

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) Veröffentlichungsnummer:

0 366 940
A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 89118102.6

(51) Int. Cl.⁵: G05F 1/59

(22) Anmeldetag: 29.09.89

(30) Priorität: 31.10.88 DE 3837071

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
09.05.90 Patentblatt 90/19(64) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH DE ES FR GB GR IT LI LU NL SE(71) Anmelder: Nixdorf Computer
Aktiengesellschaft
Fürstenallee 7
D-4790 Paderborn(DE)(72) Erfinder: Janssen, Rainer, Dr.
Schulzenhof 119
D-4790 Paderborn(DE)
Erfinder: Kleffner, Werner
Wewersche Strasse 21
D-4799 Borcheln(DE)
Erfinder: Meschede, Hubert
Thüringer Weg 21
D-4799 Borcheln(DE)(74) Vertreter: Schaumburg, Thoenes &
Englaender
Mauerkircherstrasse 31 Postfach 86 07 48
D-8000 München 86(DE)

(54) Stromversorgungssystem mit Leistungsaufteilung.

(57) Es wird ein Stromversorgungssystem mit mindestens zwei Netzteilen (10, 12, 14) angegeben, deren Ausgänge (16, 18, 20) parallel geschaltet sind und die gemeinsam eine Last (22) speisen. Die Ausgangsleistung des jeweiligen Netzteils (10, 12, 14) wird abhängig von seiner Temperatur geregelt. In einer besonderen Ausführungsform wird die Ausgangsleistung des jeweiligen Netzteils (10, 12, 14) abhängig vom Unterschied seiner Temperatur und der mittleren Temperatur aller Netzteile geregelt. Dadurch wird erreicht, daß die mittlere Zeit zwischen zwei Ausfällen des Stromversorgungssystems unter Einsatz einfacher Mittel erhöht wird.

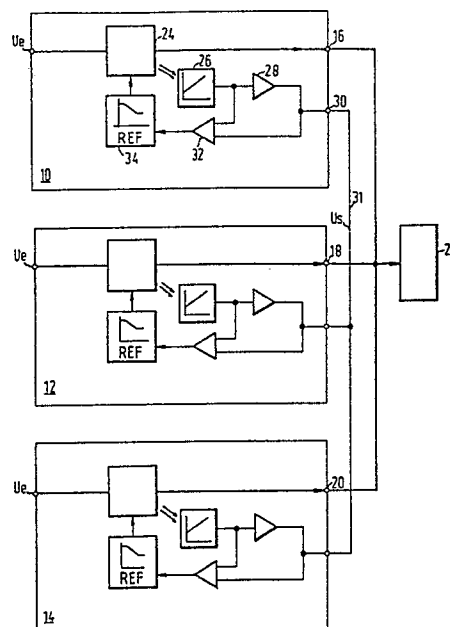


Fig.1

EP 0 366 940 A2

Stromversorgungssystem mit Leistungsaufteilung

Die Erfindung betrifft ein Stromversorgungssystem mit mindestens zwei Netzteilen, deren Ausgänge parallel geschaltet sind und die gemeinsam eine Last speisen, wobei die Ausgangsleistung des jeweiligen Netzteils abhängig von der insgesamt an die Last abzugebenden Leistung sowie von einem jeweils vorgegebenen Anteil an der Gesamtleistung eingestellt wird.

Zur Versorgung hochwertiger elektronischer Geräte wie beispielsweise Rechenanlagen oder Telekommunikationsanlagen mit elektrischer Energie werden häufig zwei oder mehrere Netzteile parallel geschaltet, um das Gerät oder allgemein die Last bei Ausfall eines der Netzteile alternativ aus den anderen zu speisen. Dadurch ist gewährleistet, daß die Spannungs- oder Stromversorgung empfindlicher Geräte auch in kritischen Betriebsphasen ohne Unterbrechung erfolgt. Unter Netzteilen sind hierbei sowohl Strom- als auch Spannungsversorgungsmodule zu verstehen, deren Primärenergie entweder einem Wechselstromnetz einer Gleichspannungs- oder Gleichstromquelle entnommen wird.

Bei der Stromversorgung aus mehreren parallel geschalteten Netzteilen können grundsätzlich zwei Betriebsmöglichkeiten unterschieden werden. Eine erste besteht darin, im Normalbetrieb nur ein Netzteil zu aktivieren, das die volle Leistung an die Last liefert, während die anderen Netzteile als Leistungsreserve vorgesehen sind und passiv bleiben und erst im Fehlerfall zugeschaltet werden. In diesem Falle wird das aktive Netzteil hoch beansprucht, was das Risiko eines Ausfalls erhöht. Bei der zweiten Betriebsmöglichkeit wird die insgesamt an die Last abzugebende Leistung gleichzeitig auf mehrere Netzteile verteilt, wobei die Leistungsaufteilung nach einem vorgegebenen Schlüssel erfolgt. Im allgemeinen wird dabei eine gleichmäßige Belastung der Netzteile angestrebt. Wenn durch einen Defekt eines dieser Netzteile ausfällt, wird die Leistungsaufteilung entsprechend geändert. Diese Betriebsmöglichkeit hat den Vorteil, daß die Netzteile im Normalbetrieb nur mit einem Bruchteil ihrer Nennleistung belastet werden, wodurch lastabhängige Faktoren, die die Funktionstauglichkeit eines Netzteils beeinträchtigen können, einen geringen Einfluß auf die Lebensdauer der Netzteile haben.

Obwohl ein Stromversorgungssystem aus Sicherheitsgründen mit mehreren Netzteilen ausgestattet ist, ist seine Zuverlässigkeit nur dann voll gegeben, wenn alle Baugruppen einwandfrei arbeiten. Dies bedeutet, daß bereits bei Ausfall eines der Netzteile die Funktionstüchtigkeit des Stromversorgungssystems eingeschränkt ist und das de-

fekte Netzteil repariert oder gegen ein neues ausgetauscht werden muß. Die mittlere Zeit zwischen zwei Ausfällen eines Stromversorgungssystems ist nach statistischen Überlegungen direkt abhängig von der Ausfallwahrscheinlichkeit seiner einzelnen Baugruppen, d.h. von der Ausfallwahrscheinlichkeit und Zuverlässigkeit der Netzteile.

Aus der Zuverlässigkeitstechnik ist bekannt, daß die mittlere Zeit zwischen zwei Ausfällen oder mittlere Brauchbarkeitszeit eines Netzteils mit zunehmender thermischer Belastung überproportional verkürzt wird. Die sich daraus ergebende maximale mittlere Brauchbarkeitszeit eines Stromversorgungssystems wird wegen der Abhängigkeit von der Ausfallwahrscheinlichkeit der einzelnen Netzteile demnach dann erreicht, wenn die Belastung der einzelnen Netzteile im Mittel minimal ist. Aus diesen Gründen hat auch die oben beschriebene zweite Betriebsmöglichkeit des Stromversorgungssystems eine größere mittlere Brauchbarkeitszeit als die erstgenannte.

