

(12)

# PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 726/96

(51) Int.Cl.<sup>6</sup> : **H02M 7/757**  
H02H 9/04, H02M 1/06

(22) Anmeldetag: 22. 4.1996

(42) Beginn der Patentdauer: 15. 1.1999

(45) Ausgabetag: 27. 9.1999

(56) Entgegenhaltungen:

EP 0375020A2 DE 3612115A1

(73) Patentinhaber:

KOLAR JOHANN W.  
A-1050 WIEN (AT).

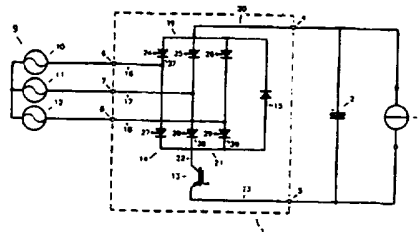
(72) Erfinder:

KOLAR JOHANN W.  
WIEN (AT).  
ERTL JOHANN  
MAUERKIRCHEN, OBERÖSTERREICH (AT).

**(54) VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR VERLUSTARMEN AKTIVEN BEGRENZUNG DER KLEMMENSPIGUNG EINER UNIDIREKTIONALEN GLEICHSPANNUNGSVERSORGUNGSEINRICHTUNG**

(57) Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Rückspeisung überschüssiger Gleichspannungenergie eines elektrischen Speichers (2) unter Einhaltung eines vorgegebenen Begrenzungswertes der Gleichspannung in das Dreiphasennetz wobei diese Überschußenergie durch eine aktive Last (3) geliefert wird.

Das erfindungsgemäße Spannungsbegrenzungssystem (1) wird eingangsseitig parallel zu (2) angeordnet und ausgangsseitig an ein dreiphasiges Energieversorgungsnetz (9) geschaltet. Überschreitet die Spannung des Speichers (2) eine vorgegebene, über dem Spitzenwert der Netzspannung liegende Schwelle, wird die Thyristorbrücke (14) angesteuert und mit Vollaussteuerung im Wechselrichterbetrieb betrieben. Durch Durchschalten des Leistungstransistors (13) kann dann innerhalb jedes Leitintervalles eines Thyristorpaars aufgrund der überwiegenden Gleichspannung ein Stromfluß in zwei Phasen gegen die Netzspannung aufgebaut und damit Energie in das Wechselspannungsnetz gespeist werden. Der Anstieg des Netzstromes wird dabei durch die innere Netzimpedanz begrenzt, der Leistungsfluß kann grundsätzlich durch die Länge der Einschaltintervalle des Leistungstransistors definiert werden. Bei Abschalten des Leistungstransistors kommutiert der, durch die innere Netzimpedanz eingepreßte Stromfluß in die, über den Ausgangsklemmen der Thyristorbrücke liegende Freilaufdiode und wird mit hoher Steilheit gegen die Netzspannung abgebaut. Hinsichtlich des Verlaufes der Phasenströme und Lage der Stromflußintervalle wird damit eine, einer ungesteuerten Diodengleichrichtung mit kapazitiver Glättung, aber mit umgekehrtem Vorzeichen der Phasenströme entsprechende Rückspeisung der Begrenzungsleistung in das Energieversorgungsnetz realisiert.



Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung (und ein Verfahren) zur verlustarmen aktiven Begrenzung der an den Ausgangsklemmen eines Stromversorgungssystems auftretenden Spannung wie sie im Oberbegriff des Patentanspruches 1 beschrieben ist.

Zur Realisierung einer Gleichspannungsversorgung werden bei Speisung überwiegend passiver Verbraucher aus dem Dreiphasennetz i.a. hinsichtlich Leistungsflußrichtung unidirektionale Stromrichtersysteme eingesetzt. Die Möglichkeit einer Rücklieferung von, seitens transient aktiver Lasten an die Gleichspannung zurückgeführter Energie in das Energieversorgungsnetz ist damit prinzipbedingt nicht gegeben; demgemäß sind in diesem Fall am Ausgang der Spannungsversorgung Überspannungsschutzelemente vorzusehen die eine Überladung des, die Ausgangsspannung der Stromversorgung puffernden Kondensators bzw. eine spannungsmäßige Überlastung der Leistungshalbleiter der Stromversorgung und/oder der gespeisten Lasten unterbinden. Bei kleinen Systemleistungen kann ein Überspannungsschutz durch Einsatz direkt spannungsbegrenzender Elemente mit Durchbruchcharakteristik oder in Anwendung des Grundprinzips einer in der EP-A2 0 375 020 beschriebenen Spannungsbegrenzungsschaltung durch ein aus der Kombination einer Diode, eines Kondensators und eines Widerstandes gebildetes passives Netzwerk erfolgen. Im Bereich hoher Leistungen wird die Überschußleistung allerdings gewöhnlich durch kurzzeitig über eine elektronische Schaltung zugeschaltete niederohmige Begrenzungs(last)widerstände aufgenommen. Als Nachteil dieser Konzepte sind insbesondere die auftretenden Verluste und der damit vor allem bei systeminterner Anbringung der Widerstände verbundene Kühlbedarf und die resultierende Baugröße des Gesamtsystems zu sehen.

