



(19)  
**Bundesrepublik Deutschland**  
**Deutsches Patent- und Markenamt**

(10) **DE 100 14 665 B4 2005.09.22**

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **100 14 665.1**  
 (22) Anmeldetag: **24.03.2000**  
 (43) Offenlegungstag: **04.10.2001**  
 (45) Veröffentlichungstag  
 der Patenterteilung: **22.09.2005**

(51) Int Cl.7: **H02H 7/12**  
**H03K 17/082, H02H 9/04, H02M 5/297**

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:  
**Siemens AG, 80333 München, DE**

(72) Erfinder:  
**Bruckmann, Manfred, Dipl.-Ing., 90475 Nürnberg, DE; Simon, Olaf, Dr.-Ing., 91056 Erlangen, DE**

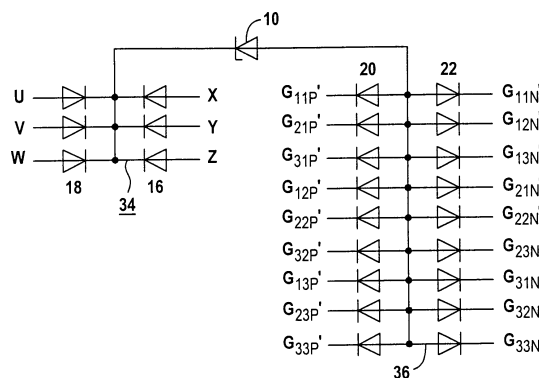
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:  
**US 546 97 230**  
**Nielsen, Novel Solutions for Protection of Matrix Converter to Three Phase Induction Machine, IEEE Industry Applications Society, 1997, Konf. New Orleans, 5.-9.10.97;**  
**Herfurth, Beschaltung von SIPMOS-Transistoren, Siemens Components, Band 22, 1984, H.4, S.157-159;**  
**Schuster, A Matrix Converter without Reactive Clamp Elements for an Induction Motor Drive System, IEEE, 1998, S. 714-720;**  
**Ziegler, Performance of a two Steps Commutated Matrix Converter for AC-Variable-Speed Drives, EPE '99;**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Schutz eines Matrixumrichters vor Überspannungen und eine aktive Überspannungsvorrichtung**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Schutz eines Matrixumrichters (28) vor Überspannungen mit neun in einer 3×3-Schaltermatrix angeordneten bidirektionalen Leistungsschaltern (2), wobei entweder

- aus allen Eingangs- und Ausgangspotentialen (Fig. 7) oder
- jeweils aus allen Eingangs- und Ausgangspotentialen (Fig. 9) oder
- jeweils aus allen Eingangspotentialen und einem der drei Ausgangspotentiale (Fig. 11)

ein höchstes Potential ermittelt wird, wobei bei Überschreitung eines vorbestimmten Grenzwertes die bidirektionalen Leistungsschalter (2) des Matrixumrichters (28) angesteuert werden.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Schutz eines Matrixumrichters mit neun in einer 3×3-Schaltermatrix angeordneten bidirektionalen Leistungsschaltern vor Überspannungen und auf eine aktive Überspannungsschutzvorrichtung.

### Stand der Technik

**[0002]** Bei einem Matrixumrichter handelt es sich um einen selbstgeführten Direktumrichter. Dieser selbstgeführte Direktumrichter ist ein Umrichter ohne Zwischenkreis. Durch die Anordnung der leistungselektronischen Schalter in einer 3×3-Schaltermatrix werden die drei Eingangsphasen mit den drei Ausgangsphasen verbunden. Dieser selbstgeführte Direktumrichter bildet den Vorteil, dass er bedingt durch die Topologie rückspeisefähig ist und durch eine entsprechend ausgeprägte Steuerung sinusförmige Netzströme erreicht. Als bidirektionaler Schalter der Schaltermatrix kann einerseits ein in einer Diodenbrücke integrierter Halbleiterschalter und andererseits zwei antiseriell geschaltete Halbleiterschalter verwendet werden. Die beiden antiseriell geschalteten Halbleiterschalter eines bidirektionalen Leistungsschalters der Schaltermatrix sind entweder in der Topologie "Common Emitter Mode" oder "Common Kollektor Mode" ausgeführt. Die Ausführungsform des bidirektionalen Leistungsschalters, wobei ein Halbleiterschalter in einer Diodenbrücke eingebettet ist, wird als "Embedded Switch" bezeichnet.

**[0003]** Das Schaltbild eines bidirektionalen Schalters **2** in der Topologie "Common Kollektor Mode" ist in der **Fig. 1** näher dargestellt. Die **Fig. 2** zeigt zum Vergleich einen bidirektionalen Leistungsschalter **2** in der Topologie "Common Emitter Mode". Diese beiden bidirektionalen Leistungsschalter **2** weisen jeweils zwei Halbleiterschalter **4** und **6** auf, die antiseriell geschaltet sind. In der **Fig. 1** sind diese beiden Halbleiterschalter **4** und **6** derart antiseriell geschaltet, dass die beiden Kollektor-Anschlüsse miteinander elektrisch leitend verbunden sind. Deshalb wird diese antiserielle Schaltung der beiden Halbleiterschalter **4** und **6** auch als "Common Kollektor Mode" bezeichnet. In der **Fig. 2** sind die beiden Halbleiterschalter **4** und **6** derart antiseriell geschaltet, dass deren Emitteranschlüsse elektrisch leitend verbunden sind. Gemäß der Verknüpfung der Emitteranschlüsse wird diese Verschaltung als "Common Emitter Mode" bezeichnet. Als Halbleiterschalter **4** und **6** werden abschaltbare Halbleiterschalter, insbesondere Insulated-Gate-Bipolar-Transistoren (IGBT), verwendet, die jeweils eine Reverse-Diode aufweisen. An den zugänglichen Anschlüssen des bidirektionalen Leistungsschalters **2** kann man die interne Topologie erkennen. Beim bidirektionalen Leistungsschalter **2** in der Topologie "Common Kollektor Mode" gemäß **Fig. 1** sind am Leistungsschalter **2** die Anschlüsse

E1,E2,G1 und G2 zugänglich. Im Gegensatz dazu sind beim bidirektionalen Leistungsschalter **2** in der Topologie "Common Emitter Mode" gemäß **Fig. 2** die Anschlüsse C1,C2,G1 und G2 zugänglich. Zusätzlich weisen diese bidirektionalen Leistungsschalter **2** Hilfsanschlüsse EH1 und EH2 auf, die jeweils einen Steuer-Anschluss bilden.

**[0004]** In der **Fig. 3** ist ein Schaltbild eines bidirektionalen Leistungsschalters **2** in der Topologie "Embedded Switch" näher dargestellt. Dieser bidirektionale Leistungsschalter **2** weist einen abschaltbaren Halbleiterschalter **5**, insbesondere einen Insulated-Gate-Bipolar-Transistor (IGBT), auf, der in einer Diodenbrücke angeordnet ist. Dieser Halbleiterschalter **5** ist kollektorseitig mit Kathodenanschlüssen zweier Dioden und emitterseitig mit Anodenanschlüssen zweier weiterer Dioden der Diodenbrücke elektrisch leitend verbunden. Die freien Anschlüsse dieser Dioden bilden je einen Eingangs- und Ausgangs-Anschluss des bidirektionalen Leistungsschalters **2**.

**[0005]** Durch die Ansteuerung der Halbleiterschalter **4** und **6** bzw. des Halbleiterschalters **5** des bidirektionalen Leistungsschalters **2** des Matrixumrichters wird jeweils ein Strompfad in einer bestimmten Richtung durchgeschaltet. Sind beide Halbleiterschalter **4** und **6** angesteuert, dann wird ein Stromfluss in beide Richtungen ermöglicht, so dass eine sichere elektrische Verbindung zwischen einer Eingangs- und einer Ausgangsphase erfolgt. Ist bei einem bidirektionalen Leistungsschalters **2** in der Topologie "Common Kollektor Mode" bzw. "Common Emitter Mode" nur ein Halbleiterschalter **4** bzw. **6** des bidirektionalen Leistungsschalters **2** des Matrixumrichters angesteuert, dann entsteht diese Verbindung nur für eine bevorzugte Stromrichtung. Eine Phase des Matrixumrichters ist eine Anordnung von drei bidirektionalen Leistungsschalter, die eine Verbindung von den drei Netzphasen zu jeweils einer der Ausgangsphasen herstellt.

**[0006]** Da der Matrixumrichter keine passiven Freilaufkreise besitzt, wie ein Spannungszwischenkreisumrichter, treten insbesondere im Fall einer aufgrund eines NOT-AUS generierten Impulssperre (Abschalten der Ansteuerimpulse aller Halbleiterschalter) aufgrund der im Stromkreis vorhandenen Induktivitäten hohe Sperrspannung an den Halbleiterschaltern auf. Diese Überspannungen können auch durch Ausfall der Ansteuerung von bidirektionalen Leistungsschaltern auftreten. In diesen genannten Fällen wird jedes Mal der Ausgangsstrom unterbrochen. Die Unterbrechung des Ausgangsstromkreises in Verbindung mit den im Stromkreis vorhandenen Induktivitäten verursacht die Überspannungen, die die Zerstörung der Halbleiterschalter zufolge haben können.

**[0007]** Aus der Veröffentlichung "Novel Solutions for Protection of Matrix Converter to Three Phase Induc-

tion Machine", abgedruckt im Tagungsband "IEEE Industry Applications Society" New Orleans, Louisiana, October 5–9, 1997, Seiten 1447 bis 1454, ist eine Überspannungsschutzvorrichtung bekannt. Diese Überspannungsschutzvorrichtung weist zwei 6-pulsige Diodenbrücken auf, die gleichspannungsseitig mittels eines Kondensators miteinander verknüpft sind. Wechselfspannungsseitig ist die eine 6-pulsige Diodenbrücke mit den Eingangs-Anschlüssen des Matrixumrichters verbunden. Die andere Diodenbrücke ist wechselfspannungsseitig mit den Ausgangs-Anschlüssen des Matrixumrichters verbunden. Elektrisch parallel zum Kondensator ist ein Widerstand geschaltet, der den Kondensator entlädt. An den Eingangs-Anschlüssen des Matrixumrichters ist außerdem ein LC-Filter angeschlossen, das eingangsseitig mit einem Drehstromnetz verbunden ist. Dieses LC-Filter, das auch als Eingangsfilter bezeichnet wird, hält pulsfrequente Oberschwingungen vom Netz fern. Die Größe dieses Filters hängt von der Pulsfrequenz des Matrixumrichters ab.

