



Beschreibung

REDUNDANTE LEISTUNGSELEKTRONIKSCHALTUNG MIT PARALLELEN REIHENSCHALTUNGEN AUS  
LEISTUNGSHALBLEITER UND SICHERUNG

5

Die Erfindung betrifft eine zumindest einen Leistungshalbleiter umfassende Leistungselektronikschaltung, zum Beispiel eine Umrichterschaltung, sowie einen Umrichter und dessen Umrichterschaltung mit einer Leistungselektronikschaltung.

10

Halbleiter, speziell Leistungshalbleiter, Leistungshalbleiterschalter und elektrische Schaltungen mit Leistungshalbleitern oder Leistungshalbleiterschaltern, zum Beispiel sogenannten IGBTs, sind an sich bekannt. Ein Anwendungsfall für Leistungshalbleiterschalter und elektrische Schaltungen mit Leistungshalbleiterschaltern sind sogenannte Umrichter, also Gleichrichter, Wechselrichter und Frequenzumrichter.

15

Durch zu hohe Ströme oder zu hohe Frequenzen oder auch durch Defekte in den Halbleiterschichten sogar bei nicht zu hohen Strömen und nicht zu hohen Frequenzen können Leistungshalbleiter und Leistungshalbleiterschalter - im Folgenden zusammenfassend als Halbleiterbauelemente bezeichnet - zerstört werden. Im Falle einer solchen Zerstörung eines Halbleiterbauelements ist üblicherweise die gesamte Funktion einer Schaltung oder eines Geräts mit einer solchen Schaltung infrage gestellt.

25

Bei einem derartigen Fehlerfall ist nicht vorhersehbar, welchen Zustand das jeweilige defekte Halbleiterbauelement einnimmt. Das Halbleiterbauelement kann aufgrund des Defekts leitend (durchlegiert) oder nicht leitend (offen) sein. Zur Erkennung eines jeweiligen Zustands eines defekten Halbleiterbauelements ist eine sehr schnelle Detektion und Ansteuerung erforderlich, um gegebenenfalls ein aufgrund eines Defekts dauerhaft leitendes Halbleiterbauelement mit Hilfe weiterer Schalter, also zum Beispiel entweder weiterer Halbleiterbauelemente in Form von Leistungshalbleiterschaltern oder

35

mechanischer Schalter, zum Beispiel Schützen, vom jeweiligen System abzutrennen. Eine diesbezügliche Schutzeinrichtung vergrößert allerdings die Anzahl notwendiger Bauteile und erhöht den jeweils benötigten Bauraum, im Falle von Schützen sogar um ein Vielfaches. Wenn keine derartige Schutzeinrichtung oder vergleichbare Schutzmaßnahmen vorhanden sind, treten im Fehlerfall unkontrollierte Ausgleichsströme auf. So können im Falle eines defekten sowie aufgrund des Defekts leitenden Halbleiterbauelements weitere Halbleiterbauelemente und die jeweilige Schaltung insgesamt, also zum Beispiel ein Umrichter, zerstört werden.

Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, eine Schaltung anzugeben, insbesondere eine im Bereich der Leistungselektronik verwendbare Schaltung, die geeignet ist, selbst bei einem im Betrieb auftretenden Defekt eines von der Schaltung umfassten Halbleiterbauelements die ursprüngliche Funktion aufrecht zu erhalten.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß mittels einer redundanten Leistungselektronikschaltung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Die Leistungselektronikschaltung umfasst in einer Parallelschaltung zumindest zwei gleiche oder zumindest gleichartige Leistungshalbleiter, wobei in Reihe zu jedem Leistungshalbleiter eine Sicherung geschaltet ist. Aufgrund der Parallelschaltung umfasst die Leistungselektronikschaltung die jeweiligen Leistungshalbleiter in redundanter Form, so dass die Leistungselektronikschaltung insgesamt als redundante Leistungselektronikschaltung bezeichnet werden kann.

Die Bezeichnung der von der Leistungselektronikschaltung umfassten Leistungshalbleiter als gleich oder zumindest gleichartig bedeutet, dass es sich um jeweils gleiche Leistungshalbleitertypen handelt, also zum Beispiel jeweils um MOSFETs, IGBTs oder Leistungsdiolen, sowie dass die parallel geschalteten Leistungshalbleiter hinsichtlich ihrer Stromtragfähigkeit gleich oder zumindest im Rahmen üblicher Toleranzen gleich sind.

