



(19)

REPUBLIK  
ÖSTERREICH  
Patentamt

(10) Nummer: **AT 411 505 B**

(12)

## PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: A 1982/2000  
(22) Anmeldetag: 24.11.2000  
(42) Beginn der Patentdauer: 15.06.2003  
(45) Ausgabetag: 26.01.2004

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>: **H02M 1/08**  
G05F 1/66

(56) Entgegenhaltungen:  
EP 0488088A1

(73) Patentinhaber:  
KOLAR JOHANN W. DIPL.ING. DR.TECHN.  
A-1050 WIEN (AT).

(72) Erfinder:  
KOLAR JOHANN W. DIPL.ING. DR.TECHN.  
WIEN (AT).  
MINIBÖCK JOHANN DIPL.ING.  
WALKENSTEIN, NIEDERÖSTERREICH (AT).

(54) VERFAHREN ZUR MAXIMIERUNG DES WIRKUNGSGRADES ZWEISTUFIGER  
STROMVERSORGUNGSSYSTEME

**AT 411 505 B**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erhöhung des Wirkungsgrades eines zweistufigen Stromversorgungssystems mit Spannungszwischenkreis. Hierbei wird die Zwischenkreisspannung mit fallender Netzspannung verringert wobei die Absenkung abhängig von der zu bildenden Ausgangsspannung nach unten derart begrenzt wird, daß das Tastverhältnis der Ausgangsstufe sicher unter einem zulässigen Maximalwert gehalten wird. Entsprechend der relativen Änderung der Zwischenkreisspannung gegenüber dem Nennwert werden auch die Schaltfrequenzen der Eingangsstufe und der Ausgangsstufe in gleicher Weise relativ gegenüber dem Nennwert geändert und so bei geringer Netzspannung die Schaltverluste bzw. der Wirkungsgrad des Stromversorgungssystems erhöht. Schließlich wird der Sollwert der Temperatur des die Ausgangsdioden tragenden Kühlkörpers mit abnehmendem Mittelwert des Ausgangsstromes derart erhöht daß unabhängig vom jeweiligen Ausgangsstromniveau eine konstante Sperrschichttemperatur der Dioden nahe der zulässigen Grenztemperatur besteht und somit eine relativ geringe Diodendurchlaßspannung bzw. geringe Diodenleitverluste resultieren. Alternativ kann die Wahl der Betriebsparameter nicht

nach vorgegebenen Kennlinien sondern auch über eine On-line-Minimierung der Eingangsleistung bei durch die Last definierter Ausgangsleistung erfolgen.

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur selbsttätigen Maximierung des Wirkungsgrades eines zweistufigen Stromversorgungssystems wie es im Oberbegriff des Patentanspruches 1 beschrieben ist.

5 Nach dem derzeitigen Stand der Technik werden Stromversorgungen z.B. im Bereich der Telekommunikation zweistufig, d.h. mit einer ein- oder dreiphasigen Pulsgleichrichter-Eingangsstufe mit Hochsetzstellercharakteristik (durch Vorschaltinduktivitäten eingepprägter Eingangsstrom) und einer hochfrequent potentialgetrennten Gleichspannungs-Gleichspannungswandler-(DC/DC-Konverter)-Ausgangsstufe mit Tiefsetzstellercharakteristik (durch eine Ausgangsinduktivität eingepprägter Ausgangsstrom) realisiert. Für derartige Systeme besteht die Forderung nach Einsetzbarkeit in  
10 einem weiten Eingangsspannungsbereich, typ. zwischen 90V und 270V Phasenspannung. Weiters wird typ. eine Verstellbarkeit der Ausgangsspannung im Bereich 46 bis 56V gefordert um bei Batteriepufferung des Ausgangs abhängig vom Ladezustand der Batterie auftretende Spannungsschwankungen tolerieren zu können.