**[0008]** Auftretende Überspannungen werden durch die Diodenbrücken gleichgerichtet und auf den Kondensator gegeben. Für diese Überspannungsschutzvorrichtung, die auch Gegenstand des US-Patents 4,697,230 ist, wird eine Vorladeschaltung für den Kondensator benötigt. Diese Vorladeschaltung wird benötigt, damit beim Einschalten des Matrixumrichters keine Einschaltstromspitzen oder Überspannungen von doppelter Netzspannung auftreten. Derartige Überspannungen verursachen hohe Spitzenströme, die von den Dioden der Diodenbrücke geführt werden müssen. Der Widerstand ist so dimensioniert, dass der Kondensator um eine vorbestimmte Energiemenge entladen wird.

**[0009]** Aus der den nächstkommenden Stand der Technik bildenden Veröffentlichung "Performance of a two Steps Commutated Matrix Converter for AC-Variable-Speed Drives", abgedruckt im Tagungsband EPE'99, Lausanne, September 1999, Seiten 1 bis 9, ist ebenfalls eine Überspannungsschutzvorrichtung bekannt, die zwei 6-pulsige Diodenbrücken aufweist, wobei aus allen Eingangs- und Ausgangspotentialen ein höchstes Potential ermittelt wird. Jeder dieser beiden Diodenbrücken weist gleichspannungsseitig einen Kondensator auf. Diese beiden Kondensatoren sind elektrisch parallelgeschaltet. Eine Zenerdiode und ein Pulswiderstand sind elektrisch parallel zu diesen beiden Kondensatoren geschaltet, mit denen die Spannung der Kondensatoren auf einen vorbestimmten Wert begrenzt wird. Außerdem weist jeder bidirektionale Leistungsschalter einen Varistor und zwei antiseriell geschaltete Zenerdioden auf, mit denen die Überspannungen am bidirektionalen Leistungsschalter begrenzt werden.

**[0010]** In der Veröffentlichung "A Matrix Converter without Reactive Clamp Elements for an Induction

Motor Drive System", von Herrn Axel Schuster, abgedruckt in IEEE, 1998, Seiten 714 bis 720, sind als Überspannungsschutzvorrichtung mehrere Varistoren vorgesehen. Jedem Halbleiterschalter jedes bidirektionalen Leistungsschalters der 3×3-Schaltermatrix ist ein Varistor elektrisch parallel geschaltet. Diese Varistoren schützen die 18 Halbleiterschalter der neun bidirektionalen Leistungsschalter vor Überspannungen.

**[0011]** Bei der Verwendung dieser Überspannungsschutzeinrichtung muss beim bidirektionalen Leistungsschalter in Common Kollektor Mode der Verbindungspunkt der beiden Kollektor-Anschlüsse der beiden antiseriell geschalteten Halbleiterschalter herausgeführt sein. Es ist auch möglich, dass der bidirektionale Leistungsschalter aus einzelnen Halbleiterbauelementen aufgebaut ist. Erst wenn die Kollektor-Anschlüsse bzw. deren Verbindungspunkt zugänglich sind, können jedem Halbleiterschalter eines bidirektionalen Leistungsschalters ein Varistor elektrisch parallel geschaltet werden.

**[0012]** Aus der Veröffentlichung "Beschaltung von SiPMOS-Transistoren", abgedruckt in der "Siemens-Components", Band 22, Heft 4, 1984, Seiten 157 bis 159, ist eine Spannungsklemmschaltung bekannt. Diese Spannungsklemmschaltung ist in der Fig. 4 bei einem Halbleiterschalter 4 näher dargestellt und ist mit 8 gekennzeichnet. Diese Spannungsklemmschaltung 8 besteht aus einer Zenerdiode 10, insbesondere einer Hochspannungs-Zenerdiode, die auch als Transildiode bezeichnet wird, und einer Entkopplungsdiode 12. Diese Spannungsklemmschaltung 8 ist zwischen Kollektor-Anschluss C und Gate-Anschluss G des Halbleiterschalters 4 geschaltet. Als Halbleiterschalter 4 ist ein Insulated-Gate-Bipolar-Transistor (IGBT) mit einer Reverse-Diode vorgesehen. Die Entkopplungsdiode 12 trennt die Spannungsklemmschaltung 8 vom Gate-Anschluss G des Halbleiterschalters 4 beim eingeschalteten Halbleiterschalter 4 ab. Sobald im gesperrten Zustand der Halbleiterschalter 4 seine Kollektor-Emitter-Spannung die Summe aus Z-Spannung der Transildiode, der Schwellenspannung der Entkopplungsdiode 12 und der Gate-Emitter-Schwellenspannung überschreitet, wird der Halbleiterschalter 4 selbsttätig angesteuert. Somit wird eine auftretende Überspannung am Halbleiterschalter 4 aktiv von diesem begrenzt, wobei jedoch im Halbleiterschalter 4 und in der Transildiode 10 Verluste auftreten.

**[0013]** Diese aktive Überspannungsschutzvorrichtung kann direkt bei einem bidirektionalen Leistungsschalter in der Topologie "Common Emitter Mode" (Fig. 2) verwendet werden. Das heißt, jedem der beiden Halbleiterschalter 4 und 6 des bidirektionalen Leistungsschalters 2 im Common Emitter Mode wird eine Spannungsklemmschaltung 8 elektrisch parallel

zur Kollektor-Gate-Strecke geschaltet. Dies kann auch ohne großen Aufwand realisiert werden, da die benötigten Anschlüsse – Kollektor-Anschluss C und Gate-Anschluss G – zugänglich sind.

**[0014]** Eine Verwendung dieser bekannten Spannungsklemmschaltung **8** bei einem bidirektionalen Leistungsschalter in Common Kollektor Mode ist ohne weiteres nicht möglich. Damit dies möglich wird, muss der Common-Kollektor-Anschluss aus dem bidirektionalen Leistungsschalter **2** herausgeführt sein.

#### Aufgabenstellung

**[0015]** Der Erfindung liegt nun die Aufgabe zugrunde, einen Matrixumrichter kostengünstig und aufwandsarm gegen Überspannungen zu schützen.

**[0016]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß mit den Merkmalen des unabhängigen Anspruchs 1 gelöst.

**[0017]** Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren wird zunächst das Vorhandensein einer auftretenden Überspannung ermittelt, die dann alle gefährdeten bidirektionalen Leistungsschalter des Matrixumrichters selbsttätig ansteuert. Dadurch kann diese Überspannung keinen bidirektionalen Leistungsschalter des Matrixumrichters zerstören, da durch diese selbsttätige Ansteuerung der bidirektionale Leistungsschalter die Überspannung auf einen vorbestimmten Wert aktiv begrenzt wird. Bei diesem erfindungsgemäßen Verfahren ist es unerheblich, an welchem Anschluss des Matrixumrichters eine Überspannung auftritt, sondern es interessiert nur, dass eine Überspannung auftritt. Sobald diese erfasst ist, werden alle bidirektionalen Leistungsschalter derart angesteuert, dass diese ermittelte Überspannung aktiv begrenzt wird.

**[0018]** Bei einem vorteilhaften Verfahren werden nicht die Potentiale an den Eingangs- und/oder Ausgangs-Anschlüssen des Matrixumrichters ausgewertet, sondern die Potentiale der Steueranschlüsse aller bidirektionalen Leistungsschalter des Matrixumrichters. Somit unterscheidet sich das vorteilhafte Verfahren nur durch den Ort der Erfassung einer Überspannung, nicht jedoch in der aktiven Begrenzung einer ermittelten Überspannung.

**[0019]** Eine erfindungsgemäße aktive Überspannungsschutzvorrichtung weist wenigstens eine Gleichrichterschaltung, wenigstens eine Hochspannungs-Zenerdiode und wenigstens eine Diodenschaltung auf, die mehrere hochsperrende Dioden aufweist, wobei jede Hochspannungs-Zenerdiode kathodenseitig jeweils mit einem Ausgang der Gleichrichterschaltung und anodenseitig mit einem Eingang des Diodennetzwerkes verbunden ist. Die Eingänge der Gleichrichterschaltungen sind eingangsseitig mit den Eingangs- und/oder Aus-

gangs-Anschlüssen des Matrixumrichters oder jeweils mit den Eingangs-Anschlüssen und einem der drei Ausgangs-Anschlüsse des Matrixumrichters verknüpft. Die hochsperrenden Dioden der Diodenschaltung sind kathodenseitig jeweils mit einem Steuer-Anschluss der bidirektionalen Leistungsschalter des Matrixumrichters verbunden.

**[0020]** Bei einer vorteilhaften Ausführungsform der aktiven Überspannungsschutzvorrichtung ist diese umrichterorientiert. Das heißt, dass alle Eingangs- und Ausgangs-Anschlüsse des Matrixumrichters mit den Eingängen einer Gleichrichterschaltung verbunden sind. Außerdem wird nur eine Hochspannungs-Zenerdiode gebraucht, an deren Anode der Eingang der Diodenschaltung angeschlossen ist. Durch diese umrichterorientierte Ausgestaltung der aktiven Überspannungsschutzvorrichtung wird nur eine Hochspannungs-Zenerdiode benötigt.

**[0021]** Bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform dieser vorteilhaften Ausführungsform der aktiven Überspannungsschutzvorrichtung sind jeweils drei hochsperrende Dioden der Diodenschaltung durch ein Diodennetzwerk, bestehend aus drei niedersperrenden Zenerdioden und einer hochsperrenden Diode, ersetzt. Die drei niedersperrenden Zenerdioden sind anodenseitig mit der Kathode der hochsperrenden Diode verbunden, die anodenseitig mit der Hochspannungs-Zenerdiode verknüpft ist. Durch diese Ausgestaltung wird die Anzahl der hochsperrenden Dioden weiter verringert.

**[0022]** Die Ausführungsform der aktiven Überspannungsschutzvorrichtung kann auch phasenorientiert aufgebaut sein, wodurch dann drei Hochspannungs-Zenerdioden und drei Gleichrichterschaltungen benötigt werden. Auch bei dieser phasenorientierten Ausführungsform der aktiven Überspannungsschutzvorrichtung können jeweils drei hochsperrende Dioden der Diodenschaltung durch ein Diodennetzwerk, bestehend aus drei niedersperrenden Zenerdioden und einer hochsperrenden Diode, ersetzt werden.

**[0023]** Außerdem kann die umrichter- bzw. phasenorientierte Ausführungsform der aktiven Überspannungsschutzvorrichtung abhängig von der Richtung der Ströme im Matrixumrichter aufgeteilt werden. Das heißt, die aktive Überspannungsschutzvorrichtung kann phasen- oder umrichterorientiert und für Hin- und Rückrichtung gemeinsam oder getrennt aufgebaut sein. Die meisten Hochspannungs-Zenerdioden, nämlich sechs Stück, werden bei einer phasenorientierten und Hin- und Rückrichtung getrennten Ausführungsform gebraucht.

