



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT  
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 698 490 B1

(51) Int. Cl.: H02M 3/156 (2006.01)

**Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein**

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) **PATENTSCHRIFT**

(21) Anmeldenummer: 00093/06

(22) Anmeldedatum: 20.01.2006

(24) Patent erteilt: 31.08.2009

(45) Patentschrift veröffentlicht: 31.08.2009

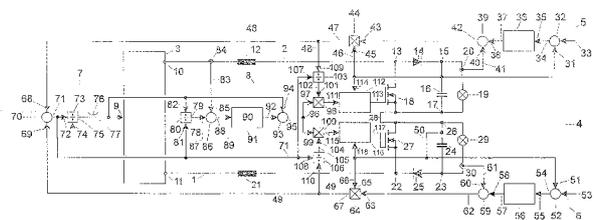
(73) Inhaber:  
ETH Zürich ETH transfer, Rämistrasse 101  
8092 Zürich (CH)

(72) Erfinder:  
Johann W. Kolar, 8044 Zürich (CH)

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

(54) **Vorrichtung zur Regelung der Teilausgangsspannungen eines Dreipunkt-Hochsetzstellers.**

(57) Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Regelung der Teilausgangsspannungen eines Dreipunkt-Hochsetzstellers, wobei unterschiedliche Belastungen (19) und (29) und unterschiedliche Spannungssollwerte (33) und (53) der Ausgänge vorliegen können. Erfindungsgemäss wird die Regeldifferenz (34) und (54) der oberen und unteren Teilspannung Ausgangsspannungsreglern (36) und (56) zugeführt und aus den Reglerausgängen (37) und (57) nach Laststromvorsteuerung (41) und (61) der Sollwert (48) bzw. (49) der lokal an den oberen und unteren Ausgangskreis zu liefernden Leistung definiert. Aus dem Sollwert (71) der Gesamt-Eingangsleistung des Hochsetzstellers wird einerseits der Sollwert (9) der durch die Versorgungsstufe (3) erzeugten Eingangsspannung des Dreipunkt-Hochsetzstellers und andererseits der Sollwert (78) des, durch eine unterlagerte Stromregelung (8) mit Stromregler (91) einzuprägenden Eingangstromes ermittelt, wobei der Stromregler (91) nach Vorsteuerung der Eingangsspannung den Sollwert (96) der lokal in Summe über einem oberen und einem unteren Leistungstransistor (18, 27) zu erzeugenden Spannung vorgibt. Zur Ermittlung der einzelnen Schalterspannungswerte (111) und (115) wird diese Gesamtschaltersollspannung (96) mit dem Verhältnis der Sollausgangsleistung des jeweiligen Ausgangskreises und der Gesamtausgangsleistung multipliziert und daraus schliesslich die relative Einschaltzeit der Leistungstransistoren (18, 27) in an sich bekannter Weise unter Berücksichtigung des jeweiligen Istwertes der Ausgangsspannung (46) bzw. (66) gebildet.



## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Regelung von Teilausgangsspannungen eines Dreipunkt-Hochsetzstellers gemäss dem Oberbegriff des Patentanspruches 1.

## Stand der Technik

[0002] Nach dem derzeitigen Stand der Technik werden zur Bildung einer über dem, i.a. ebenfalls durch einen leistungselektronischen Konverter (Eingangsstufe) erzeugten Eingangs-Gleichspannungsniveau liegenden Ausgangsspannung Hochsetzsteller eingesetzt. Hierfür wird eingangsseitig eine Induktivität in die positive Spannungsschiene gelegt und ein Leistungstransistor angeordnet, welcher im durchgeschalteten Zustand das dem Eingang abgewandte, zweite Ende der Induktivität mit der negativen, für die Ein- und Ausgangsspannung gemeinsamen Spannungsschiene verbindet. Weiters ist, um in diesem Fall einen Kurzschluss der Ausgangsspannung zu verhindern, eine Freilaufdiode in Flussrichtung vom zweiten Ende der Induktivität gegen die positive Ausgangsspannungsschiene geschaltet. Die Ausgangsspannung wird durch einen Ausgangskondensator gestützt, die Last liegt zu diesem Kondensator parallel. Im gesperrten Zustand tritt so die gesamte Ausgangsspannung über dem Leistungstransistor auf bzw. muss im durchgeschalteten Zustand die Freilaufdiode die gesamte Ausgangsspannung in Sperrrichtung übernehmen. Es sind so nur Leistungstransistoren mit relativ hoher Durchlassspannung und Freilaufdioden mit relativ hohem, zu hohen Schaltverlusten führendem Sperrverzug einsetzbar.

[0003] Alternativ werden Hochsetzsteller mit hoher Ausgangsspannung daher in Dreipunktstruktur ausgeführt. Die Ausgangsspannung wird hierfür durch Serienschaltung von zwei Kondensatoren kapazitiv geteilt und der Leistungstransistor des ursprünglichen Systems gegen den so gebildeten kapazitiven Mittelpunkt geschaltet (oberer Leistungstransistor), weiters wird ein zusätzlicher unterer Leistungstransistor vom Mittelpunkt gegen die negative, nun nur mehr mit der negativen Eingangsspannungsklemme direkt verbundenen Spannungsschiene geschaltet und von der negativen Ausgangsspannungsklemme eine untere Freilaufdiode in Flussrichtung gegen die negative Spannungsschiene angeordnet. Dies halbiert die Sperrspannungsbelastung der Leistungshalbleiter und verringert damit sowohl die Leit- als auch die Schaltverluste.

[0004] Für die Regelung der Gesamtausgangsspannung wird über eine Regelvorrichtung das Tastverhältnis beider Transistoren gleich vorgegeben. Zusätzlich ist eine Symmetrierung der oberen und unteren Teilspannung vorgesehen, welche z.B. durch geringfügige Verringerung des Tastverhältnisses des oberen und Erhöhung des Tastverhältnisses des unteren Transistors gegenüber dem durch die Gesamtausgangsspannungsregelung vorgegebenen Wert einen, eine Symmetrierung der Ausgangsteilspannungen bewirkenden Mittelpunktstrom erreicht. Die Last ist hierbei über der gesamten Ausgangsspannung, d.h. zwischen der positiven Klemme der oberen und der negativen Klemme der unteren Ausgangsteilspannung angeordnet oder symmetrisch auf die Teilspannungen aufgeteilt.

