Auslegung der Snubberschaltung zu gewährleisten.

[0011] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch einen Hochsetzsteller gemäß dem unabhängigen Anspruch 1, durch einen symmetrischen Hochsetzsteller gemäß dem nebengeordneten Vorrichtungsanspruch 10, durch einen Wechselrichter gemäß dem nebengeordneten Vorrichtungsanspruch 12 sowie durch ein Verfahren gemäß dem Verfahrensanspruch 13. Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen wiedergegeben.

[0012] Ein erfindungsgemäßer Hochsetzsteller umfasst eine erste Induktivität, die einen ersten Gleichspannungseingang des Hochsetzstellers mit einem ersten Verbindungspunkt elektrisch verbindet, und einen Halbleiterschalter als Hochsetstellerschalter, der den ersten Verbindungspunkt mit einem zweiten Gleichspannungseingang, sowie einem hiermit verbundenen zweiten Gleichspannungsausgang des Hochsetzstellers verbindet. Weiterhin umfasst der Hochsetzsteller eine erste Diode, die den ersten Verbindungspunkt mit einem ersten Gleichspannungsausgang des Hochsetzstellers verbindet und eine Ausgangskapazität, die zwischen dem ersten und zweiten Gleichspannungsausgang (**4**, **5**) angeordnet ist. Der Hochsetzsteller weist ferner eine Snubberschaltung mit einem Ladepfad und einem Entladepfad auf, wobei der Entladepfad als Serienschaltung eines Kondensators und einer zweiten Diode an seinem einen Ende an dem ersten Verbindungspunkt angeschlossen ist und derart eingerichtet ist, dass der Kondensator beim Ausschalten des Halbleiterschalters entladen wird. Der Ladepfad verläuft von dem ersten Gleichspannungseingang oder von einem Anschluss der Ausgangskapazität zu einem Verbindungspunkt zwischen dem Kondensator und der zweiten Diode und ist derart eingerichtet, dass der Kondensator beim Einschalten des Halbleiterschalters aufgeladen wird. Sowohl das Aufladen als auch des Entladen erfolgen bevorzugt ohne den Einsatz weiterer aktiv anzusteuernder Schalter in dem Ladepfad und dem Entladepfad.

[0013] Zwischen dem anderen Ende des Entladepfades und dem zweiten Gleichspannungsausgang ist bei dem erfindungsgemäßen Hochsetzsteller ein Hilfskondensator angeschlossen, in den über die zweite Diode die Ladung von dem Kondensator während des Entladevorgangs fließen kann. Eine Spannung an dem Halbleiterschalter von null zu Beginn des Ausschaltvorgangs wird bei der erfindungsgemäßen Anordnung dadurch erreicht, dass der Kondensator zuvor auf eine Spannung aufgeladen wurde, deren Wert, abgesehen von der an der Diode abfallenden vergleichsweise geringen Spannung, der Spannung an dem Hilfskondensator mit entgegengesetzter Polarität entspricht.

[0014] Da dem Hilfskondensator nicht unbegrenzt Energie zugeführt werden kann, ist bei dem erfindungsgemäßen Hochsetzsteller weiterhin eine Entladeschaltung zwischen dem anderen Ende des Entladepfades und dem ersten Gleichspannungsausgang angeschlossen, die derart eingerichtet ist, dass ein Strom durch die Entladeschaltung in Richtung des ersten Gleichspannungsausgangs fließt, sobald die Spannung an dem Hilfskondensator auf einen Wert ansteigt, der größer ist als der Wert der Spannung an der Ausgangskapazität. Somit fließt zumindest dann ein in dem Entladepfad fließender Strom in den Hilfskondensator, wenn die an ihm anliegende Spannung kleiner oder gleich der Spannung an der Ausgangskapazität ist. Darüber hinaus kann auch weiterhin Ladung über den Entladepfad in den Hilfskondensator fließen, selbst wenn die an ihm anliegende Spannung größer als die Spannung an der Ausgangskapazität ist, wenn beispielsweise die Entladeschaltung induktive Elemente aufweist. In dem Fall fließt jedoch zumindest ein Teilstrom aus dem Entladepfad durch die Entladeschaltung in Richtung des ersten Gleichspannungsausgangs.

[0015] Eventuell innerhalb lder Entladeschaltung auftr-etende Spannungsabfälle werden bei den vorstehend ausgeführten Betrachtungen nicht betrachtet.

[0016] Das erneute Aufladen des Kondensators erfolgt über den Ladepfad zu Beginn der Einschaltphase des Halbleiterschalters. Je nach Dauer der Einschaltphase kann hierbei ein teilweises Aufladen oder vorteilhaft ein vollständiges Aufladen bis auf den Spannungswert des Hilfskondensators erfolgen. Der Ladepfad kann in einer Ausführungsform der Erfindung eine Serienschaltung einer zweiten Induktivität und einer dritten Diode umfassen. Der Kondensator der Snubberschaltung und die zweite Induktivität bilden dann einen Serienresonanzkreis, wodurch die Aufladung des Kondensators durch die Spannung am ersten Gleichspannungseingang oder die Spannung an der Ausgangskapazität durch eine halbe Resonanzschwingung erfolgt. Infolge dessen wird der Kondensator auf den doppelten Wert der Spannung am ersten Gleichspannungseingang oder an der Ausgangskapazität aufgeladen. Eine Fortführung der Resonanzschwingung, und somit ein Entladen des Kondensators, wird durch die dritte Diode verhindert.

[0017] Bei der Aufladung des Kondensators aus dem Gleichspannungseingang über einen Ladepfad, der eine Serienschaltung einer zweiten Induktivität und einer dritten Diode umfasst, ist eine Spannung zwischen den Gleichspannungseingängen erforderlich, deren Wert mindestens dem halben Wert der Spannung an dem Hilfskondensator entspricht. Für größere Spannungswerte zwischen den Gleichspannungseingängen wird, sobald der Wert der Spannung an dem Kondensator während des Aufladens größer als der Wert der Spannung an dem Hilfskondensator wird, über die zweite Diode der Hilfskondensator ebenfalls weiter geladen. Sobald die Spannung an dem Hilfskondensator dabei auf einen Wert ansteigt, der größer ist als der Wert der Spannung an der Ausgangskapazität, fließt ein Strom durch die Entladeschaltung in Richtung des ersten Gleichspannungsausgangs, so dass die maximale Spannung, auf die der Kondensator und der Hilfskondensator aufgeladen werden, auf den Wert der Spannung an der Ausgangskapazität begrenzt ist. In jedem Fall ergibt sich auch wenn der Wert der Spannung zwischen den Gleichspannungseingängen zu Beginn des Aufladens größer ist als der halbe Wert der Spannung an dem Hilfskondensator die für weiches Schalten vorteilhafte Aufladung des Kondensators auf den gleichen Spannungswert mit entgegengesetzter Polarität wie für den Hilfskondensator, so dass ein verlustarmer Betrieb des Hochsetzstellers bis herunter auf ein Übersetzungsverhältnis von 1:1 gewährleistet ist.

[0018] In einer Ausführungsform ist der von dem ersten Gleichspannungseingang zu einem Verbindungspunkt zwischen dem Kondensator und der zweiten Diode verlaufende Ladepfad zur Aufladung des Kondensators aus einer Eingangskapazität eingerichtet, die zwischen dem ersten und zweiten Gleichspannungseingang angeordnet ist.

[0019] Es ist auch möglich, die Energie zur Aufladung des Kondensators über den Gleichspannungsausgang zu entnehmen. Hierzu verläuft der Ladepfad von einem Anschluss der Ausgangskapazität zu einem Verbindungspunkt zwischen dem Kondensator und der zweiten Diode. In einer Ausführungsform umfasst dabei die Ausgangskapazität eine Serienschaltung eines ersten und eines zweiten Ausgangskondensators, die über einen Zwischenpunkt miteinander verbunden sind. Hierbei verbindet der Ladepfad den Verbindungspunkt zwischen dem Kondensator und der zweiten Diode mit dem Zwischenpunkt der geteilten Ausgangskapazität. Die zweite Induktivität kann hierbei sowohl mit dem Zwischenpunkt der geteilten Ausgangskapazität als auch mit dem Verbindungspunkt zwischen dem Kondensator und der zweiten Diode verbunden sein. In diesem Fall erfolgt die Aufladung des Kondensators mithilfe der Energie des Ausgangskondensators, der mit dem zweiten Gleichspannungsausgang des Hochsetzstellers verbunden ist.