Entsprechend der Forderung nach weitem Eingangsspannungsbereich erfolgt die Auslegung der Systeme unter Berücksichtigung der Hochsetzstellerfunktion der Eingangsstufe derart, daß die Ausgangsspannung der Gleichrichterstufe, d.h. die Zwischenkreisspannung, hinreichend weit über dem Wert der Amplitude der maximalen Netzspannung liegt. Dieser Spannungswert wird innerhalb des gesamten Eingangs- und Ausgangsspannungsbereichs beibehalten, was insbesondere bei  
15 kleiner Eingangsspannung zu einer hohen relativen Einschaltdauer der Leistungstransistoren des Pulsleichrichters und damit zu relativ hohen Leitverlusten führt. Weiters resultieren dann aufgrund des hohen Eingangstromes relativ hohe Schaltverluste und insgesamt eine signifikante Verringerung des Wirkungsgrades. Bei kleiner Ausgangsspannung führt die konstante Zwischenkreisspannung zu einer relativ hohen schallfrequenten Schwankung des Ausgangstromes der in einem höheren Induktivitätswert der Ausgangsinduktivität und der Dimensionierung der Ausgangsfeinfilterung Berücksichtigung finden muß. Weiters treten auch hier zufolge des bei kleiner Ausgangs-  
20 spannung und konstanter Ausgangsleistung höheren Ausgangstromes höhere, wirkungsgradvermindernden Schaltverluste der zwischenkreisseitigen Leistungshalbleiter des DC/DC Konverters auf.

Seitens der mechanischen Konstruktion sind für die Leistungshalbleiter der Pulsleichrichter-  
30 stufe, der Primär- und der Sekundärseite der DC/DC-Konverterstufe meist getrennte Kühlkörper vorgesehen. Die durch diese Kühlkörper geführte Luftmenge wird so gesteuert, daß eine fest vorgegebene Kühlblechtemperatur nicht überschritten wird. Für geringe Verluste liegt damit nur eine relativ geringe Lüfterdrehzahl und so vorteilhaft eine nur geringe Lärmentwicklung durch die Stromversorgung vor. Allerdings tritt damit bei Teillast eine nur geringe Sperrschichttemperatur der  
35 Ausgangsdioden des DC/DC-Konverters und damit verglichen mit Vollast bzw. maximaler Sperrschichttemperatur eine relativ hohe Diodendurchlaßspannung auf, die den Teillastwirkungsgrad verschlechtert.

Aus der EP 0 488 088 A1 ist eine Schaltung zur Erkennung und Verhinderung der thermischen Überlastung eines Bauelementes bekannt, wobei die an einem pn-Übergang abgegriffene Spannung als Temperaturmesssignal dient. Allerdings wird kein Verfahren zum Einsatz der Temperatur-  
40 information zur Minimierung der Durchlaßverluste des Bauelementes beschrieben.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Verfahren zur Erhöhung des Wirkungsgrades für den gesamten Eingangsspannungs- und Ausgangsleistungsbereich einer zweistufigen Stromversorgung zu schaffen.

45 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 die Zwischenkreisspannung und die Schaltfrequenzen der Ein- und Ausgangsstufe nicht auf einem konstanten Wert zu halten sondern abhängig von der jeweiligen  
50 Eingangsspannungsamplitude und dem jeweiligen Ausgangsspannungswert zu verändern. Weiters wird der Sollwert der Temperatur des die Ausgangsdioden tragenden Kühlkörpers ausgangsstromabhängig geändert. Die Veränderung der Zwischenkreisspannung erfolgt erfindungsgemäß so, daß bei einphasig gespeisten Systemen die Zwischenkreisspannung mit fallender Amplitude der Netzspannung und bei dreiphasiger Speisung mit fallendem Maximalwert der Amplituden der drei verketteten Netzspannungen soweit verringert wird, daß noch eine für rasche  
55