Bei bekannten Stromversorgungssystemen wird aus diesen Überlegungen heraus die Gesamtbelastung auf mehrere Netzteile durch Stromaufteilung verteilt. Hierzu wird der an die Last abgegebene Gesamtstrom, der zeitlich starken Schwankungen unterliegen kann, bestimmt und auf die Netzteile nach einem vorgegebenen Verhältnis aufgeteilt. Normalerweise erfolgt eine Aufteilung in gleiche Teile. Erzeugen die Netzteile nur eine Ausgangsspannung, so wird durch das Aufteilen des Stromes auch die Gesamtleistung im gleichen Verhältnis aufgeteilt. Erzeugen die Netzteile jedoch jeweils mehrere Ausgangsspannungen, so ist für jede Spannung eine separate Leistungsaufteilung der Netzteile durch Stromaufteilung vorzunehmen, wodurch der Aufwand an Steuerung sehr groß wird.

Durch die Aufteilung des Gesamtstromes auf die parallel geschalteten Netzteile ist aber noch nicht sichergestellt, daß das Stromversorgungssystem eine geringe Ausfallwahrscheinlichkeit hat, denn die für die thermische Belastung wesentlichen Einflußfaktoren, wie die in Wärme umgesetzte Verlustleistung im Netzteil, die Schwankungen der Primärspannung sowie konstruktive Einbauverhältnisse des Netzteils bleiben unberücksichtigt. Bei ungünstigen Betriebsbedingungen der Netzteile, beispielsweise hervorgerufen durch ungenügende Kühlung, hohe Umgebungstemperaturen oder unterschiedliche Wärmeübergangswiderstände zwischen Wärmequellen und Wärmesenken, kann es vorkommen, daß die Netzteile auch bei gleichmäßiger Leistungsaufteilung thermisch unterschiedlich stark beansprucht werden und demzufolge ein erhöhtes Ausfallrisiko haben. Dies kann insgesamt zu

einer Verringerung der mittleren Brauchbarkeitszeit des Stromversorgungssystems führen.

Ein Stromversorgungssystem mit mehreren Netzteilen, deren Ausgänge parallel geschaltet sind und die eine gemeinsame Last speisen, ist aus der Zeitschrift Electronic Design, 14. November 1985, S. 125 bis 132, bekannt. Die Ausgangsleistung des jeweiligen Netzteils hängt bei diesem Stromversorgungssystem zum einen ab von der insgesamt an die Last abzugebenden Leistung, die durch eine Referenzspannung vorgegeben wird, und zum anderen von Signalen von Stromsensoren, mit denen der vom jeweiligen Netzteil zu liefernde Anteil an der Gesamtleistung bestimmt wird. Dieses Stromversorgungssystem zeigt im Betrieb die zuvor genannten Nachteile.

Ferner ist es aus der Zeitschrift industrie-elektrik + elektronik, 1988, Nr 3, S. 54 bis 55 bekannt, die Ausgangsleistung mehrerer Schaltregler mit unterschiedlichen Ausgangsspannungen zu begrenzen, wenn die Gerätetemperatur einen vorgegebenen Grenzwert übersteigt. Das Gerät wird dabei an seiner thermischen Belastungsgrenze betrieben und vor thermischer Überlastung geschützt. Die mittlere Brauchbarkeitszeit des Stromversorgungssystems wird dadurch nicht erhöht.

Es ist Aufgabe der Erfindung, die mittlere Zeit zwischen zwei Ausfällen von Stromversorgungssystemen unter Einsatz einfacher Mittel zu erhöhen.

Diese Aufgabe wird für ein Stromversorgungssystem eingangs genannter Art dadurch gelöst, daß die Ausgangsleistung des jeweiligen Netzteils zusätzlich abhängig von seiner Temperatur geregelt wird.

Die Erfindung nutzt die Erkenntnis, daß die Ausfallwahrscheinlichkeit von Bauelementen mit steigender Temperatur exponentiell zunimmt. Besonders kritische Bauelemente in einem Stromversorgungssystem und in den zugehörigen Netzteilen sind z.B. Leistungshalbleiter und Ladekondensatoren. Wird deren Temperaturbelastung minimiert, so wird auch deren Lebensdauer entsprechend erhöht, was sich auf die mittlere Brauchbarkeitszeit der Netzteile und damit auf die des gesamten Stromversorgungssystems günstig auswirkt. Durch die Einbeziehung der Temperatur als Kriterium bei der Leistungsaufteilung auf die einzelnen Netzteile wird eine unerwünschte einseitige Temperaturbelastung vermieden. Dabei wird berücksichtigt, daß die in einem Netzteil entstehende Temperatur weniger von der abgegebenen Leistung, sondern vielmehr von der aktuellen Verlustleistung des Netzteils, die infolge Fertigungsstreuung auch unter Geräten derselben Art schwanken kann, sowie von den momentan herrschenden Umgebungsbedingungen abhängt.

Die Regelung der Leistungsverteilung nach der Temperatur kann kontinuierlich oder auch intermit-

tierend vorgenommen werden. In letzterem Fall wird die Abweichung der Isttemperatur des Netzteils von einer Solltemperatur in vorgegebenen Zeitabständen ermittelt, und die Ausgangsleistung des jeweiligen Netzteils wird entsprechend nachgeregelt. Dies ist dann vorteilhaft, wenn digitale Regelungsprinzipien eingesetzt werden.

Werden im Stromversorgungssystem Netzteile derselben Art parallel geschaltet, so ist es naheliegend, diese annähernd auf gleiche Temperaturwerte zu regeln, da auch die Abhängigkeit der Ausfallwahrscheinlichkeit der einzelnen Bauelemente von der Temperatur in den betreffenden Netzteilen als gleichartig vorausgesetzt werden kann. Es ist aber auch möglich, Netzteile unterschiedlicher Art, die sich hinsichtlich ihrer Nennleistung oder ihrer Wärmebelastbarkeit unterscheiden, zu verwenden. In diesem Fall kann die Solltemperatur der Netzteile unter Berücksichtigung des unterschiedlichen Ausfallrisikos der Bauelemente von der Temperatur bei verschiedenen Netzteilen voneinander abweichen.

