

(19)



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) Veröffentlichungsnummer: **0 169 488 B1**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag der Patentschrift: **16.10.91**

(51) Int. Cl.<sup>5</sup>: **G05F 1/30**

(21) Anmeldenummer: **85108921.9**

(22) Anmeldetag: **16.07.85**

(54) **Transformatorschaltung.**

(30) Priorität: **24.07.84 DE 3427291**  
**29.01.85 DE 3502889**  
**27.03.85 DE 3511182**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**29.01.86 Patentblatt 86/05**

(45) Bekanntmachung des Hinweises auf die  
Patenterteilung:  
**16.10.91 Patentblatt 91/42**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT CH DE FR GB IT LI NL SE**

(56) Entgegenhaltungen:  
**DE-A- 2 233 020**  
**DE-A- 2 500 065**  
**US-A- 3 621 375**

(73) Patentinhaber: **Voigt & Haeffner GmbH**  
**Hanauer Landstrasse 136**  
**W-6000 Frankfurt 1(DE)**

(72) Erfinder: **Mehnert, Walter, Dr. Dipl.-Ing.**  
**Grillparzerstrasse 6**  
**W-8012 Ottobrunn(DE)**  
Erfinder: **Bölkow, Ludwig, Dr. Dipl.-Ing.**  
**Oberfeldallee 9**  
**W-8022 Grünwald(DE)**

(74) Vertreter: **Strasser, Wolfgang, Dipl.-Phys et al**  
**Patentanwälte Strohschänk, Uri & Strasser**  
**Innere Wiener Strasse 8**  
**W-8000 München 80(DE)**

**EP 0 169 488 B1**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Transformatorschaltung der im Oberbegriff des Anspruches 1 genannten Art.

Eine solche Transformatorschaltung, wie sie der DE-A 2 233 020 entnehmbar ist, dient dazu, mit Hilfe  
 5 einer Stelleinheit, die in verschiedene Schaltzustände bringbar ist, die Amplitude einer von einer Spannungsquelle abgegebenen Versorgungs-Wechselspannung erforderlichenfalls zu verändern, bevor sie als Last-Wechselspannung an einen Verbraucher angelegt wird.

Zu diesem Zweck umfaßt der Transformator der bekannten Stelleinheit neben einer ersten Wicklung, die von der Spannungsquelle her gesehen mit der Last in Reihe liegt, zwei weitere Wicklungen, von denen  
 10 die eine nur als addierende und die andere nur als subtrahierende Wicklung dadurch Verwendung findet, daß sie mit Hilfe von Schaltern alternierend an entsprechende Steuerspannungen anschließbar ist.

Somit kann die Stelleinheit in mehrere Schaltzustände gebracht werden, wobei in einem ersten Schaltzustand an die eine der beiden weiteren Wicklungen eine Steuerspannung so angelegt ist, daß sich die hierdurch in der ersten Wicklung des Transformators induzierte Spannung zur Eingangsspannung  
 15 addiert, während in einem zweiten Schaltzustand an die zweite der beiden weiteren Wicklungen eine Steuerspannung so angelegt ist, daß sich die hierdurch in der ersten Wicklung des Transformators induzierte Spannung von der Eingangsspannung subtrahiert. Als Steuerspannungen finden dabei im ersten Schaltzustand die Eingangsspannung der Stelleinheit und im zweiten Schaltzustand die Ausgangsspannung der Stelleinheit Verwendung.

Damit auch eine unveränderte Weitergabe der Amplitude der Eingangsspannung der Stelleinheit an die Ausgangsanschlüsse der Stelleinheit möglich ist, kann die Stelleinheit in einen dritten, neutralen Schaltzustand gebracht werden, in welchem in der ersten Wicklung des Transformators keine Spannung induziert wird. Damit die erste Wicklung im neutralen Schaltzustand keine Drosselwirkung mit einem entsprechend hohen Spannungsabfall entfaltet, muß dafür Sorge getragen werden, daß in ihm die Magnetisierung des  
 25 Transformator kernels nicht im wesentlichen durch die Durchflutung der ersten Wicklung allein bewirkt wird. Zu diesem Zweck weist der Transformator der bekannten Stelleinheit eine Kurzschlußwicklung auf, die im dritten, neutralen Schaltzustand mit Hilfe eines Schalters kurzgeschlossen ist, während die beiden weiteren Wicklungen gleichzeitig von allen Steuerspannungen getrennt sind. In diesem dritten Schaltzustand fällt an der ersten Wicklung des Transformators nur eine äußerst geringe Spannung ab, so daß mit guter Näherung  
 30 die Ausgangsspannung der Stelleinheit gleich der Eingangsspannung ist. Wegen des kleinen Spannungsabfalls an der ersten Wicklung wird auch in der Kurzschlußwicklung nur eine kleine Spannung induziert, so daß der in ihrem Stromkreis fließende Kurzschlußstrom klein bleibt und nur sehr geringe Leistungsverluste verursacht.

Um bei der bekannten Schaltungsanordnung den Transformator nicht zu überlasten, muß sichergestellt  
 35 werden, daß der Schalter der Kurzschlußwicklung nur geschlossen wird, wenn die zum Anlegen der Steuerspannungen dienenden Schalter geöffnet sind. Auch muß dafür gesorgt werden, daß die zum Anlegen der einen Steuerspannung dienenden Schalter nur dann geschlossen werden, wenn die Schalter geöffnet sind, die zum Anlegen der anderen Steuerspannung dienen, und umgekehrt. Hierzu ist es erforderlich, den Schaltzustand eines jeden Schalters zu überwachen und einen Schließbefehl für einen  
 40 bisher offenen Schalter zu unterdrücken, wenn angezeigt wird, daß ein eigentlich zu öffnender Schalter noch geschlossen ist.

Auch ist es wünschenswert, daß beim Umschalten von einem Schaltzustand in einen anderen die Ausgangsspannung der Stelleinheit ohne starke Schwankungen der Ausgangswechselspannung von ihrem alten zum neuen Amplitudenwert übergeht. Dies kann bei der bekannten Schaltungsanordnung, bei der der  
 45 neutrale Schaltzustand mit Hilfe einer Kurzschlußwicklung hergestellt wird, nicht in optimaler Weise erreicht werden, da für das Schließen und Öffnen der Schalter Kriterien beachtet werden müssen, die es unmöglich machen, so schnell umzuschalten, daß nach weniger als einer vollen Schwingungsperiode der Last-Wechselspannung der neue Amplitudenwert stabil erreicht ist.

Somit liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine verbesserte Schaltungsanordnung anzugeben, bei  
 50 der der neutrale Schaltzustand mit einem geringeren technischen Aufwand erzielt werden kann und bei der es möglich ist, die Amplitude der Ausgangsspannung so schnell zu ändern, daß der neue Amplitudenwert spätestens bei der zweiten auf den Schaltvorgang folgenden Halbwelle der Ausgangs-Wechselspannung stabil zur Verfügung steht.

Zur Lösung dieser Aufgabe sieht die Erfindung die in den Ansprüchen 1 bzw. 26 niedergelegten  
 55 Merkmale vor.

Durch diese Maßnahmen wird bei einem Transformator, der nur eine einzige weitere Wicklung besitzt, der dritte, neutrale Schaltzustand dadurch hergestellt, daß diese einzige weitere Wicklung zur ersten Wicklung elektrisch parallelgeschaltet wird. Bei einem Transformator, der zwei weitere Wicklungen aufweist,

die ohnehin mit jeweils einem ihrer beiden Enden mit dem von der Spannungsquelle her gesehen vorderen bzw. hinteren Ende der ersten Wicklung verbunden sind, wird eine aus diesen beiden weiteren Wicklungen bestehende Serienschaltung zur ersten Wicklung parallelgeschaltet; dabei können diese beiden miteinander in Reihe liegenden weiteren Wicklungen für die nachfolgende Betrachtung als eine einzige, einen durchgehenden Wicklungssinn aufweisende Wicklung betrachtet werden.

In beiden Fällen erhält man in diesem dritten Schaltzustand einen kurzgeschlossenen Transformator mit zwei auf den Kern des Transformators antiparallel gewickelten Wicklungen, die elektrisch zueinander parallel an der gleichen Spannung liegen. Die Ströme, die dabei in den beiden antiparallelen Wicklungen fließen, versuchen jeweils im Kern des Transformators ein Magnetfeld aufzubauen; diese Felder sind jedoch einander entgegengerichtet und heben sich im wesentlichen gegenseitig auf. Die Streuinduktivität und der ohmsche Widerstand der vom Laststrom durchflossenen ersten Wicklung sind sehr klein. Damit ist der an ihr auftretende Spannungsabfall sehr klein und es gilt mit guter Näherung

$$U_E = U_A.$$

Entsprechend klein ist auch der durch die weitere Wicklung bzw. die beiden miteinander in Serie liegenden weiteren Wicklungen fließende Strom, da diese weiteren Wicklungen einen wesentlich größeren Scheinwiderstand besitzen als die erste Wicklung des Transformators. Hierdurch fließt der Laststrom also praktisch ausschließlich durch diese erste Wicklung.

Prinzipiell genügen bei einem Transformator, der nur eine einzige weitere Wicklung besitzt, vier Schalter, und bei einem Transformator, der zwei weitere Wicklungen in der oben angegebenen Art besitzt, drei Schalter, um die betreffende Stelleinheit in die genannten drei verschiedenen Schaltzustände bringen zu können.

Werden keine weiteren Maßnahmen getroffen, so muß in diesen Fällen allerdings sorgfältig darauf geachtet werden, daß nicht durch gleichzeitiges Schließen entsprechender Schalter die Eingangsspannung der Stelleinheit entweder unmittelbar kurzgeschlossen oder an eine der kurzgeschlossenen weiteren Wicklungen angelegt wird, in der dann ein unzulässig hoher Kurzschlußstrom fließen würde. Dies würde allerdings bedeuten, daß auch hier wieder für das Öffnen und Schließen der Schalter bestimmte Schaltkriterien beachtet werden müßten, die beim Übergang von einem Schaltzustand in einen anderen das Erreichen des neuen Amplitudenwertes verzögern würden.

Um dies zu vermeiden, ist bei besonders bevorzugten Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Stelleinheit die Verwendung einer oder mehrerer Strombegrenzungsschaltungen vorgesehen.

Wenn der Transformator nur eine einzige weitere Wicklung umfaßt, können der dritte und vierte Schalter, d.h. die beiden Schalter, mit denen die beiden Enden der weiteren Wicklung mit dem Anschluß-Verbindungsleiter der Stelleinheit verbindbar sind, beispielsweise selbst jeweils als Strombegrenzungsschaltung in der Weise ausgebildet sein, daß sie im geöffneten Zustand überhaupt keinen Strom durchlassen und im geschlossenen Zustand dem sie durchfließenden Strom nur solange einen sehr kleinen, konstanten Widerstand entgegensetzen, solange dieser Strom unterhalb eines vorgegebenen Grenzwertes bleibt, ein Ansteigen des Stromes über diesen Grenzwert hinaus aber verhindern.

Der Übergang vom ersten in den zweiten Schaltzustand oder vom zweiten in den ersten Schaltzustand erfolgt dann einfach in der Weise, daß zunächst auch die beiden im bisherigen Schaltzustand geöffneten Schalter geschlossen werden, was einem Übergang in den dritten Schaltzustand entspricht, und daß erst danach die Schalter geöffnet werden, die im neuen Schaltzustand geöffnet sein müssen. Aufgrund ihrer Strombegrenzungseigenschaften verhindern dabei der dritte und vierte Schalter, daß im dritten Schaltzustand unzulässig hohe Kurzschlußströme fließen.

Eine andere Möglichkeit für einen Transformator mit einer einzigen weiteren Wicklung besteht darin, daß der dritte und vierte Schalter, d.h. die beiden Schalter, mit denen die beiden Enden der weiteren Wicklung mit dem Anschluß-Verbindungsleiter der Stelleinheit verbindbar sind, nicht unmittelbar zu diesem Anschluß-Verbindungsleiter führen. Statt dessen sind der dritte und vierte Schalter durch einen weiteren Leiter unmittelbar galvanisch leitend miteinander verbunden und ist zwischen diesem weiteren Leiter und dem Anschluß-Verbindungsleiter eine Schaltungsanordnung vorgesehen, die einerseits die beiden Leiter elektrisch leitend miteinander verbindet und andererseits das Fließen eines unzulässig großen Stroms von einem dieser beiden Leiter auf den anderen verhindert. Diese Schaltungsanordnung kann im einfachsten Fall ein Schalter sein, der immer dann geöffnet wird, wenn die Stelleinheit in ihren dritten Schaltzustand gebracht werden soll, in welchem über diesen Schalter ansonsten ein unzulässig hoher Kurzschlußstrom fließen würde. Allerdings können solche Schalter nur zu ganz bestimmten Zeitpunkten geöffnet werden, so daß hiermit noch nicht die optimale Umschaltgeschwindigkeit erzielbar ist.

Statt dessen wird vorzugsweise als Schaltungsanordnung auch hier eine selbsttätig arbeitende Strombegrenzungsschaltung verwendet, die dem durch sie hindurchfließenden Strom einen nur sehr kleinen, konstanten Widerstand entgegensetzt, solange dieser Strom kleiner als ein vorgegebener Grenzwert ist. Nähert sich der Strom diesem Grenzwert jedoch zu sehr an, so vergrößert die Strombegrenzungsschaltung in stetiger Weise ihren Widerstand, so daß der Strom den vorgegebenen Grenzwert nicht übersteigen kann. Im Gegensatz zu einem einfachen Schalter, der beim Öffnen den ihn durchfließenden Strom schlagartig auf den Wert Null begrenzt, hat dieser stetige Begrenzungsvorgang den Vorteil, daß bei ihm keine Spannungsspitzen in der Ausgangsspannung der Stelleinheit auftreten. Der Grenzwert wird so gewählt, daß er nur wenig größer ist, als derjenige Strom, der im ersten oder zweiten Schaltzustand durch die weitere Wicklung und auch über die in diesen beiden Schaltzuständen mit der weiteren Wicklung in Reihe liegende Strombegrenzungsschaltung fließen muß.

Da bei dieser Anordnung der weitere Leiter, der den dritten und den vierten Schalter miteinander verbindet, die weitere Wicklung kurzschließen würde, wenn der dritte und der vierte Schalter gleichzeitig geschlossen sind, wird hier der Übergang vom ersten in den zweiten Schaltzustand vorzugsweise so durchgeführt, daß zuerst der zweite Schalter geschlossen wird, der das zweite Ende der weiteren Wicklung mit dem ausgangsseitigen Ende der ersten Wicklung verbindet. Da im ersten Schaltzustand der erste Schalter geschlossen ist, der das erste Ende der weiteren Wicklung mit dem eingangsseitigen Ende der ersten Wicklung verbindet, und da dieser erste Schalter zunächst geschlossen bleibt, liegen somit die beiden Wicklungen vorübergehend elektrisch zueinander parallel und die Stelleinheit befindet sich im dritten Schaltzustand. Dabei verhindert die Strombegrenzungsschaltung, daß über den geschlossenen zweiten Schalter und den ebenfalls noch geschlossenen vierten Schalter, der das zweite Ende der weiteren Wicklung mit dem weiteren Leiter und damit auch mit dem Anschluß-Verbindungsleiter verbindet, ein unzulässig hoher Kurzschlußstrom fließt. Der Umschaltvorgang wird dann in der Weise fortgesetzt, daß der vierte Schalter geöffnet und danach der dritte Schalter geschlossen wird, der das erste Ende der weiteren Wicklung mit dem weiteren Leiter verbindet. Auch bei dieser Schalterstellung befindet sich die Stelleinheit im dritten Schaltzustand, da der erste und der zweite Schalter noch immer geschlossen sind. Ein unzulässig hoher Kurzschlußstrom könnte jetzt über den ersten und dritten Schalter fließen, was aber wieder durch die Strombegrenzungsschaltung verhindert wird. Schließlich wird dann der erste Schalter geöffnet, so daß die Stelleinheit in den zweiten Schaltzustand übergeht.

Entsprechendes gilt für das Umschalten vom zweiten in den ersten Schaltzustand.

Bei einer Stelleinheit, bei der der Transformator zwei weitere Wicklungen umfaßt, sind die beiden Schalter, mit denen die beiden freien Enden der beiden weiteren Wicklungen mit dem Anschluß-Verbindungsleiter verbindbar sind, ebenfalls vorzugsweise durch einen weiteren Leiter unmittelbar galvanisch leitend miteinander verbunden, und ist zwischen dem weiteren Leiter und dem Anschluß-Verbindungsleiter eine Schaltungsanordnung der oben beschriebenen Art vorgesehen, die vorzugsweise wieder als Strombegrenzungsschaltung ausgebildet ist.

Auch hier wird beim Übergang vom ersten in den zweiten Schaltzustand oder vom zweiten in den ersten Schaltzustand zuerst der bisher offene Schalter geschlossen, wodurch die Stelleinheit vorübergehend in den dritten Schaltzustand übergeht; die Strombegrenzungsschaltung verhindert dabei wiederum das Fließen eines unzulässig hohen Kurzschlußstroms. Kurze Zeit später wird dann der im bisherigen Schaltzustand geschlossene Schalter geöffnet, wodurch die Stelleinheit in den neuen Schaltzustand übergeht.

Soll die Stelleinheit nicht übergangsweise sondern für längere Zeit im dritten Schaltzustand gehalten werden, so kann vorteilhafterweise die Strombegrenzungsschaltung so ausgebildet sein, daß sie auf wenigstens einen zweiten Strombegrenzungswert umgeschaltet werden kann, der wesentlich niedriger als der erste Strombegrenzungswert, vorzugsweise gleich Null ist. Auf diese Weise ist dann praktisch die zur ersten Wicklung des Transformators parallel liegende weitere Wicklung bzw. Serienschaltung aus zwei weiteren Wicklungen völlig von der Eingangsspannung  $U_E$  getrennt und es fließt zum Anschluß-Verbindungsleiter überhaupt kein Kurzschlußstrom mehr.

Eine selbsttätig arbeitende Strombegrenzungsschaltung hat gegenüber einem Schalter neben der bereits erwähnten Vermeidung von Schaltspitzen den Vorteil, daß sie ohne jegliche Verzögerung verhindert, daß der durch sie hindurchfließende Strom den vorgegebenen Grenzwert übersteigt.

Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, daß der Grenzwert, auf den die Strombegrenzungsschaltung den sie durchfließenden Strom begrenzt, nicht nur zwischen zwei Werten hin- und hergeschaltet sondern in einem vorgegebenen Bereich kontinuierlich verändert werden kann. Dadurch ist es einerseits möglich, den im dritten Schaltzustand fließenden Kurzschlußstrom auf einen unkritischen Wert zu begrenzen, und andererseits die Ströme, die im ersten bzw. zweiten Schaltzustand durch die betreffende weitere Wicklung fließen, erforderlichenfalls zu steuern bzw. zu regeln.

Werden als Schalter Triacs verwendet, die bekanntlich zu beliebigen Zeitpunkten geschlossen aber nur

beim Nulldurchgang des sie durchfließenden Stroms geöffnet werden können, so müssen bei den oben beschriebenen Umschaltvorgängen keine besonderen weiteren Kriterien hinsichtlich der Schaltzeitpunkte beachtet werden.

Für die verschiedenen Ausführungsformen von erfindungsgemäßen Stelleinheiten ergeben sich dabei folgende Zeitabläufe:

Umfaßt eine Stelleinheit einen Transformator mit einer einzigen weiteren Wicklung und vier Schalter, von denen der erste und zweite als Triac und der dritte und vierte als Strombegrenzungsschaltung ausgebildet ist, so können beim Umschalten vom ersten (zweiten) in den zweiten (ersten) Schaltzustand die bis zum Schaltbeginn offenen Schalter, d.h. der zweite (erste) und dritte (vierte) Schalter sofort und ohne jede Verzögerung geschlossen werden, wodurch die Stelleinheit in den dritten Schaltzustand übergeht. Um von diesem in den zweiten (ersten) Schaltzustand zu gelangen, müssen der erste (zweite) und vierte (dritte) Schalter geöffnet werden. Da hier angenommen wird, daß der erste (zweite) Schalter ein Triac ist, ist dies nur dann möglich, wenn der ihn und die weitere Wicklung durchfließende Kurzschlußstrom einen Nulldurchgang aufweist. Dies führt zu einer zeitlichen Verzögerung, die im ungünstigsten Fall eine halbe Periode des Wechselstroms betragen kann. Dies gilt in gleicher Weise, wenn die Stelleinheit den dritten Schaltzustand nicht nur beim Übergang vom ersten in den zweiten oder vom zweiten in den ersten Schaltzustand kurzzeitig durchläuft sondern sich längere Zeit im dritten Schaltzustand befunden hat und von diesem in den ersten oder zweiten Schaltzustand gebracht werden soll.

Auch der folgende Effekt tritt bei allen diesen Übergängen immer dann ein, wenn der dritte Schaltzustand verlassen wird: Nach dem Öffnen der Schalter fließt im ersten bzw. zweiten Schaltzustand durch die dann an ihrer Steuerspannung liegende weitere Wicklung ein Strom, der von einer ganz anderen Spannungsquelle als der Kurzschlußstrom, nämlich im ersten Schaltzustand von der Eingangsspannung der Stelleinheit und im zweiten Schaltzustand von der Ausgangsspannung der Stelleinheit getrieben wird; dieser Strom ist in Abhängigkeit vom Laststrom gegen den vor dem Öffnen der Schalter fließenden Kurzschlußstrom phasenverschoben, d.h. im Regelfall sind diese beiden Ströme nicht phasengleich. Somit tritt also bei der Verwendung von Triacs beim Übergang vom dritten in den zweiten bzw. ersten Schaltzustand in der dann an der Steuerspannung liegenden weiteren Wicklung eine starke Änderung des durch diese weitere Wicklung hindurchfließenden Stroms auf, was sich in der Ausgangsspannung der Stelleinheit durch eine Spannungsspitze auf der ersten auf das Öffnen des betreffenden Schalters folgenden Halbwelle bemerkbar macht. Erst die zweite folgende Halbwelle besitzt dann den exakten neuen Amplitudenwert und weist keinerlei Überschwinger oder Spannungsspitzen mehr auf.

Bei allen diesen Umschaltvorgängen kann sich somit in Verbindung mit der oben erwähnten Wartezeit bis zum Eintreten des nächsten Nulldurchgangs des Kurzschlußstroms eine Gesamtumschaltdauer ergeben, die für bestimmte Anwendungsfälle zu lang ist.

Noch etwas ungünstiger ist die Situation bei einer Stelleinheit, bei der der Transformator eine einzige weitere Wicklung aufweist und bei der alle vier Schalter als Triacs ausgebildet sind. Wie oben bereits geschildert, dürfen hier beim Übergang vom ersten (zweiten) Schaltzustand in den zweiten (ersten) Schaltzustand die beiden bis zu Beginn des Umschaltvorganges offenen Schalter, nämlich der zweite (erste) und der dritte (vierte) Schalter nicht gleichzeitig geschlossen werden. Vielmehr darf hier zunächst nur der zweite (erste) Schalter geschlossen werden; dann muß der vierte (dritte) Schalter geöffnet werden, was bei Verwendung von Triacs erst beim nächsten Nulldurchgang des diesen Schalter durchfließenden Stromes möglich ist. Mit einem gewissen zeitlichen Sicherheitsabstand kann dann der dritte (vierte) Schalter geschlossen werden und erst danach ist es möglich, den ersten (zweiten) Schalter zu öffnen, wofür wieder ein Strom-Nulldurchgang abgewartet werden muß. Beim Umschalten vom ersten in den zweiten Schaltzustand oder umgekehrt kann sich hier also im ungünstigsten Fall eine Wartezeit von zwei Halbperioden ergeben. Wird die Stelleinheit längere Zeit im dritten Schaltzustand gehalten, so können der dritte und vierte Schalter geöffnet werden. Soll dann ein Übergang in den ersten (oder zweiten) Schaltzustand erfolgen, so muß zunächst der vierte (dritte) Schalter geschlossen werden, was jederzeit geschehen kann; hierauf wird dann der zweite (erste) Schalter geöffnet, wofür wieder ein Strom-Nulldurchgang abgewartet werden muß.

Da auch in diesen Fällen der Kurzschlußstrom und der Strom, der im neuen Schaltzustand durch die weitere Wicklung fließt, im Regelfall gegeneinander phasenverschoben sind, tritt wiederum die oben beschriebene Spannungsspitze auf der ersten Halbwelle der Ausgangsspannung auf, die auf den letzten Schaltschritt des gesamten Umschaltvorganges folgt. Es ergeben sich also Gesamtumschaltzeiten, die beim Übergang vom dritten in den ersten oder zweiten Schaltzustand genauso lang sind, wie bei der ersten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Stelleinheit, und die beim Übergang vom ersten in den zweiten oder vom zweiten in den ersten Schaltzustand sogar noch länger sind.

Bei der dritten Ausführungsform, bei der der Transformator zwei weitere Wicklungen aufweist, die

jeweils mit Hilfe eines Schalters mit dem weiteren Leiter und über diesen und eine Strombegrenzungsschaltung mit dem Anschluß-Verbindungsleiter verbindbar sind, muß bei Verwendung von Triacs als Schalter im ungünstigsten Fall ebenfalls eine Halbperiode gewartet werden, bis beim Übergang vom dritten in den ersten oder zweiten Schaltzustand der entsprechende Schalter geöffnet werden kann. Dabei ist es wieder ohne Bedeutung, ob sich die Stelleinheit längere Zeit im dritten Schaltzustand befunden hat oder ihn beim Umschalten vom ersten, in den zweiten oder vom zweiten in den ersten Schaltzustand kurzzeitig durchläuft.

Auch hier ist beim Umschalten in den ersten oder zweiten Schaltzustand der Strom, der nach Beendigung des Umschaltvorganges durch die weitere Wicklung fließt, die im neuen Schaltzustand an ihrer Steuerspannung liegt, gegen den zuvor durch diese Wicklung fließenden Kurzschlußstrom phasenverschoben, so daß sich dieselbe störende Spannungsspitze ergibt wie bei den beiden vorausgehend beschriebenen Ausführungsformen.

Will man die Umschaltvorgänge bei allen drei Ausführungsformen noch schneller gestalten, so ist erfindungsgemäß vorgesehen, statt Triacs elektronische Schalter zu verwenden, die zu beliebigen Zeitpunkten nicht nur geschlossen sondern auch wieder geöffnet werden können. Hierzu bieten sich beispielsweise V-MOS-Transistoren an, von denen jeweils zwei mit ihren Source-Drain-Strecken mit entgegengesetzter Polung in Reihe geschaltet werden müssen, um einen Wechsellspannungsschalter aufzubauen. Mit diesen Schaltern entfallen beim Öffnen die Wartezeiten bis zum nächsten Strom-Nulldurchgang. Überdies kann für die Öffnungsvorgänge, die jeweils aus dem dritten Schaltzustand in den ersten oder zweiten Schaltzustand führen, ein vom Nulldurchgang des Kurzschlußstroms unabhängiges Schaltkriterium angewendet werden, das zu einer möglichst geringen Änderung des Stroms in der nach dem Umschaltvorgang an ihrer Steuerspannung liegenden weiteren Wicklung führt. Verwendet man beispielsweise als Schaltzeitpunkt denjenigen Zeitpunkt, in welchem der Strom, der nach dem Umschaltvorgang durch die an ihrer Steuerspannung liegende weitere Wicklung fließt, seinen Nulldurchgang besitzt, so läßt sich erreichen, daß bereits bei der ersten Halbwelle, die auf diesen Schaltvorgang folgt, die Ausgangsspannung der Stelleinheit ohne Spannungsspitzen oder Spannungseinbrüche exakt den neuen Amplitudenwert besitzt.