Den bei der redundanten Leistungselektronikschaltung parallel geschalteten Halbleiterbauelementen ist in jedem Parallelzweig jeweils eine eigene Sicherung zugeordnet, insbesondere ein Sicherung in Form einer Schmelzsicherung. Jede Sicherung ist so dimensioniert, dass bei einem aufgrund eines Kurzschlussfehlers eines Halbleiterbauelements resultierenden Kurzschlussstrom dieses automatisch von den anderen noch funktionierenden Halbleiterbauelementen getrennt wird und danach die Schaltung weiterbetrieben werden kann. Die parallel geschalteten Halbleiterbauelemente selbst sind bevorzugt so dimensioniert, dass bei einem Ausfall eines oder mehrerer Halbleiterbauelemente die verbleibenden, noch funktionierenden Halbleiterbauelemente in Kombination eine jeweils benötigte Stromtragfähigkeit besitzen, so dass der jeweilige Laststrom weiterhin über die verbleibenden Halbleiterbauelemente fließen kann und damit die Gesamtfunktionalität der jeweiligen Schaltung gewährleistet ist. Für den Fall, dass die Stromtragfähigkeit der verbleibenden Halbleiterbauelemente für den vorgesehenen Nennstrom nicht ausreicht, kann die jeweilige Schaltung immerhin noch mit reduzierter Leistung weiterbetrieben werden.

Der Vorteil der Erfindung besteht darin, dass mittels der Parallelschaltung und der in jedem Parallelzweig vorhandenen Sicherung ein defektes Halbleiterbauelement automatisch von der restlichen Schaltung getrennt werden kann und der Betrieb der Schaltung und deren ursprüngliche Funktionalität ansonsten weiter gewährleistet ist. Je nach Art und Anzahl der Halbleiterbauelemente ist die weitere Funktion gegebenenfalls ohne Einschränkungen gewährleistet. Zumindest ist die weitere Funktion mit reduzierter Leistung gewährleistet.

Aus der EP 0 989 611 A ist ein Ansatz bekannt, bei dem ein aufgrund des Defekts eines Halbleiterbauelements fließender Kurzschlussstrom verwendet wird, um angesichts des Defekts einen gewünschten Zustand zu erreichen. Dort wird das defekte Halbleiterbauelement durch Aufschmelzen einer speziellen Lei-

tungsschicht in einen definierten Kurzschluss gebracht. Bei dem Ansatz gemäß der Erfindung soll dagegen ein Kurzschluss vermieden werden und mittels der Parallelschaltung und der in jedem Zweig vorhandenen Sicherung erfolgt bei einem defekten Halbleiterbauelement und einem daraufhin fließenden Kurzschlussstrom ein Auslösen der Sicherung des jeweils betroffenen Parallelzweigs, womit der aufgrund des Defekts bestehende Kurzschluss aufgehoben wird.

10 Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche. Dabei verwendete Rückbeziehungen weisen auf die weitere Ausbildung des Gegenstandes des Hauptanspruches durch die Merkmale des jeweiligen Unteranspruches hin. Sie sind nicht als ein Verzicht auf die Erzielung eines selbstständigen, gegenständlichen Schutzes für die Merkmalskombinationen der rückbezogenen Unteransprüche zu verstehen. Des Weiteren ist im Hinblick auf eine Auslegung der Ansprüche bei einer näheren Konkretisierung eines Merkmals in einem nachgeordneten Anspruch davon auszugehen, dass eine derartige Beschränkung in den jeweils vorangehenden Ansprüchen nicht vorhanden ist.

Schaltungen entsprechend dem hier vorgeschlagenen Ansatz kommen speziell für Anwendungen, bei denen eine hohe Ausfallsicherheit im Vordergrund steht oder sogar garantiert werden muss, in Betracht, zum Beispiel bei Antrieben von Elektro- oder Elektrohybridfahrzeugen, Schienenfahrzeugen sowie bei Antrieben zur Verwendung in der Prozess-, Produktions- und Energietechnik.