[0005] Sollen nun durch den Hochsetzsteller zwei unabhängige, verschiedenen Spannungs- und Leistungsbedarf aufweisende Verbraucher, z.B. Heizkreise für Anwendungen in der Prozesstechnik versorgt, und demgemäss die Teilausgangsspannung unabhängig geregelt werden, ist das bekannte, auf Symmetrie der Spannungsaufteilung und Belastung ausgerichtete Regelverfahren nicht einsetzbar. Dies auch deshalb, da nun die Ausgangsteilspannungen nicht mehr nur auf dem Nennniveau verbleiben, sondern eine Teilspannung z.B. auch den Wert Null aufweisen kann, womit zur Sicherstellung der durch den Hochsetzsteller hinsichtlich des möglichen Spannungsübersetzungsverhältnisses nach unten eingeschränkten Systemfunktion die Ausgangsspannung der Eingangsstufe durch einen Steuereingriff entsprechend abgesenkt werden muss. Auch ein derartiger Steuereingriff ist für dem Stand der Technik entsprechende Regelverfahren von Dreipunkt-Hochsetzstellern nicht bekannt.

## Detaillierte Darstellung der Erfindung

[0006] Aufgabe der Erfindung ist es daher, eine Vorrichtung zur unabhängigen Regelung der Ausgangsteilspannungen eines Dreipunkt-Hochsetzstellers zu schaffen, welche eine vollständig unsymmetrische Sollwertvorgabe und Belastung der Ausgangsteilspannungen beherrscht und über einen Steuereingriff die Ausgangsspannung der den Dreipunkt-Hochsetzsteller versorgenden Konverterstufe und den Eingangsstrom des Dreipunkt-Hochsetzstellers so einstellt, dass eine möglichst geringe Strombeanspruchung der Leistungshalbleiter und so ein wirkungsgradoptimaler Betrieb erreicht wird.

[0007] Erfindungsgemäss wird dies durch die kennzeichnenden Merkmale des Patentanspruches 1 erreicht. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen sind den abhängigen Ansprüchen zu entnehmen.

[0008] Grundgedanke der Erfindung ist, jeder Teilausgangsspannung einen eigenen Spannungsregler mit, durch eine übergeordnete Steuereinheit vorgegebenem Sollwert zuzuordnen und die Ausgangssignale dieser Spannungsregelungen zu einem Sollwert der Ausgangsspannung der Versorgungsstufe des Hochsetzstellers und einem möglichst geringen Sollwert des Hochsetzstellereingangsstromes zu kombinieren, welcher durch einen, für beide Teilausgangsspannungen gemeinsamen, unterlagerten Eingangsstromregler, der die Tastverhältnisse des oberen und unteren Leistungstransistors definiert, eingeprengt wird.

[0009] Hierfür wird erfindungsgemäss die Regeldifferenz der oberen und unteren Teilspannung einem oberen und unteren Ausgangsteilspannungsregler zugeführt. Am Ausgang der Ausgangsteilspannungsregler wird dann der Sollwert des Nachladestroms des oberen und unteren Ausgangskondensators gebildet, der durch Addition des jeweiligen Laststroms

zu einem, über die jeweilige Freilaufdiode an den jeweiligen Ausgang zu liefernden lokalen Ausgangsstromsollwert erweitert wird. Die Multiplikation dieses Ausgangsstromsollwertes mit der jeweiligen Ausgangsteilspannung führt auf die Sollwerte der lokalen Ausgangsleistung welche für die Deckung des lokalen Leistungsbedarfs der Last und den Ausgleich der Spannungsregelabweichung erforderlich ist. Der Sollwert der Gesamt-Eingangsleistung des Hochsetzstellers wird dann durch Addition der Sollleistungen beider Ausgänge gebildet, und zur Ermittlung des einzustellenden Eingangsspannungssollwertes durch den höheren der beiden lokalen Ausgangsstromsollwerte dividiert. Dies deshalb, da dann, wie eine nähere Analyse zeigt, der Leistungstransistor des, den höheren Ausgangsstromsollwert aufweisenden Systems (stationär) im ausgeschalteten Zustand verbleiben kann, der Eingangsstrom des Hochsetzstellers also direkt an den entsprechenden Teilausgang geführt wird, womit die Leit- und Schaltverluste des Systems minimal gehalten werden. Die Einstellung des geringeren Ausgangsstrombedarfs des zweiten Ausganges erfolgt durch Taktung des zugehörigen Leistungstransistors. Da in den Durchschaltintervallen, der Eingangsstrom über den Leistungstransistor fließt, wird dadurch der an den Ausgang geführte Strom verringert. Kann der geforderte Eingangsspannungssollwert durch die Eingangsstufe aufgrund einer, z.B. durch die Konvertertopologie der Eingangsstufe oder die Netzspannung bedingten Begrenzung des Ausgangsspannungsniveaus nach oben nicht eingestellt werden, wird der Eingangsspannungssollwert gleich dem möglichen Maximalwert der Eingangsspannung gewählt.

