

SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 699 884 B1

(51) Int. Cl.: H02M 1/08 (2006.01)

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-lichtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 01745/08

(22) Anmeldedatum: 07.11.2008

(43) Anmeldung veröffentlicht: 14.05.2010

(24) Patent erteilt: 13.04.2012

(45) Patentschrift veröffentlicht: 13.04.2012

(73) Inhaber:
ETH Zürich, ETH transfer HG E 47-49 Rämistrasse 101
8092 Zürich (CH)

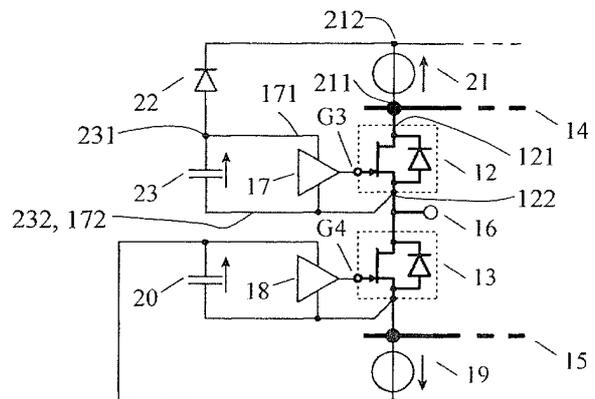
(72) Erfinder:
Johann W. Kolar, 8044 Zürich (CH)
Stefan Waffler, 8051 Zürich (CH)

(74) Vertreter:
Frei Patentanwaltsbüro AG, Postfach 1771
8032 Zürich (CH)

(54) Ansteuerschaltung für leistungselektronische Schalter.

(57) Eine Ansteuerschaltung ist für mindestens einen leistungselektronischen Schalter (12) einer Umrichterschaltung vorgesehen, welcher Schalter (12) einen ersten Anschluss (121), einen zweiten Anschluss (122) und einen Steueranschluss (G3) aufweist, und vom Typ «normally on» (selbstleitend) ist, und im Betrieb der Schaltung der zweite Anschluss (122) auf einem wechselnden Potential liegt.

Die Ansteuerschaltung weist eine Hilfsspannungsquelle (21), eine Diode (22) und einen Kondensator (23) zur Speisung der Treiberschaltung (17) auf, wobei ein erster Anschluss (231) des Kondensators (23) an einem ersten Speiseeingang (171) der Treiberschaltung (17) und ein zweiter Anschluss (232) des Kondensators (23) an einem zweiten Speiseeingang (172) der Treiberschaltung (17) sowie am zweiten Anschluss (122) des Schalters (12) angeschlossen ist, und der erste Anschluss (231) des Kondensators (23) über eine Serieschaltung der Diode (22) und der Hilfsspannungsquelle (21) am ersten Anschluss (121) des Schalters (12) angeschlossen ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der Ansteuerung von leistungselektronischen Schaltern in Umrichtern. Sie bezieht sich insbesondere auf eine Ansteuerschaltung für mindestens einen leistungselektronischen Schalter gemäss dem Oberbegriff des Patentanspruches 1.

Stand der Technik

[0002] Bootstrap-Spannungsversorgungen werden für Treiberstufen für Leistungshalbleiter in Halbbrückenordnung eingesetzt, wenn auf eine galvanisch getrennte Spannungsversorgung eines an einer positiven Spannungsschiene liegenden Highside-Schalters verzichtet werden soll, was eine Reduktion des Schaltungsaufwands und der Kosten ermöglicht. Stand der Technik ist, wie in Fig. 1 dargestellt, der Einsatz eines Bootstrapkonzepts an einer Halbbrücke mit einem Lastanschluss 5, bestehend aus einem Highside-Schalter 1 und einem Lowside-Schalter 2, in Fig. 1 beispielhaft als MOSFET-Halbleiter gezeichnet, die mit einer positiven Spannungsschiene 3 bzw. einer negativen Spannungsschiene 4 und des Weiteren mit ihren Steuerelektroden G1 bzw. G2 an einer oberen Treiberstufe 6 bzw. einer unteren Treiberstufe 7 verbunden sind. Die Anschlüsse der Versorgungsspannung der unteren Treiberstufe sind verbunden mit einer Hilfsspannungsquelle 8 und einem unteren Stützkondensator 9, die der oberen Treiberstufe mit einem Bootstrapkondensator 10, der wiederum über eine Bootstrappediode 11 mit der Hilfsspannungsquelle 8 verbunden ist.

