

CH 679704 A5



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT  
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 679704 A5

(51) Int. Cl.<sup>5</sup>: G 05 F 1/44  
H 02 M 5/293

**Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein**

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) **PATENTSCHRIFT** A5

(21) Gesuchsnummer: 3634/89

(22) Anmeldungsdatum: 04.10.1989

(24) Patent erteilt: 31.03.1992

(45) Patentschrift veröffentlicht: 31.03.1992

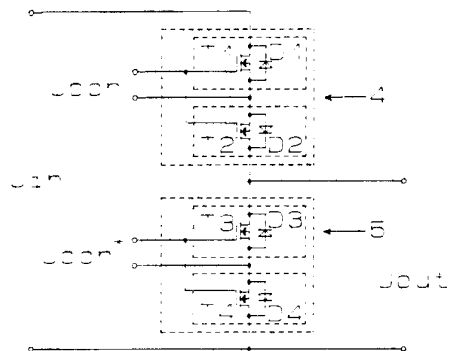
(73) Inhaber:  
Controlux AG, Vaduz (LI)

(72) Erfinder:  
Meier, Werner (-Darvasi), Zürich

(74) Vertreter:  
Felber & Partner AG, Patentanwälte, Zürich

(54) **Verfahren und Vorrichtung zum Regeln von Wechselspannungen ab dem öffentlichen Verteilernetz.**

(57) Das Verfahren behandelt die Eingangsspannung ( $U_{in}$ ) mittels einer Pulsweitenmodulation und anschliessender Filtrierung, sodass direkt eine Ausgangswechselfspannung ( $U_{out}$ ) regelbar ist, die innerhalb der Hüllkurve der Eingangsspannung liegt. Die Vorrichtung zur Ausübung des Verfahrens schliesst wenigstens zwei Wechselfspannungsschaltelemente (4, 5) ein, die zwischen die Klemmen der Eingangsspannung ( $U_{in}$ ) geschaltet sind. Die Ausgangsspannung ( $U_{out}$ ) wird zwischen den Wechselfspannungsschaltelementen (4, 5) abgegriffen wird, wobei diese Schaltelemente zur Pulsweitenmodulation wechselseitig aktivierbar sind.



CH 679704 A5

## Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum elektronischen Regeln von Wechselspannungen. Bei den in Betracht kommenden Wechselspannungen handelt es sich um solche, die in öffentlichen Stromversorgungsnetzen gebräuchlich sind. Die typische Frequenz in Europa beträgt 50 Hz, in den U.S.A. und anderen Ländern zum Beispiel 60 Hz. Für bestimmte Sonderstromnetze werden Frequenzen um 400 Hz benützt. Grundsätzlich aber bezieht sich die Erfindung auf eine Wechselspannungsregelung, die je nach Auslegung zwischen einer Spannungsfrequenz von Null bis hinauf auf 10 kHz anwendbar ist. Die Grössenordnung der Netzspannung bewegt sich dabei in den öffentlichen Netzwerken stets auf einem Nennspannungs-Wert zwischen Null und 500 V<sub>eff</sub>.

Herkömmlich wird die Wechselspannung für Stromverbraucher hauptsächlich durch Phasenanschnittsteuerungen, durch Wechselrichterschaltungen oder mittels Schwingungspaket-Steuerungen geregelt. Bei der weitaus am häufigsten angewendeten Phasenanschnittsteuerung wird die Spannung reguliert, indem ein gewisser Teil der Phase weggeschnitten wird, was eine Unstetigkeitsstelle im Spannungsverlauf bewirkt. Dadurch werden viele Oberwellen oder Oberschwingungen induziert, die sich aus den Fourier-Transformationen herleiten lassen. Beim Anschluss von derart geregelten elektrischen Stromverbrauchern an das Netz treten deshalb unerwünschte NetZRückwirkungen auf, die sich negativ auf die Qualität des Stromversorgungsnetzes auswirken. Die Wechselspannungs-Sinuskurve des Stromversorgungsnetzes wird von diesen zum Teil hochfrequenten Oberwellen bzw. Oberschwingungen überlagert und gewissermassen verschmutzt. Die Elektrizitätswerke benützen aber für Rundsteuerungen überlagerte Wechselspannungssignale höherer Frequenz, zum Beispiel im Bereich von 100 Hz bis 2 kHz. Werden jedoch der Sinus-Kurve der Nenn-Wechselspannung durch solchermaßen geregelte Geräte zuviele Oberwellen in diesem Frequenzbereich überlagert, so können solche Steuerungssignale nicht mehr richtig detektiert werden, wodurch die Steuerung versagt. Herkömmlich werden die Oberwellen mittels Saugkreisen weitgehend unterdrückt. Es handelt sich dabei um kostspielige Serieresonanzkreise aus seriell geschalteten Kapazitäten und Induktivitäten, die in jede Phase einem Gerät vorgeschaltet werden. Die Oberwellen und Unstetigkeitsstellen im Spannungsverlauf bilden aber auch Störquellen für Funkübertragungen. Zur Eliminierung dieser störenden Einflüsse werden Störfilter eingesetzt. Ein weiterer Nebeneffekt der Phasenanschnittsteuerung ist der Blindstrom, welcher je nach Phasenwinkel zwischen Strom und Spannung dem Netz entzogen wird. Dieser Strom belastet das Energie-Verteilnetz unnötig und er muss deshalb in Grenzen gehalten werden. Ab gewissen Grenzen werden deshalb aufwendige Blindstromkompensationsanlagen mit Tonfrequenzsperrern eingesetzt. Dabei handelt es sich im wesentlichen um parallel geschaltete Kapazitäten und

