



(19)
 Bundesrepublik Deutschland
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2007 026 393 A1** 2008.12.11

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2007 026 393.9**

(22) Anmeldetag: **06.06.2007**

(43) Offenlegungstag: **11.12.2008**

(51) Int Cl.⁸: **H02M 7/537 (2006.01)**

(71) Anmelder:
REFU Elektronik GmbH, 72555 Metzingen, DE

(74) Vertreter:
Rüger und Kollegen, 73728 Esslingen

(72) Erfinder:
Hantschel, Jochen, 72581 Dettingen, DE; Knoll, Michael, 72574 Bad Urach, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:

DE 102 21 592 A1

DE 100 20 537 A1

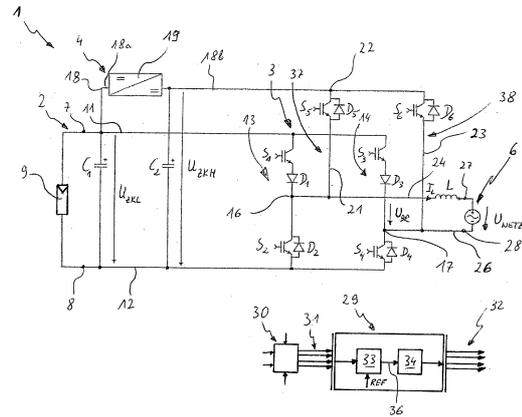
EP 10 35 640 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Schaltungsanordnung und Steuerungsverfahren für einen Wechselrichter mit Hochsetzsteller**

(57) Zusammenfassung: Es sind ein Verfahren zur Umwandlung einer elektrischen Eingangsgleichspannung (U_{ZKL}) in eine Wechselspannung (U_{NETZ}) und eine Wechselrichterschaltung (1) offenbart, die eine Vollbrücke (3) mit Schaltern (S_1 - S_4) und Freilaufelementen (D_1 - D_4) sowie wenigstens eine Speicherdrossel (L) am Ausgang der Vollbrücke verwenden. Zur Erhöhung der Eingangsgleichspannung (U_{ZKL}) ist eine Spannungswandlerschaltung (4) mit einem Hochsetzsteller (19) und zwei unterschiedlichen Spannungswandlerpfaden (37, 38) vorgesehen, die jeweils einen Schalter (S_5 , S_6) aufweisen, der den Ausgang des Hochsetzstellers (19) mit einem Mittelabgriff (16, 17) einer jeweiligen Halbbrücke (13, 14) der Vollbrücke (3) verbindet. Erfindungsgemäß steuert eine Steuerungseinrichtung (29) bei ausreichender Eingangsspannung (U_{ZK1}) in jeder Halbwelle der Wechselspannung (U_{NETZ}) lediglich einen Schalter (S_1 , S_3) der Vollbrücke (3) pulsweitenmoduliert hochfrequent an, um zur Aufmagnetisierung der Speicherdrossel (L) die Eingangsspannung (U_{ZKL}) an einem der Halbbrückenabgriffe (16, 17) anzulegen. Bei nicht ausreichender Eingangsspannung (U_{ZKL}) schließt sie den Vollbrückenschalter (S_1 , S_3) und steuert stattdessen einen der Schalter (S_5 , S_6) der Spannungswandlerschaltung (4) hochfrequent an, so dass das erhöhte Ausgangspotenzial (U_{ZKH}) des Hochsetzstellers (19) das Aufmagnetisierungspotenzial und die Eingangsspannung (U_{ZKL}) das Freilaufpotenzial vorgibt. Der ...



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Wechselrichter und ein Verfahren zur Umwandlung einer elektrischen Gleichspannung in eine Wechselspannung einer bestimmten Frequenz.

[0002] Wechselrichter werden z. B. dann eingesetzt, wenn elektrische Energie aus Gleichspannungsquellen, wie bspw. Fotovoltaikanlagen, Brennstoffzellen oder dgl. in das öffentliche Versorgungsnetz einzuspeisen ist. Dabei gilt es, aus einem Gleichspannungspotenzial einen Wechselstrom zu erzeugen, der an die Phase und Amplitude bspw. einer sinusförmigen Netzspannung mit einer Frequenz von 50 oder 60 Hz angepasst ist. Zu diesem Zweck sind ein- und dreiphasige Wechselrichter mit und ohne Transformator bekannt. Transformatorlose Wechselrichter haben einen höheren Wirkungsgrad, der auf geringere Energieverluste in dem Wechselrichter zurückzuführen ist. Der Wirkungsgrad des Wechselrichters bestimmt den gesamten Wirkungsgrad und somit die Wirtschaftlichkeit bspw. einer Fotovoltaikanlage in erheblichem Maße und sollte möglichst hoch sein.

[0003] DE 102 21 592 A1 beschreibt einen transformatorlosen Wechselrichter mit zwei Gleichspannungsanschlüssen, einer H-förmigen Vollbrückenschaltung, die vier Halbleiterschalter aufweist, und Speicherdrosseln, die in den zu den Wechselspannungsanschlüssen führenden Abzweigen der Brückenhälften angeordnet sind. Zur Erzeugung der gewünschten Wechselspannung aus einer anliegenden Gleichspannung werden bestimmte Schalter der Vollbrücke in Abhängigkeit von der Polarität der Wechselspannung mit einer hohen Taktfrequenz pulsweitenmoduliert geschaltet, um im Schließzustand der Schalter, der sog. Aufmagnetisierungsphase, einen Strom zur Aufladung der Drosselspulen bereitzustellen. Beim Öffnen der hochfrequent getakteten Schalter, der sog. Freilaufphase, kommutiert der aufgrund der Abmagnetisierung innerhalb der Drosseln weiter fließende Spulenstrom auf gesonderte Freilaufpfade, die zwischen den Abzweigen der Brückenhälften vorgesehen sind.

[0004] Die bekannte Wechselrichterschaltung ist zur Einspeisung von Energie in ein Netz geeignet. Allerdings müssen die auf der Gleichspannungsseite anliegenden Gleichspannungen wenigstens den Betrag des Scheitelwerts der Netzspannung aufweisen. Ansonsten reicht die Spannung zur Aufmagnetisierung der Drosselspule und somit zur Erzeugung des gewünschten Wechselstromes oder der gewünschten Wechselspannung nicht aus. Die Höhe der zugeführten Gleichspannung ist jedoch insbesondere beim Anschluss regenerativer Energiequellen, z. B. Fotovoltaikgeneratoren, nicht in jedem Betriebspunkt sichergestellt. Ein Fotovoltaikgenerator ist aus meh-

rerer Modulen aufgebaut, die jeweils eine Reihenschaltung von mehreren Generatorzellen mit einer Nennspannung von bspw. 0,7 bis 0,8 Volt aufweisen. Die von den Zellen gelieferte Spannung variiert herstellungs- und betriebsbedingt, insbesondere in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur und der Einstrahlleistung, bspw. je nach Abschattung, sowie abhängig von dem Alter bzw. der Nutzungsdauer der Zellen, in erheblichem Maße. Umso größer ist die gesamte Spannungsvarianz der Module und Generatoren. Eine beliebige Erhöhung der Anzahl der Generatormodule zur Erzielung einer Generatorspannung, die für die meisten Betriebspunkte ausreicht, ist aufgrund der begrenzten Durchschlagfestigkeit der eingangsseitigen Speicherkondensatoren nicht möglich und aus Kostengründen wenig sinnvoll.

[0005] Nachdem die einzelnen Generatorzellen zunehmend effektiver arbeiten und immer mehr Strom produzieren, besteht sogar im Gegenteil der Trend, immer weniger Zellen in Reihe zueinander zu schalten, um eine gewünschte Einspeiseleistung zu erreichen. Dadurch sinkt aber wiederum die zur Verfügung stehende Generatorspannung.

[0006] Es ist deshalb bekannt, Energiequellen, deren Gleichspannungspegel in bestimmten Betriebspunkten unterhalb des Netzscheitelwerts liegt, über einen sog. DC/DC-Steller an eine Wechselrichterschaltung anzuschließen. Ein DC/DC-Hochsetzsteller, der auch als Gleichstromsteller oder getakteter Spannungswandler bezeichnet wird, ist eine elektronische Schaltung, die eine eingangsseitige Gleichspannung in eine betragsmäßig größere Ausgangsspannung wandelt. Hochsetzsteller sind in unterschiedlichen Ausführungsformen allgemein bekannt. Bspw. sind induktive Wandler bekannt, die zur Energiespeicherung eine Spule benutzen, die über einen schließbaren Schalter geladen wird. Beim geöffneten Schalter entlädt sich die Spule über eine in Reihe angeschlossene Diode, um im Magnetfeld der Spule gespeicherte Energie an einen Verbraucher abzugeben.

[0007] Wenn Hochsetzsteller in einer Wechselrichterschaltung eingesetzt werden, führt dies zwangsläufig zu einer Verschlechterung des Wirkungsgrads. Dieser ist umso schlechter, je größer der Hochsetzsteller dimensioniert ist und je höher die Belastung, also der von dem Hochsetzsteller abgegebene Strom ist, wobei die Verluste näherungsweise proportional zur zweiten Potenz der Stromstärke sind. Der hohe Spannungspegel am Ausgang des Hochsetzstellers hat in einer Wechselrichterschaltung hohe Verluste zur Folge. Am Ausgang der Brückenschaltung entstehen hohe Potentialsprünge zwischen aufeinanderfolgenden Aufmagnetisierungs- und Freilaufphasen mit der Folge hoher Schaltverluste und großer Rippelströme und Ummagnetisierungsverluste innerhalb der Speicherdrossel. Außerdem sind stark di-

mensionierte Hochsetzsteller verhältnismäßig kostspielig.

[0008] Aus der DE 100 20 537 A1 ist ein Solarwechselrichter mit einer Vollbrücke bekannt, bei dem eingangsseitig vor der Vollbrücke zumindest zwei Gleichspannungsquellen vorgesehen sind. In einer Ausführungsform wird die zumindest eine weitere Gleichspannung aus der Eingangsgleichspannung mittels eines Hochsetzstellers gewonnen. Hierzu ist der Hochsetzsteller in einer Zweigleitung angeordnet, die zwischen einer Eingangsklemme und einem Verbindungspunkt der oberen Schalter der Vollbrücke angeschlossen ist. An dem Ausgang des Hochsetzstellers ist ein zusätzlicher Schalter vorgesehen. Parallel zu der Reihenschaltung aus dem Hochsetzsteller und dem zusätzlichen Schalter ist in einem Gleichspannungszweig eine Diode angeordnet. Die Netzwechselfspannung ist an Abzweigen angeschlossen, die jeweils mit einer der Halbbrücken der Vollbrücke zwischen dem oberen und dem unteren Schalter über einen Verbindungsknoten verbunden sind, wobei in einem Abzweig eine Speicherdrossel zur Spannungsglättung vorgeschaltet ist.

[0009] Solange im Betrieb der Betrag der Netzwechselfspannung kleiner ist als die Eingangsgleichspannung, sperrt der zusätzliche Schalter am Ausgang des Hochsetzstellers, während die Diode in dem Gleichspannungszweig leitend ist. Während einer Halbperiode der Netzwechselfspannung takten jeweils ein oberer Schalter einer der Halbbrücken und ein unterer Schalter der anderen Halbbrücke, während die Schalter auf der anderen Brückendiagonale gesperrt sind. In einer anderen Halbperiode werden die Schalter auf der anderen Brückendiagonale getaktet.

[0010] Wenn die Netzwechselfspannung betragsmäßig größer ist als die Eingangsgleichspannung, werden die zuvor getakteten Schalter dauernd leitend geschaltet, während der Schalter am Ausgang des Hochsetzstellers hochfrequent getaktet wird. Somit fließt der Strom zur Aufmagnetisierung der Speicherdrossel von dem Hochsetzsteller über den zusätzlichen Schalter an seinem Ausgang und die beiden Schalter auf der aktiven Brückendiagonale, während im geöffnetem Zustand des zusätzlichen Schalters am Ausgang des Hochsetzstellers ein Freilaufstrom über die Diode in dem Gleichspannungszweig fließt.

[0011] Diese Schaltung ergibt den Vorteil, dass der Hochsetzsteller nur bei Bedarf, zeitweilig eingesetzt wird, wenn die Eingangsspannung kein ausreichendes Aufmagnetisierungspotenzial liefert. Dabei sind die Schaltspannungen an dem Schalter am Ausgang des Hochsetzstellers und an der Freilaufdiode in dem Gleichspannungszweig auf die Differenzspannung zwischen dem Ausgangspotenzial des Hochsetzstellers und dem Potenzial der Eingangsgleichspannung

begrenzt. Somit sind Schalt- und Ummagnetisierungsverluste gering. Allerdings sind in den Aufmagnetisierungsphasen, in denen der Schalter am Ausgang des Hochsetzstellers geschlossen ist, in dem Strompfad nun drei Halbleiterschalter leitend, die entsprechende Durchlassverluste hervorrufen. Diese Verluste sind insofern nicht vernachlässigbar, als in dieser Phase des Schaltschemas auch die höchsten Ströme innerhalb der sinusförmigen Halbwelle der Netzwechselfspannung vorliegen. Dadurch wird ein Teil der erzielten Wirkungsgradverbesserung wieder eingebüßt.