[0003] Der mit der negativen Spannungsschiene 4 verbundene Lowside-Schalter 2 und der mit der positiven Spannungsschiene 3 verbundene Highside-Schalter 1 werden durch die untere Treiberstufe 7 respektive die obere Treiberstufe 6 angesteuert, deren Versorgungsspannungen jeweils durch die Kondensatoren 9 und 10 gestützt werden. Die untere Treiberstufe 7 für den Lowside-Schalter 2 wird dabei direkt aus der Hilfsspannungsquelle 8 versorgt. Die Versorgungsspannung der oberen Treiberstufe 6 für den Highside-Schalter 1 wird durch Aufladen des Bootstrapkondensators 10 über die Bootstrappediode 11 durch die Hilfsspannungsquelle 8 gewonnen. Beim Einschalten der Hilfsspannungsquelle 8 ist der Bootstrapkondensator 10 zunächst entladen. Wird der Lowside-Schalter 2 infolge der Ansteuerung durch die untere Treiberstufe 7 eingeschaltet, liegt keine Spannung zwischen dem Lastanschluss 5 der Halbbrücke und der negativen Spannungsschiene 4 an; die Bootstrappediode 11 ist dadurch in Vorwärtsrichtung gepolt, bedingt einen Stromfluss von der Hilfsspannungsquelle 8 über die Bootstrappediode 11 in den Bootstrapkondensator 10 und lädt diesen auf. Ist der Lowside-Schalter 2 gesperrt, liegt zwischen Lastanschluss 5 und negativer Spannungsschiene 4 maximal die volle Halbbrückenspannung zwischen den Punkten 3 und 4 an, die resultierende Spannung über der Bootstrappediode 11 ist negativ, wodurch die Diode sperrt und ein Entladen des Bootstrapkondensators 10 verhindert wird. Bei der technischen Anwendung der Schaltung aus Fig. 1, beispielsweise als Baugruppe eines Umrichters für elektrische Maschinen, ist ein periodisches, wechselseitiges Ein- und Ausschalten der Leistungshalbleiter 1 und 2 durch die Treiberstufen 6 und 7 erforderlich, so dass im regulären Betrieb intermittierend ein Nachladen des Bootstrapkondensators 10 erfolgt, und der oberen Treiberstufe 6 bei geeigneter, an die Schaltfrequenz angepasster, Grösse des Bootstrapkondensators 10 eine im Wesentlichen konstante Versorgungsspannung zur Verfügung gestellt wird.

[0004] Das für Fig. 1 beschriebene Schaltungskonzept ist aber lediglich für Normally-Off Leistungshalbleiter 1 und 2 einsetzbar, die an ihren Steueranschlüssen zum Einschalten eine positive Spannung bezüglich einer Bezugs Elektrode erfordern.

Darstellung der Erfindung

[0005] Es ist deshalb Aufgabe der Erfindung, eine Ansteuerschaltung für mindestens einen leistungselektronischen Schalter der eingangs genannter Art zu schaffen, welche für Normally-On Leistungshalbleiter einsetzbar ist.

[0006] Diese Aufgabe löst eine Ansteuerschaltung für mindestens einen leistungselektronischen Schalter mit den Merkmalen der entsprechenden unabhängigen Patentansprüche.