Wie in der DE-OS 3612115 beschrieben, kann die Begrenzung einer Dreiphasen-Wechselspannung prinzipbedingt verlustfrei dadurch erfolgen, daß die, die Überspannung verursachende Überschußenergie in ein Gleichspannungsnetz gespeist wird. Die Schaltung ist allerdings auf unidirektionalen Leistungsfluß eingeschränkt und kann daher für die Begrenzung einer Gleichspannung und Speisung der Überschußenergie in ein Dreiphasen-Wechselspannungsnetz keine Anwendung finden.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, eine, nicht zwingend den Einsatz passiver, die Verlustenergie aufnehmender Komponenten erfordernde und damit verlustarme, d.h. die Überschußenergie in ein Dreiphasen-Wechselspannungsnetz speisende Einrichtung zur Begrenzung einer Gleichspannung zu schaffen.

Dies wird erfindungsgemäß durch die kennzeichnenden Merkmale des Patentanspruches 1 erreicht. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind den Unteransprüchen zu entnehmen.

Grundgedanke der Erfindung ist, den, in der dem Stand der Technik entsprechenden Ausführung die Überschußenergie aufnehmenden Systemteil durch eine (aktive) Stromrichterschaltung einfacher Struktur, die eine Einspeisung der Begrenzungsenergie in das Energieversorgungsnetz erlaubt, zu ersetzen und über entsprechend modifizierte Steuerung der elektronischen Schaltung den, durch die Begrenzungsvorrichtung übernommenen inversen Leistungsfluß zu regeln. Es wird hierfür vorteilhaft eine netzgeführte vollgesteuerte Thyristorbrücke mit der, durch die Verbindung der Anoden der Thyristoren einer Brückenhälfte gebildeten Ausgangsklemme vom positiven Pol der zu begrenzenden Gleichspannung abzweigend, mit der durch die Verbindung der Kathoden der Thyristoren der anderen Brückenhälfte gebildeten Gleichspannungsklemme an den Kollektor einer, z.B. als IGBT ausgeführten elektronischen Schaltung gelegt, deren zweite Leistungsklemme (Emitter) mit dem negativen Pol der zu begrenzenden Spannung verbunden ist. Die Wechselspannungsklemmen der Thyristorbrücke werde an die Phasen des die Begrenzungsenergie aufnehmenden, i.a. mehrphasigen Netzes geschaltet, weiters wird zwischen Kollektor der elektronischen Schaltung und positivem Pol der Gleichspannung eine, nach dem positiven Pol der Gleichspannung orientierte Freilaufdiode angeordnet.

Bei systemtechnischer Betrachtung der derart gebildeten Vorrichtung wird die Funktion des Begrenzungswiderstandes der dem Stand der Technik entsprechenden Ausführung der Begrenzungseinrichtung in der gewünschten Form durch ein, im Wechselrichterbetrieb arbeitendes, wechsellspannungsseitig an das Netz gekoppeltes Stromrichtersystem hohen Wirkungsgrades und geringer Baugröße übernommen.

Für die weiteren Überlegungen sei eine hinreichend über dem Spitzenwert der verketteten Spannung des Energieversorgungsnetzes liegende Einsatzschwelle der Spannungsbegrenzungseinrichtung vorausgesetzt. Wird diese Spannungsschwelle überschritten, wird die Thyristorbrücke angesteuert und mit Vollaussteuerung im Wechselrichterbetrieb betrieben. Durch das Durchschalten der elektronischen Schaltung (des Leistungstransistors) zu Beginn jedes Leitintervalles eines Thyristorpaares kann nun aufgrund der die Netzspannung überwiegender Gleichspannung ein Stromfluß in zwei Phasen des Wechselspannungsnetzes aufgebaut und damit Energie in das Netz eingespeist werden. Der Anstieg des Netzstromes wird dabei durch die innere Netzimpedanz begrenzt, der Leistungsfluß kann grundsätzlich durch die Länge der Einschaltintervalle des Leistungstransistors definiert werden. (Zur Begrenzung des Stromfusses innerhalb der Leitintervalle des Transistors kann grundsätzlich auch ein in Serie mit dem Leistungstransistor liegender Widerstand und/oder auch in den Netzzuleitungen der Vorrichtung liegende Widerstände eingesetzt werden,