[0012] Ausgehend hiervon ist es Aufgabe der Erfindung, eine Wechselrichterschaltung und ein Verfahren zur Umwandlung einer Eingangsgleichspannung in eine Wechselspannung einer bestimmten Frequenz zu schaffen, die es ermöglichen, auch bei unzureichenden Eingangsgleichspannungswerten, insbesondere unter dem Scheitelwert der Netzwechselfspannung, Energie mit hohem Wirkungsgrad in ein Netz einzuspeisen. Dabei sollen insbesondere Schalt- und Durchlassverluste sowie Ummagnetisierungsverluste und Rippelströme in der Speicherdrossel weitgehend reduziert werden.

[0013] Diese und weitere Aufgaben der vorliegenden Erfindung werden durch das erfindungsgemäße Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und den erfindungsgemäßen Wechselrichter nach Anspruch 18 gelöst.

[0014] Gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zur Umwandlung einer elektrischen Eingangsgleichspannung in eine Wechselspannung einer bestimmten Frequenz mittels einer Schaltungsanordnung geschaffen, zu der eine an die Eingangsgleichspannung angeschlossene Vollbrückenschaltung, die zwei zueinander parallele Halbbrücken mit jeweils einem ersten Schaltelement und einem in Reihe mit diesem verbundenen zweiten Schaltelement aufweist, Freilaufelemente, die Freilaufpfade definieren, und wenigstens eine Speicherdrossel gehören, die zwischen einem Brückenabgriff und einem Wechselspannungsanschluss angeschlossen ist, an den eine Wechselspannung mit einer bestimmten Frequenz angeschlossen werden kann. Die Schaltelemente werden in Abhängigkeit von der Polarität der Halbwellen der Wechselspannung mit festgelegtem Taktmuster geschaltet, wobei einzelne Schaltelemente synchron mit der Frequenz der Wechselspannung und andere Schalter mit hoher Taktfrequenz angesteuert werden. Insbesondere wird in einem normalen Betriebsmodus während einer Halbperiode jeweils ein erstes Schaltelement einer der Halbbrücken hochfrequent getaktet, während das zweite Schaltelement der anderen Halbbrücke geschlossen ist und die anderen Schaltelemente geöffnet sind. Im Schließzustand des hochfrequent getakteten Schalters, also in Aufmagnetisierungsphasen,

wird über diesen ein Aufmagnetisierungsstrom zur Aufmagnetisierung der wenigstens einen Speicherdrossel bereitgestellt. Im Öffnungszustand dieses Schaltelementes, den Freilaufpfaden, fließt über ausgewählte Freilaufelemente ein Freilaufstrom, der eine Abmagnetisierung der Speicherdrossel ermöglicht.

[0015] Erfindungsgemäß wird an die Eingangsgleichspannung im Nebenschluss zu wenigstens einem der hochfrequent getakteten ersten Schaltelemente ein Spannungswandlerpfad angeschlossen, in dem eine Spannungswandlereinrichtung, die im Betrieb aus der Eingangsspannung ein betragsmäßig höheres Potenzial erzeugt, und ein an dem Ausgang der Spannungswandlereinrichtung vorgesehenes ansteuerbares Schaltmittel angeordnet ist.

[0016] Ferner werden erfindungsgemäß die momentanen Betriebsbedingungen erfasst, anhand derer festgestellt wird, ob die Speicherdrossel bei Anwendung des Taktmusters in den Aufmagnetisierungsphasen ausreichend aufmagnetisiert wird. In Abhängigkeit von dem Ergebnis dieser Feststellung wird der Betriebsmodus zur Ansteuerung der Schaltelemente geeignet gewählt. Wenn festgestellt wird, dass die Speicherdrossel in den Aufmagnetisierungsphasen ausreichend aufmagnetisiert werden kann, wird gemäß dem normalen Betriebsmodus in den Aufmagnetisierungsphasen das Gleichspannungspotenzial selbst zur Bereitstellung des Aufmagnetisierungsstroms für die Speicherdrossel verwendet, d. h. bei entsprechender Schließung wenigstens eines hochfrequent getakteten Schaltelementes der Halbbrückenschaltung an die Speicherdrossel angekoppelt. In der Freilaufphase des normalen Betriebs, wenn das Schaltelement geöffnet ist, kommutiert der aufgrund der Abmagnetisierung innerhalb der Speicherdrossel weiter fließende Freilaufstrom auf einen gesonderten Freilaufpfad.

[0017] Wenn festgestellt wird, dass die Speicherdrossel in den Aufmagnetisierungsphasen nicht oder unzureichend aufmagnetisiert wird, wird ein erweiterter Betriebsmodus festgesetzt. In diesem Betriebsmodus wird das zuvor hochfrequent getaktete erste Schaltelement geschlossen bzw. aufgesteuert und stattdessen das Schaltmittel in dem Spannungswandlerpfad hochfrequent getaktet. Somit wird das aus dem Eingangsgleichspannungspotenzial erzeugte betragsmäßig höhere Ausgangspotenzial der Spannungswandlereinrichtung als Aufmagnetisierungspotenzial zur Bereitstellung des Ladestroms für die Speicherdrossel verwendet, d. h. an die Speicherdrossel angekoppelt. Durch die erfindungsgemäße Anordnung des Spannungswandlerpfades wird der Aufmagnetisierungsstrom vorteilhafterweise unter Umgehung des normalerweise hochfrequent getakteten und nun leitend geschalteten ersten Schaltelementes direkt der wenigstens einen Speicherdrossel

zugeführt. In den Freilaufphasen fließt der Freilaufstrom hingegen aus dem Gleichspannungskreis durch dieses erste Schaltelement, so dass nicht der im normalen Betriebsmodus verwendete Freilaufpfad, sondern der im normalen Betriebsmodus verwendete Aufmagnetisierungspfad zur Bereitstellung des Freilaufstroms verwendet wird. Somit gibt in den Freilaufphasen das Eingangsgleichspannungspotenzial das Freilaufpotenzial vor.

[0018] Die Erfindung eignet sich insbesondere zur Anwendung für die Einspeisung von Energie in ein Netz, bspw. öffentliches Versorgungsnetz, mittels einer Fotovoltaikanlage. Die ersten Schaltelemente der Vollbrücke und die Schaltmittel der Spannungswandlereinrichtung werden vorzugsweise pulsweitenmoduliert im kHz-Bereich, vorzugsweise bei etwa 18 kHz oder mehr, getaktet, um am Ausgang der wenigstens einen Speicherdrossel einen an die Netzwechselfrequenz hinsichtlich Amplitude und Phase angepassten Strom zu liefern. Es können auch andere Gleichspannungsquellen, die ein variables Gleichspannungspotenzial liefern, wie bspw. Brennstoffzellen oder Akkumulatoren, eingesetzt werden. Spannungsvarianzen, die auf herstellungsbedingte Toleranzen, auf Temperaturdrift oder Abschattungseffekte im Betrieb sowie auf Alterung zurückzuführen sind, werden durch die Erfindung ohne weiteres ausgeglichen, indem bspw. das erhöhte Potenzial auf ein gewünschtes Niveau eingeregelt wird. Es kann ein weiterer Bereich variabler Gleichspannungspotenziale am Eingang verwendet werden, wobei die Gleichspannung auch deutlich unter dem Scheitelwert der Wechselfrequenz, bspw. dem Scheitelwert von etwa $\sqrt{2} \cdot 230 \text{ V}$ oder $\sqrt{2} \cdot 120 \text{ V}$ einer herkömmlichen Netzwechselfrequenz mit einer Frequenz von 50 oder 60 Hz, liegen kann. Es ist festgestellt worden, dass mit einer Gleichspannungsamplitude von wenigstens etwa einem Drittel des Scheitelwerts der Netzspannung ein wirkungsvoller Betrieb möglich ist. Somit ist die Erfindung auf einen weiten Eingangsspannungsbereich anwendbar.

[0019] Die Erfindung ermöglicht es, auch bei unzureichenden Generatorspannungen Energie mit hohem Wirkungsgrad in ein Netz einzuspeisen, wozu mehrere Maßnahmen vorgesehen sind: Bspw. ist der Einsatz des erhöhten Spannungspotenzials lediglich auf Zeiträume der Halbwelle beschränkt, in denen die Gleichspannung eines Generators kein ausreichendes Aufmagnetisierungspotenzial liefert. In den übrigen Zeiträumen wird die niedrigere Gleichspannung des Generators zur Aufmagnetisierung der Speicherdrossel verwendet. Durch die geringere Potenzialhöhe der Generatorspannung sind die Schaltverluste, Rippelströme und Eisenverluste in der Speicherdrossel und elektromagnetische Störungen im Vergleich zu einer Betriebsweise, bei der stets von dem erhöhten Potenzial, bspw. dem Ausgangspotenzial eines Hochsetzstellers, abgetaktet würde, deutlich redu-

ziert. Ferner ist der Wirkungsgrad dadurch verbessert, dass bei nicht ausreichender Eingangsspannung in dem erweiterten Betriebsmodus zwar das erhöhte Potenzial das Aufmagnetisierungspotenzial, die Eingangsgleichspannung jedoch das Freilaufpotenzial vorgibt. Der Freilauf erfolgt über den Gleichspannungszweig direkt von dem Generator aus. Dies hat im Vergleich zu einem Freilauf, z. B. aus einem gegenüberliegenden Gleichspannungszweig einen geringeren Spannungshub auf dem Eingang der Speicherdrossel zur Folge. Der Spannungshub entspricht lediglich in etwa der Spannungsdifferenz zwischen dem Ausgangspotenzial der Spannungswandlereinrichtung und dem Potenzial der Eingangsgleichspannung. Durch das höhere Freilaufpotenzial erfolgt die Abmagnetisierung der Speicherdrossel wesentlich langsamer, wodurch vorteilhafterweise selbst in der Freilaufphase Energie ins Netz eingespeist wird. Außerdem werden dadurch Rippelströme und Ummagnetisierungsverluste innerhalb der Speicherdrossel ebenso wie EMV-Störungen drastisch reduziert. Durch die geringeren Spannungssprünge, die das Schaltmittel in dem Spannungswandlerzweig bei seiner hochfrequenten Taktung ausführen muss, fallen in diesem ebenso wie in einer gegebenenfalls in dem Gleichspannungszweig vorgesehenen Freilaufdiode nur geringe Schaltverluste an. Ferner kann die Leitenddauer des hochfrequent getakteten Schaltmittels im Bereich des Scheitelwertes der Halbwelle der Wechselspannung wirksam verringert werden, so dass über diesen eine geringere Energiemenge ins Netz gelangt und das Schaltmittel, wie auch die Spannungswandlereinrichtung, bspw. ein induktiver Hochsetzsteller, wesentlich kleiner ausgeführt werden können. Dadurch werden die Kosten der Bauteile und die durch diese hervorgerufenen Durchlassverluste reduziert.

[0020] Außerdem sind durch die erfindungsgemäße Anordnung des Spannungswandlerpfades und das erfindungsgemäße Schaltschema die Durchlassverluste reduziert. Die zum Teil hohen Aufmagnetisierungsströme fließen in dem erweiterten Betriebsmodus an dem normalerweise hochfrequent getakteten ersten Schaltelement vorbei und somit nur über zwei Halbleiterschalter, so dass eine Halbleiterstrecke eingespart wird. Damit kann in diesem Abschnitt der sinusförmigen Halbwelle der Netzwechselspannung, in dem besonders hohe Ströme anliegen, der Wirkungsgrad deutlich verbessert werden.

[0021] Der erweiterte Eingangsspannungsbereich macht das erfindungsgemäße Verfahren insbesondere für kleinere transformatorlose Wechselrichter der Leistungsklasse bis 2,5 kW oder max. 5 kW Spitzenleistung besonders geeignet, bei der sich bei relativ hohen Strömen verhältnismäßig geringe Eingangsspannungen ergeben. Während eine Verwendung zur einphasigen Einspeisung von Leistung in ein Netz vorgezogen wird, lässt sich das erfindungs-

gemäße Verfahren auch bspw. auf die Außenleiter eines Drehstromnetzes oder mittels drei zueinander versetzt taktender Wechselrichter und gesonderter Generatoren auf einen dreiphasigen Betrieb anwenden.

[0022] In einer vorteilhaften Ausführungsform sind die ersten Schaltelemente der Vollbrückenschaltung durch wenigstens ein Stromschutzelement vor unzulässig hohen Strömen in Rückwärtsrichtung geschützt. Hierzu kann jedem ersten Schaltelement ein ungesteuertes Stromschutzelement bspw. in Form einer Diode zugeordnet sein, die in Reihe zwischen dem ersten Schaltelement und einem Verbindungsknoten zu dem zweiten Schaltelement der jeweiligen Halbbrücke angeordnet ist, der einen Halbbrückenabgriff bildet. Alternativ kann den beiden ersten Schaltelementen eine gemeinsame Diode zugeordnet sein, die in einem Gleichspannungszweig zwischen einer Eingangsklemme für die Eingangsgleichspannung und einem Verbindungspunkt zwischen den beiden ersten Schaltelementen angeordnet ist. Dadurch lässt sich ein Halbleiterelement einsparen.