**[0024]** Die Wahl der Ausführung der aktiven Überspannungsschutzvorrichtungen hängt von dem Aufbau des Matrixumrichters ab. Die bidirektionalen

Leistungsschalter können alle in einem Modul untergebracht sein. Diese können auch phasenmäßig jeweils in einem Modul oder netz- und lastseitig jeweils in einem Modul integriert sein. Dadurch, dass der Aufbau der aktiven Überspannungsschutzvorrichtung abhängig vom Aufbau des Matrixumrichters gestaltet wird, können Teile der Überspannungsschutzvorrichtung in unmittelbarer Nähe der Module des Umrichters platziert werden. Dadurch erhält man eine niederinduktive Anbindung der aktiven Überspannungsschutzvorrichtung an dem Matrixumrichter.

#### Ausführungsbeispiel

[0025] Zur weiteren Erläuterung der Erfindung wird auf die Zeichnung Bezug genommen, in der mehrere Ausführungsformen einer erfindungsgemäßen aktiven Überspannungsschutzvorrichtung schematisch veranschaulicht sind.

[0026] [Fig. 1](#) zeigt ein Schaltbild eines bidirektionalen Leistungsschalters in Common Kollektor Mode, die

[0027] [Fig. 2](#) zeigt ein Schaltbild eines bidirektionalen Leistungsschalters in Common Emitter Mode, in dem

[0028] [Fig. 3](#) ist ein Schaltbild eines bidirektionalen Leistungsschalters als Embedded Switch dargestellt, in der

[0029] [Fig. 4](#) ist eine Spannungsklemmschaltung für einen Halbleiterschalter dargestellt, die

[0030] [Fig. 5](#) zeigt ein Schaltbild eines Matrixumrichters mit bidirektionalen Leistungsschaltern gemäß [Fig. 1](#), die

[0031] [Fig. 6](#) zeigt ein Schaltbild eines Matrixumrichters mit bidirektionalen Leistungsschaltern gemäß [Fig. 3](#), die

[0032] [Fig. 7](#) zeigt eine umrichterorientierte Ausführungsform einer ersten Variante der erfindungsgemäßen aktiven Überspannungsschutzvorrichtung, wobei in der

[0033] [Fig. 8](#) eine vorteilhafte Ausführungsform der aktiven Überspannungsvorrichtung nach [Fig. 7](#) dargestellt ist,

[0034] [Fig. 9](#) zeigt eine umrichterorientierte Ausführungsform mit Hin- und Rückrichtung getrennt der erfindungsgemäßen aktiven Überspannungsschutzvorrichtung, die

[0035] [Fig. 10](#) zeigt eine vorteilhafte Ausführungsform der aktiven Überspannungsschutzvorrichtung

nach [Fig. 9](#), wobei die

[0036] [Fig. 11](#) eine phasenorientierte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Überspannungsschutzvorrichtung zeigt, wobei die

[0037] [Fig. 12](#) eine vorteilhafte Ausführungsform der phasenorientierten Ausführungsform der aktiven Überspannungsschutzvorrichtung nach [Fig. 11](#) zeigt, die

[0038] [Fig. 13](#) zeigt eine phasenorientierte Ausführungsform mit Hin- und Rückrichtung getrennt der erfindungsgemäßen aktiven Überspannungsschutzvorrichtung, in der

[0039] [Fig. 14](#) ist eine umrichterorientierte Ausführungsform einer zweiten Variante der erfindungsgemäßen aktiven Überspannungsschutzvorrichtung näher dargestellt, wobei die

[0040] [Fig. 15](#) eine umrichterorientierte Ausführungsform einer zweiten Variante mit Hin- und Rückrichtung getrennt zeigt und in

[0041] [Fig. 16](#) ist eine phasenorientierte Ausführungsform der zweiten Variante nach [Fig. 14](#) näher dargestellt.

[0042] In der [Fig. 5](#) ist eine Schaltung eines Matrixumrichters **28** dargestellt, der neun bidirektionale Leistungsschalter **2** in Common Kollektor Mode aufweist. Diese bidirektionalen Leistungsschalter **2** sind in einer 3×3-Schaltermatrix angeordnet. Die Emitter-Anschlüsse dieser bidirektionalen Leistungsschalter **2** bilden entweder einen Eingangs-Anschluss U bzw. V bzw. W oder einen Ausgangs-Anschluss X bzw. Y bzw. Z des Matrixumrichters **28**. An den Eingangs-Anschlüssen U, V und W ist ein Drehstromnetz **30** und an den Ausgangs-Anschlüssen X, Y und Z eine Drehstromlast **32**, insbesondere eine Drehfeldmaschine, angeschlossen. Die Gate-Anschlüsse G der netzseitigen Halbleiterschalter **6** der bidirektionalen Leistungsschalter **2** sind mit einem Index N' versehen, wobei die Gate-Anschlüsse G der lastseitigen Halbleiter **4** dieser bidirektionalen Leistungsschalter **2** mit einem Index P' versehen sind. Eine Phase des Matrixumrichters **28** ist eine Anordnung von drei bidirektionalen Leistungsschaltern **2**, die eine Verbindung von den drei netzseitigen Anschlüssen, U, V und W zu jeweils einem lastseitigen Anschluss X bzw. Y bzw. Z herstellt. Aus diesem Grund sind diese Gate-Anschlüsse G der bidirektionalen Leistungsschalter **2** mit zwei Indexzahlen versehen. Bei diesem Ersatzschaltbild des Matrixumrichters **28** mit bidirektionalen Leistungsschaltern **2** in Common Kollektor Mode sind die antiparallelen Dioden der antiseriell geschalteten Halbleiterschalter **4** und **6** der bidirektionalen Leistungsschalter **2** aus Übersichtlichkeitsgründen weggelassen.

[0043] In der [Fig. 6](#) ist dieser Matrixumrichter **28** mit bidirektionalen Leistungsschaltern **2** in Embedded Mode dargestellt. Dieser Matrixumrichter **28** unterscheidet sich vom Matrixumrichter **28** gemäß [Fig. 5](#) nur durch die Topologie der bidirektionalen Leistungsschalter **2**.

[0044] Zum Schutz des Matrixumrichters **28** gegenüber auftretenden Überspannungen ist deshalb eine aktive Überspannungsschutzvorrichtung vorgesehen, die wenigstens eine Gleichrichterschaltung, wenigstens eine Hochspannungs-Zenerdiode und wenigstens eine Diodenschaltung aufweist.

[0045] Eine erste umrichterorientierte Ausführungsform einer ersten Variante der aktiven Überspannungsschutzvorrichtung nach der Erfindung ist in der [Fig. 7](#) näher dargestellt. Diese Überspannungsschutzvorrichtung weist eine Gleichrichterschaltung **34**, eine Hochspannungs-Zenerdiode **10**, auch als Transildiode bezeichnet, und eine Diodenschaltung **36** auf. Die Gleichrichterschaltung **34** weist drei der Netzseite zugewandte Dioden **18** und drei der Lastseite zugewandte Dioden **16** auf. Die Dioden **18** sind anodenseitig jeweils mit einem Eingangs-Anschluss U,V oder W und die Dioden **16** sind jeweils mit einem Ausgangs-Anschluss X,Y oder Z des Matrixumrichters **28** verknüpft. Die Diodenschaltung **36** weist neun Dioden **20** und neun Dioden **22** auf. Die Dioden **20** bzw. **22** sind kathodenseitig jeweils mit Gate-Anschlüssen G der bidirektionalen Leistungsschalter **2** des Matrixumrichters **28** verbunden. Die Dioden **20** und **22** sind anodenseitig mit den Anoden-Anschluss der Transildiode **10** verknüpft, die ihrerseits kathodenseitig mit den Kathoden-Anschlüssen der Dioden **16** und **18** der Gleichrichterschaltung **34** elektrisch leitend verbunden ist. Da die aktive Überspannungsschutzvorrichtung nur eine Gleichrichterschaltung **34** und nur eine Hochspannungs-Zenerdiode **10** aufweist, ist diese umrichterorientiert aufgebaut. Diese umrichterorientierte aktive Überspannungsschutzvorrichtung wird vorteilhafter Weise dann verwendet, wenn der Matrixumrichter **28** aus einem Modul besteht.

[0046] In der [Fig. 8](#) ist eine vorteilhafte Ausführungsform der ersten Variante der aktiven Überspannungsschutzvorrichtung dargestellt. Diese vorteilhafte Ausführungsform unterscheidet sich von der Ausführungsform gemäß [Fig. 7](#) dadurch, dass anstelle von jeweils drei hochsperrenden Dioden **20** und **22** der Diodenschaltung **36** jeweils ein Diodennetzwerk **38** und **40** vorgesehen ist. Jedes Diodennetzwerk **38,40** besteht aus drei niedersperrenden Zenerdioden **42,44** und einer hochsperrenden Diode **46,48**. Die drei niedersperrenden Zenerdioden **42** bzw. **44** sind anodenseitig mit der Kathode der hochsperrenden Dioden **46** bzw. **48** verknüpft, die anodenseitig mit der Anode der Hochspannungs-Zenerdiode **10** verknüpft ist. Durch diese Ausgestaltung wird die An-

zahl der hochsperrenden Dioden **20** bzw. **22** von neun auf drei reduziert. Dadurch reduziert sich der Kostenaufwand für die aktive Überspannungsschutzvorrichtung.

[0047] Die [Fig. 9](#) zeigt eine umrichterorientierte Ausführungsform der ersten Variante der aktiven Überspannungsschutzvorrichtung, wobei die Hin- und Rückführung getrennt sind. Gegenüber der Ausführungsform nach [Fig. 7](#) sind die Gleichrichterschaltung **34** und die Diodenschaltung **36** jeweils halbiert. Das heißt, die Dioden **18** und **16** der Gleichrichterschaltung **34** bilden jeweils eine Teilgleichrichterschaltung **50** und **52**, wogegen die Dioden **20** und **22** der Diodenschaltung **36** jeweils eine Teildiodenschaltung **54** und **56** bilden. Kathodenseitig sind die Dioden **18** und **16** jeweils mit einem Kathoden-Anschluss einer Transitdiode **10** verbunden. Anodenseitig ist jede dieser Transildioden **10** mit den Anoden der Dioden **20** bzw. **22** der Teildiodenschaltung **54** und **56** verknüpft. Diese Ausführungsform der aktiven Überspannungsschutzvorrichtung wird vorzugsweise dann verwendet, wenn der Matrixumrichter **28** von zwei Modulen realisiert wird, wobei in einem Modul alle netzseitigen Halbleiterschalter **6** und im anderen Modul alle lastseitigen Halbleiterschalter **4** integriert sind.