30 Bei einer besonderen Ausführungsform einer redundanten Leistungselektronikschaltung handelt es sich entsprechend bei den parallel geschalteten Leistungshalbleitern um Leistungshalbleiterschalter in Form von IGBTs, MOSFETs oder dergleichen. Solche Leistungshalbleiterschalter sind als elektronische Schalter in Umrichtern an sich bekannt. Mit dem hier vorgeschlagenen Ansatz lässt sich die Ausfallsicherheit einer

Umrichterschaltung oder eines Antriebs mit einer solchen Umrichterschaltung signifikant erhöhen.

Bei einer redundanten Leistungselektronikschaltung mit derartigen Leistungshalbleiterschaltern, zum Beispiel IGBTs, die jeweils einen Gateanschluss, einen Kollektoranschluss und einen Emitteranschluss aufweisen, sind im Rahmen der Parallelschaltung einerseits die Kollektoranschlüsse und die Emitteranschlüsse zu einem gemeinsamen Kollektor- bzw. Emitteranschluss und andererseits die Gateanschlüsse zu einem gemeinsamen Gateanschluss der redundanten Leistungselektronikschaltung zusammengeführt. Die Ansteuerung aller von der Leistungselektronikschaltung umfassten und parallel geschalteten Leistungshalbleiterschalter erfolgt demnach über den einen zentralen Gateanschluss der Leistungselektronikschaltung. Die Leistungselektronikschaltung selbst fungiert damit wie ein einzelner Leistungshalbleiterschalter und ist genau wie dieser innerhalb einer umgebenden Schaltung angeschlossen und ansteuerbar.

Speziell bei einer Leistungselektronikschaltung mit parallel geschalteten Leistungshalbleiterschaltern, zum Beispiel IGBTs oder MOSFETs, ist vorteilhaft vorgesehen, dass eine Stromtragfähigkeit jedes einzelnen von der Parallelschaltung umfassten Leistungshalbleiterschalters so gewählt ist, dass bei einem Defekt eines Leistungshalbleiterschalters oder mehr als eines Leistungshalbleiterschalters der verbleibende Leistungshalbleiterschalter oder die verbleibenden Leistungshalbleiterschalter eine für einen erwarteten Laststrom ausreichende Stromtragfähigkeit aufweist bzw. aufweisen. Dann kann die Leistungselektronikschaltung auch im Falle eines Defekts eines oder mehrerer Leistungshalbleiterschalter ohne Einschränkungen weiterbetrieben werden, so dass zum Beispiel keine Reduzierung des Laststroms notwendig ist und zum Beispiel bei einem Antrieb mit einem Umrichter mit zumindest einer solchen Leistungselektronikschaltung kein verringertes Drehmoment resultiert.

Bei einer besonderen Ausführungsform der Leistungselektronikschaltung fungiert in jedem Parallelzweig jeweils zumindest ein Bonddraht als Sicherung. Der Vorteil dieser Ausführungsform besteht darin, dass ein ohnehin notwendiger Anschluss  
5 der parallel geschalteten Leistungshalbleiter mittels Bonddrähten einfach und gut automatisierbar herstellbar ist und dass solche Bonddrähte jetzt eine Mehrfachfunktion erhalten, nämlich einerseits als Anschluss- und Kontaktelemente und andererseits als Sicherungen fungieren. Eine separate Sicherung  
10 in jedem Parallelzweig ist damit nicht mehr erforderlich.

Bei einer weiteren besonderen Ausführungsform der redundanten Leistungselektronikschaltung sind eine dieser zugeordnete oder davon umfasste Überwachungseinrichtung und Mittel zur  
15 Erfassung einer Klemmenspannung sowie eines Klemmenstroms der Leistungselektronikschaltung vorgesehen, wobei mittels der Überwachungseinrichtung Messwerte zur Klemmenspannung und zum Klemmenstrom mit vorgegebenen oder vorgebbaren Erwartungswerten vergleichbar sind und wobei in Abhängigkeit vom Ergebnis  
20 des Vergleichs ein Ausgangssignal ausgebenbar ist. Mittels einer solchen Überwachungseinrichtung ist automatisch ein im Betrieb auftretender Defekt eines oder mehrerer Leistungshalbleiter erkennbar und mittels eines durch die Überwachungseinrichtung ausgebbaren Ausgangssignals ist zum Bei-  
25 spiel ein Anzeigeelement, zum Beispiel eine Leuchtdiode, ansteuerbar. Ein solches Anzeigeelement macht einen Verwender der Leistungselektronikschaltung oder einer Schaltung oder eines Geräts mit einer Mehrzahl solcher Leistungselektronikschaltungen auf den Defekt aufmerksam und ermöglicht speziell  
30 im Falle mehrerer Leistungselektronikschaltungen eine leichte Lokalisierung der betroffenen Leistungselektronikschaltung.