Da in dem Zwischenzeitraum, in dem sich die Stelleinheit im dritten Schaltzustand befindet, ein anderer Strom durch die eine oder die beiden weiteren Wicklungen fließt, als dann, wenn im neuen Schaltzustand die entsprechende weitere Wicklung an ihrer Steuerspannung liegt, wird erfindungsgemäß der Zeitabstand des Nulldurchgangs des zuletzt genannten Stroms vom Nulldurchgang der Eingangs-Wechsellspannung zu einem früheren Zeitpunkt gemessen und gespeichert, in dem sich die Stelleinheit in dem betreffenden Schaltzustand befindet. Mit Hilfe dieses gespeicherten Wertes kann dann ausgehend von einem Nulldurchgang der Eingangs-Wechsellspannung der oben erwähnte günstige Schaltzeitpunkt bestimmt werden.

Somit lassen sich also bei allen drei Ausführungsformen die Zeiten erheblich verkürzen, die zwischen dem Einleiten eines Umschaltvorganges und dem Zeitpunkt vergehen, in welchem die Ausgangsspannung ihren neuen Amplitudenwert stabil, d.h. ohne aufgeprägte Spannungsspitzen oder Spannungseinbrüche erreicht hat. Befindet sich die Stelleinheit im ersten oder im zweiten Schaltzustand und wird ein Umschalten in den zweiten oder ersten Schaltzustand erforderlich, so läßt sich bei dem mit V-MOS-Transistoren als Schaltern ausgestatteten Ausführungsformen die erste Hälfte der hierbei in der Ausgangsspannung auftretenden Änderung zu jedem beliebigen Zeitpunkt sofort und die zweite Hälfte dieser Änderung innerhalb einer Halbperiode der zu schaltenden Wechsellspannung durchführen.

Eine solche Änderung bzw. Beeinflussung der Ausgangsspannung in zwei sehr rasch aufeinanderfolgenden Schritten ist außerordentlich vorteilhaft, weil hierdurch dem System trotz der großen Schnelligkeit, mit der der neue Zustand erreicht wird, genügend Zeit bleibt, um ohne Schaltspitzen und Überschwinger von einem Schaltzustand in den anderen zu wechseln.

Eine solche in zwei Schritten erfolgende Änderung ist allerdings bei einer einzelnen Stelleinheit nicht möglich, wenn diese sich bereits im dritten Schaltzustand befindet und aus diesem heraus in den ersten oder zweiten Schaltzustand gebracht werden soll. Sie ändert dabei zwar die Ausgangsspannung nur um die Hälfte der maximal möglichen Änderung, doch muß diese Hälfte in einem einzigen Schritt bewältigt werden.

Ein vierter Schaltzustand kann für eine Stelleinheit, deren Transformator nur eine einzige weitere Wicklung aufweist, dadurch hergestellt werden, daß die Schalter der Stelleinheit so betätigt werden, daß der Stromkreis der weiteren Wicklung einen hohen Widerstandswert besitzt, der auch nach Heruntertransformation auf der Seite der ersten Wicklung einen hohen Widerstandswert liefert. In diesem Schaltzustand wird die gesamte Magnetisierung des Transformator-kerns von der Durchflutung der ersten Wicklung bewirkt. Es tritt an der ersten Wicklung ein von der Größe dieser Durchflutung und damit von der Größe des Laststroms abhängiger Spannungsabfall auf. Diese Drosselwirkung der ersten Wicklung im vierten Schaltzustand kann dazu verwendet werden, beim Auftreten eines Kurzschlusses an der Last die der Last zugeführte Leistung auf ein ungefährliches Maß zu begrenzen.

Besonders günstige Umschaltmöglichkeiten ergeben sich, wenn zwei Stelleinheiten gemäß der Erfin-

dung zu einem Stelleinheiten-Paar kombiniert werden.

Es handelt sich dabei um zwei in Reihe geschaltete Stelleinheiten, deren Transformatoren so bemessen sind, daß jede der beiden Stelleinheiten sowohl in addierender als auch in subtrahierender Weise in etwa die Hälfte der Gesamtspannungsänderung zu bewirken vermag, die vom Stelleinheiten-Paar aufgebracht werden soll. Soll z.B. das Stelleinheiten-Paar die Eingangsspannung um  $\pm \Delta U_P$  ändern können, so kann jede der beiden Stelleinheiten für sich allein die ihr zugeführte Eingangsspannung um ca.  $\pm \Delta U_P/2$  ändern. Befindet sich jede der beiden Stelleinheiten in ihrem ersten Schaltzustand, so wird dies als erste Schaltzustands-Kombination des Stelleinheiten-Paares bezeichnet und es gilt für die Ausgangsspannung des Stelleinheiten-Paares

10

$$U_{AP1} = U_{EP} + \Delta U_P$$

wenn  $U_{EP}$  die Eingangsspannung des Stelleinheiten-Paares ist.

Befindet sich jede der beiden Stelleinheiten in ihrem zweiten Schaltzustand, so wird dies als zweite Schaltzustands-Kombination des Stelleinheiten-Paares bezeichnet, und es gilt

15

$$U_{AP2} = U_{EP} - \Delta U_P.$$

20

Weiterhin sind die Windungsverhältnisse der beiden Transformatoren so aufeinander abgestimmt, daß die Wirkungen der beiden Stelleinheiten einander kompensieren, wenn sich das Stelleinheiten-Paar in einer dritten Schaltzustands-Kombination befindet; in dieser dritten Schaltzustands-Kombination befindet sich beispielsweise die erste, d.h. näher an der Versorgungsspannungsquelle liegende Stelleinheit im ersten und die zweite Stelleinheit im zweiten Schaltzustand. Es gilt dann für die Ausgangsspannung des Stelleinheiten-

25

Paares

$$U_{AP3} = U_E + \frac{1}{2} \Delta U_P - \frac{1}{2} \Delta U_P =$$

$$= U_E.$$

30

35

Dabei ist von großem Vorteil, daß in allen drei Schaltzustands-Kombinationen die Verluste, die in den Stelleinheiten auftreten, extrem gering sind. Insbesondere erfolgt auch die unveränderte Weitergabe der Eingangsspannung auf den Ausgang des Stelleinheiten-Paares in der dritten Schaltzustands-Kombination praktisch verlustfrei. Ein solches Stelleinheiten-Paar besitzt den Vorteil, daß von jeder einzelnen Stelleinheit nur die Hälfte der für die betreffende Stufe vorgesehenen Spannungs- bzw. Leistungsänderung aufgebracht werden muß. Es werden zwar zwei Transformatoren benötigt, doch können diese der halben Leistung entsprechend auch erheblich kleiner und leichter dimensioniert werden. Dies ist insbesondere bei der Herstellung, dem Transport sowie bei der Ersatzteilhaltung von Vorteil.

40

Im allgemeinen bleibt für ein Stelleinheiten-Paar die vierte Schaltzustands-Kombination ungenutzt, bei der sich die erste Stelleinheit im zweiten Schaltzustand und die zweite Stelleinheit im ersten Schaltzustand befindet. Dies läßt sich in folgender Tabelle 1 zusammenfassen:

45

50

55

Tabelle 1

Schaltzustands-Kombination	Stelleinheit 1	Stelleinheit 2	Ausgangsspannung
1	+	+	$U_{A1} = U_E + \Delta U_P$
2	-	-	$U_{A2} = U_E - \Delta U_P$
3	+	-	$U_{A3} = U_E$

Grundsätzlich ist es hier nicht erforderlich, daß jede der beiden Stelleinheiten des Stelleinheiten-Paares für sich allein in den dritten Schaltzustand gebracht werden kann.

Vorzugsweise wird jedoch auch bei einem Stelleinheiten-Paar jede der beiden Stelleinheiten gemäß einer der oben beschriebenen Ausführungsformen so ausgebildet, daß sie für sich allein in den dritten Schaltzustand gebracht werden kann; sieht man dabei in jeder Stelleinheit die oben erwähnte Strombegrenzungsschaltung bzw. Strombegrenzungsschaltungen vor, so läßt sich mit Hilfe von V-MOS-Transistor-Schaltern ein außerordentlich schnelles, in mehreren Teilschritten erfolgendes Umschalten von jeder Schaltzustands-Kombination des Stelleinheiten-Paares in jede andere Schaltzustands-Kombination durchführen.

Soll z.B. das Stelleinheiten-Paar aus der zweiten Schaltzustands-Kombination ( $U_{AP2} = U_{EP} - \Delta U_P$ ) in die dritte Schaltzustands-Kombination ( $U_{AP3} = U_{EP}$ ) gebracht werden, so kann dies bei einem erfindungsgemäßen Stelleinheiten-Paar ohne Verzögerung dadurch geschehen, daß in beiden Stelleinheiten der Schalter geschlossen wird, durch dessen Schließen die Stelleinheit für sich allein in ihren dritten Schaltzustand gebracht wird, wie dies oben beschrieben wurde. Dadurch ergibt sich eine weitere Schaltzustands-Kombination, die hinsichtlich der Ausgangsspannung  $U_{AP}$  des Stelleinheiten-Paares mit der oben beschriebenen dritten Schaltzustands-Kombination äquivalent ist. Es gilt also auch hier  $U_{AP3}' = U_{EP}$ . Diese Änderung der Ausgangsspannung um  $\Delta U_P$  kann zu beliebigen Zeitpunkten erfolgen und die Ausgangsspannung geht praktisch unverzüglich vom alten Spannungswert  $U_{AP2}$  auf den neuen Spannungswert  $U_{AP3}'$  über.

Entsprechendes gilt für einen Übergang des Stelleinheiten-Paares aus der ersten Schaltzustands-Kombination ( $U_{AP1} = U_{EP} + \Delta U_P$ ) in die weitere Schaltzustands-Kombination.

Allerdings ist es zweckmäßig, das Stelleinheiten-Paar dann, wenn die Ausgangsspannung  $U_{AP}$  längere Zeit gleich der Eingangsspannung  $U_{EP}$  bleiben soll, aus dieser weiteren Schaltzustands-Kombination in die oben beschriebene dritte Schaltzustands-Kombination umzuschalten. Dies erfolgt zu den jeweils günstigen Zeitpunkten dadurch, daß durch das Öffnen der entsprechenden Schalter die erste Stelleinheit in ihren ersten Schaltzustand und die zweite Stelleinheit in ihren zweiten Schaltzustand gebracht wird. Der Ausgangsspannung des Stelleinheiten-Paares geht dabei von  $U_{AP3}' = U_{EP}$  auf  $U_{AP3} = U_{EP}$  über, ändert sich also praktisch nicht.

Die dritte Schaltzustands-Kombination hat gegenüber der weiteren Schaltzustands-Kombination den Vorteil, daß aus ihr heraus erforderlichenfalls ein Übergang in die erste oder die zweite Schaltzustands-Kombination in zwei gleich großen Änderungsschritten erfolgen kann, von denen der erste ohne jede Verzögerung dadurch durchführbar ist, daß durch Schließen des betreffenden Schalters die zweite oder die erste Stelleinheit in ihren dritten Schaltzustand gebracht wird. Dadurch geht die Ausgangsspannung des Stelleinheiten-Paares augenblicklich von  $U_{AP3} = U_E$  auf  $U_E + \Delta U_P/2$  oder  $U_P - \Delta U_P/2$  über. Zum nächsten günstigen Zeitpunkt, der spätestens innerhalb der nächsten Halbperiode der Wechselspannung eintritt, wird dann die zweite oder die erste Stelleinheit aus dem dritten in den ersten oder den zweiten Schaltzustand gebracht, wodurch das Stelleinheiten-Paar in die erste bzw. zweite Schaltzustands-Kombination übergeht, in der  $U_{AP1} = U_E + \Delta U_P/2 + \Delta U_P/2$  bzw.  $U_{AP2} = U_E - \Delta U_P/2 - \Delta U_P/2$  gilt.

Der Übergang von der ersten in die zweite oder von der zweiten in die erste Schaltzustands-Kombination erfolgt ebenfalls in zwei Schritten, von denen der erste sofort und der zweite spätestens innerhalb der nächsten Halbperiode der Wechselspannung durchgeführt werden kann. In diesem Fall



besteht der erste Schritt darin, daß beide Stelleinheiten gleichzeitig durch Schließen der entsprechenden Schalter in ihren dritten Schaltzustand gebracht werden; im zweiten Schritt werden dann die beiden Stelleinheiten durch Öffnen der entsprechenden Schalter jeweils in ihren zweiten bzw. ihren ersten Schaltzustand übergeführt.

5 Wird eine aus einem oder mehreren solcher Stelleinheiten-Paare (die dann unterschiedliche Spannungsänderungen bewirken können) bestehende Transformator-Schaltung als Spannungsregler oder Spannungskonstanter eingesetzt, so lassen sich mit ihr auch die extrem hohen Anforderungen hinsichtlich der Schaltgeschwindigkeit und Schaltgenauigkeit erfüllen, wie sie beispielsweise bei der Stromversorgung von Datenverarbeitungsanlagen gestellt werden.

10 Um einen größeren Bereich von Ausgangsspannungswerten in kleinen Spannungsschritten Überdecken zu können, ist es vorteilhaft, mehrere Stufen, die entweder aus einzelnen Stelleinheiten die jeweils für sich in den dritten Schaltzustand gebracht werden können oder aus den oben beschriebenen Stelleinheiten-Paaren bestehen (wobei in einer Anordnung auch beide Arten gemischt werden können), seriell hintereinander zu schalten und die Spannungsdifferenzen  $\pm \Delta U_1, \dots, \pm \Delta U_n$ , die n solcher Stufen erzeugen können, 15 voneinander verschieden zu wählen. Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Prozentwerte, die sich ergeben, wenn man jede dieser Spannungsdifferenzen durch die durch 100 geteilte Versorgungsspannung dividiert, zueinander im Verhältnis ganzzahliger Dreierpotenzen stehen. Gilt also für die kleinste, durch eine der Stufen erzeugbare Spannungsdifferenz  $\pm \Delta U_{\min}$ :

$$\frac{\pm \Delta U_{\min}}{U_V} \cdot 100 = A \%$$

20

so werden die Spannungsdifferenzen der anderen Stufen so gewählt, daß sie in etwa gleich  $\pm 3A\%$ ,  $\pm 9A\%$  usw. der Versorgungsspannung  $U_V$  sind.

Sind beispielsweise in einer Transformatorschaltung drei Stufen hintereinander geschaltet, und werden für jede Stufe die drei oben genannten Schaltzustände bzw. Schaltzustands-Kombinationen verwendet, so 25 sind für die gesamte Transformatorschaltung siebenundzwanzig Kombinationen von Schaltzuständen möglich, von denen eine die von der Spannungsquelle abgegebene Versorgungsspannung mit nahezu unveränderter Amplitude an die Last gelangen läßt, während dreizehn Kombinationen die Amplitude der Versorgungsspannung in etwa um ganzzahlige Vielfache von A% erhöhen und dreizehn Kombinationen diese Amplitude in etwa um ganzzahlige Vielfache von A% erniedrigen. Dies ist in Tabelle 2 genauer dargestellt.

35 In dieser Tabelle ist in der linken Spalte die laufende Nummer n der jeweiligen Kombination von Schaltzuständen wiedergegeben, wobei durch das hochgestellte Vorzeichen "+" oder "-" angedeutet wird, ob es sich um eine Kombination handelt, die zu einer Vergrößerung ("+" ) der Amplitude der Versorgungsspannung führt oder um eine Kombination, die die Versorgungsspannung erniedrigt ("-").

40

45

50

55

Tabelle 2

5

Kombination n	Schaltzustand der Stufen mit einer Ände- rung um			aufgeprägte Amplituden- Änderung in %
	9A %	3A %	A %	
0	O	O	O	O
15 1 <sup>+</sup>	O	O	+	+ 1A
2 <sup>+</sup>	O	+	-	+ 2A
3 <sup>+</sup>	O	+	O	+ 3A
4 <sup>+</sup>	O	+	+	+ 4A
20 5 <sup>+</sup>	+	-	-	+ 5A
6 <sup>+</sup>	+	-	O	+ 6A
7 <sup>+</sup>	+	-	+	+ 7A
8 <sup>+</sup>	+	O	-	+ 8A
25 9 <sup>+</sup>	+	O	O	+ 9A
10 <sup>+</sup>	+	O	+	+10A
11 <sup>+</sup>	+	+	-	+11A
30 12 <sup>+</sup>	+	+	O	+12A
13 <sup>+</sup>	+	+	+	+13A
1 <sup>-</sup>	O	O	-	- 1A
35 2 <sup>-</sup>	O	-	+	- 2A
3 <sup>-</sup>	O	-	O	- 3A
4 <sup>-</sup>	O	-	-	- 4A
5 <sup>-</sup>	-	+	+	- 5A
40 6 <sup>-</sup>	-	+	O	- 6A
7 <sup>-</sup>	-	+	-	- 7A
8 <sup>-</sup>	-	O	+	- 8A
9 <sup>-</sup>	-	O	O	- 9A
45 10 <sup>-</sup>	-	O	-	-10A
11 <sup>-</sup>	-	-	+	-11A
12 <sup>-</sup>	-	-	O	-12A
50 13 <sup>-</sup>	-	-	-	-13A

In der mittleren Spalte bedeutet ein "+", daß sich in der betreffenden Stufe die eine Stelleinheit bzw. beide Stelleinheiten eines Paares im ersten Schaltzustand befinden, so daß die Amplitude der Versorgungsspannung um 9A%, 3A% oder A% vergrößert wird, während ein "-" eine entsprechende Verkleinerung bedeutet und "O" den dritten Schaltzustand einer einzelnen Stelleinheit bzw. die Schaltzustands-Kombination 3 (siehe Tabelle 1) des betreffenden Stelleinheiten-Paares symbolisiert, in dem bzw. in der die

Amplitude der Eingangs-Wechselspannung unverändert weitergegeben wird. In der rechten Spalte sind die durch die jeweilige Kombination der Schaltzustände aller Stufen erzielbaren Gesamtänderungen der Amplitude wiedergegeben. Dabei sind nur gerundete Werte angegeben, die nicht berücksichtigen, daß sich die Eingangsspannung der näher bei der Last angeordneten Stufen in Abhängigkeit vom Schaltzustand der vorausgehenden Stufen ändern kann.

Man sieht, daß die Amplitudenänderung mit Hilfe einer solchen erfindungsgemäßen Transformatorschaltung in diskreten Schritten erfolgt, wobei die Schrittweite von einer Schaltzustands-Kombination zur nächsten immer in etwa gleich  $A\%$  der jeweiligen Versorgungsspannung ist.

Ist eine Stufe aus zwei Stelleinheiten aufgebaut, die ein Paar bilden, so können alternativ zu der eben erläuterten Anordnung auch von jedem Stelleinheiten-Paar nur zwei Schaltzustands-Kombinationen Verwendung finden, beispielsweise die Schaltzustands-Kombination 0, in der die Ausgangsspannung gleich der Eingangsspannung ist, und die Kombination "-", in der die Ausgangsspannung um  $n \cdot A\%$  niedriger als die Eingangsspannung ist, wobei  $n$  für jedes Stelleinheiten-Paar einen anderen ganzzahligen Wert annimmt. Für diesen Verwendungsfall ist es möglich, die Stelleinheiten-Paare so zu konstruieren, daß sie nur diese beiden Schaltzustands-Kombinationen einnehmen können. Dies kann in der Weise geschehen, daß z.B. die vordere Stelleinheit eines jeden Paares eine fest verdrahtete, nicht schaltbare weitere Wicklung aufweist, die permanent beispielsweise eine negativ aufgeprägte Spannung  $-(n/2) \cdot A\%$  induziert, während die zweite Stelleinheit eine addierende und eine subtrahierende weitere Wicklung besitzt, die alternativ so geschaltet werden können, daß sie entweder eine Spannung von  $+(n/2) \cdot A\%$  oder von  $-(n/2) \cdot A\%$  induzieren, was in Verbindung mit der induzierten Spannung  $-(n/2) \cdot A\%$  der vorderen Stelleinheit entweder eine Spannungsänderung 0 oder  $-n \cdot A\%$  ergibt. Entsprechend können auch Stelleinheiten-Paare vorgesehen werden, die nur die beiden Schaltzustands-Kombinationen 0 und  $+n \cdot A\%$  annehmen können.

In allen diesen Fällen erfolgt die Änderung der Ausgangsspannung der gesamten Transformatorschaltung gegenüber der Eingangsspannung nicht nach dem in Tabelle 2 wiedergegebenen Ternär-Kode sondern nach einem Binär-Kode. Zwar werden hier zur Überdeckung desselben Spannungsänderungsbereiches mehr Stelleinheiten-Paare als beim Ternär-Kode benötigt; es gibt jedoch Anwendungsfälle, in denen ohnehin die Eingangsspannung ausgehend von einer Gesamtänderung 0 nur in einer Richtung verändert werden soll und/oder der Spannungsänderungsbereich nicht groß ist. Dann kann der Vorteil einer rein binären Ansteuerung den erhöhten Bedarf an Stelleinheiten unter Umständen überwiegen.

Unabhängig davon, wieviele Stufen hintereinander geschaltet werden und ob ein Binär- oder ein Ternär- oder ein anderer Kode Verwendung findet, ist es ein hervorstechendes Merkmal einer derart aufgebauten erfindungsgemäßen Transformatorschaltung, daß sie eine stufenweise bzw. digitale Beeinflussung auch von sehr großen Leistungen erlaubt. Im Gegensatz zu analog arbeitenden Systemen besitzt sie eine außerordentlich hohe Regel- bzw. Steuerungsgeschwindigkeit. Die jeweils erzielte Genauigkeit hängt dabei im wesentlichen nur von der Zahl der verwendeten Stelleinheiten bzw. Stufen ab.

Der typische und bevorzugte Anwendungsfall einer aus zwei, drei oder mehr Stufen bestehenden erfindungsgemäßen Transformatorschaltung besteht jedoch nicht darin, daß ausgehend von einer festen, von einer Spannungsquelle stammenden Versorgungsspannung neun, siebenundzwanzig oder mehr Ausgangsspannungen nacheinander wahlweise erzeugbar sein sollen.

Vielmehr ist in einem besonders bevorzugten Anwendungsfall der Einsatz einer solchen Transformatorschaltung als Spannungskonstanter und/oder Spannungsregler vorgesehen. Das bedeutet, daß als Sollwert  $S_L$  für die der Last zugeführte Spannung entweder der Nennwert der von der Spannungsquelle abgegebenen Versorgungsspannung  $U_V$  oder ein anderer Spannungswert gewählt werden können. Allerdings muß ein solcher anderer Sollwert innerhalb des Änderungsbereiches der erfindungsgemäßen Transformatorschaltung liegen. Liegt er sehr nahe an der Grenze dieses Änderungsbereiches, so ist eine Regelung der Lastspannung  $U_L$  nur bei Abweichungen vom Sollwert  $S_L$  in einer Richtung möglich. Dies ist aber in Fällen, in denen Abweichungen in der anderen Richtung nicht auftreten, völlig ausreichend.

Im folgenden wird die Anwendung als symmetrischer Spannungsregler genauer erläutert, mit dessen Hilfe verhindert wird, daß die Amplitude der einer Last zugeführten Lastspannung von einem vorgegebenen Sollwert  $S_L$  um mehr als  $\pm \delta \%$  abweicht, der gleich dem Nennwert der Versorgungsspannung  $U_V$  ist, die in einem wesentlich größeren Bereich, beispielsweise um maximal  $\pm \Delta \%$  des Nennwertes schwanken kann.

Zu diesem Zweck umfaßt eine erfindungsgemäße Schaltungsanordnung neben einer Transformatorschaltung mit entsprechend vielen Stufen eine Meßfühleranordnung, die die Amplitude der versorgungsspannung und/oder die Amplitude der Lastspannung mißt, eine Komparatoranordnung, die das oder die Meßfühlersignale mit einem oder mehreren Referenzwerten vergleicht und bei Abweichungen entsprechende Differenzsignale erzeugt, sowie eine Schaltersteuerung, die diese Differenzsignale beispielsweise mit einer fest einprogrammierten Tabelle von Differenzsignalwerten vergleicht. Aus diesem Vergleich ermittelt die Schaltersteuerung diejenige Kombination  $n^+$  oder  $n^-$  von Schaltzuständen (siehe Tabelle 2), die für eine

Kompensation der aufgetretenen Abweichung der Versorgungsspannung vom Nennwert erforderlich ist, so daß die Lastspannung innerhalb des vorgegebenen Bereiches  $S_L \pm \delta \%$  bleibt.

Es sei nun angenommen, daß die Amplitude der Versorgungsspannung zunächst dem Nennwert und damit auch dem Sollwert  $S_L$  entspricht, dann aber im Laufe der Zeit von diesem Nennwert in zunehmendem Maße beispielsweise nach oben abweicht: In diesem Fall muß die Schaltersteuerung von der zunächst vorhandenen Schaltzustands-Kombination  $n = 0$  (siehe Tabelle 2), bei der die Lastspannung  $U_L$  gleich der Versorgungsspannung  $U_V$  ist, rechtzeitig zur Schaltzustands-Kombination  $n = 1^-$ , bei weiterem Ansteigen zur Kombination  $n = 2^-$  usw. übergehen. Dadurch wird ein entsprechendes ganzzahliges Vielfaches von A % von der Versorgungsspannung subtrahiert und somit die Lastspannung im gewünschten Bereich  $S_L \pm \delta \%$  gehalten.

Bei stetig zunehmender positiver Abweichung erfolgt der Übergang von der  $n^-$ -ten Kombination zur  $(n+1)^-$ -ten Kombination jeweils bei einer bestimmten Schaltschwelle  $SW_{n \rightarrow (n+1)^-}$ , d.h. einem festgelegten Amplitudenwert der Versorgungsspannung. Nimmt die positive Abweichung wieder stetig ab, so erfolgt in etwa bei derselben Schaltschwelle in umgekehrter Richtung der Übergang von der  $(n+1)^-$ -ten Kombination zur  $n^-$ -ten Kombination von Schaltzuständen. Es ist vorteilhaft, die beiden zuletzt genannten Schaltschwellen durch eine kleine Spannungsdifferenz voneinander zu trennen. Durch die so erzielte "Hysterese" wird ein zu häufiges Schaltspiel in den Fällen verhindert, in denen die Versorgungsspannung  $U_V$  längere Zeit einen Wert besitzt, der gleich einer Schaltschwelle ist, und um diesen Wert geringfügig schwankt.

Entsprechendes gilt auch für negative Abweichungen der Amplitude der Versorgungsspannung vom Nennwert nur daß hier die Schaltschwellen mit  $SW_{n \rightarrow (n+1)^+}$  bezeichnet werden, weil in diesem Fall bei zunehmender Abweichung nach unten von der additiven Aufprägung des n-fachen der minimalen Amplitudenänderung A % zur additiven Aufprägung des  $(n+1)$ -fachen von A % übergegangen werden muß, um die gewünschte Konstanz der Amplitude der Lastspannung zu erzielen.