womit allerdings eine Verringerung des Wirkungsgrades der Energieumsetzung verbunden ist.) In Hinblick auf einen phasensymmetrischen Betrieb der Anordnung ist über eine (bei symmetrischem Netz) für alle Phasen gleiche, zur Sicherstellung einer hinreichenden Schonzeit der Thyristorbrücke jedenfalls unter  $60^\circ$  el. (bezogen auf ein dreiphasiges Wechselspannungsnetz) liegende Breite der Einschaltintervalle auf eine gleichmäßige Aufteilung der Begrenzungsleistung auf die Phasen zu achten. Bei jedem Abschalten des Leistungstransistors kommutiert der, durch die induktive Komponente der inneren Netzimpedanz (oder durch eventuelle zusätzliche Vorschaltinduktivitäten) eingeprägte Stromfluß in die, über den Ausgangsklemmen der Thyristorbrücke liegende Freilaufdiode und wird aufgrund der nun fehlenden treibenden Spannung mit relativ hoher Steilheit gegen die Netzspannung abgebaut. Zusammenfassend wird damit für jede Phase hinsichtlich Phasenstromverlauf und Lage der Stromflußintervalle einer ungesteuerten Diodengleichrichtung mit kapazitiver Glättung entsprechend, aber eben mit umgekehrtem Vorzeichen der Phasenströme, eine Umsetzung von Gleichspannungs- in Wechselspannungsenergie ermöglicht, die Begrenzungsleistung also impulsförmig in  $60^\circ$  el. vor und nach den Maxima jeder Phasenspannung liegenden Zeitintervallen in das Energieversorgungsnetz gespeist. Wie auch für ungesteuerte Gleichrichtung ist damit nur eine geringe Phasenverschiebung zwischen Phasenspannung und zugeordneter Netzstromgrundschwingung bzw. ein hoher Grundschwingungsleistungsfaktor der Energieumsetzung gegeben. Der von der idealen Sinusform erheblich abweichende Verlauf des Netzstromes ist nicht als Nachteil zu sehen, da, wie vorstehend erwähnt, der Stromfluß in näherungsweise gleichen Zeitabschnitten wie jener von, am gleichen Netz betriebenen ungesteuerten Gleichrichtersystemen mit kapazitiver Glättung aber mit inversem Vorzeichen erfolgt, womit sogar eine Verringerung der Netzspannungsverzerrung der jedenfalls dominierenden Gleichrichterlast eines Netzes erreicht wird, und keine zusätzliche Spannungsverzerrung als Folge der nur impulsartigen Energieeinspeisung in das Netz auftritt. Als weiterer Vorteil des Systems ist die aufgrund der geringen Taktfrequenz (sechsfache Netzfrequenz) und der Wirkung der induktiven Komponente der Netzimpedanz als Einschaltentlastung geringe Schaltverlustleistung der elektronischen Schaltvorrichtung anzuführen, die eine, im wesentlichen nur durch die Leitverluste und eine u.U. geforderte Überlastbarkeit bestimmte Auslegung der Schaltvorrichtung erlaubt.

Eine modifizierte Anordnung der Hauptkomponenten des Leistungsteiles der Vorrichtung nach Patentanspruch 1 beschreibt der Kennzeichenteil des Patentanspruches 2.

Es wird dabei wieder die Thyristorbrücke mit den Wechselspannungsklemmen des Energieversorgungsnetzes gelegt und zwischen die Verbindung der Kathoden der Thyristoren einer Brückenhälfte und die Verbindung der Anoden der Thyristoren der anderen Brückenhälfte eine nach der Anodenverbindung orientierte Freilaufdiode geschaltet. Allerdings wird nun die Kathodenverbindung mit dem negativen Pol der zu begrenzenden Spannung verbunden und die Anodenverbindung an einen Pol einer elektronischen Schaltvorrichtung (den Emitter eines Leistungstransistors) geführt, deren zweiter Pol (Kollektor mit dem positiven Pol der vor Überspannung zu schützenden Gleichspannungsquelle verbunden ist. Die Grundfunktion dieser Vorrichtung sowie das für die Steuerung vorteilhaft einzusetzende Verfahren entsprechen vollständig jenem der Vorrichtung nach Patentanspruch 1, womit auf eine nähere Beschreibung verzichtet werden kann.

Ein Verfahren zur Steuerung der Vorrichtung nach Patentanspruch 1 oder 2 beschreibt der Kennzeichenteil des Patentanspruches 3.

Für die weiteren Überlegungen sei vorausgesetzt, daß die zu begrenzende Gleichspannung ein vorgegebenes (über dem Spitzenwert der verketteten Netzspannung liegendes, den Begrenzungswert definierendes) Spannungsniveau überschritten habe, und sich die erfindungsgemäße Spannungsbegrenzungseinrichtung demnach im aktiven Zustand befinde. (Sinkt das Gleichspannungsniveau unter den Begrenzungswert, wird die Begrenzungseinrichtung gesperrt, wobei, falls die Nenngleichspannung hinreichend weit unter dem Spitzenwert der verketteten Spannung des Netzes liegt auch eine fortgesetzte Ansteuerung (also ein ständig aktiver Zustand) des Begrenzungssystems denkbar ist. da ja bei Absinken der den Energiefluß in das Netz treibenden Gleichspannung aufgrund der Unidirektionalität der Vorrichtung ein selbsttätiges Absinken der Energieflusses an das Netz auf 0 auftritt.