[0020] Da durch diese Energieentnahme eine ungleiche Spannungsverteilung zwischen dem ersten und dem zweiten Ausgangskondensator verursacht wird, kann der erfindungsgemäße Hochsetzsteller durch eine ansteuerbare Ausgleichsschaltung ergänzt werden. Eine solche Ausgleichsschaltung kann mindestens einen Ausgleichsschalter umfassen, der den ersten Gleichspannungsausgang ansteuerbar über die zweite Induktivität mit dem Zwischenpunkt

der geteilten Ausgangskapazität verbindet. Zusätzlich kann eine Freilaufdiode oder ein weiterer Schalter zwischen dem Verbindungspunkt der zweiten Induktivität mit dem Ausgleichsschalter, sowie dem zweiten Gleichspannungsausgang angeordnet sein.

[0021] Die eingangs beschriebene Variante des Hochsetzstellers, bei dem der Ladepfad von dem ersten Gleichspannungseingang zu einem Verbindungspunkt zwischen dem Kondensator und der zweiten Diode verläuft, kommt ohne eine geteilte Ausgangs- bzw. Eingangskapazität und somit auch ohne eine Ausgleichsschaltung aus. Hierin ist der besondere Vorteil dieser Variante zu sehen. Sofern die Spannung zwischen den Gleichspannungseingängen größer ist als die Hälfte der Spannung an dem Hilfskondensator wird der Kondensator bis auf den Spannungswert des Gleichspannungsausganges aufgeladen.

[0022] Um die ungleiche Energieentnahme aus einer geteilten Ausgangskapazität auszugleichen, ist es denkbar, dem Hochsetzsteller einen weiteren Wandler nachzuschalten, der so gesteuert wird, dass er aus dem Ausgangskondensator mit der höheren Spannung relativ zum andern Ausgangskondensator bevorzugt Energie entnimmt. In einer möglichen Ausführungsform der Erfindung ist beispielsweise am Gleichspannungsausgang des Hochsetzstellers eine sogenannte 3-Level-Brücke, beispielsweise eine NPC-Brücke, angeschlossen, die derart angesteuert wird, dass eine kompensierende Energieentnahme und damit eine Symmetrierung der Spannung zwischen den beiden Ausgangskondensatoren erreicht wird. Selbstverständlich sind auch andere Schaltungen denkbar, die eine kompensierende Energieentnahme aus dem geteilten Zwischenkreis ermöglichen, zum Beispiel eine Versorgungsschaltung für eine Steuereinrichtung des Hochsetzstellers oder eines elektronischen Gerätes, dessen Bestandteil der Hochsetzsteller ist.

[0023] Eine weitere Möglichkeit der Symmetrierung der Spannung an den beiden Ausgangskondensatoren besteht darin, den Hochsetzsteller als symmetrischen Hochsetzsteller mit einer ersten und einer zweiten Teileinheit vorzusehen. Jede der beiden Teileinheiten weist erfindungsgemäß eine Snubberschaltung auf, wobei die Snubberschaltungen der Teileinheiten beispielsweise jeweils einem der beiden Ausgangskondensatoren zugeordnet sind, d.h. aus diesen geladen werden. Bei dem symmetrischen Hochsetzsteller können die erste und die zweite Teileinheit auch jeweils getrennte erste und zweite Gleichspannungseingänge aufweisen. Bei gleicher Dimensionierung des Kondensators und der zweiten Induktivität beider Teileinheiten ergibt sich dann eine Symmetrierung der Spannung auch bei unterschiedlichen Eingangsspannungen an den beiden Teileinheiten. Andernfalls kann durch eine geeignet gewählte Differenz der Ansteuerfrequenzen der beiden Teileinheiten eine Symmetrierung erreicht werden. Hierbei wird diejenige Teileinheit, die dem Ausgangskondensator mit der geringeren Spannung zugeordnet ist, mit einer gegenüber der anderen Teileinheit verringerten Ansteuerfrequenz betrieben. Grundsätzlich kann ein solcher Hochsetzsteller in symmetrischer Ausführung dadurch betrieben werden, dass die Ansteuerfrequenz der ersten Teileinheit relativ zur Ansteuerfrequenz der zweiten Teileinheit in Abhängigkeit der zwischen der ersten und der zweiten Ausgangskapazität bestimmt wird. Auf diese Weise ist es ebenso möglich, anstatt einer Symmetrierung der Ausgangsspannung auch eine gezielte Asymmetrie der Ausgangsspannung einzustellen und aufrechtzuerhalten.

[0024] In einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Hochsetzstellers umfasst die Entladeschaltung eine vierte Diode. Hierdurch ist mit geringem Aufwand gewährleistet, dass ein Strom durch die Entladeschaltung in Richtung des ersten Gleichspannungsausgangs fließt, sobald die Spannung an dem Hilfskondensator auf einen Wert ansteigt, der größer ist als der Wert der Spannung an der Ausgangskapazität.

[0025] Der Entladepfad und die Entladeschaltung bilden eine Serienschaltung aus, die parallel zur ersten Diode angeordnet sein kann. Alternativ ist es aber auch denkbar, dass die vierte Diode als Teil der Entladeschaltung zwischen dem ersten Gleichspannungsausgang und der ersten Diode angeordnet ist, so dass die erste Diode mit dem ersten Gleichspannungsausgang über die zweite Diode verbunden ist.

[0026] In einer vorteilhaften Ausführungsform des erfindungsgemäßen Hochsetzstellers ist die Entladeschaltung dazu eingerichtet, den Hilfskondensator auf eine Spannung zu entladen, deren Wert kleiner als der Wert der Spannung an der Ausgangskapazität ist. In dem Fall ist auch für den Kondensator der Snubberschaltung eine Aufladung über den Gleichspannungseingang oder aus der Ausgangskapazität auf lediglich diesen kleineren Spannungswert erforderlich, um eine Spannung von null an dem Halbleiterschalter zum Beginn des Ausschaltvorgangs zu erhalten. Bei der Aufladung des Kondensators aus dem Gleichspannungseingang über einen Ladepfad, der eine Serienschaltung einer zweiten Induktivität und einer dritten Diode umfasst, ist dann beispielsweise eine Spannung zwischen den Gleichspannungseingängen ausreichend, deren Wert geringer ist als der halbe Wert der Spannung zwischen den Gleichspannungsausgängen, d.h., ein verlustarmer Betrieb des Hochsetzstellers ist bei dieser Ausführungsform auch für ein Übersetzungsverhältnis von mehr als 1:2 gewährleistet.

[0027] Besonders aufwandsarm lässt sich die Entladung des Hilfskondensators auf eine Spannung,

deren Wert kleiner als der Wert der Spannung an der Ausgangskapazität ist, durch eine Ausführungsform des Hochsetzstellers erreichen, bei der die Entladeschaltung eine Serienschaltung einer dritten Induktivität und einer vierten Diode umfasst. Sobald beim Entladen des Kondensators der Snubberschaltung in den Hilfskondensator die Spannung an dem Hilfskondensator auf einen Wert ansteigt, der größer ist als der Wert der Spannung an der Ausgangskapazität, fließt ein Strom durch die Entladeschaltung in Richtung des ersten Gleichspannungsausgangs. Aufgrund der vierten Induktivität steigt dieser Strom jedoch nur langsam an, so dass weiterhin ein entsprechend abnehmender Teilstrom in den Hilfskondensator fließt, wodurch die Spannung an dem Hilfskondensator über den Wert der Spannung an der Ausgangskapazität ansteigt. Nachdem der Teilstrom in den Hilfskondensator zu null geworden ist und der Kondensator der Snubberschaltung vollständig entladen ist, erfolgt aufgrund der gegenüber der Spannung an der Ausgangskapazität höheren Spannung an dem Hilfskondensator eine Entladung des Hilfskondensators über die dritte Induktivität und die vierte Diode in die Ausgangskapazität in Form einer halben Resonanzschwingung des durch die dritte Induktivität und den Hilfskondensator gebildeten Schwingkreises. Eine Fortführung der Resonanzschwingung, und somit ein erneutes Aufladen des Hilfskondensators, wird durch die vierte Diode verhindert.