Stromänderungen erforderliche Differenz zwischen Netzspannungsamplitude bzw. Maximalwert der Amplituden der verketteten Netzspannung und der Zwischenkreisspannung bestehen bleibt. Dabei wird die Zwischenkreisspannungsverringering abhängig von der zu bildenden Ausgangsspannung nach unten derart begrenzt, daß der jeweilige Ausgangsspannungswert mit einem Tastverhältnis gebildet wird, das einen für die Ausregelung von Störungen (z.B. Belastungsänderungen) hinreichenden Abstand vom maximal zulässigen Tastverhältniswert aufweist. Entsprechend der resultierenden relativen Absenkung oder Erhöhung der Zwischenkreisspannung gegenüber dem Nennwert werden weiters auch die Schaltfrequenzen der Eingangsstufe und der Ausgangsstufe in gleicher Weise relativ gegenüber dem Nennwert geändert, womit die schaltfrequenten Schwankungen des Netzstromes und des Ausgangsstromes auf einem näherungsweise konstanten Wert gehalten und die Schaltverluste beider Stufen verringert bzw. der Wirkungsgrad der Energieumformung erhöht wird. Schließlich wird der Sollwert der Ausgangsdiodenkühlkörpertemperatur mit abnehmendem Mittelwert des Ausgangsstromes derart erhöht, daß unabhängig vom jeweiligen Ausgangsstromniveau eine konstante Sperrschichttemperatur der Dioden nahe der zulässigen Grenztemperatur resultiert und so eine relativ geringe Diodendurchlaßspannung bzw. geringe Diodenleitverluste erreicht werden.

Wie eine nähere Analyse anhand von Verlustmodellen der Stromversorgung zeigt, resultiert bei Betrieb einer zweistufigen Stromversorgung nach dem erfindungsgemäßen Verfahren eine Erhöhung des Wirkungsgrades der Energieumformung von typ. 0.5% und somit im durchlaufenden Betrieb eine signifikante Verringerung der Energiekosten, die, da das Verfahren nur auf für die Regelung der Stromversorgung ohnein zu erfassende Größen Bezug nimmt, im wesentlichen ohne Erhöhung des Realisierungsaufwandes der Steuerung erreicht wird.

Eine weitere Ausführungsvariante beschreibt der Kennzeichenteil des **Patentanspruches 2**. Hierbei erfolgt die Wahl der Betriebsparameter nicht nach vorgegebenen Kennlinien, sondern die auf maximalen Wirkungsgrad führenden Betriebsparameter Zwischenkreisspannung, Schaltfrequenz der Eingangsstufe, Schaltfrequenz der Ausgangsstufe und Ausgangsdiodenkühlkörpertemperatur werden durch eine On-line-Optimierung ermittelt. Es wird so vorteilhaft z.B. auch der Einfluß der Innentemperatur der Stromversorgung, die Ummagnetisierungs- und Kupferverluste in Vorschaltinduktivitäten und Hochfrequenztransformatoren auf den Wirkungsgrad berücksichtigt. Die On-line-Optimierung erfolgt nach einem an sich bekannten Verfahren derart, daß für einen Betriebspunkt der Stromversorgung, d.h. für gegebene Ausgangsspannung und gegebenen Ausgangsstrom die aus dem Netz aufgenommene Leistung vor und nach einer geringfügigen Änderung eines oder mehrerer Betriebsparameter verglichen und der Änderungsschritt dann als im Sinne der Optimierung erfolgreich angesehen wird, wenn er in einer Verringerung der Eingangsleistung bzw. Erhöhung des Wirkungsgrades resultiert. Der zulässigen Variationsbereich für die Betriebsparameter wird dabei durch, über den Nennwerten liegende Maximalwerte für die Zwischenkreisspannung und die Schaltfrequenzen und die entsprechend Patentanspruch 1 festgelegte Ausgangsdiodenkühlkörpertemperatur nach oben und durch die für das Verfahren nach Patentanspruch 1 resultierenden Werte für Zwischenkreisspannung, Schaltfrequenz der Eingangsstufe und Schaltfrequenz der Ausgangsstufe nach unten beschränkt.

#### PATENTANSPRÜCHE:

1. Verfahren zur Maximierung des Wirkungsgrades einer zweistufigen, an einer Eingangsspannung mit weitem Toleranzbereich liegenden und mit variabler Ausgangsspannung betriebenen Stromversorgung gebildet aus einer Pulsgleichrichtereingangsstufe mit Hochsetzstellercharakteristik, einem Spannungszwischenkreis und einer Ausgangsstufe mit Tiefsetzstellercharakteristik **dadurch gekennzeichnet**, daß die Zwischenkreisspannung und die Schaltfrequenzen der Ein- und Ausgangsstufe abhängig von der jeweiligen Eingangsspannungsamplitude und dem jeweiligen Ausgangsspannungswert geändert werden und weiters der Sollwert der Temperatur des die Ausgangsdioden tragenden Kühlkörpers ausgangsstromabhängig geändert wird, wobei die Veränderung der Zwischenkreisspannung derart erfolgt, daß sie bei einphasig gespeisten Systemen mit fallender Amplitude der Netzspannung und bei dreiphasiger Speisung mit fallenden Amplituden der

