

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
13. Februar 2003 (13.02.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 03/012996 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **H03K 17/10**

GMBH & CO KG [DE/DE]; Paul-Gossen-Str. 100, 91052 Erlangen (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE02/00307

(72) Erfinder; und

(22) Internationales Anmeldedatum:
29. Januar 2002 (29.01.2002)

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **MITLERNER, Heinz** [DE/DE]; Danziger Str. 1A, 91080 Uttenreuth (DE).
FRIEDRICHS, Peter [DE/DE]; Trienter Str. 2B, 90475 Nürnberg (DE).

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(74) **Anwalt: BERG, Peter**; Siemens AG / Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).

(30) Angaben zur Priorität:
101 35 835.0 23. Juli 2001 (23.07.2001) DE

(81) Bestimmungsstaaten (national): JP, US.

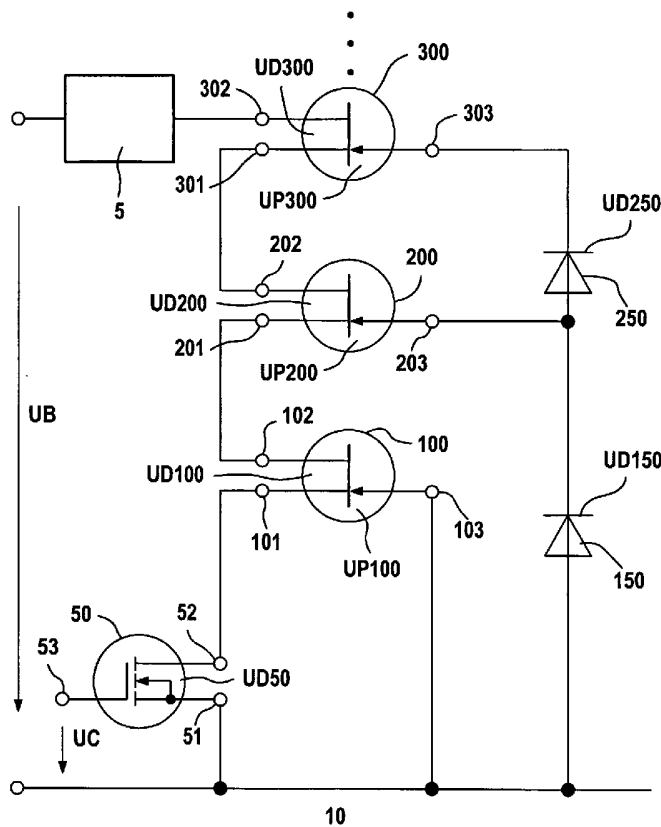
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **SICED ELECTRONICS DEVELOPMENT**

(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: SWITCHING DEVICE FOR A SWITCHING OPERATION AT A HIGH WORKING VOLTAGE

(54) Bezeichnung: SCHALTEINRICHTUNG ZUM SCHALTEN BEI EINER HOHEN BETRIEBSSPANNUNG



(57) **Abstract:** The invention relates to a switching device for a switching operation at a high working voltage. Said device comprises an LV switching element (50) and a first HV switching element (100), which are interconnected in a cascode circuit. At least one additional second HV switching element (200), which is connected in series to the first HV switching element (100), is provided. A first protective element (150) is connected between the HV grid terminals (103) and (203) of the first and second HV switching elements (100) and (200).

(57) **Zusammenfassung:** Die Schalteinrichtung zum Schalten bei einer hohen Betriebs-spannung umfasst ein NV-Schaltelement (50) und ein erstes HV-Schaltelement (100), die in Kaskoden-Schaltung zusammengeschal-tet sind. Weiterhin ist mindestens noch ein in Reihe zum ersten HV-Schaltelement (100) geschaltetes zweites HV-Schaltelement (200) vorgesehen. Zwischen die HV-Gitteranschlüsse (103) bzw. (203) des ersten und zweiten HV-Schaltelements (100) bzw. (200) ist ein erstes Schutzelement (150) geschal-tet.

WO 03/012996 A1

**Erklärungen gemäß Regel 4.17:**

- *hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii) für die folgenden Bestimmungsstaaten JP, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR)*
- *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv) nur für US*

Veröffentlicht:

- *mit internationalem Recherchenbericht*

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Beschreibung

Schalteinrichtung zum Schalten bei einer hohen Betriebsspannung

5

Die Erfindung betrifft eine Schalteinrichtung zum Schalten bei einer hohen Betriebsspannung und umfasst mindestens ein Niedervolt (NV)-Schaltelement mit einem NV-Kathodenanschluss, einem NV-Anodenanschluss und einem NV-Gitteranschluss, ein
10 erstes Hochvolt (HV)-Schaltelement mit einem ersten HV-Kathodenanschluss, einem ersten HV-Anodenanschluss und einem ersten HV-Gitteranschluss, wobei der NV-Anodenanschluss mit dem ersten HV-Kathodenanschluss und der NV-Kathodenanschluss mit dem ersten HV-Gitteranschluss elektrisch kurzgeschlossen
15 ist.

So eine Schalteinrichtung ist aus der *US 6,157,049* sowie aus der *EP 0 063 749 B1* bekannt. Die jeweils offenbarte elektronische Schalteinrichtung basiert auf der genannten speziellen
20 Zusammenschaltung des NV- und des HV-Schaltelements. Sie wird auch als Kaskoden-Schaltung bezeichnet. Die Schalteinrichtung dient zum Schalten eines hohen elektrischen Stroms und ist auch in der Lage, eine hohe Betriebsspannung sicher zu sperren. Das NV-Schaltelement, ein selbstsperrender (= normally
25 off) MOSFET, besteht aus Silicium (Si) und sorgt dafür, dass die Zusammenschaltung mit dem als selbstleitender (= normally on) JFET ausgebildeten HV-Schaltelement eine selbstsperrende Einheit ergibt. Das HV-Schaltelement besteht aus einem Halbleitermaterial mit einer Durchbruchfeldstärke von mehr als
30 10^6 V/cm. Das HV-Schaltelement nimmt dann im Sperrfall den wesentlichen Teil der an der Kaskoden-Schaltung anstehenden zu sperrenden Spannung auf. Besonders eignet sich das Halbleitermaterial Siliciumcarbid (SiC) als Ausgangsmaterial für das HV-Schaltelement.

35

In der Umrichtertechnik, die beispielsweise auch in einem drehzahlveränderbaren Antrieb zum Einsatz kommt, wird eine

Schalteinrichtung benötigt, die bei einer hohen Leistung, d.h. im Allgemeinen auch bei einer hohen Betriebsspannung, einen hohen Wirkungsgrad möglichst nahe 100 % erreicht. Wenn die Schalteinrichtung möglichst geringe statische und dynamische Verluste aufweist, wird eine nahezu optimale Energieausnutzung und damit einhergehend eine deutliche Reduzierung des erforderlichen Kühlaufwandes erreicht.