Wie bereits in Verbindung mit der Beschreibung der Vorrichtung nach Patentanspruch 1 erwähnt, wird die Thyristorbrücke der Spannungsbegrenzungsvorrichtung mit Vollaussteuerung im Wechselrichterbetrieb betrieben. Bezogen auf den bei gedachter Gleichrichterfunktion der Thyristorbrücke (und eingepägtem Ausgangsstrom) vorliegenden natürlichen Kommutierungszeitpunkt (Ablösung eines stromführenden Ventils durch ein Folgeventil) wird jeder (Folge)thyristor also  $180^\circ$  phasenversetzt (entsprechend einem Gleichrichtersteuerwinkel von  $180^\circ$  bzw. einem Wechselrichtersteuerwinkel von  $0^\circ$ ) gezündet (wobei auch an den bereits im vorhergehenden Leitintervall der Brücke stromführende Thyristor der jeweils anderen Brückenhälfte erneut ein Ansteuersignal gelegt wird worauf nachfolgend noch näher eingegangen wird). Gleichzeitig mit jedem Zünden eines Thyristorpaars wird auch der Leistungstransistor durchgeschaltet. Der, die zu

begrenzende Spannung puffernde kapazitive Energiespeicher wird damit direkt an eine verkettete Spannung des Netzes gelegt, und aufgrund der die Netzspannung voraussetzungsgemäß überwiegenden Gleichspannung ein, der Wirkung der Netzspannung entgegengesetzter Stromanstieg bzw. eine Lieferung der Begrenzungsleistung in das Netz bewirkt. (Vor Durchschalten des Leistungstransistors liege kein Stromfluß des Systems vor: dies erklärt die Notwendigkeit des vorstehend erwähnten Zündens des bereits im vorhergehenden Stromflußintervall der Brücke leitenden Thyristors.) Die Zündung der Thyristoren wird solange aufrecht gehalten bis der Einraststrom der Thyristoren überschritten ist. Der Anstieg des in das Netz gespeisten Stromes wird durch die innere Netzimpedanz und die Differenz von Netzspannung und Gleichspannung bestimmt. Bei in erster Näherung linear zunehmendem Strom wird damit dem Gleichspannungs-Pufferkondensator eine mit der Einschaltdauer des Leistungstransistors quadratisch zunehmende Stromzeitfläche (Ladung) entnommen, womit anschaulich die Möglichkeit einer Regelung der in das Netz eingespeisten Leistung (der Begrenzungsleistung) über die Einschaltdauer des Transistors deutlich wird. Die Leitdauer wird durch eine übergeordnete Steuereinheit bzw. Regeleinheit, beispielsweise in Abhängigkeit der Abweichung des tatsächlichen vom idealen Wert der Begrenzungsspannung vorgegeben.

In Hinblick auf einen phasensymmetrischen Betrieb der Vorrichtung und zur Sicherstellung einer hinreichenden Schonzeit der Thyristoren ist die Einschaltdauer des Leistungstransistors für Stromfluß über ein definiertes Ventilpaar der Brücke stets hinreichend kürzer  $60^\circ$  el. zu wählen. Wird der Leistungstransistor gesperrt, kommutiert der gleichspannungsseitige Stromfluß in die über den Ausgangsklemmen der Thyristorbrücke liegende Freilaufdiode und wird innerhalb eines kurzen Zeitintervalls gegen die Netzspannung abgebaut. Innerhalb des nun bis zum Einschaltzeitpunkt des nächsten Thyristopaars folgenden Zeitintervalls verbleiben sämtliche Ventile der Vorrichtung stromlos, was dem im Folgeintervall nicht mehr stromführenden Thyristor das Wiedererlangen der Vorwärtssperrfähigkeit erlaubt. Die maximale Einschaltdauer des Transistors ist also derart zu wählen, daß nach vollständigem Abbau des Stromes bis zum erneuten Einschalten des Transistors jedenfalls die Schonzeit verstreicht.

Neben einer Regelung des Energieflusses in das Netz über die Einschaltzeit wäre auch eine an den Spitzenwert des innerhalb der Leitintervalle des Leistungstransistors auftretenden Stromes gebundene Regelung des Leistungsflusses denkbar. Aufgrund der für die Thyristoren einzuhaltenden Zeitbedingung (Schonzeit) erscheint allerdings eine Vorgabe der Einschaltzeit besonders vorteilhaft; im einfachsten Fall kann damit auch die für die alternative Variante erforderliche Messung des Transistromes (oder Netzstromes) unterbleiben. Als weiterer Vorteil ist ein dann gegebener Selbstregeleffekt zu nennen, der dadurch bedingt ist, daß mit steigendem Wert der Begrenzungsspannung der Anstieg des in das Netz gespeisten Stromes innerhalb des Einschaltintervalles des Transistors erhöht und somit innerhalb eines vorgegebenen Zeitintervalles ein höherer Energieanteil dem Pufferkondensator entnommen wird, das System also selbsttätig die Tendenz zur Erhöhung der Energieabgabe an das Netz bei Ansteigen der zu begrenzenden Spannung zeigt.