Ein besonderer Vorteil der Erfindung liegt im geringen schaltungstechnischen Aufwand zur Realisierung der Leistungsverteilung abhängig von der Temperatur. Selbst bei Verwendung von Netzteilen mit mehreren Ausgangsspannungen oder Ausgangsströmen muß dieser nicht erhöht werden, da es nicht wie beim Stand der Technik erforderlich ist, die am jeweiligen Ausgang abgegebene Leistung zu bestimmen, weil mit der Temperatur als Regelgröße ein Parameter verwendet wird, bei dem die im Netzteil entstehende Verlustleistung über mehrere Leistungsregler gleichzeitig integral bewertet wird. Eine getrennte Bestimmung von Leistungsanteilen bezogen auf jeweils einen Ausgang eines Netzteils kann somit entfallen.

Eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, daß die Ausgangsleistung des jeweiligen Netzteils abhängig vom Unterschied seiner Temperatur und der mittleren Temperatur aller Netzteile geregelt wird. Bei dieser Ausführungsform wird als Führungsgröße für die Regelung die mittlere Temperatur aller Netzteile verwendet, d.h. die Leistungsabgabe von Netzteilen wird so gesteuert, daß die Netzteile mit niedrigerer Temperatur als die mittlere Temperatur eine höhere Leistung und umgekehrt die Netzteile mit höherer Temperatur einen entsprechend kleineren Betrag an Leistung an ihrem Ausgang abgeben. Durch dieses Regelungsprinzip streben die Netzteile einem mittleren Temperaturwert zu, der für eine an die Last über einen bestimmten Zeitraum abgegebene Gesamtleistung ein Minimalwert ist. Bei Änderung des Zeitmittelwertes der Gesamtleistung, z.B. infolge Laständerung, oder der Umgebungsbedingungen, z.B. infolge veränderter Umgebungstemperatur, stellt sich automatisch eine neue mittlere Temperatur ein. Durch diese Art der Regelung

wird insgesamt bewirkt, daß nach Ausgleich der Regelabweichungen alle Netzteile die gleiche mittlere Temperatur haben. Die Bauelemente der Netzteile haben somit annähernd die gleiche Ausfallwahrscheinlichkeit, wodurch die mittlere Brauchbarkeitszeit des Stromversorgungssystems weiter erhöht wird.

In einer zweckmäßigen Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß im jeweiligen Netzteil die Temperatur mindestens eines Kühlkörpers erfaßt wird. Die in einem Netzteil entstehende Verlustwärme wird normalerweise über Kühlkörper an die Umgebung abgeleitet. Am Kühlkörper stellt sich somit ein mittleres Temperaturniveau ein, das einerseits von der Wärmequelle, die z.B. ein Leistungshalbleiter sein kann, und andererseits von den Umgebungsbedingungen, wie z.B. den Einbauverhältnissen, des Netzteils bestimmt wird. Ein Kühlkörper ist deshalb besonders gut geeignet, um die charakteristischen Temperaturverhältnisse eines Netzteils auf einfache Weise anzugeben. Bei Geräten mit mehreren Ausgangsspannungen wird vorzugsweise ein gemeinsamer Kühlkörper für die Leistungshalbleiter verwendet. Es genügt dann, nur dessen Temperatur zu erfassen, um die Leistung des gesamten Netzteils regeln zu können.

Zur Temperaturerfassung ist vorzugsweise mindestens ein von einem Strom durchflossener temperaturabhängiger Widerstand vorgesehen, dessen Spannung oder Strom als Maß für die Temperatur verwendet wird. Diese einfache Art der Temperaturerfassung kann bereits ausreichen, um eine Leistungsverteilung abhängig von der Temperatur vorzunehmen, da es hierfür nicht erforderlich ist, die Temperatur der Netzteile in Absolutwerten anzugeben. Auch ein linearer Zusammenhang zwischen Temperatur und Widerstand muß nicht unbedingt gegeben sein, da lediglich Temperaturunterschiede ausgewertet werden. Solche Temperaturfühler sind in vielen Netzteilen bereits vorhanden, um eine Abschaltung bei Überhitzung infolge Lüfterausfall oder fehlender Kühlung zu ermöglichen und können für diese Maßnahmen verwendet werden.

Eine Weiterbildung der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, daß ein der Temperatur des jeweiligen Netzteils entsprechendes Signal erzeugt wird, das auf eine Sammelleitung ausgegeben wird, an die jedes Netzteil angeschlossen ist, und daß die Sammelleitung in jedem Netzteil über einen Bezugswiderstand gegen Masse geschaltet ist.

Durch diese Maßnahmen wird erreicht, daß sich auf der Sammelleitung ein Signalpegel einstellt, der, wie noch erläutert wird, der mittleren Temperatur aller an die Sammelleitung angeschlossenen Netzteile entspricht. Der Signalpegel ist dabei unabhängig von der Zahl der Netzteile, was durch die Parallelschaltung der Bezugswiderstände

bewirkt wird. Zweckmäßigerweise wird als Signal ein Stromsignal vorgesehen, dessen Amplitude der Temperatur des jeweiligen Netzteils entspricht. Dann gilt bei einem Stromversorgungssystem, das nur aus einem einzigen Netzteil besteht, für die Spannung U am Bezugswiderstand R bei einem temperaturabhängigen Strom mit Amplitude I die einfache Gleichung $U = R \cdot I$. Wird ein Stromversorgungssystem mit n Netzteilen verwendet, so werden auf die Sammelleitung die Stromsignale $I_1, I_2, \dots, I_n$ ausgegeben. Der sich auf der Sammelleitung addierende Gesamtstrom ruft an den n parallel geschalteten Bezugswiderständen, die einen Gesamtwiderstand R/n haben, einen Spannungsabfall $U = (I_1 + I_2 + \dots + I_n)R/n$ hervor. Dieser Spannungsabfall entspricht der mittleren Temperatur aller Netzteile, die, wie bereits erwähnt, als Führungsgröße zum Regeln der Ausgangsleistung der Netzteile verwendet werden kann.

Eine vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung besteht darin, daß eine Regeleinrichtung vorgesehen ist, die einen Leistungsregler steuert, der die Ausgangsleistung des jeweiligen Netzteils einstellt, und daß der Regeleinrichtung als Sollwert ein der Solltemperatur entsprechendes Signal und als Istwert ein der Isttemperatur des jeweiligen Netzteils entsprechendes Signal zugeführt wird.