**[0010]** Der Eingangsstromsollwert wird nun durch Division des Gesamtleistungssollwertes durch den (begrenzten) Eingangsspannungssollwert gebildet, welcher mit dem Eingangsstromwert verglichen und einem Eingangsstromregler zugeführt wird, welcher den Sollwert der für die Korrektur der Stromregelabweichung an die Eingangsinduktivität zu legenden Spannung definiert. Durch Subtraktion dieses Spannungswertes vom Eingangsspannungssollwert kann dann die im lokalen (über eine Pulsperiode erstreckten) Mittel in Summe über dem oberen und unteren Leistungstransistor zu erzeugende Gesamtschalterspannung ermittelt werden. Um daraus die im lokalen Mittel über dem oberen und die über dem unteren Leistungstransistor zu bildende Spannung zu ermitteln, wird diese Gesamtschalterspannung mit dem Verhältnis der Sollausgangsleistung des jeweiligen Ausganges und der Gesamtleistung multipliziert, da sich aufgrund des für beide Teilsysteme gleichen Eingangsstromes die gebildeten Ausgangleistungen wie die Spannungen verhalten und die von Schalterspannung und Eingangsstrom gebildete Leistung wegen fehlender Energiespeicher gleich dem Produkt der zugehörigen Ausgangsspannung und des lokalen Mittelwertes des zugehörigen Freilaufdiodenstromes ist. Da eine Schalterspannung entsprechend der relativen Einschaltzeit des zugehörigen Leistungstransistors aus der zugehörigen Ausgangsspannung gebildet wird, kann nun die relative Einschaltzeit der Leistungstransistoren in an sich bekannter Weise aus dem Schalterspannungssollwert und der zugehörigen Ausgangsspannung gebildet werden. Die Taktung der Leistungstransistoren kann dabei in an sich bekannter Weise gleichphasig, d.h. mit gleicher Taktfrequenz und hinsichtlich der Mittelachse der Einschaltintervalle synchronisiert, oder phasenversetzt erfolgen. Eine phasenversetzte Taktung ist für den Fall möglich, dass der Sollwert jeder Schalterspannung unter dem Eingangsspannungssollwert liegt; die Mittelachsen der Einschaltintervalle des Leistungstransistors eines Teilsystems liegen dann zeitgleich mit den Mittelachsen der Ausschaltintervalle des jeweils anderen Teilsystems, wodurch eine teilweise gegenseitige Auslöschung der schaltfrequenten Harmonischen der Schalterspannungen und somit eine geringe Amplitude des Eingangsstromripples resultiert.

**[0011]** Zusammenfassend stellt die erfindungsgemässe Regelvorrichtung sicher, dass die Eingangsleistung des Dreipunkt-Hochsetzstellers entsprechend dem Leistungsbedarf der an den Ausgangsteilspannungen liegenden Verbraucher bei den Sollwerten entsprechenden Niveaus der Ausgangsteilspannungen auf die Teilsysteme aufgeteilt wird und mit minimalem Eingangsstrom und minimalem schaltfrequentem Rippel des Eingangsstromes erfolgt, womit ein hoher Wirkungsgrad der Energieumformung erreicht wird und nur eine Eingangsinduktivität mit relativ geringer Induktivität vorzusehen ist, was die Baugrösse des Systems vorteilhaft verringert.

**[0012]** Anzumerken ist, dass die erfindungsgemässe Vorrichtung nicht auf eine explizite Realisierung der signalverarbeitenden Teile in Hardware eingeschränkt ist, vielmehr können Schaltungsteile funktionsgleich auch mittels eines digitalen Signalprozessors implementiert werden.

**[0013]** Bei Einsatz des Dreipunkt-Hochsetzstellers zur Speisung von zwei unabhängigen Heizkreisen wird häufig ein Leistungssollwert und nicht ein an die Heizwendeln zu legenden Spannungssollwert vorgegeben. Um die in Verbindung mit Patentanspruch 1 beschriebene Regelvorrichtung einsetzen zu können sind daher die Leistungssollwerte in Spannungssollwerte umzurechnen, wobei für die Festlegung der Spannungssollwerte zu berücksichtigen ist, dass sich Warm- und Kaltwiderstand von Heizwendeln erheblich, typ. um einen Faktor 10 unterscheiden, d.h. die Gefahr des Überschreitens eines maximalen Laststromes besteht.

**[0014]** Erfindungsgemäss erfolgt die Umrechnung des Leistungssollwertes in einen Spannungssollwert für beide Teilausgangsspannungsregelungen gleichartig; es wird der durch eine übergeordnete Steuer- oder Regelvorrichtung vorgegebene Leistungssollwert durch den aktuellen Wert des Laststromes dividiert, und der so erhaltene Spannungswert auf einen, z.B. durch die Spannungsfestigkeit der Leistungshalbleiter oder der Last vorgegebenen Maximalwert begrenzt (begrenzter Ausgangsspannungssollwert). Weiters wird die Differenz des aktuellen Laststromes und eines vorgegebenen Maximalwertes des Laststromes gebildet und an den Eingang eines nichtlinearen Kennliniengliedes gelegt, welches für negative Eingangssignale ein Ausgangssignal Null und für kleine positive Eingangssignale ein hohes positives Ausgangssignal bildet. Es wird nun der Ausgang des Kennliniengliedes vom begrenzten Ausgangsspannungssollwert subtrahiert und die resultierende Differenz nach unten auf Null begrenzt, und so der einzustellende Sollwert der Ausgangsteilspannung gebildet. Diese Vorrichtung sorgt dafür, dass einerseits die maximale Lastspannung und andererseits der maximale Laststrom nicht

überschritten werden, da bei Überwiegen des aktuellen Laststromes über den zulässigen Maximalwert am Eingang des Kennliniengliedes eine positive Spannung auftritt und somit ein positives Ausgangssignal gebildet wird bzw. eine Reduktion des begrenzten Ausgangsspannungssollwertes derart auftritt, dass der Strommaximalwert im Wesentlichen eingehalten wird. Die Begrenzung des so erhaltenen Teilausgangsspannungssollwertes auf positive Werte berücksichtigt, dass die Ausgangsteilspannung nur Werte grösser gleich Null annehmen kann.

**[0015]** Die vorstehend beschriebene Strombegrenzung kann natürlich vorteilhaft auch bei direkter Vorgabe von Sollwerten der Teilausgangsspannungen eingesetzt werden, es wird dann für jede Teilspannung der Ausgang des zugehörigen Kennliniengliedes vom zugehörigen Teilspannungssollwert subtrahiert und das Ergebnis mit Null nach unten begrenzt und so die Einhaltung eines maximalen Laststromes z.B. auch in der Hochlaufphase eines Heizkreises sichergestellt.