[0048] In der [Fig. 10](#) ist eine vorteilhafte Ausführungsform der Ausführungsform nach [Fig. 9](#) näher dargestellt. Bei dieser Variante hat sich die Anzahl der hochsperrenden Dioden **20** und **22** wesentlich verringert. Anstelle von jeweils neun hochsperrenden Dioden **20** und **22** der Teildiodenschaltungen **54** und **56** werden nun nur noch jeweils drei hochsperrende Dioden **46** und **48** benötigt, die jeweils mit drei, niedersperrenden Zenerdioden **42** bzw. **44** versehen sind. Dabei ist jede hochsperrende Diode **46** bzw. **48** kathodenseitig mit einem Anoden-Anschluss dreier Zenerdioden **42** bzw. **44** elektrisch leitend verbunden, die ihrerseits kathodenseitig mit Steueranschlüssen der bidirektionalen Leistungsschalter **2** des Matrixumrichters **28** verknüpft sind. Durch die Reduzierung der Anzahl hochsperrender Dioden **46** und **48** kann die Diodenschaltung **36** noch platzsparender aufgebaut werden. Außerdem reduziert sich der Kostenaufwand für die aktive Überspannungsschutzvorrichtung für den Matrixumrichter **28**.

[0049] In der [Fig. 11](#) ist eine phasenorientierte Ausführungsform einer aktiven Überspannungsschutzvorrichtung nach der Erfindung für einen Matrixumrichter **28** dargestellt. Diese Ausführungsform unterscheidet sich von der Ausführungsform gemäß [Fig. 7](#) dadurch, dass die Gleichrichterschaltung **34** und die Diodenschaltung **36** jeweils in drei Teilgleichrichterschaltungen **58,60** und **62** und drei Teildiodenschaltungen **64,66** und **68** unterteilt sind. Jede Teilgleichrichterschaltung **58,60** und **62** ist einerseits mit den Eingangs-Anschlüssen U,V und W und einem Aus-

gangs-Anschluss X bzw. Y bzw. Z des Matrixumrichters **28** verbunden. Die Teildiodenschaltungen **64,66** und **68** sind jeweils mit den Steueranschlüssen der bidirektionalen Leistungsschalter **2** einer Matrixumrichterphase verknüpft. Bei dieser Ausführungsform sind Hin- und Rückrichtung, wie bei der Ausführungsform gemäß [Fig. 7](#), nicht getrennt. Die Überspannungsschutzvorrichtung gemäß [Fig. 11](#) ist genau dann zu empfehlen, wenn der Matrixumrichter **28** pro Phase ein Modul aufweist.

**[0050]** In der [Fig. 12](#) ist eine vorteilhafte Ausführungsform der Ausführung nach [Fig. 11](#) näher dargestellt. Auch bei dieser vorteilhaften Ausführungsform sind jeweils drei hochsperrende Dioden **20** und **22** der Teildiodenschaltungen **64,66** und **68** jeweils durch ein Diodennetzwerk **38** bzw. **40** ersetzt, wobei hier nur das Diodennetzwerk **40** jeweils näher dargestellt ist.

**[0051]** In der [Fig. 13](#) ist eine phasenorientierte Ausführungsform der aktiven Überspannungsschutzvorrichtung nach der Erfindung dargestellt, wobei Hin- und Rückrichtung des Matrixumrichters **28** getrennt sind. Diese Ausführungsform unterscheidet sich von der Ausführungsform gemäß [Fig. 11](#) dadurch, dass jede Teilgleichrichterschaltung **58,60** und **62** und jede Teildiodenschaltung **64,66** und **68** halbiert sind. Dadurch verdoppeln sich nur die Anzahl der Hochspannungs-Zenerdioden **10**.

**[0052]** In der [Fig. 14](#) ist eine umrichterorientierte Ausführungsform einer zweiten Variante der erfindungsgemäßen aktiven Überspannungsschutzvorrichtung näher dargestellt. Der wesentliche Unterschied zur ersten Variante besteht darin, dass die Gleichrichterschaltung **34** nun nicht mehr eingangsseitig mit den Eingangs- und Ausgangs-Anschlüssen U,V,W und X,Y,Z des Matrixumrichters **28** verknüpft sind, sondern mit den Steueranschlüssen G der bidirektionalen Leistungsschalter **2** des Matrixumrichters **28**. Aus diesem Grund weist nun die Gleichrichterschaltung **34** achtzehn hochsperrende Dioden **16** und **18** auf, die alle kathodenseitig miteinander verbunden sind. Dieser Verknüpfungspunkt bildet den Ausgang der Gleichrichterschaltung **34**. Die Diodenschaltung **36** entspricht vom Aufbau der Diodenschaltung **36** der Ausführungsform der aktiven Überspannungsschutzvorrichtung nach [Fig. 7](#). Somit ist diese erste Ausführungsform der zweiten Variante der aktiven Überspannungsschutzvorrichtung ebenfalls umrichterorientiert aufgebaut. Eine entsprechende phasenorientierte Ausführungsform der zweiten Variante ist in der [Fig. 16](#) dargestellt, wobei eine umrichterorientierte mit Hin- und Rückrichtung getrennt in der [Fig. 15](#) näher dargestellt ist. Diese in den [Fig. 14](#) bis [Fig. 16](#) dargestellten Ausführungsformen der zweiten Variante der aktiven Überspannungsschutzvorrichtung kann nur bei einem Matrixumrichter **28** verwendet werden, deren neun bidirektionale

Leistungsschalter **2** in der Topologie "Common Kollektor Mode" oder "Common Emitter Mode" ausgeführt sind. Die Verwendung dieser zweiten Variante der aktiven Überspannungsschutzvorrichtung ist bei einem Matrixumrichter mit bidirektionalen Leistungsschalter **2** in der Topologie "Embedded Mode" nicht möglich.

**[0053]** Dadurch, dass wenigstens eine Hochspannungs-Zenerdiode gemeinsam für alle Halbleiterschalter **4,6** bzw. **5** der bidirektionalen Leistungsschalter **2** des Matrixumrichters **28** verwendet wird, ist der Aufwand für einen Überspannungsschutz eines Matrixumrichters **28** minimal. Die Spannungsbegrenzungen für alle Halbleiterschalter **4,6** bzw. **5** der bidirektionalen Leistungsschalter **2** wird bei einer umrichterorientierten Ausführungsform der aktiven Überspannungsschutzvorrichtung von einer einzigen Hochspannungs-Zenerdiode **10** vorgenommen. Durch diese erfindungsgemäße aktive Überspannungsschutzvorrichtung wird eine auftretende Spannung im Matrixumrichter **28** ermittelt, wobei das Vorhandensein einer Überspannung nur interessiert und nicht der Ort der Überspannung im Matrixumrichter **28**. Eine ermittelte Überspannung führt dazu, dass bei einer umrichterorientierten Ausführungsform der aktiven Überspannungsschutzvorrichtung alle Halbleiterschalter **4,6** oder **5** der bidirektionalen Leistungsschalter **2** des Matrixumrichters **28** derart aufgesteuert werden, dass sie diese Überspannung aktiv begrenzen. Somit wird der Überspannungsschutz nicht mehr für jeden einzelnen Halbleiterschalter **4,6** bzw. **5** der bidirektionalen Leistungsschalter **2** oder jeden einzelnen bidirektionalen Leistungsschalter **2** getrennt gelöst, sondern für den gesamten Matrixumrichter **28** gemeinsam.

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Schutz eines Matrixumrichters (**28**) vor Überspannungen mit neun in einer 3×3-Schaltermatrix angeordneten bidirektionalen Leistungsschaltern (**2**), wobei entweder  
 – aus allen Eingangs- und Ausgangspotentialen ([Fig. 7](#)) oder  
 – jeweils aus allen Eingangs- und Ausgangspotentialen ([Fig. 9](#)) oder  
 – jeweils aus allen Eingangspotentialen und einem der drei Ausgangspotentiale ([Fig. 11](#)) ein höchstes Potential ermittelt wird, wobei bei Überschreitung eines vorbestimmten Grenzwertes die bidirektionalen Leistungsschalter (**2**) des Matrixumrichters (**28**) angesteuert werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei anstelle der Eingangs- und Ausgangs-Potentiale Steuerpotentiale der bidirektionalen Leistungsschalter (**2**) des Matrixumrichters (**28**) verwendet werden ([Fig. 14](#)).

3. Aktive Überspannungsschutzvorrichtung für

einen Matrixumrichter (**28**), der neun in einer 3×3-Schaltermatrix angeordnete bidirektionale Leistungsschalter (**2**) aufweist, mit wenigstens einer Gleichrichterschaltung (**34,50,52,58,60,62**), wenigstens einer Hochspannungs-Zenerdiode (**10**) und wenigstens einer Diodenschaltung (**36,54,56,64,66,68**), wobei jede Hochspannungs-Zenerdiode (**10**) kathodenseitig mit einem Ausgang der Gleichrichterschaltung (**34,50,52,58,60,62**) und anodenseitig mit einem Eingang der Diodenschaltung (**36,54,56,64,66,68**) verknüpft ist, wobei die Gleichrichterschaltungen (**34,50,52,58,60,62**)

– eingangsseitig mit den Eingangs- und/oder Ausgangs-Anschlüssen (U,V,W;X,Y,Z) ([Fig. 7](#),[Fig. 9](#)) oder

– jeweils mit den Eingangs-Anschlüssen (U,V,W) und einem der drei Ausgangsanschlüsse (X,Y,Z) verknüpft sind ([Fig. 11](#))

und wobei die Ausgänge der Diodenschaltung (**36,54,56,64,66,68**) jeweils mit einem Steuer-Anschluss der bidirektionalen Leistungsschalter (**2**) des Matrixumrichters (**28**) verbunden sind.

4. Aktive Überspannungsschutzvorrichtung nach Anspruch 3, wobei die Diodenschaltung (**36,54,56,64,66,68**) ausschließlich hochsperrende Dioden (**20,22**) aufweist ([Fig. 7](#)).

5. Aktive Überspannungsschutzvorrichtung nach Anspruch 4, wobei jeweils anstelle von drei hochsperrenden Dioden (**20,22**) der Diodenschaltung (**36,54,56,64,66,68**) drei niedersperrende Zenerdioden (**42,44**) und eine hochsperrende Diode (**46,48**) vorgesehen sind, wobei die niedersperrenden Zenerdioden (**42,44**) anodenseitig mit einem Kathoden-Anschluss der hochsperrenden Diode (**46,48**) verknüpft sind ([Fig. 8](#)).

6. Aktive Überspannungsschutzvorrichtung nach einem der Ansprüche 3 bis 5, wobei jede Gleichrichterschaltung (**34,50,52,58,60,62**) mehrere hochsperrende Dioden (**16,18**) aufweist, deren Kathodenanschlüsse miteinander zu einem Ausgang einer Gleichrichterschaltung (**34,50,52,58,60,62**) verbunden sind.