Konventionelle Netzteile enthalten einen Leistungsregler, der die an ihrem Ausgang gewünschte Größe, z.B. Spannung oder Strom, unabhängig von Laständerungen konstant hält. Bei einem Netzteil, dessen Ausgangsgröße auf konstante Spannung geregelt wird, kann ein solcher Leistungsregler aus einem Längsregler bestehen, der die Ausgangsspannung mit einer fest vorgegebenen Sollspannung vergleicht und bei Abweichungen die Ausgangsspannung nachstellt. Werden zwei solche Netzteile zum Speisen einer gemeinsamen Last an ihrem Spannungsausgang parallel geschaltet, so reichen wegen der kleinen Innenwiderstände der Netzteile bereits sehr kleine Spannungsunterschiede zwischen den Ausgangsspannungen aus, um eine unterschiedliche Stromabgabe und damit eine unterschiedliche Leistungsaufteilung zu bewirken. Dieser Effekt wird bei der vorliegenden Ausgestaltung der Erfindung genutzt, indem der Regler, der eine Soll-Istwertabweichung der Temperatur feststellt, den Leistungsregler so ansteuert, daß dieser seine Ausgangsspannung und damit seine Leistungsabgabe ändert. Wenn beispielsweise die Isttemperatur kleiner als die Solltemperatur des Netzteils ist, wird der Leistungsregler veranlaßt, eine höhere Spannung abzugeben. Die Folge davon ist, daß der Ausgangsstrom des Netzteils ansteigt und damit die Verlustleistung größer wird. Diese erwärmt das Netzteil so lange, bis die Isttemperatur gleich der Solltemperatur und der Regelvorgang abgeschlossen ist. Bei größerer Isttemperatur als

die Solltemperatur wird ein Regelvorgang in umgekehrter Richtung gestartet. Diese Art der Regelung kann auf beliebig viele parallel geschaltete Netzteile angewendet werden. Auch ist dieses Prinzip nicht nur auf spannungsgeregelte Netzteile beschränkt, sondern ebenso für stromgeregelte Netzteile mit den entsprechend angepaßten Leistungsreglern verwendbar.

In einer Weiterbildung ist vorgesehen, daß als Sollwert die Spannung des Bezugswiderstandes und als Istwert eine der Temperatur des jeweiligen Netzteils entsprechende Spannung zugeführt wird. Wie bereits beschrieben, entspricht der Signalpegel der Sammelleitung der mittleren Temperatur aller Netzteile. Durch diese Maßnahmen wird eine sehr einfache Regeleinrichtung geschaffen, bei der die in einem Stromversorgungssystem enthaltenen Netzteile nach Abklingen der Regelvorgänge die gleiche zu einer bestimmten Gesamtleistung gehörende Temperatur haben.

Besonders vorteilhaft läßt sich das vorstehend erläuterte Regelprinzip verwirklichen, wenn die Regeleinrichtung einen PI-Regler enthält, dessen Zeitkonstante größer als die thermische Zeitkonstante des Kühlkörpers ist. Durch diese Maßnahmen wird sichergestellt, daß der geschlossene Regelkreis auch in kritischen Betriebsphasen nicht zum Schwingen neigt.

Eine weitere Ausführungsform der Erfindung kann so aufgebaut sein, daß zum Regeln der Ausgangsspannung oder des Ausgangsstromes des jeweiligen Netzteils eine steuerbare Referenzspannungsquelle vorgesehen ist, die einen Sollwert erzeugt und deren Spannung in vorgegebenen Grenzen durch die Regeleinrichtung verstellbar ist. In herkömmlichen Netzteilen werden Referenzspannungsquellen dazu verwendet, einen genau festgelegten Sollwert vorzugeben, auf den die Ausgangsgröße des Netzteils zu regeln ist. Durch die Verwendung einer steuerbaren Referenzspannungsquelle, deren Spannung durch die Regeleinrichtung verändert werden kann, ist eine besonders einfache Möglichkeit gegeben, die Ausgangsgröße des Netzteils und damit indirekt die in ihm entstehende Wärmemenge zu steuern. Damit kann auch die Isttemperatur des Netzteils auf vorgegebene Werte nachgeregelt werden.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird im folgenden anhand der Zeichnung erläutert. Darin zeigen :

Fig. 1 ein Stromversorgungssystem in Blockdarstellung mit drei einen gemeinsamen Ausgang speisenden Netzteilen,

Fig. 2 eine Schaltungsanordnung zum Erfassen der Temperatur in einem Netzteil sowie zum Regeln der Ausgangsleistung.

In Fig. 1 ist ein Stromversorgungssystem dargestellt, das aus drei gleichartig aufgebauten Netz-

teilen 10, 12, 14 besteht, deren Ausgänge 16, 18, 20 miteinander verbunden sind und gemeinsam eine Last 22 speisen. Die Last 22 kann durch ein oder mehrere beliebige elektrische Geräte realisiert sein, jedoch ist ein solches Stromversorgungssystem insbesondere für Anwendungen höchster Zuverlässigkeit vorgesehen, beispielsweise im Bereich der Datenverarbeitungstechnik oder der Telekommunikationstechnik.

Die Netzteile 10, 12, 14 werden an entsprechend bezeichneten Eingängen mit einer unregelmäßigten Gleichspannung U_e versorgt; es ist aber auch möglich, Netzteile zu verwenden, die direkt an ein Wechselspannungsnetz angeschlossen werden können. Die Netzteile 10, 12, 14 sind so ausgelegt, daß bei Ausfall eines der drei Netzteile die verbleibenden Netzteile die für die Last 22 benötigte Gesamtleistung liefern können.

Da die Netzteile 10, 12, 14 gleichartig aufgebaut sind, wird im folgenden lediglich das Netzteil 10 ausführlicher beschrieben. Im Netzteil 10 ist ein Leistungsregler 24 angeordnet, der als Schaltregler oder als Längsregler ausgebildet sein kann. Er erzeugt aus der unregelmäßigten Gleichspannung U_e eine geregelte Ausgangsspannung, die am Ausgang 16 abgegeben wird. Der Leistungsregler 24 kann aus mehreren parallel geschalteten Leistungshalbleitern, wie beispielsweise bipolare Transistoren, Freilaufdioden, Entkopplungsdioden oder Gleichrichterdiode bestehen, die gemeinsam auf einen Kühlkörper montiert sind. Dieser wird durch die Verlustleistung der Leistungshalbleiter erwärmt und führt die Wärme an die Umgebung ab. Am Kühlkörper stellt sich nach einer Zeit, in der Ausgleichsvorgänge der Wärmeaufnahme und der Wärmeabgabe abgeklungen sind, eine Temperatur ein, die zwischen der Temperatur der Leistungshalbleiter und der Umgebungstemperatur liegt. Ein Temperaturfühler 26 erfaßt die Temperatur des Kühlkörpers und gibt am Eingang des Verstärkers 28 ein dieser Temperatur entsprechendes Signal ab. Dieses wird am Ausgang 30 auf eine Sammelleitung 31 ausgegeben. Wie noch beschrieben wird, stellt sich auf der Sammelleitung 31 ein Signal U_s ein, dessen Pegel der mittleren Temperatur aller an die Sammelleitung 31 angeschlossenen Netzteile 10, 12, 14 entspricht.