Bei jedem Übergang von einer Kombination von Schaltzuständen zu einer benachbarten Kombination ändert sich die Amplitude der Lastspannung sprunghaft etwa um A %. Vorzugsweise werden die Schaltschwellen so festgelegt, daß dann, wenn die Amplitude der Versorgungsspannung den Wert der betreffenden Schaltschwelle ohne sprunghafte Änderung durchläuft, die Amplitudenwerte  $U_{Lvor}$  und  $U_{Lnach}$  symmetrisch zum Sollwert liegen. Dabei ist  $U_{Lvor}$  die Amplitude der Lastspannung vor dem Umschaltvorgang und  $U_{Lnach}$  die Amplitude der Lastspannung nach dem Umschaltvorgang. Es soll also mit möglichst guter Näherung gelten:

$$|S_L - U_{Lvor}| = |S_L - U_{Lnach}|$$

weiterhin gilt

$$|U_{Lvor} - U_{Lnach}| = \frac{A \cdot S}{100}.$$

Der Prozentwert A ist zwar konstant, ist aber nicht auf den Sollwert  $S_L$  sondern auf die Amplitude der Eingangsspannung der jeweiligen Stufe bezogen. Somit ist die Größe von  $U_{Lvor}$  und  $U_{Lnach}$  davon abhängig, von welcher Kombination von Schaltzuständen ein Übergang zu einer benachbarten Kombination erfolgt.

Die obige Gleichung kann durch geeignete Wahl der Schaltschwellen SW in jedem Fall eingehalten werden. Auch ist es erfindungsgemäß möglich, durch eine entsprechende Wahl von A sicherzustellen, daß  $U_{Lvor}$  und  $U_{Lnach}$  innerhalb des durch die gewünschte Regelgenauigkeit  $S_L \pm \delta \%$  vorgegebenen Amplitudenbereiches liegen, wobei der Prozentwert auf den Sollwert  $S_L = 100 \%$  bezogen ist.

Bei der Festlegung des Wertes von A ist zu berücksichtigen, daß einerseits A möglichst groß sein sollte, damit möglichst wenig Stelleinheiten zur Abdeckung eines gegebenen Schwankungsbereiches  $\Delta$  erforderlich sind, daß aber andererseits A nicht zu groß gewählt werden darf, weil sonst die gewünschte Regelgenauigkeit  $\delta$  nicht eingehalten werden kann. Erfindungsgemäß wird A vorzugsweise so gewählt, daß es zwischen  $1,6 \cdot \delta$  und  $1,8 \cdot \delta$  liegt.

Es sei hier nochmals darauf hingewiesen, daß die Schaltschwellen unabhängig davon verwendet werden können, ob die Schaltungsanordnung als Spannungskonstanter oder als Spannungsregler arbeitet, ob also die Lastspannung  $U_L$  auf einem Sollwert  $S_L$  gehalten wird, der gleich dem Nennwert der von der Spannungsquelle abgegebenen Versorgungsspannung ist, oder auf einem Sollwert, der sich von diesem Nennwert unterscheidet.

Auch ist die Verwendung dieser Schaltschwellen unabhängig davon, ob mit der Meßfühleranordnung die Versorgungsspannung oder die Lastspannung gemessen wird. Im ersten Fall kann die Differenz der obigen Schaltschwellen zum Sollwert  $S_L$  unmittelbar in der von der Schaltersteuerung benutzten Tabelle

enthalten sein, mit welcher das vom Komparator gelieferte Differenzsignal verglichen wird. Im zweiten Fall muß die Schaltersteuerung aus der Annäherung der Amplitude der Lastspannung an einen der Werte  $U_{Lvor}$  und  $U_{Lnach}$  und/oder der Kenntnis der momentan gültigen Kombination von Schaltzuständen ermitteln, an welche Schaltschwelle sich die Versorgungsspannung gerade annähert und welche Umschaltung daher  
 5 vorgenommen werden muß.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, daß die Meßfühleranordnung die Amplitude der Wechselspannungen vor und hinter der Transformatorschaltung mißt. Es werden dann also die Änderungen sowohl der Versorgungsspannung  $U_V$  als auch der Lastspannung  $U_L$  erfaßt und so ausgewertet, daß die Schalter der Stelleinheiten so gesteuert werden, daß sich eine möglichst gute Konstanz der Amplitude der der Last  
 10 zugeführten Spannung ergibt.

Vorteilhafterweise kann eine erfindungsgemäße Transformatorschaltung bei Mehrphasensystemen mit oder ohne Null-Leiter eingesetzt werden. Im ersten Fall ist für jede Phase wenigstens eine Stelleinheit vorgesehen, deren erste Wicklung jeweils so in dem betreffenden Phasenleiter liegt, daß sie von dem auf diesem Phasenleiter fließenden Laststrom durchflossen wird, während der Anschluß-Verbindungsleiter einer  
 15 jeden Stelleinheit mit dem Null-Leiter des Mehrphasensystems verbunden ist.

Weist das Mehrphasensystem keinen von der Spannungsquelle zum Verbrauch führenden Null-Leiter auf, so werden die ersten Wicklungen der Stelleinheiten, die für eine bestimmte Phase vorgesehen sind, wieder in den Phasenleiter geschaltet und es werden sämtliche Anschluß-Verbindungsleiter miteinander verbunden, wodurch ein künstlicher Null-Leiter gebildet wird, der auf einem beliebigen Potential liegen kann.

Schließlich können bei einem Mehrphasensystem ohne Nulleiter die für die verschiedenen Phasen vorgesehenen Stelleinheiten in einer verketteten Schaltung angeordnet werden.

Die Erfindung wird im folgenden anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnung beschrieben; in dieser zeigt:

Fig. 1 eine Transformatorschaltung, bei der zwischen Spannungsquelle und Last eine Stelleinheit  
 25 angeordnet ist, die gemäß einer ersten Ausführungsform einen Transformator mit einer einzigen weiteren Wicklung besitzt, die zur ersten Wicklung parallelgeschaltet werden kann,

Fig. 2 eine Transformatorschaltung, bei der zwischen Spannungsquelle und Last eine Stelleinheit angeordnet ist, die gemäß einer zweiten Ausführungsform einen Transformator mit zwei weiteren Wicklungen besitzt, die miteinander in Reihe zur ersten Wicklung parallelgeschaltet  
 30 werden können,

Fig. 3 den Aufbau einer Strombegrenzungsschaltung, wie sie bei den in den Fig. 1 und 2 wiedergegebenen Stelleinheiten Verwendung findet,

Fig. 4 ein Diagramm zur Erläuterung der Wahl der günstigsten Schaltzeitpunkte beim Übergang von einem Schaltzustand in einen anderen,

Fig. 5 eine als einphasiger Spannungskonstanter aufgebaute Transformatorschaltung mit drei in  
 35 Reihe geschalteten Stufen, und

Fig. 6 eine weitere Ausführungsform eines Spannungskonstanters für ein 3-Phasen-System.

Fig. 1 zeigt eine Wechselspannungsquelle 1, die eine Versorgungsspannung  $U_V$  abgibt, die den Eingangsanschlüssen 2, 3 einer Stelleinheit 4 als Eingangsspannung  $U_E$  zugeführt wird. An den Ausgangs-  
 40 anschlüssen 5, 6 der Stelleinheit 4 erscheint eine Ausgangsspannung  $U_A$ , die einer Last 7 als Lastspannung  $U_L$  zugeführt wird.

Mit Hilfe der Stelleinheit 4 ist die Amplitude der Ausgangsspannung  $U_A$  gegenüber der Amplitude der Eingangsspannung  $U_E$  veränderbar. Zu diesem Zweck umfaßt die Stelleinheit 4 einen Transformator 8, dessen erste Wicklung 9 zwischen den Eingangsanschluß 2 und den Ausgangsanschluß 5 geschaltet ist,  
 45 während der Eingangsanschluß 3 mit dem Ausgangsanschluß 6 mittels des Anschluß-Verbindungsleiters 10 direkt galvanisch leitend verbunden ist. Auf diese Weise ist von der Spannungsquelle 1 her gesehen die erste Wicklung 9 mit der Last 7 in Reihe geschaltet.

Der Transformator 8 besitzt eine weitere Wicklung 11, die über den Eisenkern 12 des Transformators 8 mit dessen erster Wicklung 9 magnetisch gekoppelt ist. Mit den beiden Enden 13, 14 der weiteren  
 50 Wicklung 11 sind jeweils zwei Schalter 150, 152 bzw. 151, 153 verbunden.

Ist der Schalter 150 geschlossen, so verbindet er das Ende 13 der weiteren Wicklung 11 mit dem Eingangsanschluß 2, mit dem auch das eine Ende der ersten Wicklung 9 verbunden ist. Ist der Schalter 151 geschlossen, so verbindet er das andere Ende 14 der weiteren Wicklung 11 mit dem Ausgangsanschluß 5,  
 mit dem das andere Ende der ersten Wicklung 9 verbunden ist.

Ist der Schalter 152 geschlossen, so verbindet er das Ende 13 der weiteren Wicklung 11 mit einer  
 55 Leitung 155, mit der der Schalter 153 im geschlossenen Zustand auch das andere Ende 14 der weiteren Wicklung 11 verbindet. Zwischen der Leitung 155 und dem Anschluß-Verbindungsleiter 10 ist eine Schaltungsanordnung 157 vorgesehen, die ein einfacher steuerbarer Aus/Ein-Schalter sein kann, vorzugs-

weise aber von einer Strombegrenzungsschaltung gebildet wird, wie sie weiter unten unter Bezugnahme auf Fig. 3 noch genauer erläutert wird.

Mit Hilfe der Schalter 150 bis 153 kann die Stelleinheit 4 in vier verschiedene Schaltzustände gebracht werden. Im ersten Schaltzustand, in dem die Schalter 150 und 153 geschlossen sind, wird an die weitere  
 5 Wicklung 11 und die mit ihr in Reihe liegende Strombegrenzungsschaltung 157 die Eingangsspannung  $U_E$  angelegt. Da der Grenzwert, auf den die Strombegrenzungsschaltung 157 den sie durchfließenden Strom begrenzt, größer gewählt ist, als der Strom, der in diesem ersten Schaltzustand durch die weitere Wicklung 11 fließt, ist der Spannungsabfall an der Strombegrenzungsschaltung 157 sehr klein und es liegt praktisch die gesamte Eingangsspannung  $U_E$  an der weiteren Wicklung 11 als Steuerspannung an. Der durch die  
 10 Punkte 19, 20 definierte Wicklungssinn der Wicklungen 9, 11 ist so gewählt, daß sich die Spannung  $\Delta U_1$ , die in diesem ersten Schaltzustand durch die weitere Wicklung 11 in der ersten Wicklung 9 induziert wird, zur Eingangsspannung  $U_E$  addiert. Zwischen den Ausgangsanschlüssen 5, 6 der Stelleinheit erhält man also die Spannung

$$15 \quad U_{A1} = U_E + \Delta U_1.$$

Der Amplituden-Absolutbetrag der induzierten Spannung  $\Delta U_1$  ist dabei durch das Windungsverhältnis  $w_1/w_w$  der ersten Wicklung 9 zur weiteren Wicklung 11 nach der Gleichung  $\Delta U_1 = w_1 U_E / w_w$  festgelegt.

20 Im zweiten Schaltzustand, der in Fig. 1 dargestellt ist, sind die Schalter 150 und 153 geöffnet und sind die Schalter 151 und 152 geschlossen, wodurch an die weitere Wicklung 11 und die mit ihr wieder in Serie liegende Strombegrenzungsschaltung 157 die Ausgangsspannung  $U_A$  der Stelleinheit 4 gelegt ist. Da der in diesem zweiten Schaltzustand durch die weitere Wicklung 11 fließende Strom in etwa gleich dem Strom ist, der durch die weitere Wicklung 11 im ersten Schaltzustand fließt, liegt auch dieser Strom unter dem  
 25 Grenzwert der Strombegrenzungsschaltung 157, so daß deren Widerstand auch in diesem zweiten Schaltzustand sehr klein ist und praktisch die gesamte Ausgangsspannung  $U_A$  an der weiteren Wicklung 11 anliegt. Der Wicklungssinn der weiteren Wicklung 11 ist gegenüber dem ersten Schaltzustand umgekehrt. Dadurch subtrahiert sich die Spannung  $\Delta U_2$ , die in diesem zweiten Schaltzustand in der ersten Wicklung 9 des Transformators 8 induziert wird, von der Eingangsspannung  $U_E$ . So daß man am Ausgang 5, 6 erhält:

$$30 \quad U_{A2} = U_E - \Delta U_2$$

Für die induzierte Spannung gilt in diesem Fall  $\Delta U_2 = w_1 U_E / (w_w + w_1)$ . Es ist also die im zweiten Schaltzustand induzierte Spannung  $\Delta U_2$  etwas kleiner als die im ersten Schaltzustand induzierte Spannung  
 35  $\Delta U_1$ .

In einem dritten Schaltzustand der Stelleinheit 4 sind zumindest die beiden Schalter 150 und 151 geschlossen, so daß die weitere Wicklung 11 mit antiparallelem Wicklungssinn zur ersten Wicklung 9 und elektrisch parallel zu dieser ersten Wicklung 9 an der gleichen Spannung wie diese liegt. Der Transformator 8 ist in diesem Schaltzustand also kurzgeschlossen und die Ströme, die in den beiden antiparallelen  
 40 Wicklungen 9, 11 fließen, versuchen, jeweils ein Magnetfeld aufzubauen; diese Felder sind jedoch einander entgegengerichtet und heben sich nahezu auf.

Die Streuinduktivität der ersten Wicklung 9 kann so gering gehalten werden, daß die erste Wicklung 9 dem durch sie hindurchfließenden Laststrom in diesem Schaltzustand nur ihren sehr kleinen ohmschen Widerstand entgegensetzt, wodurch der an der ersten Wicklung 9 auftretende Spannungsabfall sehr klein  
 45 ist. Dies bedeutet, daß in diesem dritten Schaltzustand gilt

$$U_A = U_E.$$

50 Als treibende Spannung für den durch die weitere Wicklung 11 fließenden Kurzschlußstrom steht nur der geringe Spannungsabfall an der ersten Wicklung 9 zur Verfügung, so daß auch der Kurzschlußstrom durch die weitere Wicklung 11 sehr gering bleibt. Da der Scheinwiderstand der weiteren Wicklung 11 erheblich größer als der der ersten Wicklung 9 ist, fließt der Laststrom praktisch ausschließlich durch die erste Wicklung 9.

55 Wenn immer sichergestellt ist, daß die Schalter 152, 153 beide geöffnet sind, wenn die Schalter 150, 151 geschlossen sind, kann auf die Strombegrenzungsschaltung 157 verzichtet, d.h. der Leiter 155 unmittelbar mit dem Anschluß-Verbindungsleiter 10 galvanisch leitend verbunden werden. Dies hat allerdings zur Folge, daß beim Umschalten beispielsweise von dem in der Fig. 1 dargestellten zweiten

Schaltzustand in den ersten Schaltzustand zunächst die Schalter 151, 152 geöffnet werden müssen, und daß erst dann, wenn diese Schalter mit Sicherheit offen sind, die Schalter 150, 153 geschlossen werden können. Würden nämlich bei fehlender Strombegrenzungsschaltung 157 alle vier Schalter 150 bis 153 gleichzeitig geschlossen, so wären sowohl die Eingangsspannung  $U_E$  als auch die Ausgangsspannung  $U_A$  kurzgeschlossen, was zu unzulässig hohen Kurzschlußströmen und zu einem unerwünschten Zusammenbrechen dieser Spannungen führen würde.

Ohne eine Strombegrenzungsschaltung 157 müßten also beim Übergang von einem Schaltzustand in den anderen zunächst die bisher geschlossenen Schalter geöffnet werden, was dann, wenn man als Schalter Triacs verwendet, nur beim Nulldurchgang des durch sie hindurchfließenden Stroms möglich wäre, und es müßten dann die für den neuen Schaltzustand zu schließenden Schalter geschlossen werden, wofür wieder bestimmte Zeitpunkte abgewartet werden müßten, in denen sich durch diesen Umschaltvorgang möglichst geringe Schaltspitzen in der Ausgangsspannung  $U_A$  ergeben. Dies führt insgesamt dazu, daß frühestens nach eineinhalb bis zwei Perioden der Ausgangswechselspannung  $U_A$  der neue Amplitudenwert stabil zur Verfügung steht.

Zur Beschleunigung der Umschaltvorgänge ist es daher vorteilhaft, die Strombegrenzungsschaltung 157 vorzusehen. Sie ermöglicht es, bei einem Umschaltvorgang, durch den die Stelleinheit beispielsweise aus dem in Fig. 1 dargestellten zweiten Schaltzustand in den ersten Schaltzustand umgeschaltet werden soll, die Stelleinheit 4 zuerst in den dritten Schaltzustand zu bringen, was durch Schließen des ersten Schalters 150 geschieht. Kurze Zeit später wird dann der dritte Schalter 152 geöffnet und hierauf der vierte Schalter 153 geschlossen. Dabei bleibt die Stelleinheit im dritten Schaltzustand, da der erste Schalter 150 und der zweite Schalter 151 in dieser Zeit geschlossen sind. Ein Kurzschließen der beiden Wicklungen 9 und 11 durch den weiteren Leiter 155 wird dadurch vermieden, daß die beiden Schalter 152 und 153 nicht gleichzeitig geschlossen sind. Während der gesamten Zeit, in der sich die Stelleinheit 4 im dritten Schaltzustand befindet, verhindert die Strombegrenzungsschaltung 157 das Fließen eines unzulässig großen Kurzschlußstroms vom Anschluß 5 bzw. vom Anschluß 2 zum Anschluß-Verbindungsleiter 10 über die gleichzeitig geschlossenen Schalter 151, 153 bzw. die gleichzeitig geschlossenen Schalter 150, 152. Als letzter Schritt des Umschaltvorganges wird dann der Schalter 151 geöffnet, wodurch die Stelleinheit aus dem dritten Schaltzustand in den ersten Schaltzustand übergeht.

Entsprechendes gilt auch für einen Umschaltvorgang, der vom ersten in den zweiten Schaltzustand führt.

Bei den eben beschriebenen Umschaltvorgängen durchläuft die Stelleinheit 4 also auch immer dann, wenn vom ersten in den zweiten oder vom zweiten in den ersten Schaltzustand übergegangen werden soll, kurzfristig den dritten Schaltzustand. Soll die Stelleinheit 4 längere Zeit im dritten Schaltzustand gehalten werden, werden die Schalter 152 und/oder 153 geöffnet, so daß vom Eingangsanschluß 2 bzw. vom Ausgangsanschluß 5 keine Ströme mehr zum Anschluß-Verbindungsleiter 10 fließen können und somit die Verlustleistung noch weiter reduziert wird.

In einem vierten Schaltzustand sind alle vier Schalter 150 bis 153 geöffnet, so daß der Stromkreis der weiteren Wicklung 11 einen hohen Widerstandswert besitzt, der auch nach Heruntertransformation auf der Seite der ersten Wicklung 9 einen hohen Widerstandswert liefert. Somit tritt an der ersten Wicklung ein von der Größe des Laststroms abhängiger Spannungsabfall auf. Diese Drosselwirkung der ersten Wicklung 9 im vierten Schaltzustand kann dazu verwendet werden, beim Auftreten eines Kurzschlusses an der Last die der Last zugeführte Leistung zumindest solange auf ein ungefährliches Maß zu begrenzen, bis weitere Abschaltmaßnahmen getroffen worden sind.

Die Schalter 150 bis 153 werden durch eine Schaltersteuerung 23 betätigt, die über Leitungen 158, 159, 160 und 161 die Schalter ansteuert. Die hierfür nötigen Informationen kann die Schaltersteuerung 23 von einem in der Fig. 1 nicht wiedergegebenen Komparator erhalten, der die Lastspannung  $U_L$  und/oder die Versorgungsspannung  $U_V$  mit Sollwerten vergleicht und bei Abweichungen entsprechende Differenzsignale abgibt. Weiterhin umfaßt der Transformator 8 der Stelleinheit 4 eine Kurzschlußwicklung 28, die mit Hilfe eines Schalters 29, der zu ihr parallel liegt, kurzgeschlossen werden kann. Auch dieser Schalter 29 wird von der Schaltersteuerung 23 über eine Leitung 30 angesteuert. Dies erfolgt gemäß der Erfindung nur dann, wenn bei den Schaltern 150 bis 153 bzw. in der Strombegrenzungsschaltung 157 bestimmte Störungen auftreten, wie dies weiter unten noch genauer erläutert wird.

Alternativ zu der eben beschriebenen Ausführungsform kann die Strombegrenzungsschaltung 157 in der Stelleinheit 4 weggelassen werden, ohne daß es zu den oben erwähnten Verzögerungen im Umschaltvorgang kommen muß. Dies wird dadurch erreicht, das die beiden Schalter 152, 153, die dann wieder unmittelbar mit dem Anschluß-Verbindungsleiter 10 verbunden sind, jeweils als Strombegrenzungsschaltung ausgebildet werden, deren Grenzwert zwischen dem Wert Null und einem von Null verschiedenen Wert hin- und hergeschaltet werden kann. Wird eine solche Strombegrenzungsschaltung auf den Grenzwert Null

geschaltet, so entspricht dies dem geöffneten Zustand eines Schalters. Ist sie dagegen auf den von Null verschiedenen Grenzwert geschaltet, so setzt sie dem durch sie hindurchfließenden Strom nur einen sehr kleinen, konstanten Widerstand entgegen, solange dieser Strom deutlich unterhalb des Grenzwertes bleibt. Dabei wird dieser Grenzwert so gewählt, daß er größer ist als der Strom, der im ersten bzw. im zweiten

5 Schaltzustand durch die weitere Wicklung 11 und den betreffenden Schalter 153 bzw. 152 fließen muß.

Eine Schaltungsanordnung, die die eben beschriebenen Eigenschaften besitzt, wird weiter unten unter Bezugnahme auf Fig.3 noch näher erläutert.

In dem eben geschilderten Fall erfolgt die Umschaltung vom ersten in den zweiten Schaltzustand oder vom zweiten in den ersten Schaltzustand in der Weise, daß die beiden bisher geöffneten Schalter

10 gleichzeitig geschlossen und kurze Zeit später die beiden Schalter gleichzeitig geöffnet werden, die im neuen Schaltzustand offen sein müssen. Sind die Schalter 150 und 151 mit Hilfe von Triacs realisiert, so muß mit diesem Öffnungsvorgang bis zum nächsten Nulldurchgang des Stromes gewartet werden, der vor dem Öffnen durch den betreffenden Schalter 150 oder 151 fließt.

Auch bei dieser Ausführungsform kann die Stelleinheit in den vierten Schaltzustand dadurch gebracht

15 werden, daß alle vier Schalter 150 bis 153 gleichzeitig geöffnet werden.  
In Fig.2 ist eine Transformatorschaltung mit einer Stelleinheit 34 dargestellt, deren Aufbau sich zwar von dem der Stelleinheit 4 unterscheidet, die aber im Prinzip die gleichen Funktionen aufweist.  
Die Stelleinheit 34 umfaßt wiederum einen Transformator 8, dessen erste Wicklung zwischen den

Eingangsanschluß 2 und den Ausgangsanschluß 5 geschaltet ist, während der andere Eingangsanschluß 3 über den Anschluß-Verbindungsleiter 10 direkt galvanisch leitend mit dem anderen Ausgangsanschluß 6 verbunden ist.

Im Gegensatz zur Stelleinheit 4 in Fig. 1 besitzt hier der Transformator 8 zwei weitere Wicklungen 35, 36, von denen die eine als addierende weitere Wicklung 35 mit ihrem einen Ende fest mit dem Ende der ersten Wicklung 9 galvanisch leitend verbunden ist, das mit dem Eingangsanschluß 2 direkt galvanisch

25 leitend verbunden ist, während das andere Ende der addierenden Wicklung 35 mit Hilfe eines Schalters 180 mit einer Leitung 185 verbunden oder von dieser getrennt werden kann, die ihrerseits über eine Strombegrenzungsschaltung 157 mit dem Anschluß-Verbindungsleiter 10 verbunden ist. Die andere der beiden Wicklungen ist als subtrahierende weitere Wicklung 36 mit ihrem einen Ende fest und direkt galvanisch leitend mit dem Ende der ersten Wicklung 9 verbunden, das direkt galvanisch leitend mit dem Ausgangs-

30 schluß 5 der Stelleinheit 34 verbunden ist, während das andere Ende der subtrahierenden weiteren Wicklung 36 mit Hilfe eines Schalters 181 mit der Leitung 185 verbunden oder von dieser getrennt werden kann. Der Wicklungssinn der drei Wicklungen 9, 35 und 36, die über den Kern 12 magnetisch miteinander gekoppelt sind, ist durch die Punkte 19, 20 und 21 gekennzeichnet. Er ist so gewählt, daß sich die Spannung  $\Delta U_1$ , die durch die weitere Wicklung 35 bei geschlossenem Schalter 180 in der ersten Wicklung

35 9 induziert wird, zur Eingangsspannung  $U_E$  addiert (erster Schaltzustand), und daß sich die Spannung  $\Delta U_2$ , die bei geschlossenem Schalter 181 von der weiteren Wicklung 36 in der ersten Wicklung 9 induziert wird, von der Eingangsspannung  $U_E$  subtrahiert (zweiter Schaltzustand). Auch hier ist der Grenzwert der Strombegrenzungsschaltung 157 größer als die Ströme gewählt, die im ersten Schaltzustand durch die addierende Wicklung 35 bzw. im zweiten Schaltzustand durch die subtrahierende Wicklung 36 fließen.

40 Somit ist in diesen beiden Schaltzuständen der Widerstand der Strombegrenzungsschaltung 157 praktisch vernachlässigbar und es liegt die gesamte Eingangsspannung  $U_E$  bzw. die gesamte Ausgangsspannung  $U_A$  an der addierenden Wicklung 35 bzw. an der subtrahierenden Wicklung 36 an.

Um diese in Fig. 2 dargestellte Stelleinheit in den dritten Schaltzustand bringen zu können, ist es erforderlich, die beiden Schalter 180 und 181 gleichzeitig zu schließen, wodurch die beiden weiteren

45 Wicklungen 35, 36 mit gleichem Wicklungssinn miteinander in Reihe geschaltet und mit antiparallelem Wicklungssinn zur ersten Wicklung 9 parallelgeschaltet sind. Da in diesem Schaltzustand die beiden weiteren Wicklungen 35, 36 als eine einzige Wicklung betrachtet werden können, erhält man also den gleichen Schaltzustand, wie er oben als dritter Schaltzustand der Stelleinheit 4 aus Fig. 1 beschrieben wurde und es wird auch hier die Eingangsspannung  $U_E$  praktisch unverändert an den Ausgang der

50 Stelleinheit weitergegeben.

Damit in diesem dritten Schaltzustand nicht die Eingangsspannung  $U_E$  an der im Kurzschlußkreis liegenden weiteren Wicklung 35 anliegt und einen unzulässig hohen Kurzschlußstrom vom Eingangs-

55 schluß 2 zum Eingangsschluß 3 treibt, ist auch hier wieder zwischen dem Leiter 185 und dem Anschluß-Verbindungsleiter 10 eine Strombegrenzungsschaltung 157 vorgesehen, die prinzipiell wieder durch einen steuerbaren Ein/Aus-Schalter ersetzt werden könnte. Allerdings müßten dann für das Umschalten von einem Schaltzustand in den anderen auch hier wieder Schutzzeiten eingeführt und spezielle Überprüfungsschaltungen vorgesehen werden, damit mit absoluter Sicherheit ausgeschlossen wird, daß die Schalter 180 und 181 gleichzeitig geschlossen werden, solange der die Leitungen 185 und 10 miteinander verbindende Schalter



geschlossen ist. Vorzugsweise wird daher als Schaltungsanordnung 157 wieder eine Strombegrenzungsschaltung verwendet, die automatisch und ohne zeitliche Verzögerung ein weiteres Ansteigen des durch sie hindurchfließenden Stroms verhindert, wenn dieser Strom einen vorgegebenen Grenzwert zu übersteigen droht.