[0023] In einer bevorzugten Ausführungsform ist der wenigstens eine Spannungswandlerpfad parallel zu der Reihenschaltung aus dem Stromschutzelement und dem zugehörigen ersten Schaltelement angeschlossen, bspw. indem er zwischen der Eingangsklemme und dem Verbindungsknoten zwischen dem ersten und dem zweiten Schaltelement der jeweiligen Halbbrücke angeschlossen ist. Vorzugsweise sind zwei gesonderte Spannungswandlerpfade vorgesehen, die jeweils zwischen dem Ausgang der Spannungswandlereinrichtung und einem Brückenabgriff einer Halbbrücke ein eigenes ansteuerbares Schaltmittel aufweisen. Somit können Nebenschlusspfade für die beiden ersten Schaltelemente der Vollbrücke geschaffen werden, die in den jeweiligen Halbwellen der Netzwechselspannung hochfrequent schaltbar sind.

[0024] Die Erzeugung eines betragsmäßig höheren Potenzials wird vorzugsweise durch dynamische Regelung der Ausgangsspannung der Spannungswandlereinrichtung, insbesondere eines Hochsetzstellers bewerkstelligt. Ein induktiver DC/DC-Hochsetzsteller, wie er auch als Drossel-Aufwärtswandler oder Step-Up-Converter bezeichnet wird, wird bevorzugt. Es sind jedoch auch andere Hochsetzsteller, bspw. Gleichstromumrichter, möglich.

[0025] In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird zur Feststellung, ob die Drossel in den Aufmagnetisierungsphasen ausreichend aufmagnetisiert wird, der aktuelle Drosselspulenstrom erfasst und eine zur Aufmagnetisierung der Speicherdrossel erforderlicher Sollspannung festgelegt. Ferner wird diese gewünschte mittlere Spannung am Eingang der Speicherdrossel mit einem Referenzwert vergli-

chen, der die Wahl des geeigneten Betriebsmodus und der geeigneten Ansteuerungsstrategie ermöglicht. Insbesondere ist der Referenzwert passend gewählt, um eine Entscheidung zu ermöglichen, ob die Eingangsgleichspannung eventuell unter Berücksichtigung geeigneter Sicherheitsreserven zur Erzielung der gewünschten mittleren Brückenausgangs- bzw. Drosseleingangsspannung ausreicht.

[0026] In einer vorteilhaften Ausführungsform ist der Referenzwert ein variabler, in Abhängigkeit von momentanen Betriebsbedingungen anpassbarer oder einstellbarer Wert. Vorzugsweise ist der Referenzwert durch den Betrag des aktuellen Gleichspannungswertes gebildet oder gekennzeichnet, wobei bspw. Spannungsabfälle in dem Aufmagnetisierungspfad und bestimmte Toleranzen berücksichtigt werden. Wenn die gewünschte mittlere Drosseleingangsspannung betragsmäßig unterhalb des Gleichspannungspotenzials liegt, erfolgt die Aufmagnetisierung der Speicherdrossel gemäß dem normalen Betriebsmodus aus dem Gleichspannungskreis, während der Freilauf vorzugsweise über einen Freilaufpfad erfolgt, der eine Kommutierung des Freilaufstroms auf den gegenüberliegenden Gleichspannungszweig verhindert. Wenn der Betrag des gewünschten mittleren Drosseleingangsspannungswertes oberhalb der Gleichspannung liegt, wird der erfindungsgemäße erweiterte Betriebsmodus mit Aufmagnetisierung aus dem Spannungswandlerzweig und Freilauf aus dem Gleichspannungskreis über einen Gleichspannungszweig festgesetzt.

[0027] Im Bereich des Nulldurchgangs der Wechselspannung ist vorzugsweise ein weiterer Betriebsmodus vorgesehen, der es ermöglicht, auf Rippelströme zurückzuführende alternierende Stromflussrichtungen im Bereich des Nulldurchgangs zu beherrschen. In diesem Bereich wird auf eine herkömmliche asymmetrische Taktung der Vollbrücke ausgewichen, wobei jedoch die Schaltmittel in den Spannungswandlerpfaden verwendet werden. Somit werden ein erstes Schaltmittel und ein zweites Schaltelement einer Halbbrücke bzw. das andere Schaltmittel und das andere zweite Schaltelement der anderen Halbbrücke jeweils paarweise gleichzeitig geschlossen und geöffnet, wobei sie unter Berücksichtigung einer kurzen Totzeit, während der aller Schaltereinheiten offen sind, einander abwechseln. Durch geeignete Wahl des Tastverhältnisses kann sichergestellt werden, dass vor dem Nulldurchgang der Netzspannung eine Brückenspannung mit entgegengesetztem Vorzeichen bereitgestellt werden kann. Durch Vorhalten einer "negativen" Drosseleingangsspannung kann ein Einhalten der Sinusform des Strom beim Nulldurchgang sichergestellt werden.

[0028] Eine vorteilhafte Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens umfasst ferner die Schritt-

te der Anordnung eines Überbrückungspfades parallel zu der Spannungswandlereinrichtung und einer simultanen hochfrequenten Taktung des jeweiligen ersten Schaltelementes einer der Halbbrücken gemeinsam mit dem wenigstens einen Schaltmittel in dem zugehörigen Nebenschluss-Spannungswandlerpfad für den Fall, dass die Eingangsgleichspannung größer ist als der Scheitelwert der Wechselspannung. Dadurch können geringere Durchlastverluste in dem jeweiligen Betriebspunkt erzielt werden.

[0029] Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein Wechselrichter zur Umwandlung einer Gleichspannung in eine Wechselspannung, insbesondere eine Netzwechselspannung mit einer Frequenz von 50 oder 60 Hz, geschaffen, wobei der Wechselrichter zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens eingerichtet ist. Der Wechselrichter weist einen ersten und einen zweiten Gleichspannungszweig, an die eine Gleichspannungsquelle anschließbar ist, die eine Eingangsgleichspannung liefert, eine Vollbrückenschaltung, die zwei zueinander parallele Halbbrücken mit jeweils einer Reihenanzahl aus einem ersten Schaltelement, das an dem ersten Gleichspannungszweig angeschlossen ist, und einem zweiten Schaltelement, das an dem zweiten Gleichspannungszweig angeschlossen ist, aufweist, und zwei Wechselspannungszweige auf, die jeweils mit einer der Halbbrücken zwischen dem ersten und dem zweiten Schaltelement über einen Verbindungsknoten verbunden sind und zwei Wechselspannungsanschlüsse definieren. Der Wechselrichter weist ferner eine an die Gleichspannungszweige angeschlossene Spannungswandlerschaltung mit einer Spannungswandlereinrichtung zur Hochsetzung der Eingangsgleichspannung auf ein betragsmäßig höheres Ausgangspotenzial und wenigstens einem ansteuerbaren Schaltmittel auf, das angeordnet und eingerichtet ist, um einen Ausgang der Spannungswandlereinrichtung unmittelbar mit einem der Wechselspannungszweige zu verbinden.

[0030] Der so ausgebildete Wechselrichter gemäß der Erfindung ermöglicht somit, durch geeignete Taktung des wenigstens einen Schaltmittels der Spannungswandlerschaltung das höhere Ausgangspotenzial der Spannungswandlereinrichtung unmittelbar an dem Abgriffpunkt einer Halbbrücke der Vollbrückenschaltung anzulegen, so dass der Aufmagnetisierungsstrom unter Umgehung des ansonsten hochfrequent zu taktenden ersten Schaltelementes direkt diesem Brückenabgriffpunkt und somit der Speicherdrossel zugeführt wird. Der Wechselrichter weist folglich die im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren bereits vorstehend erwähnten Vorteile auf. Ebenso wird auf die vorstehend beschriebenen Modifikationen und Weiterbildungen des erfindungsgemäßen Verfahrens verwiesen, die entsprechend auch auf den erfindungsgemäßen Wech-

selrichter anwendbar sind.

[0031] Bspw. weist der erfindungsgemäße Wechselrichter eine Erfassungseinrichtung zur Erfassung von Betriebsbedingungen, wie den bereits erwähnten Strömen und Spannungen, und zur Bereitstellung hierfür kennzeichnende Signale sowie eine Steuerungseinrichtung zur Auswertung der erfassten Signale und zur Ansteuerung der Schaltelemente und des wenigstens einen Schaltmittels mit einem bestimmten Schaltmuster auf. Die Steuerungseinrichtung kann insbesondere unter Verwendung eines Mikrocontrollers realisiert sein. Die Steuerungseinrichtung weist eine Logik auf, die anhand der erfassten Signale Phasen bestimmt, in denen die einseitige Gleichspannung zur Erzeugung der Netzwechselspannung ausreicht bzw. nicht ausreicht, und steuert die entsprechenden Schalteinheiten gemäß dem normalen bzw. dem erweiterten Betriebsmodus an. Die Steuerungseinrichtung weist ferner eine Logik auf, die im Bereich der Nulldurchgänge der Wechselspannung die asymmetrische Taktung der Schaltmittel und Schaltelemente bewirkt.

[0032] Weitere Einzelheiten vorteilhafter Ausführungsformen der Erfindung sind Gegenstand der Zeichnung, der Beschreibung oder Patentansprüche.

[0033] In der Zeichnung sind Ausführungsformen der Erfindung veranschaulicht. Es zeigen:

[0034] [Fig. 1](#) eine Schaltungsanordnung eines Wechselrichters mit einer Vollbrücke gemäß der Erfindung;

[0035] [Fig. 2](#) ein Schaltbild eines beispielhaften Hochsetzstellers, der in der erfindungsgemäßen Schaltungsanordnung nach [Fig. 1](#) verwendet werden kann;

[0036] [Fig. 3a](#) und [Fig. 3b](#) schematische Darstellungen der zeitlichen Verläufe der Brückenspannung, der Ströme und der Steuersignale bei der Schaltungsanordnung nach [Fig. 1](#); und

[0037] [Fig. 4](#) eine modifizierte Ausführungsform einer Schaltungsanordnung für einen erfindungsgemäßen Wechselrichter.

[0038] In [Fig. 1](#) ist in leicht schematisierter Weise eine Schaltungsanordnung **1** eines erfindungsgemäßen Wechselrichters in einer einphasigen transformatorlosen Konfiguration veranschaulicht. Der dargestellte Wechselrichter **1** dient zur Erzeugung und Einspeisung eines Wechselstroms in ein externes Netz. Hierzu weist der Wechselrichter **1** einen Gleichspannungskreis **2**, der auch als Zwischenkreis bezeichnet wird und die Eingangsgleichspannung vorgibt, eine als Vollbrücke ausgeführte transformatorlose Brückenschaltung **3**, eine Spannungswandler-

schaltung **4** zur betragsmäßigen Erhöhung des Potentials der Eingangsgleichspannung und einen Wechselspannungskreis **6** auf. Der Gleichspannungskreis **2** weist zwei Gleichspannungsanschlüsse **7, 8** auf, an denen ein Gleichspannungsgenerator **9**, bspw. ein Fotovoltaikgenerator, eine Brennstoffzelle, Batterie oder dgl., angeschlossen ist. Von den Gleichspannungsanschlüssen **7, 8** führen zwei Gleichspannungszweige **11, 12** weg, zwischen denen ein Speicherkondensator C_1 parallel zu dem Gleichspannungsgenerator **9** angeschlossen ist.

[0039] Parallel zu dem Kondensator C_1 ist die Vollbrückenschaltung **3** angeordnet, die zwei zueinander parallele Halbbrücken **13, 14** aufweist, die zwischen den Gleichspannungszweigen **11, 12** angeschlossen sind. Jede Halbbrücke **13, 14** weist zwei in Reihe miteinander verbundene Schaltelemente S_1, S_2 bzw. S_3, S_4 auf. Insbesondere weist die Halbbrücke **13** ein in [Fig. 1](#) oberes erstes Schaltelement S_1 auf, dessen Eingang mit dem Gleichspannungszweig **11** verbunden ist, sowie ein in [Fig. 1](#) unteres zweites Schaltelement S_2 auf, dessen Ausgang mit dem Gleichspannungszweig **12** verbunden ist. Mit dem Ausgang des ersten Schaltelementes S_1 der Halbbrücke **13** ist eine Anode einer Diode D_1 verbunden, deren Kathode mit dem Eingang des zweiten Schaltelementes S_2 verbunden ist. Außerdem ist parallel zu dem zweiten Schalter S_2 eine Freilaufdiode D_2 vorgesehen, die in entgegengesetzte Durchlassrichtung zu dem zweiten Schaltelement S_2 angeordnet ist, um dieses gegen Ströme in Rückwärtsrichtung zu schützen. Zwischen der Diode D_1 und dem zweiten Schaltelement S_2 , befindet sich ein Verbindungsknoten **16**, der einen Mittelabgriff der in [Fig. 1](#) linken Halbbrücke **13** bildet.

[0040] Analog ist ein in [Fig. 1](#) oberes erstes Schaltelement S_3 der Halbbrücke **14** mit dem Gleichspannungszweig **11** verbunden, während ein zweites, in [Fig. 1](#) unteres Schaltelement S_4 mit dem Gleichspannungszweig **12** verbunden ist. Die Durchlassrichtung der Schaltelemente S_3, S_4 entspricht derjenigen der Schaltelemente S_1, S_2 der Halbbrücke **13**. Zwischen den Schaltelementen S_3 und S_4 ist in Reihe zu diesen und in gleicher Durchlassrichtung eine Diode D_3 vorgesehen, deren Kathode mit dem zweiten Schaltelement S_4 über einen Verbindungsknoten verbunden ist, der einen Mittelabgriff **17** der Halbbrücke **14** bildet. Die Dioden D_1 und D_3 können auch von der Gleichspannungsseite her betrachtet vor den ersten Schaltelementen S_1 bzw. S_3 angeordnet sein. Das zweite Schaltelement S_4 der Halbbrücke **14** weist ebenfalls eine antiparallele Freilaufdiode D_4 auf.