[0007] Die Ansteuerschaltung ist also für mindestens einen leistungselektronischen Schalter vorgesehen, wobei der leistungselektronische Schalter einen ersten Anschluss, einen zweiten Anschluss und einen Steueranschluss aufweist, und ein Strom zwischen dem ersten Anschluss und dem zweiten Anschluss durch eine zwischen dem Steueranschluss und dem zweiten Anschluss angelegte und von einer Treiberschaltung erzeugte Steuerspannung steuerbar ist. Der leistungselektronische Schalter ist vom Typ «normally on» oder «selbstleitend», heisst, dass bei Erhöhung der Steuerspannung der genannte Strom abnimmt. Mit anderen Worten: wenn der Steuerstrom null ist, ist ein Widerstand zwischen dem ersten Anschluss und dem zweiten Anschluss minimal. Dabei ist der leistungselektronische Schalter in einer Umrichterschaltung angeordnet, bei welcher im Betrieb der Schaltung der zweite Anschluss auf einem typischerweise sprungartig wechselnden Potential wie einem Phasenanschluss liegt.

[0008] Die Ansteuerschaltung weist die Treiberschaltung, eine Hilfsspannungsquelle, eine Diode und einen (bootstrap-)Kondensator zur Speisung der Treiberschaltung auf, wobei ein erster Anschluss des Kondensators an einem ersten Speiseeingang der Treiberschaltung und ein zweiter Anschluss des Kondensators an einem zweiten Speiseeingang der Treiberschaltung sowie am zweiten Anschluss des Schalters angeschlossen ist, und der erste Anschluss des Kondensators (und somit auch der erste Speiseeingang der Treiberschaltung) über eine Serieschaltung der Diode und der Hilfsspannungsquelle am ersten Anschluss des Schalters angeschlossen.

[0009] Vorzugsweise ist die Diode am ersten Anschluss des Kondensators (und somit auch am ersten Speiseeingang der Treiberschaltung) angeschlossen, und ist die Hilfsspannungsquelle am ersten Anschluss des Schalters angeschlossen ist.

[0010] Der Schalter ist in einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung Teil einer Brückenschaltung zur wahlweisen Verbindung eines Phasenanschlusses mit einem positiven oder einem negativen Gleichspannungsanschluss. Der zweite Anschluss des Schalters bildet dabei einen Phasenanschluss eines Umrichters.

[0011] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist ferner der erste Anschluss des Schalters und ein positiver Anschluss der Hilfsspannungsquelle am positiven Gleichspannungsanschluss der Brückenschaltung angeschlossen, und ist ein negativer Anschluss der Hilfsspannungsquelle an der Kathode der Diode angeschlossen. Die Hilfsspannungsquelle ist vorzugsweise eine Gleichspannungsquelle.

[0012] In einer bevorzugten Verwendung ist die Ansteuerschaltung zur Speisung von zwei oder mehr leistungselektronischen Schaltern respektive deren Treiberschaltungen ausgebildet, wobei zu jedem der zwei oder mehr Schalter ein eigener Kondensator und eine eigene Diode gemäss mindestens einem der bisherigen Ansprüche angeordnet ist, und diese Dioden gemeinsam von einer einzigen Hilfsspannungsquelle gespeist sind.

[0013] Das erfindungsgemässe Schaltungskonzept dient also vorzugsweise der Erzeugung der Versorgungsspannungen für eine obere Treiberstufe zur Ansteuerung eines Highside-Schalters mit Normally-On-Charakteristik, der entweder genutzt wird als Schalter in einer Halbbrückenordnung, bestehend aus dem an einer positiven Spannungsschiene liegenden Highside-Schalter und einem an einer negativen Spannungsschiene liegenden Lowside-Schalter oder als Schalter in einer Kombination des an einer positiven Spannungsschiene liegenden Highside-Schalters mit einer an einer negativen Spannungsschiene liegenden Freilaufdiode, wobei die zum Abschalten des Highside-Schalters erforderliche negative Steuerspannung jeweils über eine Bootstrap-Schaltung, ausgeführt mit einer Bootstrapdiode und einem Bootstrapkondensator, aus einer auf die positive Spannungsschiene referenzierten oberen Hilfsspannungsquelle gewonnen wird.