- 5 Auch die Stelleinheit 34 kann in einen vierten Schaltzustand gebracht werden, wie er in der Fig. 2 dargestellt ist. In diesem Schaltzustand sind die beiden Schalter 180 und 181 gleichzeitig geöffnet, wodurch wieder eine starke Drosselwirkung der ersten Wicklung 9 auftritt, die dazu verwendet werden kann, in Fall eines Lastkurzschlusses den Kurzschlußstrom zu begrenzen.

- Außerdem bietet die in Fig. 2 dargestellte Ausführungsform die Möglichkeit,  $\Delta U_1$  innerhalb gewisser Grenzen von  $\Delta U_2$  unabhängig zu wählen, so daß hier also die beiden Ausgangsspannungen  $U_{A1} = U_E + \Delta U_1$  und  $U_{A2} = U_E - \Delta U_2$  nicht mehr notwendigerweise symmetrisch zur Eingangsspannung  $U_E$  liegen müssen.

- Das Umschalten vom ersten in den zweiten oder vom zweiten in den ersten Schaltzustand erfolgt in der Weise, daß zunächst derjenige der beiden Schalter 180, 181 geschlossen wird, der bis dahin offen war und daß erst danach der bis dahin geschlossene Schalter geöffnet wird. Die Stelleinheit 34 durchläuft also auch hier bei jedem Übergang vom ersten in den zweiten oder vom zweiten in den ersten Schaltzustand kurzfristig den dritten Schaltzustand.

- Damit dann, wenn der dritte Schaltzustand für längere Zeiten aufrechterhalten werden soll, die Verlustleistung besonders klein gehalten werden kann, ist bei dieser Ausführungsform vorgesehen, daß die Strombegrenzungsschaltung 157 über zwei Leitungen 163 von der Schaltersteuerung 23 so angesteuert wird, daß ihr Grenzwert einen wesentlich kleineren Wert, vorzugsweise den Wert Null annimmt. Die Strombegrenzungsschaltung 157 wirkt dann wie ein geöffneter Schalter und es fließt praktisch nur noch der sehr kleine Kurzschlußstrom, der von dem kleinen Spannungsabfall an der ersten Wicklung 9 in den beiden weiteren Wicklungen 35, 36 getrieben wird.

- 25 Die Schalter 180, 181 werden von der Schaltersteuerung 23 über die Leitungen 164, 165 angesteuert.

Auch der Transformator 8 der Stelleinheit 34 weist eine Kurzschlußwicklung 28 auf, die über einen Schalter 29 kurzschließbar ist, der von der Schaltersteuerung 23 über eine Leitung 30 angesteuert wird.

- Aufgrund des erfindungsgemäßen Aufbaus ist es bei bestimmten Störfällen möglich, die Stelleinheit 34 zumindest teilweise funktionsfähig zu erhalten oder sie wenigstens so anzusteuern, daß sie ihre Eingangsspannung unverändert an den Ausgangsanschlüssen 5, 6 abgibt. Bildet die Stelleinheit ein Glied in einer längeren Kette von Stelleinheiten, die insgesamt als Spannungskonstanter eingesetzt werden, so bleiben hierdurch wenigstens die übrigen Stelleinheiten funktionsfähig und die gesamte Transformatorschaltung kann, wenn auch im beschränkten Umfang, ihre Steuerungs- bzw. Regelfunktion aufrechterhalten. Dies wird im folgenden für einige typische Störungsfälle erläutert:

- 35 1. Kurzschluß im Schalter 180 oder 181:

- Ein solcher Kurzschluß bedeutet, daß sich der betreffende Schalter nicht mehr öffnen läßt, die Stelleinheit also dann, wenn sie nicht gemäß der Erfindung ausgebildet wäre, ständig im ersten bzw. zweiten Schaltzustand bleiben würde. Nimmt man an, daß z.B. der Schalter 180 ständig geschlossen ist, so kann aufgrund des Vorhandenseins der Strombegrenzungsschaltung 157 in all den Fällen, in denen keine additive Aufprägung der in der Wicklung 9 induzierten Spannung gewünscht wird, der Schalter 181 geschlossen und die Strombegrenzungsschaltung 157 auf den kleineren Grenzwert geschaltet werden. Die Stelleinheit geht dann also in den dritten Schaltzustand über und gibt die Eingangsspannung unverändert am Ausgang ab. Wird der Schalter 181 wieder geöffnet und die Strombegrenzungsschaltung 157 wieder auf den größeren Grenzwert zurückgeschaltet, so geht die Stelleinheit wieder in den ersten Schaltzustand über. Sie kann also trotz der Störung immer noch zwischen dem ersten und dem dritten Schaltzustand hin- und hergeschaltet werden und die Amplitude der Ausgangsspannung  $U_A$  in entsprechender Weise verändern. Der zweite Schaltzustand kann in einem solchen Fall allerdings nicht mehr hergestellt werden. Entsprechendes gilt, wenn ein Kurzschluß im Schalter 181 auftritt, der Schalter 180 aber funktionsfähig bleibt. In diesem Fall kann die Stelleinheit 34 zwischen dem zweiten und dritten Schaltzustand hin- und hergeschaltet werden, den ersten Schaltzustand aber nicht mehr einnehmen.

- 50 2. Gleichzeitiger Kurzschluß in den Schaltern 180 und 181:

- In diesem Fall wird die Strombegrenzungsschaltung 157 auf den kleineren Grenzwert geschaltet und die Stelleinheit bleibt auf Dauer im dritten Schaltzustand, in dem die Ausgangsspannung gleich der Eingangsspannung ist. In den ersten oder zweiten Schaltzustand kann sie dann allerdings nicht mehr gebracht werden.

- 55 3. Sollte ein Kurzschluß gleichzeitig in den beiden Schaltern 180 und 181 und in der Strombegrenzungsschaltung 157 auftreten, so würde zunächst ein sehr hoher Kurzschlußstrom vom Anschluß 2 zum Anschluß 3 fließen. Für diesen Fall ist mit der Strombegrenzungsschaltung 157 eine Sicherung 167 in

Reihe geschaltet, die dann durchbrennt und somit die Verbindung zwischen den Leitungen 185 und 10 endgültig unterbricht. Wegen des Kurzschlusses in den beiden Schaltern 180 und 181 befindet sich die Stelleinheit dann im dritten Schaltzustand.

4. Leitungsunterbrechung in der Strombegrenzungsschaltung 157:

5 Läßt die Strombegrenzungsschaltung 157 aufgrund einer Störung keinen Strom mehr fließen, so werden die Schalter 180 und 181 durch die Schaltersteuerung 23 permanent geschlossen und die Stelleinheit 34 wird auf Dauer in dem sich so ergebenden dritten Schaltzustand gehalten.

5. Leitungsunterbrechung in einem der Schalter 180 bzw. 181

10 Läßt sich einer der beiden Schalter 180, 181 nicht mehr schließen, so würde immer dann, wenn der jeweils andere Schalter geöffnet werden muß, die oben geschilderte starke Drosselwirkung der Wicklung 9 eintreten. Wegen des Spannungsabfalls, der in diesem Zustand an der Drossel 9 auftritt, würde ein Spannungskonstanter oder Spannungsregler, in dem eine Stelleinheit diese Störung zeigt, praktisch seine Funktion nicht mehr ausüben können. Um dies zu verhindern, ist die Kurzschlußwicklung 28 vorgesehen, deren Schalter 29 dann geschlossen wird. Damit befindet sich die Stelleinheit 34 wieder im  
15 dritten Schaltzustand; sie kann somit weiterhin zwischen dem dritten Schaltzustand und dem einen der beiden anderen Betriebs-Schaltzustände hin- und hergeschaltet werden.

Die eben beschriebenen Störfälle können auch bei der in Fig.1 dargestellten Stelleinheit 4 auftreten und aufgrund ihres erfindungsgemäßen Aufbaus in ähnlicher Weise zum Teil überwunden werden, wie dies eben geschildert wurde. Selbstverständlich kann auch bei der in Fig. 1 dargestellten Stelleinheit 4 eine  
20 Sicherung 167 vorgesehen werden, die mit der Strombegrenzungsschaltung 157 in Reihe liegt.

In Fig.3 ist eine Strombegrenzungsschaltung 157 dargestellt, wie sie bei den Stelleinheiten 4, 34 in den Fig. 1 und 2 verwendet werden kann.

Diese Strombegrenzungsschaltung besitzt zwei Stromanschlüsse 187, 188, von denen der eine mit der Leitung 155 bzw. der Leitung 185 und der andere mit dem Anschluß-Verbindungsleiter 10 direkt galvanisch  
25 leitend verbunden ist. Zwischen den beiden Stromanschlüssen 187, 188 ist eine Reihenschaltung angeordnet, die aus der Source-Drain-Strecke eines ersten V-MOS-Transistors 190, zwei Widerständen 192, 193 und der Source-Drain-Strecke eines zweiten V-MOS-Transistors 191 besteht. Parallel zu dieser Reihenschaltung sind zwischen die beiden Stromanschlüsse 187, 188 zwei miteinander in Reihe liegende Dioden 198, 199 geschaltet, deren Durchlaßrichtungen einander entgegengesetzt sind. Der Verbindungspunkt 196 der  
30 beiden Dioden 198, 199 ist mit dem Verbindungspunkt 195 der beiden Widerstände 192, 193 galvanisch leitend verbunden.

Da jeder der beiden Transistoren 190, 191 eine Diodencharakteristik besitzt, d.h. seine Sperrwirkung nur in einer Richtung entfalten kann, sind die beiden Transistoren 190, 191 so angeordnet, daß ihre Durchlaßrichtungen parallel zu der Durchlaßrichtung der im Parallelzweig liegenden Dioden 198 bzw. 199 und somit  
35 einander entgegengerichtet sind. Dadurch kann mit Hilfe dieser Strombegrenzungsschaltung 157 auch ein Wechselstrom in der erforderlichen Weise begrenzt werden.

Die Dioden 198, 199 sind so ausgewählt, daß der an ihnen beim Fließen des Nennstroms auftretende Spannungsabfall kleiner ist als der entsprechende Spannungsabfall am parallelen V-MOS-Transistor 190 bzw. 191. Da jede Diode 198 bzw. 199 nicht nur den zu ihr parallelen V-MOS-Transistor 190 bzw. 191  
40 sondern auch dessen zugehörigen Serienwiderstand 192 bzw. 193 überbrückt, fließen die Halbwellen des zu begrenzenden Wechselstroms entweder über die Diode 198 und weiter über den Widerstand 193 und den V-MOS-Transistor 191 oder über die Diode 199 und weiter über den Widerstand 192 und den V-MOS-Transistor 190. Dadurch kann einerseits der Wechselstrom in jeder Halbwelle durch den einen der beiden V-MOS-Transistoren 190 bzw. 191 in der erforderlichen Weise begrenzt werden; andererseits wird vermieden, daß die Halbwellen auch noch den zweiten Widerstand und den zweiten V-MOS-Transistor durchfließen müssen, die nur für die Begrenzung der Halbwellen mit dem jeweils anderen Vorzeichen erforderlich  
45 sind. Somit kann die in der Strombegrenzungsschaltung 157 auftretende Verlustleistung besonders klein gehalten werden.

Die über die beiden Leitungen 163 von der Schaltersteuerung 23 her zugeführte Gate-Spannung für die  
50 beiden Transistoren 190, 191 ist zwischen dem Verbindungspunkt 195 der beiden Widerstände 192, 193 und den beiden Gate-Anschlüssen der Transistoren 190, 191 angelegt. Hierdurch zieht sich die Spannung, die an den Widerständen 192, 193 beim Fließen eines Stroms zwischen den Anschlüssen 187 und 188 abfällt, von der Gate-Spannung ab. Die Größe dieser Gate-Spannung ist so gewählt, daß der Strom, der von einem der beiden Anschlüsse 187, 188 zum jeweils anderen Anschluß fließt, einen vorgegebenen Grenzwert  
55 nicht übersteigen kann.

Für den oben beschriebenen Fall, daß die Strombegrenzungsschaltung 157 auf einen zweiten, kleineren Grenzwert geschaltet werden soll, der praktisch gleich Null ist, wird die über die Leitungen 163 zugeführte Gate-Spannung so niedrig gewählt, daß sie unterhalb der Schwellenspannung  $U_{TH}$  der V-MOS-Transistoren

190, 191 liegt, die somit praktisch keinen Strom mehr durch ihre Source/Drain-Strecke fließen lassen.

Wie bereits erwähnt, können als Schalter 150 bis 153 bzw. 180 und 181 Triacs verwendet werden. Dies bedeutet jedoch, daß diese Schalter nur dann geöffnet werden können, wenn der durch sie hindurchfließende Strom einen Nulldurchgang durchläuft. Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß gemäß der Erfindung  
 5 beim Übergang von einem Schaltzustand in den anderen zunächst bis dahin offene Schalter geschlossen werden. Dann befindet sich sowohl die Stelleinheit 4 als auch die Stelleinheit 34 jeweils in ihrem dritten Schaltzustand. Durch die Schalter 150, 151 bzw. 152, 153 bzw. 180, 181 fließt dann der jeweilige Kurzschlußstrom und es kann in den nachfolgenden ersten oder zweiten Schaltzustand nur dann übergegangen werden, wenn dieser Kurzschlußstrom einen Nulldurchgang durchläuft.

10 Wird dann der betreffende Schalter geöffnet, so liegt die weitere Wicklung 11 bzw. eine der beiden weiteren Wicklungen 35, 36 an ihrer Steuerspannung  $U_E$  bzw.  $U_A$ , die im Regelfall das Fließen eines Stroms zu erzwingen versucht, der gegen den bis dahin fließenden Kurzschlußstrom phasenverschoben ist, d.h. also in dem Zeitpunkt, in dem der jeweilige Schalter geöffnet wird, keinen Nulldurchgang aufweist.

In Fig. 4 sind in einem Diagramm der Kurvenverlauf einer Schwingungsperiode der Eingangsspannung  $U_E$ , des im dritten Schaltzustand fließenden Kurzschlußstroms  $I_K$ , des im ersten Schaltzustand fließenden Stroms  $I_1$  sowie des im zweiten Schaltzustand fließenden Stroms  $I_2$  dargestellt. Dabei ist die Amplitude des Kurzschlußstroms  $I_K$  der Deutlichkeit halber stark vergrößert dargestellt.

Es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, daß die drei Ströme  $I_K$ ,  $I_1$  und  $I_2$  nicht gleichzeitig fließen können, da sich die Stelleinheit 4 bzw. 34 immer nur in einem der drei Schaltzustände befinden kann.

20 Für die folgenden Betrachtungen sei nun angenommen, daß sich die Stelleinheit 4 oder 34 im dritten Schaltzustand befindet, von dem während der in Fig. 4 dargestellten ersten Halbperiode der Eingangsspannung  $U_E$ , d.h. also zwischen den Zeitpunkten  $t_1$  und  $t_4$  in den ersten Schaltzustand übergegangen werden soll.

Hierzu muß bei dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 1 der Schalter 151 und beim Ausführungsbeispiel  
 25 nach Fig. 2 der Schalter 181 geöffnet werden. Da diese Schalter vom Kurzschlußstrom  $I_K$  durchflossen werden, können sie, wenn sie mit Hilfe von Triacs realisiert sind, nur im Zeitpunkt  $t_4$  geöffnet werden, in welchem der Kurzschlußstrom  $I_K$  einen Nulldurchgang durchläuft. Man entnimmt der Fig. 4, daß zu diesem Zeitpunkt der Strom  $I_1$ , der im unmittelbaren Anschluß an das Öffnen der Schalter durch die weitere Wicklung 11 bzw. die weitere Wicklung 35 fließen sollte, einen Wert aufweist, der von dem Nulldurchgangswert des Kurzschlußstroms  $I_K$ , der vor dem Öffnen durch diese weitere Wicklung 11 bzw. 35 geflossen ist,  
 30 erheblich verschieden ist.

Es ist klar, daß der im neuen Schaltzustand durch die weitere Wicklung 11 bzw. 35 fließende Strom nicht sprunghaft von Null auf den eigentlich erforderlichen Wert  $I_S$  ansteigen kann. Statt dessen wird im Transformator ein Kompensationsstrom  $I_G$  induziert, dessen Wert zunächst gleich  $-I_S$  ist und der über einen  
 35 längeren Zeitraum hinweg exponentiell abklingt. Es kann mehrere Schwingungsperioden der Eingangsspannung  $U_E$  dauern, bis dieser Kompensationsstrom  $I_G$  vollständig verschwunden ist.

Der Kompensationsstrom  $I_G$  addiert sich zu dem von der Eingangsspannung  $U_E$  getriebenen Strom durch die weitere Wicklung 11 bzw. 35. Da der Transformator 8 so dimensioniert ist, daß der Strom, der durch eine an ihrer Steuerspannung liegende weitere Wicklung normalerweise fließt, knapp unterhalb der  
 40 Sättigungsgrenze liegt, wird der Transformator durch diesen sich addierenden Kompensationsstrom  $I_G$  in die Sättigung getrieben. Dies hat zur Folge, daß sich bei dem eben beschriebenen Schaltvorgang ein Spannungseinbruch ergibt, der dazu führt, daß der Übergang von der alten auf die neue Spannungsamplitude nicht völlig glatt verläuft, sondern daß auf die erste auf den Schaltvorgang folgende Halbwelle der Ausgangsspannung  $U_A$  Spannungsspitzen aufgeprägt sind.

45 Um diesen störenden Effekt zu vermeiden ist erfindungsgemäß vorgesehen, die Schalter 150 bis 153 und 180, 181 statt mit Triacs ebenfalls mit V-MOS-Transistoren aufzubauen, von denen wieder jeweils zwei mit entgegengesetzter Polung hintereinander geschaltet sind. Diese Transistoren haben den Vorteil, das der von ihnen gebildete Schalter unabhängig von der Größe des sie momentan durchfließenden Stroms geöffnet werden kann. Es muß also nicht mehr auf den nächsten Nulldurchgang des Kurzschlußstroms  $I_K$   
 50 gewartet werden, sondern es kann der Übergang vom dritten in den ersten bzw. zweiten Schaltzustand zu einem wesentlich günstigeren Zeitpunkt stattfinden.

Wie man der Figur 4 entnimmt, wären die optimalen Umschaltzeitpunkte die Zeitpunkte  $t_2$  bzw.  $t_3$ , weil in ihnen der Kurzschlußstrom  $I_K$ , der vor dem Umschalten in den betreffenden weiteren Wicklungen fließt, gleich dem Strom ist, der nach dem Umschaltvorgang in der jeweiligen weiteren Wicklung fließen soll.

55 Da diese idealen Zeitpunkte  $t_2$  bzw.  $t_3$  meßtechnisch nur sehr schwer zu erfassen sind, können sie näherungsweise durch die Zeitpunkte  $t_2'$  bzw.  $t_3'$  ersetzt werden, in denen der Strom, der die weitere Wicklung im ersten bzw. im zweiten Schaltzustand durchfließt, einen Nulldurchgang aufweist. Diese Ersatzzeitpunkte  $t_2'$  bzw.  $t_3'$  sind von den idealen Zeitpunkten  $t_2$  bzw.  $t_3$  nicht allzu weit entfernt. Da, wie

bereits erwähnt, die Amplitude von  $I_K$  in Fig. 4 stark übertrieben dargestellt ist, ist die bei Verwendung der Ersatzzeitpunkte  $t_2'$  bzw.  $t_3'$  erforderliche Stromänderung auch nicht besonders groß.

Da die Zeitabstände  $\tau_1$  bzw.  $\tau_2$ , die die Ersatzzeitpunkte  $t_2'$  bzw.  $t_3'$  vom nächstliegenden Nulldurchgang der Eingangsspannung  $U_E$  aufweisen, lastabhängig sind, können sie nicht ein für allemal in der Schaltersteuerung 23 gespeichert werden. Statt dessen werden sie immer dann, wenn sich die Stelleinheit 4 bzw. 34 im ersten bzw. zweiten Schaltzustand befindet, gemessen und die Meßwerte werden gespeichert. Soll dann das nächste Mal vom dritten Schaltzustand in den ersten bzw. zweiten Schaltzustand übergegangen werden, so kann ausgehend von der Zeit, die seit dem Nulldurchgang  $t_1$  der Eingangsspannung  $U_E$  verstrichen ist, auf den der Schaltvorgang folgen soll, der Schaltzeitpunkt  $t_2'$  bzw. der Schaltzeitpunkt  $t_3'$  ohne weiteres vorgegeben werden.

Durch diese Maßnahmen läßt sich erreichen, daß die Ausgangsspannung der Stelleinheit bereits bei der nächsten Halbschwingung den neuen Amplitudenwert in völlig ungestörter Weise durchläuft.

Soll eine Stelleinheit, die mit V-MOS-Transistor-Schaltern und einer Strombegrenzungsschaltung 157 ausgestattet ist und die im ersten Schaltzustand auf ihre Eingangsspannung eine Spannungsänderung  $+\Delta U$  aufprägt und im zweiten Schaltzustand eine Spannungsänderung von  $-\Delta U$  bewirkt, vom ersten in den zweiten Schaltzustand oder umgekehrt umgeschaltet werden, so läßt sich die dabei insgesamt auftretende Spannungsänderung  $2\Delta U$  in zwei Schritten durchführen; der erste Schritt, bei dem die Ausgangsspannung um  $\Delta U$  geändert wird, erfolgt sofort, d.h. gleichzeitig mit der Erzeugung des Umschaltsignals. Dies geschieht dadurch, daß durch Schließen eines oder mehrerer bis dahin offener Schalter die Stelleinheit in den dritten Schaltzustand übergeführt wird. Die zweite Hälfte der erforderlichen Änderung wird dann innerhalb eines Zeitraumes bewerkstelligt, der im ungünstigsten Fall gleich einer halben Schwingungsperiode der Eingangsspannung  $U_E$  ist. Nimmt man an, daß  $U_E$  eine Schwingungsfrequenz von 50 Hz besitzt, so läßt sich also die Gesamtänderung innerhalb von höchstens 10 ms bewerkstelligen. Danach hat die Ausgangsspannung  $U_A$  stabil ihren neuen Wert.

Entsprechendes gilt auch dann, wenn eine Stelleinheit in den ersten oder zweiten Schaltzustand übergeführt werden soll, nachdem sie sich längere Zeit im dritten Schaltzustand befunden hat. Da bei einem solchen Übergang nur ein bzw. zwei Schalter geöffnet werden müssen, muß nach der Erzeugung des Umschaltsignals lediglich gewartet werden, bis der nächste günstige Schaltzeitpunkt  $t_2'$  bzw.  $t_3'$  auftritt. Da jeder dieser Zeitpunkte pro Wechselspannungsperiode zweimal zur Verfügung steht, muß also im ungünstigsten Fall eine Zeitdauer abgewartet werden, die der Länge einer Halbperiode der Wechselspannung entspricht, bis umgeschaltet werden kann. Zwar erfolgt hier die Änderung der Ausgangsspannung in einem einzigen Schritt, doch ist die Größe dieser Änderung auch nur halb so groß wie die Gesamtänderung, die beim Übergang vom ersten in den zweiten oder vom zweiten in den ersten Schaltzustand durchlaufen wird.

Ein besonders schnelles und präzises Umschalten ergibt sich dann, wenn jeweils zwei der oben beschriebenen Stelleinheiten 34 zur Bildung eines Stelleinheiten-Paares miteinander in Reihe geschaltet werden.

In Fig. 5 ist eine Transformatorschaltung dargestellt, die als einphasiger Spannungskonstanter für die der Last 7 zugeführte Spannung  $U_L$  dient. Dabei wird davon ausgegangen, daß für die Amplitude der der Last 7 zugeführten Wechselspannung ein Sollwert  $S_L$  vorgegeben ist, der im folgenden gleich 100% gesetzt wird, und von dem die tatsächlich an die Last 7 angelegte Spannung um maximal  $\pm \delta$  % abweichen darf. Weiterhin wird angenommen, daß die von der Wechselspannungsquelle 1 gelieferte Versorgungsspannung  $U_V$  in ihrer Amplitude um  $\pm \Delta$  % vom Nennwert  $U_{Vnenn}$  abweichen kann. Dabei kann prinzipiell der Sollwert  $S_L$  der Lastspannung  $U_L$  gleich dem Nennwert  $U_{Vnenn}$  der Versorgungsspannung  $U_V$  oder von diesem Nennwert verschieden sein. Es stellt einen besonderen Vorteil der erfindungsgemäßen Transformatorschaltung dar, daß sie es ohne weiteres ermöglicht, die Lastspannung  $U_L$  auch auf einen Sollwert  $S_L$  einzuregeln, der beispielsweise an oder in der Nähe der Grenze des vorgesehenen Regelbereiches liegt. Dies ist allerdings nur dann zweckmäßig, wenn Abweichungen der Versorgungsspannung nur in einer Richtung auftreten können. Wird die Versorgungsspannung z.B. mit Hilfe eines Wechselrichters aus einer Batterie-Anordnung erzeugt, so ist diese Voraussetzung ohne weiteres gegeben, da die Batterie-Gleichspannung und damit auch die Amplitude der hieraus erzeugten Wechselspannung bei längerem Betrieb mit fortschreitender Entladung der Batterie-Anordnung nur ababer nicht zunehmen kann.

Im folgenden wird jedoch der erste Fall ( $U_{Vnenn} = S_L$ ) betrachtet und angenommen, daß  $\Delta \gg \delta$  ist, so daß eine Regelung der Amplitude der Versorgungsspannung  $U_V$  auf den Sollwert  $S_L$  erforderlich ist.

Zu diesem Zweck ist zwischen der Spannungsquelle 1 und der Last 7 eine erfindungsgemäße Transformatorschaltung vorgesehen, die aus drei miteinander in Reihe geschalteten Stufen 55, 56, 57 besteht, von denen jede entweder von einer Stelleinheit 4 oder 34, gemäß Fig. 1 oder von einem Stelleinheiten-Paar gebildet sein kann, das aus zwei Stelleinheiten 34, 34' gemäß Fig. 2 aufgebaut ist. Die

Steuerung der Stufen 55, 56, 57 erfolgt mit Hilfe einer Schaltersteuerung 23, die mit jeder Stufe 55, 56, 57 über ein Leitungspaar 61, 62 verbunden ist. Diese Leitungspaare symbolisieren je nachdem, ob die Stufen 55, 56, 57 von einer Stelleinheit 4, einer Stelleinheit 34 oder einem Stelleinheiten-Paar 34, 34' gebildet werden, die Leitungen 158, 159, 160, 161 und 30 (s. Fig. 1), die Leitungen 163, 164, 165 und 30 (s. Fig. 2),  
 5 oder zweimal die Leitungen 163, 164, 165 und 30 (s. Fig. 2).