Das Signal U_s wird an den einen Eingang der Regeleinrichtung 32 gelegt, die die aktuelle Temperatur am Ausgang des Temperaturfühlers 26 mit dem Signal U_s vergleicht. Das Signal U_s entspricht im regelungstechnischen Sinne dem Sollwert, das Signal des Temperaturfühlers 26 dem Istwert. Weichen Sollwert und Istwert voneinander ab, so gibt die Regeleinrichtung 32 ein Ausgangssignal an eine steuerbare Referenzspannungsquelle 34 ab, deren Ausgangssignal wiederum auf den Leistungsregler 24 im Sinne einer Sollwertvorgabe

einwirkt. Der Leistungsregler 24 regelt die Ausgangsspannung an der Klemme 16 entsprechend diesem Sollwert nach.

Zur Erläuterung der Wirkungsweise der Leistungsregelung des Netzteils 10 sei angenommen, daß der Pegel des Signals U_s größer als der Pegel des Signals des Temperatursensors 26 ist, d.h. die Temperatur des Kühlkörpers des Leistungsreglers 24 ist niedriger als die mittlere Temperatur aller Netzteile. Um die Soll-Istwertabweichung auszugleichen, ist die Verlustleistung des Leistungsreglers 24 zu erhöhen. Die Regeleinrichtung 32 erzeugt hierzu entsprechend der festgestellten Soll-Istwertabweichung ein Ausgangssignal, das die steuerbare Referenzspannungsquelle 34 zur Abgabe einer höheren Sollwertspannung veranlaßt. Dadurch wird beim Leistungsregler 24 ein Regelvorgang ausgelöst, der die Ausgangsspannung an der Klemme 16 erhöht. Dies führt gleichzeitig zu einer Stromerhöhung im Leistungsregler 24, wodurch auch seine abgegebene Leistung, die das Produkt aus Spannung und Strom ist, ansteigt. Dieser Regelmechanismus ist so empfindlich, daß bereits eine sehr kleine Spannungserhöhung zu einem großen Strom führen kann. Infolge der erhöhten Leistungsabgabe erhöht sich auch die Verlustleistung des Netzteils 10, insbesondere aber die der Leistungshalbleiter, wodurch die Temperatur des Kühlkörpers ansteigt. Dieser Regelvorgang dauert so lange an, bis die an der Regeleinrichtung 32 vorliegende Soll-Istwertabweichung Null ist. Dies ist dann der Fall, wenn die aktuelle Temperatur des Netzteils gleich der mittleren Temperatur aller Netzteile ist. Eine höhere Isttemperatur als die mittlere Temperatur des Netzteils 10 löst einen Regelvorgang aus, der in umgekehrter Richtung wirkt.

Da die von den Netzteilen 10, 12, 14 in einem Zeitabschnitt insgesamt an die Last 22 abgegebene elektrische Leistung praktisch konstant bleibt, bewirkt eine Leistungsumverteilung von einem Netzteil zu einem anderen, daß sich auch die Temperaturen der anderen Netzteile ändern. Die Verteilung der Leistung auf die verschiedenen Netzteile nach dem beschriebenen Regelprinzip bewirkt somit, daß sich nach Abklingen der Regelvorgänge eine mittlere Temperatur aller Netzteile einstellt, die bei einem vorgegebenen Betriebszustand, unter Einbeziehung der abgegebenen Gesamtleistung sowie der Umgebungsbedingungen, die kleinstmögliche Temperatur einstellt.

Der Steuerbereich der Referenzspannungsquelle 34 ist auf einen Bereich eingeschränkt, der durch Grenzwerte des Netzteils 10 vorgegeben ist, wie beispielsweise durch die maximale Leistung sowie Strom- und Spannungsgrenzwerte. Die Regelvorgänge führen somit zu keiner Überschreitung der maximal zulässigen Grenzwerte.

Das in Fig. 2 gezeigte Ausführungsbeispiel ei-

nes Stromversorgungssystems kann auch für Netzteile, die mehrere Spannungen erzeugen, erweitert werden. Hierzu sind im Netzteil eine entsprechende Zahl von Leistungsreglern nach Art des Leistungsreglers 24 vorzusehen. Die Leistungshalbleiter dieser Leistungsregler sind üblicherweise auf einem gemeinsamen Kühlkörper montiert, und die Leistungsregler werden aus einer einzigen Referenzspannungsquelle mit Sollwerten versorgt. In diesem Fall reicht es aus, wie bereits beschrieben, die Temperatur dieses Kühlkörpers zu erfassen und die Referenzspannungsquelle abhängig von der Soll-Istwertabweichung der Temperatur zu steuern. Dadurch wird die Leistungsverteilung bei Netzgeräten mit mehreren Spannungsausgängen ohne Erhöhung des Steuerungsaufwandes möglich.

In Fig. 2 ist eine Schaltungsanordnung zum Regeln der Leistung des Netzteils 10 abhängig von seiner Temperatur in einer genaueren Darstellung wiedergegeben. Ebenso sind relevante Teile der Netzteile 12, 14 dargestellt, an denen die Bildung der mittleren Temperatur erläutert wird. Zur besseren Übersicht wurde auf die Wiedergabe des zum Netzteil 10 gehörenden Leistungsreglers 24 verzichtet.

Ein temperaturabhängiger Widerstand 40 ist in einer Brückenschaltung mit Widerständen 42, 44, 46 angeordnet. Er erfaßt die Temperatur eines nicht dargestellten Kühlkörpers, auf dem Leistungshalbleiter des Leistungsreglers 24 (siehe Fig. 1) montiert sind. Der Widerstand 40 kann auch an anderen Stellen des Netzteils 10 angeordnet sein, um ein die Temperatur des Netzteils 10 kennzeichnendes Signal zu erzeugen. Ebenso ist es möglich, mehrere Temperatursensoren, die nicht unbedingt temperaturabhängige Widerstände nach Art des Widerstands 40 sein müssen, an verschiedenen Stellen des Netzteils 10 anzuordnen und deren Signale so auszuwerten, daß eine für das Netzteil charakteristische mittlere Temperatur bestimmt wird.

Die Brückenschaltung wird aus einer geregelten Spannung U_b des Netzteils versorgt. Ihre Diagonalspannung wird über Widerstände 48, 50 einem Operationsverstärker 52 zugeführt, der als Differenzverstärker arbeitet und in seinem Rückkopplungszweig einen Widerstand 54 zum Einstellen des Verstärkungsfaktors hat. Die Ausgangsspannung des Operationsverstärkers 52 erzeugt einen Strom I_1 , der durch eine Entkopplungsdiode 56 und einen Widerstand 58 fließt und sich am Knotenpunkt 59 aufteilt. Ein Teil des Stromes wird durch einen Bezugswiderstand 60 des Netzteils 10 geleitet, der andere Teil fließt über die Sammelleitung 31 und über parallel geschaltete Bezugswiderstände 64, 66 der Netzteile 12 und 14 gegen Masse ab. Die Bezugswiderstände 60, 64, 66 haben gleiche Widerstandswerte.