[0014] Weitere bevorzugte Ausführungsformen gehen aus den abhängigen Patentansprüchen hervor.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0015] Im Folgenden wird der Erfindungsgegenstand anhand von bevorzugten Ausführungsbeispielen, welche in den beiliegenden Zeichnungen dargestellt sind, näher erläutert. Es zeigen jeweils schematisch:

- Fig. 1 eine Gate-Treiber-Schaltung gemäss dem Stand der Technik;
- Fig. 2 eine Gate-Treiber-Schaltung gemäss der Erfindung, beim Einsatz in einem Brückenweig eines Umrichters;
- Fig. 3 und 4 Stromflüsse in verschiedenen Betriebszuständen der Schaltung;
- Fig. 5 eine Gate-Treiber-Schaltung gemäss der Erfindung, beim Einsatz mit einer Freilaufdiode; und
- Fig. 6 eine Gate-Treiber-Schaltung gemäss der Erfindung, beim Einsatz in Kombination mit mehreren Brückenweigen.

[0016] Die in den Zeichnungen verwendeten Bezugszeichen und deren Bedeutung sind in der Bezugszeichenliste zusammengefasst aufgelistet. Grundsätzlich sind in den Figuren gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen versehen.

Wege zur Ausführung der Erfindung

[0017] Fig. 2 zeigt eine Gate-Treiber-Schaltung gemäss der Erfindung, beim Einsatz in einem Brückenweig eines Umrichters mit Normally-On Schaltern. Die Brückenschaltung weist einen an eine positive Spannungsschiene 14 angebandenen Highside-Schalter 12 mit Normally-On-Charakteristik und einen an eine negative Spannungsschiene 15 angebandenen Lowside-Schalter 13 mit Normally-On-Charakteristik, die in Fig. 2 beispielhaft als JFET-Halbleiter dargestellt sind, in Halbbrückenordnung mit einem Lastanschluss 16, einer oberen Treiberstufe 17 zur Ansteuerung des Highside-Schalters, die mit einer Steuerelektrode G3 des Highside-Schalters verbunden ist, und einer unteren Treiberstufe 18 zur Ansteuerung des Lowside-Schalters, die mit einer Steuerelektrode G4 des Lowside-Schalters verbunden ist, wobei die beiden Versorgungsspannungsanschlüsse der unteren Treiberstufe 18 verbunden sind mit einer unteren Hilfsspannungsquelle 19 und einen unteren Stützkondensator 20, und die beiden Versorgungsspannungsanschlüsse der oberen Treiberstufe verbunden sind mit einem Bootstrapkondensator 23, der durch eine Bootstrapdiode 22 mit einer oberen Hilfsspannungsquelle 21, die auf die positive Spannungsschiene referenziert ist, verschaltet ist.

[0018] Im erfindungsgemässen Schaltungskonzept gemäss Fig. 2, in Fig. 2 am Beispiel von JFET-Halbleitern dargestellt, werden der an der negativen Spannungsschiene 15 angebandene Lowside-Schalter 13 und der an der positiven Spannungsschiene 14 angebandene Highside-Schalter 12 angesteuert durch die obere Treiberstufe 17 und die untere Treiberstufe 18, die an ihren Ausgängen wegen der Normally-On-Charakteristik der Schalter jeweils eine negative Spannung bezüglich den mit den Punkten 16 bzw. 17 verbundenen Bezugselektroden des Highside-Schalters bzw. des Lowside-Schalters liefern müssen. Die beiden Schalter 12, 13 werden durch die beiden Treiberstufen 17, 18 jeweils gegenläufig mit