Über die Leitungen 61 gibt die Schaltersteuerung 23 die Schaltbefehle an die Schalter der Stufen 55, 56, 57 ab und erhält über die Leitungen 62 die von den Sensorwicklungen 43 erzeugte Information über die Phasenlage des Magnetflusses in den ersten Wicklungen 9 der Transformatoren 8 und damit über die günstigen Schließ-Zeitpunkte bzw. -Zeiträume für die Schalter. Weiterhin ist ein erster Komparator 63  
 10 vorgesehen, der an einem seiner beiden Eingänge eine Referenzspannung  $U_{ref1}$  erhält, die den Sollwert  $S_L$  für die Lastspannung  $U_L$  darstellt. Dem anderen seiner beiden Eingänge wird das Ausgangssignal eines ersten Meßfühlers 64 zugeführt, der die Lastspannung  $U_L$  mißt. Über die Leitung 65 gibt der Komparator 63 ein Differenzsignal an die Schaltersteuerung 23, das anzeigt, ob und wie weit die Lastspannung  $U_L$  vom Sollwert  $S_L$  abweicht. Bevor diese Abweichung aus dem zulässigen Bereich  $\pm \delta \%$  herausläuft, ändert die  
 15 Schaltersteuerung 23 die Schaltzustände der Stufen 55, 56, 57, die daraufhin der Versorgungsspannung  $U_V$  eine neue Amplitudenänderung aufprägen und somit die Lastspannung  $U_L$  innerhalb des zulässigen Regelbereichs  $\pm \delta \%$  halten. Darüber hinaus ist ein zweiter Komparator 66 vorgesehen, der eine dem Nennwert  $U_{Vnenn}$  der Versorgungsspannung  $U_V$  entsprechende Referenzspannung  $U_{ref2}$  mit dem Ausgangssignal eines zweiten Meßfühlers 67 vergleicht, der eben diese Versorgungsspannung  $U_V$  mißt. Das vom  
 20 zweiten Komparator 66 abgegebene Differenzsignal wird über die Leitung 68 ebenfalls der Schaltersteuerung 23 zugeführt, die somit nicht nur im Regelmodus, sondern auch im Steuerungsmodus oder in einer Kombination aus beiden arbeiten kann. Dies bietet den Vorteil, daß bei einem Kurzschluß auf der Lastseite, d.h. bei  $U_L = 0$ , die Schaltersteuerung aus der Tatsache, daß  $U_V$  nach wie vor von Null verschieden ist, den Störfall erkennen kann und nicht versucht, die Lastspannung  $U_L$  hochzuregeln; statt dessen kann sie die  
 25 Stelleinheiten aller Stufen in den oben definierten vierten Schaltzustand bringen, in dem die ersten Wicklungen 9 aller Transformatoren 8 eine starke Drosselwirkung ausüben und somit den Last-Kurzschlußstrom begrenzen. Zur Verarbeitung der über die Leitungen 62, 68 und 65 eingehenden Information und zur Umsetzung dieser Information in entsprechende Schaltbefehle umfaßt die Schaltersteuerung 23 vorzugsweise einen Mikroprozessor.

30 Wie bereits erwähnt, sind die Stufen 55, 56, 57 so aufgebaut, daß jede Stufe die ihr zugeführte Eingangsspannung in einem ersten Schaltzustand bzw. in einer ersten Schaltzustands-Kombination um einen vorgegebenen Prozentsatz erhöht, in einem zweiten Schaltzustand bzw. in einer zweiten Schaltzustands-Kombination in etwa um den gleichen Prozentsatz erniedrigt und in einem dritten Schaltzustand bzw. in einer dritten Schaltzustands-Kombination in etwa unverändert weitergibt. In diesem Sinn  
 35 werden im folgenden immer dann, wenn nicht ausdrücklich von Stelleinheiten-Paaren die Rede ist, Schaltzustands-Kombinationen auch vereinfacht als erster, zweiter bzw. dritter Schaltzustand bezeichnet.

Die vorgegebenen Prozentsätze, um die die einzelnen Stufen die jeweils zugeführte Eingangsspannung ändern können, sind von Stufe zu Stufe verschieden und stehen vorzugsweise zueinander in etwa im Verhältnis von ganzzahligen Dreierpotenzen. So kann bei dem in Fig. 5 gezeigten Ausführungsbeispiel die  
 40 letzte Stufe 57, die der Last 7 am nächsten liegt, die ihr zugeführte Eingangsspannung beispielsweise um  $\pm A\%$  verändern oder nahezu unverändert weitergeben. Die mittlere Stufe 56 kann die ihr zugeführte Eingangsspannung um ca.  $\pm 3A\%$  ändern oder nahezu unverändert weitergeben und die vorderste, der Spannungsquelle 1 am nächsten liegende Stufe 55 kann die ihr zugeführte Eingangsspannung um ca.  $\pm 9A\%$  ändern oder nahezu unverändert weitergeben.

45

50

55

Tabelle 3

## Schaltzustands-Kombination

	1	2	3
	beide addierende Wicklungen ein	beide subtrahierende Wicklungen ein	"vordere" addierende und "hintere" subtrahierende Wicklung ein
Stelleinheit 34			
1. Stufe 55			
addierende Wicklung	+ 4,5%		
subtrahierende Wicklung	- 4,9%		
Stelleinheit 34'			
addierende Wicklung	+ 4,4%	- 8,9%	+ 0,1%
subtrahierende Wicklung	- 4,2%		
Stelleinheit 34			
addierende Wicklung	+ 1,5%		
subtrahierende Wicklung	- 1,55%		
2. Stufe 56			
addierende Wicklung	+ 1,5%		
subtrahierende Wicklung	- 1,55%		
Stelleinheit 34'			
addierende Wicklung	+ 3,02%	- 2,98%	+ 0,03%
subtrahierende Wicklung	- 1,45%		
Stelleinheit 34			
addierende Wicklung	+ 0,5%		
subtrahierende Wicklung	- 0,5%		
3. Stufe 57			
Stelleinheit 34'			
addierende Wicklung	+ 1,0%	- 1,0%	+ 0,0%
subtrahierende Wicklung	- 0,5%		

Für ein Ausführungsbeispiel, bei dem jede Stufe 55, 56, 57 von einem Stelleinheiten-Paar 34, 34' gebildet wird, ist dies in Tabelle 3 nochmals genauer für den Fall dargestellt, daß  $\pm A\% \approx \pm 1\%$  gewählt wird, so daß sich für das Stelleinheiten-Paar der mittleren Stufe 56 eine mögliche Amplitudenänderung von ca.  $\pm 3\%$  der diesem Paar zugeführten Eingangsspannung und für das Stelleinheiten-Paar der vordersten Stufe 55 eine mögliche Amplitudenänderung von ca.  $\pm 9\%$  ergibt.

Wie man der Tabelle 3 entnimmt, ist es zweckmäßig, zur Erzielung einer möglichst symmetrischen Änderung der jeweiligen Eingangsspannung eines Stelleinheiten-Paares die durch die einzelnen weiteren Wicklungen erzielbaren prozentualen Spannungsänderungen zumindest teilweise unterschiedlich zu wählen.

So gilt für das Paar der vordersten Stufe 55, daß die addierende Wicklung der Stelleinheit 34 eine Änderung von + 4,5% zu bewirken vermag, während die subtrahierende Wicklung eine Änderung von - 4,9% bewirken kann, und die addierende bzw. subtrahierende Wicklung der Stelleinheit 34' eine Änderung von + 4,4% bzw. - 4,2% auf die Eingangsspannung dieser hinteren Stelleinheit 34' der Stufe 55 aufprägen können.

Diese Prozentwerte sind durch eine entsprechende Wahl der Windungsverhältnisse so gewählt, daß sich für die drei verwendeten Schaltzustände der ersten Stufe die in Tabelle 3 rechts wiedergegebenen Gesamtänderungen ergeben, die + 9,1%, -8,9% und + 0,1% betragen. Diese drei Werte sind mit 0,1% höher gewählt als die angestrebten + 9%, - 9% und 0%. Hierdurch wird der Spannungsabfall ausgeglichen, der sich beim Fließen des Last-Stromes aufgrund der verbleibenden Drosselwirkung an den betreffenden ersten Windungen dieser beiden Stelleinheiten 34, 34' ergibt.

Entsprechendes gilt auch für die Stufe 56, mit um ca. 0,02% bis 0,03% höheren Werten, wie man der Tabelle 3 ohne weiteres entnehmen kann.

In Tabelle 4 sind, ähnlich wie in Tabelle 2 links nochmals die siebenundzwanzig Schaltzustands-Kombinationen aufgelistet, die sich mit einer drei Stelleinheiten-Paare umfassenden Transformatorschaltung gemäß Fig. 5 erzielen lassen, wenn für jedes Stelleinheiten-Paar nur drei Schaltzustands-Kombinationen benutzt werden. Daneben ist in Tabelle 4 für jede Stelleinheit 34, 34' der drei Stelleinheiten-Paare wiedergegeben, ob die addierende oder die subtrahierende Wicklung an die zugehörige Eingangs- bzw. Ausgangsspannung angeschlossen ist. Eine "1" bedeutet, daß die betreffende weitere Wicklung an die zugehörige Spannung angeschlossen ist, während eine "0" anzeigt, daß die Wicklung durch Öffnen des betreffenden Schalters 180, 181 bzw 180, 181' von dem Anschluß-Verbindungsleiter 10 (s. Fig. 2) getrennt und damit nicht an die Eingangs- bzw. Ausgangsspannung angeschlossen ist. Die Zahlenkombination 1001 für ein Stelleinheiten-Paar bedeutet somit, daß in der vorderen, d.h. näher an der Spannungsquelle 1 liegenden Stelleinheit die addierende Wicklung eingeschaltet und die subtrahierende Wicklung ausgeschaltet ist, während bei der hinteren, näher bei der Last 7 angeordneten Stelleinheit die addierende Wicklung ausgeschaltet und die subtrahierende Wicklung eingeschaltet ist. Ein so gekennzeichnetes Stelleinheiten-Paar befindet sich also in der oben definierten dritten Schaltzustands-Kombination, in der sich die Wirkungen der vorderen und der hinteren Stelleinheit praktisch gegenseitig aufheben, so daß am Ausgang des Stelleinheiten-Paares die Eingangsspannung mit nahezu unveränderter Amplitude erscheint.

35

40

45

50

55

Tabelle 4

5	Änderung Stelleinheit Wicklung	+ 9%				+ 3%				+ 1%				$\frac{U_L}{U_V}$
		34		34'		34		34'		34		34'		
		+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	
10	Kombination													
	n = 0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1,0014
	n = 1 <sup>+</sup>	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1,0114
15	n = 2 <sup>+</sup>	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1,0210
	n = 3 <sup>+</sup>	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1,0313
	n = 4 <sup>+</sup>	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1,0416
20	n = 5 <sup>+</sup>	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1,0479
	n = 6 <sup>+</sup>	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1,0585
	n = 7 <sup>+</sup>	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1,0691
	n = 8 <sup>+</sup>	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1,0804
25	n = 9 <sup>+</sup>	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1,0913
	n = 10 <sup>+</sup>	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1,1022
	n = 11 <sup>+</sup>	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1,1127
30	n = 12 <sup>+</sup>	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1,1239
	n = 13 <sup>+</sup>	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1,1352
	n = 1 <sup>-</sup>	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0,9914
35	n = 2 <sup>-</sup>	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0,9810
	n = 3 <sup>-</sup>	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0,9713
	n = 4 <sup>-</sup>	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0,9616
40	n = 5 <sup>-</sup>	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0,9480
	n = 6 <sup>-</sup>	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0,9386
	n = 7 <sup>-</sup>	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0,9292
	n = 8 <sup>-</sup>	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0,9204
45	n = 9 <sup>-</sup>	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0,9113
	n = 10 <sup>-</sup>	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0,9022
	n = 11 <sup>-</sup>	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0,8928
50	n = 12 <sup>-</sup>	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0,8839
	n = 13 <sup>-</sup>	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0,8751

Bei der Kombination n = 0 befinden sich alle drei Stelleinheiten-Paare in dem eben geschilderten  
 55 Zustand und man entnimmt der ganz rechten Spalte der Tabelle 4, daß das Verhältnis von Lastspannung  $U_L$   
 zur Versorgungsspannung  $U_V$  in diesem Fall gleich 1,0014 also praktisch gleich 1 ist.

Demgegenüber befinden sich z.B. bei n = 13<sup>+</sup> alle drei Stelleinheiten-Paare in einem Zustand, in dem  
 in beiden Stelleinheiten die addierende Wicklung eingeschaltet ist (erste Schaltzustands-Kombination



gekennzeichnet durch 1010). Der rechten Spalte entnimmt man, daß hier die Lastspannung  $U_L$  um 13,52% größer als die Versorgungsspannung  $U_V$  ist.

Die Schaltersteuerung 23 wählt diese Kombination dann, wenn die Versorgungsspannung  $U_V$  gegenüber dem Sollwert stark abgefallen ist.

- 5 Nimmt man an, daß die Abweichung  $\pm \delta$  % der Lastspannung vom Sollwert  $S$ , der hier gleich 100% gesetzt wird, maximal  $\pm 0,5\%$  betragen darf, so kann die Versorgungsspannung  $U_V$  auf 87,65% dieses Sollwerts abfallen, weil die erfindungsgemäße Transformatorschaltung diese abgesunkene Versorgungsspannung  $U_V$  um 13,52% (bezogen auf  $U_V = 100\%$ ) anheben kann; der sich ergebende Wert für die Lastspannung von

10

$$\begin{aligned} U_L &= U_V \cdot 1,1352 = \\ &= 87,65 \cdot 1,1352\% = \\ &= 99,5\% \text{ (bezogen auf den Sollwert)} \end{aligned}$$

15

liegt an der unteren Grenze von 99,5% (bezogen auf den Sollwert) und somit innerhalb des zulässigen Bereichs.

- 20 Für die Schaltzustands-Kombination  $n = 13^-$  gilt entsprechend, daß hier die Versorgungsspannung  $U_V$  auf 114,84% des Sollwerts angestiegen sein kann, ohne daß die Lastspannung

25

$$\begin{aligned} U_L &= U_V \cdot 0,8751 = \\ &= 114,84 \cdot 0,8751 = \\ &= 100,496\% \text{ (bezogen auf den Sollwert)} \end{aligned}$$

die obere Grenze 100,5% des zulässigen Bereichs übersteigt.

- Entsprechendes läßt sich für alle übrigen Schaltzustands-Kombinationen  $n$  erreichen. Dabei wird vorzugsweise immer bei solchen Werten der Versorgungsspannung  $U_V$  von einer Schaltzustands-Kombination zur nächsten übergegangen, bei denen die Amplitude der Lastspannung  $U_{Lvor}$  vor dem Schalten und die Amplitude der Lastspannung  $U_{Lnach}$  nach dem Schalten zum Sollwert  $S_L$  in etwa symmetrisch liegen. Aus den obigen Werten ergibt sich, daß bei diesem Ausführungsbeispiel Schwankungen der Versorgungsspannung  $U_V$  von  $+\Delta = +14,84\%$  (bezogen auf den Sollwert  $S = 100\%$ ) bis  $-\Delta = -13,35\%$  (ebenfalls bezogen auf  $S = 100\%$ ) so kompensiert werden können, daß die Lastspannung  $U_L$  nur innerhalb eines Bereiches von  $S \pm 0,5\%$  schwankt.

- Soll ein größerer Schwankungsbereich  $\pm \Delta$  % erfaßt werden, muß entweder die minimale Amplitudenänderung  $A$  vergrößert werden, was auf Kosten der Regelgenauigkeit  $\delta$  geht, oder es muß die Anzahl der Stufen vergrößert werden. Dabei kann es zweckmäßig sein, eine Stufe hinzuzufügen, deren Änderungsbereich nicht gleich der nächsten ganzzahligen Dreierpotenz von  $A$ , hier also nicht gleich  $\pm 27A$  ist, sondern nur ein ganzzahliges Vielfaches kleiner 27 von  $A$  beträgt, das so groß ist, daß dann, wenn alle vier Stufen in derselben Richtung, d.h. alle additiv oder alle subtraktiv wirken, der geforderte Schwankungsbereich  $\pm \Delta$  gerade überdeckt werden kann.

- Fig. 6 zeigt eine Abwandlung der erfindungsgemäßen Schaltungsanordnung, wie sie zur Steuerung der von einem Drei-Phasen-Netz abgegebenen Spannung Verwendung finden kann.

- Wie man der Fig. 6 entnimmt, ist für jeden der drei Phasenleiter  $R$ ,  $S$  und  $T$  eine erfindungsgemäße Transformatorschaltung 75, 76, 77 vorgesehen, die jeweils in gleicher Weise aufgebaut ist, wie die Transformatorschaltung in Fig. 5. Es besteht also jede dieser drei Transformatorschaltungen 75, 76, 77 aus drei in Reihe geschalteten Stufen 55, 56, 57, von denen hier jede aus einem Stelleinheiten-Paar 34, 34' besteht und vier verschiedene Schaltzustände annehmen kann. Somit können der Wechselspannung auf jedem der drei Phasenleiter  $R$ ,  $S$  und  $T$  Änderungsbeträge aufgeprägt werden, die zueinander im Verhältnis 1 : 3 : 9 stehen, oder es kann die Eingangswechselspannung unverändert weitergegeben werden oder es kann der Laststrom gedrosselt werden.

- Um die Stufen der Transformatorschaltungen 75, 76, 77 in der erforderlichen Weise in die drei verschiedenen Schaltzustände bringen zu können, ist jede der Transformatorschaltungen 75, 76, 77 nicht nur mit ihrem zugehörigen Phasenleiter  $R$ ,  $S$  bzw.  $T$ , sondern auch mit dem Null-Leiter  $N$  verbunden. Als Spannungsquelle dient hier ein Drei-Phasen-Netz 80.

Die auf den einzelnen Phasenleitern  $R$ ,  $S$ ,  $T$  vom Netz 80 gelieferten Spannungsamplituden werden mit

Hilfe einer Meßfühleranordnung 81 ständig gemessen, die die drei Meßsignale einer Komparatoranordnung 82 zuführt. Dort werden die Meßsignale mit einem gemeinsamen Referenzwert  $U_{ref}$  verglichen. Alternativ kann auch für jeden Phasenleiter R, S und T ein eigener Referenzwert vorgegeben werden.

Der Komparator 82 erzeugt für jeden der drei Phasenleiter R, S, T ein eigenes Differenzsignal, das einer Schaltersteuerung 83 zugeführt wird. Diese steuert über die Leitungsgruppen 85, 86, 87, die Schalter der Stufen 55, 56, 57 in jeder der Transformatorschaltungen 75, 76, 77 in der Weise, wie dies oben ausführlich erläutert wurde. Selbstverständlich ist auch hier jede Stelleinheit über mehrere Leitungen mit der Schaltersteuerung 83 verbunden, wie dies in den Fig. 1 und 2 dargestellt ist. Der Einfachheit halber wurden in Fig. 6 diese Leitungen jedoch nur als eine einzige bidirektionale Leitung dargestellt.

Den Ausgang einer jeden Transformatorschaltung 75, 76, 77 bildet ein Phasenleiter  $R_K$ ,  $S_K$  bzw.  $T_K$ , wobei der Buchstabe "K" andeutet, daß auf diesen Phasenleitern eine Wechselspannung mit konstant gehaltener Amplitude zur Verfügung steht. Diese Spannungen können entweder gemeinsam einer einzigen, einen Drei-Phasen-Strom benötigenden Last oder verschiedenen Lasten zugeführt werden, die jeweils nur mit einem 1-phasigen Wechselstrom betrieben werden müssen.

Alternativ kann auch bei einem Mehrphasensystem die Meßfühleranordnung 81 so ausgebildet sein, daß sie die auf den Phasenleitern  $R_K$ ,  $S_K$ ,  $T_K$  der oder den Lasten zugeführten Wechselspannungen mißt.

Bei größeren Anforderungen an die Regelgenauigkeit oder bei noch größeren Regelbereichen können auch bei den Transformatorschaltungen 75, 76, 77 mehr als drei Stufen vorgesehen werden. Analog zu Fig. 6 kann die erfindungsgemäße Schaltungsanordnung auch bei Mehrphasen-Systemen eingesetzt werden, die weniger oder mehr als drei Phasen umfassen.

## Patentansprüche

1. Transformatorschaltung zur Erzeugung einer einstellbaren, an einer Last liegenden Lastspannung aus einer Versorgungsspannung, die von einer Spannungsquelle geliefert wird, mit wenigstens einer Stelleinheit, die folgende Bestandteile umfaßt:
  - einen Transformator mit einer mit der Last in Reihe liegenden ersten Wicklung und mit wenigstens einer weiteren Wicklung, deren Windungsverhältnis zur ersten Wicklung größer 1 ist,
  - einen von der ersten Wicklung des Transformators her gesehen hinter der Last angeordneten und mit der Last in Reihe liegenden Anschluß-Verbindungsleiter, sowie
  - Schalter, mit deren Hilfe die Stelleinheit zwischen verschiedenen Schaltzuständen umschaltbar ist, wobei in wenigstens einem dieser Schaltzustände an eine weitere Wicklung eine Steuer-Wechselspannung angelegt ist, die in der ersten Wicklung eine Spannung induziert, die sich der Eingangswechselspannung derart aufprägt, daß sich die Amplitude der Ausgangswechselspannung um die Amplitude der induzierten Spannung von der Amplitude der Eingangswechselspannung unterscheidet, und in einem neutralen Schaltzustand eine weitere Wicklung so eingeschaltet ist, daß die Ausgangsspannung der Stelleinheit gleich der Eingangsspannung ist,
 dadurch **gekennzeichnet**, daß in dem neutralen Schaltzustand mit Hilfe der Schalter (150, 151; 180, 181) die wenigstens eine weitere Wicklung (11; 35, 36) in einen Strompfad (150, 11, 151; 35, 180, 185, 181, 36) eingeschaltet ist, der elektrisch parallel zur ersten Wicklung (9) des Transformators (8) liegt.
2. Transformatorschaltung nach Anspruch 1, bei der der Transformator (8) eine einzige weitere Wicklung (11) umfaßt, dadurch **gekennzeichnet**, daß die Stelleinheit (4) mit Hilfe der Schalter (150, 151, 152, 153) in die beiden folgenden Schaltzustände bringbar ist:
  - einen addierenden (ersten) Schaltzustand, in dem die weitere Wicklung (11) mit einem solchen Wicklungssinn an die Eingangsspannung ( $U_E$ ) der Stelleinheit (4) gelegt ist, daß sich die hierdurch in der ersten Wicklung (9) induzierte Spannung ( $\Delta U_1$ ) additiv auf die Eingangsspannung ( $U_E$ ) aufprägt, und
  - einen subtrahierenden (zweiten) Schaltzustand, in dem die weitere Wicklung (11) mit einem solchen Wicklungssinn an die Ausgangsspannung ( $U_A$ ) der Stelleinheit (4) gelegt ist, daß sich die hierdurch in der ersten Wicklung (9) induzierte Spannung ( $\Delta U_2$ ) subtraktiv auf die Eingangsspannung ( $U_E$ ) aufprägt,
 und daß zur Erzielung des neutralen (dritten) Schaltzustandes die beiden Enden (13, 14) der weiteren Wicklung (11) mit Hilfe eines ersten und eines zweiten Schalters (150, 151) mit den beiden Enden der ersten Wicklung (9) verbindbar sind.
3. Transformatorschaltung nach Anspruch 2, dadurch **gekennzeichnet**, daß die beiden Enden (13, 14) der weiteren Wicklung (11) jeweils über einen dritten Schalter (152) bzw. einen vierten Schalter (153)

- mit dem Anschluß-Verbindungsleiter (10) verbindbar sind, und daß der dritte und vierte Schalter (152, 153) jeweils in der Weise als Strombegrenzungsschaltung ausgebildet sind, daß sie im geschlossenen Zustand dem durch sie hindurchfließenden Strom nur einen kleinen, konstanten Widerstand entgegen-  
 5 setzen, solange dieser Strom kleiner als ein vorgegebener Grenzwert ist, und daß dieser Grenzwert etwas größer als der Strom gewählt ist, der im ersten oder zweiten Schaltzustand durch die weitere Wicklung (11) fließt.
4. Transformatorschaltung nach Anspruch 2, dadurch **gekennzeichnet**, daß die beiden Enden (13, 14) der weiteren Wicklung (11) jeweils über einen dritten Schalter (152) bzw. vierten Schalter (153) mit  
 10 einem weiteren Leiter (155) direkt galvanisch leitend verbindbar sind, und daß zwischen dem weiteren elektrischen Leiter (155) und dem Anschluß-Verbindungsleiter (10) eine Schaltungsanordnung (157) zur Strombegrenzung vorgesehen ist, die die beiden Leiter (155, 10) elektrisch leitend miteinander verbindet.
- 15 5. Transformatorschaltung nach Anspruch 4, dadurch **gekennzeichnet**, daß der Strompfad (152, 155, 153), der die beiden Enden (13, 14) der weiteren Wicklung (11) miteinander verbindet, wenn der dritte und vierte Schalter (152, 153) gleichzeitig geschlossen sind, einen elektrischen Widerstandswert besitzt, der größer als der ohmsche Widerstand der weiteren Wicklung (11) ist.
- 20 6. Transformatorschaltung nach Anspruch 1, dadurch **gekennzeichnet**, daß der Transformator (8) zwei weitere Wicklungen (35, 36) umfaßt, von denen die eine als addierende Wicklung (35) mit ihrem ersten Ende ständig mit dem Eingangsanschluß (2) der Stelleinheit (34) verbunden ist, mit dem die erste Wicklung (9) in Verbindung steht, und von denen die andere als subtrahierende Wicklung (36) mit  
 25 ihrem ersten Ende ständig mit dem Ausgangsanschluß (5) der Stelleinheit (34) verbunden ist, mit dem die erste Wicklung (9) in Verbindung steht, wobei die Stelleinheit mit Hilfe der Schalter (180, 181) in die folgenden Schaltzustände bringbar ist:
- einen addierenden (ersten) Schaltzustand, in dem nur die addierende weitere Wicklung (35) mit ihrem zweiten Ende mit dem Anschluß-Verbindungsleiter (10) in Verbindung steht, wodurch in der ersten Wicklung (9) eine Spannung ( $\Delta U_1$ ) induziert wird, die sich zur Eingangsspannung ( $U_E$ )  
 30 addiert,
  - einen subtrahierenden (zweiten) Schaltzustand, in dem nur die subtrahierende weitere Wicklung (36) mit ihrem zweiten Ende mit dem Anschluß-Verbindungsleiter (10) in Verbindung steht, wodurch in der ersten Wicklung (9) eine Spannung ( $\Delta U_2$ ) induziert wird, die sich von der Eingangsspannung ( $U_E$ ) subtrahiert,
- 35 und daß in dem neutralen (dritten) Schaltzustand die beiden zweiten Enden der beiden weiteren Wicklungen (35, 36) miteinander direkt galvanisch leitend verbunden sind.
7. Transformatorschaltung nach Anspruch 6, dadurch **gekennzeichnet**, daß die beiden Schalter (180, 181), durch die die zweiten Enden der beiden weiteren Wicklungen (35, 36) mit dem Anschluß-  
 40 Verbindungsleiter (10) verbindbar sind, durch einen weiteren elektrischen Leiter (185) direkt galvanisch leitend miteinander verbunden sind, und daß zwischen diesem Leiter (185) und dem Anschluß-Verbindungsleiter (10) eine Schaltungsanordnung (157) zur Strombegrenzung vorgesehen ist, die die beiden Leiter (185, 10) elektrisch leitend miteinander verbindet.
- 45 8. Transformatorschaltung nach einem der Ansprüche 4, 5 oder 7, dadurch **gekennzeichnet**, daß die Schaltungsanordnung (157) ein Schalter ist, der im ersten und zweiten Schaltzustand der Stelleinheit (4, 34) geschlossen und im dritten Schaltzustand geöffnet ist.
9. Transformatorschaltung nach einem der Ansprüche 4, 5 oder 7, dadurch **gekennzeichnet**, daß die  
 50 Schaltungsanordnung (157) eine Strombegrenzungsschaltung ist, die dem durch sie hindurchfließenden Strom einen kleinen, konstanten Widerstand entgegensetzt, solange dieser Strom kleiner als ein vorgegebener Grenzwert ist, und daß der Grenzwert etwas größer als der Strom gewählt ist, der im ersten oder zweiten Schaltzustand durch die jeweils an der Steuerspannung liegende weitere Wicklung (11; 35, 36) fließt.
- 55 10. Transformatorschaltung nach Anspruch 3 oder 9, dadurch **gekennzeichnet**, daß der Grenzwert der Strombegrenzungsschaltung veränderbar ist.