Die Temperaturerfassung in den Netzteilen 12, 14, bei denen die Ströme 12 bzw. 13 erzeugt werden, erfolgt in der gleichen Weise wie beim Netzteil 10. Im folgenden wird gezeigt, daß bei dieser Art der Zusammenschaltung der Netzteile 10, 12, 14 über die Sammelleitung 31 sich auf dieser eine Spannung U_s einstellt, deren Pegel der mittleren Temperatur aller an die Sammelleitung 31 angeschlossenen Netzteile entspricht.

Zum besseren Verständnis sei angenommen, daß nur das Netzteil 10 an die Sammelleitung 31 angeschlossen ist. Dann fließt durch den Widerstand 60 der volle Strom I_1 , dessen Amplitude von der über den Widerstand 40 erfaßten Temperatur des Netzteils 10 abhängt. Der vom Strom I_1 hervorgerufene Spannungsabfall U_s am Bezugswiderstand 60 ist somit ein Maß für die Temperatur des Netzteils 10. Wird nun zusätzlich das Netzteil 12 an die Sammelleitung 31 angeschlossen, so reduziert sich der Gesamtwiderstand, mit dem die Sammelleitung 31 gegen Masse abgeschlossen ist, wegen der Parallelschaltung der Bezugswiderstände 64, 66 auf den halben Wert. In die Sammelleitung 31 wird der Summenstrom $I = I_1 + I_2$ eingespeist, und es stellt sich auf der Sammelleitung 31 eine Spannung $U_s = (I_1 + I_2) R/2$ ein, wobei R der Widerstandswert des Bezugswiderstandes 60 bzw. 64 ist. Allgemein gilt für eine Anzahl n von Netzteilen, die auf diese Art zusammengeschaltet sind, daß sich auf der Sammelleitung 31 eine Spannung U_s einstellt, wobei gilt

$$U_s = (I_1 + I_2 + \dots + I_n) R/n.$$

Der Ausdruck $(I_1 + I_2 + \dots + I_n) R/n$ stellt eine Mittelwertbildung über n Ströme dar, wobei die Zahl n beliebig groß sein darf. Dies bedeutet, daß die Spannung U_s auf der Sammelleitung 31 unabhängig von der Zahl angeschlossener Netzteile den über alle Netzteile gemittelten Temperaturwerten entspricht.

Über die Sammelleitung 31 erhält jedes Netzteil Informationen über die mittlere Temperatur aller Netzteile, die als Führungsgröße oder variabler Sollwert für die Regelung der Ausgangsleistung des jeweiligen Netzteils verwendet wird. Im Netzteil 10 wird die Spannung U_s über einen Widerstand 70 einem Operationsverstärker 72 an seinem nicht invertierenden Eingang zugeführt. Dieser Eingang ist über einen Widerstand 74 auch mit der Spannung U_b verbunden, wodurch ein an der Entkopplungsdiode 56 entstehender Spannungsabfall ausgeglichen wird und der Arbeitspunkt am Operationsverstärker 72 eingestellt wird. Das der Isttemperatur des Netzteils 10 entsprechende Signal am Ausgang des Operationsverstärkers 52 wird über einen Widerstand 76 an den invertierenden Eingang des Operationsverstärkers 72 gelegt. Dieser ist als Regelverstärker mit PI-Verhalten geschaltet, dessen Verstärkungsfaktor durch die Widerstände

78 und 80 eingestellt wird. Das Zeitverhalten des Regelverstärkers 72 wird durch die Zeitkonstante im Rückkopplungszweig bestimmt, die sich aus dem Kondensator 82 und dem Widerstand 78 ergibt. Die Zeitkonstante wird so eingestellt, daß sie größer als die thermische Zeitkonstante des Kühlkörpers des Leistungsreglers ist. Durch diese Maßnahme wird vermieden, daß der geschlossene Regelkreis schwingt.

Dem Operationsverstärker 72 ist eine steuerbare Referenzspannungsquelle 84 nachgeschaltet, die über einen Widerstand 86 mit der Versorgungsspannung U_e verbunden ist. Die Referenzspannungsquelle 84 erzeugt eine Sollspannung 88, die dem in Fig. 2 nicht dargestellten Spannungsregler zugeführt wird, der die Ausgangsspannung des Netzteils 10 mit dieser Sollspannung 88 vergleicht und bei Abweichungen die Ausgangsspannung entsprechend nachregelt. Die Referenzspannungsquelle 84 hat einen Steuereingang 90, über den die Sollspannung 88 spannungsgesteuert innerhalb enger vorgegebener Grenzen verändert werden kann. Die einen Spannungsteiler zwischen der Sollspannung 88 und dem Bezugspotential bildenden Widerstände 92, 94 dienen zur Grundeinstellung der Referenzspannungsquelle 84. Der Abgriff dieses Spannungsteilers ist mit dem Steuereingang 90 und über einen Widerstand 96 mit dem Operationsverstärker 72 verbunden.

Im folgenden wird die Funktionsweise der Regeleinrichtung des Netzteils 10 in drei Betriebsphasen erläutert. In der Betriebsphase 1 sei die Isttemperatur gleich der mittleren Temperatur, d.h. die Pegel der Ausgangsspannung des Operationsverstärkers 52 und der Spannung U_s stimmen überein. Dann liegt am Ausgang des Operationsverstärkers 72 eine durch die Ladung des Kondensators 82 bestimmte Spannung an, durch die die Referenzspannungsquelle 84 auf einen bestimmten Wert eingestellt wird. Der ihr nachgeschaltete Leistungsregler regelt die Ausgangsspannung des Netzteils 10 auf einen durch die Sollspannung 88 vorgegebenen Wert, bei dem gerade so viel Verlustleistung im Netzteil 10 erzeugt wird, daß seine Temperatur genau der mittleren Temperatur aller Netzteile entspricht.