Eine Leistungselektronikschaltung der hier und im Folgenden beschriebenen Art kommt besonders auch zur Verwendung in einem Umrichter, insbesondere einem Umrichter in Form eines  
35 Gleichrichters, Wechselrichters und Frequenzumrichters, in Betracht. Insofern ist die Erfindung auch ein Umrichter mit

zumindest einer redundanten Leistungselektronikschaltung der hier und im Folgenden beschriebenen Art.

Bei einer besonderen Ausführungsform eines Umrichters mit zu-  
5 mindest einer Halbbrückenschaltung sind zwei in der oder je-  
der Halbbrückenschaltung in Serie geschaltete Leistungselek-  
tronikschaltungen der hier und im Folgenden beschriebenen Art  
vorgesehen. Bekanntlich ist bei einer Halbbrückenschaltung  
mit elektronisch ansteuerbaren Schaltern üblicherweise immer  
10 nur entweder der eine oder der andere elektronische Schalter  
angesteuert. Bei einer als elektronischer Schalter fungieren-  
den Leistungselektronikschaltung der hier und im Folgenden  
beschriebenen Art ergibt sich im Falle eines Defekts in einer  
der Leistungselektronikschaltungen und einer Ansteuerung der  
15 anderen Leistungselektronikschaltung ein Kurzschlussstrom  
über die jeweilige Halbbrücke, so dass mit einer Auslösung  
der dem betroffenen Leistungshalbleiter zugeordneten Siche-  
rung gerechnet werden kann. Auf diese Weise wird der von dem  
Defekt betroffene Leistungshalbleiter von der Gesamtschal-  
20 tung, also der Umrichterschaltung, abgetrennt. Die Funktion  
der betroffenen Halbbrücke bleibt dabei erhalten. Damit  
bleibt auch die Funktion der Umrichterschaltung insgesamt er-  
halten und zum Beispiel ein Antrieb mit Umrichterschaltung  
bleibt ebenfalls in Betrieb.

25

Die hier vorgeschlagene Leistungselektronikschaltung und ein-  
zelne oder kombinierte Ausführungsformen derselben sind nicht  
auf eine Verwendung im Bereich der Leistungselektronik be-  
schränkt, so dass die Erfindung allgemein auch eine Schaltung  
30 mit den hier und im Folgenden beschriebenen Merkmalen ist und  
vorteilhaft eine erhöhte Ausfallsicherheit einer umgebenden  
Gesamtschaltung gewährleistet.

Nachfolgend wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand  
35 der Zeichnung näher erläutert. Einander entsprechende Gegen-  
stände oder Elemente sind in allen Figuren mit den gleichen  
Bezugszeichen versehen.

Es zeigen

- FIG 1 eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Schal-  
tung,  
5  
FIG 2 eine weitere Ausführungsform der Schaltung gemäß  
FIG 1,  
FIG 3 bis  
10 FIG 5 weitere Ausführungsformen der Schaltung gemäß FIG 1,  
FIG 6 eine Halbbrückenschaltung mit zwei Teilschaltungen  
gemäß FIG 1 sowie  
15 FIG 7 eine Schaltung gemäß FIG 1 mit einer dieser zugeord-  
neten Überwachungseinrichtung.

Die Darstellung in FIG 1 zeigt eine zwei Halbleiterbauelemen-  
te 10, nämlich zwei sogenannte IGBTs (IGBT1, IGBT2), genauer  
20 zwei IGBTs mit jeweils einer antiparallelen Freilaufdiode,  
umfassende Leistungselektronikschaltung 12, die im Folgenden  
kurz nur als Schaltung 12 bezeichnet wird. Die beiden Halb-  
leiterbauelemente 10 sind innerhalb der Schaltung 12 parallel  
geschaltet und in jedem Parallelzweig 14 ist mit dem jeweili-  
25 gen Halbleiterbauelement 10 eine Sicherung 16 (F1, F2) in  
Reihe geschaltet.