Entkopplungs-Induktivitäten, mittels denen die Blindleistung annähernd auf Null gebracht wird. Zudem werden auch eigens Blindleistungszähler installiert, damit die bezogene Blindleistung verrechnet werden kann.

Eine zweite bekannte Art der Wechselspannungsregelung erfolgt mittels eines sogenannten Variacs mit optionalem Stellmotor. Dieses ist eine elektromechanische Vorrichtung. Sie erlaubt nur eine geringe Einstellgeschwindigkeit und ist heute überdies aus Preis- und Platzgründen verdrängt worden. Einzig zu Laborzwecken findet sie noch Anwendung.

Eine weitere Möglichkeit, Wechselspannungen zu regulieren, bietet der Wechselrichter. Dieses ist ein Gerät, das zuerst eine Gleichspannung erzeugt, also die Wechselspannung mittels einer Gleichrichter-Kondensatorschaltung bearbeitet, und dann mit einem Wechselrichter eine regelbare ein- oder dreiphasige Wechselspannung mit regelbarer Frequenz erzeugt. Solche Wechselrichter erzeugen aber vor allem wegen ihrer Gleichrichter-Kondensator-Schaltung Oberwellen, die dann wiederum ab gewissen Grenzen mittels speziell angelegter Saugkreise eliminiert werden müssen. Wechselrichter sind ausserdem relativ teuer in bezug auf den Materialpreis.

Schliesslich sind noch elektronische Wechselspannungs-Schalter zu erwähnen. Es existieren einige Schaltungen, die mit Hilfe eines Grätzigleichrichters und eines Transistors ermöglichen, eine Wechselspannung zu schalten. Ein solcher Wechselspannungs-Schalter wird jedoch bisher bloss als Relais-Schalter-Ersatz verwendet.

In den letzten Jahren ist die Auslastung des elektrischen Stromversorgungsnetzes allgemein immer grösser geworden. Es wurde dadurch unerlässlich, die gesetzlichen Zulässigkeits-Grenzen für Oberwellen, die insbesondere infolge von Wechselspannungsregulierungen induziert und ins Netz übertragen werden, zunehmend zu verschärfen. In verschiedenen Ländern existieren eigens Kommissionen, welchen die Festlegung solcher Grenzwerte obliegt. In Europa kennt man diesbezüglich etwa die in Fachkreisen bekannte europäische Norm EN 60 555 1-3. Fachleute von verschiedenen Elektrizitätswerken sehen allgemein mit Besorgnis auf die wachsende Anzahl elektronisch geregelter Geräte, deren Spannungsregelung auf dem Phasenanschnitt-Prinzip beruhen. Gegenwärtig arbeiten verschiedene einschlägige Kommissionen der Elektrizitätswirtschaft an der gesetzlichen Festlegung weiter verschärfter Grenzwerte.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht deshalb darin, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Regeln von Wechselspannungen ab dem öffentlichen Verteilernetz zu schaffen, welche die eingangs erwähnten Probleme löst. Im besonderen soll das erfindungsgemässe Verfahren und die Vorrichtung zu dessen Ausübung eine Wechselspannungs-Regelung ermöglichen, die den Bezug von Blindleistung aus dem Netz eliminiert und das Auftreten von Oberwellen vermeidet.