Üblicherweise kommt in der Umrichtertechnik derzeit als HV-Schaltelement im Spannungsbereich bis 6,5 kV ein Silicium-IGBT (Insolated Gate Bipolar Transistor) oder ein Silicium-GTO (Gate Turn Off)-Thyristor und in einem Spannungsbereich bis etwa 10 kV ein Silicium-Thyristor zum Einsatz. Bei diesen Schaltelementen handelt es sich jedoch um bipolare Halbleiterbauelemente, die strukturbedingt beim Schalten aufgrund eines unvermeidlichen Speicherladungseffekts sowohl eine gewisse Verzögerungszeit als auch nennenswerte dynamische Schaltverluste aufweisen.

Dieses Problem umgeht eine nur mit unipolaren Schaltelementen, also beispielsweise mit Feldeffekttransistoren, aufgebaute Kaskoden-Schaltung. Neben ohnehin niedrigem statischen Verlust zeichnet sich ein unipolares Schaltelement aufgrund der fehlenden Speicherladungseffekte auch durch eine geringe Schaltzeit und durch geringe dynamische Verluste aus. Bei einem HV-Schaltelement, das als ein in SiC realisierter Sperrschicht-Feldeffekttransistor ausgebildet ist, lässt sich die maximal zulässige Sperrspannung auf zweierlei Art und Weise erreichen. Zum wird die Driftzone verlängert. Dies ist bei einem vertikalen Sperrschicht-Feldeffekttransistor gleichbedeutend mit dem Aufwachsen einer dickeren Epitaxieschicht auf dem verwendeten Substrat. Zum anderen wird auch die Dotierstoffkonzentration innerhalb der Epitaxieschicht reduziert. Beide im Hinblick auf die maximal zulässige Sperrspannung günstige Maßnahmen bewirken jedoch eine Erhöhung des ohmschen Driftwiderstandes. Dies führt im Durchlasszustand (geschlossenes Schaltelement) zu einer höheren statischen Verlustleis-

tung, die thermisch abgeführt wird. Deshalb ist eine Kaskoden-Schaltung, die unter Verwendung eines unipolaren HV-Schaltelements aus SiC realisiert ist, derzeit auf eine maximal zulässige Sperrspannung in der Größenordnung von typischerweise 3,5 kV beschränkt. Grundsätzlich ist jedoch auch
5 eine noch höhere Sperrspannung, beispielsweise von 5 kV möglich.

Wird eine Schalteinrichtung für eine höhere Sperrspannung benötigt, ist dies derzeit nur durch mehrere in Serie geschaltete Kaskoden-Glieder, die in der beschriebenen Weise mit unipolaren Schaltelementen aufgebaut sind, oder durch eine Reihenschaltung mehrerer unipolarer Schaltelemente oder durch den Einsatz der beschriebenen bipolaren Silicium-Schaltelemente möglich. Ein bipolares Schaltelement führt wie bereits
10 beschrieben zu einer höheren Schaltzeit und zu höheren dynamischen Verlusten.
15

Bei der Reihenschaltung mehrerer Kaskoden-Schaltungen wird für das NV-Schaltelement jeder Kaskoden-Schaltung eine eigene Ansteuerung benötigt. Erschwerend kommt hinzu, dass diese aktiven Ansteuerungen auch auf unterschiedlichem elektrischen Potential liegen. Dadurch ergibt sich ein nicht unerheblicher schaltungstechnischer Aufwand, der auch zu höheren Kosten
20 führt.
25

Weiterhin ist aus der *DE 199 26 109 A1* eine Schalteinrichtung für eine höhere Sperrspannung auf Basis einer modifizierten Kaskoden-Schaltung bekannt. Die Kaskoden-Schaltung wird hierbei dadurch verändert, dass in die ursprünglich zwischen dem NV-Kathodenanschluss und dem ersten HV-Gitteranschluss vorgesehene Kurzschlussverbindung ein zusätzliches Schaltelement in Form eines Hilfstransistors eingefügt wird. Dadurch soll das NV-Schaltelement eine höhere Sperrspannung aufnehmen, ehe
30 auch das HV-Schaltelement in seinem sperrenden Zustand umgeschaltet wird, so dass eine insgesamt erhöhte Sperrspannung durch die modifizierte Kaskoden-Schaltung aufgenommen werden
35

kann. Eine Weiterbildung dieser modifizierten Kaskoden-Schaltung besteht darin, weitere HV-Schaltelemente in Reihe zu dem ersten HV-Schaltelement der modifizierten Kaskodenschaltung zu schalten. Zwischen den Steueranschlüssen dieser
5 weiteren Schaltelelemente ist jeweils ein weiterer Hilfstransistor vorgesehen. Zusätzlich können zur Absicherung, insbesondere zur Begrenzung der Potentiale an den Steueranschlüssen, Schutzelemente in Form von Zenerdioden vorgesehen sein. Auch diese Schalteinrichtung ist gerade aufgrund der in
10 der DE 199 26 109 A1 als erfindungswesentlich gekennzeichneten Hilfstransistoren mit einem nicht unerheblichen Schaltungsaufwand verbunden.

Es ist nun Aufgabe der Erfindung, eine Schalteinrichtung der
15 eingangs bezeichneten Art anzugeben, die eine hohe Sperrspannung aufweist und gleichzeitig mit einem geringen schaltungstechnischen Aufwand realisiert werden kann.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 1.
20

Die eingangs bezeichnete Schalteinrichtung ist gekennzeichnet durch mindestens noch ein zweites HV-Schaltelement mit einem zweiten HV-Kathodenanschluss, einem zweiten HV-Anoden-
25 anschluss und einem zweiten HV-Gitteranschluss, wobei das zweite HV-Schaltelement in Reihe zum ersten HV-Schaltelement geschaltet ist, und zwischen den ersten und den zweiten HV-Gitteranschluss ein erstes Schutzelement geschaltet ist.

30 Die Erfindung beruht auf der Erkenntnis, dass die Sperrspannungsfestigkeit einer Kaskoden-Schaltung aus einem NV-Schaltelement und einem ersten HV-Schaltelement auf einfache Weise und auch skalierbar gesteigert werden kann, indem ein weiteres HV-Schaltelement oder auch mehrere weitere HV-Schaltelemente in Reihe zu der Kaskoden-Schaltung, d.h. insbesondere
35 in Reihe zu dem ersten HV-Schaltelement, vorgesehen ist bzw. sind. Im Falle nur eines weiteren HV-Schaltelements führt das

zwischen die Gitteranschlüsse der beiden HV-Schaltelemente geschaltete erste Schutzelement dazu, dass das ansonsten bei einer Reihenschaltung eines weiteren Kaskoden-Glieds zur Beschaltung des weiteren HV-Schaltelements erforderliche weitere NV-Schaltelement ebenso wenig benötigt wird wie eine gesonderte Ansteuerung für dieses weitere NV-Schaltelement. Vielmehr bewirkt die Beschaltung mit dem Schutzelement einen automatischen Mitnahmeeffekt: auch das weitere HV-Schaltelement geht nämlich in den Sperrzustand über, sobald das erste HV-Schaltelement über das extern angesteuerte NV-Schaltelement in seinen sperrenden Zustand versetzt wird. Das Schutzelement ist dabei insbesondere so zwischen die beiden HV-Gitteranschlüsse geschaltet, dass es in Richtung vom ersten zum zweiten HV-Gitteranschluss ein Durchlassverhalten und in umgekehrter Richtung ein Sperrverhalten aufweist.