Bei stationärer Energierückspeisung aktiver Lasten an die Gleichspannung, wird durch die Begrenzungseinrichtung die an die Gleichspannungsquelle zurückgelieferte Energie im zeitlichen Mittel in das Netz eingespeist (innerhalb jedes  $60^\circ$  breiten Abschnittes der Netzperiode wird dem Pufferkondensator ein Ladungsimpuls entnommen bzw. über jeweils zwei Thyristoren der Brücke Energie pulsformig an das Netz geliefert, womit die Gleichspannung des Kondensators auf einem näherungsweise konstanten Wert (dem Begrenzungswert) verbleibt. Wird seitens der Last schließlich wieder Energie aufgenommen, also von der Gleichspannungsquelle resultierend Leistung abgegeben, sinkt das Spannungsniveau des Pufferkondensators unter die Einsatzschwelle des erfindungsgemäßen Spannungsbegrenzungssystems und die Lieferung von Energie an das Netz wird beendet.

Die Erfindung wird im weiteren anhand eines Ausführungsbeispiels und zugeordneter Zeitverläufe charakteristischer Systemgrößen (beides dargestellt in den im folgenden angegebenen Zeichnungen) näher erläutert. Es zeigt:

**Fig.1** Die Grundstruktur (vereinfachte, schematische Darstellung) des Leistungs- und Steuerungsteiles des aktiven, verlustarmen Gleichspannungsbegrenzungssystems.

**Fig.2** Den Verlauf der Phasenspannung des dreiphasigen Energieversorgungsnetzes innerhalb einer Netzperiode, Verlauf des in einer Phase fließenden Stromes (aus dem Netz fließend positiv gezählt) und einen Ausschnitt des Verlaufes zweier verketteter Netzspannungen.

In **Fig.1** ist ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen verlustarmen Spannungsbegrenzungssystems 1 dargestellt, dessen Grundfunktion in der Limitierung der an einem Pufferkondensator 2 auftretenden Spannung besteht, wobei dieser Pufferkondensator am Ausgang eines Gleichspannungsversorgungssystems liegt, das passive (z.B. ohmsche) und teilweise aktive Lasten versorgt und ein, den Leistungsbedarf der passiven Lasten überwiegender Leistungsfluß, also eine resultierende Rückspeisung von Leistung in den Pufferkondensator auftritt, die bei Unidirektionalität der Gleichspannungsversorgung nicht aufgenom-

men werden kann und zu einem Ansteigen der an 2 liegenden Spannung führt. Die Gesamtwirkung des Spannungsversorgungssystems ist in Fig.1 durch eine, Gleich- oder Mischstrom aufnehmende oder abgebende Quelle 3 veranschaulicht. Das Spannungsbegrenzungs-system 1 ist über eine Eingangsklemme 4 mit dem positiven und über eine Eingangsklemme 5 mit dem negativen Pol von 2 verbunden und über die  
 5 Ausgangsklemmen 6,7, und 8 an ein reales, also eine induktive (und ohmsche) Komponente der inneren Impedanz aufweisendes dreiphasiges Energieversorgungsnetz 9 geschaltet, dessen Phasenspannung durch die (nicht idealen) Spannungsquellen 10, 11, und 12 dargestellt werden.

Das Spannungsbegrenzungs-system 1 wird durch die Kombination einer abschaltbaren elektronischen Schaltvorrichtung 13, einer dreiphasigen Thyristorbrücke 14 und einer Freilaufdiode 15 gebildet, wobei die  
 10 Wechselspannungsklemmen der Thyristorbrücke über Verbindungsleitungen 16, 17, 18 direkt mit den wech-selspannungsseitigen Ausgangsklemmen 6, 7, und 8 der Vorrichtung 1 verbunden sind und die gleichspannungsseitige, durch Verbindung der Anoden der Thyristoren einer Brückenhälfte gebildete Schaltverbindung 19 über eine Verbindungsleitung 20 mit der positiven Eingangsklemme 4 und die durch Verbindung der Kathoden der Thyristoren der anderen Brückenhälfte gebildete Schaltverbindung 21 über  
 15 eine Verbindungsleitung 22 mit dem Kollektor der vorteilhaft als Leistungstransistor ausgeführten elek-tronischen Schaltvorrichtung 13 verbunden ist. Der Emitter der Schaltvorrichtung wird über eine Schaltverbin-dung 23 an den negativen Eingang 5 von 1 gelegt, weiters wird zwischen den Gleichspannungsschienen 19 und 21 die nach 19 weisende Freilaufdiode 15 geschaltet. Die Ansteuerung des Leistungstransistors 13 erfolgt ausgehend von einer nicht explizit gezeigten Ansteuervorrichtung bzw. eines Regelsystems, die  
 20 Thyristorbrücke wird über, an die Steueranschlüsse 24, 25, 26, 27, 28 und 29 der einzelnen Thyristoren gelegte, ebenfalls von der übergeordneten Steuereinheit gelieferte Signale gezündet.