[0028] Für den Fall, dass der Hilfskondensator und die dritte Induktivität direkt miteinander verbunden sind, und somit eine Serienschaltung ausbilden, kann dieser Serienschaltung in einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Hochsetzstellers ein aktiv ansteuerbares Schaltelement parallel geschaltet sein. In Verbindung mit der vierten Diode bildet die Entladeschaltung dann einen Hilfshochsetzsteller aus, mit dem die Ladung von dem Hilfskondensator durch eine getaktete Ansteuerung des aktiv ansteuerbaren Schaltelements in die Ausgangskapazität übertragen werden kann. Hiermit lässt sich gezielt eine Entladung des Hilfskondensators auf eine Spannung, deren Wert kleiner als der Wert der Spannung an der Ausgangskapazität ist, einstellen. Für den Fall, dass das aktiv ansteuerbare Schaltelement nicht angesteuert wird, verhält sich die Entladeschaltung genauso wie die zuvor beschriebene Entladeschaltung aus einer Serienschaltung der dritten Induktivität und der vierten Diode.

[0029] Festzuhalten ist im Zusammenhang mit den Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Hochsetzstellers, bei denen die Entladung des Hilfskondensators auf eine Spannung erfolgt, deren Wert kleiner als der Wert der Spannung an der Ausgangskapazität ist, dass auch ein Strom durch die Entladeschaltung in Richtung des ersten Gleichspannungsausgangs fließen kann, wenn die Spannung an dem Hilfskondensator einen Wert aufweist, der kleiner oder gleich dem Wert der Spannung an der Ausgangskapazität ist. Die Entladeschaltung ist erfindungsgemäß dazu eingerichtet dass ein Strom durch die Entladeschaltung in Richtung des ersten Gleichspannungsausgangs fließt, sobald die Spannung an dem Hilfskondensator auf einen Wert ansteigt, der größer ist als der Wert der Spannung an der Ausgangskapazität, das heißt der Stromfluss beginnt, sobald dieses Kriterium erfüllt ist, endet aber nicht zwangsläufig, wenn das Kriterium nicht mehr erfüllt ist.

[0030] Da das Aufladen des Kondensators der Snubberschaltung und das Entladen des Hilfskondensators prinzipiell zwei getrennte Vorgänge sind, können in einer Ausführungsform des Hochsetzstellers die zweite Induktivität und die dritte Induktivität durch eine gemeinsame Induktivität ausgebildet sein, deren eines Ende mit dem Hilfskondensator sowie der zweiten Diode und der dritten Diode verbunden ist. Damit der Kondensator nicht während des Entladens des Hilfskondensators wieder aufgeladen wird, ist das andere Ende der gemeinsamen Induktivität über eine Serienschaltung aus einer fünften Diode und einem aktiv ansteuerbaren Schaltelement mit dem Verbindungspunkt zwischen dem Kondensator und der zweiten Diode verbunden, um die zum Laden des Kondensators erforderliche Verbindung zwischen der gemeinsamen Induktivität und dem Kondensator mit Hilfe des aktiv ansteuerbaren Schaltelements auftrennen zu können. Durch die fünfte Diode ist gewährleistet, dass während des Aufladens des Kondensators, d.h. bei geschlossenem aktivem Schaltelement, Ladung über den Ladepfad nur auf den Kondensator fließen kann, nicht aber wieder von diesem abfließen kann. Auch der Zustand, in dem während des Aufladens des Kondensators ein Strom durch die Entladeschaltung in Richtung des ersten Gleichspannungsausgangs fließt, beispielsweise beim Aufladen über eine Spannung am Gleichspannungseingang, die größer ist als der halbe Wert der Spannung an dem Hilfskondensator, ist bei Verwendung einer gemeinsamen Induktivität mit der beschriebenen Anordnung ohne weitere Einschränkungen möglich. Die Verwendung einer gemeinsamen Induktivität für die zweite Induktivität und die dritte Induktivität erfordert zwar zusätzlichen Bauteileaufwand in Form des aktiv ansteuerbaren Schaltelements und der fünften Diode; im Hinblick darauf, dass eine Induktivität, je nach Ausführung, jedoch gegebenenfalls groß, schwer und insbesondere teurer als ein aktiv ansteuerbares Schaltelement und eine Diode sein kann, ist die Ausführungsform des Hochsetzsteller mit einer gemeinsamen Induktivität für die die zweite Induktivität und die dritte Induktivität unter Umständen vorteilhaft.

[0031] Erfindungsgemäß kann der vorstehend beschriebene Hochsetzsteller als Ausführung einer ersten und zweiten Teileinheit eines symmetrischen

Hochsetzstellers genutzt werden, um auf diese Weise zum Beispiel einen größeren Eingangsspannungsbereich zu gestatten.

[0032] In einer besonders vorteilhaften Ausführungsform umfasst ein Wechselrichter einen erfindungsgemäßen Hochsetzsteller. Hierbei kann der Wechselrichter insbesondere ein photovoltaischer Wechselrichter sein, der eine Leistung von einem oder mehreren photovoltaischen Generatoren, die als Gleichspannung am Eingang oder an Eingängen des Hochsetzstellers anliegt, in eine netzkonforme Wechselspannung zur Einspeisung in ein Energieversorgungsnetz umwandelt.

[0033] Wie im Folgenden weiter ausgeführt wird, ist die technische Lehre der Erfindung auf andere Gleichspannungswandler-Typen, beispielsweise einen Tiefsetzsteller, einen bidirektionalen Wandler oder einen Inverswandler, übertragbar. Diese Wandlertypen umfassen als gemeinsame Merkmale eine Induktivität und zwei Schalter, von denen mindestens einer ein aktiver Halbleiterschalter, häufig ein Leistungshalbleiterschalter ist. Der andere Schalter kann alternativ auch ein passiver Schalter, beispielsweise eine Diode, sein. Die Induktivität und die zwei Schalter sind in vorbekannter Weise zwischen den Gleichspannungseingangsanschlüssen und den Gleichspannungsausgangsanschlüssen angeordnet. Nach dem Einschalten des Halbleiterschalters wird die Induktivität beispielsweise aus einer Eingangskapazität energetisiert und nach dem Ausschalten des Halbleiterschalters wird die Energie von der Spule über den anderen Schalter beispielsweise an eine Ausgangskapazität abgegeben. Wie das Beispiel eines bidirektionalen Wandlers zeigt, sind die Begriffe Gleichspannungseingang, Gleichspannungsausgang, Eingangskapazität und Ausgangskapazität dabei nicht zwangsläufig mit einer Leistungsflussrichtung durch den Gleichspannungswandler verknüpft. Entsprechend ist bei einer Übertragung der zuvor für einen Hochsetzsteller offenbarten technischen Lehre auf einen Tiefsetzsteller die Bezeichnung betreffend Eingang und Ausgang umgekehrt.

[0034] Die Snubberschaltung umfasst auch bei Übertragung der technischen Lehre der Erfindung auf andere Gleichspannungswandler jeweils einen Entladepfad mit einer Serienschaltung eines Kondensators und einer Diode, und einen Ladepfad, der, ausgehend von einem Verbindungspunkt zwischen dem Kondensator und der Diode, über beispielsweise eine weitere Diode und eine weitere Induktivität zu einem Anschluss einer Ausgangs- oder Eingangskapazität verläuft und derart eingerichtet ist, dass der Kondensator beim Einschalten des Halbleiterschalters aufgeladen wird. Der Entladepfad ist so angeordnet, dass die Serienschaltung des Kondensators und der Diode an ihrem einen Ende an einen der laststromführenden Anschlüsse des Halbleiterschalters angeschlossen ist und an ihrem anderen Ende, an dem sich die Diode befindet, an einen Hilfskondensator angeschlossen ist. Das andere Ende des Hilfskondensators ist wiederum an den anderen der laststromführenden Anschlüsse des Halbleiterschalters angeschlossen. Ferner ist der Entladepfad durch entsprechende Polung der Diode derart eingerichtet, dass ein Stromfluss von dem Kondensator in den Hilfskondensator möglich ist, so dass der Kondensator beim Ausschalten des Halbleiterschalters entladen wird. Die Anordnung und Funktionsweise der Entladeschaltung entspricht ebenfalls derjenigen, die zuvor schon für den Hochsetzsteller beschrieben wurde.