Durch die grundsätzlich mögliche Serienschaltung beliebiger weiterer HV-Schaltelemente kann damit über die Anzahl der in Serie geschalteten HV-Schaltelemente eine Schalteinrichtung realisiert werden, die sich zum Schalten bei einer hohen Betriebsspannung eignet und die insbesondere auch eine hohe Sperrspannung aufweist. Unter einer hohen Spannung wird in diesem Fall insbesondere eine Spannung von mehr als 1000 V, vorzugsweise von mehr als 3,5 kV verstanden. Weiterhin ist auch der erforderliche Schaltungsaufwand gegenüber einer Serienschaltung einzelner Kaskoden-Glieder inklusive deren Ansteuerschaltungen deutlich reduziert, da zum einen keine weiteren NV-Schaltelemente und auch keine weiteren externen Ansteuerungen benötigt werden. Damit reduziert sich auch der Platzbedarf für die Schalteinrichtung.

Besondere Ausgestaltungen der Schalteinrichtung ergeben sich aus den von Anspruch 1 abhängigen Ansprüchen.

Günstig ist eine Ausführungsform, bei der neben einem zweiten HV-Schaltelement noch ein drittes HV-Schaltelement in Serie zu den ersten beiden HV-Schaltelementen geschaltet ist. Da-

durch lässt sich die insgesamt erzielbare maximal zulässige Sperrspannung weiter erhöhen. Das dritte HV-Schaltelement hat einen dritten HV-Kathodenanschluss, einen dritten HV-Anodenanschluss und einen dritten HV-Gitteranschluss. Insbesondere vorteilhaft ist es, wenn im Zusammenhang mit der weiteren Beschaltung mit dem dritten HV-Schaltelement auch ein zusätzliches, d.h. ein zweites Schutzelement vorgesehen wird. Dieses zweite Schutzelement ist dann zwischen den dritten HV-Gitteranschluss und einen der beiden anderen HV-Gitteranschlüsse geschaltet. Hier ist sowohl die Schaltungsvariante mit einem Anschluss an den ersten HV-Gitteranschluss als auch die mit einem Anschluss an den zweiten HV-Gitteranschluss möglich. Durch das zweite Schutzelement wird der vorteilhafte Mitnahmeeffekt ebenfalls auf das dritte HV-Schaltelement ausgedehnt, so dass auch das dritte HV-Schaltelement in seinen Sperrzustand überwechselt, sobald das zweite Schaltelement die im Zusammenhang mit dieser Ausführungsform der Schalteinrichtung vorgegebene maximale Sperrspannung erreicht hat. Weitere HV-Schaltelemente und Schutzelemente können in analoger Weise der Schalteinrichtung hinzugefügt werden, um eine höhere maximal zulässige Sperrspannung zu erreichen.

Bei einer günstigen Ausführungsform weist das Schutzelement in Sperrrichtung ab einer bestimmten, am Schutzelement anliegenden Spannung ein Durchbruchverhalten auf. Ab dieser sogenannten Schutzelement-Durchbruchspannung wird der Strom nicht mehr gesperrt, sondern es kommt auch in Sperrrichtung zu einem Stromfluss über das Schutzelement. Dieses Durchbruchverhalten ist insbesondere deshalb vorteilhaft, da gerade der ab dieser Schutzelement-Durchbruchspannung fließende Sperrstrom das zweite oder auch das dritte HV-Schaltelement dazu veranlasst, vom leitenden in den sperrenden Zustand umzuschalten. Eine besonders einfache Ausführungsform des Schutzelements ergibt sich in Form einer Diode. Möglich ist hierbei der Einsatz einer einfachen pn-Diode aus Silicium. Insbesondere eine Avalanche-Diode aus Silicium weist das beschriebene vorteilhafte Durchbruchverhalten auf. Derartige Avalanche-Dioden

sind für verschiedene Schutzelement-Durchbruchspannungen erhältlich.

5 Bevorzugt ist es eine weitere Variante, bei der zwischen den zweiten HV-Kathodenanschluss und den zweiten HV-Gitteranschluss ein Überspannungsschutzelement geschaltet ist. Dadurch erreicht man eine Überspannungssicherheit am zweiten HV-Schaltelement. Analog kann natürlich auch ein entsprechendes Überspannungsschutzelement an jedem außerdem vorhandenen
10 weiteren HV-Schaltelement vorgesehen sein. Eine besonders günstige Realisierungsform für das Überspannungsschutzelement ist eine Z-Diode.

Vorzugsweise ist zumindest eines der verwendeten HV-Schaltelemente auf Basis des Halbleitermaterials Siliciumcarbid
15 (SiC) realisiert. Aufgrund der hohen Durchbruchfeldstärke von SiC sind mit diesem Halbleitermaterial sehr hohe Sperrspannungen zu erreichen. Als Ausgangsmaterial kann dabei Siliciumcarbid in einer seiner verschiedenen Polytyp-Ausprägungen, insbesondere als 3C-, 4H-, 6H- und 15R-SiC, eingesetzt werden.
20

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltungsform beinhaltet ein als selbstleitender Feldeffekttransistor ausgebildetes HV-Schaltelement. Dadurch lässt sich der über die Schalteinrichtung fließende Strom sehr einfach und schnell steuern. Aufgrund der unipolaren Eigenschaft eines Feldeffekttransistors sind sehr kurze Schaltzeiten und geringe dynamische Verluste möglich. Eine besonders günstige Ausführungsform ist der
25 selbstleitende Sperrschicht-Feldeffekttransistor (JFET). Eine in diesem Zusammenhang geeignete JFET-Struktur ist in der US 6,034,385 oder in der DE 198 33 214 C1 beschrieben. Grundsätzlich sind jedoch auch andere Strukturen für den Sperrschicht-Feldeffekttransistor denkbar.
30

35 Günstig ist eine Variante, bei der die Schutzelement-Durchbruchspannung so gewählt ist, dass die HV-Schaltelemente, zu

deren Schutz die Schutzelemente vorgesehen sind, sicher vor einem Durchbruch geschützt werden. Dazu wird die Schutzelement-Durchbruchspannung jeweils so dimensioniert, dass sie kleiner ist als die Summe aller Schaltelement-Durchbruchspannungen derjenigen Schaltelemente, denen das jeweilige Schutzelement parallel geschaltet ist. Hierbei ist zu beachten, dass das Schutzelement nicht nur den HV-Schaltelementen, sondern auch dem NV-Schaltelement der Kaskoden-Schaltung parallel geschaltet ist. Somit ist auch dessen, wenn auch sehr niedrige Durchbruchspannung bei dieser Dimensionierungsvorschrift für die Schutzelement-Durchbruchspannung zu berücksichtigen.