[0041] Die Schaltelemente S_1, S_2, S_3, S_4 sind vorzugsweise als Halbleiterschalter in Form von IGBT-(Insulated Gate Bipolar Transistor) oder MOS-Feldeffekttransistor-Schaltern oder anderen verlustarmen Schaltern ausgebildet, die mit hohen Frequenzen von bspw. 18 kHz, eventuell bis zu 100

kHz, geschaltet werden können. Dies gilt auch für weitere Schaltereinheiten der erfindungsgemäßen Schaltungsanordnung **1**, bspw. Schaltmittel S_5 und S_6 , die zu der Spannungswandlerschaltung **4** gehören. Entsprechend soll ein Eingang eines Schalters z. B. den Kollektor eines IGBTs oder den Drain-Anschluss eines MOS-Feldeffekttransistors bezeichnen, während ein Schalterausgang z. B. den Emitter eines IGBTs bzw. den Source-Anschluss eines MOS-Feldeffekttransistors bezeichnet.

[0042] Die Spannungswandlerschaltung **4** ist zwischen den Gleichspannungsanschlüssen **7**, **8** und den Mittelabgriffen **16**, **17** der Halbbrücken **13**, **14** angeordnet. Insbesondere weist die Spannungswandlerschaltung **4** einen mit dem Gleichspannungszweig **11** verbundenen Spannungswandlerzweig **18** auf, in dem eine hier vorteilhafterweise als DC/DC-Hochsetzsteller ausgebildete Spannungswandlereinrichtung **19** angeordnet ist. Die Funktion der Spannungswandlereinrichtung **19** besteht darin, das Potenzial der Eingangsspannung, hier der Zwischenkreisspannung U_{ZKL} , auf ein betragsmäßig höheres Zwischenkreispotenzial heraufzusetzen, das hier mit U_{ZKH} bezeichnet ist. Eine beispielhafte Ausführungsform eines verwendbaren Hochsetzstellers oder Spannungswandlers und seine Funktionsweise sind nachstehend im Zusammenhang mit [Fig. 2](#) erläutert.

[0043] Der Hochsetzsteller **19** ist mit seinem Eingang **18a** an dem Gleichspannungszweig **11** angeschlossen, während sein Ausgang **18b** mit den Schaltmitteln S_5 und S_6 verbunden ist, die wiederum jeweils an den Mittelabgriff **16** bzw. **17** angeschlossen sind. Genauer gesagt, ist das Schaltmittel S_5 in einem Spannungswandlerast **21** in Durchlassrichtung zwischen einem Verbindungspunkt **22** des Spannungswandlerzweiges **18** am Ausgang des Hochsetzstellers **19** und dem Mittelabgriff **16** der Halbbrücke **13** angeschlossen. Ein weiterer Spannungswandlerast **23**, der das weitere Schaltmittel S_6 der Spannungswandlerschaltung **4** enthält, zweigt von dem Verbindungspunkt **22** ab und führt zu dem Mittelabgriff **17** der Halbbrücke **14**. Die Schaltmittel S_5 und S_6 sind mit antiparallelen Freilaufdioden D_5 bzw. D_6 versehen.

[0044] [Fig. 2](#) zeigt einen beispielhaften Hochsetzsteller **19**, der in der erfindungsgemäßen Schaltungsanordnung **1** eingesetzt werden kann und hier in Form eines getakteten induktiven Spannungswandlers ausgeführt ist. Der Hochsetzsteller **19** weist eine in dem Spannungswandlerzweig **18** zwischen einem eingangsseitigen Zweig **18a** und einem ausgangsseitigen Zweig **18b** angeordnete Spule oder Drossel L_1 auf, die zur Energiespeicherung vorgesehen ist und über einen schließbaren Schalter S_7 geladen wird. Hierzu ist der Schalter S_7 in Stromrichtung hinter der Spule L zwischen dem Spannungswandlerzweig **18** und dem unteren, zweiten Gleichspannungszweig **12**

angeordnet. In Reihe mit der Spule L ist eine Freilaufdiode D_7 geschaltet, hinter der zur Aufsummierung der Ausgangsspannung ein Pufferkondensator C_2 angeordnet ist, der zwischen dem Spannungswandlerzweig **18** und dem unteren Gleichspannungszweig **12** angeschlossen ist. Somit liegt die Reihenschaltung aus der Freilaufdiode D_7 und dem Pufferkondensator C_2 parallel zu dem Schalter S_7 .

[0045] Im Schließzustand des steuerbaren Schalters S_7 wird die Spule L_1 durch diesen gegen das Potenzial des unteren Gleichspannungszweigs geschaltet. An der Spule fällt somit die Eingangsspannung U_{ZKL} ab, wobei der Strom durch die Spule L_1 und gemeinsam mit diesem die gespeicherte Energie des Magnetfeldes ansteigen. Wird der Schalter S_7 geöffnet, steigt die Spannung am sekundären Ende der Spule L_1 sehr schnell an, bis sie die an dem Kondensator C_2 anliegende Spannung U_{ZKH} übersteigt und die Diode öffnet. Der Strom fließt im ersten Moment unverändert weiter und lädt den Kondensator C_2 weiter auf. Das Magnetfeld der Spule L_1 baut sich dabei ab und gibt seine Energie ab, indem es den Strom über die Diode D_5 in den Pufferkondensator C_2 und ggf. weiter zur Last treibt.

[0046] Erneut bezugnehmend auf [Fig. 1](#) ist veranschaulicht, dass an dem Mittelabgriff **16** der Halbbrücke **13** und an dem Mittelabgriff **17** der Halbbrücke **14** Verbindungsleitungen **24**, **26** angeschlossen sind, die einen ersten bzw. zweiten Wechselspannungszweig **24** bzw. **26** des Wechselspannungskreises **6** bilden. Die Verbindungsleitung **24** ist mit einem ersten Wechselspannungsanschluss **27** verbunden, während die Verbindungsleitung **26** zu einem weiteren Wechselspannungsschluss **28** führt. An die Wechselspannungsanschlüsse **27**, **28** ist eine externe Wechselspannung U_{NETZ} , bspw. die Netzspannung eines öffentlichen Versorgungsnetzes, angeschlossen. Ferner ist in der Verbindungsleitung **24** wenigstens eine Speicherdrossel L vorgesehen, die dazu dient, von der Vollbrücke **3** gelieferte Energie zwischenspeichern und an das Wechselspannungsnetz abzugeben. Außerdem enthält der Wechselspannungskreis **6** im Allgemeinen einen hier nicht näher veranschaulichten Glättungskondensator, der von der Gleichspannungsseite her betrachtet hinter der Spule L zwischen den Wechselspannungszweigen **24**, **26** eingefügt ist, um hochfrequente Spannungsanteile der zwischen den Mittelabgriffen **16** und **17** anfallenden Brückenspannung U_{BR} herauszufiltern.

[0047] Wie aus [Fig. 1](#) ferner hervorgeht, ist zur Überwachung und Steuerung der Betriebsweise der Schaltungsanordnung **1** eine Steuerungseinrichtung **29** vorgesehen. Die Steuerungseinrichtung **29** empfängt an ihrem Eingang Eingangssignale **31**, die von diversen Sensormitteln, wie Strom- und Spannungsfühlern, herrühren, die in [Fig. 1](#) nicht im Einzelnen,

sondern schematisiert in Form eines Blocks **30** veranschaulicht sind, der die gesamte Sensor- bzw. Erfassungseinrichtung kennzeichnet. Es werden insbesondere Eingangssignale, die die Eingangs- bzw. Zwischenkreisspannung U_{ZKL} , die erhöhte Zwischenkreisspannung U_{ZKH} am Ausgang des Hochsetzstellers **19**, die Netzspannung U_{NETZ} , den gesamten Eingangsstrom der Schaltungsanordnung I_{EIN} , den durch die Drossel L_1 des Hochsetzstellers **19** fließenden Strom I_{L1} und den durch die Speicherdrossel L fließenden Drosselstrom I_L sowie ggf. weitere oder andere äquivalente Zustandsgrößen in der Schaltungsanordnung **1** kennzeichnen, erfasst und berücksichtigt. Die Steuerungseinrichtung **29** nimmt die erfassten Eingangssignale **31** entgegen und verarbeitet diese gemäß vorbestimmten logischen Regeln, um an ihrem Ausgang Ausgangssignale **32** zur Ansteuerung der Schaltereinheiten S_1 bis S_6 und vorzugsweise auch des Schalter S_7 der Spannungswandlerschaltung **4** auszugeben. Die Eingangssignale **31** können der Steuerungseinrichtung **29** in analoger oder digitaler Form zugeführt werden, so dass die Steuerungseinrichtung **29** analoge und/oder digitale Logikelemente enthalten oder vorzugsweise in Form eines auf einen Mikroprozessor ablaufenden Steuerungsprogramms realisiert sein kann, in dem die logischen Regeln implementiert sind.

[0048] Unabhängig von ihrer Realisierung enthält die Steuerungseinrichtung **29** eine Auswerteeinrichtung oder -logik **33**, die dazu eingerichtet ist, wenigstens eine der Zustandsgrößen, wie sie durch einen der Eingangssignale **31** gekennzeichnet sind, auszuwerten, daraus weitere Größen zu bestimmen und mit einem Referenzwert REF zu vergleichen, und eine Ansteuerungseinrichtung oder -logik **34**, die mit der Auswerteeinrichtung **33** verbunden ist und von dieser angewiesen wird, eine geeignete Ansteuerungsstrategie zu wählen, um die Schaltereinheiten S_1 bis S_6 und eventuell S_7 über die Ausgangssignale **32** auf geeignete Weise anzusteuern.

[0049] In [Fig. 3a](#) sind zur Veranschaulichung der Funktionsweise der erfindungsgemäßen Schaltungsanordnung **1** vereinfachte Zeitdiagramme mit Zeitverläufen verschiedener Teilspannungen und Ströme sowie Steuerungssignale in der Schaltungsanordnung **1** für den Fall einer positiven Halbwelle der Netzspannung U_{NETZ} veranschaulicht. Entsprechende Diagramme für den Fall der negativen Halbwelle der Netzspannung U_{NETZ} sind in [Fig. 3b](#) dargestellt. Es ist zu beachten, dass für die hochfrequent getakteten Schaltereinheiten S_1 , S_3 , S_5 und S_6 die Schaltfrequenz im Betrieb mehrere, bspw. 16 oder 18 kHz beträgt, während in der Zeichnung aus Komplexitätsgründen lediglich wenige Taktungen pro Halbwelle dargestellt sind, um anhand eines Beispiels die prinzipielle Funktionsweise der Schaltungsanordnung **1** zu verdeutlichen. Die Schaltungsanordnung **1** funktioniert wie folgt:

Die Schaltungsanordnung **1** wird vorzugsweise dazu verwendet, Energie in ein Netz, insbesondere ein öffentliches Versorgungsnetz, einzuspeisen. Dabei soll unter der Annahme, dass an den Wechselspannungsanschlüssen **27**, **28** eine sinusförmige Netzspannung U_{NETZ} mit einer Scheitelspannung von $\sqrt{2} \cdot 230$ V und einer Frequenz von 50 oder 60 Hz anliegt, wie sie in den obersten Diagrammdarstellungen der [Fig. 3a](#) und [Fig. 3b](#) für die jeweilige Halbwelle veranschaulicht ist, aus den Zwischenkreisspannungen U_{ZKL} des Gleichspannungsgenerators **9** am Ausgang des Wechselrichters **1** ein Wechselstrom erzeugt werden, der zu der Phasenlage und Amplitude der Wechselspannung U_{NETZ} passt. Hierzu steuert die Steuerungseinrichtung **29** nach einem bestimmten Taktmuster die Schaltereinheiten S_1 bis S_6 geeignet an, um diese zu schließen und zu öffnen. Dabei werden die ersten Schaltelemente S_1 und S_3 der Vollbrückenschaltung **3** sowie die Schaltmittel S_5 , S_6 der Spannungswandlerschaltung **4** durch geeignete Modulation, bspw. Pulsweitenmodulation der Ansteuerungssignale **32** hochfrequent betätigt, während die zweiten Schaltelemente S_2 und S_4 der Vollbrückenschaltung synchron zu der Netzfrequenz geschlossen und geöffnet werden.