[0035] Für einen derartigen Gleichspannungswandler, insbesondere einen Hochsetzsteller, einen Tiefsetzsteller, einen bidirektionaler Wandler oder einen Inverswandler ergibt sich dann bei Anwendung der erfindungsgemäßen Lehre ein Verfahren zur Verminderung der Ausschaltverluste des Leistungshalbleiterschalters in dem Gleichspannungswandler mit den Schritten:

- Aufladen des Kondensators beim Einschalten des Leistungshalbleiterschalters auf einen gleichen Spannungswert und mit entgegengesetzter Polarität wie die Spannung an dem Hilfskondensator.
- Entladen des Kondensators beim Ausschalten des Leistungshalbleiterschalters über die Diode in den Hilfskondensator.
- Entladen des Hilfskondensators und/oder des Kondensators in eine Ausgangskapazität des Gleichspannungswandlers, sobald die Spannung an dem Hilfskondensator auf einen Wert ansteigt, der größer ist als der Wert der Spannung an der Ausgangskapazität.

[0036] Als einen weiteren Schritt kann das Verfahren ein Entladen des Hilfskondensators auf eine Spannung, deren Wert kleiner als der Wert der Spannung an der Ausgangskapazität ist, umfassen.

[0037] Das Aufladen des Kondensators kann bei dem erfindungsgemäßen Verfahren aus einer Eingangskapazität oder aus der Ausgangskapazität des Gleichspannungswandlers erfolgen.

[0038] Im Folgenden wird die Erfindung anhand von Figuren näher erläutert. Die Figuren dienen hierbei der Veranschaulichung von Ausführungsformen der Erfindung, beschränken die Erfindung aber nicht auf die gezeigten Merkmale.

[0039] **Fig.** 1 zeigt eine erste Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Hochsetzstellers,

[0040] **Fig.** 2 zeigt eine zweite Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Hochsetzstellers,

[0041] Fig. 3 zeigt eine dritte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Hochsetzstellers mit einer aktiven Entladeschaltung,

[0042] Fig. 4 zeigt eine vierte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Hochsetzstellers mit einer gemeinsam genutzten Induktivität und

[0043] Fig. 5 zeigt eine fünfte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Hochsetzstellers als symmetrischer Hochsetzsteller.

[0044] Fig. 1 zeigt eine Schaltungsanordnung für einen Hochsetzsteller **1** mit einem ersten Gleichspannungseingang **2** und einem zweiten Gleichspannungseingang **3**, zwischen denen eine Eingangskapazität **6** angeordnet ist. Zwischen einem ersten Gleichspannungsausgang **4** und einem zweiten Gleichspannungsausgang **5** ist eine Ausgangskapazität **14** angeordnet. Der erste Gleichspannungseingang **2** ist, wie von konventionellen Hochsetzstellern bekannt, über eine erste Induktivität **7** und eine erste Diode **9** mit dem ersten Gleichspannungsausgang **4** verbunden. Ein Verbindungspunkt **22** zwischen der ersten Induktivität **7** und der ersten Diode **9** ist über einen Halbleiterschalter **8** als Halbleiterschalter sowohl mit dem zweiten Gleichspannungseingang **3** als auch mit dem zweiten Gleichspannungsausgang **5** verbunden. Zusätzlich weist der Hochsetzsteller **1** eine Snubberschaltung auf, die einen Ladepfad und einen Entladepfad umfasst. Der Entladepfad verläuft ausgehend vom Verbindungspunkt **22** über eine Serienschaltung eines Kondensators **10** und einer zweiten Diode **11** zu einem Hilfskondensator **17**, der mit seinem anderen Ende an den zweiten Gleichspannungsausgang **5** angeschlossen ist. Weiterhin zweigt von einem Verbindungspunkt zwischen der zweiten Diode **11** und dem Hilfskondensator **17** eine Entladeschaltung **20** ab, die an ihrem anderen Ende an den ersten Gleichspannungsausgang **4** angeschlossen ist. Die Entladeschaltung **20** ist als Serienschaltung einer dritten Induktivität **19** und einer vierten Diode **18** ausgeführt. Der Ladepfad verbindet den ersten Gleichspannungseingang **2** mit einem Verbindungspunkt zwischen dem Kondensator **10** und der zweiten Diode **11** über eine Serienschaltung einer dritten Diode **12** und einer zweiten Induktivität **13**. Die Reihenfolge der Serienschaltung der dritten Diode **12** und der zweiten Induktivität **13** sowie die Reihenfolge der Serienschaltung der vierten Diode **18** und der dritten Induktivität **19** ist beliebig.

[0045] Im Betrieb des Hochsetzstellers **1** ist der Kondensator **10** zu einem Zeitpunkt, zu dem der Halbleiterschalter **8** geöffnet wird, ungefähr auf die gleiche Spannung wie der Hilfskondensator **17** geladen. Im Folgenden wird der Strom durch die erste Induktivität **7** über den Kondensator **10** und die zweite Diode **11** zu dem Hilfskondensator **17** weitergeleitet und entlädt den Kondensator **10** in den Hilfskondensator **17**. Sobald die Spannung an dem Hilfskondensator **17** ungefähr so groß ist wie die Spannung an der Ausgangskapazität **14**, wird die vierte Diode **18** leitend und es fließt ein Strom durch die Entladeschaltung **20** in Richtung des ersten Gleichspannungsausgangs **4**. Da der Anstieg des Stroms durch die Entladeschaltung **20** aufgrund der dritten Induktivität **19** begrenzt wird, fließt weiterhin auch ein Strom aus dem Entladepfad in den Hilfskondensator **17**, der dadurch weiter auf eine noch höhere Spannung aufgeladen wird, die größer ist als die Spannung an der Ausgangskapazität **14**. Erst wenn der Strom aus dem Entladepfad in den Hilfskondensator **17** zu null geworden ist und der Kondensator **10** entladen ist, wird der Hilfskondensator **17** in die Ausgangskapazität **14** entladen. Da der Hilfskondensator **17** und die dritte Induktivität **19** einen Serienresonanzkreis bilden, erfolgt die Entladung des Hilfskondensators **17** in Form einer halben Resonanzschwingung. Eine Fortsetzung der Resonanzschwingung und damit ein erneutes Aufladen des Hilfskondensators **17** wird durch die vierte Diode **18** verhindert. Nach seiner Entladung ist die Spannung an dem Hilfskondensator **17** um denjenigen Betrag kleiner als die Spannung an der Ausgangskapazität **14**, um den sie bei Beginn seiner Entladung größer war als die Spannung an der Ausgangskapazität **14**. Wenn der Kondensator **10** entladen ist, kommutiert der Stromdurch die erste Induktivität **7** auf die erste Diode **9**.

[0046] Wenn der Halbleiterschalter **8** geschlossen wird, wird der Kondensator **10** mithilfe der Spannung der Eingangskapazität **6** über die zweite Induktivität **13**, die dritte Diode **12** und den Halbleiterschalter **8** wieder aufgeladen. Da der Kondensator **10** und die zweite Induktivität **13** einen Serienresonanzkreis bilden, verläuft dies als resonanter Ladevorgang, wobei der Ladestrom in etwa einer Sinushalbwelle entspricht und die dritte Diode **12** eine Fortsetzung des Resonanzvorgangs, und damit ein Entladen des Kondensators **10** verhindert. Falls die Spannung an der Eingangskapazität **6** größer als der halbe Wert der Spannung an dem Hilfskondensator **17** ist, fließt, sobald die Spannung an dem Kondensator **10** ungefähr so groß ist wie die Spannung an dem Hilfskondensator **17**, ein Teil des Ladestroms über die zweite Diode **11** zu dem Hilfskondensator **17**, so dass beide Kondensatoren **10**, **17** weiter auf einen gleichen Spannungswert geladen werden. Falls dabei die Spannung an den beiden Kondensatoren **10**, **17**, sogar noch bis auf den Wert der Spannung an der Ausgangskapazität **14** ansteigt, wird der Ladestrom weiterhin auch noch über die Entladeschaltung **20** zu dem ersten Gleichspannungsausgang **4** abgeführt. Somit hat unabhängig von dem Wert der Spannung an der Eingangskapazität **6** die Spannung an dem Kondensator **10** am Ende des resonanten Ladevorgangs ungefähr den gleichen Wert und umgekehrte Polarität wie die Spannung an dem Hilfskondensator **17**.