Diese Aufgabe wird gelöst von einem Verfahren zum Regeln von Wechselspannungen ab dem öf-

fentlichen Verteilernetz, bei dem die Eingangsspannung mittels einer Pulsweitenmodulation und anschliessender Filtrierung direkt in eine Ausgangsspannung geregelt wird, die innerhalb der Hüllkurve der Eingangsspannung liegt.

Die Vorrichtung zur Ausübung des Verfahrens zeichnet sich dadurch aus, dass zwischen den Klemmen der Eingangsspannung wenigstens zwei Wechselspannungs-Schaltelemente vorhanden sind, zwischen denen die Ausgangsspannung abgegriffen wird, wobei diese Schaltelemente zur Pulsweitenmodulation wechselweise aktivierbar sind.

Die Vorrichtung und das Verfahren arbeiten verlustarm. Es werden dabei keine harmonischen Netzoberwellen erzeugt und es wird keine zusätzliche Blindleistung bezogen. Für spezifische Lasten (z.B. Leuchtstoffröhren Anlagen) ist durch eine spezielle Wahl der Ausgangskurvenform (mittels Modulation) sogar eine teilweise Oberwellenkompensation der Last möglich.

Die erfindungsgemässe Spannungsregulierung kann ganz allgemein zur Regelung von Wechselspannung verwendet werden, so auch insbesondere etwa als Spannungskonstanthalter und als Dreiphasenspannungsregler. Sie eignet sich zum Beispiel für die Lichtregelung, zur Regelung von Motoren, sowie als Sanftanlaufregelung. Ihre Vorteile liegen für den Anwender in einer Einsparung von Energiekosten durch eine zum Beispiel im Fall von Leuchtstoffröhren kaum spürbare Reduzierung der Lichtintensität. Weiter kann mit einer verlängerten Lebensdauer der Startgeräte und Leuchtstoffröhren infolge Reduktion der Betriebsspannung gerechnet werden. Ausserdem werden keine Saugkreise mehr für die Unterdrückung von Oberwellen benötigt. Weiter werden keine zusätzlichen Blindstrom-Kompensationsanlagen benötigt, das heisst es können im Vergleich zu phasenanschnittgeregelten Geräten kleinere Blindstrom-Kompensationsanlagen eingesetzt werden.

Für die Elektrizitätswirtschaft hilft die erfindungsgemässe Spannungsregulierung, wenn sie in grösserem Umfang eingesetzt wird, Energie zu sparen, die Netzauslastung zu optimieren und bezüglich der Oberwellen ein störungsfreieres Netz zu erhalten.

Nachfolgend wird der Aufbau einer beispielsweise erfindungsgemässen Vorrichtung anhand von schematischen Darstellungen beschrieben und die Funktion des erfindungsgemässen Verfahrens wird daran erläutert.

Es zeigt:

Fig. 1: Ein Prinzipschema der erfindungsgemässen Vorrichtung;

Fig. 2: Den Wechselspannungs-Umschalter aus Fig. 1 in seinem inneren Aufbau;

Fig. 3: eine anderer Aufbau eines Wechselspannungs-Umschalters mit Grätz-Gleichrichtern.

Der grundsätzliche Aufbau der erfindungsgemässen Vorrichtung zeigt Fig. 1. Die eingangsseitige Wechselspannung  $U_{in}$  wird vorerst im EingangsfILTER 1, das hier beispielsweise aus zwei parallel ge-

schalteten Kapazitäten C und einer zwischen sie geschalteten Induktivität L besteht, gefiltert. Anschliessend an das EingangsfILTER 1 ist ein bidirektionales Umschaltelement 2 zwischen den Klemmen der Eingangsspannung angeordnet. Die Operationsgrundlage des Gerätes ist eine direkte Pulsweitenmodulation der Wechselspannung mit speziell beschalteten schnellen Wechselspannungs-Schaltelementen im Innern des Umschaltelementes 2. Damit ist ein Leistungsumschalter gebildet, der für die Regelung beliebiger Lasten von Null bis ca. 50 kW/kVA geeignet ist. Die eingangsseitige Wechselspannung  $U_{in}$  wird also gefiltert und dann auf den schnellen Leistungsumschalter 2 geführt, der eine Pulsweitenmodulation durchführt. Dieses pulswellenmodulierte Signal wird mit Hilfe eines weiteren, nachgeschalteten Filters 3 wieder in eine praktisch rippelfreie Sinusschwingung der Ausgangsspannung  $U_{out}$  zurückverwandelt, deren Wert somit zwischen  $0 \dots < 100\%$  der Eingangsspannung  $U_{in}$  liegen kann. Der Kern der Vorrichtung besteht aus dem Umschaltelement 2, welches sowohl positive, wie auch negative Eingangsspannungen  $U_{in}$  verarbeiten kann, also Wechselspannungen wie auch Gleichspannungen beliebiger Polarität.