einer vorgegebenen Schaltfrequenz angesteuert, so dass an den Lastanschluss 16 der Halbbrücke entweder die zwischen der positiven Spannungsschiene 14 und der negativen Spannungsschiene 15 liegende Zwischenkreisspannung oder Nullspannung geschaltet wird. Die Versorgungsspannungen der Treiberstufen 17, 18 werden durch den Bootstrapkondensator 23 bzw. den unteren Stützkondensator 20 gestützt, wobei der untere Stützkondensator 20, respektive die untere Treiberstufe 18, direkt von der unteren Hilfsspannungsquelle 19 gespeist sind. Der Stromfluss vom Bootstrapkondensator 23 über die obere Treiberstufe 17 und von der unteren Hilfsspannungsquelle 19 über die untere Treiberstufe ist in Fig. 3 und Fig. 4 dargestellt durch die gestrichelt gezeichneten Linien. Der untere Stützkondensator 20 bzw. der Bootstrapkondensator 23 dienen als Energiespeicher der Spannungsversorgung für die obere Treiberstufe 17 und die untere Treiberstufe 18, wobei der Bootstrapkondensator 23 durch einen ausgehend von der oberen Hilfsspannungsquelle 21 über die Bootstrapdiode 22 fließenden Strom aufgeladen werden kann.

[0019] Beim Einschalten der oberen Hilfsspannungsquelle 21 ist der Bootstrapkondensator 23 zunächst ungeladen und die obere Treiberstufe 17 liefert wegen der fehlenden Versorgungsspannung keine Ausgangsspannung, so dass der Highside-Schalter 12 wegen der Normally-On-Charakteristik eingeschaltet und der Spannungsabfall über dem Highside-Schalter 12 minimal ist; der Lowside-Schalter 13 sei durch entsprechende Ansteuerung durch die untere Treiberstufe 18 ausgeschaltet. Dadurch liegt die obere Hilfsspannung 21 in Vorwärtsrichtung über der Bootstrapdiode 22 an, wodurch diese leitet und der Bootstrapkondensator 23 durch den in Fig. 3 dargestellten Ladestrom von der oberen Hilfsspannungsquelle 21 aufgeladen wird. Wird dahingegen, wie in Fig. 4 dargestellt, der Highside-Schalter 12 durch die obere Treiberstufe 17 gesperrt, liegt zwischen der positiven Spannungsschiene 14 und dem Lastanschluss 16 maximal die Halbbrückenspannung U_{DC} zwischen den Punkten 14 und 15 an, die resultierende Spannung über der Bootstrapdiode 22 ist negativ, wodurch die Diode sperrt und ein Entladen des Bootstrapkondensators 23 verhindert wird. Bei gegebener minimaler Schaltfrequenz für die Ansteuerung des Highside-Schalters 12 und des Lowside-Schalters 13 und gegebenem maximalem Leistungsbedarf der oberen Treiberstufe 17, kann der Bootstrapkondensator 23 derart dimensioniert werden, dass über dem Bootstrapkondensator eine Gleichspannung zur Versorgung der oberen Treiberstufe mit ausreichend geringem überlagertem Spannungsrippel vorliegt.

[0020] Für die obere Treiberstufe 17 und die untere Treiberstufe 18 besteht keine Einschränkung hinsichtlich der Schaltungstopologie. Mögliche Ausführungsvarianten sind beispielsweise der Einsatz eines integrierten Treiberbausteins oder der Aufbau der Treiberstufen aus diskreten Bauelementen. Das Eingangssignal der oberen Treiberstufe 17 des Highside-Schalters 12 kann dabei entweder über eine Koppeleinrichtung galvanisch getrennt werden oder über eine Pegelwandler-schaltung ohne galvanische Trennung zugeführt werden.