Die derart gebildete Vorrichtung 1 entspricht der bereits weiter oben in Verbindung mit der Erläuterung des Grundgedankens der Erfindung diskutierten Schaltung und muß daher hier nicht mehr näher beschrie-ben werden.

Zur Veranschaulichung der Funktionsweise der erfindungsgemäßen Vorrichtung sind in Fig.2 charak-teristische Verläufe innerer Systemgrößen dargestellt. Es ist der Verlauf der inneren Phasenspannungen des Wechselspannungsnetzes 9 (gleich bezeichnet wie die zugeordneten Spannungsquellen in Fig.1) der Verlauf des über die Eingangsklemme 6 in das Netz eingespeisten Stromes 30 und ein Ausschnitt 31 der  
 25 Spannungsdifferenz zwischen den inneren Netzphaserspannungen 10 und 11 (also einer verketteten Spannung) und ein ein Ausschnitt 32 der Spannungsdifferenz zwischen den innerer Netzphasenspannungen 10 und 12 (also einer weiteren verketteten Spannung) eingetragen; weiters ist das Niveau der über dem Pufferkondensator auftretenden (über dem Spitzenwert der verketteten Netzspannung liegenden) Spannung  
 30 33 gezeigt.

Für die weiteren Erläuterungen wird das Erfordernis einer stationären Einspeisung einer, seitens der  
 35 Gleichstromversorgungs/Lastkombination 3 in den Pufferkondensator gespeisten Energie in das Netz 9 angenommen. Für diesen stationären Fall wird die Spannung 33 durch Abgabe von Leistung in das Netz nicht verringert und verbleibt auf einem konstanten Wert. Aufgrund der phasensymmetrischen Struktur des erfindungsgemäßen Systems kann die Beschreibung des zur Steuerung angewendeten erfindungsgemäßen Verfahrens auf einen,  $\frac{1}{6}$  der Netzperiode breiten Zeitausschnitt (34 bis 35 in Fig.2) beschränkt werden.

Bei Anwendung des erfindungsgemäßen Steuerverfahrens wird nun die Thyristorbrücke der Vorrichtung 1 in Voll-dussteuerung im Wechselrichterbetrieb betrieben, also Zeitpunkt 34 Thyristor 37 und 38 gezündet. Gleichzeitig wird über Anlegen eines entsprechendes Steuersignales an den Leistungstransistor 13 durch eine übergeordnete, die Spannungsbegrenzung regelnde Vorrichtung der Leistungstransistor durchgeschal-  
 40 tet und damit der positive Pol 4 der Gleichspannung mit der Ausgangsklemme 6 und der negative Pol 5 der Gleichspannung mit der Ausgangsklemme 8 der Vorrichtung verbunden, also die Gleichspannung gegen die verkettete Spannung 31 des Netzes geschaltet. Zufolge des Überwiegens der Gleichspannung erfolgt dabei, begrenzt durch die innere Impedanz der Netzphasenspannungen 10 und 11 ein Anstieg des Phasenstromes über die Klemmen 6 und 7 entgegen der Wirkungsrichtung der Netzspannung, womit Leistung in das Netz gespeist wird. Wird der Leistungstransistor im Zeitpunkt 36 abgeschaltet, kommutiert der gleichspannungs-  
 45 eittige Stromfluß in die Freilaufdiode 15 und wird aufgrund der nun gegenüber der Stromaufbauphase wesentlich höheren, an den inneren Netzimpedanzen liegenden Spannung (der vollen verketteten Netzspannung) rasch abgebaut. Erreichen die Phasenströme im Zeitpunkt 37 den Wert 0, löschen die Thyristoren, eine Umkehr des Stromflusses wird damit unterbunden. Die Schaltung verbleibt stromlos bis im Zeitpunkt 35 das Thyristorpaar 37, 39 gezündet und erneut der Leistungstransistor durchgeschaltet wird, womit  
 50 wieder der bereits vorstehend beschriebene Aufbau eines, Energie an das Netz liefernden, in diesem Fall über die Eingangsklemmen 6 und 8 fließenden Stromes erfolgt.

Wie aus Fig.2 klar erkennbar, kann die innerhalb der einzelnen,  $\frac{1}{6}$  einer Netzperiode breiten Abschnitte 34-35, etc. dem Pufferkondensator entnommene Ladung (und damit direkt die in das Netz zurückgespeiste

Leistung) über die Einschaltzeit 34-36 des Leistungstransistors vorgegeben werden. Die, z.B. in Abhängigkeit der Überschreitung eines vorgegebenen Maximalwertes der Spannung des Pufferkondensators veränderte Einschaltdauer des Leistungstransistors (bei höherer Kondensatorspannung ist eine höhere Einschaltzeit vorzusehen, womit die Abgabe von Energie an das Netz erhöht und die Kondensatorspannung schließlich wieder auf den Begrenzungswert zurückgeführt wird) ist dabei allerdings derart zu begrenzen, daß das zwischen dem Zeitpunkt 37, in dem die Phasenströme zu 0 und die Thyristoren 37 und 38 stromlos werden, und dem erneuten Einschalten des Leistungstransistors in 35 die für das Erlangen der Vorwärtssperrfähigkeit eines Thyristors (im vorliegenden Fall des Thyristors 38) erforderliche Zeitdifferenz (Schonzeit) eingehalten wird.