[0050] Wie aus [Fig. 3a](#) hervorgeht, wird im Falle einer positiven Halbwelle und eines geringen Spannungspegels der Netzspannung U_{NETZ} , der jedoch betragsmäßig höher ist als ein minimaler Spannungspegel U_{MIN} , gemäß einem normalen Betriebsmodus mit symmetrischer Taktung der Schalter S_1 hochfrequent geschaltet, während der Schalter S_4 während nahezu der gesamten positiven Halbwelle geschlossen bleibt. Die übrigen Schaltereinheiten S_2 , S_3 , S_5 und S_6 sind geöffnet. Bei jeder Schließung des Schaltelementes S_1 , im Folgenden mit Aufmagnetisierungsphase bezeichnet, fließt ein Aufmagnetisierungsstrom I_{S1} aus dem ersten Zwischenkreis oder Gleichspannungskreis **2**, insbesondere dem Speicherkondensator C_1 , über den Gleichspannungszweig **11**, das Schaltelement S_1 und die Diode D_1 zu der Speicherdrossel L , um diese magnetisch bzw. energetisch aufzuladen, und ferner über das geschlossene Schaltelement S_4 zu dem unteren Gleichspannungszweig **12** zurück. Die Brückenspannung U_{BR} entspricht unter Vernachlässigung von Spannungsabfällen der Zwischenkreisspannung U_{ZK1} . Der Drosselstrom I_L nimmt in jeder Ladephase stetig zu. Mit steigender Netzspannung U_{NETZ} wird die Schließdauer des Schalters S_1 größer. Wenn das Schaltelement S_1 bei jeder Taktung geöffnet wird, was als Freilaufphase bezeichnet wird, sinkt die Brückenspannung U_{BR} im Wesentlichen auf den Wert null, so dass es zu einer Abmagnetisierung der Drosselspule L und einem Abfall des Drosselstroms I_L in jeder Freilaufphase kommt. Dabei fließt der Freilaufstrom von der Verbindungsleitung **26** durch den Schalter S_4 und die Freilaufdiode D_2 des Schalters S_2 zu der Verbindungsleitung **24** mit der Speicherdrossel L . Wie aus

Fig. 3a zu erkennen, steigt der Spulenstrom I_L unter Ausbildung geringer Welligkeiten, die als Stromrippel bezeichnet werden, allmählich an und folgt dabei im Mittel dem Verlauf der Netzspannung U_{NETZ} .

[0051] Sobald die Zwischenkreisspannung U_{ZKL} für eine hinreichende Aufladung der Drosselspule L nicht ausreicht, wird ein erweiterter Betriebsmodus eingeleitet. Dieser Fall wird von der Auswerteeinrichtung **33** erkannt, indem sie von dem/den empfangenen Eingangssignal(en) **31** eine aktuell gewünschte mittlere Spannung U_{BR} am Drosseleingang **26**, die eine ausreichende Aufmagnetisierung der Speicherdrossel L ermöglicht, bestimmt und diese mit einem Referenzwert REF vergleicht. Genauer gesagt und in einer bevorzugten Ausführungsform enthält die Ansteuerungseinrichtung **33** eine hier nicht näher dargestellte Stromreglerlogik, die die Amplitude der mittleren Stromstärke \hat{I}_L des durch die Drosselspule fließenden Stroms I_L entsprechend einem Sollwert regelt. In Abhängigkeit von den Soll- und Istwerten des Drosselstroms I_L bestimmt die Ansteuerungseinrichtung die jeweils erforderliche mittlere Drosseleingangsspannung \bar{U}_{BR} und vergleicht diese mit dem Referenzwert REF. Wenngleich es möglich ist, den Referenzwert bspw. in Abhängigkeit von einem bekannten Wert von U_{ZKL} im Voraus festzulegen, wird in der bevorzugten Ausführungsform der Erfindung der Referenzwert mit Hilfe des momentan erfassten Wertes von U_{ZKL} bestimmt, wobei Spannungsabfälle im Aufmagnetisierungspfad entsprechend berücksichtigt werden. Wenn der Wert \bar{U}_{BR} betragsmäßig größer ist als der Referenzwert REF, liefert die Ansteuerungseinrichtung **33** an die Ansteuerungslogik **34** ein Signal **36** zum Einleiten des erweiterten Betriebsmodus.

[0052] In dem erweiterten Betriebsmodus veranlasst die Ansteuerungseinrichtung **34**, dass das erste Schaltelement S_1 geschlossen bleibt, während nun das Schaltmittel S_5 der Spannungswandlerschaltung **4** hochfrequent geschaltet wird. Das zweite Schaltelement S_4 in der Halbbrücke **14** bleibt weiterhin geschlossen. In den nachfolgenden Aufmagnetisierungsphasen wird also die durch den Hochsetzsteller **19** erhöhte zwischenkreisspannung U_{ZKH} zur Aufmagnetisierung der Speicherdrossel L an den Mittelabgriff **16** der Halbbrücke **13** angelegt. Der Ladestrom I_{S5} fließt im Schließzustand des Schalters S_5 von dem Ausgang a8b des Hochsetzstellers **19** über den Spannungswandlerast **21** mit dem Schaltmittel S_5 zu dem Mittelabgriff **16** und ferner über die Verbindungsleitung **24** zu dem Eingang der Drossel L . Der Ladestrom I_{S5} fließt jedoch nicht durch das zuvor hochfrequent getaktete Schaltelement S_1 der Vollbrücke **3** hindurch, da der Spannungswandlerzweig **18a**, **18b** und der Spannungswandlerast **21** im Nebenschluss zu dem Schaltelement S_1 angeordnet sind. Im Öffnungszustand des Schalters S_5 fließt ein Freilaufstrom I_{S1} von dem Speicherkondensator C_1 über den

nun als Freilaufpfad dienenden Gleichspannungszweig **11**, das erste Schaltelement S_1 und die Diode D_1 zu der Spule L .

[0053] Vorteilhafterweise schwankt die Brückenspannung U_{BR} lediglich zwischen dem Wert der erhöhten Zwischenkreisspannung U_{ZKH} in der Aufmagnetisierungsphase und in etwa dem niedrigeren Wert der Eingangsspannung U_{ZKL} , der das Freilaufpotenzial in der Freilaufphase definiert. Die Spannungssprünge der Brückenspannung U_{BR} sind verhältnismäßig gering, jedenfalls deutlich geringer als in dem Fall, wenn der Freilauf von dem gegenüberliegenden Gleichspannungszweig **12** erfolgen würde. Dadurch wird die elektromagnetische Verträglichkeit verbessert, so dass externe Filter zur elektromagnetischen Entstörung, wie Drosseln, Kondensatoren oder dgl., kleiner und kostengünstiger ausgelegt oder sogar weggelassen werden können. Außerdem wird durch die geringen Spannungssprünge der Brückenspannung U_{BR} auch die Abmagnetisierung der Speicherdrossel L wesentlich verlangsamt. Dies hat wiederum äußerst geringe Rippelströme und Ummagnetisierungsverluste innerhalb der Speicherdrossel L zur Folge. Ferner fallen in dem Schaltmittel S_5 und der Diode D_1 , die die Spannungssprünge mit ausführen, nur sehr geringe Schaltverluste an.

[0054] Die Durchlassverluste sind ebenfalls reduziert, weil sowohl in dem normalen als auch in dem erweiterten Betriebsmodus stets nur zwei Schaltelemente Strom führen. Auch in dem erweiterten Betriebsmodus fließt der Ladestrom nur über zwei Halbleiterstrecken, nämlich das Schaltmittel S_5 der Spannungswandlerschaltung **4** und das zweite Schaltelement S_4 der Halbbrücke **14**. Es kann also gegenüber vorbekannten Schaltungsanordnungen und Schalt-schemen, die einen Hochsetzsteller nur bei Bedarf, also nur wenn die Eingangsspannung nicht ausreicht, am Eingang einer Vollbrücke verwenden, eine Halbleiterstrecke eingespart werden. Dies, weil der schaltbare Spannungswandlerpfad **37**, der den Spannungswandlerzweig **18** und den Spannungswandlerast **21** mit dem Schaltmittel S_5 enthält, parallel zu der Reihenschaltung aus dem Schaltelement S_1 und der Diode D_1 angeordnet ist. Die Reduktion der Durchlassverluste ist umso größer, als in dieser Phase des Schaltschemas verhältnismäßig große Ströme fließen. Insgesamt kann also ein sehr hoher Wirkungsgrad erzielt werden.

[0055] Außerdem wird vorteilhafterweise sogar in der Freilaufphase Energie der Speicherdrossel L und nachgelagert dem Netz zugeführt. Somit kann, wie aus **Fig. 3a** ersichtlich, die Dauer, während der der Schalter S_5 im oberen Bereich der Sinuswelle jeweils leitend geschaltet wird, deutlich verringert werden. Damit gelangt über den Schalter S_5 eine geringere Energiemenge ins Netz. Der Schalter S_5 und der Hochsetzsteller **19** können wesentlich kleiner ausge-

legt und ausgeführt sein.

[0056] Wenn die Netzspannung U_{NETZ} nach dem Scheitelpunkt wieder absinkt und das Referenz-Spannungsniveau REF unterschreitet, schaltet die Ansteuerungslogik **34** infolge eines weiteren Signals **36** der Auswerteeinrichtung **33** wieder in den vorstehend erwähnten normalen Betriebsmodus um, in dem sie das Schaltmittel S_5 der Spannungswandlerschaltung **4** öffnet und das erste Schaltelement S_1 der Vollbrücke **3** hochfrequent taktet. Die Aufmagnetisierung erfolgt erneut über das Schaltelement S_1 und die Diode D_1 ausgehend von dem Potenzial U_{ZKL} , während der Freilauf über die Freilaufdiode D_2 erfolgt.

[0057] In der negativen Halbwelle der Netzspannung U_{NETZ} , wenn diese kleiner ist als ein Spannungswert $-U_{\text{MIN}}$, bleiben die Schaltereinheiten S_1 , S_4 und S_5 geöffnet, während in analoger Weise die Schaltereinheiten S_2 , S_3 und S_6 angesteuert werden, vgl. [Fig. 3b](#). Dabei wird im normalen Betriebsmodus, wenn die gewünschte mittlere Spannung U_{BR} in dem in [Fig. 1](#) eingezeichneten Sinne größer ist als die negative Zwischenkreisspannung $-U_{\text{ZKL}}$ bei geschlossenem zweiten Schaltelement S_2 der Halbbrücke **13** und geöffnetem Schaltmittel S_6 der Spannungswandlerschaltung **4** das erste Schaltelement S_3 der Halbbrücke **14** hochfrequent geschaltet. In den Aufmagnetisierungsphasen ist der Betrag der Brückenspannung U_{BR} durch das Zwischenkreispotenzial U_{ZKL} vorgegeben, und es fließt ein Aufmagnetisierungsstrom für die Speicherdrossel L über das Schaltelement S_3 und die Diode D_3 ins Netz sowie aus dem Netz durch die Speicherdrossel L und über das Schaltelement S_2 zu dem Gleichspannungszweig **12**. In Freilaufphasen, wenn das Schaltelement S_3 geöffnet ist, führt der Freilaufpfad mit dem geschlossenen Schaltelement S_2 und der Freilaufdiode D_4 des Schaltelementes S_4 den Freilaufstrom. Die Brückenspannung U_{BR} springt betragsmäßig zwischen U_{ZKL} und null.

[0058] In dem Zeitabschnitt, in dem der Istwert der Wechselspannung U_{NETZ} das Potenzial $-U_{\text{ZKL}}$ unterschreitet oder, genauer gesagt, der Betrag der momentan gewünschten mittleren Spannung U_{BR} am Eingang der Speicherdrossel L größer ist als der Referenz-Spannungswert, z. B. der Betrag der Gleichspannung U_{ZKL} zuzüglich Reserve, schaltet die Steuerungseinrichtung **29** in den erweiterten oder modifizierten Betriebsmodus um, in dem das an dem Gleichspannungspotenzial U_{ZKL} durch den Hochsetzsteller **19** auf ein betragsmäßig höheres Potenzial U_{ZKH} gewandelt wird, das nunmehr das Aufmagnetisierungspotenzial in den Aufmagnetisierungsphasen vorgibt. Das Schaltmittel **56** wird nun hochfrequent geschaltet, während das Schaltelement S_3 geschlossen bleibt. Ströme zur Aufmagnetisierung der Drosselspule L fließen nun über das Schaltmittel S_6 , während der Freilauf über das Schaltelement S_3 und die

Diode D_3 in dem nun als Freilaufpfad dienenden Ast der Halbbrücke **14** erfolgt. Die Brückenspannung U_{BR} schwankt betragsmäßig zwischen dem erhöhten Zwischenkreispotenzial U_{ZKH} und dem Zwischenkreispotenzial U_{ZKL} . Der Spannungshub ist gering, was geringe Schaltverluste und Ummagnetisierungsverluste ergibt. Außerdem wird der Ladestrom für die Drosselspule L unter Umgehung des im normalen Betriebsmodus hochfrequent getakteten Schaltelementes S_3 über den parallel zu dem Schaltelement S_3 und der Diode D_3 angeordneten Spannungswandlerpfad **38**, der den Spannungswandlerzweig **18a**, **18b** und den Spannungswandlerast **23** mit dem Schaltmittel S_6 enthält, direkt dem Brückenabgriff **17** bzw. der Verbindungsleitung **26** zugeführt. Wie bei der positiven Halbwelle der Netzwechselspannung wird auch hier eine Halbleiterstrecke eingespart. Die Durchleitverluste sind reduziert, und der Wirkungsgrad ist verbessert.