### Aufzählung der Zeichnungen

**[0016]** Die Erfindung wird im Weiteren anhand von Zeichnungen näher erläutert.

Fig. 1 zeigt die Grundstruktur des Leistungsteiles eines Dreipunkt-Hochsetzstellers mit über eine steuerbare Eingangsstufe definierbarer Eingangsspannung und die erfindungsgemässe Regelstruktur gemäss Patentanspruch 1 zur unabhängigen Regelung der Teilausgangsspannungen des Dreipunkt-Hochsetzstellers über Vorgabe eines entsprechenden Eingangsspannungs- und Eingangsstromsollwertes, welcher durch einen für beide Teilsysteme gemeinsamen, unterlagerten Stromregler über geeignete Einstellung der Tastverhältnisse der Leistungstransistoren eingepreßt wird.

Fig. 2 zeigt einen Ausschnitt der erfindungsgemässen Vorrichtung in einer Variante zur Umformung des an einen Ausgang zu liefernden Leistungssollwertes in einen Teilausgangsspannungssollwert, welcher derart begrenzt wird, dass der Strom in der an der Teilspannung liegenden Last einen vorgegebenen Maximalwert nicht überschreitet.

### Ausführung der Erfindung

**[0017]** In Fig. 1 sind der Leistungskreis 1 eines Dreipunkt-Hochsetzstellers 2 mit hinsichtlich der Ausgangsspannung steuerbarer Versorgungsstufe 3 und die erfindungsgemässe Vorrichtung 4 zur Regelung der Teilausgangsspannungen, gebildet durch einen oberen Teilausgangsspannungsregelkreis 5 und einen unteren Teilausgangsspannungsregelkreis 6, die Bildung 7 des Eingangsspannungssollwertes und einen unterlagerten Eingangsstromregelkreis 8, gezeigt.

**[0018]** Die Versorgungsstufe 3 könnte etwa durch einen Gleichspannungs- oder einen Einphasen- oder Dreiphasen-Tiefsetzsteller gebildet werden, dessen Ausgangsinduktivität gleichzeitig als Eingangsinduktivität des Dreipunkt-Hochsetzstellers 2 herangezogen wird. Die konkrete Ausführung der Versorgungsstufe 3 ist für den Einsatz der erfindungsgemässen Vorrichtung 4 nicht von Bedeutung, es soll die Versorgungsstufe 3 einzig einen Steuereingang 9 für die Einstellung der zwischen positiver Ausgangsklemme 10 und negativer Ausgangsklemme 11 der Versorgungsstufe 3 auftretenden Eingangsspannung des Dreipunkt-Hochsetzstellers 2 bestehen und diese Eingangsspannung einen, durch die innere Struktur der Versorgungsstufe 3 oder deren Speisespannung definierten Maximalwert nicht überschreiten können.

**[0019]** Der Dreipunkt-Hochsetzsteller 2 wird nun in bekannter Weise im oberen Teil durch eine, von der positiven Eingangsspannungsklemme 10 abzweigende obere Eingangsinduktivität 12, deren zweites Ende 13 über eine obere Freilaufdiode 14 in Durchlassrichtung gegen die positive Klemme 15 eines die obere Teilspannung stützenden oberen Ausgangskondensators 16 gelegt wird und einen, ebenfalls von der Klemme 13 in Stromflussrichtung gegen den negativen Pol 17 des oberen Ausgangskondensators 16 geschalteten oberen Leistungstransistor 18 gebildet. Die obere Teilausgangsspannung ist durch eine, parallel zum oberen Ausgangskondensator 16 liegenden oberen Last, z.B. eine Lampe 19 belastet, wobei der obere Laststrom durch ein Strommessglied 20 erfasst wird. In analoger Form wird im unteren Teil des Dreipunkt-Hochsetzstellers 2 von der negativen Eingangsspannungsklemme 11 abzweigend eine untere Eingangsinduktivität 21, an deren zweites Ende 22, ausgehend von der negativen Klemme 23 eines die untere Teilausgangsspannung stützenden unteren Ausgangskondensators 24 eine untere Freilaufdiode 25 in Durchlassrichtung geschaltet ist. Weiters ist ausgehend von der positiven Klemme 26 des unteren Ausgangskondensators 24 ein unterer Leistungstransistor 27 in Stromflussrichtung gegen die Klemme 22 gelegt und die negative Klemme 17 der oberen Teilausgangsspannung über eine Verbindungsleitung 28 mit der positiven Klemme 26 der unteren Teilausgangsspannung verbunden. Die untere Teilausgangsspannung ist durch eine, parallel zum unteren Ausgangskondensator 24 liegende unteren Last, z.B. eine Lampe 29 belastet, wobei der untere Laststrom durch ein Strommessglied 30 erfasst wird.

**[0020]** Für den oberen Teilspannungsregelkreis 5 wird die Spannung des oberen Ausgangskondensators 16 gemessen und an den negativen Eingang 31 eines oberen Subtrahiergliedes 32 geführt, an dessen positivem Eingang der Sollwert 33 der oberen Teilausgangsspannung liegt und an dessen Ausgang 34 somit eine Regelabweichung der oberen Teilausgangsspannung auftritt und an den Eingang 35 eines oberen Teilausgangsspannungsreglers 36 geführt wird, der die Regelabweichung dynamisch bewertet und so an seinem Ausgang 37 einen Sollwert des Nachladestromes des oberen Ausgangskondensators 16 bildet, welcher an einen ersten Eingang 38 eines oberen Addiergliedes 39 geführt wird, an dessen zweitem Eingang 40 ein durch das Strommessglied 20 erfasste Istwert 41 des Stromes in der oberen Last 19 anliegt,

womit am Ausgang des oberen Addiergliedes 39 ein Sollwert 42 eines vom oberen Ausgangskreis, d.h. von der Parallelschaltung des oberen Ausgangskondensators 16 und der oberen Last 19 benötigten Stromes, d.h. der Sollwert 42 des oberen Gesamtausgangsstromes auftritt, welcher über die obere Ausgangsdiode 14 zugeführt werden muss. Der Sollwert 42 des oberen Gesamtausgangsstromes wird nun an einen ersten Eingang 43 eines ersten oberen Multipliziergliedes 44 gelegt und so mit dem am zweiten Eingang 45 des Multipliziergliedes 44 liegenden, vom oberen Ausgangskondensator 16 abgegriffenen Istwert 46 der oberen Teilausgangsspannung zu einem am Ausgang 47 des Multipliziergliedes 44 auftretenden Sollwert 48 der Nachladeleistung des oberen Ausgangskreises multipliziert.