Ein noch effektiverer Schutz vor Durchbruch wird für die durch das Schutzelement geschützten HV-Schaltelemente in einer weiteren Ausführungsform erreicht, indem bei der Dimensionierungsvorschrift für die Schutzelement-Durchbruchspannung im Falle eines als selbstleitender Feldeffekttransistor ausgebildeten HV-Schaltelements auch die sogenannte Abschnürspannung (pinch off-Spannung) des selbstleitenden Feldeffekttransistors mit berücksichtigt wird. Die Abschnürspannung gibt den Spannungswert einer zwischen dem HV-Kathodenanschluss und dem HV-Gitteranschluss des selbstleitenden Feldeffekttransistors anstehenden Spannung an, ab dem ein Stromfluss im selbstleitenden Feldeffekttransistor zwischen dem HV-Kathoden- und dem HV-Anodenanschluss sicher unterbunden wird. Zu berücksichtigen ist hierbei die Abschnürspannung desjenigen selbstleitenden Feldeffekttransistors, an dessen HV-Gitteranschluss das Schutzelement zwar angeschlossen ist, dessen Driftzone zwischen HV-Kathodenanschluss und HV-Anodenanschluss aber nicht parallel zum Schutzelement geschaltet ist und der damit auch nicht in die Schutzwirkung des Schutzelements fällt.

Die Schutzelement-Durchbruchspannung ist also so zu dimensionieren, dass sie kleiner ist als die um die genannte Abschnürspannung verminderte Summe der Schaltelement-Durch-

bruchspannungen derjenigen Schaltelemente, denen das Schutz-
element parallel geschaltet ist.

5 Bevorzugte Ausführungsbeispiele werden nunmehr anhand der
Zeichnung näher erläutert. Zur Verdeutlichung ist die Zeich-
nung nicht maßstäblich ausgeführt und gewisse Merkmale sind
schematisiert dargestellt. Im Einzelnen zeigen

10 Figur 1 bis Figur 3 Schalteinrichtungen mit Eignung zum Be-
trieb bei einer hohen Spannung.

Einander entsprechende Teile sind in den Figuren 1 bis 3 mit
denselben Bezugszeichen versehen.

15 In Figur 1 ist eine Schalteinrichtung 10 gezeigt, die zum Zu-
und Abschalten einer Last 5 an eine hohe Betriebsspannung UB
bestimmt ist. Die Betriebsspannung UB liegt im gezeigten Aus-
führungsbeispiel bei 3000 V. Als Last kommt z.B. ein in einem
drehzahlveränderbaren Antrieb eingesetzter Umrichterzweig in
20 Frage.

Die Schalteinrichtung 10 beinhaltet ein Niedervolt(NV)-
Schaltelement in Form eines selbstsperrenden MOSFETs 50 sowie
insgesamt drei Hochvolt(HV)-Schaltelemente jeweils in Form
25 eines selbstleitenden Sperrschicht-Feldeffekttransistors
(JFET) 100, 200 und 300 sowie zwei Schutzelemente jeweils in
Form einer in Silicium realisierten Avalanche-Diode 150 und
250.

30 Die drei HV-Schaltelemente 100, 200 und 300 haben jeweils ei-
nen HV-Kathodenanschluss 101, 201, 301, einen HV-Anoden-
anschluss 102, 202, 302 und einen HV-Gitteranschluss 103,
203, 303. Der MOSFET 50 hat einen NV-Kathodenanschluss 51,
einen NV-Anodenanschluss 52 sowie einen NV-Gitteranschluss
35 53, wobei der zuletzt genannte HV-Gitteranschluss 53 zum Be-
trieb an einer Steuerspannung UC bestimmt ist, mittels der

die Schalteinrichtung 10 zwischen leitendem und sperrendem Zustand umgeschaltet werden kann.

Im sperrenden, d.h. ausgeschalteten Zustand nehmen im Wesentlichen die drei JFETs 100, 200 und 300 die Betriebsspannung UB auf. Je nach Ausbildung erfolgt eine Aufteilung der Betriebsspannung UB auf die drei JFETs 100, 200 und 300. Im vorliegenden Fall teilt sich die Betriebsspannung UB im Wesentlichen gleichmäßig auf die drei JFETs 100, 200 und 300 auf. In einer anderen nicht dargestellten Ausführungsform ist jedoch eine von der Gleichverteilung abweichenden Spannungsverteilung möglich.

Der MOSFET 50 und der JFET 100 sind in einer sogenannten Kaskoden-Schaltung zusammengeschaltet. Hierzu ist der NV-Anodenanschluss 52 mit dem HV-Kathodenanschluss 101 sowie der NV-Kathodenanschluss 51 mit dem HV-Gitteranschluss 103 elektrisch kurzgeschlossen. In der US 6,157,049 sowie in der EP 0 063 749 B1 ist eine derartige Kaskoden-Schaltung ebenso beschrieben wie ihre Wirkungsweise.

Im Ausführungsbeispiel von Figur 1 ist der MOSFET 50 in Silicium (Si) und der JFET 100 ebenso wie die beiden anderen JFETs 200 und 300 in Siliciumcarbid (SiC) realisiert. Dadurch wird die in Silicium erreichbare hohe Schaltgeschwindigkeit für die Initiierung der Ein-/Ausschaltung und außerdem die im Siliciumcarbid erzielbare hohe Durchbruchspannung ausgenutzt.

Im Unterschied zu dem JFET 100, der über die Kaskoden-Beschaltung mit dem NV-MOSFET 50 zur Ein- und Ausschaltung beschaltet ist, ist für die beiden anderen HV-Schaltelemente 200 und 300 keine zusätzliche Beschaltung mit einem NV-Schaltelement, das über eine externe Steuerspannung die Ein-/Ausschaltung initiiert, vorgesehen. Dies bedeutet einerseits eine Reduzierung des schaltungstechnischen Aufwands, andererseits muss die rechtzeitige Ein-/Ausschaltung der JFETs 200 und 300 auf andere Weise sichergestellt werden.