[0059] Im Bereich des Nulldurchgangs der Netzwechselspannung U_{NETZ} kann es infolge der Stromrippel des Drosselspulenstroms I_L zu einer Richtungsumkehr des Drosselspulenstroms I_L kommen. Um diese alternierenden Stromflussrichtungen zu beherrschen, wird in diesem Bereich auf eine symmetrische Taktung umgestellt, in der abwechselnd zwischen einem Schaltzustand, in dem die Schaltereinheiten S_5 und S_4 synchron geschlossen sind, und einem Schaltzustand, in dem die Schaltereinheiten S_6 und S_2 synchron geschlossen sind, hin- und hergeschaltet wird. Dazwischen ist eine kurze Totzeitverriegelung, also ein Zustand vorgesehen, in dem alle Schalter S_5 , S_4 , S_6 und S_2 sperren, um zu vermeiden, dass alle Schaltereinheiten gleichzeitig leiten und heiße Zweige geschaltet werden. Je nach bestimmtem Taktverhältnis ist es möglich, die Netzdrossel L stets mit positivem bzw. negativen Zwischenkreispotenzial zu beaufschlagen, so dass sich das Magnetfeld der Netzdrosseln im Vorfeld des Nulldurchgangs weitestgehend abbaut und dadurch der Stromfluss I_L zum Zeitpunkt des Nulldurchgangs einfach umgekehrt werden kann. Dabei werden speziell die Schaltmittel S_5 und S_6 aus dem hohen Zwischenkreis für diese Taktung verwendet, da auch in diesem Betriebszustand ein Freilauf für die Netzdrosseln vorhanden sein muss, der dann von den Freilaufdioden der Schaltereinheiten S_2 , S_4 , S_5 und S_6 bereitgestellt wird.

[0060] Im Rahmen der Erfindung sind zahlreiche Modifikationen möglich. Bspw. kann die Schaltungsanordnung **1** erweitert werden, um mehr als zwei in Reihe oder parallel miteinander verbundene Gleichspannungsgeneratoren zu verwenden. Eine Drosselspule L kann auch in jedem Wechselspannungszweig **24** und **26** vorgesehen sein. In wenigstens einem Wechselspannungszweig können Filterelemente zur Unterdrückung hochfrequenter Störsignale eingefügt werden, wobei derartige Elemente aus Ein-

fachheitsgründen in [Fig. 1](#) nicht veranschaulicht sind. Bei dem aufgezeigten Wechselrichter **1** könnten die Wechselspannungsanschlüsse **27**, **28** auch zwei Außenleiteranschlüsse, bspw. L1 und L2, eines Drehstromnetzes bilden. Der Wechselrichter **1** kann sogar zu einer dreiphasigen Konfiguration erweitert werden, wenn aus drei Gleichspannungen ein dreiphasiger Wechselstrom erzeugt werden soll. Die Schaltungsanordnung **1** ist jedoch insbesondere für einen Wechselrichter für kleine Leistungen bis maximal 5 kW Spitzenleistung und einphasigen Betrieb geeignet, wobei er hier einen verbesserten Wirkungsgrad erzielt.

[0061] Ferner kann auch ein anderes geeignetes Kriterium zur Feststellung, ob die Eingangsspannung U_{ZKL} zur Aufmagnetisierung der Speicherdrossel L ausreicht oder nicht, aufgestellt werden. Ein derartiges Kriterium kann bspw. auf einem Vergleich des Betrags des aktuellen Wertes der Netzwechelspannung U_{NETZ} mit einem geeigneten Spannungsreferenzwert, bspw. einem von der Eingangsspannung abhängigen Referenzwert, basieren. Es ist auch zu beachten, dass Zustandsgrößen in der Schaltung anhand allgemeiner elektrotechnischer Beziehungen aus anderen Größen abgeleitet oder anstatt derer für das Kriterium verwendet werden können.

[0062] Als Spannungswandlereinrichtung **19** könnte auch ein sonstiger Gleichstromumrichter oder Hochsetzsteller, der nicht induktiv arbeitet, verwendet werden, solange dieser in der Lage ist, aus der Eingangsspannung eine betragsmäßig höhere Ausgangsspannung U_{ZKH} zu gewinnen. Der in [Fig. 2](#) veranschaulichte Drossel-Aufwärtswandler wird jedoch aufgrund seines einfachen Aufbaus, einer guten Regelbarkeit und geringer Verluste bevorzugt. Insbesondere kann für den Schalter S_7 des Hochsetzstellers **19** ein MOS-Feldeffekttransistor verwendet werden, der sich durch besonders geringe Schaltverluste auszeichnet. Da der Schalter S_7 dauerhaft hochfrequent getaktet wird und in den Betriebspunkten der Energiebedarf des Hochsetzstellers **19** gering ist, sind die Durchlassverluste gering, während sich die geringen Schaltverluste hier besonders vorteilhaft auswirken. Außerdem ist es möglich, die Schaltfrequenz für den Hochsetzsteller **19** zu erhöhen, um die Spule L_1 des Hochsetzstellers **19** verkleinern und die Vorteile des MOS-Feldeffekttransistors besser ausnutzen zu können.

[0063] Eine weitere vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung ist in [Fig. 4](#) veranschaulicht. Soweit Übereinstimmung in Bau und/oder Funktion besteht, wird, um Wiederholungen zu vermeiden, unter Verwendung gleicher Bezugszeichen auf die vorstehende Beschreibung verwiesen.

[0064] Die in [Fig. 4](#) veranschaulichte Schaltungsanordnung **1** unterscheidet sich von derjenigen nach

[Fig. 1](#) in erster Linie dadurch, dass anstelle der in Reihe zu den ersten Schaltelementen S_1 und S_3 der Vollbrücke **3** angeordneten Dioden D_1 und D_3 nach [Fig. 1](#) nunmehr eine gemeinsame Schutzdiode D_{13} in dem Gleichspannungszweig **11** in Durchlassrichtung zwischen dem Gleichspannungsanschluss **7** und dem Verbindungspunkt zwischen den ersten Schaltelementen S_1 und S_3 angeordnet ist. Ferner ist in jedem Wechselspannungszweig **24**, **26** jeweils eine Speicherdrossel L_a bzw. L_b vorgesehen, wie dies bei derartigen Wechselrichterschaltungen üblich ist und auch in der Schaltungsanordnung nach [Fig. 1](#) verwendet werden könnte. Die Diode D_{13} hat die gleiche Funktion wie die Dioden D_1 bzw. D_3 in der Schaltungsanordnung **1** nach [Fig. 1](#), nämlich die Schaltelemente S_1 und S_3 vor unzulässig hohen Rückwärtsströmen zu schützen und in den Freilaufphasen als Freilaufdiode zu dienen, wird jedoch sowohl in der positiven Halbwelle als auch in der negativen Halbwelle verwendet. Somit kann bei der Realisierung der Schaltungsanordnung **1** nach [Fig. 4](#) ein Halbleiterbauteil eingespart werden, was die Kosten der Schaltungsanordnung **1** weiter reduziert. Vorteilhafterweise sind auch hier der durch den Spannungswandlerzweig **18a**, **18b**, den Hochsetzsteller **19** und den Spannungswandlerast **21** mit dem Schaltmittel S_5 gebildete erste schaltbare Spannungswandlerpfad **37** wie auch der durch den Spannungswandlerzweig **18a**, **18b**, den Hochsetzsteller **19** und den Spannungswandlerast **23** mit dem Schaltmittel S_6 gebildete zweite schaltbare Spannungswandlerpfad **38** jeweils parallel bzw. im Nebenschluss zu der Reihenanzahl aus dem Stromschutzelement D_{13} und dem normalerweise hochfrequent getakteten ersten Schaltelement S_1 bzw. S_3 angeordnet. Dadurch kann im erweiterten Betriebsmodus wiederum der Ladestrom unter Umgehung des Schaltelementes S_1 bzw. S_3 unmittelbar dem Mittelabgriff **16** bzw. **17** der jeweiligen Halbbrücke **13** bzw. **14** für die Drosselspule L_a bzw. L_b zugeführt werden kann. Im Übrigen sind die Vorteile und Funktionsweise die gleichen, wie sie bereits im Zusammenhang mit der Ausführungsform nach [Fig. 1](#) erläutert worden sind.

[0065] [Fig. 4](#) zeigt eine weitere vorteilhafte optionale Modifikation. Parallel zu dem Hochsetzsteller **19** ist ein Überbrückungspfad **39** vorgesehen, der von dem eingangsseitigen Spannungswandlerzweig **18a** zu dem ausgangsseitigen Spannungswandlerzweig **18b**, insbesondere dem Verbindungspunkt **22** zwischen den Schaltmitteln S_5 und S_6 führt. In dem Überbrückungspfad **39** ist ein Schaltelement, vorzugsweise ein ungesteuertes Schaltelement bspw. in Form einer Diode DB in Durchlassrichtung zu dem Verbindungspunkt **22** hin vorgesehen. Die Steuerungseinrichtung **29** weist hier eine zusätzliche Logik auf, die den Fall erfasst, wenn die Generatorspannung U_{ZKL} stets zur Aufmagnetisierung der Drosselspulen L_a , L_b ausreicht, insbesondere über dem Scheitelwert der Netzspannung U_{NETZ} liegt. In diesem Fall wechselt die

Steuerungseinrichtung **29** zu einer speziellen symmetrischen Vollbrückentaktung über, bei der sie jeweils gleichzeitig die Schalter S_1 und S_5 bei geschlossenem Schalter S_4 in der positiven Halbwelle bzw. S_3 und S_6 bei geschlossenem Schalter S_2 in der negativen Halbwelle hochfrequent taktet. Der Durchlasswiderstand der parallel bzw. synchron zueinander geschalteten Schalter ist verringert, so dass die vorhandenen Halbleiterbauelemente zur Erzielung geringerer Durchlassverluste in dem jeweiligen Betriebspunkt besser genutzt werden. Diese Maßnahme lässt sich auch bei der Schaltungsanordnung nach [Fig. 1](#) verwenden.

[0066] Es ist ein Verfahren zur Umwandlung einer elektrischen Eingangsgleichspannung U_{ZKL} in eine Wechselspannung U_{NETZ} und eine Wechselrichterschaltung **1** offenbart, die eine Vollbrücke **3** mit Schaltern S_1 – S_4 und Freilaufelementen D_1 – D_4 sowie wenigstens eine Speicherdrossel L am Ausgang der Vollbrücke verwenden. Zur Erhöhung der Eingangsgleichspannung U_{ZKL} ist eine Spannungswandlerschaltung **4** mit einem Hochsetzsteller **19** und zwei unterschiedlichen Spannungswandlerpfaden **37**, **38** vorgesehen, die jeweils einen Schalter S_5 , S_6 aufweisen, der den Ausgang des Hochsetzstellers **19** mit einem Mittelabgriff **16**, **17** einer jeweiligen Halbbrücke **13**, **14** der Vollbrücke **3** verbindet.

[0067] Erfindungsgemäß steuert eine Steuerungseinrichtung **29** bei ausreichender Eingangsspannung U_{ZK1} in jeder Halbwelle der Wechselspannung U_{NETZ} lediglich einen Schalter S_1 , S_3 der Vollbrücke **3** pulswidenmoduliert hochfrequent an, um zur Aufmagnetisierung der Speicherdrossel L die Eingangsspannung U_{ZKL} an einem der Halbbrückenabgriffe **16**, **17** anzulegen. Bei nicht ausreichender Eingangsspannung U_{ZKL} schließt sie den Vollbrückenschalter S_1 , S_3 und steuert statt dessen einen der Schalter S_5 , S_6 der Spannungswandlerschaltung (**4**) hochfrequent an, so dass das erhöhte Ausgangspotenzial U_{ZKH} des Hochsetzstellers **19** das Aufmagnetisierungspotenzial und die Eingangsspannung U_{ZKL} das Freilaufpotenzial vorgibt. Der Aufmagnetisierungsstrom fließt unter Umgehung des normalerweise hochfrequent getakteten Vollbrückenschalters S_1 , S_3 über einen der Spannungswandlerpfade **37**, **38** unmittelbar zu dem zugehörigen Halbbrückenabgriff **16**, **17**. Neben geringen Ummagnetisierungs- und Schaltverlusten sind auch die Durchleitverluste minimiert und der gesamte Wirkungsgrad verbessert.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 10221592 A1 [\[0003\]](#)
- DE 10020537 A1 [\[0008\]](#)

Patentansprüche

1. Verfahren zur Umwandlung einer elektrischen Eingangsgleichspannung (U_{ZKL}) in eine Wechselspannung (U_{NETZ}) mittels einer Schaltungsanordnung (1), zu der eine an die Eingangsgleichspannung angeschlossene Vollbrückenschaltung (3), die zwei zueinander parallele Halbbrücken (13, 14) mit jeweils einem ersten Schaltelement (S_1, S_3) und einem in Reihe mit diesem verbundenen zweiten Schaltelement (S_2, S_4) aufweist, Freilaufelemente (D_1 – $D_6; D_{13}$), die Freilaufpfade definieren, und wenigstens eine Speicherdrossel (L) gehören, die an einem Brückenabgriff (16) und einem Wechselspannungsanschluss (27) angeschlossen ist,

wobei die Schaltelemente (S_1 – S_4) in Abhängigkeit von der Polarität der Halbwellen der Wechselspannung (U_{NETZ}) mit bestimmtem Taktmuster derart angesteuert werden, dass in einem normalen Betriebsmodus während einer Halbwelle jeweils ein erstes Schaltelement ($S_1; S_3$) einer der Halbbrücken (13; 14) hochfrequent getaktet wird, während das zweite Schaltelement ($S_4; S_2$) der anderen Halbbrücke (14; 13) geschlossen ist und die anderen Schaltelemente geöffnet sind, so dass beim Schließen des ersten Schaltelementes ($S_1; S_3$) über dieses ein Aufmagnetisierungsstrom für die Speicherdrossel (L) bereitgestellt wird und beim Öffnen des ersten Schaltelementes durch ausgewählte Freilaufelemente ($D_2; D_4$) ein Freilaufstrom der Speicherdrossel (L) fließt, wobei das Verfahren aufweist:

Anschließen einer Spannungswandlereinrichtung (19), die im Betrieb aus der Eingangsspannung (U_{ZKL}) ein betragsmäßig höheres Potenzial (U_{ZKH}) erzeugt, und wenigstens eines ansteuerbaren Schaltmittels ($S_5; S_6$) in einem Spannungswandlerpfad (37; 38), der im Nebenschluss zu wenigstens einem der hochfrequent getakteten ersten Schaltelemente ($S_1; S_3$) verläuft,

Erfassen von Betriebsbedingungen, um festzustellen, ob die Drossel (L) bei Anwendung des Taktmusters ausreichend aufmagnetisiert werden kann, und für den Fall, dass festgestellt wird, dass die Drossel (L) nicht oder unzureichend aufmagnetisiert werden kann, Schließen des zuvor hochfrequent getakteten ersten Schaltelementes ($S_1; S_3$) und hochfrequentes Takten des ansteuerbaren Schaltmittels ($S_5; S_6$) in dem Spannungswandlerpfad (37; 38), so dass ein Aufmagnetisierungsstrom, der von dem betragsmäßig höheren Potenzial (U_{ZKH}) der Spannungswandlereinrichtung (19) herrührt, durch das Schaltmittel ($S_5; S_6$) unter Umgehung des ersten Schaltelementes ($S_1; S_3$) der Speicherdrossel (L) zugeführt wird, während in den Freilaufphasen der Freilaufstrom durch das erste Schaltelement ($S_1; S_3$) fließt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die ersten Schaltelemente (S_1, S_3) der Vollbrückenschaltung (3) und das wenigstens eine ansteuerbare Schaltmittel ($S_5; S_6$) pulsweitenmodu-

liert im kHz-Bereich, vorzugsweise bei etwa 18 kHz oder mehr getaktet werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die ersten Schaltelemente (S_1, S_3) mittels wenigstens eines Stromschutzelementes ($D_1, D_2; D_{12}$) vor unzulässig hohen Rückwärtsströmen geschützt werden.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass jedem ersten Schaltelement ($S_1; S_3$) ein ungesteuertes Stromschutzelement in Form einer Diode ($D_1; D_3$) zugeordnet ist, die in Reihe zwischen dem ersten Schaltelement (S_1) und einem Verbindungsknoten (16; 17) zwischen dem ersten und dem zweiten Schaltelement ($S_1, S_2; S_3, S_4$) angeordnet ist, der einen Mittelabgriff der jeweiligen Halbbrücke (13; 14) bildet.

5. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass den beiden ersten Schaltelementen (S_1, S_3) ein gemeinsames ungesteuertes Stromschutzelement in Form einer Diode (D_{13}) zugeordnet ist, die zwischen einem Gleichspannungsanschluss (7), an den die Spannungswandlereinrichtung (19) angeschlossen ist, und einem Verbindungspunkt zwischen den ersten Schaltelementen (S_1, S_3) angeordnet ist.

6. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Spannungswandlerpfad (37; 38) parallel zu der Reihenschaltung aus dem wenigstens einen Stromschutzelement ($D_1, D_3; D_{13}$) und dem zugehörigen ersten Schaltelement ($S_1; S_3$) angeschlossen ist.

7. Verfahren nach Anspruch 1 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass zwei Stromwandlerpfade (37, 38) vorgesehen sind, die jeweils ein Schaltmittel (S_5, S_6) aufweisen und von einem Ausgang der Spannungswandlereinrichtung (19) zu jeweils einem Mittelabgriff (16, 17) der Halbbrücken (13, 14) führen.

8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Erzeugung eines betragsmäßig höheren Potenzials (U_{ZKH}) durch Regelung der Ausgangsspannung (U_{ZKH}) der Spannungswandlereinrichtung (19) bewerkstelligt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Spannungswandlereinrichtung (19) einen vorzugsweise induktiven DC/DC-Hochsetzsteller aufweist.

10. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Schritt der Erfassung von Betriebsbedingungen eine Erfassung eines Eingangstroms (I_{EIN}) der Schaltungsanordnung, eines durch die Spannungswandlereinrichtung (19) fließenden Stroms (I_{L1}), eines Ausgangstroms (I_L) der Schal-

tungsanordnung, der eingangsseitigen Gleichspannung (U_{ZKL}), des Ausgangspotenzials (U) der Spannungswandlereinrichtung und/oder der ausgangsseitigen Wechselspannung (U_{NETZ}) der Schaltungsanordnung aufweist.

11. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Schritt der Feststellung, ob die Drossel (L) bei Anwendung des Taktmusters ausreichend aufmagnetisiert werden kann, eine Bestimmung einer gewünschten mittleren Spannung (\bar{U}_{BR}) am Eingang der Drossel (L) und einen Vergleich dieser Spannung mit einem Referenzwert (REF) aufweist.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Referenzwert (REF) ein variabler, in Abhängigkeit von momentanen Betriebsbedingungen anpassbarer Wert ist.

13. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Referenzwert durch den aktuellen Eingangsgleichspannungswert (U_{ZKL}) vorgegeben ist.

14. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Gleichspannung (U_{ZKL}) einer Gleichspannungsquelle (**9**) mit variablem Gleichspannungspotenzial, insbesondere einem Fotovoltaikgenerator, entnommen wird.

15. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Wechselspannung (U_{NETZ}) durch eine Netzspannung mit einer Frequenz von 50 oder 60 Hz gebildet ist.

16. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass im Bereich des Nulldurchgangs der Wechselspannung (U_{NETZ}) die Schaltmittel (S_5 , S_6) und die zweiten Schaltelemente (S_2 , S_4) asymmetrisch getaktet werden, um alternierende Stromflussrichtungen zu beherrschen.

17. Verfahren nach Anspruch 1, ferner die Schritte aufweisend:

Anordnen eines Überbrückungspfades (**39**) parallel zu der Spannungswandlereinrichtung (**19**), und für den Fall, dass die Eingangsgleichspannung (U_{ZKL}) größer ist als der Scheitelwert der Wechselspannung (U_{NETZ}), simultanes hochfrequentes Takten des jeweiligen ersten Schaltelementes (S_1 ; S_3) einer der Halbbrücken (**13**; **14**) gemeinsam mit dem wenigstens einen Schaltmittel (S_5 ; S_6) in dem zugehörigen Nebenschluss-Spannungswandlerpfad (**37**; **38**).

18. Wechselrichter zur Umwandlung einer elektrischen Gleichspannung in eine Wechselspannung mit einem ersten und einem zweiten Gleichspannungszweig (**11**, **12**), an die eine Gleichspannungsquelle (**9**) anschließbar ist, die eine Eingangsgleich-

spannung (U_{ZKL}) liefert, mit einer Vollbrückenschaltung (**3**), die zwei zueinander parallele Halbbrücken (**13**, **14**) mit jeweils einer Reihenanzahl aus einem ersten Schaltelement (S_1 ; S_3), das an dem ersten Gleichspannungszweig (**11**) angeschlossen ist, und einem zweiten Schaltelement (S_2 , S_4), das an dem zweiten Gleichspannungszweig (**12**) angeschlossen ist, aufweist; mit zwei Wechselspannungszweigen (**24**, **26**), die jeweils mit einer der Halbbrücken (**13**, **14**) zwischen dem ersten und dem zweiten Schaltelement (S_1 , S_2 ; S_3 , S_4) über einen Verbindungsknoten (**16**; **17**) verbunden sind und zwei Wechselspannungsanschlüsse (**27**, **28**) definieren; und mit einer an die Gleichspannungszweige (**11**, **12**) angeschlossenen Spannungswandlerschaltung (**4**), die eine Spannungswandlereinrichtung (**19**) zur Hochsetzung der Eingangsgleichspannung (U_{ZKL}) auf ein betragsmäßig höheres Ausgangspotenzial (U_{ZKH}) und wenigstens ein ansteuerbares Schaltmittel (S_5 ; S_6) aufweist, das angeordnet und eingerichtet ist, um einen Ausgang der Spannungswandlereinrichtung (**19**) unmittelbar mit einem der Wechselspannungszweige (**24**, **26**) zu verbinden.

19. Wechselrichter nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass er ein transformatorloser Fotovoltaik-Wechselrichter ist.

20. Wechselrichter nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass in wenigstens einem Wechselspannungszweig (**24**, **26**), vorzugsweise in jedem Wechselspannungszweig, zwischen dem Verbindungsknoten (**16**, **17**) und dem Wechselspannungsanschluss (**27**, **28**) eine Speicherdrossel (L ; L_1 , L_2) angeordnet ist.

21. Wechselrichter nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass das wenigstens eine Schaltmittel (S_5 , S_6) mit dem Verbindungsknoten (**16**, **17**) einer Halbbrücke (**13**, **14**) verbunden ist.

22. Wechselrichter nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass das wenigstens eine ansteuerbare Schaltmittel (S_5 , S_6) eine antiparallel geschaltete Freilaufdiode (D_5 , D_6) aufweist.

23. Wechselrichter nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Spannungswandlerschaltung (**4**) ein erstes und ein zweites Schaltmittel (S_5 , S_6) aufweist, die mit dem Ausgang der Spannungswandlereinrichtung (**19**) und jeweils mit einem der Wechselspannungszweige (**24**, **26**) verbunden sind.

24. Wechselrichter nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass die zweiten Schaltelemente (S_2 , S_4) der Vollbrückenschaltung (**3**) eine antiparallel geschaltete Freilaufdiode (D_2 , D_4) aufweisen.

25. Wechselrichter nach Anspruch 18, dadurch

gekennzeichnet, dass in Reihe zu dem ersten Schaltelement (S_1, S_3) einer jeden Halbbrücke (**13, 14**) ein ungesteuertes Stromschutzelement, vorzugsweise eine Schutzdiode (D_1, D_3) vorgesehen ist.

26. Wechselrichter nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass in dem ersten Gleichspannungszweig (**11**) ein ungesteuertes Stromschutzelement, insbesondere eine Diode (D_{13}), vorgesehen ist, dessen Ausgang an die Vollbrückenschaltung (**3**) angeschlossen ist.

27. Wechselrichter nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Spannungswandlereinrichtung (**19**) einen spannungserhöhenden induktiven Hochsetzsteller aufweist, dessen Ausgangspotenzial auf ein gewünschtes Niveau regelbar ist.

28. Wechselrichter nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass er eine Erfassungseinrichtung (**30**) zur Erfassung von Betriebsbedingungen und zur Bereitstellung hierfür kennzeichnender Signale sowie eine Steuerungseinrichtung (**29**) zur Auswertung der erfassten Signale und zur Ansteuerung der Schaltelemente und des wenigstens einen Schaltmittels mit einem bestimmten Schaltmuster aufweist.

29. Wechselrichter nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, dass die Erfassungseinrichtung (**30**) Mittel zur Erfassung eines Eingangsstroms des Wechselrichters (I_{EIN}), eines durch die Spannungswandlereinrichtung (**19**) fließenden Stroms (I_{L1}) und eines Ausgangsstroms des Wechselrichters (I_L) sowie Mittel zur Erfassung der eingangsseitigen Gleichspannung (U_{ZKL}), des Ausgangspotenzials der Spannungswandlereinrichtung (U_{ZKH}) und der ausgangseitigen Wechselspannung (U_{NETZ}) des Wechselrichters aufweist.

30. Wechselrichter nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerungseinrichtung (**29**) im normalen Betrieb die ersten Schaltelemente (S_1, S_3) der Brückenschaltung (**3**) hochfrequent taktet, während sie die zweiten Schaltelemente mit einer Frequenz einer an den Wechselspannungsanschlüssen (**27, 28**) anliegenden Wechselspannung (U_{NETZ}) niederfrequent schaltet, wobei im normalen Betrieb während jeder halben Periode der Wechselspannung (U_{NETZ}) ein erstes Schaltelement (S_1, S_3) einer der Halbbrücken pulsweitenmoduliert angesteuert wird, während das zweite Schaltelement (S_4, S_2) der anderen Halbbrücke (**13, 14**) geschlossen ist.

31. Wechselrichter nach Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerungseinrichtung (**29**) dazu eingerichtet ist, anhand der erfassten Signale Phasen zu bestimmen, in denen die eingangsseitige Gleichspannung (U_{ZKL}) zur Erzeugung der Wechselspannung (U_{NETZ}) nicht ausreicht und in diesen Phasen das wenigstens eine Schaltmittel (S_5, S_6)

der Spannungswandlerschaltung (**4**) hochfrequent taktet, um ein Ausgangspotenzial (U_{ZKH}) der Spannungswandlereinrichtung (**19**) unmittelbar an einen Halbbrückenabgriff (**16, 17**) anzulegen und einen Aufmagnetisierungsstrom zur Aufmagnetisierung einer in einem Wechselspannungszweig (**24, 26**) vorgesehenen Speicherdrossel (L) unter Umgehung des ersten Schaltelementes (S_1, S_3) direkt dem Wechselspannungszweig (**24, 26**) zuzuführen.

32. Wechselrichter nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerungseinrichtung (**29**) eine Logik aufweist, um im Bereich der Nulldurchgänge der Wechselspannung (U_{NETZ}) eine asymmetrische Taktung der Schaltmittel (S_5, S_6) und der zweiten Schaltelemente (S_2, S_4) zu bewirken.