Es folgen 10 Blatt Zeichnungen



Anhängende Zeichnungen

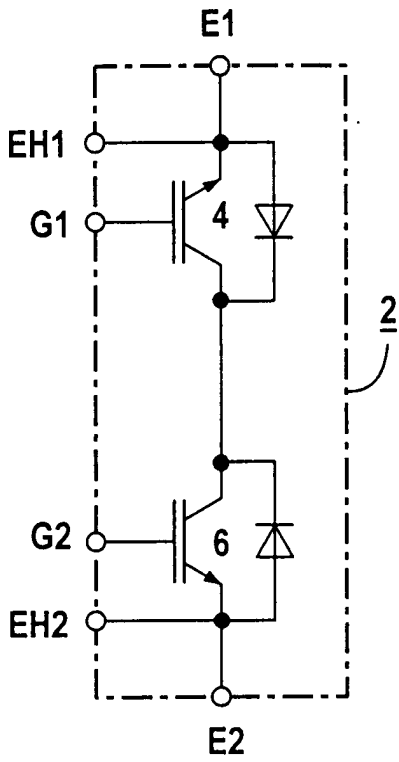


FIG 1

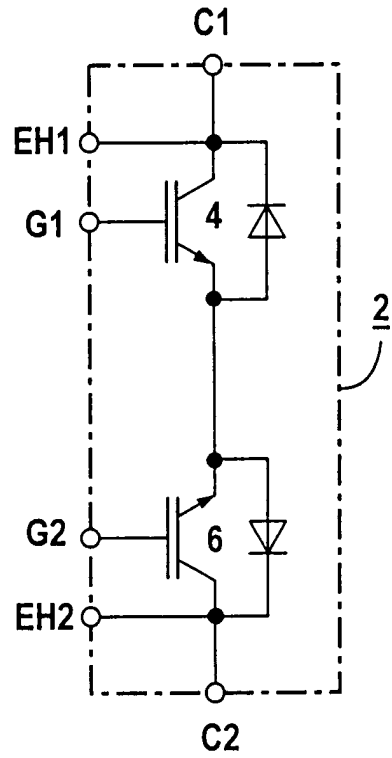


FIG 2

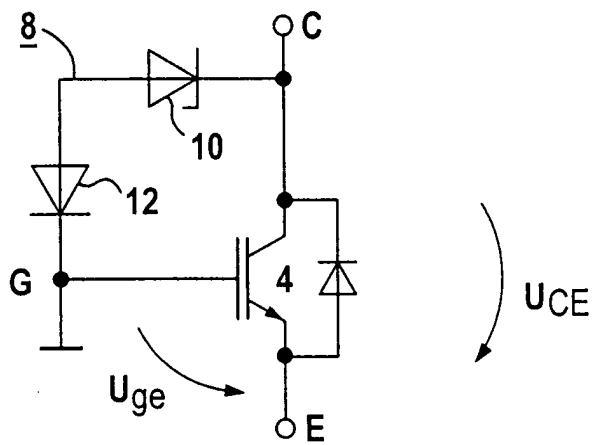


FIG 4

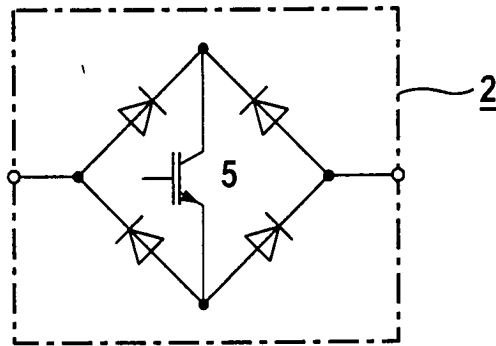


FIG 3

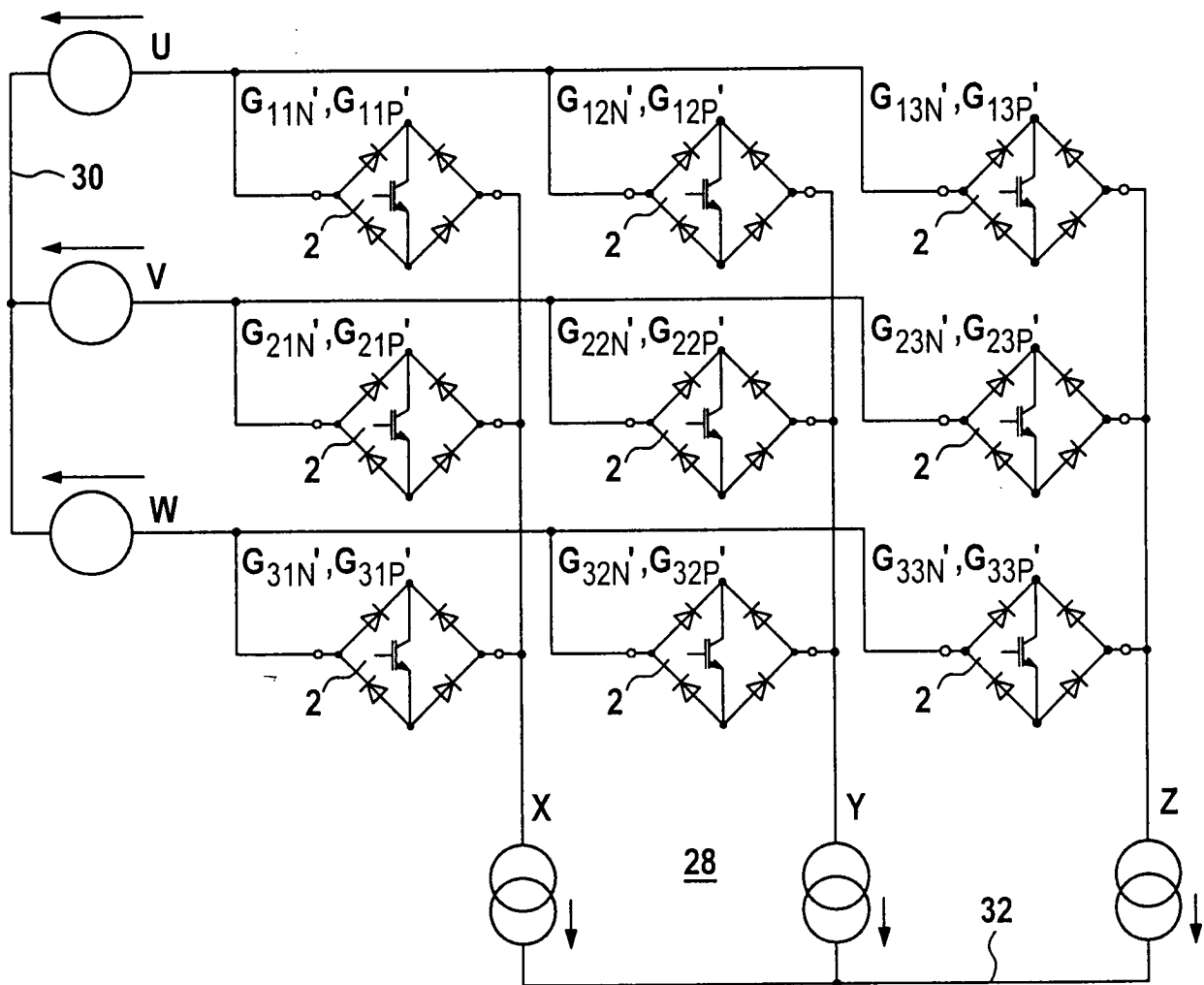