Aus diesem Grund sind die Avalanche-Dioden 150 und 250 zwischen die HV-Gitteranschlüsse 103 und 203 bzw. zwischen die HV-Gitteranschlüsse 203 und 303 geschaltet. Die Avalanche-Dioden 150 und 250 schützen den ihnen parallel geschalteten JFET 100 bzw. 200 vor einem Durchbruch. Hierzu versetzt die Avalanche-Diode 150 den JFET 200 und die Avalanche-Diode 250 den JFET 300 so rechtzeitig in den sperrenden Zustand, dass die JFETs 100 bzw. 200 nicht in den Durchbruch getrieben werden.

Dieses Schaltungsverhalten soll im Folgenden näher erläutert werden. Der MOSFET 50 ist ausgelegt für eine Schaltelement-Durchbruchspannung UD50 von beispielsweise mindestens 50 V. Die JFETs 100, 200 und 33 sind dagegen jeweils ausgelegt für eine in Rückwärtsrichtung anliegende Schaltelement-Durchbruchspannung UD100, UD200 bzw. UD300 von beispielsweise mindestens 1000 V. Außerdem haben die drei JFETs 100, 200 und 300 jeweils eine Abschnürspannung UP100, UP200 bzw. UP300 von etwa 50 V. Ist der HV-Kathodenanschluss 101 gegenüber dem HV-Gitteranschluss 103 des JFETs 100 negativ um den Wert der Abschnürspannung UP100, also um 50 V vorgespannt, so kommt es im JFET 100 zu einer vollständigen Abschnürung des Stromflusskanals zwischen dem HV-Kathodenanschluss 101 und dem HV-Anodenanschluss 102. Der JFET 100 sperrt dann. Die Abschnürung und die Sperrung der anderen beiden JFETs 200 und 300 erfolgt in analoger Weise.

Wird der MOSFET 50 durch einen entsprechenden Wert der Steuerspannung UC in den sperrenden Zustand versetzt, geht auch der JFET 100 aufgrund der Wirkungsweise der Kaskoden-Schaltung in seinen sperrenden Zustand über. Dies bedeutet, dass sich am HV-Anodenanschluss 102 ein zunehmendes Potential bis etwa 1000 V aufbaut, das aber immer noch unterhalb der maximal zulässigen Schaltelement-Durchbruchspannung UD100 liegt. Kurz bevor die Spannung am JFET 100 die Durchschlagspannung UD100 überschreitet, schaltet bei entsprechender Dimensionie-

Auch für die Avalanche-Diode 250 ist im Ausführungsbeispiel von Figur 1 eine Schutzelement-Durchbruchspannung UD250 von etwa 950 V vorgesehen.

5 Die angegebenen Spannungswerte der einzelnen Bauelemente von Figur 1 sind nur als Beispiele zu verstehen. So ist eine andere nicht dargestellte Ausführungsform mit einer Betriebsspannung UB von 10 kV sowie Durchbruchspannungen UD100, UD200 und UD300 von jeweils etwa 3,33 kV möglich. Außerdem ist es
10 bei Bedarf ebenfalls problemlos möglich, weitere HV-Schalt-elemente in Form weiterer JFETs sowie weitere Schutzelemente in Form weiterer Avalanche-Dioden in analoger Weise zu ergänzen. Dies kann beispielsweise dann sinnvoll sein, wenn eine höhere Betriebsspannung UB vorliegt oder die JFETs 100, 200
15 und 300 eine niedrigere als die vorstehend angegebenen Schaltelement-Durchbruchspannungen UD100, UD200 bzw. UD300 aufweisen.

In Figur 2 ist eine weitere Schalteinrichtung 20 dargestellt,
20 die im Wesentlichen auf der Grundvariante der Schalteinrichtung 10 von Figur 1 basiert. Der Unterschied zu Schalteinrichtung 10 besteht darin, dass die Schalteinrichtung 20 von Figur 2 zusätzliche Überspannungsschutzelemente in Form zweier Z-Dioden 175 und 275 aufweist. Bei den Z-Dioden 175 und
25 275 handelt es sich um handelsübliche Silicium-Bauelemente, die mit einer in gewissen Grenzen wählbaren Z-Spannung UZ175 bzw. UZ275 erhältlich sind.

Die Z-Dioden 175 und 275 sind zwischen den HV-Kathoden-
30 anschluss 201 und der HV-Gitteranschluss 203 bzw. zwischen den HV-Kathodenanschluss 301 und den HV-Gitteranschluss 302 geschaltet. Sie dienen dem Überspannungsschutz des JFETs 200 bzw. des JFETs 300. Die Z-Spannungen UZ175 und UZ275 haben in etwa den gleichen Wert wie die Abschnürspannung UP200 bzw.
35 UP300 des durch die jeweilige Z-Diode 175 bzw. 275 zu schützenden JFETs 200 bzw. 300. Im vorliegenden Fall ist für die

Z-Spannungen UZ175 und UZ275 also ein Wert in der Größenordnung von etwa 50 V vorgesehen.

Bei einem Wert der Z-Spannung UZ150, der deutlich niedriger als die Abschnürspannung UP200 ist, kann der Fall eintreten, dass der Stromflusskanal im JFET 200 nur unvollständig abgeschnürt wird und der JFET 200 in Folge nur ein vermindertes Sperrverhalten aufweist. Wird dagegen die Z-Spannung UZ175 deutlich größer gewählt als die Abschnürspannung UP200, tritt die eigentlich beabsichtigte Schutzwirkung der Z-Diode 175 nur in eingeschränktem Umfang in Kraft. In diesem Fall bestimmt nämlich eine interne Diode des JFETs 200 zwischen dem HV-Gitteranschluss 203 und dem HV-Kathodenanschluss 201 den wesentlichen Spannungsabfall am JFET 200. Deshalb ist es am günstigsten, wenn der Wert der Z-Spannung UZ175 im Wesentlichen mit dem Wert der Abschnürspannung UP200 übereinstimmt.

In Figur 3 ist eine weitere Schalteinrichtung 30 gezeigt, die eine andere Abwandlung der Grundvariante der Schalteinrichtung 10 von Figur 1 darstellt. Im Unterschied zur Schalteinrichtung 10 ist eine an den HV-Gitteranschluss 303 des JFETs 300 angeschlossene Avalanche-Diode 251 nicht an den HV-Gitteranschluss 203 des JFETs 200, sondern an den HV-Gitteranschluss 103 des JFETs 100 angeschlossen. An der grundsätzlichen Wirkungsweise der Schutzbeschaltung mittels eines Schutzelements in Form einer Avalanche-Diode 150 und 251 ändert dies jedoch nichts. Um ein rechtzeitiges Umschalten des JFETs 300 in den Sperrzustand sicherzustellen, wird eine Schutzelement-Durchbruchspannung UD251 der Avalanche-Diode 251 entsprechend der Vorschrift:

$$UD251 < (UD50 + UD100 + UD200) - UP300 \quad (3)$$

gewählt. Im Ausführungsbeispiel von Figur 3 ist folglich ein Wert von 2000 V für die Schutzelement-Durchbruchspannung UD251 vorgesehen. Im Gegensatz zum Ausführungsbeispiel von Figur 1 ist die Avalanche-Diode 251 nicht nur dem JFET 200,

sondern auch dem JFET 100 und dem MOSFET 50 parallel geschaltet. Deshalb gehen auch die entsprechenden Schaltelement-Druchbruchspannungen UD50 und UD100 dieser Schaltelemente 50 bzw. 100 in Gleichung (3) ein. Trotz dieser geringfügig modifi-
5 fizierten Dimensionierungsvorschrift für die Avalanche-Diode 251 zeigt die Schaltungseinrichtung 30 jedoch im Prinzip das gleiche Betriebsverhalten wie die Schalteinrichtung 20 oder die Schalteinrichtung 10.