**[0021]** Der untere Teilausgangsspannungsregelkreis 6 weist die gleiche Struktur wie der obere Teilausgangsspannungsregelkreis 5 auf und bildet letztlich den Sollwert 49 der Nachladeleistung des unteren Ausgangskreises, d.h. der Parallelschaltung der unteren Last 29 und des unteren Ausgangskondensators 24. Im Detail wird die Spannung des unteren Ausgangskondensators 24 gemessen und der Messwert 50 an den negativen Eingang 51 eines unteren Subtrahiergliedes 52 geführt, an dessen positivem Eingang der Sollwert 53 der unteren Teilausgangsspannung liegt und an dessen Ausgang 54 somit eine Regelabweichung der unteren Teilausgangsspannung auftritt und an den Eingang 55 eines unteren Teilausgangsspannungsreglers 56 geführt wird, der die Regelabweichung dynamisch bewertet und so an seinem Ausgang 57 einen Sollwert des Nachladestromes des unteren Ausgangskondensators 24 bildet, welcher an einen ersten Eingang 58 eines unteren Addiergliedes 59 geführt wird, an dessen zweitem Eingang 60 ein durch ein unteres Strommessglied 30 erfasste Istwert 61 des Stromes in der unteren Last 29 anliegt, womit, am Ausgang des unteren Addiergliedes 59 ein Sollwert 62 eines vom unteren Ausgangskreis benötigten Stromes, d.h. der Sollwert 62 des unteren Gesamtausgangsstromes auftritt, welcher über die untere Ausgangsdiode 25 zugeführt werden muss. Der Sollwert 62 des unteren Gesamtausgangsstromes wird nun an einen ersten Eingang 63 eines ersten unteren Multipliziergliedes 64 gelegt und so mit dem am zweiten Eingang 65 liegenden, vom unteren Ausgangskondensator 24 abgegriffenen Istwert 66 der unteren Teilausgangsspannung zu einem am Ausgang 67 des ersten unteren Multipliziergliedes 64 auftretenden Sollwert 49 der Nachladeleistung des unteren Ausgangskreises multipliziert.

**[0022]** Der Sollwert der von der Eingangsstufe 3 auszugebenden Gleichspannung wird durch von der Sollwertvorgabevorrichtung 7 welche die Sollwerte 48 und 49 der Nachladeleistungen des oberen und des unteren Ausgangskreises an die Eingänge 68 und 69 eines mittleren Summiergliedes 70 legt und so an dessen Ausgang 71 den Gesamtwert der vom oberen und unteren Ausgangskreis benötigten Leistung bildet, welcher an den Zählereingang 72 eines ersten mittleren Dividiergliedes 73 angeschlossen wird, an dessen Nennereingang 74 der, über eine an sich bekannte Diodenschaltung ermittelte grössere der beiden Nachladestromsollwerte 42 oder 62 des oberen oder des unteren Ausgangskreises liegt, womit am Ausgang 75 des ersten mittleren Dividiergliedes 73 der genannte Sollwert der, an sich zwischen der positiven und negativen Ausgangsklemme 10 und 11 der Versorgungsstufe 3 einzustellenden Eingangsspannung der Dreipunkt-Hochsetzstellerstufe 2 auftritt. Um eine Übersteuerung der Versorgungsstufe 3 zu vermeiden, wird allerdings eine Begrenzung 76 des Sollwertes 75 nach oben auf die von der Versorgungsstufe 3 abhängig von deren Schaltungstopologie und Netzspannung maximal zu bildende Spannung vorgenommen und der so erhaltene begrenzte Eingangsspannungssollwert 77 an den die Ausgangsspannung definierenden Steuereingang 9 der Versorgungsstufe 3 geführt.

**[0023]** Schliesslich wird der dem unterlagerten Stromregelkreis 8 zugeführte Sollwert 78 des, in den Eingangsinduktivitäten 12, 21 auftretenden Eingangsstromes des Dreipunkt-Hochsetzstellers 2 am Ausgang 79 eines zweiten mittleren Dividiergliedes 80 gebildet, an dessen Zählereingang 81 der Gesamtwert 71 der vom oberen und unteren Ausgangskreis benötigten Leistung liegt und an dessen Nennereingang 82 der begrenzte Eingangsspannungssollwert 77 gelegt wird. Ein Istwert 83 des Dreipunkt-Hochsetzsteller-Eingangsstromes wird durch ein in Serie zur oberen Eingangsinduktivität 12 (oder in Serie zur unteren Eingangsinduktivität 21) liegendes Strommessglied 84 erfasst und an den negativen Eingang 85 eines ersten mittleren Subtrahiergliedes 86 gelegt, an dessen positivem Eingang 87 der Sollwert 78 des Dreipunkt-Hochsetzsteller-Eingangsstromes liegt, womit am Ausgang 88 des ersten mittleren Subtrahiergliedes 86 eine Eingangsstrom-Regelabweichung 89 auftritt und an den Eingang 90 eines Eingangsstromreglers 91 gelegt wird, welcher die Eingangsstrom-Regelabweichung 89 dynamisch bewertet und an seinem Ausgang 92 den Sollwert der, in Summe über den Eingangsinduktivitäten 12, 21 für die Ausregelung der Stromregelabweichung 89 einzustellenden Spannung bildet, die an den negativen Eingang eines zweiten mittleren Subtrahiergliedes 93 geführt wird, an dessen positivem Eingang 94 der begrenzte Eingangsspannungssollwert 77 liegt. Am Ausgang 95 des zweiten mittleren Subtrahiergliedes 93 wird so ein Sollwert 96 der, im lokalen (auf eine Taktperiode des Dreipunkt-Hochsetzstellers 2 bezogenen) Mittel für die Eingangsstromregelung gesamt über den Leistungstransistoren 18, 27 einzustellenden Spannung ermittelt, welche an einen ersten Eingang 97 eines zweiten oberen Multipliziergliedes 98 und an einen ersten Eingang 99 eines zweiten unteren Multipliziergliedes 100 gelegt wird. Ein zweiter Eingang 101 des oberen Multipliziergliedes 98 wird durch das Ausgangssignal 102 eines oberen Dividiergliedes 103 und der zweite Eingang 104 des unteren Multipliziergliedes 100 durch das Ausgangssignal 105 eines unteren Dividiergliedes 106 gebildet, wobei an die Nennereingänge 107 und 108 der oberen und unteren Dividierglieder 103 und 106 der Gesamtwert 71 der vom oberen und unteren Ausgangskreis insgesamt benötigten Leistungen angelegt wird und der Zählereingang 109 des oberen Dividiergliedes 103 durch den Sollwert 48 der an den oberen Teilausgang zu liefernden Leistung und der Zählereingang 110 des unteren Dividiergliedes 106 durch den Sollwert 49 der an den unteren Ausgangskreis zu liefernden Leistung gebildet wird. Am Ausgang 111 des zweiten oberen Multipliziergliedes 98 wird so der Sollwert der im lokalen Mittel über dem oberen Leistungstransistor 18 einzustellenden Spannung erhalten, welche an den Eingang einer oberen Pulsweitenmodulatorstufe 112 gelegt wird, deren pulsbreitenmoduliertes oberes Ausgangssignal 113 an den Steueranschluss des oberen Leistungstransistors 18 gelegt wird, wobei der oberen