[0047] Auf diese Weise wird mit der Snubberschaltung erreicht, dass der Halbleiterschalter **8** spannungsfrei oder zumindest mit gegenüber einem konventionellen Hochsetzsteller ohne Snubberschaltung reduziertem Spannungsabfall über dem Halbleiterschalter **8** geöffnet werden kann. Weiterhin wird ein verlangsamter Stromanstieg im Halbleiterschalter **8** beim Einschaltvorgang erreicht. Demzufolge verringern sich die Schaltverluste des Halbleiterschalters **8** und der Wirkungsgrad des Hochsetzstellers **1** wird entsprechend verbessert.

[0048] Der Hochsetzsteller **1** gemäß der Ausführungsform in **Fig.** 2 unterscheidet sich von dem Hochsetzsteller gemäß **Fig.** 1 dadurch, dass er eine geteilte Ausgangkapazität **14** in Form einer Serienschaltung aus einem ersten Ausgangskondensator **15** und einem zweiten Ausgangskondensator **16** aufweist. Der Ladepfad verläuft als eine Serienschaltung der dritten Diode **12** und der zweiten Induktivität **13** von einem Zwischenpunkt zwischen den beiden Ausgangskondensatoren **15**, **16** zu dem Verbindungspunkt zwischen dem Kondensator **10** und der zweiten Diode **11**. Das Aufladen des Kondensators **10** erfolgt aus dem zweiten Ausgangskondensator **16** auf den doppelten Wert der an ihm anliegenden Spannung. Um diese auf den somit erforderlichen Wert der halben an dem Hilfskondensator **17** anliegenden Spannung einstellen zu können, ist zusätzlich eine in **Fig.** 2 nicht dargestellte Ausgleichsschaltung für die Spannungsverteilung auf den Ausgangskondensatoren **15**, **16** erforderlich.

[0049] Die dritte Induktivität **19** kann bei den Hochsetzstellern **1** in den **Fig.** 1 und **Fig.** 2 auch entfallen. Damit ergeben sich weitere Ausführungsbeispiele für Anwendungsfälle, bei denen auf eine Entladung des Hilfskondensators **17** auf einen Spannungswert unterhalb der Spannung an der Ausgangskapazität **14** verzichtet werden kann.

[0050] Der Hochsetzsteller **1** gemäß der Ausführungsform in **Fig.** 3 entspricht demjenigen aus **Fig.** 1, wobei hier der Serienschaltung des Hilfskondensators **17** und der dritten Induktivität **19** zusätzlich ein aktiv ansteuerbares Schaltelement **26** parallel geschaltet ist. Die Entladeschaltung **20** bildet damit einen Hilfshochsetzsteller aus, mit dessen Hilfe bei einer getakteten Ansteuerung des aktiv ansteuerbaren Schaltelements **26** Ladung von dem Hilfskondensator **17** in die Ausgangkapazität **14** übertragen werden kann. Damit lässt sich der Hilfskondensator **17** auf noch geringere Spannungswerte entladen, als es mit der Entladeschaltung **20** aus den **Fig.** 1 und **Fig.** 2 möglich ist. Dadurch lässt sich mit dem Hochsetzsteller **1** gemäß **Fig.** 3 beispielsweise auch in Fällen, in denen bei dem Hochsetzsteller **1** gemäß **Fig.** 1 die Spannung an der Eingangskapazität **6** zu gering ist, um den Kondensator **10** auf den gleichen Spannungswert wie den Hilfskondensator **17** aufzuladen, der für verlustarmes Schalten gewünschte Zustand gleicher Spannungswerte an den beiden Kondensatoren **10**, **17** zu Beginn des Ausschaltvorgangs des Halbleiterschalters **8** erreichen. Für den Fall, dass das aktiv ansteuerbare Schaltelement **26** nicht angesteuert wird, verhält sich die Entladeschaltung genauso wie diejenige des Hochsetzstellers **1** aus **Fig.** 1.

[0051] Bei dem Hochsetzsteller **1** in **Fig.** 4 sind die zweite Induktivität **13** und die dritte Induktivität **19** durch eine gemeinsame Induktivität ausgebildet. Dazu ist in dem Ladepfad die Reihenfolge der Verschaltung der dritten Diode **12** und der zweiten Induktivität **13** vertauscht. Zwischen dem Verbindungspunkt zwischen dem Kondensator **10** und der zweiten Diode **11** und dem Verbindungspunkt zwischen der gemeinsamen Induktivität und der vierten Diode **18** ist in dem Ladepfad zusätzlich eine Serienschaltung einer fünften Diode **27** und eines aktiv ansteuerbaren Schaltelements **28** vorhanden. Durch Öffnen des Schaltelements wird verhindert, dass der Kondensator **10** während des Entladens des Hilfskondensators **17** wieder aufgeladen wird. Durch die fünfte Diode **27** ist sichergestellt, dass während des Aufladens des Kondensators **10** über den Ladepfad die Ladung nur auf den Kondensator **10** fließen kann, nicht aber wieder von diesem abfließen kann.

[0052] In **Fig.** 5 ist die Verschaltung zweier Teileinheiten **24** und **25** zu einem symmetrischen Hochsetzsteller **30** gezeigt. Die beiden Teileinheiten **24**, **24** sind hier jeweils als Hochsetzsteller **1** gemäß der Ausführungsform aus **Fig.** 1 ausgeführt und symmetrisch zu einer Mittelleitung angeordnet, die durch die gemeinsamen zweiten Gleichspannungseingänge **3**, **3'** und zweiten Gleichspannungsausgänge **5**, **5'** gebildet wird. Die beiden Teileinheiten **24**, **24** können aber auch in Form jedes beliebigen anderen erfindungsgemäßen Hochsetzstellers **1** ausgeführt sein. Die Durchlassrichtungen des Halbleiterschalters **8'** und der Dioden **9'**, **11'**, **12'**, **18'** der zweiten Teileinheit **25** sind aufgrund umgekehrter Stromflussrichtungen den Durchlassrichtungen des Halbleiterschalters **8** und der Dioden **9**, **11**, **12**, **18** der ersten Teileinheit **24** entgegengesetzt. Weiterhin ist bei dem symmetrischen Hochsetzsteller **30** der **Fig.** 3 eine optionale magnetische Kopplung der ersten Induktivität **7** der ersten Teileinheit **24** mit der ersten Induktivität **7'** der zweiten Teileinheit **25** vorhanden.

[0053] Die Erfindung ist nicht auf die explizit gezeigten Ausführungsformen beschränkt, sondern kann in vielfacher Art und Weise abgewandelt, insbesondere mit anderen gezeigten oder dem Fachmann bekannten Ausführungsformen kombiniert werden.