10 Durch die in den Figuren 1 bis 3 gezeigte Kaskadierung mehrerer Hochvolt-JFETs mit einer Kaskoden-Schaltung aus einem Niedervolt-MOSFET und einem Hochvolt-JFET kann auf einfache Art und Weise und mit geringem schaltungstechnischen Aufwand eine Schalteinrichtung realisiert werden, die bei einer hohen
15 Spannung betrieben werden kann und die insbesondere auch auf sehr einfache Weise durch Hinzuschaltung weiterer Kaskaden-Elemente (= Hochvolt-JFETs) an eine vorgegebene hohe Betriebsspannung angepasst werden kann. Außerdem weisen die beschriebenen Schalteinrichtungen 10, 20 und 30 aufgrund der
20 Verwendung unipolarer Schaltelemente (MOSFET, JFET) eine sehr geringe Ansprechzeit auf und eignen sich deshalb für den Einsatz bei einer hohen Schaltfrequenz. Der Einsatz der unipolaren Bauelemente bedingt darüber hinaus auch sehr niedrige dynamische Verluste.

Patentansprüche

1. Schalteinrichtung zum Schalten bei einer hohen Betriebs-
spannung, umfassend mindestens
- 5 a) ein NV-Schaltelement (50) mit einem NV-Kathodenanschluss
(51), einem NV-Anodenanschluss (52) und einem NV-Gitter-
anschluss (53),
- b) ein erstes HV-Schaltelement (100) mit einem ersten HV-
Kathodenanschluss (101), einem ersten HV-Anodenanschluss
10 (102) und einem ersten HV-Gitteranschluss (103),
- c) wobei der NV-Anodenanschluss (52) mit dem ersten HV-
Kathodenanschluss (101) und der NV-Kathodenanschluss (51)
mit dem ersten HV-Gitteranschluss (103) elektrisch kurzge-
schlossen ist,
- 15 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s
- d) mindestens noch ein zweites HV-Schaltelement (200) mit ei-
nem zweiten HV-Kathodenanschluss (201), einem zweiten HV-
Anodenanschluss (202) und einem zweiten HV-Gitteranschluss
(203) vorgesehen ist und
- 20 e) in Reihe zum ersten HV-Schaltelement (100) geschaltet ist,
- f) wobei zwischen den ersten und den zweiten HV-Gitteran-
schluss (103) bzw. (203) ein erstes Schutzelement (150)
geschaltet ist.
- 25 2. Schalteinrichtung nach Anspruch 1, bei der ein drittes HV-
Schaltelement (300) mit einem dritten HV-Kathodenanschluss
(301), einem dritten HV-Anodenanschluss (302) und einem drit-
ten HV-Gitteranschluss (303) vorgesehen ist und in Reihe zu
den ersten beiden HV-Schaltelementen (100, 200) geschaltet
30 ist.
3. Schalteinrichtung nach Anspruch 2, bei der ein zweites
Schutzelement (250, 251) zwischen den dritten HV-Gitteran-
schluss (303) und einen der beiden anderen HV-Gitteranschlüs-
35 se (103, 203) geschaltet ist.

4. Schalteinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der das Schutzelement (150, 250) so ausgebildet ist, dass es bei einer in Sperrrichtung an dem Schutzelement (150, 250) anliegenden Spannung bis zu einer Schutzelement-Durchbruchspannung (UD150, UD250) stromsperrendes Verhalten und bei einem Spannungswert über der Schutzelement-Durchbruchspannung (UD150, UD250) stromführendes Verhalten aufweist.
- 5
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der das Schutzelement (150, 250) als Diode, insbesondere als Avalanche-Diode ausgebildet ist.
- 10
6. Schalteinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der mindestens zwischen den zweiten HV-Kathodenanschluss (201) und den zweiten HV-Gitteranschluss (203) ein Überspannungsschutzelement (175) geschaltet ist.
- 15
7. Schalteinrichtung nach Anspruch 6, bei der das Überspannungsschutzelement als Z-Diode (175) ausgebildet ist.
- 20
8. Schalteinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der zumindest eines der HV-Schaltelemente (100, 200, 300) aus dem Halbleitermaterial Siliciumcarbid besteht.
- 25
9. Schalteinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der zumindest eines der HV-Schaltelemente (100, 200, 300) als selbstleitender Feldeffekt-Transistor, insbesondere als selbstleitender Sperrschicht-Feldeffekttransistor, ausgebildet ist.
- 30
10. Schalteinrichtung nach Anspruch 4, bei der die Schaltelemente (50, 100, 200, 300) jeweils eine Schaltelement-Durchbruchspannung (UD50, UD100, UD200, UD300) haben und die Schutzelement-Durchbruchspannung (UD150, UD250) jeweils kleiner ist als die Summe der Schaltelement-Durchbruchspannungen (UD50, UD100, UD200, UD300) derjenigen Schaltelemente (50,
- 35

100, 200, 300), denen das jeweilige Schutzelement (150, 250) parallel geschaltet ist.

11. Schalteinrichtung nach Anspruch 4 und Anspruch 9, bei der
5 die Schaltelemente (50, 100, 200, 300) jeweils eine Schaltelement-Durchbruchspannung (UD50, UD100, UD200, UD300) und die als selbstleitende Feldeffekttransistoren ausgebildeten HV-Schaltelemente (100, 200, 300) jeweils eine Abschnürspannung (UP100, UP200, UP300) haben und die Schutzelement-
10 Durchbruchspannung (UD150, UD250) jeweils kleiner ist als die Differenz zwischen der Summe der Schaltelement-Durchbruchspannungen (UD50, UD100, UD200) derjenigen Schaltelemente (50, 100, 200), denen das jeweilige Schutzelement (150, 250) parallel geschaltet ist, und der Abschnürspannung (UP200,
15 UP300) desjenigen selbstleitenden Feldeffekttransistors (200, 300), an dessen HV-Gitteranschluss (203, 303) das Schutzelement (150, 250) angeschlossen ist und der nicht parallel zum Schutzelement (150, 250) geschaltet ist.