Pulsbreitenmodulatorstufe 112 über einen Eingang 114 auch der Istwert der Spannung 46 des oberen Teilausgangskondensators 16 zugeführt wird, sodass die Ansteuerung des oberen Leistungstransistors 18 so erfolgt, dass im lokalen Mittel tatsächlich die geforderte Spannung 111 gebildet wird. Analog wird am Ausgang 115 des zweiten unteren Multipliziergliedes 100 der Sollwert der im lokalen Mittel über dem unteren Leistungstransistor 27 einzustellenden Spannung erhalten, welche an den Eingang einer unteren Pulsbreitenmodulatorstufe 116 gelegt wird, deren pulsweitenmoduliertes unteres Ausgangssignal 117 an den Steueranschluss des unteren Leistungstransistors 27 gelegt wird, wobei der unteren Pulsbreitenmodulatorstufe 116 über einen Eingang 118 auch der Istwert 66 der Spannung des unteren Ausgangskondensators 24 zugeführt wird, sodass die Ansteuerung des unteren Leistungstransistors 27 so gewählt wird, dass im lokalen Mittel tatsächlich die geforderte Spannung 115 gebildet wird.

**[0024]** In Fig. 2 ist am Beispiel des oberen Teilsystems (eine sinngemäss gleiche Vorrichtung ist auch für das untere Teilsystem einsetzbar) die Umformung eines, durch eine übergeordnete Steuereinheit vorgegebenen Sollwertes 119 der an die Last 19 abzugebenden Leistung in einen Sollwert 33 der über dem oberen Ausgangskondensator 16 einzustellenden Spannung gezeigt, wobei weitere Begrenzungen 120 und 121 bei der Ermittlung des Ausgangsspannungssollwertes 33 so vorgenommen werden, dass einerseits eine an der Last maximal zulässige Spannung und andererseits ein maximaler, letztlich auch die Leistungshalbleiter belastender Laststrom, nicht überschritten wird.

**[0025]** Erfindungsgemäss wird hierfür der positive Sollwert 119 der an die Last 19 abzugebenden Leistung an den Zählereingang 122 eines weiteren Dividiergliedes 123 geführt, an dessen Nennereingang 124 der Messwert 41 des, durch das Strommessglied 20 erfassten oberen Laststromes liegt, womit am Ausgang 125 des weiteren Dividiergliedes 123 der Sollwert 126 der an die obere Last 19 zu legenden Spannung gebildet wird. Um eine maximal zulässige Lastspannung nicht zu überschreiten, wird der Spannungssollwert 126 durch ein erstes weiteres Begrenzungsglied 120 auf einen, durch die Spezifikationen der Last bestimmten Maximalwert begrenzt und der der am Ausgang 127 des ersten weiteren Begrenzungsgliedes 120 auftretende Spannungswert an den positiven Eingang 128 eines ersten weiteren Subtrahiergliedes 129 gelegt, an dessen negativem Eingang 130 der Ausgang 131 eines Laststrombegrenzers 132 geführt wird, wobei der Ausgang 133 des ersten weiteren Subtrahiergliedes 129 durch ein zweites weiteres Begrenzungsglied 121 auf positive Werte beschränkt wird, und am Ausgang des zweiten weiteren Begrenzungsgliedes 121 somit der Sollwert 33 der über dem oberen Ausgangskondensator 16 einzustellenden Spannung auftritt, für den sowohl die maximale Lastspannung als auch ein maximaler Laststrom nicht überschritten werden und berücksichtigt ist, dass der Dreipunkt-Hochsetzsteller 2 nur positive Ausgangsteilspannungen bilden kann. Der Laststrombegrenzer 132 wird nun durch ein zweites weiteres Subtrahierglied 134 und ein nichtlineares Kennlinienglied 135 gebildet, wobei der Messwert 41 des Laststromes an den positiven Eingang 136 und der Stromwert 137 auf den der Laststrom begrenzt werden soll, an den negativen Eingang 138 gelegt wird, und der Ausgang 139 des zweiten weiteren Subtrahiergliedes 134 an den Eingang 140 des nichtlinearen Kennliniengliedes 135 geführt ist, welches für negative Eingangssignale ein Ausgangssignal 131, das gleichzeitig auch den Ausgang des Laststrombegrenzers 132 darstellt, gleich Null und für kleine positive Eingangssignale ein hohes positives Ausgangssignal 131 bildet.