11. Transformatorschaltung nach Anspruch 10, dadurch **gekennzeichnet**, daß die Strombegrenzungsschaltung für Zeiträume, in denen sich die Stelleinheit längerfristig im dritten Schaltzustand befindet, auf einen zweiten Grenzwert umschaltbar ist, der wesentlich kleiner als der erste Grenzwert ist.
- 5 12. Transformatorschaltung nach Anspruch 11, dadurch **gekennzeichnet**, daß der zweite Grenzwert gleich Null ist.
13. Transformatorschaltung nach Anspruch 3 oder einem der Ansprüche 9 bis 12, dadurch **gekennzeichnet**, daß die Strombegrenzungsschaltung den durch sie hindurchfließenden Strom bei Annäherung an  
10 den Grenzwert mit einem stetigen Übergang auf diesen Grenzwert einregelt.
14. Transformatorschaltung nach Anspruch 3 oder einem der Ansprüche 9 bis 13, dadurch **gekennzeichnet**, daß die Strombegrenzungsschaltung (157) zwei V-MOS-Transistoren (190, 191), deren Source/Drain-Strecken mit einander entgegengesetzter Polung in Reihe geschaltet sind, und zwei  
15 Widerstände (192, 193) umfaßt, die miteinander und mit den Source/Drain-Strecken der beiden Transistoren (190, 191) in Reihe zwischen die beiden Transistoren (190, 191) geschaltet sind, und daß die Gate-Spannung für die beiden Transistoren (190, 191) an den Verbindungspunkt (195) der beiden Widerstände (192, 193) und den jeweiligen Gate-Anschluß gelegt ist.
- 20 15. Transformatorschaltung nach Anspruch 14, dadurch **gekennzeichnet**, daß die Strombegrenzungsschaltung (157) zwei Dioden (198, 199) umfaßt, die mit einander entgegengesetzter Polung in Reihe zwischen die beiden Stromanschlüsse (187, 188) der Strombegrenzungsschaltung (157) geschaltet sind und deren Verbindungspunkt (196) elektrisch leitend mit dem Verbindungspunkt (195) der beiden  
25 Widerstände (192, 193) verbunden ist, wobei die Durchlaßrichtung einer jeden Diode (198, 199) gleich der permanenten Durchlaßrichtung des im jeweiligen Parallelzweig liegenden V-MOS-Transistors (190, 191) ist.
16. Transformatorschaltung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch **gekennzeichnet**, daß das Windungsverhältnis einer jeden weiteren Wicklung (11; 35, 36, 35', 36') des Transformators (8) zur  
30 ersten Wicklung (9) in einem Bereich von 3 : 1 bis 200 : 1 liegt.
17. Transformatorschaltung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch **gekennzeichnet**, daß die Transformatorschaltung wenigstens zwei Stufen (55, 56, 57) umfaßt, von denen jede aus wenigstens einer Stelleinheit (4; 34; 34, 34') besteht und die so miteinander in Reihe geschaltet sind, daß die  
35 Ausgangsschaltspannung ( $U_A$ ) der vorderen Stufe (55, 56) die Eingangsschaltspannung ( $U_E$ ) der hinteren Stufe (56, 57) ist, und daß die wenigstens zwei ersten Wicklungen (9) der Transformatoren (8) der wenigstens zwei Stufen (55, 56, 57) direkt miteinander in Reihe liegen.
18. Transformatorschaltung nach Anspruch 17, dadurch **gekennzeichnet**, daß jede Stufe (55, 56, 57)  
40 wenigstens zwei Stelleinheiten (34, 34') umfaßt, die ein Stelleinheiten-Paar bilden, wobei die Windungsverhältnisse der jeweiligen ersten Wicklung (9, 9') zu den zugehörigen weiteren Wicklungen (35, 36, 35', 36') so aufeinander abgestimmt sind, daß die Ausgangsspannung ( $U_{AP}$ ) des Stelleinheiten-Paares (34, 34') gleich der Eingangsspannung ( $U_{EP}$ ) des Stelleinheiten-Paares (34, 34') ist, wenn die eine (34) der Stelleinheiten auf ihre Eingangsspannung ( $U_{EP}$ ) eine induzierte Spannung ( $\Delta U_1$ ) additiv und die  
45 andere Stelleinheit (34') auf ihre Eingangsspannung ( $U_E$ ) eine induzierte Spannung ( $\Delta U_2$ ) subtraktiv aufprägt.
19. Transformatorschaltung nach Anspruch 18, dadurch **gekennzeichnet**, daß die Absolutwerte der zumindest durch einige der Stufen (55, 56, 57) erzeugbaren Amplitudendifferenzen zueinander im Verhältnis  
50 ganzzahliger Dreierpotenzen 1 : 3 : 9 : usw. stehen.
20. Schaltungsanordnung mit einer Transformatorschaltung nach einem oder mehreren der Ansprüche 17 bis 19, dadurch **gekennzeichnet**, daß eine Wechselspannungs-Meßfühleranordnung (64, 67; 81), eine  
55 die Ausgangssignale der Meßfühleranordnung mit Referenzwerten ( $U_{ref1}, U_{ref2}; U_{ref}$ ) vergleichende Komparatoranordnung (63, 66; 82) und eine Schaltersteuerung (23; 83) vorgesehen sind, durch die die Schalter der Stufen (55, 56, 57) selektiv so betätigbar sind, daß der Last (7) eine Lastspannung ( $U_L$ ) mit möglichst konstanter Amplitude zugeführt wird.

21. Schaltungsanordnung nach Anspruch 20, dadurch **gekennzeichnet**, daß die Meßfühleranordnung einen Meßfühler (67; 81), der die von der Spannungsquelle (1; 80) abgegebene Versorgungsspannung ( $U_V$ ) mißt, und/oder einen Meßfühler (64) umfaßt, der die Lastspannung ( $U_L$ ) mißt.
- 5 22. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 20 oder 21, dadurch **gekennzeichnet**, daß für jeden der Phasenleiter (R, S, T) eines Mehrphasensystems eine Transformatorschaltung (75, 76, 77) mit einer oder mehreren Stufen (55, 56, 57), eine die Spannung auf jedem der Phasenleiter (R, S, T oder  $R_K, S_K, T_K$ ) messende Meßfühleranordnung (81), eine die Ausgangssignale der Meßfühleranordnung (81) mit wenigstens einem Referenzwert ( $U_{ref}$ ) vergleichende Komparatoranordnung (82) sowie eine Schaltersteuerung (83) vorgesehen sind, die aufgrund der von der Komparatoranordnung (82) abgegebenen Differenzsignale die Schalter der Stufen (55, 56, 57) aller Transformatorschaltungen (75, 76, 77) steuert.
- 10 23. Transformatorschaltung für ein Mehrphasensystem mit Null-Leiter, nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch **gekennzeichnet**, daß sie für jede Phase wenigstens eine Stelleinheit (4; 34) umfaßt, deren erste Wicklung (9) jeweils in dem betreffenden Phasenleiter liegt und deren Anschluß-Verbindungsleiter (10) mit dem Null-Leiter des Mehrphasensystems verbunden ist.
- 15 24. Transformatorschaltung für ein Mehrphasensystem ohne Null-Leiter nach einem der Ansprüche 1 bis 22, dadurch **gekennzeichnet**, daß sie für jede Phase wenigstens eine Stelleinheit (4; 34) umfaßt, deren erste Wicklung (9) jeweils in dem betreffenden Phasenleiter liegt, und daß die Anschluß-Verbindungsleiter (10) aller Stelleinheiten zur Bildung eines künstlichen Null-Leiters miteinander verbunden sind.
- 20 25. Transformatorschaltung für ein Mehrphasensystem ohne Null-Leiter nach einem der Ansprüche 1 bis 22, dadurch **gekennzeichnet**, daß sie für jede Phase wenigstens eine Stelleinheit (4; 34) umfaßt und daß die zu verschiedenen Phasen gehörenden Stelleinheiten in verketteter Schaltung angeordnet sind, wobei für jede Stelleinheit die erste Wicklung im zugehörigen Phasenleiter liegt und der Anschluß-Verbindungsleiter (10) von einem der anderen Phasenleiter gebildet wird.
- 25 26. Verfahren zum Umschalten einer Transformatorschaltung, die zur Erzeugung einer einstellbaren, an einer Last liegenden Lastspannung aus einer Versorgungsspannung, die von einer Spannungsquelle geliefert wird, wenigstens eine Stelleinheit aufweist, die folgende Bestandteile umfaßt:
- einen Transformator mit einer mit der Last in Reihe liegenden ersten Wicklung und mit wenigstens einer weiteren Wicklung, deren Windungsverhältnis zur ersten Wicklung größer 1 ist,
  - 35 - einen von der ersten Wicklung des Transformators her gesehen hinter der Last angeordneten und mit der Last in Reihe liegenden Anschluß-Verbindungsleiter, sowie
  - Schalter, mit deren Hilfe die Stelleinheit zwischen verschiedenen Schaltzuständen umschaltbar ist, wobei in wenigstens einem dieser Schaltzustände an eine weitere Wicklung eine Steuer-Wechselspannung angelegt ist, die in der ersten Wicklung eine Spannung induziert, die sich der Eingangswchselspannung derart aufprägt, daß sich die Amplitude der Ausgangswchselspannung um die Amplitude der induzierten Spannung von der Amplitude der Eingangswchselspannung unterscheidet, und in einem neutralen Schaltzustand eine weitere Wicklung so einschaltbar ist, daß die Ausgangsspannung der Stelleinheit gleich der Eingangsspannung ist, dadurch
  - 40 **gekennzeichnet**, daß in dem neutralen Schaltzustand mit Hilfe der Schalter (150, 151; 180, 181) die wenigstens eine weitere Wicklung (11; 35, 36) in einen Strompfad (150, 11, 151; 35, 180, 185, 181, 36) eingeschaltet wird, der elektrisch parallel zur ersten Wicklung (9) des Transformators (8) liegt.
  - 45
27. Verfahren nach Anspruch 26 für eine Transformatorschaltung mit einer Stelleinheit (4), bei der der Transformator (8) eine einzige weitere Wicklung (11) umfaßt, dadurch **gekennzeichnet**, daß die Stelleinheit (4) mit Hilfe der Schalter (150, 151, 152, 153) in die zwei folgenden Schaltzustände bringbar ist:
- einen addierenden (ersten) Schaltzustand, in dem die weitere Wicklung (11) mit einem solchen Wicklungssinn an die Eingangsspannung ( $U_E$ ) der Stelleinheit (4) gelegt ist, daß sich die hierdurch in der ersten Wicklung (9) induzierte Spannung ( $\Delta U_1$ ) additiv auf die Eingangsspannung ( $U_E$ ) aufprägt, und
  - 50 - einen subtrahierenden (zweiten) Schaltzustand, in dem die weitere Wicklung (11) mit einem solchen Wicklungssinn an die Ausgangsspannung ( $U_A$ ) der Stelleinheit (144) gelegt ist, daß sich
  - 55

die hierdurch in der ersten Wicklung (9) induzierte Spannung ( $\Delta U_2$ ) subtraktiv auf die Eingangsspannung ( $U_E$ ) aufprägt,  
 und daß zur Erzielung des neutralen (dritten) Schaltzustandes die beiden Enden (13, 14) der weiteren Wicklung (11) mit Hilfe eines ersten und eines zweiten Schalters (150, 151) mit den beiden Enden der ersten Wicklung (9) verbunden werden.

28. Verfahren nach Anspruch 27, dadurch **gekennzeichnet**, daß die beiden Enden (13, 14) der weiteren Wicklung (11) jeweils über einen dritten Schalter (152) bzw. einen vierten Schalter (153) mit dem Anschluß-Verbindungsleiter (10) verbindbar sind und daß der dritte und vierte Schalter (152, 153) jeweils in der Weise als Strombegrenzungsschaltung ausgebildet werden, daß sie im geschlossenen Zustand dem durch sie hindurchfließenden Strom nur einen kleinen, konstanten Widerstand entgegensetzen, solange dieser Strom kleiner als ein vorgegebener Grenzwert ist, daß dieser Grenzwert etwas größer als der Strom gewählt wird, der im ersten oder zweiten Schaltzustand durch die weitere Wicklung (11) fließt, daß der Übergang vom ersten in den zweiten oder vom zweiten in den ersten Schaltzustand dadurch jeweils unter kurzzeitiger Zwischenschaltung des dritten Schaltzustandes erfolgt, daß beim Übergang vom ersten Schaltzustand, in dem der erste Schalter (150) und der vierte Schalter (153) geschlossen und der zweite Schalter (151) und der dritte Schalter (152) geöffnet sind, in den zweiten Schaltzustand, in dem der zweite Schalter (151) und der dritte Schalter (152) geschlossen und der erste Schalter (150) und der vierte Schalter (153) geöffnet sind, zuerst der zweite Schalter (151) und der dritte Schalter (152) geschlossen und dann der erste Schalter (150) und der vierte Schalter (153) geöffnet werden, und daß beim Übergang vom zweiten in den ersten Schaltzustand zuerst der erste Schalter (150) und der vierte Schalter (153) geschlossen und dann der zweite Schalter (151) und der dritte Schalter (152) geöffnet werden.

29. Verfahren nach Anspruch 27, dadurch **gekennzeichnet**, daß der dritte und vierte Schalter (152, 153) durch einen weiteren elektrischen Leiter (155) direkt galvanisch leitend miteinander verbunden sind, daß zwischen dem weiteren elektrischen Leiter (155) und dem Anschluß-Verbindungsleiter (10) eine Schaltungsanordnung (157) zur Strombegrenzung vorgesehen ist, die die beiden Leiter (155, 10) elektrisch leitend miteinander verbindet, und daß der Übergang vom ersten in den zweiten oder vom zweiten in den ersten Schaltzustand jeweils dadurch unter kurzzeitiger Zwischenschaltung des dritten Schaltzustandes erfolgt, daß beim Übergang vom ersten Schaltzustand in den zweiten Schaltzustand zuerst der zweite Schalter (151) geschlossen, dann der vierte Schalter (153) geöffnet, dann der dritte Schalter (152) geschlossen und dann der erste Schalter (150) geöffnet wird, und daß beim Übergang vom zweiten in den ersten Schaltzustand zuerst der erste Schalter (150) geschlossen, dann der dritte Schalter (152) geöffnet, dann der vierte Schalter (153) geschlossen und dann der zweite Schalter (151) geöffnet wird, so daß der dritte und der vierte Schalter (152, 153) niemals gleichzeitig geschlossen sind.

30. Verfahren nach Anspruch 26 für eine Transformatorschaltung mit einer Stelleinheit (34), bei der der Transformator (8) zwei weitere Wicklungen (35, 36) umfaßt, von denen die eine als addierende Wicklung (35) mit ihrem ersten Ende ständig mit dem Eingangsanschluß (2) der Stelleinheit (34) verbunden ist, mit dem die erste Wicklung (9) in Verbindung steht, und von denen die andere als subtrahierende Wicklung (36) mit ihrem ersten Ende ständig mit dem Ausgangsanschluß (5) der Stelleinheit (34) verbunden ist, mit dem die erste Wicklung (9) in Verbindung steht, dadurch **gekennzeichnet**, daß die Stelleinheit mit Hilfe der Schalter (180, 181) in die folgenden Schaltzustände bringbar ist:

- einen addierenden (ersten) Schaltzustand, in dem nur die addierende weitere Wicklung (35) mit ihrem zweiten Ende mit dem Anschluß-Verbindungsleiter (10) in Verbindung steht, wodurch in der ersten Wicklung (9) eine Spannung ( $\Delta U_1$ ) induziert wird, die sich zur Eingangsspannung ( $U_E$ ) addiert,
- einen subtrahierenden (zweiten) Schaltzustand, in dem nur die subtrahierende weitere Wicklung (36) mit ihrem zweiten Ende mit dem Anschluß-Verbindungsleiter (10) in Verbindung steht, wodurch in der ersten Wicklung (9) eine Spannung ( $\Delta U_2$ ) induziert wird, die sich von der Eingangsspannung ( $U_E$ ) subtrahiert,

und daß in dem neutralen (dritten) Schaltzustand die beiden zweiten Enden der beiden weiteren Wicklungen (35, 36) miteinander direkt galvanisch leitend verbunden werden.

31. Verfahren nach Anspruch 30, dadurch **gekennzeichnet**, daß die beiden Schalter (180, 181), durch die

die zweiten Enden der beiden weiteren Wicklungen (35, 36) mit dem Anschluß-Verbindungsleiter (10) verbindbar sind, durch einen weiteren elektrischen Leiter (185) direkt galvanisch leitend miteinander verbunden sind, daß zwischen diesem Leiter (185) und dem Anschluß-Verbindungsleiter (10) eine Schaltungsanordnung (157) zur Strombegrenzung vorgesehen ist, die die beiden Leiter (185, 10) elektrisch leitend miteinander verbindet, daß beim Übergang vom ersten Schaltzustand, in dem der Schalter (180), der mit dem zweiten Ende der addierenden weiteren Wicklung (35) verbunden ist geschlossen und der Schalter (181), der mit dem zweiten Ende der subtrahierenden weiteren Wicklung (36) verbunden ist, geöffnet ist, in den zweiten Schaltzustand, in dem der Schalter (180), der mit dem zweiten Ende der addierenden weiteren Wicklung (35) verbunden ist, geöffnet und der Schalter (181), der mit dem zweiten Ende der subtrahierenden weiteren Wicklung (36) verbunden ist, geschlossen ist, zuerst der Schalter (181) für die subtrahierende Wicklung (36) geschlossen und danach der Schalter (180) für die addierende Wicklung (35) geöffnet wird, und daß beim Übergang vom zweiten in den ersten Schaltzustand zuerst der Schalter (180) für die addierende Wicklung (35) geschlossen und danach der Schalter (181) für die subtrahierende Wicklung (36) geöffnet wird.

32. Verfahren nach einem der Ansprüche 26 bis 31, dadurch **gekennzeichnet**, daß als Schalter (150, 151, 152, 153; 180, 181) elektronische Schalter verwendet werden, die zu beliebigen Zeitpunkten geschlossen und geöffnet werden können, und daß die Schalter, die zum Übergang vom dritten Schaltzustand in den ersten oder zweiten Schaltzustand geöffnet werden müssen, möglichst genau in den idealen Schaltzeitpunkten geöffnet werden, in denen der Strom, der im dritten Schaltzustand durch die weitere Wicklung (11; 35, 36) fließt, die nach dem Übergang in den ersten bzw. zweiten Schaltzustand an ihre entsprechende Steuerspannung angeschlossen ist, denselben Wert besitzt, wie der Strom der unmittelbar nach dem Schaltvorgang in dieser weiteren Wicklung (11; 35, 36) fließt.

33. Verfahren nach Anspruch 32, dadurch **gekennzeichnet**, daß als Näherung für die idealen Schaltzeitpunkte die Zeitpunkte zum Öffnen der Schalter verwendet werden, in denen der Strom, der im ersten oder zweiten Schaltzustand durch die weitere Wicklung (11; 35, 36) fließt, die in diesem Schaltzustand an ihrer entsprechenden Steuerspannung liegt, einen Nulldurchgang aufweist.

34. Verfahren nach Anspruch 33, dadurch **gekennzeichnet**, daß der Zeitabstand, den ein Nulldurchgang des Stroms, der im ersten oder zweiten Schaltzustand durch die in diesem Schaltzustand an ihrer jeweiligen Steuerspannung liegende weitere Wicklung (11; 35, 36) fließt, vom vorausgehenden oder zum nachfolgenden Nulldurchgang dieser Steuerspannung gemessen und der Meßwert gespeichert wird, und daß bei späteren Übergängen vom dritten in den ersten oder in den zweiten Schaltzustand dieser gespeicherte Meßwert verwendet wird, um ausgehend von einem Nulldurchgang der Steuerspannung den Zeitpunkt zum Öffnen der betreffenden Schalter zu ermitteln.

35. Verfahren nach einem der Ansprüche 26 bis 34 für eine Transformatorschaltung, die wenigstens zwei Stufen umfaßt, von denen jede aus wenigstens einer Stelleinheit besteht und die so miteinander in Reihe geschaltet sind, daß die Ausgangswechselspannung der vorderen Stufe die Eingangswechselspannung der hinteren Stufe ist, wobei die wenigstens zwei ersten Wicklungen der Transformatoren der wenigstens zwei Stufen direkt miteinander in Reihe liegen, und wobei eine Wechselspannungs-Meßfühleranordnung eine die Ausgangssignale der Meßfühleranordnung mit Referenzwerten vergleichende Komparatoranordnung und eine Schaltersteuerung vorgesehen sind, durch die die Schalter der Stufen selektiv so betätigbar sind, daß der Last eine Lastspannung mit möglichst konstanter Amplitude zugeführt wird, dadurch **gekennzeichnet**, daß der Absolutwert der kleinstmöglichen Amplitudenänderung ( $A$ ) zwischen dem 1,0fachen und dem 2,0-fachen des Absolutwerts der zulässigen Abweichung ( $\delta$ ) der Lastspannung ( $U_L$ ) vom Sollwert ( $S_L$ ) liegt, und daß die Schaltschwellen, bei denen bei zunehmender Abweichung der von der Spannungsquelle abgegebenen Versorgungsspannung ( $U_V$ ) von der Nennwechselspannung die aufgeprägte Amplitudendifferenz vom  $n$ -fachen der kleinstmöglichen Amplitudenänderung ( $A$ ) auf das  $(n+1)$ -fache, und bei abnehmender Abweichung vom  $(n+1)$ -fachen auf das  $n$ -fache umgeschaltet wird, so gewählt sind, daß die Amplitudenwerte der Lastspannung ( $U_L$ ) bei stetigem Durchlauf der Versorgungsspannung ( $U_V$ ) durch die jeweilige Schaltschwelle vor und nach dem Umschalten symmetrisch zum Sollwert ( $S_L$ ) liegen.

36. Verfahren nach Anspruch 35, dadurch **gekennzeichnet**, daß die Lastspannung ( $U_L$ ) auf einen Sollwert ( $S_L$ ) eingeregelt wird, der vom Nennwert ( $U_{V\text{enn}}$ ) der Versorgungsspannung ( $U_V$ ) verschieden ist.

## Claims

1. A transformer circuit for producing an adjustable load voltage at a load from a supply voltage which is delivered by a voltage source, comprising at least one adjusting unit which includes the following components:
  - a transformer having a first winding which is disposed in series with the load, and at least one further winding, the turns ratio of which with respect to the first winding is greater than 1,
  - a terminal connecting conductor which is arranged downstream of the load as viewed from the first winding of the transformer and is in series with the load, and
  - switches by means of which the adjusting unit can be switched over between different switching states, wherein in at least one of said switching states applied to a further winding is a control ac voltage which induces in the first winding a voltage which is impressed on the input ac voltage in such a way that the amplitude of the output ac voltage differs from the amplitude of the input ac voltage by the amplitude of the induced voltage, and in a neutral switching state a further winding is switched into circuit in such a way that the output voltage of the adjusting unit is equal to the input voltage, characterised in that in the neutral switching state by means of the switches (150, 151; 180, 181) the at least one further winding (11; 35, 36) is connected into a current path (150, 11, 151; 35, 180, 185, 181, 36) which is disposed electrically in parallel with the first winding (9) of the transformer (8).
2. A transformer circuit according to claim 1 wherein the transformer (8) includes a single further winding (11), characterised in that the adjusting unit (4) can be put into the two following switching states by means of the switches (150, 151, 152, 153):
  - an adding (first) switching state in which the further winding (11) is applied to the input voltage ( $U_E$ ) of the adjusting unit (4) with a sense of winding such that the voltage ( $\Delta U_1$ ) induced thereby in the first winding (9) is additively impressed on the input voltage ( $U_E$ ), and
  - a subtracting (second) switching state in which the further winding (11) is applied to the output voltage ( $U_A$ ) of the adjusting unit (4) with a sense of winding such that the voltage ( $\Delta U_2$ ) induced thereby in the first winding (9) is subtractively impressed on the input voltage ( $U_E$ ), and that to produce the neutral (third) switching state the two ends (13, 14) of the further winding (11) can be connected by means of first and second switches (150, 151) to the two ends of the first winding (9).
3. A transformer circuit according to claim 2 characterised in that the two ends (13, 14) of the further winding (11) can be connected to the terminal connecting line (10) by way of a third switch (152) and a fourth switch (153) respectively and that the third and fourth switches (152, 153) are each in the form of a current limiting circuit in such a manner that in the closed condition they oppose only a low constant resistance to the current flowing through them as long as that current is less than a predetermined limit value and that said limit value is selected to be somewhat greater than the current which flows through the further winding (11) in the first or second switching state.
4. A transformer circuit according to claim 2 characterised in that the two ends (13, 14) of the further winding (11) can be directly galvanically conductively connected to a further conductor (155) by way of a third switch (152) and a fourth switch (153) respectively and that provided between the further electric conductor (155) and the terminal connecting conductor (10) is a current limiting circuit arrangement (157) which electrically conductively connects together the two conductors (155, 10).
5. A transformer circuit according to claim 4 characterised in that the current path (152, 155, 153) which connects together the two ends (13, 14) of the further winding (11) when the third and fourth switches (152, 153) are closed at the same time has an electrical resistance which is greater than the ohmic resistance of the further winding (11).
6. A transformer circuit according to claim 1 characterised in that the transformer (8) includes two further windings (35, 36) of which the one is constantly connected as an adding winding (35) by its first end to the input terminal (2) of the adjusting unit (34), to which terminal the first winding (9) is connected, while the other of said two further windings is constantly connected as a subtracting winding (36) by its first end to the output terminal (5) of the adjusting unit (34), to which terminal the first winding (9) is



connected, wherein the adjusting unit can be put into the following switching states by means of the switches (180, 181):

- an adding (first) switching state in which only the adding further winding (35) is connected by its second end to the terminal connecting conductor (10) whereby induced in the first winding (9) is a voltage ( $\Delta U_1$ ) which is added to the input voltage ( $U_E$ ), and
- a subtracting (second) switching state in which only the subtracting further winding (36) is connected by its second end to the terminal connecting conductor (10) whereby induced in the first winding (9) is a voltage ( $\Delta U_2$ ) which is subtracted from the input voltage ( $U_E$ ), and that in the neutral (third) switching state the two second ends of the two further windings (35, 36) are directly galvanically conductively connected to each other.