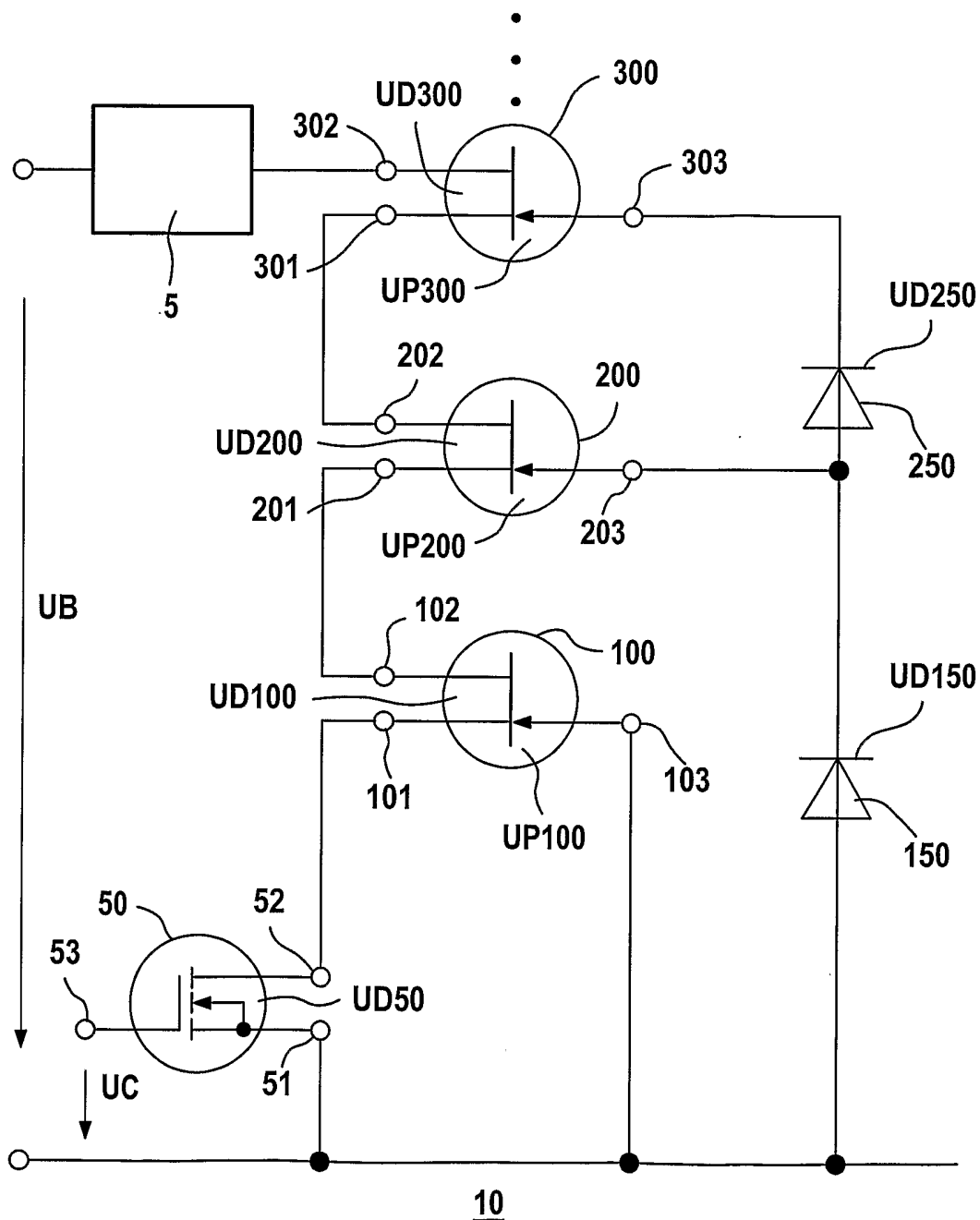


FIG 1

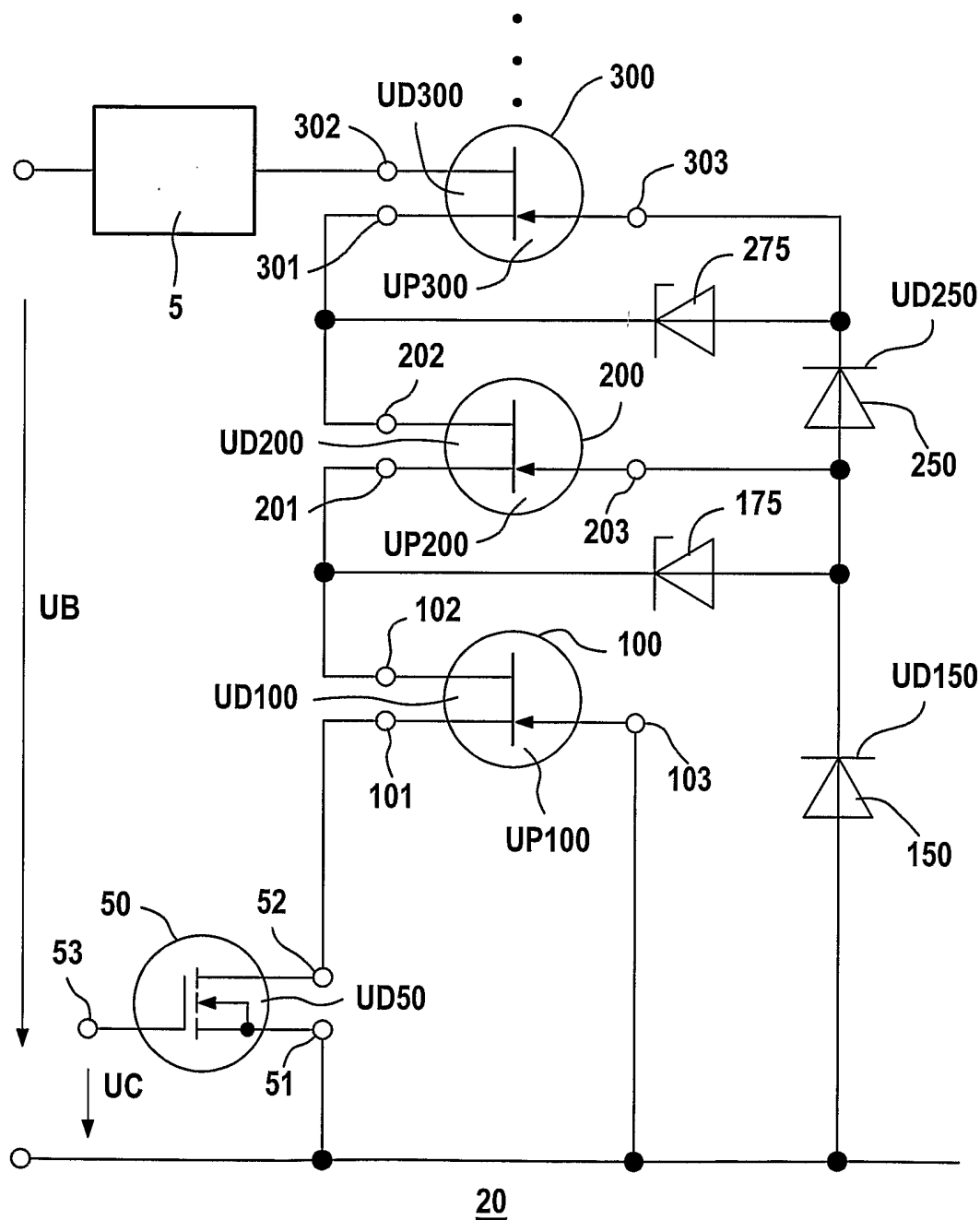


FIG 2

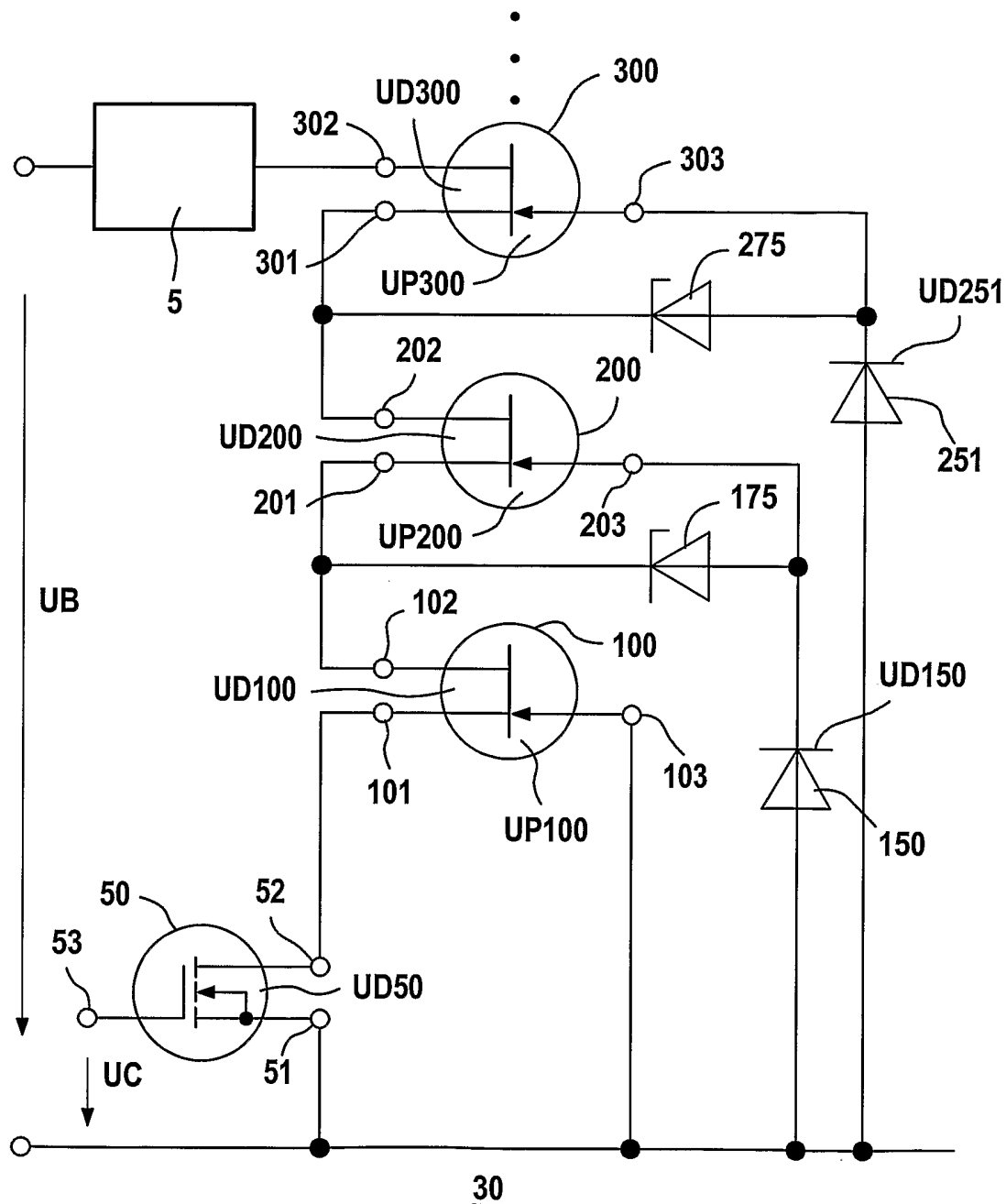


FIG 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/DE 02/00307

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 H03K17/10

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 H03K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 011, no. 148 (E-506), 14 May 1987 (1987-05-14) & JP 61 285770 A (TOSHIBA CORP), 16 December 1986 (1986-12-16) abstract	1,8,9
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 004, no. 175 (E-036), 3 December 1980 (1980-12-03) & JP 55 121682 A (NEC CORP), 18 September 1980 (1980-09-18) abstract	1,8,9
A	US 5 406 096 A (MALHI SATWINDER) 11 April 1995 (1995-04-11) column 3, line 3 - line 21; figure 3	1,8,9

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *&* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

26 August 2002

Date of mailing of the international search report

02/09/2002

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Cantarelli, R

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

information on patent family members

International Application No
PCT/DE 02/00307

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
JP 61285770	A	16-12-1986	NONE	
JP 55121682	A	18-09-1980	NONE	
US 5406096	A	11-04-1995	JP 7106573 A	21-04-1995

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

internationales Aktenzeichen

PCT/DE 02/00307

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 H03K17/10

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchiertes Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 H03K

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal, PAJ, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 011, no. 148 (E-506), 14. Mai 1987 (1987-05-14) & JP 61 285770 A (TOSHIBA CORP), 16. Dezember 1986 (1986-12-16) Zusammenfassung ----	1,8,9
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 004, no. 175 (E-036), 3. Dezember 1980 (1980-12-03) & JP 55 121682 A (NEC CORP), 18. September 1980 (1980-09-18) Zusammenfassung ----	1,8,9
A	US 5 406 096 A (MALHI SATWINDER) 11. April 1995 (1995-04-11) Spalte 3, Zeile 3 - Zeile 21; Abbildung 3 -----	1,8,9

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

° Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

- *A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- *E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- *L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- *O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- *P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

& Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

26. August 2002

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

02/09/2002

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Cantarelli, R

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

ationales Aktenzeichen

PCT/DE 02/00307

Im Recherchenbericht angeführtes Patendokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
JP 61285770	A	16-12-1986	KEINE	
JP 55121682	A	18-09-1980	KEINE	
US 5406096	A	11-04-1995	JP 7106573 A	21-04-1995