Jeder von der Schaltung 12 umfasste IGBT umfasst in an sich  
bekannter Art und Weise einen Gateanschluss, einen Kollektor-  
30 anschluss und einen Emitteranschluss. Aufgrund der Parallel-  
schaltung der hier als Beispiel für grundsätzlich beliebige  
Halbleiterbauelemente 10 verwendeten IGBTs weist die Schal-  
tung 12 insgesamt selbst auch einen Gateanschluss 20, einen  
Kollektoranschluss 22 und einen Emitteranschluss 24 auf. Die  
35 Schaltung 12 mit zumindest zwei parallel geschalteten IGBTs  
kann also genau wie ein einzelner IGBT angeschlossen und an-  
gesteuert werden. Für eine jeweilige umgebende Schaltung, zum  
Beispiel eine Umrichterschaltung, ist es unerheblich, ob ein

einzelner IGBT oder eine Schaltung 12 der in FIG 1 gezeigten Art angesteuert wird.

Die Darstellung in FIG 2 entspricht im Wesentlichen der Darstellung in FIG 1 und zeigt, dass die Anzahl der Parallelzweige 14 und die Anzahl der parallelgeschalteten Halbleiterbauelemente 10 grundsätzlich beliebig ist. In jedem Fall umfasst jeder Parallelzweig 14 ein Halbleiterbauelement 10 und eine damit in Serie geschaltete Sicherung 16. Die Parallelzweige 14 der Schaltung 12 sind demnach funktional identisch und die Schaltung 12 realisiert insgesamt die Funktion eines der in allen Parallelzweigen platzierten Halbleiterbauelemente 10.

Die Parallelschaltung der Halbleiterbauelemente 10 bewirkt eine Redundanz der Halbleiterbauelemente 10. Im Falle eines Defekts eines der Halbleiterbauelemente 10 derart, dass das Halbleiterbauelement 10 leitend wird und seine eigentliche Funktion verliert, fließt dauerhaft ein Strom, zum Beispiel ein Kurzschlussstrom, durch den jeweiligen Parallelzweig 14 mit dem defekten Halbleiterbauelement 10. Bei einer entsprechenden Stromstärke, also zumindest bei einem Kurzschlussstrom, führt dies zu einer Auslösung der Sicherung 16 in dem jeweiligen Parallelzweig 14. Damit ist der Parallelzweig 14 elektrisch aufgetrennt und in der Schaltung 12 funktionslos. Das defekte Halbleiterbauelement 10 wird also automatisch von der Schaltung 12 getrennt. Mit dem Ansprechen (Durchbrennen) der Sicherung 16 wird der kurzzeitig fließende Strom/Kurzschlussstrom unmittelbar unterbrochen. Danach teilt sich der durch die Schaltung 12 fließende Strom auf die verbleibenden Parallelzweige 14 auf. Aufgrund der funktionalen Identität aller Parallelzweige 14 bleibt auch nach dem Ausfall eines Halbleiterbauelements 10 oder ggf. mehrerer Halbleiterbauelemente 10 die Funktionalität der Schaltung 12 erhalten.

35

Die resultierende Schaltung 12 kann - zum Beispiel bei IGBTs als Halbleiterbauelementen 10 - als redundanter IGBT oder als redundanter IGBT mit erhöhter Ausfallsicherheit bezeichnet

werden. Die Funktion der Schaltung 12 insgesamt ist identisch mit der Funktion jedes von den zumindest zwei Parallelzweigen 14 umfassten einzelnen Halbleiterbauelements 10, so dass die Schaltung 12 insgesamt wie ein einzelner IGBT fungiert. Indem  
5 diese Funktion der Schaltung 12 auch bei einem Defekt eines der parallel geschalteten Halbleiterbauelemente 10 oder ggf. mehrerer derartiger Halbleiterbauelemente 10 erhalten bleibt, ist die erhöhte Ausfallsicherheit gewährleistet.