7. A transformer circuit according to claim 6 characterised in that the two switches (180, 181) by which the two ends of the two further windings (35, 36) can be connected to the terminal connecting conductor (10) are directly galvanically conductively connected together by a further electric conductor (185) and that provided between said conductor (185) and the terminal connecting conductor (10) is a current limiting circuit arrangement (157) which electrically conductively connects the two conductors (185, 10) together.
8. A transformer circuit according to one of claims 4, 5 and 7 characterised in that the circuit arrangement (157) is a switch which is closed in the first and second switching states of the adjusting unit (4, 34) and which is opened in the third switching state.
9. A transformer circuit according to one of claims 4, 5 and 7 characterised in that the circuit arrangement (157) is a current limiting circuit which opposes a low constant resistance to the current flowing through it as long as said current is less than a predetermined limit value and that the limit value is selected to be somewhat greater than the current which flows in the first or second switching state through the respective further winding (11; 35, 36) connected to the control voltage.
10. A transformer circuit according to claim 3 or claim 9 characterised in that the limit value of the current limiting circuit is variable.
11. A transformer circuit according to claim 10 characterised in that for periods of time in which the adjusting unit is disposed for a longer period in the third switching state the current limiting circuit can be switched over to a second limit value which is substantially lower than the first limit value.
12. A transformer circuit according to claim 11 characterised in that the second limit value is equal to zero.
13. A transformer circuit according to claim 3 or one of claims 9 to 12 characterised in that the current limiting circuit regulates the current flowing therethrough, as it approaches the limit value, with a steady transition to said limit value.
14. A transformer circuit according to claim 3 or one of claims 9 to 13 characterised in that the current limiting circuit (157) comprises two V-MOS-transistors (190, 191) whose source/drain paths are connected in series with mutually opposite polarities, and two resistors (192, 193) which are connected to each other and to the source/drain paths of the two transistors (190, 191) in series between the two transistors (190, 191), and that the gate voltage for the two transistors (190, 191) is applied to the connection point (195) of the two resistors (192, 193) and the respective gate terminal.
15. A transformer circuit according to claim 14 characterised in that the current limiting circuit (157) comprises two diodes (198, 199) which are connected with mutually opposite polarities in series between the two current terminals (187, 188) of the current limiting circuit (157) and whose connection point (196) is electrically conductively connected to the connection point (195) of the two resistors (192, 193), wherein the forward direction of each diode (198, 199) is the same as the permanent forward direction of the V-MOS-transistor (190, 191) disposed in the respective parallel branch.
16. A transformer circuit according to one of the preceding claims characterised in that the turns ratio of each further winding (11; 35, 36, 35', 36') of the transformer (8) relative to the first winding (9) is in a range of from 3:1 to 200:1.

17. A transformer circuit according to one of the preceding claims characterised in that the transformer circuit comprises at least two stages (55, 56, 57) each of which comprises at least one adjusting unit (4; 34; 34') and which are so connected together in series that the output ac voltage ( $U_A$ ) of the upstream stage (55, 56) is the input ac voltage ( $U_E$ ) of the downstream stage (56, 57) and that the at least two first windings (9) of the transformers (8) of the at least two stages (55, 56, 57) are directly disposed in series with each other.
18. A transformer circuit according to claim 17 characterised in that each stage (55, 56, 57) includes at least two adjusting units (34, 34') which form an adjusting unit pair, wherein the turns ratios of the respective first windings (9, 9') with respect to the associated further windings (35, 36, 35', 36') are so matched to each other that the output voltage ( $U_{AP}$ ) of the adjusting unit pair (34, 34') is equal to the input voltage ( $U_{EP}$ ) of the adjusting unit pair (34, 34') when one (34) of the adjusting units additively impresses an induced voltage ( $\Delta U_1$ ) on its input voltage ( $U_{EP}$ ) and the other adjusting unit (34') subtractively impresses an induced voltage ( $\Delta U_2$ ) on its input voltage ( $U_E$ ).
19. A transformer circuit according to claim 18 characterised in that the absolute values of the amplitude differences which can be produced at least by some of the stages (55, 56, 57) are related to each other in a relationship of integral powers of three 1:3:9: etc.
20. A circuit arrangement comprising a transformer circuit according to one or more of claims 17 to 19 characterised in that there are provided an ac measuring sensor arrangement (64, 67; 81), a comparator arrangement (63, 66; 82) for comparing the output signals of the measuring sensor arrangement to reference values  $U_{ref1}$ ,  $U_{ref2}$ ,  $U_{ref}$ , and a switch control means (23; 83) by which the switches of the stages (55, 56, 57) can be selectively actuated so that the load (7) is supplied with a load voltage ( $U_L$ ) at an amplitude which is as constant as possible.
21. A circuit arrangement according to claim 20 characterised in that the measuring sensor arrangement comprises a measuring sensor (67; 81) which measures the supply voltage ( $U_V$ ) outputted by the voltage source (1; 80), and/or a measuring sensor (64) which measures the load voltage ( $U_L$ ).
22. A circuit arrangement according to one of claims 20 and 21 characterised in that for each of the phase conductors (R, S, T) of a multi-phase system there are provided a transformer circuit (75, 76, 77) with one or more stages (55, 56, 57), a measuring sensor arrangement (81) for measuring the voltage on each of the phase conductors (R, S, T or  $R_K$ ,  $S_K$ ,  $T_K$ ), a comparator arrangement (82) for comparing the output signals of the measuring sensor arrangement (81) to at least one reference value ( $U_{ref}$ ), and a switch control means (83) which controls the switches of the stages (55, 56, 57) of all transformer circuits (75, 76, 77) on the basis of the difference signals outputted by the comparator arrangement (82).
23. A transformer circuit for a multi-phase system with neutral conductor according to one of the preceding claims characterised in that for each phase it includes at least one adjusting unit (4; 34) whose first winding (9) is disposed in the respective phase conductor and whose terminal connecting conductor (10) is connected to the neutral conductor of the multi-phase system.
24. A transformer circuit for a multi-phase system without neutral conductor according to one of Claims 1 to 22 characterised in that for each phase it includes at least one adjusting unit (4; 34) whose first winding (9) is disposed in the respective phase conductor and that the terminal connecting conductors (10) of all adjusting units are connected together to form an artificial neutral conductor.
25. A transformer circuit for a multi-phase system without neutral conductor according to one of claims 1 to 22 characterised in that for each phase it includes at least one adjusting unit (4; 34) and that the adjusting units belonging to different phases are arranged in a linked circuit, wherein for each adjusting unit the first winding is in the associated phase conductor and the terminal connecting conductor (10) is formed by one of the other phase conductors.
26. A method of switching over a transformer circuit which, for producing an adjusting load voltage at a load from a supply voltage delivered by a voltage source, has at least one adjusting unit which comprises the following components:

- a transformer with a first winding disposed in series with the load and with at least one further winding, the turns ratio of which is greater than 1 relative to the first winding,
- a terminal connecting conductor which is arranged downstream of the load as viewed from the first winding of the transformer and which is in series with the load, and
- 5 - switches by means of which the adjusting unit can be switched over between different switching states, wherein in at least one of said switching states applied to a further winding is a control ac voltage which induces in the first winding a voltage which is impressed on the input ac voltage in such a way that the amplitude of the output ac voltage differs from the amplitude of the input ac voltage by the amplitude of the induced voltage, and in a neutral switching state a further winding
- 10 can be switched into circuit so that the output voltage of the adjusting unit is equal to the input voltage, characterised in that in the neutral switching state by means of the switches (150, 151; 180, 181) the at least one further winding (11; 35, 36) is connected into a current path (150, 11, 151; 35, 180, 185, 181, 36) which is disposed electrically in parallel with the first winding (9) of the transformer (8).

15

27. A method according to claim 26 for a transformer circuit having an adjusting unit (4) in which the transformer (8) includes a single further winding (11), characterised in that the adjusting unit (4) can be put into the two following switching states by means of the switches (150, 151, 152, 153):

- 20 - an adding (first) switching state in which the further winding (11) is applied to the input voltage ( $U_E$ ) of the adjusting unit (4) with a sense of winding such that the voltage ( $\Delta U_1$ ) induced thereby in the first winding (9) is additively impressed on the input voltage ( $U_E$ ), and
- a subtracting (second) switching state in which the further winding (11) is applied to the output voltage ( $U_A$ ) of the adjusting unit (4) with a sense of winding such that the voltage ( $\Delta U_2$ ) induced thereby in the first winding (9) is subtractively impressed on the input voltage ( $U_E$ ),
- 25 and that to produce the neutral (third) switching state the two ends (13, 14) of the further winding (11) are connected by means of first and second switches (150, 151) to the two ends of the first winding (9).

28. A method according to claim 27 characterised in that the two ends (13, 14) of the further winding (11) can be connected to the terminal connecting conductor (10) by way of a third switch (152) and a fourth switch (153) respectively and that the third and fourth switches (152, 153) are each in the form of a current limiting circuit in such a manner that in the closed condition they oppose only a low constant resistance to the current flowing through them as long as that current is less than a predetermined limit value, that said limit value is selected to be somewhat greater than the current which flows through the

35 further winding (11), in the first or second switching state, that the transition from the first to the second or from the second to the first switching state is effected, in each case with the temporary interposition of the third switching state, in that in the transition from the first switching state in which the first switch (150) and the fourth switch (153) are closed and the second switch (151) and the third switch (152) are opened, into the second switching state in which the second switch (151) and the third switch (152) are closed and the first switch (150) and the fourth switch (153) are opened, firstly the second switch (151) and the third switch (152) are closed and then the first switch (150) and the fourth switch (153) are opened, and that in the transition from the second to the first switching state, firstly the first switch (150) and the fourth switch (153) are closed and then the second switch (151) and the third switch (152) are opened.

45

29. A method according to claim 27 characterised in that the third and fourth switches (152, 153) are directly galvanically conductively connected together by a further electric conductor (155), that provided between the further electric conductor (155) and the terminal connecting conductor (10) is a current limiting circuit arrangement (157) which electrically conductively connects the two conductors (155, 10)

50 together and that the transition from the first to the second or from the second to the first switching state is effected, in each case with the temporary interposition of the third switching state, in that in the transition from the first switching state into the second switching state firstly the second switch (151) is closed, then the fourth switch (153) is opened, then the third switch (152) is closed and then the first switch (150) is opened, and that in the transition from the second to the first switching state firstly the first switch (150) is closed, then the third switch (152) is opened, then the fourth switch (153) is closed and then the second switch (151) is opened, so that the third and fourth switches (152, 153) are never simultaneously closed.

55

30. A method according to claim 26 for a transformer circuit comprising an adjusting unit (34) in which the transformer (8) includes two further windings (35, 36) of which the one is constantly connected as an adding winding (35) by its first end to the input terminal (2) of the adjusting unit (34), to which terminal the first winding (9) is connected, while the other of said two further windings is constantly connected as a subtracting winding (36) by its first end to the output terminal (5) of the adjusting unit (34), to which terminal the first winding (9) is connected, characterised in that the adjusting unit can be put into the following switching states by means of the switches (180, 181):
- an adding (first) switching state in which only the adding further winding (35) is connected by its second end to the terminal connecting conductor (10) whereby induced in the first winding (9) is a voltage ( $\Delta U_1$ ) which is added to the input voltage ( $U_E$ ), and
  - a subtracting (second) switching state in which only the subtracting further winding (36) is connected by its second end to the terminal connecting conductor (10) whereby induced in the first winding (9) is a voltage ( $\Delta U_2$ ) which is subtracted from the input voltage ( $U_E$ ), and that in the neutral (third) switching state the two second ends of the two further windings (35, 36) are directly galvanically conductively connected to each other.
31. A method according to claim 30 characterised in that the two switches (180, 181) by which the two ends of the two further windings (35, 36) can be connected to the terminal connecting conductor (10) are directly galvanically conductively connected together by a further electric conductor (185), that provided between said conductor (185) and the terminal connecting conductor (10) is a current limiting circuit arrangement (157) which electrically conductively connects the two conductors (185, 10) together, that in the transition from the first switching state in which the switch (180) which is connected to the second end of the adding further winding (35) is closed and the switch (181) which is connected to the second end of the subtracting further winding (36) is opened into the second switching state in which the switch (180) which is connected to the second end of the adding further winding (35) is opened and the switch (181) which is connected to the second end of the subtracting further winding (36) is closed, firstly the switch (181) for the subtracting winding (36) is closed and thereafter the switch (180) for the adding winding (35) is opened, and that in the transition from the second to the first switching state firstly the switch (180) for the adding winding (35) is closed and thereafter the switch (181) for the subtracting winding (36) is opened.
32. A method according to one of claims 26 to 31 characterised in that the switches (150, 151, 152, 153; 180, 181) used are electronic switches which can be closed and opened at any times and that the switches which must be opened for the transition from the third switching state to the first or second switching state are opened as precisely as possible at the ideal switching times at which the current which flows in the third switching state through the further winding (11; 35, 36) which is connected to its corresponding control voltage after the transition into the first or second switching state respectively is of the same value as the current which flows in said further winding (11; 35, 36) immediately after the switching operation.
33. A method according to claim 32 characterised in that used as an approximation for the ideal switching times are the times for opening of the switches at which the current which flows in the first or second switching state through the further winding (11; 35, 36) which in that switching state is connected to its corresponding control voltage has a passage through zero.
34. A method according to claim 33 characterised in that the time interval of a passage through zero of the current which in the first or second switching state flows through the further winding (11; 35, 36) which in that switching state is connected to its respective control voltage, from the preceding or in relation to the subsequent passage through zero of said control voltage is measured and the measurement value is stored, and that in later transitions from the third to the first or the second switching state said stored measurement value is used in order to determine the time for opening of the respective switches, beginning with a passage through zero of the control voltage.
35. A method according to one of claims 26 to 34 for a transformer circuit which includes at least two stages of which each comprises at least one adjusting unit and which are so connected together in series that the output ac voltage of the upstream stage is the input ac voltage of the downstream stage, wherein the at least two first windings of the transformers of the at least two stages are disposed directly in series with each other, and wherein there are provided an ac voltage measuring sensor

arrangement, a comparator arrangement for comparing the output signals of the measuring sensor arrangement with reference values, and a switch control means by which the switches of the stages can be selectively actuated so that the load receives a load voltage at an amplitude which is as constant as possible, characterised in that the absolute value of the smallest possible variation (A) in amplitude is  
 5 between 1.0 times and 2.0 times the absolute value of the admissible deviation ( $\delta$ ) of the load voltage ( $U_L$ ) from the desired value ( $S_L$ ), and that the switching thresholds at which, with an increasing deviation in respect of the supply voltage ( $U_V$ ) which is outputted by the voltage source from the nominal ac voltage, the impressed amplitude difference is switched over from n-times the smallest possible change (A) in amplitude to (n + 1)-times, and with a decreasing deviation it is switched over from (n-1)-times to  
 10 n-times, are so selected that the amplitude values of the load voltage ( $U_L$ ) with a steady passage of the supply voltage ( $U_V$ ) through the respective switching threshold, lie symmetrically relative to the desired value ( $S_L$ ) before and after the switching-over operation.

36. A method according to claim 35 characterised in that the load voltage ( $U_L$ ) is regulated to a desired  
 15 value ( $S_L$ ) which is different from the nominal value ( $U_{Vnenn}$ ) of the supply voltage ( $U_V$ ).

### Revendications

1. Circuit de transformateur, pour la production d'une tension de charge réglable, appliquée à une charge,  
 20 à partir d'une tension d'alimentation fournie par une source de tension, avec au moins une unité de réglage dont les composants sont les suivants:
  - un transformateur, avec un premier bobinage, placé en série avec la charge, et au moins un bobinage supplémentaire, dont le rapport du nombre des spires par rapport au premier bobinage est supérieur à 1,
  - 25 - un conducteur reliant des bornes, disposé, en observant depuis le premier bobinage du transformateur, derrière la charge et placé en série avec celle-ci, ainsi que
  - des commutateurs, à l'aide desquels l'unité de réglage est commutable entre différents états de connexion, où, au moins dans l'un de ces états de connexion, est appliquée, à un bobinage supplémentaire, une tension alternative de commande qui induit, dans le premier bobinage, une  
 30 tension qui influe sur la tension alternative d'entrée, de telle façon que l'amplitude de la tension alternative à la sortie se distingue de l'amplitude de la tension alternative à l'entrée par l'amplitude de la tension induite, et où, dans un état de connexion neutre, un bobinage supplémentaire soit mis en circuit si bien que la tension de sortie de l'unité de réglage soit égale à la tension d'entrée,
  - 35 caractérisé en ce que, à l'état neutre de connexion, à l'aide des commutateurs (150, 151; 180, 181) le bobinage supplémentaire (11; 35, 36) qui, au moins au nombre de un, est mis en circuit dans une voie de courant électrique (150, 11, 151; 35, 180, 185, 181, 36) qui est en parallèle avec le premier bobinage (9) du transformateur (8).
- 40 2. Circuit de transformateur selon la revendication 1, dans lequel le transformateur (8) comprend un bobinage supplémentaire unique (11), caractérisé en ce que l'unité de réglage (4) est connectable à l'aide des commutateurs (150, 151, 152, 153), dans les deux états de commutation suivants:
  - un (premier) état de connexion additionneur, dans lequel le bobinage supplémentaire (11) est soumis à la tension d'entrée ( $U_E$ ) de l'unité de réglage (4), avec un sens de bobinage tel que la  
 45 tension ( $\Delta U_1$ ) induite de ce fait dans le premier bobinage (9) influe de façon additive sur la tension d'entrée ( $U_E$ ), et
  - un (deuxième) état de connexion soustracteur, dans lequel le bobinage supplémentaire (11) est soumis à la tension de sortie ( $U_A$ ) de l'unité de réglage (4), avec un sens de bobinage tel que la tension ( $\Delta U_2$ ) induite de ce fait dans le premier bobinage (9) influe de façon soustractive sur la  
 50 tension d'entrée ( $U_E$ ),
 et que les deux extrémités (13, 14) du bobinage supplémentaire (11) sont reliées, à l'aide d'un premier et d'un deuxième commutateurs (150, 151), aux deux extrémités du premier bobinage (9), pour obtenir le (troisième) état de connexion neutre.
- 55 3. Circuit de transformateur selon la revendication 2, caractérisé en ce que les deux extrémités (13, 14) du bobinage supplémentaire (11) sont reliées au conducteur (10) reliant des bornes, d'une part par l'intermédiaire d'un troisième commutateur (152), d'autre part par l'intermédiaire d'un quatrième commutateur (153), et que les troisième et quatrième commutateurs (152, 153) sont respectivement

- réalisés à la façon d'un circuit limiteur d'intensité de courant, de manière qu'à l'état fermé il ne soit opposé au courant qui y passe qu'une résistance constante et faible, tant que ce courant est inférieur à une valeur limite prédéterminée, et en ce que cette valeur limite est choisie un peu supérieure à l'intensité du courant qui passe dans le bobinage supplémentaire (11) au premier ou au deuxième état de connexion.
- 5
4. Circuit de transformateur selon la revendication 2, caractérisé en ce que les deux extrémités (13, 14) du bobinage supplémentaire (11) sont susceptibles d'être directement reliées galvaniquement, d'une part par l'intermédiaire d'un troisième commutateur (152), d'autre part par l'intermédiaire d'un quatrième commutateur (153), à un conducteur supplémentaire (155), et qu'entre le conducteur électrique supplémentaire (155) et le conducteur (10) reliant des bornes est prévu un circuit (157) servant à limiter l'intensité, qui relie électriquement les deux conducteurs (15, 10) entre eux.
- 10
5. Circuit de transformateur selon la revendication 4, caractérisé en ce que la voie de courant (152, 155, 153) qui relie entre elles les deux extrémités (13, 14) du bobinage supplémentaire (11), présente, lorsque le troisième et le quatrième commutateurs (152, 153) sont simultanément fermés, une résistance électrique dont la valeur est supérieure à la résistance ohmique du bobinage supplémentaire (11).
- 15
6. Circuit de transformateur selon la revendication 1, caractérisé en ce que le transformateur (8) comprend deux bobinages supplémentaires (35, 36), dont l'un est un bobinage additionneur (35) dont la première extrémité est constamment reliée au raccordement d'entrée (2) de l'unité de réglage (34), auquel le premier bobinage (9) est relié, et dont l'autre est un bobinage soustracteur (36) dont la première extrémité est constamment reliée au raccordement de sortie (5) de l'unité de réglage (34), auquel le premier bobinage (9) est relié, où l'unité de réglage est susceptible d'être placée, à l'aide des commutateurs (180, 181) dans les états de commutation suivants:
- 20
- un (premier) état de connexion additionneur, dans lequel seul le bobinage supplémentaire additionneur (35) est relié, par sa deuxième extrémité, au conducteur (10) reliant des bornes, grâce à quoi est induite dans le premier bobinage (9) une tension ( $\Delta U_1$ ) qui s'additionne à la tension d'entrée ( $U_E$ ),
  - un (deuxième) état de connexion soustracteur, dans lequel seul le bobinage supplémentaire soustracteur (36) est relié, par sa deuxième extrémité, au conducteur (10) reliant des bornes, grâce à quoi est induite dans le premier bobinage (9) une tension ( $\Delta U_2$ ) qui se soustrait de la tension d'entrée ( $U_E$ ),
- 25
- et que les deux deuxièmes extrémités des deux bobinage supplémentaire (35,36) sont reliées directement entre elles galvaniquement dans le (troisième) état de connexion neutre.
- 30
7. Circuit de transformateur selon la revendication 6, caractérisé en ce que les deux commutateurs (180,181), grâce auxquels les deux extrémités des deux bobinages supplémentaires (35,36) sont reliables au conducteur (10) reliant des bornes, sont directement reliées entre elles galvaniquement grâce à un conducteur électrique supplémentaire (185), et qu'entre ce conducteur (185) et le conducteur (10) reliant des bornes est prévu un circuit (157) servant à limiter l'intensité du courant, qui relie entre eux électriquement les deux conducteurs (185, 10).
- 35
8. Circuit de transformateur selon l'une des revendications 4, 5 ou 7, caractérisé en ce que le circuit (157) est un commutateur qui est fermé dans les premier et deuxième états de connexion de l'unité de réglage (4, 34) et ouvert dans le troisième.
- 40
9. Circuit de transformateur selon l'une des revendications 4, 5 ou 7, caractérisé en ce que le circuit (157) est un circuit de limitation d'intensité du courant, qui oppose au courant qui le traverse une résistance constante et faible, tant que ce courant est inférieur à une valeur limite prédéterminée, et en ce que la valeur limite est choisie un peu supérieure à l'intensité passant dans le premier ou le deuxième état de connexion dans le bobinage supplémentaire (11; 35, 36) placé sous la tension de commande.
- 45
10. Circuit de transformateur selon la revendication 3 ou 9, caractérisé en ce que la valeur limite du circuit de limitation d'intensité est modifiable.
- 50
11. Circuit de transformateur selon la revendication 10, caractérisé en ce que le circuit de limitation
- 55

d'intensité de courant est commutable à une deuxième valeur limite, sensiblement inférieure à la première, pendant des temps au cours desquels l'unité de réglage se trouve à long terme dans le troisième état de connexion.

- 5    **12.** Circuit de transformateur selon la revendication 11, caractérisé en ce que la deuxième valeur limite est égale à zéro.
13. Circuit de transformateur selon la revendication 3 ou l'une des revendications 9 à 12, caractérisé en ce que le circuit de limitation d'intensité règle le courant passant à travers lui à l'approche de la valeur  
10    limite, avec un dépassement continu à cette valeur limite.
14. Circuit de transformateur selon la revendication 3 ou l'une des revendications 9 à 13, caractérisé en ce que le circuit (157) de limitation d'intensité du courant comprend deux transistors V-MOS (190; 191), dont les pistes de source et de drain sont placées en série avec des polarités mutuellement opposées,  
15    et aussi deux résistances (192, 193) branchées en série, entre elles et les pistes de source et de drain des deux transistors (190, 191), entre ces derniers, et la tension de porte des deux transistors (190, 191) étant appliquée au point de liaison (195) des deux résistances (192, 193) et du raccordement de porte respectif.
- 20    **15.** Circuit de transformateur selon la revendication 14, caractérisé en ce que le circuit de limitation d'intensité (157) comprend deux diodes (198, 199), placées en série, avec des polarités mutuellement opposées, entre les deux raccordements (187, 188) du circuit de limitation d'intensité (157) et dont le point de liaison (196) est relié de façon à conduire l'électricité au point de liaison (195) des deux  
25    résistances (192, 193), le sens de passage de chaque diode (198, 199) étant identique au sens de passage permanent du transistor V-MOS (190, 191) placé dans la branche parallèle respective.
16. Circuit de transformateur selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le rapport du nombre des spires de chaque bobinage supplémentaire (11; 35, 36, 35', 36') du transformateur (8) par rapport au premier bobinage (9) est situé dans une plage allant de 3/1 à 200/1.
- 30    **17.** Circuit de transformateur selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le circuit de transformateur comprend au moins deux étages (55, 56, 57), dont chacun se compose d'au moins une unité de réglage (4; 34; 34', 34'') et les étages étant placés en série les uns par rapport aux autres, de telle façon que la tension alternative de sortie ( $U_A$ ) de l'étage amont (55, 56) soit la tension  
35    alternative d'entrée ( $U_E$ ) de l'étage aval (56, 57), et que les premiers bobinages (9), qui sont au moins au nombre de deux, des transformateurs (8) des deux étages (55, 56, 57) soient directement reliés entre eux en série, ces derniers étages étant également au moins au nombre de deux.
- 40    **18.** Circuit de transformateur selon la revendication 17, caractérisé en ce que chaque étage (55, 56, 57) comprend au moins deux unités de réglage (34, 34''), qui forment un couple d'unités de réglage, les rapports du nombre des spires de chaque premier bobinage (9, 9') par rapport aux bobinages supplémentaires (35, 36, 35', 36'') correspondants étant déterminées réciproquement de façon que la tension de sortie ( $U_{AP}$ ) du couple d'unités de réglage (34, 34'') soit égale à la tension d'entrée ( $U_{EP}$ ) du couple d'unités de réglage (34, 34''), lorsque l'une (34) des unités de réglage additionne à sa tension  
45    d'entrée ( $U_{EP}$ ) une tension induite ( $\Delta U_1$ ) et que l'autre (34'') des unités de réglage soustrait de sa tension d'entrée ( $U_E$ ) une tension induite ( $\Delta U_2$ ).
19. Circuit de transformateur selon la revendication 18, caractérisé en ce que les valeurs absolues des différences d'amplitudes susceptibles d'être produites au moins par quelques uns des étages (55, 56, 57) se situent dans un rapport de puissances entières du nombre trois 1/3/9, etc.
- 50    **20.** Agencement de circuits avec un circuit de transformateur selon une ou plusieurs des revendications 17 à 19, caractérisé en ce que sont prévus un dispositif à capteur de mesure à tension alternative (64, 67; 81), un dispositif comparateur (63, 66; 82) qui compare les signaux de sortie du dispositif à capteur de mesure à des valeurs de référence ( $U_{ref1}$ ,  $U_{ref2}$ ;  $U_{ref}$ ) et une commande de commutateur (23; 83), grâce à laquelle les commutateurs des étages (55, 56, 57) sont actionnables sélectivement, de manière qu'une tension de charge ( $U_L$ ) d'amplitude aussi stable que possible soit envoyée à la charge (7).