Fig. 2 zeigt die Grundschialtung des Umschaltelementes 2 beziehungsweise des Leistungsumschalters 2 anhand einer im Vergleich zu Fig. 1 vergrösserten und detaillierten Ansicht. Es schliesst zwei Wechselspannungs-Schaltelemente 4, 5 ein, zwischen denen die Klemmen für die Ausgangsspannung  $U_{out}$  angeschlossen sind, wobei diese Schaltelemente 4, 5 zur Pulsweitenmodulation wechselweise aktivierbar sind. Die Wechselspannungs-Schaltelemente 4, 5 bestehen hier aus je einer antiseriellen Beschaltung von zwei Leistungshalbleitern  $T_1, T_2$  und  $T_3, T_4$  mit je einer zu ihnen antiparallel geschalteten Diode  $D_1, D_2$  und  $D_3, D_4$ . Betrachtet man eine Hälfte des Umschaltelementes 2, beziehungsweise das obere Schaltelement 4, und ist der erste Leistungshalbleiter  $T_1$  eingeschaltet, so fliesst der Strom bei positiver Eingangsspannung  $U_{in}$  durch diesen ersten Leistungshalbleiter  $T_1$ , während die Diode  $D_1$  parallel zu diesem Leistungshalbleiter  $T_1$  sperrt, und weiter bei Überschreitung der Schwellenspannung der Diode  $D_2$  durch diese parallel zum Leistungshalbleiter  $T_2$  angeordneten Diode  $D_2$ . Bei negativer Eingangsspannung  $U_{in}$  sind die Funktionen der Leistungshalbleiter  $T_1$  und  $T_2$  vertauscht. Ist der Leistungshalbleiter  $T_1$  ausgeschaltet, so sperrt er bei positiver Eingangsspannung und die Diode  $D_2$  ist wegen dem sperrenden Leistungshalbleiter  $T_1$  ohne Funktion. Bei negativer Eingangsspannung  $U_{in}$  sind die Funktionen der Leistungshalbleiter  $T_1$  und  $T_2$  wiederum vertauscht. Die beiden identisch aufgebauten Grundelemente 4 und 5 werden nun wechselseitig, mit einer kleinen Totzeit dazwischen, eingeschaltet. Die Regelung erfolgt dabei mittels der über den Leistungshalbleitern  $T_1, T_2$  und  $T_3, T_4$  angelegten Regelspannung  $U_{con}$  beziehungsweise  $U_{con}^*$ . Somit ergibt sich die Funktion eines Umschalters. Die Dioden  $D_1$ - $D_4$  können sowohl Bestandteile der Leistungshalbleiter  $T_1$ - $T_4$  (Power Mos Fet oder IG-

BT) sein, können aber auch wie gezeigt extern, also diskret vorliegen. Der Verlauf der modulierten Wechselspannung  $U_{\text{mod}}$  ist in Fig. 1 schematisch dargestellt. Je nach Wahl des Puls-Pausen-Verhältnisses kann eine bestimmte proportionale Ausgangsspannung  $U_{\text{out}}$  der gleichen Kurvenform erzeugt werden wobei der Wert der Spannung natürlich immer im Innern der Hüllkurve der Eingangsspannung  $U_{\text{in}}$  verläuft. Wird nur über eine halbe Periodendauer moduliert und werden dabei noch die Pulsweiten variiert, so kann die Ausgangsspannung  $U_{\text{out}}$  eine beliebig vorgegebene Kurvenform aufweisen. Diese Anwendung ist vorallem zur Kompensation allfällig auftretender Oberwellen von Interesse, also wenn eine Last ein nichtlineares Verhalten aufweist.