**[0026]** Da der Ausgang des Kennliniengliedes 135 über das erste weitere Subtrahierglied 129 vom begrenzten Ausgangsspannungssollwert 127 subtrahiert wird, wird bei Überwiegen des aktuellen Laststromes 41 über den zulässigen Maximalwert 137 des Kennliniengliedes 135 eine positive Eingangsspannung aufweisen, und somit ein positives Ausgangssignal 131 bilden bzw. eine Reduktion des begrenzten Ausgangsspannungssollwertes 127 derart auftritt vorgenommen, dass der Strommaximalwert im Wesentlichen eingehalten wird.

## Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Regelung von Teilausgangsspannungen eines Dreipunkt-Hochsetzstellers (2) mit einer oberen Eingangsinduktivität (12) und einer unteren Eingangsinduktivität (21), einem oberen Leistungstransistor (18) und einem unteren Leistungstransistor (27) sowie einem oberen Ausgangskondensator (16) und einem unteren Ausgangskondensator (24), welche die an einer oberen Last (19) respektive einer unteren Last (29) liegenden Teilausgangsspannungen dynamisch stützen, wobei Sollwerte (33, 53) der oberen und unteren Teilausgangsspannung durch eine übergeordnete Steuereinheit vorgegeben werden sowie einer Versorgungsstufe (3) zur Versorgung des Dreipunkt-Hochsetzstellers (2) durch Erzeugung einer Gleichspannung zwischen einer positiven (10) und einer negativen (11) Ausgangsklemme, wobei diese Gleichspannung die Eingangsspannung der Dreipunkt-Hochsetzstellerstufe (2) ist dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung ferner aufweist
  - einen oberen Teilausgangsspannungsregelkreis (5) zur Bildung eines Sollwertes (48) einer Nachladeleistung eines oberen Ausgangskreises anhand der Spannung des oberen Ausgangskondensators (16),
  - einen unteren Teilausgangsspannungsregelkreis (6) zur Bildung eines Sollwertes (49) einer Nachladeleistung eines unteren Ausgangskreises anhand der Spannung des unteren Ausgangskondensators (24),
  - eine Sollwertvorgabevorrichtung (7) zur Bildung eines begrenzten Eingangsspannungssollwertes (77) als Sollwert der von der Versorgungsstufe (3) zu erzeugenden Gleichspannung aus den beiden Sollwerten (48, 49) der Nachladeleistungen des oberen und unteren Ausgangskreises,
  - eine Vorrichtung zur Bildung einer Gesamtschaltersollspannung (96) anhand des begrenzten Eingangsspannungssollwertes (77), aufweisend einen unterlagerten Stromregelkreis (8)