FIG 6

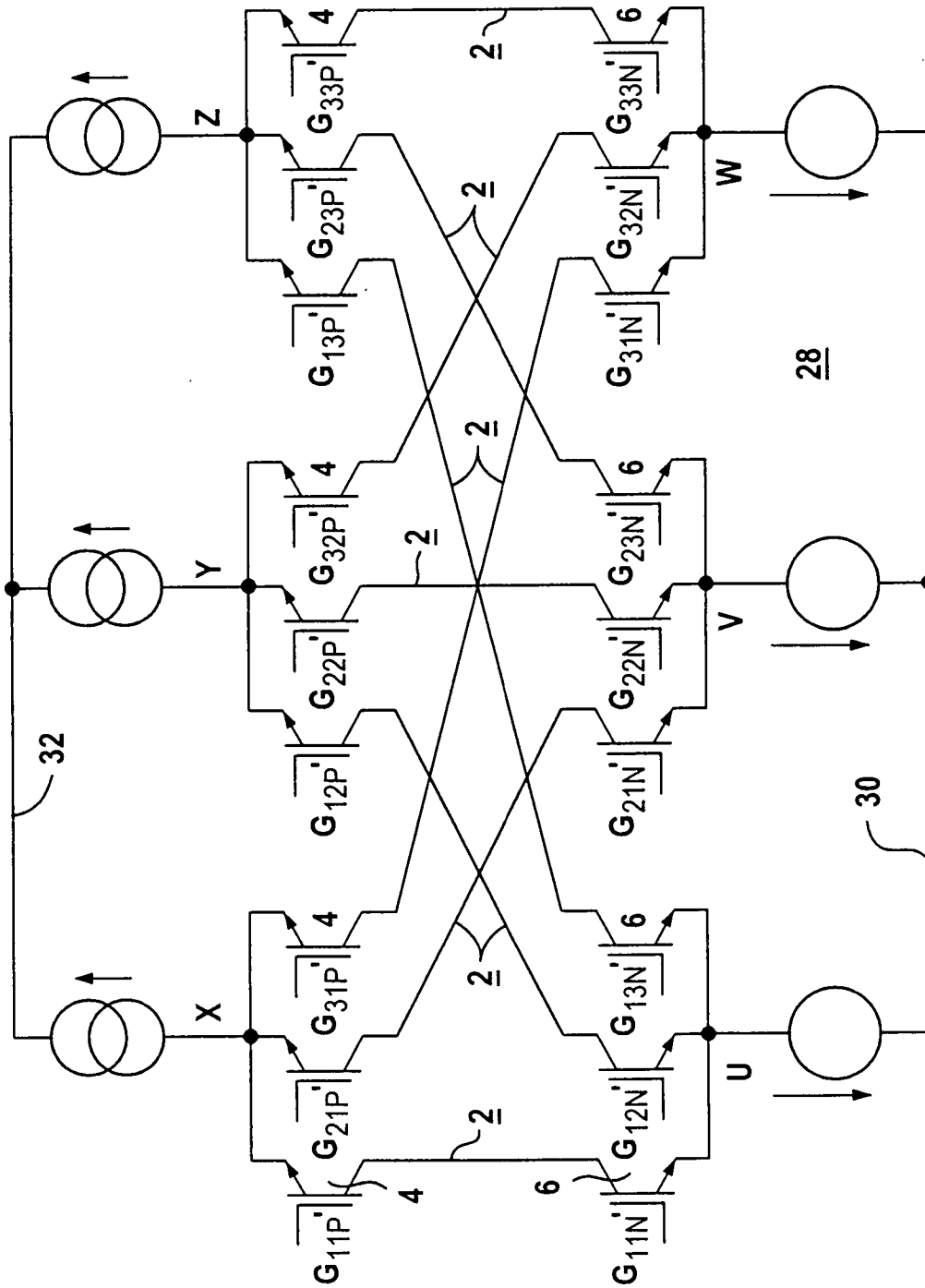
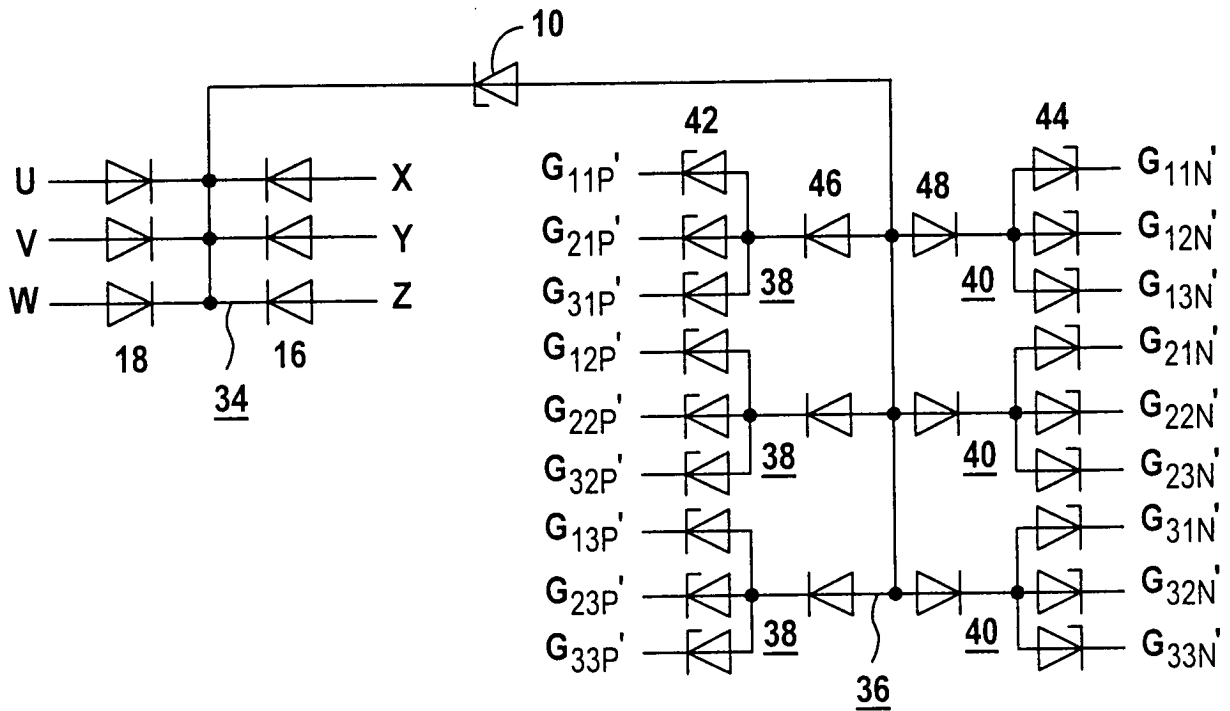
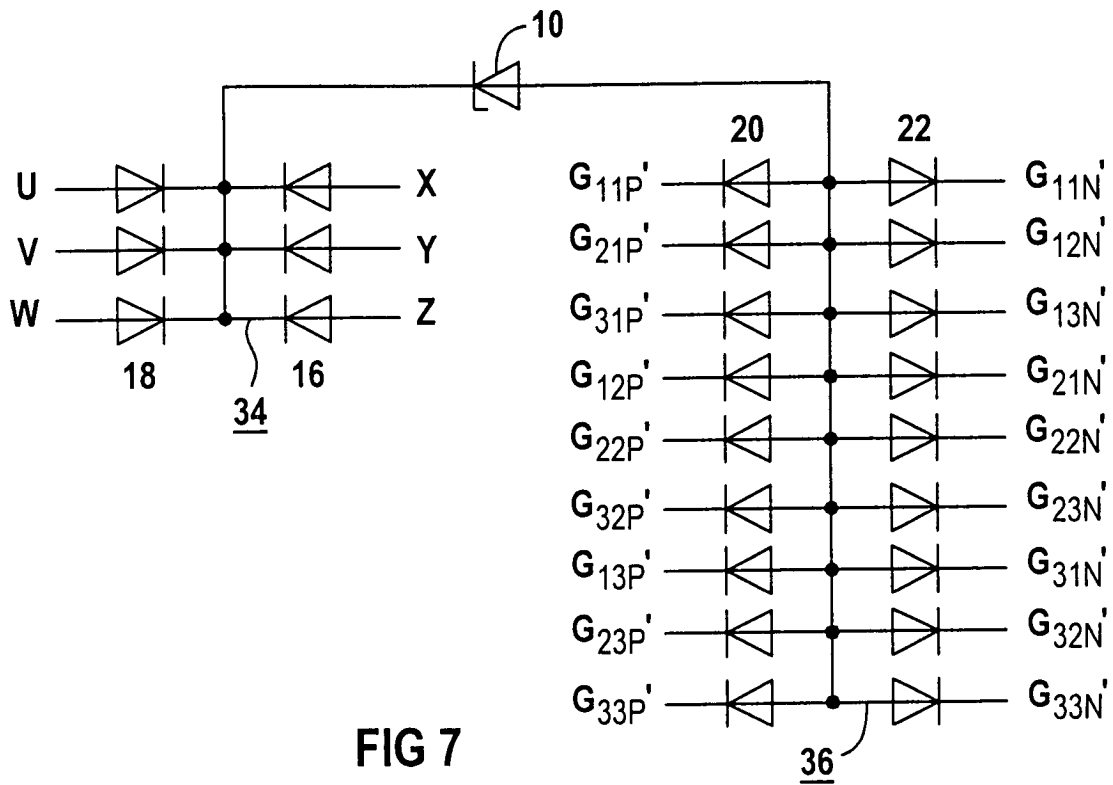
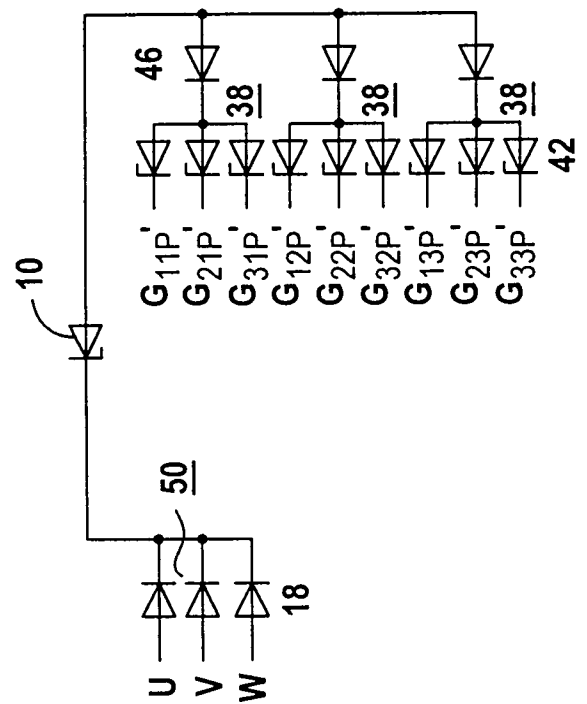
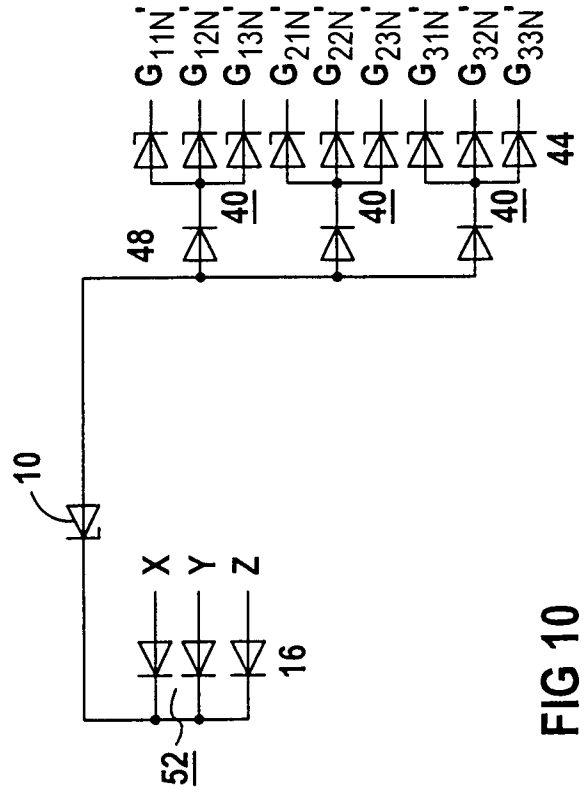
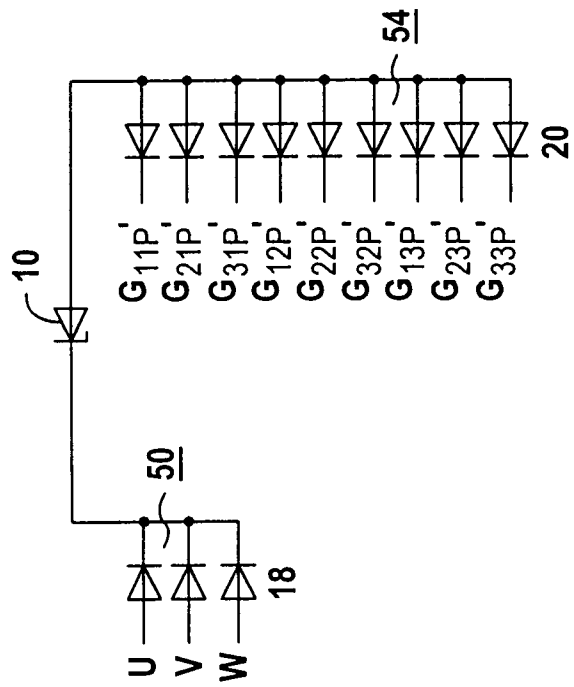
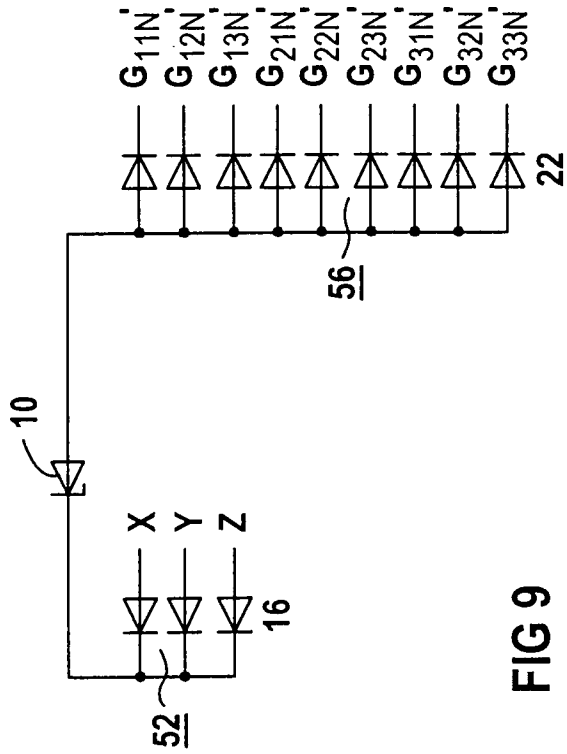