Fig. 3 zeigt eine alternative Vorrichtung, die ebenfalls für den gleichen Zweck benutzt werden kann. Für positive sowie negative Eingangsspannungen  $U_{\text{in}}$  werden durch die Grätzgleichrichter  $D_5$  und  $D_6$  den Leistungshalbleitern  $T_5$  und  $T_6$  jeweils immer Gleichspannungen zum Verarbeiten zugeführt. Die Wechselspannungs-Schalt-elemente 4, 5 schliessen daher je eine Grätz-Gleichrichter-Schaltung  $D_5$  und  $D_6$  ein, deren Wechselspannungseingänge die Anschlüsse der Wechselspannungs-Schalt-elemente 4, 5 bilden und zwischen deren Gleichspannungs-Ausgängen je ein Leistungshalbleiter-Element  $T_5$  beziehungsweise  $T_6$  angeschlossen ist.

Besonders vorteilhaft werden die zwei Wechselspannungs-Schalt-elemente 4, 5 sei es für eine Beschaltung nach Fig. 2 oder nach Fig. 3, durch industriell gefertigte Hybrid-Module gebildet.

Die Erfindung ermöglicht es, eine weitgehend sinusförmige Leistungs-Stromkurve zu erreichen, indem die Wechselspannung entsprechend durch Pulsweitenmodulation reguliert wird. Grundsätzlich ist das Betreiben des Verfahrens und der Vorrichtung im Bereich zwischen Null bis hinauf auf 10 kHz möglich. Die Spannung kann dabei innerhalb der Hüllkurve der Eingangsspannung  $U_{\text{in}}$  einen beliebigen Verlauf nehmen, je nach Variation der Pulsweiten und Puls-pausen.

## Patentansprüche

1.) Verfahren zum Regeln von Wechselspannungen ab dem öffentlichen Verteilernetz, bei dem die Eingangsspannung ( $U_{\text{in}}$ ) mittels einer Pulsweitenmodulation (2) und anschliessender Filtrierung (3) direkt in eine Ausgangswechselspannung ( $U_{\text{out}}$ ) geregelt wird, die innerhalb der Hüllkurve der Eingangsspannung ( $U_{\text{in}}$ ) liegt.

2.) Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Eingangsspannung ( $U_{\text{in}}$ ) mittels eines bestimmten Puls-Pausen-Verhältnisses so geregelt wird, dass eine bestimmte proportionale Ausgangsspannung ( $U_{\text{out}}$ ) der gleichen Kurvenform erzeugt wird.

3.) Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Eingangsspannung ( $U_{\text{in}}$ ) mittels einer Variation der Pulsweiten über eine halbe Periodendauer so gere-

gelt wird, dass die Ausgangsspannung ( $U_{\text{out}}$ ) eine beliebig vorgegebene Kurvenform aufweist.

4.) Vorrichtung zur Ausübung eines der vorhergehenden Verfahren, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen den Klemmen der Eingangsspannung ( $U_{\text{in}}$ ) wenigstens zwei Wechselspannungs-Schalt-elemente (4, 5) vorhanden sind, zwischen denen die Ausgangsspannung ( $U_{\text{out}}$ ) abgegriffen wird, wobei diese Schalt-elemente (4, 5) zur Pulsweitenmodulation wechselweise aktivierbar sind.

5.) Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Wechselspannungs-Schalt-elemente (4, 5) aus je einer antiserialen Beschaltung von zwei Leistungshalbleitern ( $T_1, T_2; T_3, T_4$ ) mit je einer zu ihnen antiparallel geschalteten Diode ( $D_1, D_2; D_3, D_4$ ) einschliessen.

6.) Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Wechselspannungs-Schalt-elemente (4, 5) je eine Grätz-Gleichrichter-Schaltung ( $D_5; D_6$ ) einschliessen, deren Wechselspannungseingänge die Anschlüsse der Wechselspannungs-Schalt-elemente (4, 5) bilden und zwischen deren Gleichspannungs-Ausgängen je ein Leistungshalbleiter-Element ( $T_5; T_6$ ) angeschlossen ist.

7.) Vorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die zwei Wechselspannungs-Schalt-elemente (4, 5) ein industriell gefertigtes Hybrid-Modul bilden.