10 Die Darstellungen in FIG 3, FIG 4 und FIG 5 zeigen, dass es auf die Art des jeweiligen Halbleiterbauelements 10 nicht ankommt, solange sich in allen Parallelzweigen 14 gleiche Halbleiterbauelemente 10, speziell auch hinsichtlich ihrer jeweiligen Strombelastbarkeit gleiche oder zumindest im Rahmen üblicher Toleranzen gleiche Halbleiterbauelemente 10, befinden.  
15

In der Darstellung in FIG 3 sind insofern - nach dem Ausführungsbeispiel gemäß FIG 1 und FIG 2 und den dortigen IGBTs (IGBT1, IGBT2 bzw. IGBT1, IGBT2 .. IGBTn) - Dioden (HL1, HL2  
20 .. HLn) als ein weiteres Beispiel für nach dem hier vorgeschlagenen Ansatz redundierbare Halbleiterbauelemente 10 gezeigt. Die Darstellung in FIG 4 zeigt schließlich ein symbolisch in Form eines konventionellen Schalters dargestelltes schaltbares Halbleiterbauelement 10 (HL1, H2 .. HLn), um die  
25 Anwendbarkeit des hier vorgeschlagenen Ansatzes für grundsätzlich beliebige Halbleiterbauelemente 10 und ausdrücklich auch für eine redundante Ausführung von nicht zur Verwendung im Bereich der Leistungselektronik vorgesehenen Halbleiterbauelementen 10 nochmals zu unterstreichen. Des Weiteren  
30 kommt es - wie die Darstellung in FIG 5 veranschaulicht - auch nicht darauf an, wie die Serienschaltung jeweils eines (schaltbaren oder nicht schaltbaren) Halbleiterbauelements 10 (HL1, H2 .. HLn) und jeweils einer Sicherung 16 (F1, F2 .. Fn) in den einzelnen Parallelzweigen 14 realisiert ist. In  
35 den Darstellungen in den Figuren 1 bis 4 war eine Platzierung der Sicherungen 16 an einem oberen Kontaktpunkt des jeweiligen Halbleiterbauelementes 10 gezeigt. Die Darstellung in FIG 5 zeigt eine alternative und gleichwertige Ausführungs-

form mit am unteren Kontaktpunkt der Halbleiterbauelemente 10 platzierten Sicherungen 16.

Die Darstellung in FIG 6 zeigt eine Halbbrückenschaltung  
5 (Halbbrücke) 30, wie sie zum Beispiel in einer Ausgangsstufe eines Umrichters zur Ansteuerung einer Drehfeldmaschine verwendbar ist. Die gezeigte Halbbrücke 30 umfasst zwei Schaltungen 12 gemäß FIG 1 mit jeweils zwei IGBTs (IGBT1, IGBT2; IGBT3, IGBT4). Grundsätzlich kommen für jede Schaltung 12 ge-  
10 mäß FIG 2, FIG 4 und FIG 5 auch mehr als jeweils zwei IGBTs in Betracht. Jede der zwei Schaltungen 12 wird im Folgenden kurz als redundanter IGBT bezeichnet.

Bei der in FIG 6 gezeigten Situation wird davon ausgegangen  
15 (linke Seite der Darstellung), dass in dem oberen redundanten IGBT einer der beiden IGBTs, hier der IGBT mit der Bezeichnung IGBT2, ausfällt und dauerhaft leitend wird. Sobald daraufhin ausschließlich der untere redundante IGBT aufgrund einer Ansteuerung an dessen Gateeingang 20 eingeschaltet  
20 wird, fließt aufgrund der anliegenden Zwischenkreisspannung  $U_{DC}$  ein hoher Kurzschlussstrom  $i_{KS}$  durch den oberen redundanten IGBT und durch den unteren redundanten IGBT. Im oberen redundanten IGBT wird der gesamte Kurzschlussstrom  $i_{KS}$  über das dortige defekte Halbleiterbauelement 10 (IGBT2) und die  
25 damit in Serie geschaltete Sicherung 16 (F2) fließen. Der Kurzschlussstrom  $i_{KS}$  löst diese Sicherung 16 (F2) aus. Im unteren redundanten IGBT teilt sich der Kurzschlussstrom  $i_{KS}$  auf die hier zwei Parallelzweige 14 auf und die dortigen Sicherungen 16 (F3, F4) lösen nicht aus. Nachdem die Sicherung  
30 16 (F2) in genau dem Parallelzweig 14 mit dem defekten Halbleiterbauelement 10 (IGBT2) ausgelöst hat, ist das defekte Halbleiterbauelement 10 (IGBT2) von der restlichen Schaltung 12, 30 getrennt, wie dies auf der rechten Seite der Darstellung in FIG 6 gezeigt ist. Der weitere Betrieb der Halbbrückenschaltung 30 ist damit trotz des ausgefallenen Halbleiterbauelements 10 noch möglich.  
35