21. Agencement de circuits selon la revendication 20, caractérisé en ce que le dispositif à capteur de mesure comprend un capteur de mesure (67; 81), qui mesure la tension d'alimentation ( $U_V$ ) fournie par la source de tension (1; 80), et/ou un capteur de mesure (64) qui mesure la tension de charge ( $U_L$ ).
- 5 22. Agencement de circuits selon l'une des revendications 20 ou 21, caractérisé en ce que, pour chaque conducteur de phase (R, S, T) d'un système à phases multiples, sont prévus un circuit de transformateur (75, 76, 77) avec un ou plusieurs étages (55, 56, 57), un dispositif à capteur de mesure (81) qui mesure la tension sur chacun des conducteurs de phase (R, S, T ou  $R_K$ ,  $S_K$ ,  $T_K$ ), un dispositif comparateur (82) qui compare les signaux de sortie du dispositif à capteur de mesure (81) à au moins  
10 une valeur de référence ( $U_{ref}$ ), ainsi qu'une commande de commutateur (83), qui commande les commutateurs des étages (55, 56, 57) de tous les circuits de transformateur (75, 76, 77) sur la base des signaux différentiels envoyés par le dispositif comparateur (82).
- 15 23. Circuit de transformateur pour un système multiphasé à conducteur neutre, selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend pour chaque phase au moins une unité de réglage (4; 34), dont le premier bobinage (9) est chaque fois situé dans le conducteur de phase concerné et dont le conducteur (10) reliant des bornes est relié au conducteur de neutre du système multiphasé.
- 20 24. Circuit de transformateur pour un système multiphasé sans conducteur neutre, selon l'une des revendications 1 à 22, caractérisé en ce qu'il comprend pour chaque phase au moins une unité de réglage (4; 34), dont le premier bobinage (9) est chaque fois situé dans le conducteur de phase concerné et que les conducteurs (10) reliant des bornes de toutes les unités de réglage sont reliés entre eux en vue de former un conducteur neutre artificiel.
- 25 25. Circuit de transformateur pour un système multiphasé sans conducteur neutre, selon l'une des revendications 1 à 22, caractérisé en ce qu'il comprend pour chaque phase au moins une unité de réglage (4; 34) et que les unités de réglage appartenant aux différentes phases sont disposées dans un circuit à phases reliées, où pour chaque unité de réglage, le premier bobinage est situé dans le  
30 conducteur de phase concerné et le conducteur (10) reliant des bornes est formé par l'un des autres conducteurs de phase.
26. Procédé de commutation d'un circuit de transformateur, pour la production d'une tension de charge réglable, appliquée à une charge, à partir d'une tension d'alimentation fournie par une source de tension, avec au moins une unité de réglage qui comprend les composants suivants:  
35 - un transformateur, avec un premier bobinage, placé en série avec la charge, et au moins un bobinage supplémentaire, dont le rapport du nombre des spires par rapport au premier bobinage est supérieur à 1,  
- un conducteur reliant des bornes disposé, en observant depuis le premier bobinage du transformateur, derrière la charge et placé en série avec celle-ci, ainsi que  
40 - des commutateurs, à l'aide desquels l'unité de réglage est commutable entre différents états de connexion, où, au moins dans l'un de ces états de connexion, est appliquée à un bobinage supplémentaire une tension alternative de commande qui induit dans le premier bobinage une tension qui influe sur la tension alternative d'entrée, de telle façon que l'amplitude de la tension alternative de sortie se distingue de l'amplitude de la tension alternative d'entrée par l'amplitude  
45 de la tension induite et où, dans un état de commutation neutre, un bobinage supplémentaire soit mis en circuit, si bien que la tension de sortie de l'unité de réglage soit égale à la tension d'entrée,  
caractérisé en ce que, à l'état de commutation neutre, à l'aide des commutateurs (150, 151; 180, 181) le bobinage supplémentaire (11; 35, 36), qui est au moins au nombre de un, est mis en circuit dans  
50 une voie de courant (150, 11, 151; 35, 180, 185, 181, 36) qui est électriquement en parallèle avec le premier bobinage (9) du transformateur (8).
27. Procédé selon la revendication 26, pour un circuit de transformateur, avec une unité de réglage (4), dans lequel le transformateur (8) comprend un bobinage supplémentaire unique (11), caractérisé en ce  
55 que l'unité de réglage (4) est commutable à l'aide des commutateurs (150, 151, 152, 153), dans les deux états de commutation suivants:  
- un (premier) état de connexion additionneur, dans lequel le bobinage supplémentaire (11) est soumis à la tension d'entrée ( $U_E$ ) de l'unité de réglage (4), avec un sens de bobinage tel que la



tension ( $\Delta U_1$ ) induite de ce fait dans le premier bobinage (9) influe de façon additive sur la tension d'entrée ( $U_E$ ), et

- un (deuxième) état de connexion soustracteur, dans lequel le bobinage supplémentaire (11) est soumis à la tension de sortie ( $U_A$ ) de l'unité de réglage (4), avec un sens de bobinage tel que la tension ( $\Delta U_2$ ) induite de ce fait dans le premier bobinage (9) influe de façon soustractive sur la tension d'entrée ( $U_E$ ),

et que les deux extrémités (13, 14) du bobinage supplémentaire (11) sont reliées, à l'aide d'un premier et d'un deuxième commutateur (150, 151), aux deux extrémités du premier bobinage (9), pour obtenir le (troisième) état de commutation neutre.

10

28. Procédé selon la revendication 27, caractérisé en ce que les deux extrémités (13, 14) du bobinage supplémentaire (11) sont reliées au conducteur (10) reliant des bornes, d'une part par l'intermédiaire d'un troisième commutateur (152), d'autre part par l'intermédiaire d'un quatrième commutateur (153), et que les troisième et quatrième commutateurs (152, 153) sont respectivement réalisés à la façon d'un circuit limiteur d'intensité de courant, de manière qu'à l'état fermé il ne soit opposé au courant qui y passe qu'une résistance constante et faible, tant que ce courant est inférieur à une valeur limite prédéterminée, et en ce que cette valeur limite est choisie un peu supérieure à l'intensité qui passe dans le bobinage supplémentaire (11) au premier ou au deuxième état de connexion, que le passage du premier au deuxième état de connexion, ou inversement, s'effectue chaque fois en passant brièvement par le troisième état de connexion, que lors du passage allant du premier état de commutation, dans lequel le premier commutateur (150) et le quatrième commutateur (153) sont fermés et le deuxième commutateur (151) et le troisième commutateur (152) sont ouverts, au deuxième état, dans lequel le deuxième commutateur (151) et le troisième commutateur (152) sont fermés et le premier commutateur (150) et le quatrième commutateur (153) sont ouverts, il y a d'abord fermeture du deuxième commutateur (151) et du troisième commutateur (152) puis ouverture du premier commutateur (150) et du quatrième commutateur (153), et que, lors du passage du deuxième état de connexion au premier, il y a d'abord fermeture du premier commutateur (150) et du quatrième commutateur (153) puis ouverture du deuxième commutateur (151) et du troisième commutateur (152).

29. Procédé selon la revendication 27, caractérisé en ce que les troisième et quatrième commutateurs (152, 153) sont directement reliés galvaniquement par un conducteur électrique supplémentaire (155), qu'entre le conducteur électrique supplémentaire (155) et le conducteur (10) reliant des bornes est prévu un circuit (157) servant à limiter l'intensité, qui relie entre eux électriquement les deux conducteurs (155, 10), et que le passage du premier au deuxième état de connexion, ou inversement, s'effectue chaque fois en passant brièvement par le troisième état, que lors du passage allant du premier au deuxième état de connexion, il y a d'abord fermeture du deuxième commutateur (151), puis ouverture du quatrième commutateur (153), puis fermeture du troisième commutateur (152) et ensuite ouverture du premier commutateur (150), et que, lors du passage allant du deuxième au premier état, il y a d'abord fermeture du premier commutateur (150), ensuite ouverture du troisième commutateur (152), puis fermeture du quatrième commutateur (153), puis ouverture du deuxième commutateur (151), de sorte que les troisième et quatrième commutateur (152, 153) ne soient jamais fermés simultanément.

30. Procédé selon la revendication 26, pour un circuit de transformateur avec une unité de réglage (34), dans laquelle le transformateur (8) comprend deux bobinages supplémentaires (35, 36), dont un bobinage agissant comme additionneur (35) est constamment relié, par sa première extrémité, au raccordement d'entrée (2) de l'unité de réglage (34), auquel est relié le premier bobinage (9), et dont l'autre bobinage agissant comme soustracteur (36) est constamment relié, par sa première extrémité, au raccordement de sortie (5) de l'unité de réglage (34), auquel est relié le premier bobinage (9), caractérisé en ce que l'unité de réglage est susceptible d'être placée, à l'aide des commutateurs (180, 181), dans les états de commutation suivants:

- un (premier) état de connexion additionneur, dans lequel seul le bobinage supplémentaire additionneur (35) est relié, par sa deuxième extrémité, au conducteur (10) reliant des bornes, grâce à quoi est induite dans le premier bobinage (9) une tension ( $\Delta U_1$ ) qui s'additionne à la tension d'entrée ( $U_E$ ),
- un (deuxième) état de connexion soustracteur, dans lequel seul le bobinage supplémentaire soustracteur (36) est relié, par sa deuxième extrémité, au conducteur (10) reliant des bornes, grâce à quoi est induite dans le premier bobinage (9) une tension ( $\Delta U_2$ ) qui se soustrait de la

tension d'entrée ( $U_E$ ),

et que les deux deuxièmes extrémités des deux bobinage supplémentaire (35,36) sont reliées directement galvaniquement dans le (troisième) état de connexion qui est neutre.

- 5 31. Procédé selon la revendication 30, caractérisé en ce que les deux commutateurs (180, 181), grâce auxquels les deux extrémités des deux bobinages supplémentaires (35, 36) sont susceptibles d'être reliées au conducteur (10) reliant des bornes, sont directement reliées entre elles galvaniquement par un conducteur électrique supplémentaire (185), qu'entre ce dernier et le conducteur (10) reliant des bornes est prévu un circuit (157), servant à limiter l'intensité du courant, qui relie électriquement les
- 10 deux conducteurs (185, 10), et en ce que lors du passage du premier état de commutation, dans lequel est fermé le commutateur (180), qui est relié à la deuxième extrémité du bobinage supplémentaire additionneur (35), et est ouvert le commutateur (181), qui est relié à la deuxième extrémité du bobinage supplémentaire soustracteur (36), au deuxième état de commutation, dans lequel est ouvert le commutateur (180), qui est relié à la deuxième extrémité du bobinage supplémentaire additionneur (35), et est fermé le commutateur (181), qui est relié à la deuxième extrémité du bobinage supplémentaire soustracteur (36), il y a d'abord fermeture du commutateur (181) du bobinage soustracteur (36) et ensuite ouverture du commutateur (180) du bobinage additionneur (35), et que lors du passage allant du deuxième au premier état de commutation, il y a d'abord fermeture du commutateur (180) du bobinage additionneur (35) puis ouverture du commutateur (181) du bobinage soustracteur (36).
- 20 32. Procédé selon l'une des revendications 26 à 31, caractérisé en ce que l'on utilise comme commutateurs (150, 151, 152, 153; 180, 181) des commutateurs électroniques, qui peuvent être fermés et ouverts à des moments choisis, et que les commutateurs qui doivent être ouverts lors du passage du troisième au premier ou au deuxième état de commutation sont ouverts aussi précisément que possible, aux moments idéaux de commutation, dans lesquels le courant, qui passe au troisième état de commutation par le bobinage supplémentaire (11; 35, 36), qui est raccordé à sa tension de commande correspondante une fois effectué le passage au premier ou deuxième état de commutation, présente la même valeur que le courant qui passe dans ce bobinage supplémentaire (11; 35, 36) immédiatement après le processus de commutation.
- 25 33. Procédé selon la revendication 32, caractérisé en ce que l'on utilise comme approximation pour les moments de commutation idéaux les moments d'ouverture des commutateurs dans lesquels le courant qui passe, dans le premier ou le deuxième état de commutation, dans le bobinage supplémentaire (11; 35, 36) soumis dans cet état à sa tension de commande correspondante, présente un passage à zéro.
- 30 34. Procédé selon la revendication 33, caractérisé en ce que l'intervalle de temps qui s'écoule lors du passage à zéro de l'intensité du courant, qui passe, dans le premier ou le deuxième état de commutation, par le bobinage supplémentaire (11; 35, 36), qui est placé à sa tension de commande correspondante dans cet état de commutation, depuis le passage à zéro précédent ou jusqu'au passage à zéro suivant, est mesuré et que la valeur de mesure est mise en mémoire, et que, lors des passages ultérieurs du troisième au premier ou au deuxième état de connexion, cette valeur de mesure mise en mémoire est utilisée pour déterminer le moment de l'ouverture du commutateur concerné, à partir d'un passage à zéro de la tension de commande.
- 35 45 35. Procédé selon l'une des revendications 26 à 34, pour un circuit de transformateur, qui comprend au moins deux étages, dont chacun est composé d'au moins une unité de réglage et qui sont placés en série entre eux, de façon que la tension alternative de sortie de l'étage amont soit la tension alternative d'entrée de l'étage aval, que les premiers bobinages, qui sont au moins au nombre de deux, des étages soient placés directement en série, circuit où est aussi prévu un dispositif à capteur de mesure
- 40 à tension alternative, un dispositif comparateur qui compare les signaux de sortie du dispositif à capteur de mesure à des valeurs de référence et une commande de commutateur, grâce à laquelle les commutateurs des étages sont actionnables sélectivement, de manière qu'une tension de charge à amplitude aussi constante que possible soit envoyée à la charge, caractérisé en ce que la valeur absolue de la plus petite variation d'amplitude possible ( $A$ ) est située entre 1,0 fois et 2,0 fois la valeur absolue de l'écart ( $\delta$ ) admissible entre la tension de charge ( $U_L$ ) et la valeur de consigne ( $S_L$ ), et que les seuils de commutation pour lesquels, en cas de plus grand écart entre la tension d'alimentation ( $U_V$ ) fournie par la source de tension et la tension alternative nominale, la différence d'amplitude induite passe de  $n$  à  $(n+1)$  fois la plus petite variation d'amplitude possible ( $A$ ) et, en cas de diminution de
- 55

l'écart, elle passe de  $(n+1)$  à  $n$  fois, sont choisis tels que les valeurs d'amplitude de la tension de charge ( $U_L$ ) sont symétriques par rapport à la valeur de consigne ( $S_L$ ), en cas de passage permanent de la tension d'alimentation ( $U_V$ ) par le seuil de commutation respectif, avant et après la commutation.

- 5    **36.** Procédé selon la revendication 35, caractérisé en ce que la tension de charge ( $U_L$ ) est réglée à une valeur de consigne ( $S_L$ ) qui est différente de la valeur nominale ( $U_{V \text{ nom.}}$ ) de la tension d'alimentation ( $U_V$ ).

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

FIG.1

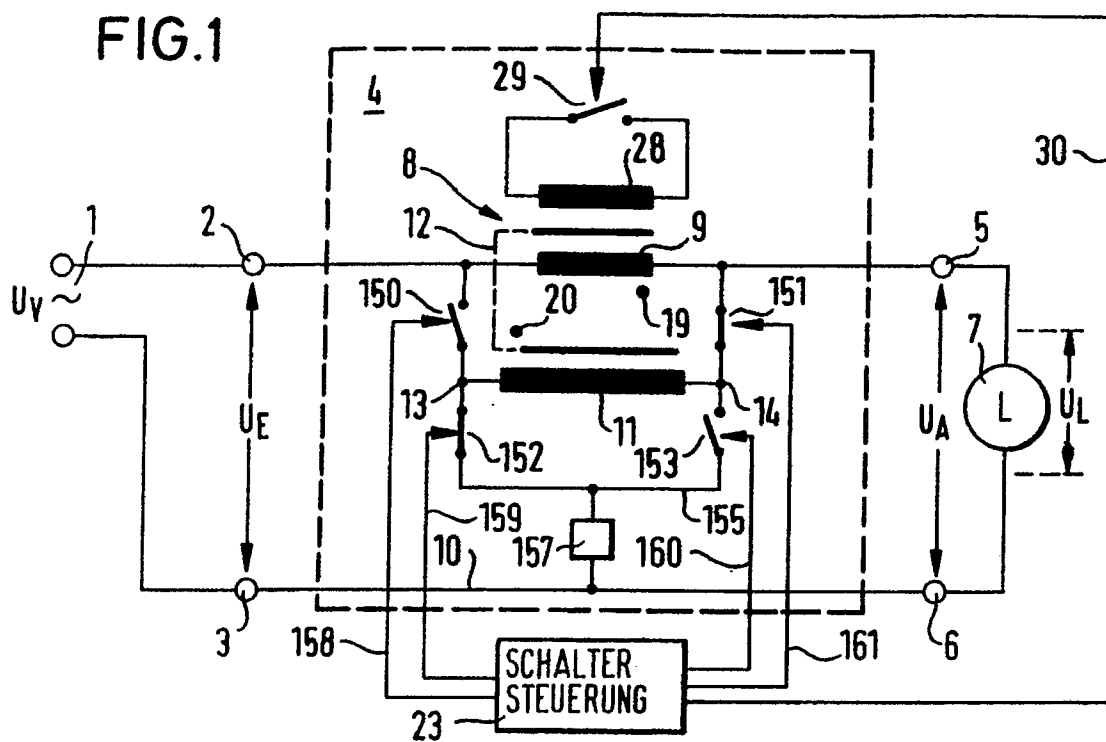


FIG.2

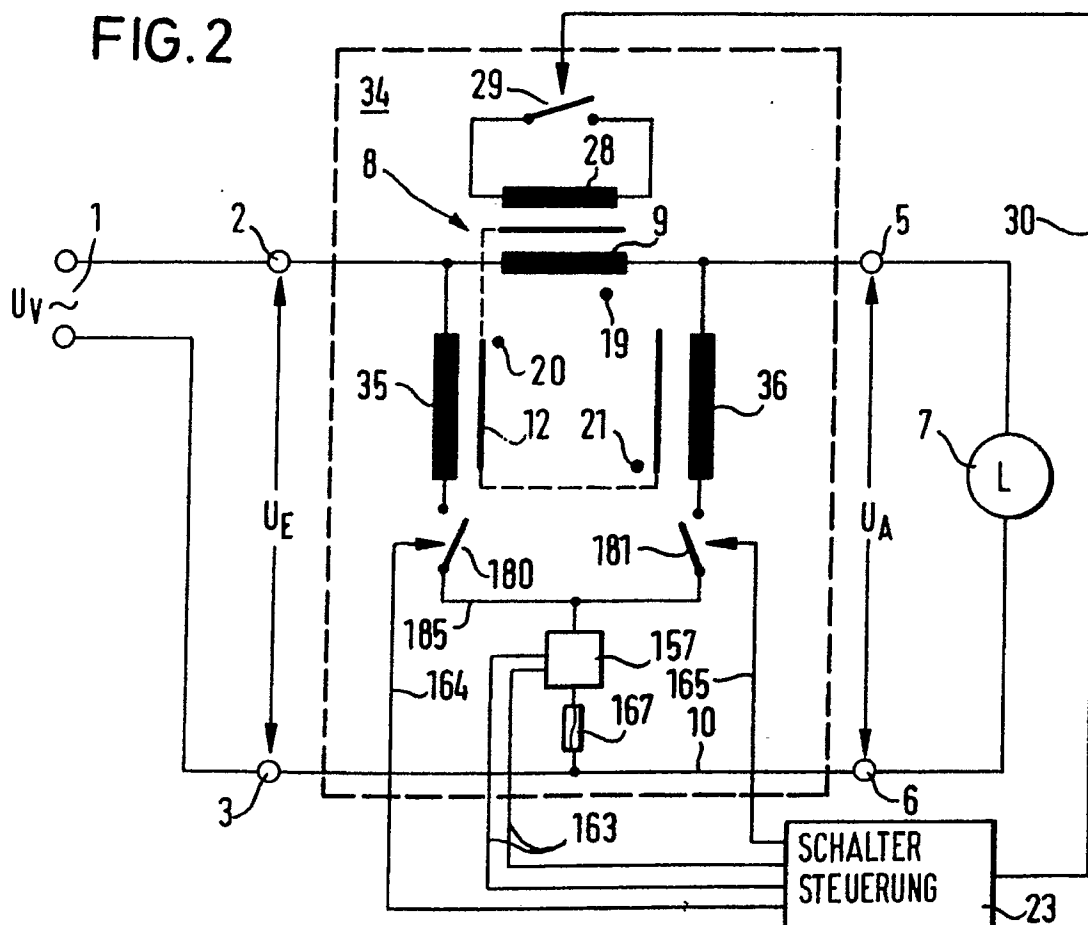


FIG. 3

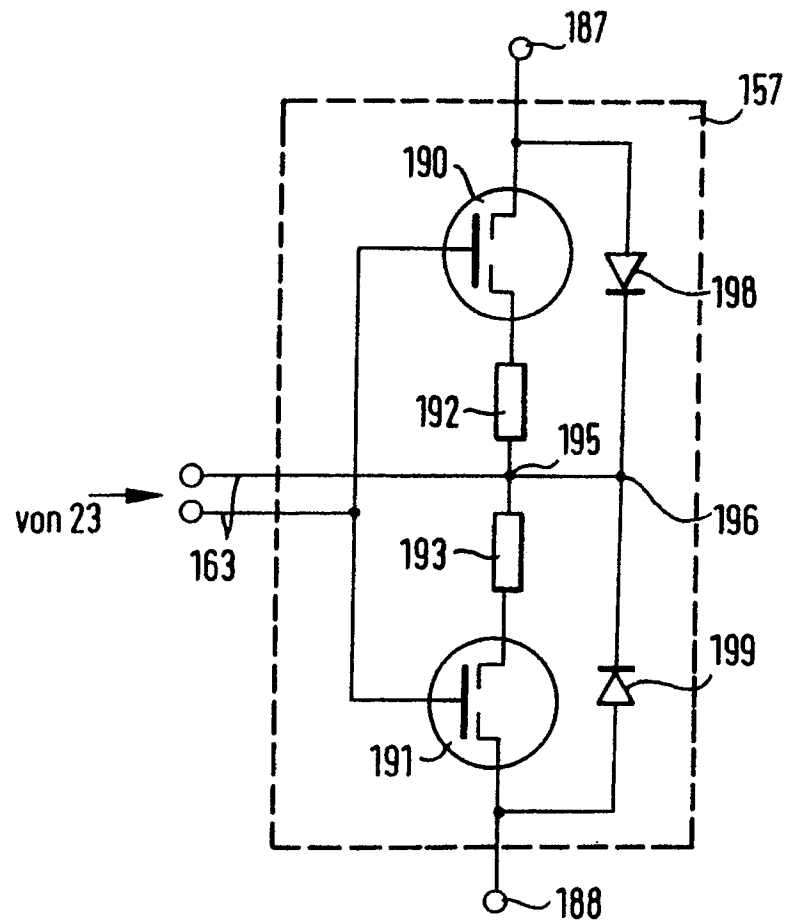


FIG. 4

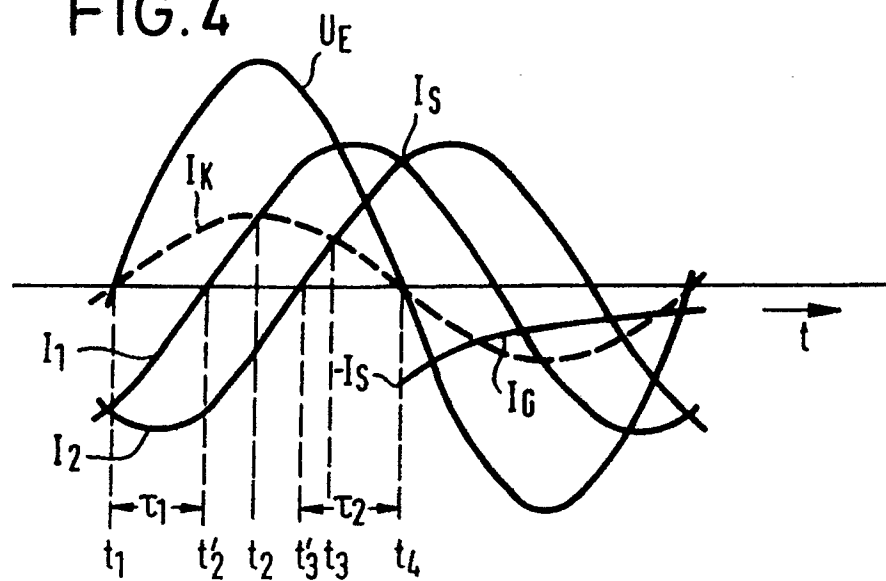


FIG.5

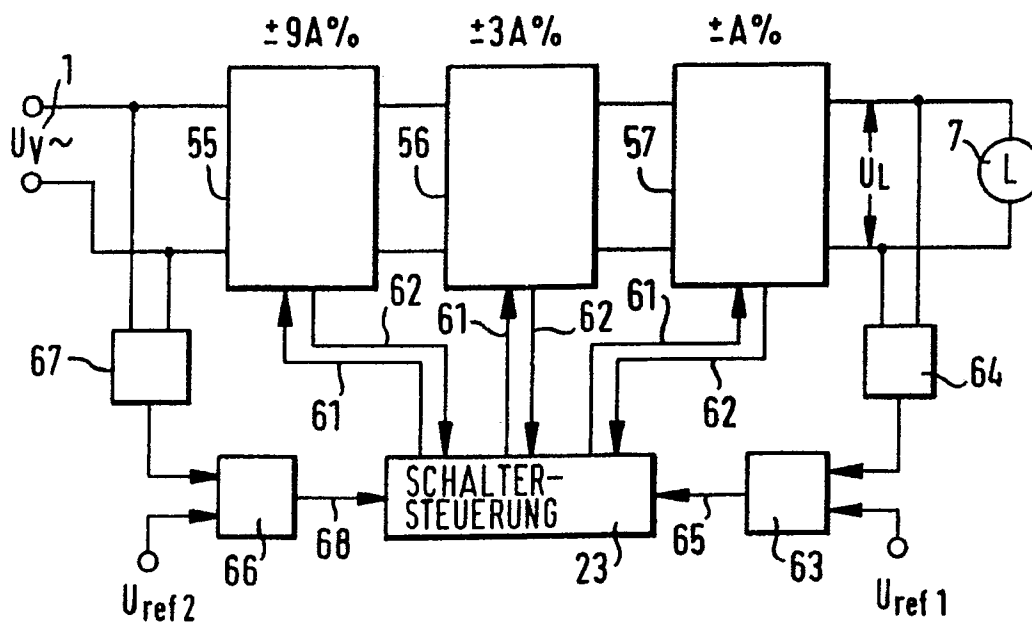


FIG.6