9  
3

FIG. 1

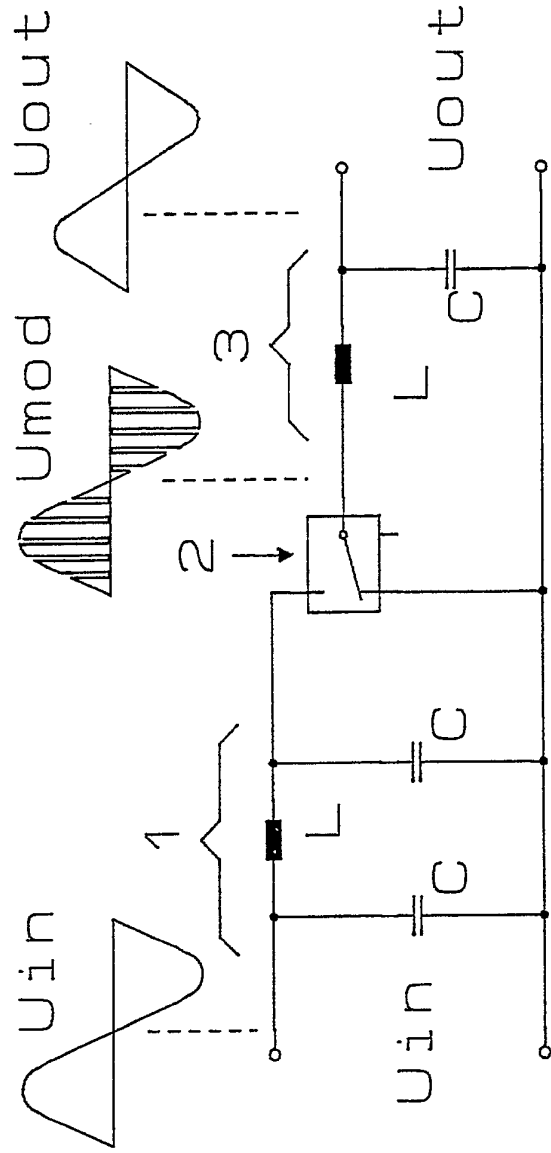


FIG. 2

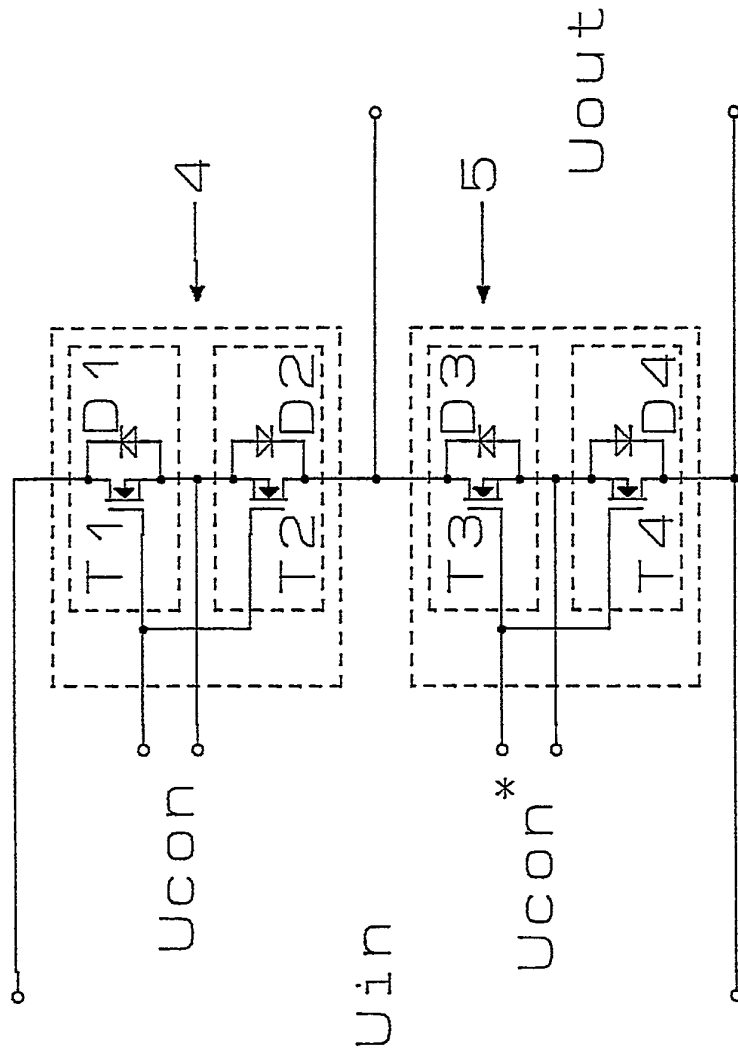


FIG. 3