Für eine zweite Betriebsphase wird angenommen, daß die im Netzteil erzeugte Verlustwärme so klein ist, daß seine Isttemperatur niedriger als die mittlere Temperatur ist. In diesem Fall wird der Operationsverstärker 72 entsprechend seinem Zeitverhalten so gesteuert, daß an seinem Ausgang eine positivere Spannung abgegeben wird, welche die Sollspannung 88 der Referenzspannungsquelle 84 geringfügig erhöht. Der von der Referenzspannungsquelle 84 angesteuerte Spannungsregler wird dadurch veranlaßt, seine Ausgangsspannung um diesen Wert zu erhöhen, wobei wegen des gerin-

gen Innenwiderstandes des Netzteils 10 bereits eine kleine Spannungszunahme den Ausgangsstrom deutlich erhöht. Dadurch nimmt auch die vom Netzteil 10 abgegebene Leistung zu, die das Produkt aus Spannung und Strom ist, ebenso die Verlustleistung des Netzteils 10. Durch letztere wird der Kühlkörper des Leistungsreglers erwärmt. Wenn dessen Temperatur die mittlere Temperatur aller Netzteile erreicht, ist der Regelvorgang abgeschlossen.

Bei der dritten Betriebsphase, die durch eine gegenüber der mittleren Temperatur höhere Isttemperatur gekennzeichnet ist, läuft der Regelvorgang in umgekehrter Richtung wie für die Betriebsphase 2 beschrieben ab.

Das in den Fig. 1 und 2 gezeigte Ausführungsbeispiel eines Stromversorgungssystems ist nur für eine Ausgangsspannung ausgelegt. Das hier beschriebene Prinzip läßt sich aber, wie bereits erwähnt, auch auf Stromversorgungssysteme mit mehreren geregelten Ausgangsspannungen oder Ausgangsströmen anwenden, wobei eine der Zahl der Ausgangsspannungen bzw. Ausgangsströme entsprechende Zahl von Leistungsreglern vorzusehen ist. Die Sollwerte können dabei aus einer einzigen Referenzspannungsquelle abgeleitet werden. Wenn die Leistungshalbleiter der verschiedenen Leistungsregler auf einem einzigen Kühlkörper montiert sind, so reicht es aus, die unter Bezugnahme auf die Fig. 1 und 2 beschriebene Leistungsregelung abhängig von der Temperatur für jedes Netzteil nur einmal vorzusehen.

Ansprüche

1. Stromversorgungssystem mit mindestens zwei Netzteilen, deren Ausgänge parallel geschaltet sind und die gemeinsam eine Last speisen, wobei die Ausgangsleistung des jeweiligen Netzteils abhängig von der insgesamt an die Last abzugebenden Leistung sowie von einem jeweils vorgegebenen Anteil an der Gesamtleistung eingestellt wird, dadurch **gekennzeichnet**, daß die Ausgangsleistung des jeweiligen Netzteils (10, 12, 14) zusätzlich abhängig von seiner Temperatur geregelt wird.

2. System nach Anspruch 1, dadurch **gekennzeichnet**, daß die Ausgangsleistung des jeweiligen Netzteils (10, 12, 14) abhängig vom Unterschied seiner Temperatur und der mittleren Temperatur aller Netzteile geregelt wird.

3. System nach Anspruch 1 oder 2, dadurch **gekennzeichnet**, daß im jeweiligen Netzteil (10, 12, 14) die Temperatur mindestens eines Kühlkörpers erfaßt wird.

4. System nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch **gekennzeichnet**, daß zur Temperaturerfassung mindestens ein von einem Strom durch-

flossener temperaturabhängiger Widerstand (40) vorgesehen ist, dessen Spannung oder Strom als Maß für die Temperatur verwendet wird.

5. System nach Anspruch 4, dadurch **gekennzeichnet**, daß ein der Temperatur des jeweiligen Netzteils (10, 12, 14) entsprechendes Signal erzeugt wird, das auf eine Sammelleitung (31) ausgegeben wird, an die jedes Netzteil (10, 12, 14) angeschlossen ist, und daß die Sammelleitung (31) in jedem Netzteil (10, 12, 14) über einen Bezugswiderstand (60, 64, 66) gegen Masse geschaltet ist.

6. System nach Anspruch 5, dadurch **gekennzeichnet**, daß als Signal ein Stromsignal (11, 12, 13, 14) vorgesehen ist, dessen Amplitude von der Temperatur abhängt.

7. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch **gekennzeichnet**, daß eine Regeleinrichtung (32, 72) vorgesehen ist, die einen Leistungsregler (24) steuert, der die Ausgangsleistung des jeweiligen Netzteils (10) einstellt, und daß der Regeleinrichtung als Sollwert ein der Solltemperatur entsprechendes Signal (U_s) und als Istwert ein der Isttemperatur des jeweiligen Netzteils (10) entsprechendes Signal zugeführt wird.

8. System nach Anspruch 7, dadurch **gekennzeichnet**, daß als Sollwert die Spannung (U_s) des Bezugswiderstandes (60) und als Istwert eine der Temperatur des jeweiligen Netzteils entsprechende Spannung zugeführt wird.

9. System nach einem der Ansprüche 3 bis 6 und 7 oder 8, dadurch **gekennzeichnet**, daß die Regeleinrichtung (32, 72) einen PI-Regler hat, dessen Zeitkonstante größer als die thermische Zeitkonstante des Kühlkörpers ist.

10. System nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch **gekennzeichnet**, daß zum Regeln der Ausgangsspannung oder des Ausgangsstroms des jeweiligen Netzteils (10, 12, 14) eine steuerbare Referenzspannungsquelle (34, 84) vorgesehen ist, die einen Sollwert (88) erzeugt und deren Spannung (88) in vorgegebenen Grenzen durch die Regeleinrichtung (32, 72) verstellbar ist.

11. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch **gekennzeichnet**, daß bei einem Netzteil mit mehreren Ausgangsspannungen bzw. Ausgangsströmen, das eine entsprechende Zahl von Leistungsreglern mit Leistungshalbleitern hat, die Leistungshalbleiter zusammen auf einem Kühlkörper montiert sind.