Resultierend weist der Netzstrom der Begrenzungsvorrichtung einen, von ungesteuerter Diodengleichrichtung mit kapazitiver Glättung bekannten, aufgrund der umgekehrten Energieflußrichtung allerdings invertierten Verlauf auf. Die Grundschiwingung des in das Netz gespeisten Stromes liegt aufgrund der näherungsweise symmetrisch um die Maxima der zugehörigen Phasenspannungen liegenden Stromflußintervalle weitgehend in Phase mit der Netzspannung, womit durch die Begrenzungsvorrichtung nur eine relativ geringe, das Netz belastende Grundschiwingungsblindleistung gebildet wird. Die niederfrequenten Harmonischen des Netzstromes liegen aufgrund des gegenüber ungesteuerter Gleichrichtung mit kapazitiver Glättung invertierten Stromverlaufes in Gegenphase zu den, durch konventionelle Gleichrichtersysteme verursachten Harmonischen und verursachen somit keine zusätzlich Verzerrung der Netzspannung sondern führen vielmehr zu einer insgesamt (geringfügig) verbesserten Oberschwingungsbilanz des Netzes.

## Patentansprüche

1. Die Erfindung betrifft eine verlustarme Vorrichtung (1) zur Begrenzung der über dem Ausgangspufferkondensator (2) einer unidirektionalen, teilweise aktive Lastkreise speisenden Gleichspannungsversorgung auftretenden Spannung die eine im Wechselrichterbetrieb arbeitende vollgesteuerte Drehstrombrückenschaltung (14), eine abschaltbare elektronische Schaltvorrichtung (13) und eine Freilaufdiode (15) aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Vorrichtung (1) über eine gleichspannungsseitige Eingangsklemme (4) mit dem positiven und über eine gleichspannungsseitige Eingangsklemme (5) mit dem negativen Pol von (2) verbunden und über die Ausgangsklemmen (6),(7), und (8) an ein reales, also i.a. eine induktive Komponente der inneren Impedanz aufweisendes dreiphasiges Energieversorgungsnetz (9) geschaltet wird, wobei die Wechselspannungsklemmen der Thyristorbrücke (14) über Verbindungsleitungen (16), (17), (18) direkt mit den Ausgangsklemmen (6), (7), und (8) verbunden sind und die gleichspannungsseitige, durch Verbindung der Anoden der Thyristoren einer Brückenhälfte von (14) gebildete Schaltverbindung (19) über eine Verbindungsleitung (20) mit der positiven Eingangsklemme (4) und die durch Verbindung der Kathoden der Thyristoren der anderen Brückenhälfte gebildete Schaltverbindung (21) über eine Verbindungsleitung (22) direkt mit dem Kollektor der, vorteilhaft als Leistungstransistor ausgeführten elektronischen Schaltvorrichtung (13) verbunden ist und der Emitter der Schaltvorrichtung über eine Schaltverbindung (23) an den negativen Eingang (5) von (1) gelegt und weiters zwischen den Gleichspannungsschienen (19) und (21) der Thyristorbrücke eine, kathodenseitig an (19) liegende Freilaufdiode (15) geschaltet wird und die Klemmen (4) und (5) über Signalleitungen an den Eingang einer Steuer- oder Regeleinheit der Vorrichtung gelegt werden, deren Ausgangsseite wiederum über Signalleitungen mit den Steuereingängen der Vorrichtung, i.e. dem Basisanschluß des Leistungstransistors (13) und den Steueranschlüssen (24),(25),(26),(27),(28) und (29) der einzelnen Thyristoren der Brückenschaltung (14) verbunden ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1 **dadurch gekennzeichnet**, daß die Schaltverbindungen (20), (22) und (23) entfernt und die positive Eingangsklemme (4) der Vorrichtung (1) direkt an den Kollektor des Leistungstransistors (13) gelegt und dessen Emitter direkt mit der Gleichspannungsschiene (19) der Thyristorbrücke (14), und die zweite Gleichspannungsschiene (21) von (14) direkt mit dem negativen Pol (5) des Pufferkondensators (2) verbunden wird.
3. Verfahren zur Rückspeisung überschüssiger Gleichspannungsenergie eines elektrischen Speichers unter Einhaltung eines vorgegebenen Begrenzungswertes der Gleichspannung in das Dreiphasennetz **dadurch gekennzeichnet**, daß die zu begrenzende, i.a. über dem Spitzenwert der verketteten Netzspannung liegende Gleichspannung an jenes Netzklemmenpaar (6),(7) oder (7),(8) oder (8),(6) geschaltet wird, welches die höchste, mit der Gleichspannung vorzeichengleiche verkettete Spannung aufweist, womit ein phasensymmetrischer, jeweil innerhalb von 60° el. breiten Intervallen einer Netzperiode gleicher Betrieb erreicht wird und zufolge des Überwiegens der Gleichspannung ein durch