Als Sicherung oder Sicherungen 16 kommt bzw. kommen bei allen hier beschriebenen Ausführungsformen geeignet dimensionierte, zur Kontaktierung des jeweiligen Halbleiterbauelements 10 bestimmte Bonddrähte (nicht separat gezeigt) oder sonstige Leiterbahnen in Betracht. Die Verwendung eines Bonddrahts oder einer sonstigen Leiterbahn wird im Folgenden – aber ohne Verzicht auf eine weitergehende Allgemeingültigkeit – am Beispiel eines Bonddrahts beschrieben. Ein solcher Bonddraht fungiert bei einer entsprechenden Stromstärke wie der Schmelzleiter einer Schmelzsicherung. Entsprechend brennt dieser bei einem Strom oberhalb eines durch die Dimensionierung und die Materialeigenschaften des Bonddrahts bestimmten Schwellwerts durch und trennt damit den jeweiligen Parallelzweig 14 mit dem angeschlossenen (in Serie geschalteten) Halbleiterbauelement 10 auf und im Ergebnis das Halbleiterbauelement 10 aus der jeweiligen Gesamtschaltung. Damit ist dieselbe Funktion wie bei einer Schmelzsicherung erreicht.

Die Darstellung in FIG 7 zeigt eine Ausführungsform einer Schaltung 12 gemäß FIG 1 mit einer integrierten Strom- und Spannungsmessung. Anstelle von zwei Parallelzweigen 14 kommen auch mehr als zwei Parallelzweige 14 und anstelle von IGBTs kommen auch andere Halbleiterbauelemente 10 in Betracht. Bei einem Ausfall eines der redundanten Halbleiterbauelemente 10 ändert sich das Klemmenverhalten der Schaltung 12, zum Beispiel in Form eines Zusammenbrechens der Spannung zwischen dem Kollektoranschluss 22 und dem Emitteranschluss 24 bis zum Auslösen der jeweiligen Sicherung 16. Wenn die Spannung zwischen dem Kollektoranschluss 22 und dem Emitteranschluss 24 (oder allgemein die Klemmenspannung) sowie der Strom am Kollektoranschluss 22 (oder allgemein der Klemmenstrom) bekannt sind und zum Beispiel mittels einer auch als Überwachungseinrichtung fungierenden Treiberschaltung 32 mit jeweils aufgenommenen Messwerten (in der Darstellung durch entsprechende Messeinrichtungen, nämlich einen Spannungsmesser und einen Strommesser, veranschaulicht) verglichen werden, kann automatisch bestimmt werden, ob eines der redundanten Halbleiterbauelemente 10 ausgefallen ist.

Eine Kombination der Funktionalität zur Ansteuerung eines redundanten IGBTs sowie zur Überwachung der davon umfassten IGBTs und entsprechend die Verwendung einer Treiberschaltung 32 auch als Überwachungseinrichtung ist vorteilhaft, weil der Treiberschaltung 32 die oben genannten Messwerte üblicherweise ohnehin vorliegen, so dass nur ein minimaler Aufwand zu deren Überwachung der Messwerte in Relation zu jeweils erwarteten Werten (Erwartungswerte) erforderlich ist. Zudem liegen der Treiberschaltung 32 die Schaltzeitpunkte und damit die Zeiten, in denen die Spannung zwischen dem Kollektoranschluss 22 und dem Emitteranschluss 24 ohnehin aufgrund einer entsprechenden Ansteuerung verschwindet oder im Wesentlichen verschwindet, vor, so dass die Überwachung ohne besonderen zusätzlichen Aufwand außerhalb der Aktivierungszeiten erfolgen kann. Die Treiberschaltung 32 oder eine sonstige Überwachungseinrichtung geben in Abhängigkeit vom Ergebnis des jeweiligen Vergleichs ein Ausgangssignal 34 aus, das einen eventuellen Defekt eines von der jeweils zugehörigen Schaltung 12 umfassten Halbleiterbauelements 10 anzeigt. Aufgrund eines solchen Ausgangssignals 34 kann ein Anzeigeelement, zum Beispiel eine Leuchtdiode (nicht gezeigt), angesteuert werden. Aufgrund der Überwachung kann zeitnah ein Austausch einer von einem Defekt eines Halbleiterbauelements 10 oder mehrerer Halbleiterbauelemente 10 betroffenen Schaltung 12 erfolgen. Bis dahin ist die weitere Funktionalität der Schaltung 12 aufgrund der davon umfassten redundanten Halbleiterbauelemente 10 jedenfalls gewährleistet.