Bezugszeichenliste

1	Hochsetzsteller
2, 3, 2‘, 3‘	Gleichspannungseingang
4, 5, 4‘, 5‘	Gleichspannungsausgang
6, 6‘	Eingangskapazität
7, 7‘	Induktivität
8, 8‘	Halbleiterschalter
9, 9‘	Diode
10, 10‘	Kondensator
11, 12, 11‘, 12‘	Diode
13, 13‘	Induktivität
14, 14‘	Ausgangskapazität
15, 16, 15‘, 16‘	Ausgangskondensator
17, 17‘	Hilfskondensator
18, 18‘	Diode
19, 19‘	Induktivität
20, 20‘	Entladeschaltung
22, 22‘	Verbindungspunkt
24, 25	Teileinheit
26	Schaltelement
27	Diode
28	Schaltelement
30	Symmetrischer Hochsetzsteller

Patentansprüche

1. Hochsetzsteller (**1**), umfassend:
– eine erste Induktivität (**7**), die einen ersten Gleichspannungseingang (**2**) des Hochsetzstellers (**1**) mit einem ersten Verbindungspunkt (**22**) elektrisch verbindet,
– einen Halbleiterschalter (**8**), der den ersten Verbindungspunkt (**22**) mit einem zweiten Gleichspannungseingang (**3**) und einem zweiten Gleichspannungsausgang (**5**) des Hochsetzstellers (**1**) verbindet,
– eine erste Diode (**9**), die den ersten Verbindungspunkt (**22**) mit einem ersten Gleichspannungsausgang (**4**) des Hochsetzstellers (**1**) verbindet,
– eine Ausgangskapazität (**14**), die zwischen dem ersten und zweiten Gleichspannungsausgang (**4**, **5**) angeordnet ist, und
– eine Snubberschaltung mit einem Ladepfad und einem Entladepfad, wobei der Entladepfad als Serienschaltung eines Kondensators (**10**) und einer zweiten Diode (**11**) an seinem einen Ende an dem ersten Verbindungspunkt (**22**) angeschlossen ist und derart eingerichtet ist, dass der Kondensator (**10**) beim Ausschalten des Halbleiterschalters (**8**) entladen wird, und wobei der Ladepfad von dem ersten Gleichspannungseingang (**2**) oder von einem Anschluss der Ausgangskapazität (**14**) zu einem Verbindungspunkt zwischen dem Kondensator (**10**) und der zweiten Diode (**11**) verläuft und derart eingerichtet ist, dass der Kondensator (**10**) beim Einschalten des Halbleiterschalters (**8**) aufgeladen wird,

dadurch gekennzeichnet, dass
ein Hilfskondensator (**17**) zwischen dem anderen Ende des Entladepfades und dem zweiten Gleichspannungsausgang (**5**) angeschlossen ist und weiterhin eine Entladeschaltung (**20**) zwischen dem anderen Ende des Entladepfades und dem ersten Gleichspannungsausgang (**4**) angeschlossen ist und derart eingerichtet ist, dass ein Strom durch die Entladeschaltung (**20**) in Richtung des ersten Gleichspannungsausgangs (**4**) fließt, sobald die Spannung an dem Hilfskondensator (**17**) auf einen Wert ansteigt, der größer ist als der Wert der Spannung an der Ausgangskapazität (**14**).

2. Hochsetzsteller (**1**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Ladepfad eine Serienschaltung einer zweiten Induktivität (**13**) und einer dritten Diode (**12**) umfasst.

3. Hochsetzsteller (**1**) nach Anspruch 1, wobei der Ladepfad zur Aufladung des Kondensators (**10**) aus einer Eingangskapazität (**6**) eingerichtet ist, die zwischen dem ersten und zweiten Gleichspannungseingang (**2**, **3**) angeordnet ist.

4. Hochsetzsteller (**1**) nach Anspruch 1, wobei die Ausgangskapazität (**14**) eine Serienschaltung eines ersten und eines zweiten Ausgangskondensators (**15**, **16**) mit einem Zwischenpunkt umfasst, und wobei der Ladepfad den Verbindungspunkt zwischen dem Kondensator (**10**) und der zweiten Diode (**11**) mit dem Zwischenpunkt des ersten und zweiten Ausgangskondensators (**15**, **16**) verbindet.

5. Hochsetzsteller (**1**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Entladeschaltung (**20**) eine vierte Diode (**18**) umfasst.

6. Hochsetzsteller (**1**) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Entladeschaltung (**20**) dazu eingerichtet ist, den Hilfskondensator (**17**) auf eine Spannung zu entladen, deren Wert kleiner als der Wert der Spannung an der Ausgangskapazität (**14**) ist.

7. Hochsetzsteller (**1**) nach Anspruch 6, wobei die Entladeschaltung (**20**) eine Serienschaltung einer dritten Induktivität (**19**) und einer vierten Diode (**18**) umfasst.

8. Hochsetzsteller (**1**) nach Anspruch 7, wobei der Hilfskondensator (**17**) und die dritte Induktivität (**19**) eine Serienschaltung ausbilden, der ein aktiv ansteuerbares Schaltelement (**26**) parallel geschaltet ist.

9. Hochsetzsteller (**1**) nach Anspruch 4 in Verbindung mit Anspruch 7 oder 8, wobei die zweite Induktivität (**13**) und die dritte Induktivität (**19**) durch eine gemeinsame Induktivität ausgebildet sind, deren eines Ende mit dem Hilfskondensator (**17**) sowie der zweiten Diode (**11**) und der dritten Diode (**12**) verbun-

den ist und deren anderes Ende über eine Serienschaltung aus einer fünften Diode (**27**) und einem aktiv ansteuerbaren Schaltelement (**28**) mit dem Verbindungspunkt zwischen dem Kondensator (**10**) und der zweiten Diode (**11**) verbunden ist.

10. Symmetrischer Hochsetzsteller (**30**) mit einer ersten und einer zweiten Teileinheit (**24**, **25**), die jeweils als Hochsetzsteller (**1**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche ausgeführt sind.

11. Symmetrischer Hochsetzsteller (**30**) nach Anspruch 10, wobei die erste Induktivität (**7**) der ersten Teileinheit (**24**) mit der ersten Induktivität (**7'**) der zweiten Teileinheit (**25**) magnetisch gekoppelt ist.

12. Wechselrichter, insbesondere photovoltaischer Wechselrichter, umfassend einen Hochsetzsteller (**1**, **30**) nach einem der Ansprüche 1 bis 11.

13. Verfahren zur Verminderung der Ausschaltverluste eines Leistungshalbleiterschalters in einem Gleichspannungswandler, der eine Snubberschaltung aufweist, die eine Serienschaltung eines Kondensators (**10**) und einer Diode (**11**) umfasst, wobei die Serienschaltung an ihrem einen Ende an einen der laststromführenden Anschlüsse des Leistungshalbleiterschalters angeschlossen ist und an ihrem anderen Ende, an dem sich die Diode (**11**) befindet, an einen Hilfskondensator (**17**) angeschlossen ist, dessen anderes Ende an den anderen der laststromführenden Anschlüsse des Leistungshalbleiterschalters angeschlossen ist, derart, dass ein Stromfluss von dem Kondensator (**10**) in den Hilfskondensator (**17**) möglich ist, wobei das Verfahren die Schritte umfasst:
– Aufladen des Kondensators (**10**) beim Einschalten des Leistungshalbleiterschalters auf einen gleichen Spannungswert und mit entgegengesetzter Polarität wie die Spannung an dem Hilfskondensator (**17**),
– Entladen des Kondensators (**10**) beim Ausschalten des Leistungshalbleiterschalters über die Diode (**11**) in den Hilfskondensator (**17**) und
– Entladen des Hilfskondensators (**17**) und/oder des Kondensators (**10**) in eine Ausgangskapazität (**14**) des Gleichspannungswandlers, sobald die Spannung an dem Hilfskondensator (**17**) auf einen Wert ansteigt, der größer ist als der Wert der Spannung an der Ausgangskapazität (**14**).

14. Verfahren nach Anspruch 13, wobei das Verfahren weiterhin den Schritt umfasst:
– Entladen des Hilfskondensators (**17**) auf eine Spannung, deren Wert kleiner als der Wert der Spannung an der Ausgangskapazität (**14**) ist.

15. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14, wobei das Aufladen des Kondensators (**10**) aus einer Eingangskapazität (**6**) oder aus der Ausgangskapazität (**14**) des Gleichspannungswandlers erfolgt.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 15, wobei der Gleichspannungswandler ein Hochsetzsteller, ein Tiefsetzsteller, ein bidirektionaler Wandler oder einen Inverswandler ist.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 16, wobei der Gleichspannungswandler ein Hochsetzsteller (**1**, **30**) ist, der nach einem der Ansprüche 1 bis 11 ausgebildet ist, wobei der Leistungshalbleiterschalter der Halbleiterschalter (**8**) ist.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

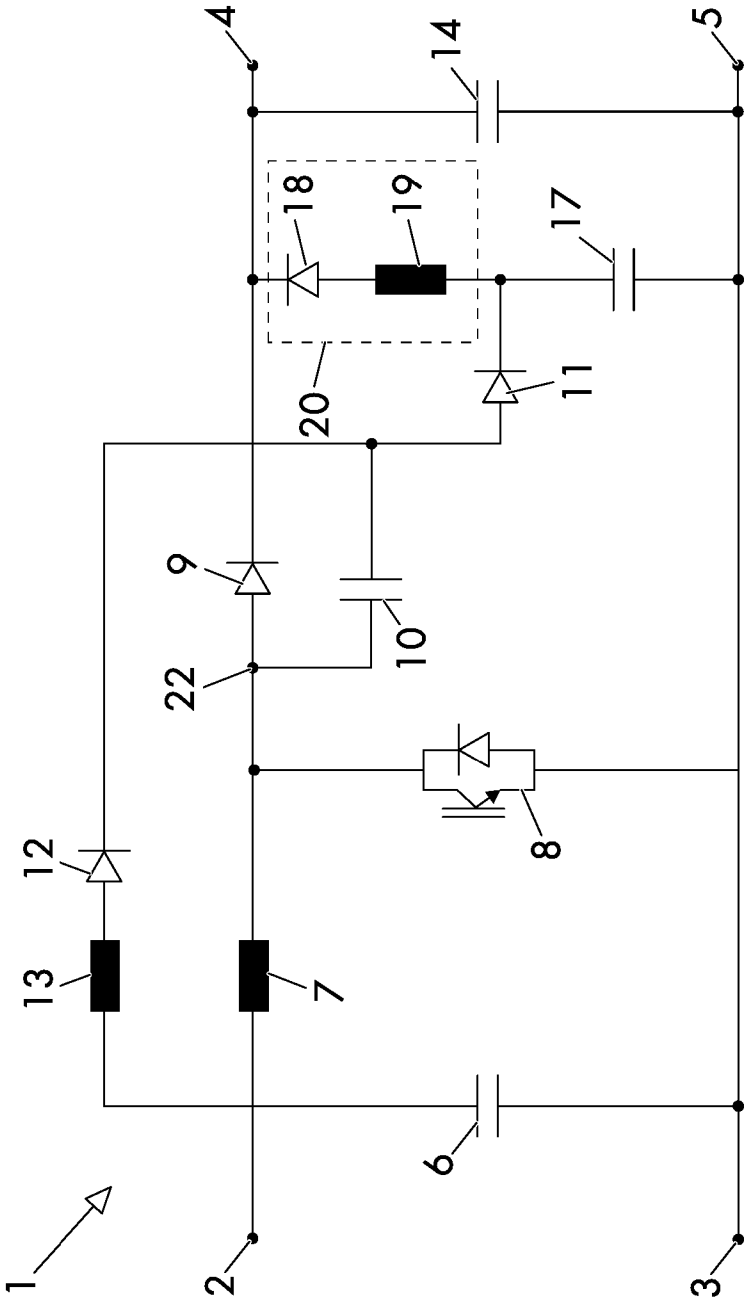


Fig. 1

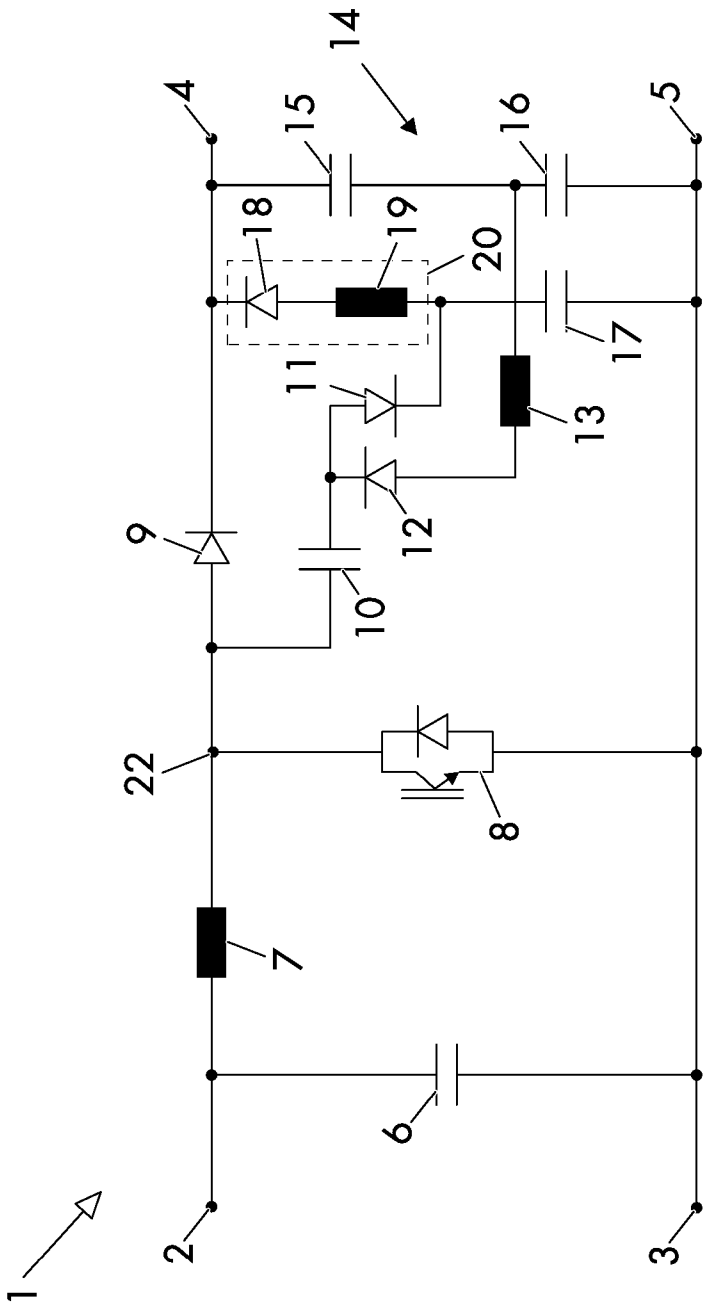


Fig. 2

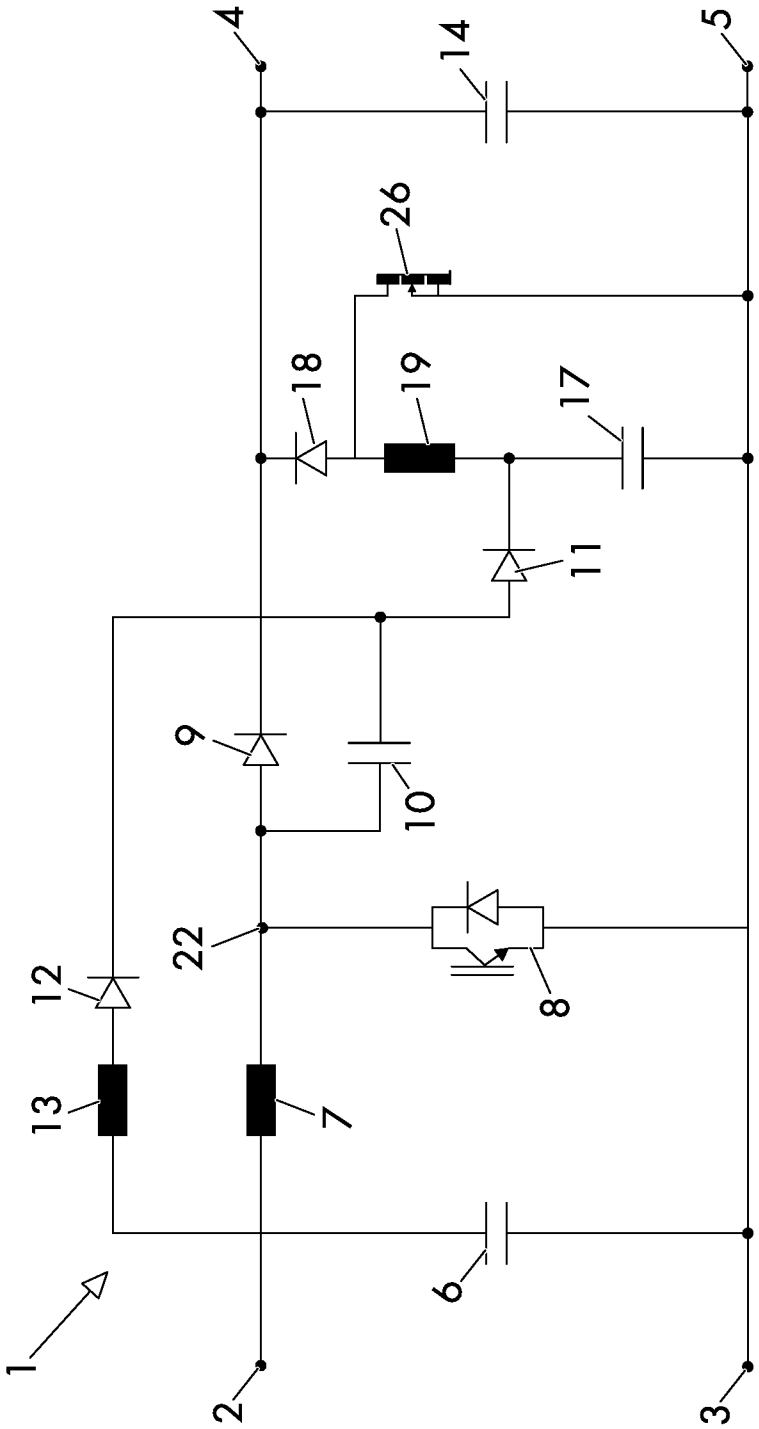


Fig. 3

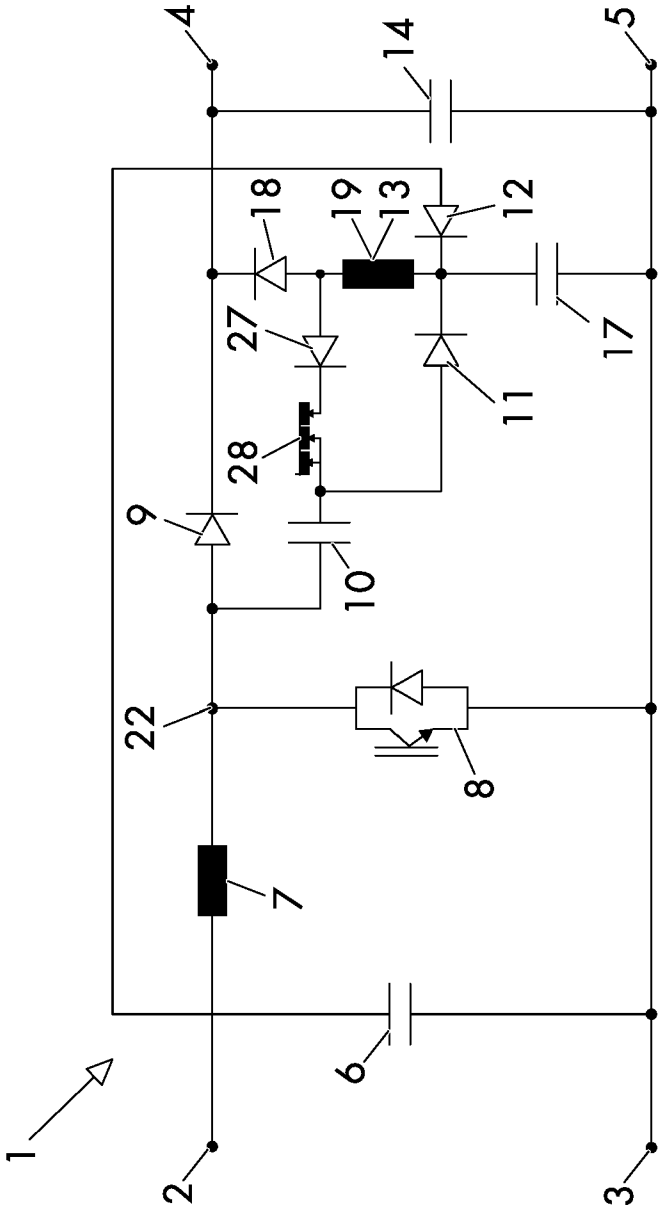


Fig. 4

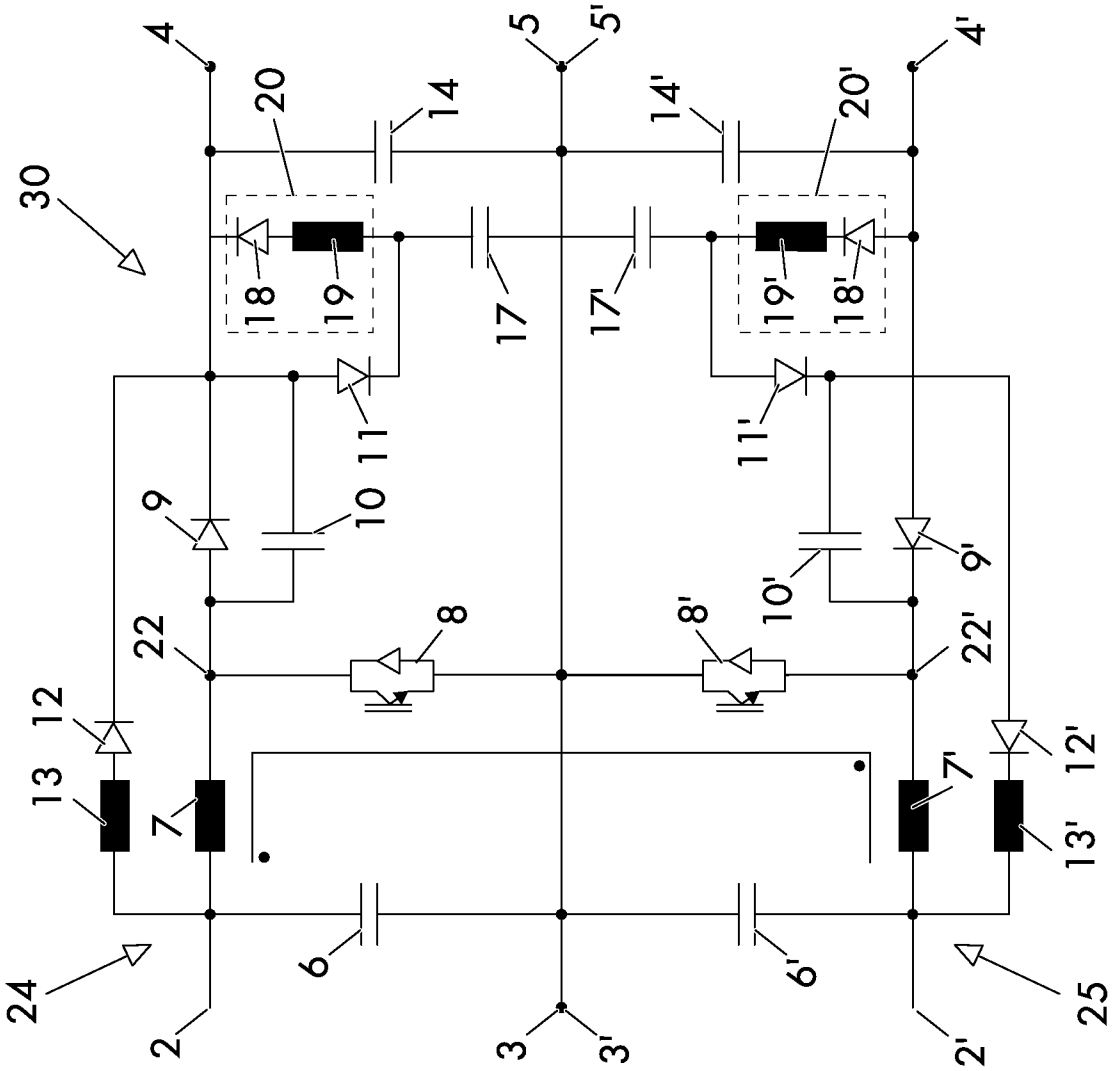

30
4
20
14
5
5'
14'
20'
4'
18
19
17
17'
19'
18'
11
11'
9
10
10'
9'
22
8
8'
22'
12
12'
13
7
7'
13'
24
6
6'
25
2
3
3'
2'

Fig. 5