Variante mit Freilaufdiode:

[0021] Das in Fig. 2 dargestellte Schaltungskonzept zur Erzeugung der Versorgungsspannung für die obere Treiberstufe 17 zur Ansteuerung des Highside-Schalters 12 mit Normally-On-Charakteristik mittels der Bootstrapdiode 22 und des Bootstrapkondensators 23 lässt sich ebenfalls anwenden auf die in Fig. 5 dargestellte Schaltungsvariante, in der der Lowside-Schalter 13 durch eine Freilaufdiode 24 ersetzt wird und die untere Treiberstufe 18 sowie die untere Hilfsspannungsquelle 19 und der untere Stützkondensator 20 entfallen.

Variante für mehrere Brückenweige:

[0022] Die Schaltungskonzepte aus Fig. 2 und Fig. 5 lassen sich ebenfalls anwenden auf eine Anordnung bestehend aus mehreren Zweigen, wie in Fig. 6 beispielhaft für drei Halbbrückenweige dargestellt, wie sie beispielsweise in einem Wechselrichter für eine dreiphasige elektrische Maschine zu finden sind, wobei die Zweige jeweils in Parallelschaltung an die positive Spannungsschiene 14 und die negative Spannungsschiene 15 angebunden werden. Hierbei ist es ausreichend, die untere Hilfsspannungsquelle 19 und obere Hilfsspannungsquelle 21 jeweils als einzelne Spannungsquelle auszuführen, alle Treiberstufen der Lowside-Schalter parallel mit der unteren Hilfsspannungsquelle 19 zu verbinden und die Kathoden aller Bootstrapdioden mit dem Minuspol der oberen Hilfsspannungsquelle 21 zu verbinden.

Patentansprüche

1. Ansteuerschaltung für mindestens einen leistungselektronischen Schalter (12), welcher leistungselektronische Schalter (12) einen ersten Anschluss (121), einen zweiten Anschluss (122) und einen Steueranschluss (G3) aufweist, wobei ein Strom zwischen dem ersten Anschluss (121) und dem zweiten Anschluss (122) durch eine zwischen dem Steueranschluss (G3) und dem zweiten Anschluss (122) angelegte Steuerspannung steuerbar ist, und wobei der leistungselektronische Schalter (12) selbstleitend ist, dass also bei Erhöhung der Steuerspannung der genannte Strom abnimmt, dadurch gekennzeichnet, dass die Ansteuerschaltung eine Treiberschaltung (17) zum Erzeugen der Steuerspannung, eine Hilfsspannungsquelle (21), eine Diode (22) und einen Kondensator (23) zur Speisung der Treiberschaltung (17) aufweist, wobei ein erster Anschluss (231) des Kondensators (23) an einem ersten Speiseeingang (171) der Treiberschaltung (17) und ein zweiter Anschluss (232) des Kondensators (23) an einem zweiten Speiseeingang (172) der Treiberschaltung (17) sowie am zweiten Anschluss (122) des Schalters (12) angeschlossen ist, und der erste Anschluss (231) des Kondensators (23) über eine Serieschaltung der Diode (22) und der Hilfsspannungsquelle (21) am ersten Anschluss (121) des Schalters (12) angeschlossen ist.