FIG 5





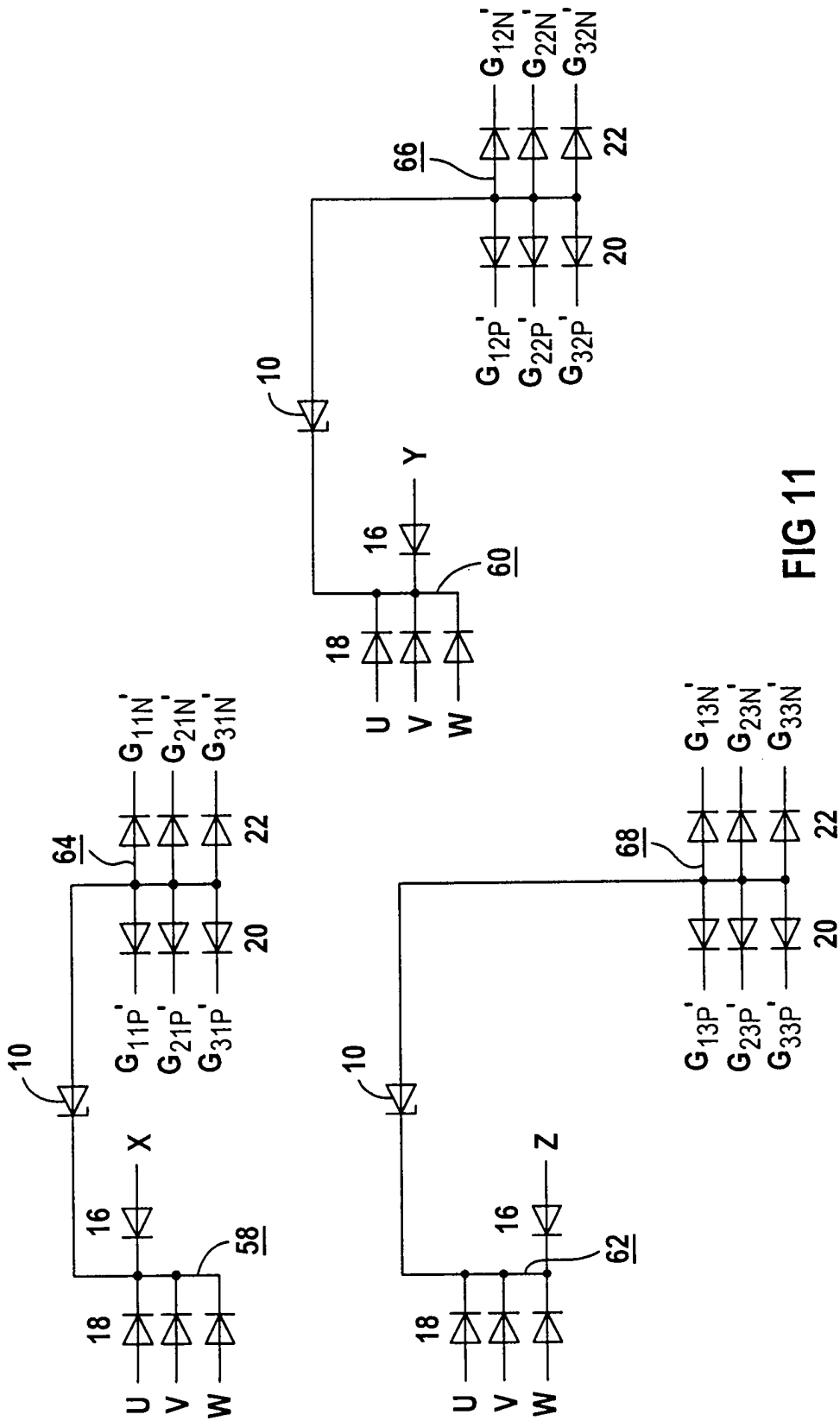


FIG 11

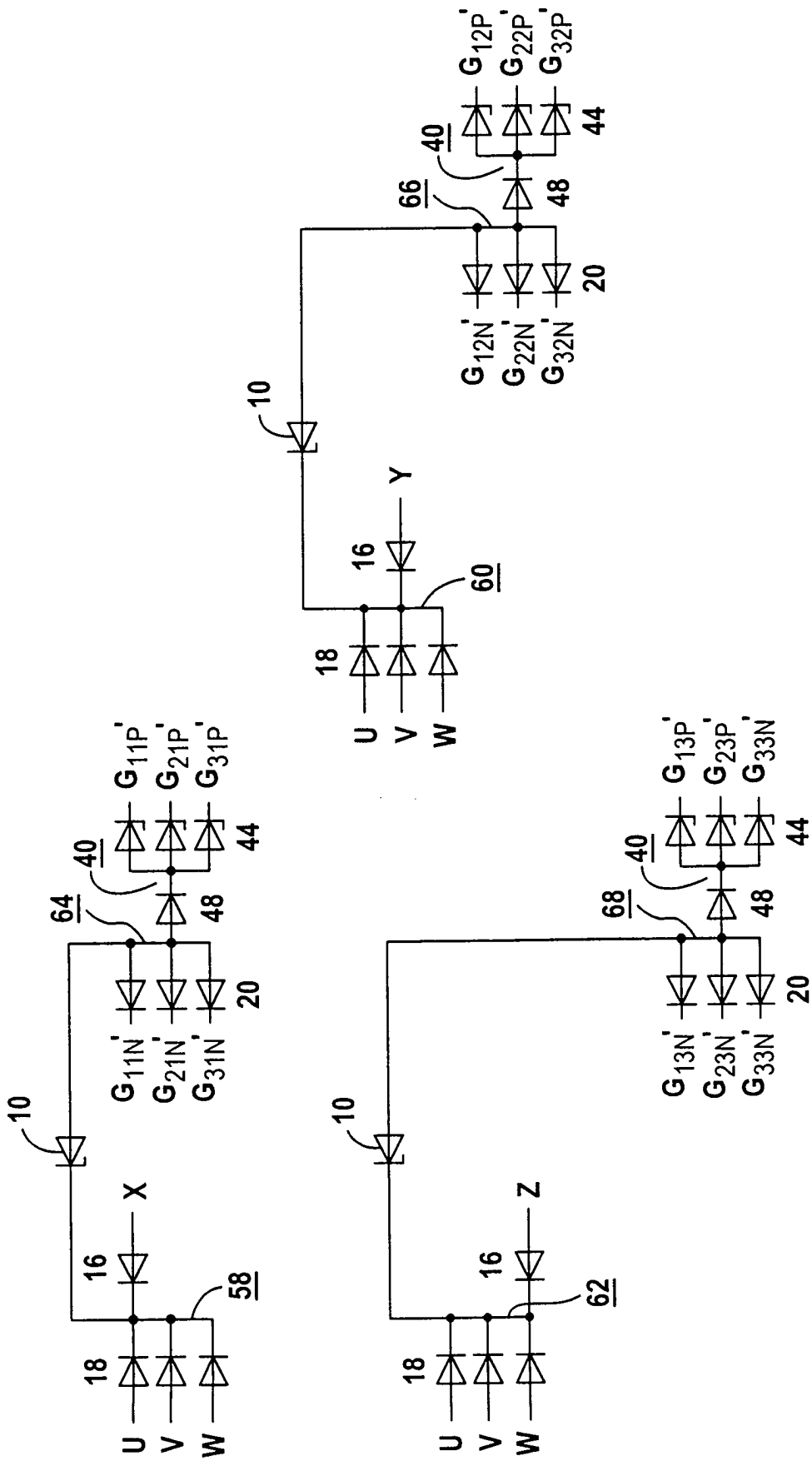


FIG 12

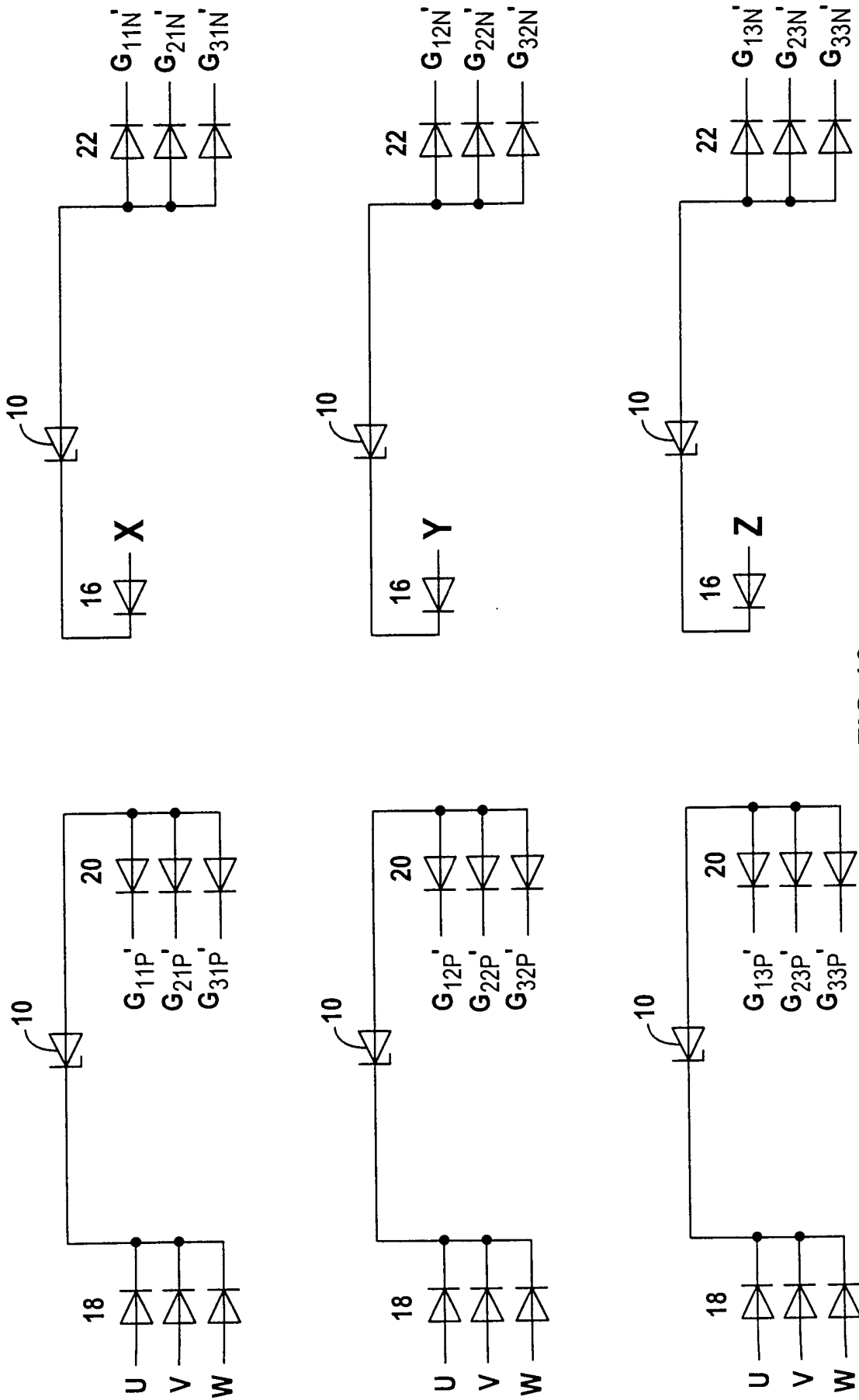