5 drei verketteten Netzspannungen verringert wird, wobei die Verringerung derart erfolgt, daß stets eine für eine rasche Eingangsstromänderung erforderliche Differenz von Zwischenkreisspannung und Netzspannungsamplitude bzw. Amplitude der verketteten Netzspannungen bestehen bleibt und weiters die Zwischenkreisspannungsverringerng abhängig von der zu bildenden Ausgangsspannung derart nach unten begrenzt wird, daß der jeweilige Ausgangsspannungswert mit einem Tastverhältnis gebildet wird, das einen für die Ausregelung von Störungen hinreichenden Abstand vom maximal zulässigen Tastverhältniswert der Ausgangsstufe aufweist und weiters entsprechend der resultierenden Absenkung oder Erhöhung der Zwischenkreisspannung gegenüber dem Nennwert auch die Schaltfrequenzen der Eingangsstufe und der Ausgangsstufe proportional gegenüber dem Nennwert abgesenkt oder erhöht werden, womit die schaltfrequente Schwankung des Netzstromes und des Ausgangsstromes auf einem näherungsweise konstanten Wert gehalten wird und schließlich der Sollwert der Temperatur des die Ausgangsdioden tragenden Kühlkörpers mit abnehmendem Mittelwert des Ausgangsstromes derart erhöht wird, daß unabhängig vom jeweiligen Ausgangsstromniveau eine möglichst konstante Sperrschichttemperatur der Dioden nahe der zulässigen Grenztemperatur resultiert.

- 10
- 15
- 20
- 25
- 30
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55
2. Verfahren zur Maximierung des Wirkungsgrades einer zweistufigen, an einer Eingangsspannung mit weitem Toleranzbereich liegenden und mit variabler Ausgangsspannung betriebenen Stromversorgung gebildet aus einer Pulsleichrichtereingangsstufe mit Hochsetzstellercharakteristik, einem Spannungswischenkreis und einer Ausgangsstufe mit Tiefsetzstellercharakteristik **dadurch gekennzeichnet**, daß die Betriebsparameter Zwischenkreisspannung, Schaltfrequenz der Eingangsstufe, Schaltfrequenz der Ausgangsstufe und Temperatur des Ausgangsdiodenkühlkörpers durch eine an sich bekannte On-line-Optimierungsstrategie ermittelt werden, welche einen oder mehrere Betriebsparameter schrittweise geringfügig ändert und für gegebene Ausgangsleistung der Stromversorgung die aus dem Netz aufgenommene Leistung nach einer geringfügigen Änderung eines Betriebsparameters mit der Leistungsaufnahme vor Änderung des Betriebsparameters vergleicht und den Betriebsparameter auf dem geänderten Wert beläßt wenn eine Verringerung der Eingangsleistung resultiert, und die Änderung des Betriebsparameters zurücknimmt, wenn sich die Eingangsleistung erhöht, wobei die zulässige Variation der Betriebsparameter derart beschränkt wird, daß eine thermische Überlastung oder ein Überschreiten der zulässigen Sperrspannungsbeanspruchung von Leistungshalbleitern der Ein- oder Ausgangsstufe sicher vermieden wird und noch eine, für rasche Eingangsstromänderungen hinreichende Differenz zwischen der Amplitude der verketteten Netzspannungen und der Zwischenkreisspannung bestehen bleibt und weiters sichergestellt ist, daß der jeweilige Ausgangsspannungswert durch die Ausgangsstufe mit einem Tastverhältnis gebildet werden kann, das einen, für die Ausregelung von Störungen hinreichenden Abstand vom maximal zulässigen Tastverhältnis der Ausgangsstufe aufweist.

KEINE ZEICHNUNG