CH 699 884 B1

2. Ansteuerschaltung gemäss Anspruch 1, wobei die Diode (22) am ersten Anschluss (231) des Kondensators (23) angeschlossen ist, und die Hilfsspannungsquelle (21) am ersten Anschluss (121) des Schalters (12) angeschlossen ist.
3. Ansteuerschaltung gemäss Anspruch 1 oder 2, wobei der Schalter (12) Teil einer Brückenschaltung (12, 13) zur wahlweisen Verbindung eines Phasenanschlusses (16) mit einem positiven oder einem negativen Gleichspannungsanschluss (14, 15) ist, und der zweite Anschluss (122) des Schalters einen Phasenanschluss (16) eines Umrichters bildet.
4. Ansteuerschaltung gemäss Anspruch 3, wobei der erste Anschluss (121) des Schalters und ein positiver Anschluss (211) der Hilfsspannungsquelle (21) am positiven Gleichspannungsanschluss (14) der Brückenschaltung angeschlossen ist, und ein negativer Anschluss (212) der Hilfsspannungsquelle (21) an der Kathode der Diode (22) angeschlossen ist.
5. Ansteuerschaltung gemäss einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Hilfsspannungsquelle (21) eine Gleichspannungsquelle ist.
6. Ansteuerschaltung gemäss einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Ansteuerschaltung zur Speisung von zwei oder mehr leistungselektronischen Schaltern (12, 12a, 12b) respektive deren Treiberschaltungen ausgebildet ist, wobei zu jedem der zwei oder mehr Schalter (12, 12a, 12b) ein eigener Kondensator und eine eigene Diode zur Speisung der Treiberschaltung (17) angeordnet ist, und diese Dioden gemeinsam von einer einzigen Hilfsspannungsquelle (21) gespeist sind.
7. Verwendung der Ansteuerschaltung gemäss einem der bisherigen Ansprüche, wobei der leistungselektronische Schalter (12) in einer Umrichterschaltung angeordnet ist, bei welcher im Betrieb der Schaltung der zweite Anschluss (122) auf einem wechselnden Potential liegt.