- eine Vorrichtung zur Ansteuerung der beiden Leistungstransistoren (18, 27) anhand der Gesamtschaltersollspannung (96), und dass
- für den oberen Teilausgangsspannungsregelkreis (5) die Spannung des oberen Ausgangskondensators (16) gemessen und an den negativen Eingang (31) eines oberen Subtrahiergliedes (32) geführt wird, an dessen positivem Eingang der Sollwert (33) der oberen Teilausgangsspannung liegt, womit an dessen Ausgang (34) eine Regelabweichung der oberen Teilausgangsspannung auftritt und an den Eingang (35) eines oberen Teilausgangsspannungsreglers (36) geführt wird, der an seinem Ausgang (37) einen Sollwert des Nachladestromes des oberen Ausgangskondensators (16) bildet, welcher an einen ersten Eingang (38) eines oberen Addiergliedes (39) geführt wird, an dessen zweitem Eingang (40) ein durch ein oberes Strommessglied (20) erfasster Istwert (41) des Stromes in der oberen Last (19) anliegt, womit am Ausgang des oberen Addiergliedes (39) ein Sollwert (42) eines vom oberen Ausgangskreis benötigten Gesamtausgangsstromes auftritt, welcher nun an einen ersten Eingang (43) eines ersten oberen Multipliziergliedes (44) gelegt und so mit einem am zweiten Eingang (45) des ersten oberen Multipliziergliedes (44) liegenden, vom oberen Ausgangskondensator (16) abgegriffenen Istwert (46) der oberen Teilausgangsspannung zu einem am Ausgang (47) des ersten oberen Multipliziergliedes (44) auftretenden Sollwert (48) der Nachladeleistung des oberen Ausgangskreises multipliziert wird,
- wobei der untere Teilausgangsspannungsregelkreis (6) die gleiche Struktur wie der obere Teilausgangsspannungsregelkreis (5) aufweist, also die Spannung des unteren Ausgangskondensators (24) gemessen und an den negativen Eingang (51) eines unteren Subtrahiergliedes (52) geführt wird, an dessen positivem Eingang der Sollwert (53) der unteren Teilausgangsspannung liegt und an dessen Ausgang (54) somit eine Regelabweichung der unteren Teilausgangsspannung auftritt und an den Eingang (55) eines unteren Teilausgangsspannungsreglers (56) geführt wird, der an seinem Ausgang (57) einen Sollwert des Nachladestromes des unteren Ausgangskondensators (24) bildet, welcher an einen ersten Eingang (58) eines unteren Addiergliedes (59) geführt wird, an dessen zweitem Eingang (60) ein durch ein unteres Strommessglied (30) erfasster Istwert (61) des Stromes in der unteren Last (29) anliegt, womit am Ausgang des unteren Addiergliedes (59) ein Sollwert (62) eines vom unteren Ausgangskreis benötigten Gesamtausgangsstromes auftritt, welcher nun an einen ersten Eingang (63) eines ersten unteren Multipliziergliedes (64) gelegt und so mit einem am zweiten Eingang (65) des ersten unteren Multipliziergliedes (64) liegenden, vom unteren Ausgangskondensator (24) abgegriffenen Istwert (66) der unteren Teilausgangsspannung zu einem am Ausgang (67) des ersten unteren Multipliziergliedes (64) auftretenden Sollwert (49) der Nachladeleistung des unteren Ausgangskreises multipliziert,
- und der Sollwert der von der Versorgungsstufe (3) auszugebenden Gleichspannung von der Sollwertvorgabevorrichtung (7) gebildet wird, welche die Sollwerte (48, 49) der Nachladeleistungen des oberen und des unteren Ausgangskreises an die Eingänge (68, 69) eines mittleren Summiergliedes (70) legt und so an dessen Ausgang (71) den Gesamtwert der vom oberen und unteren Ausgangskreis insgesamt benötigten Leistung bildet, welcher an den Zählereingang (72) eines ersten mittleren Dividiiergliedes (73) angeschlossen wird, an dessen Nennereingang (74) der grössere der beiden Sollwerte der Gesamtausgangsströme (42, 62) liegt, womit am Ausgang (75) des ersten mittleren Dividiiergliedes (73) der genannte Sollwert der von der Versorgungsstufe (3) auszugebenden Gleichspannung auftritt,
- wobei für die Vermeidung einer Übersteuerung der Versorgungsstufe (3) eine Begrenzung (76) des Sollwertes (75) nach oben auf die von der Versorgungsstufe (3) abhängig von deren Schaltungstopologie und Netzspannung maximal zu bildende Spannung vorgenommen wird und der so begrenzte Eingangsspannungssollwert (77) an den, die Eingangsspannung des Dreipunkt-Hochsetzstellers (2) definierenden Steuereingang (9) der Versorgungsstufe (3) geführt wird
- und schliesslich in der Vorrichtung zur Bildung der Gesamtschaltersollspannung (96) der dem unterlagerten Stromregelkreis (8) zugeführte Sollwert (78) des, in den Eingangsinduktivitäten (12, 21) auftretenden Eingangsstromes des Dreipunkt-Hochsetzstellers (2) am Ausgang (79) eines zweiten mittleren Dividiiergliedes (80) gebildet wird, an dessen Zählereingang (81) der Gesamtwert (71) der vom oberen und unteren Ausgangskreis benötigten Leistung liegt und an dessen Nennereingang (82) der begrenzte Eingangsspannungssollwert (77) gelegt wird,
- und ein Istwert (83) des Dreipunkt-Hochsetzsteller-Eingangsstromes durch ein, in Serie zur oberen Eingangsinduktivität (12) oder in Serie zur unteren Eingangsinduktivität (21) liegendes Strommessglied (84) erfasst und an den negativen Eingang (85) eines ersten mittleren Subtrahiergliedes (86) gelegt wird, an dessen positivem Eingang (87) der Sollwert (78) des Eingangsstromes des Dreipunkt-Hochsetzstellers liegt, womit am Ausgang (88) des ersten mittleren Subtrahiergliedes (86) eine Eingangsstrom-Regelabweichung (89) auftritt und an den Eingang (90) eines Eingangsstromreglers (91) gelegt wird, welcher die Eingangsstrom-Regelabweichung (89) dynamisch bewertet und an seinem Ausgang (92) den Sollwert der, in Summe über den Eingangsinduktivitäten (12; 21) einzustellenden Spannung bildet, die an den negativen Eingang eines zweiten mittleren Subtrahiergliedes (93) geführt wird, an dessen positivem Eingang (94) der begrenzte Eingangsspannungssollwert (77) liegt, womit am Ausgang (95) des zweiten mittleren Subtrahiergliedes (93) ein Sollwert (96) der im lokalen, auf eine Taktperiode des Dreipunkt-Hochsetzstellers (2) bezogenen Mittel für die Eingangsstromregelung in Summe über den Leistungstransistoren (18, 27) einzustellenden Spannung als Gesamtschaltersollspannung (96) auftritt,
- welche in der Vorrichtung zur Ansteuerung der beiden Leistungstransistoren (18, 27) an einen ersten Eingang (97) eines zweiten oberen Multipliziergliedes (98) und an einen ersten Eingang (99) eines zweiten unteren Multipliziergliedes (100) gelegt wird, wobei ein zweiter Eingang (101) des oberen Multipliziergliedes (98) durch das Ausgangssignal

(102) eines oberen Dividiergliedes (103) und der zweite Eingang (104) des unteren Multipliziergliedes (100) durch das Ausgangssignal (105) eines unteren Dividiergliedes (106) gebildet wird,  
– und an die Nennereingänge (107, 108) des oberen und des unteren Dividiergliedes (103, 106) der Gesamtwert (71) der vom oberen und unteren Ausgangskreis insgesamt benötigten Leistung angelegt wird  
– und der Zählereingang (109) des oberen Dividiergliedes (103) durch den Sollwert (48) der an den oberen Ausgangskreis zu liefernden Leistung und der Zählereingang (110) des unteren Dividiergliedes (106) durch den Sollwert (49) der an den unteren Ausgangskreis zu liefernden Leistung gebildet wird  
– und so am Ausgang (111) des zweiten oberen Multipliziergliedes (98) der Sollwert der im lokalen Mittel über dem oberen Leistungstransistor (18) einzustellenden Spannung erhalten wird, welche an den Eingang einer oberen Pulsbreitenmodulatorstufe (112) gelegt wird, deren oberes Ausgangssignal (113) an den Steueranschluss des oberen Leistungstransistors (18) geführt ist, wobei der oberen Pulsbreitenmodulatorstufe (112) über einen weiteren Eingang (114) auch der Istwert (46) der oberen Teilausgangsspannung zugeführt wird, sodass die Ansteuerung des oberen Leistungstransistors (18) tatsächlich in der geforderten Spannung (111) resultiert,  
– wobei analog am Ausgang (115) des zweiten unteren Multipliziergliedes (100) der Sollwert der im lokalen Mittel über dem unteren Leistungstransistor (27) einzustellenden Spannung erhalten wird, welche an den Eingang einer unteren Pulsbreitenmodulatorstufe (116) gelegt wird, deren pulsbreitenmoduliertes unteres Ausgangssignal (117) an den Steueranschluss (118) des unteren Leistungstransistors (27) geführt ist, wobei der unteren Pulsbreitenmodulatorstufe (116) über einen weiteren Eingang (117) auch der Istwert (66) der unteren Teilausgangsspannung zugeführt wird, sodass die Ansteuerung des unteren Leistungstransistors (27) tatsächlich in der geforderten Spannung (115) resultiert.