FIG 13



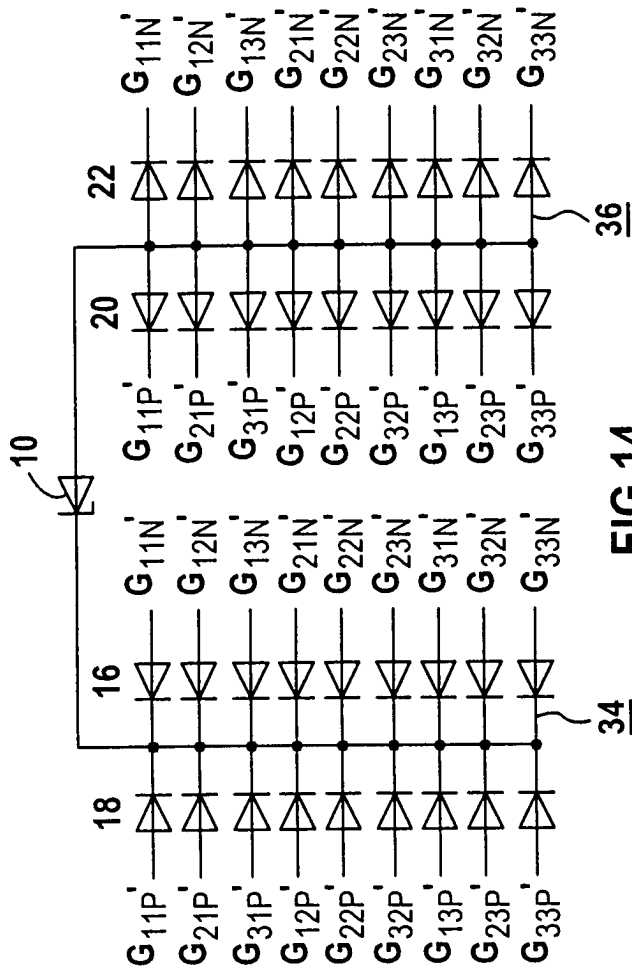


FIG 14

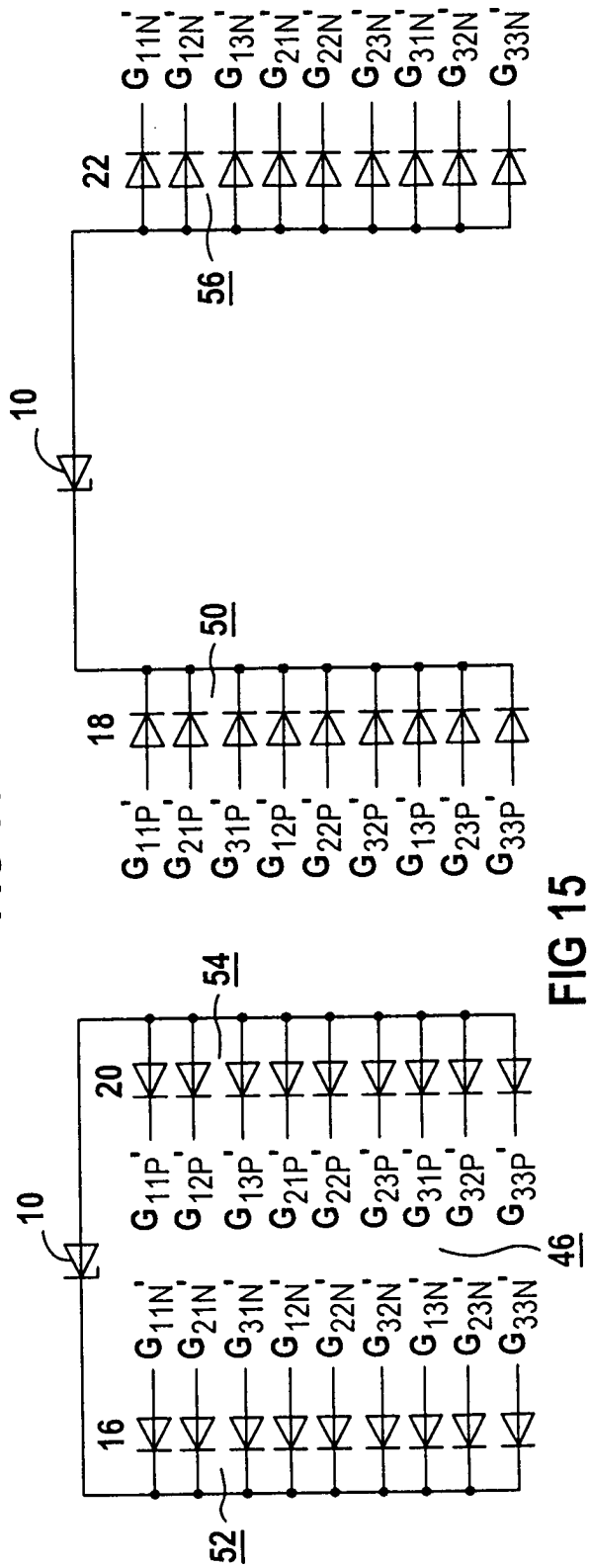


FIG 15

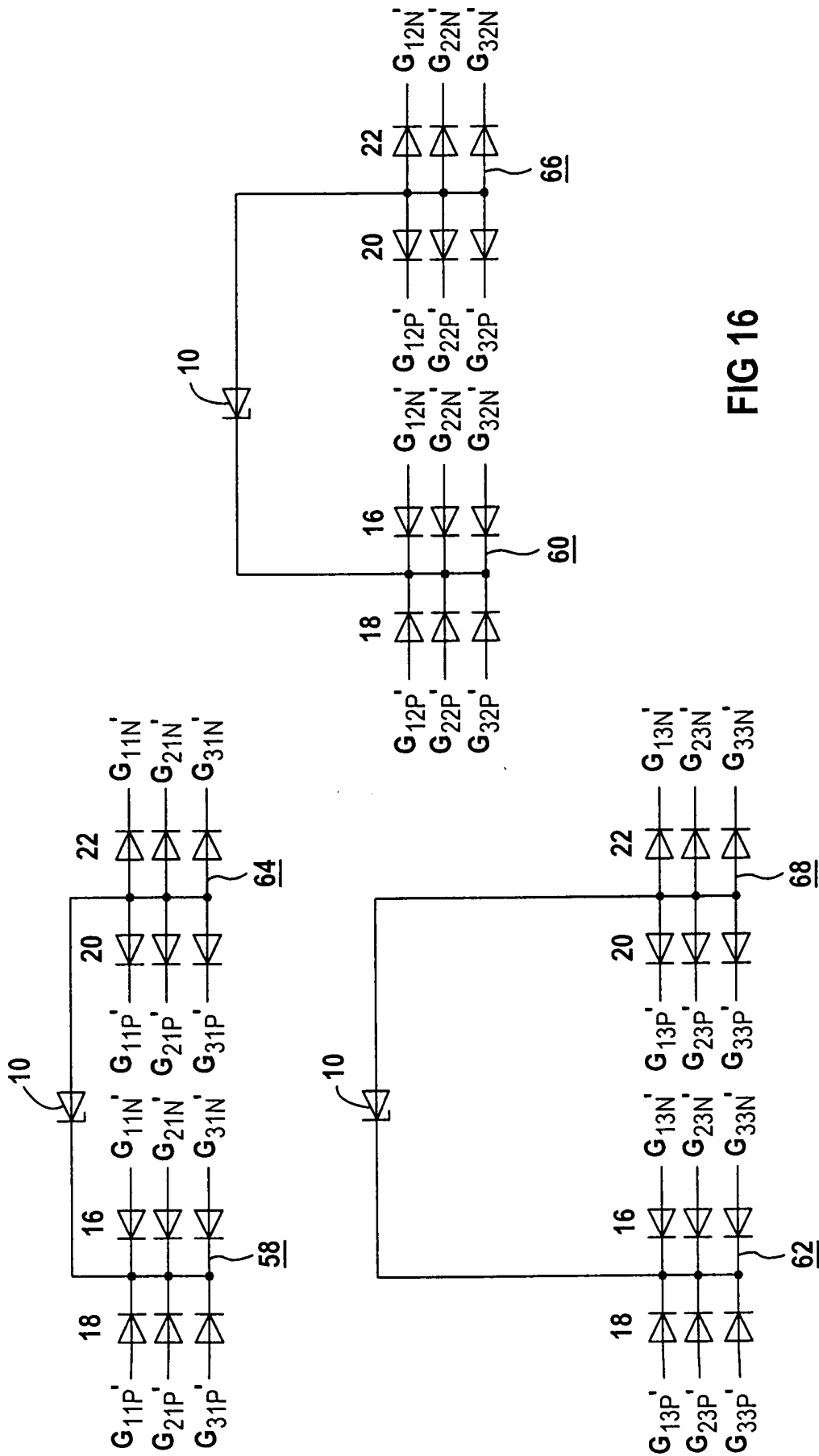


FIG 16