33. Wechselrichter nach Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, dass in einem zu der Spannungswandlereinrichtung (**19**) parallelen Überbrückungspfad (**39**) ein ungesteuertes Schaltelement, vorzugsweise eine Diode (D_8), vorgesehen ist, und die Steuerungseinrichtung (**29**) eine Logik aufweist, um für den Fall, dass die eingangsseitige Gleichspannung (U_{ZKL}) größer ist als der Scheitelwert der Wechselspannung (U_{NETZ}), das jeweilige erste Schaltelement (S_1, S_3) einer der Halbbrücken (**13, 14**) gemeinsam mit dem wenigstens einen Schaltmittel (S_5, S_6) der Spannungswandlerschaltung (**4**) simultan hochfrequent zu takten.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

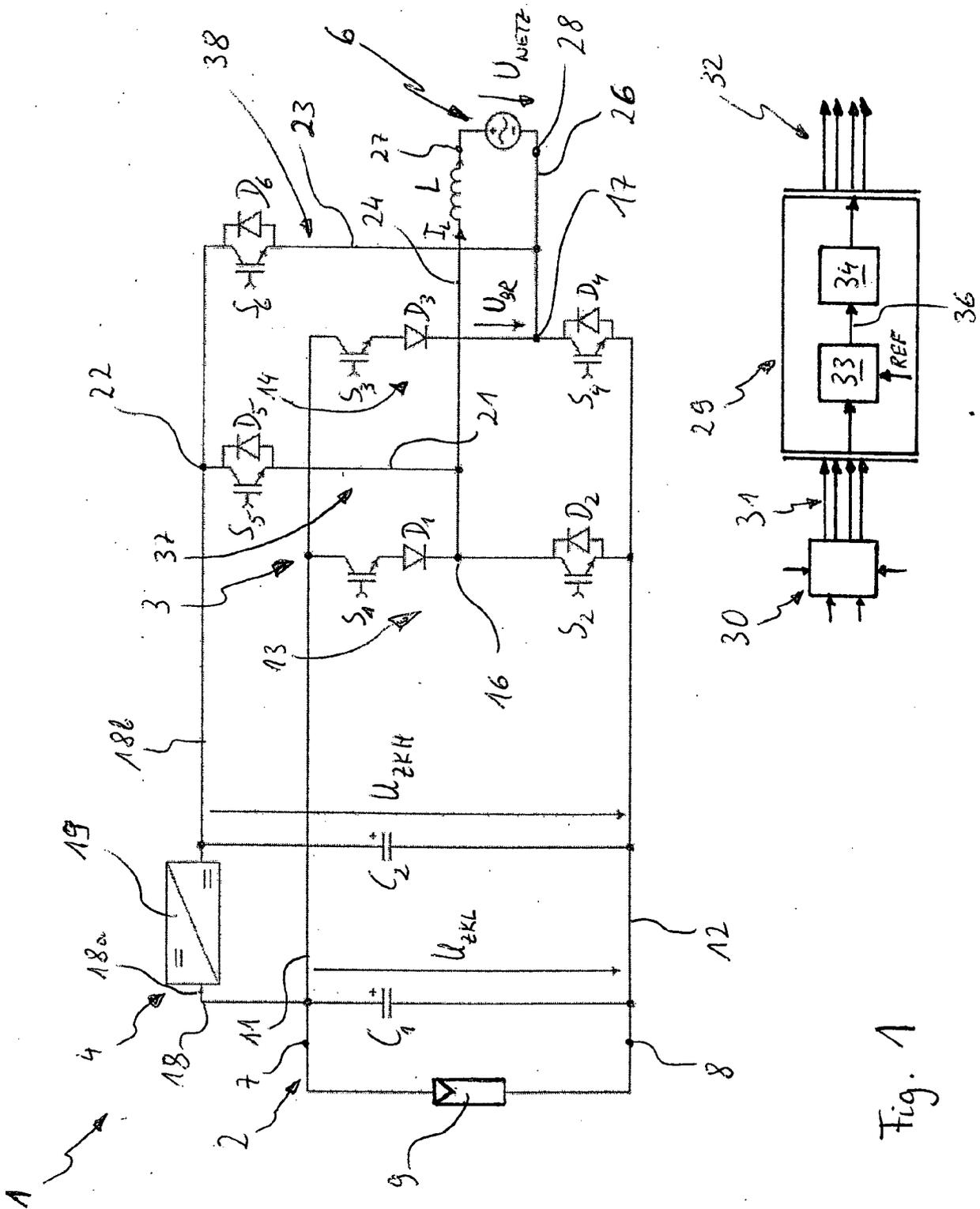


Fig. 1

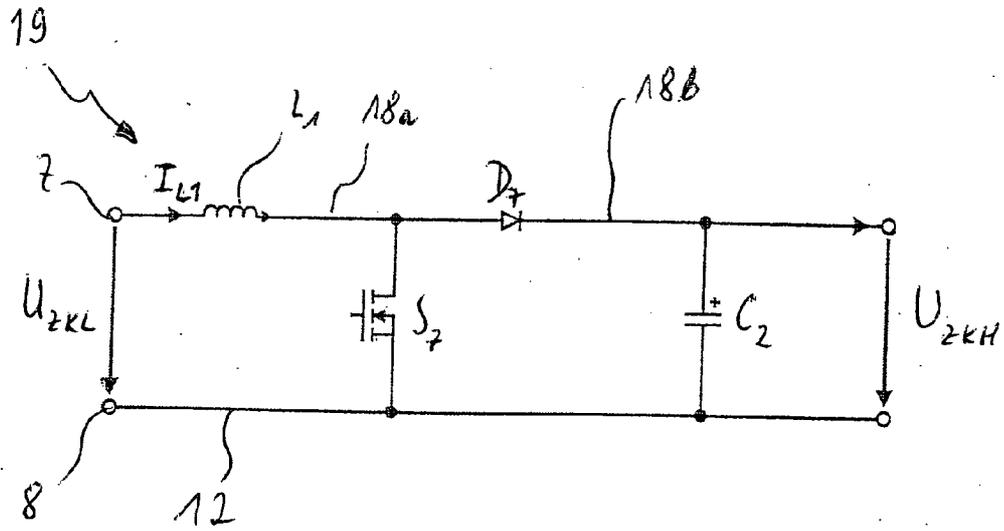


Fig. 2

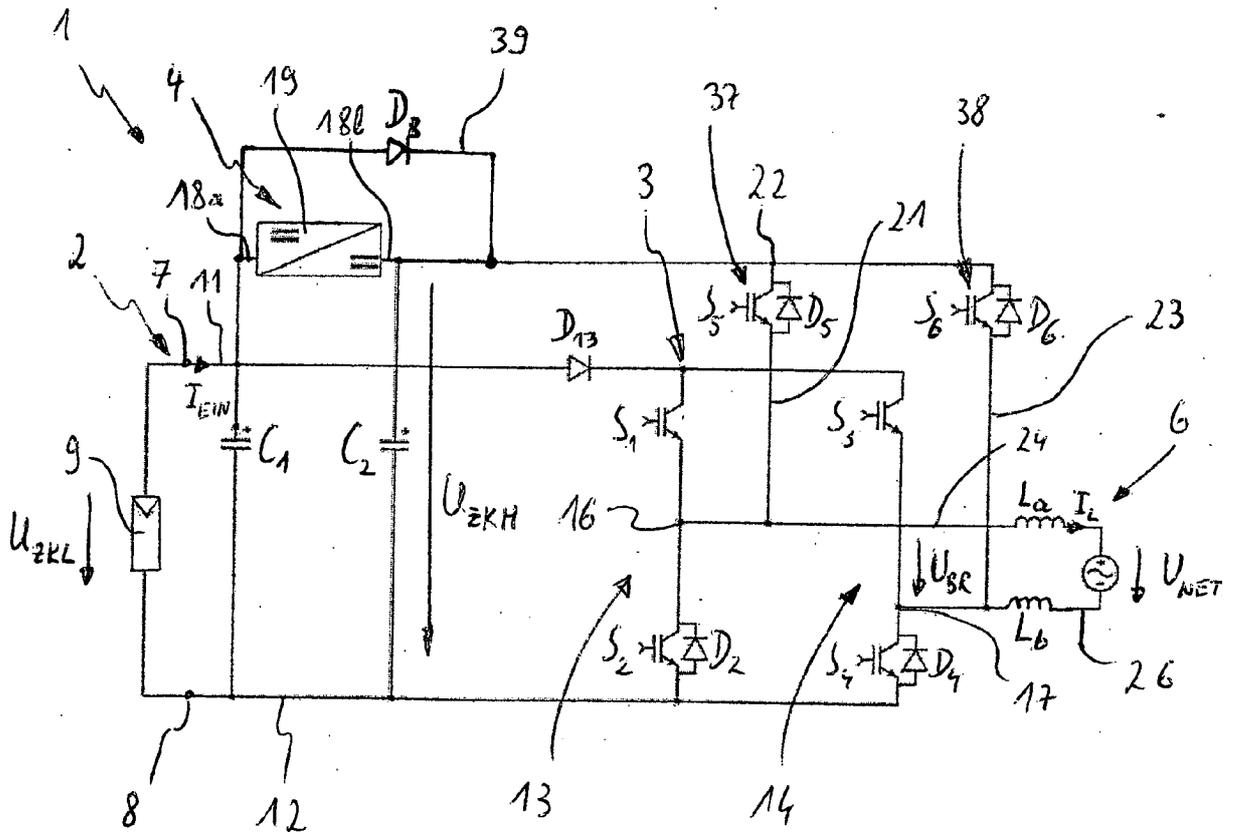


Fig. 4

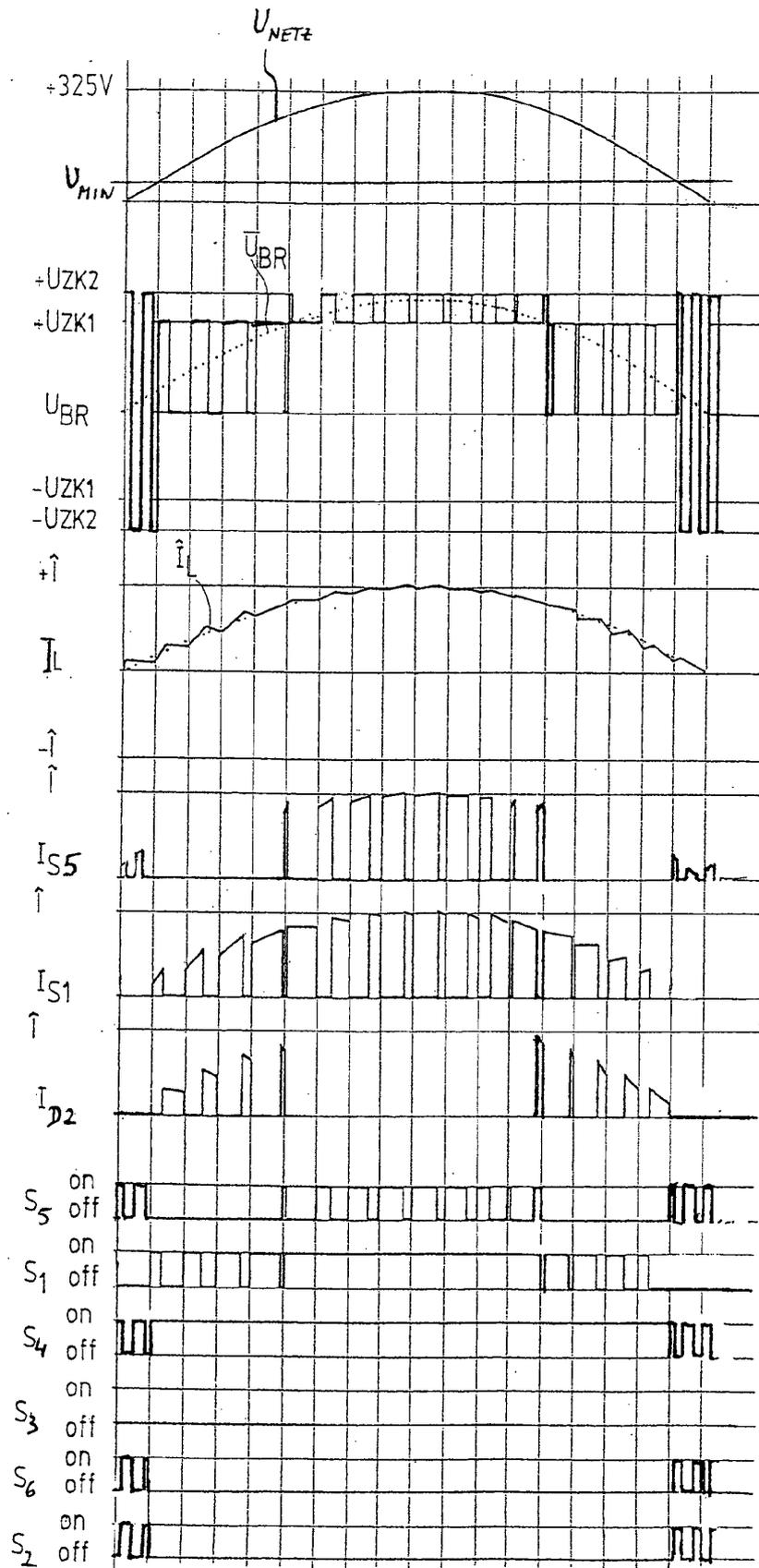


Fig.3a