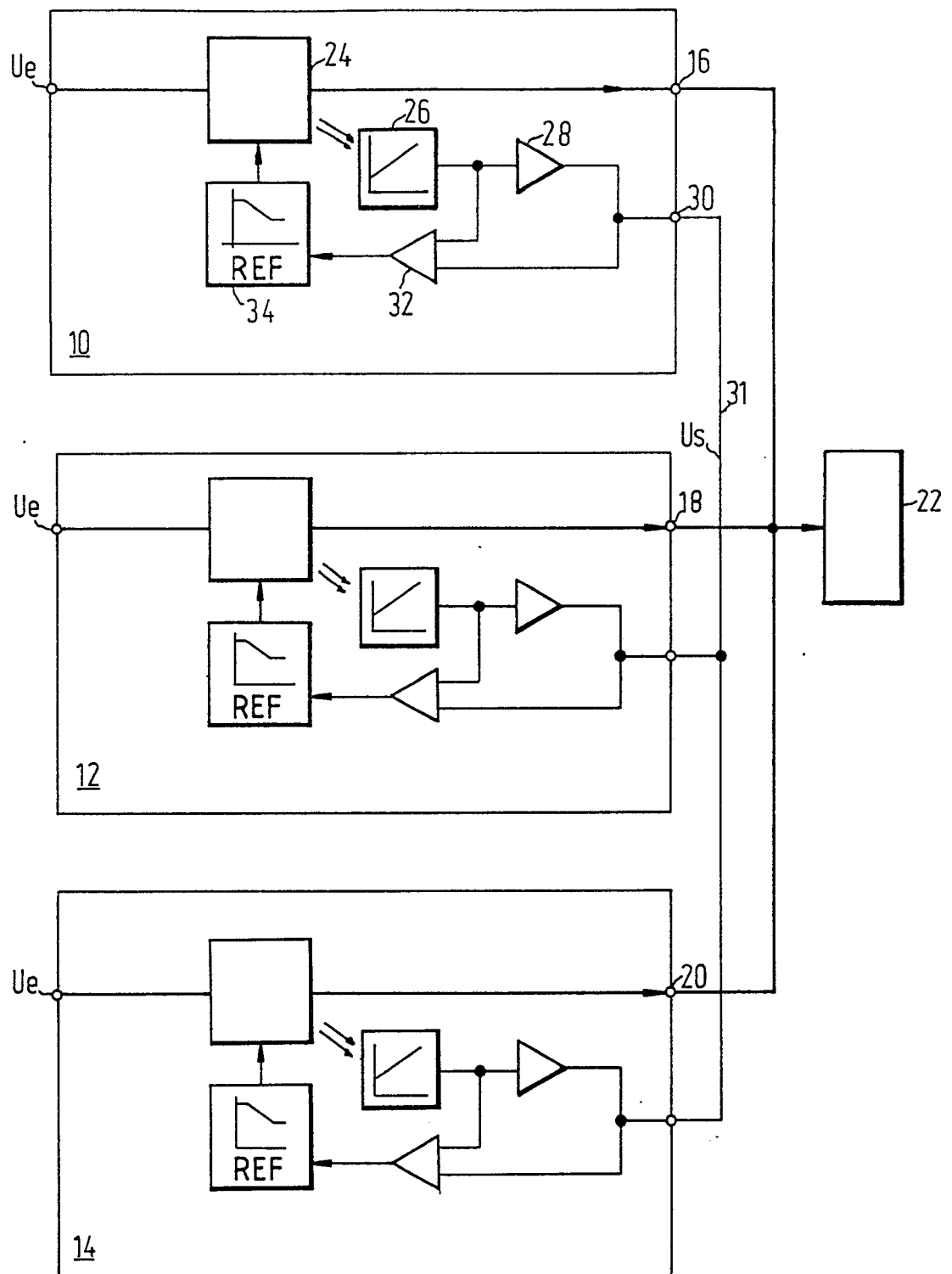


Fig.1

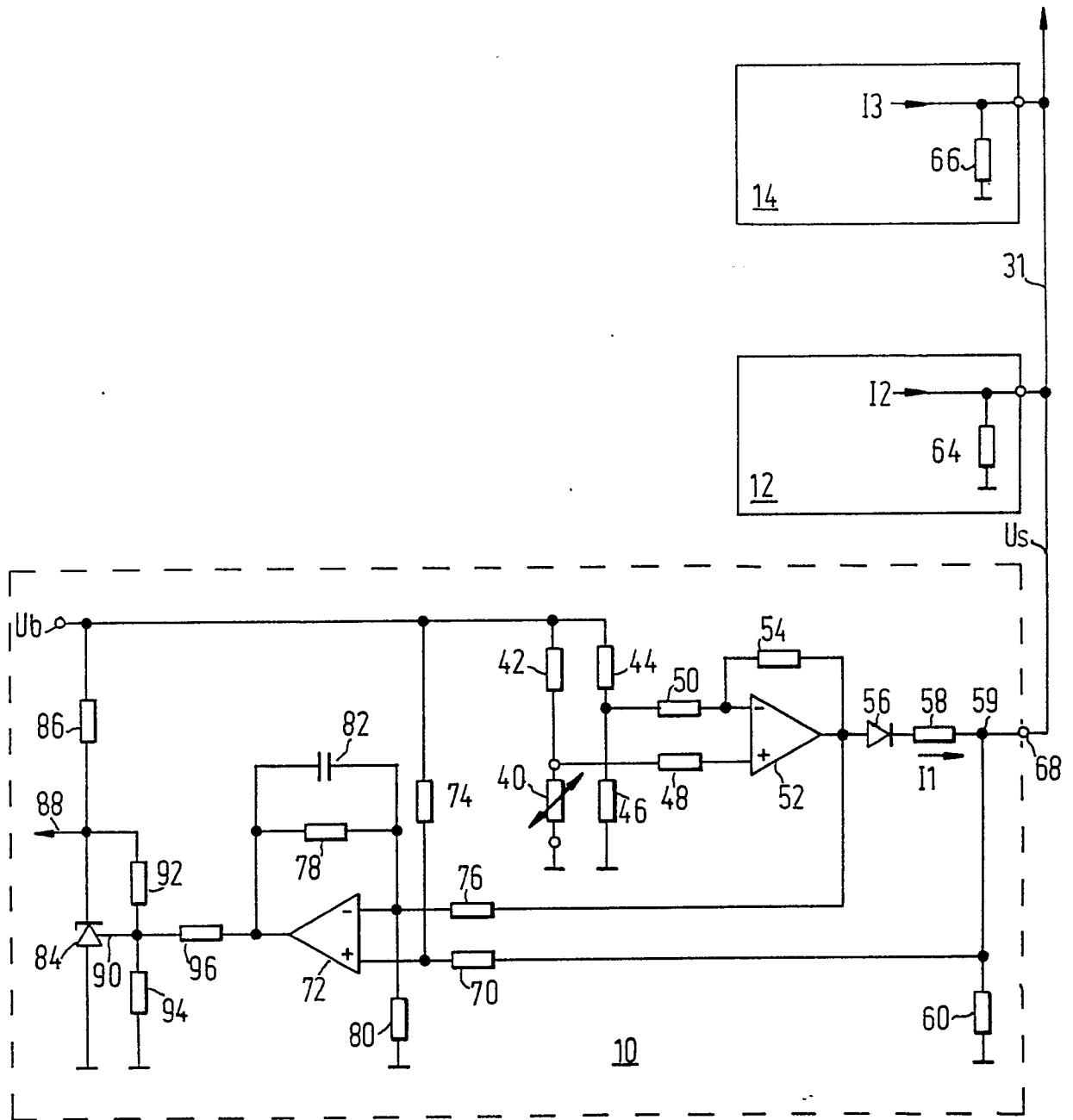


Fig.2