## AT 405 587 B

die innere Induktivität des Netzes begrenzter Anstieg des Netzstromes entgegen der Wirkungsrichtung der Netzspannung erfolgt und somit Leistung in das Netz gespeist wird, wobei nach Unterbrechen der Verbindung von Gleich- und Netzspannung die Netzklemmen kurzgeschlossen werden und damit der durch die Netzinduktivitäten eingprägten Phasenströme zufolge der nun gegenüber dem Stromaufbauphase wesentlich höheren, an den inneren Netzimpedanzen liegenden Spannung entgegengesetzten Vorzeichens rasch gegen 0 abgebaut werden und eine Vorzeichenumkehr der Phasenströme durch Aufheben des Kurzschlusses im Stromnulldurchgang unterbunden wird und damit die Schaltung bis zum Ende des jeweiligen  $60^\circ$  el. breiten Intervalls der Netzperiode stromlos verbleibt, resultierend also gleichspannungsseitig ein diskontinuierlicher Stromfluß mit sechsfacher Netzfrequenz erreicht wird wobei die in das Netz gespeiste Begrenzungsleistung über die Dauer der Kopplung von Netz und zu begrenzender Gleichspannung definiert wird und bei vorgegebenem Begrenzungswert der Gleichspannung für höhere Leistungsrückführung in das Netz eine höhere Kopplungsdauer vorgesehen oder bei konstanter Kopplungsdauer ein Ansteigen des Begrenzungswertes zugelassen wird.

Hiezu 1 Blatt Zeichnungen

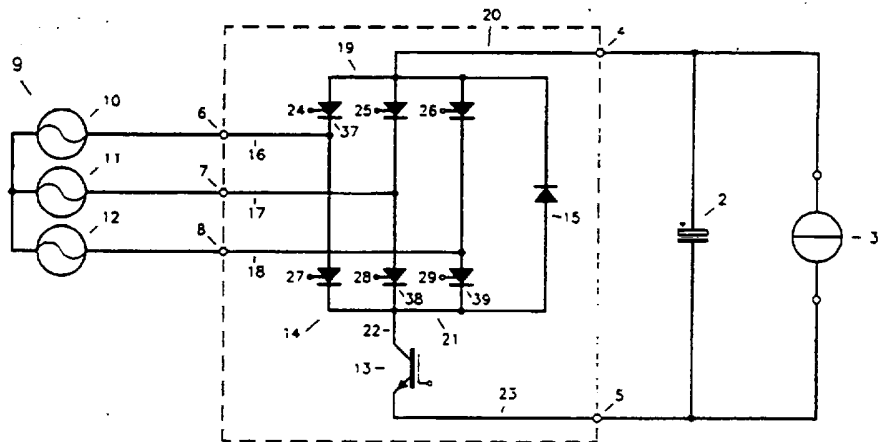


Fig.1: Erfindungsgegenstand: Vorrichtung und Verfahren zur verlustarmen aktiven Begrenzung der Klemmenspannung einer unidirektionalen Gleichspannungsversorgungseinrichtung  
 Anmelder: Johann W. KOLAR

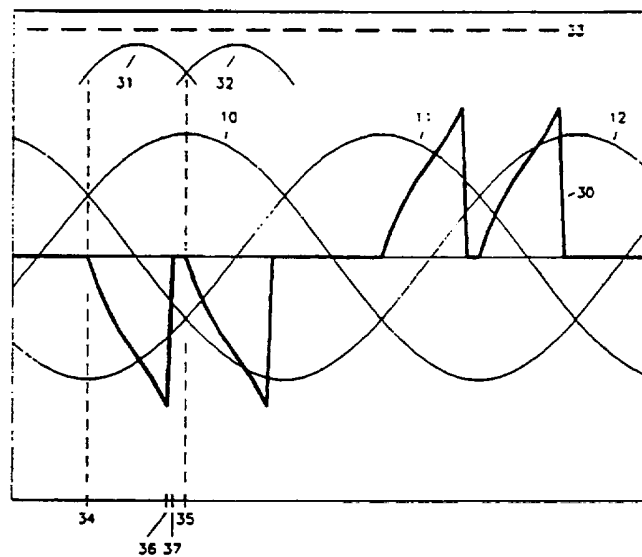


Fig.2: Erfindungsgegenstand: Vorrichtung und Verfahren zur verlustarmen aktiven Begrenzung der Klemmenspannung einer unidirektionalen Gleichspannungsversorgungseinrichtung  
 Anmelder: Johann W. KOLAR