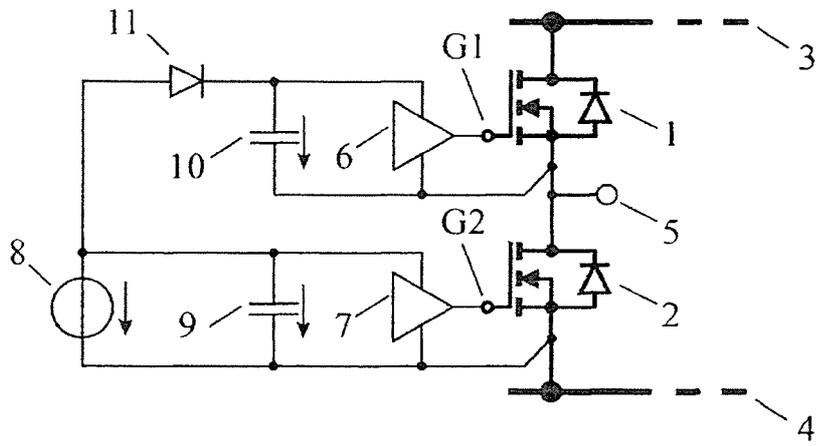


Fig. 1

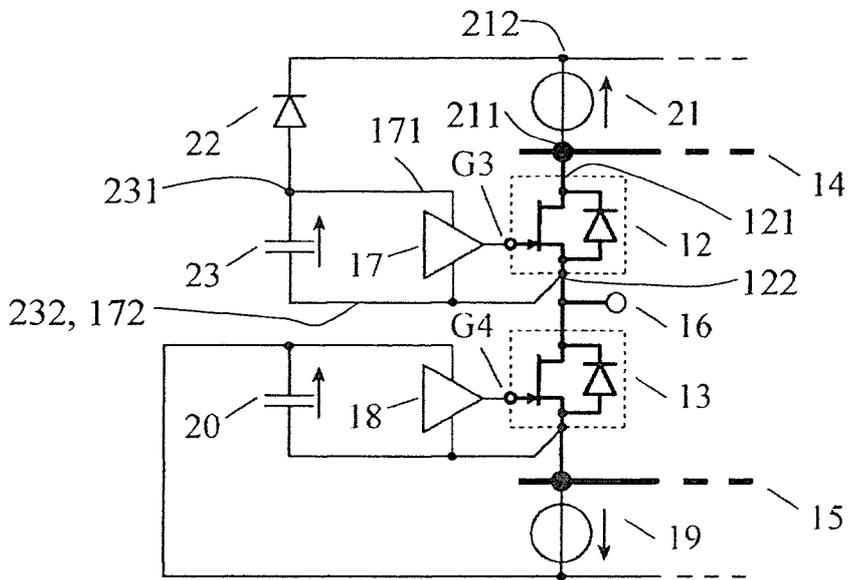


Fig. 2

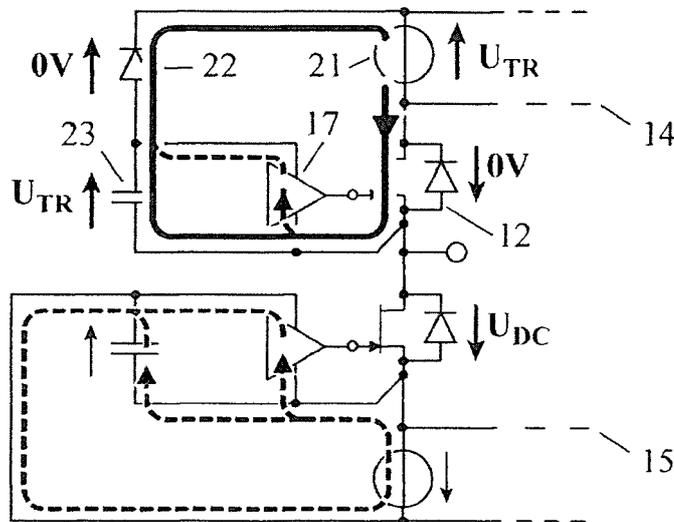


Fig. 3

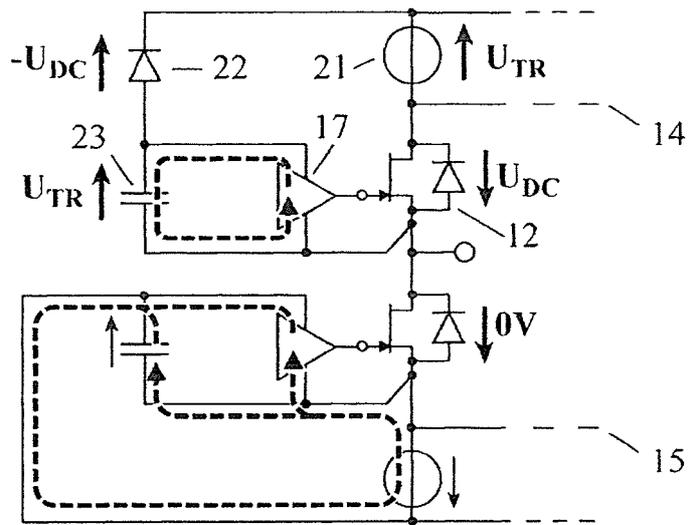


Fig. 4

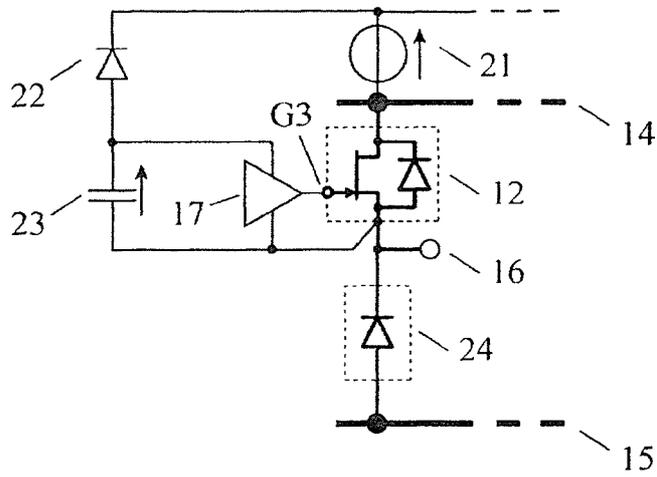


Fig. 5

Fig. 6