Obwohl die Erfindung im Detail durch das Ausführungsbeispiel näher illustriert und beschrieben wurde, so ist die Erfindung nicht durch das oder die offenbarten Beispiele eingeschränkt und andere Variationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzzumfang der Erfindung zu verlassen.

35

Einzelne im Vordergrund stehende Aspekte der hier eingereichten Beschreibung lassen sich damit kurz wie folgt zusammenfassen: Vorgeschlagen wird eine Schaltung 12, die in zumin-

dest zwei Parallelzweigen 14 jeweils gleiche Halbleiterbauelemente 10 und jeweils eine damit in Serie geschaltete Sicherung 16 umfasst. Die resultierende Schaltung 12 realisiert die Funktionalität der parallel geschalteten Halbleiterbauelemente 10. Ein Defekt eines der Halbleiterbauelemente 10 kann bei einem dann fließenden Strom zum Auslösen der mit dem defekten Halbleiterbauelement 10 in Serie geschalteten Sicherung 16 führen. Mit dem Auslösen der Sicherung 16 wird das defekte Halbleiterbauelement 10 aus der Schaltung 12 getrennt und die Funktion der Schaltung 12 bleibt mit dem oder den verbleibenden Parallelzweig(en) 14 erhalten. Die Schaltung 12 kommt zur Verwendung in vielfältigster Form in Betracht. Neben der dargestellten speziellen Ausführungsform einer Verwendung in einer Halbbrücke 30 oder einem Umrichter mit mehreren solchen Halbbrücken 30 kommt zum Beispiel auch eine Verwendung in einem sogenannten Inverswandler (Buck-Boost Converter) oder in einem Hochsetzsteller (Boost-Converter) in Betracht, wo eine Schaltung 12 mit mehreren schaltbaren Halbleiterbauelementen 10 an die Stelle eines üblicherweise dort jeweils vorgesehenen einfachen elektronischen Schalters tritt.

## Bezugszeichenliste

	10	Leistungshalbleiter / Halbleiterbauelement
	12	Leistungselektronikschaltung / Schaltung
5	14	Parallelzweig
	16	Sicherung
	18	(frei)
	20	Gateanschluss
	22	Kollektoranschluss
10	24	Emitteranschluss
	26	(frei)
	28	(frei)
	30	Halbbrückenschaltung / Halbbrücke
	32	Treiberschaltung
15	34	Ausgangssignal

## Patentansprüche

1. Redundante Leistungselektronikschaltung (12) in Form einer Parallelschaltung von zumindest zwei gleichen oder zumindest  
5 gleichartigen Leistungshalbleitern (10), wobei in Reihe zu jedem Leistungshalbleiter (10) eine Sicherung (16) geschaltet ist.
2. Redundante Leistungselektronikschaltung (12) nach Anspruch  
10 1, mit Leistungshalbleitern (10) in Form von IGBTs oder MOSFETs.
3. Redundante Leistungselektronikschaltung (12) nach Anspruch  
15 2, wobei jeder IGBT bzw. MOSFET einen Gateanschluss, einen Kollektoranschluss und einen Emitteranschluss aufweist, wobei im Rahmen der Parallelschaltung einerseits die Kollektoranschlüsse und andererseits die Emitteranschlüsse zu einem gemeinsamen Kollektor- bzw. Emitteranschluss (22, 24) der redundanten Leistungselektronikschaltung (12) zusammengeführt  
20 sind und andererseits die Gateanschlüsse zu einem gemeinsamen Gateanschluss (20) der redundanten Leistungselektronikschaltung (12) zusammengeführt sind.
4. Redundante Leistungselektronikschaltung (12) nach Anspruch  
25 2 oder 3, mit einer Stromtragfähigkeit jedes einzelnen von der Parallelschaltung umfassten IGBTs oder MOSFETs derart, dass bei einem Defekt eines IGBTs oder MOSFETs oder mehr als eines IGBTs oder MOSFETs der verbleibende IGBT oder MOSFET oder die verbleibenden IGBTs oder MOSFETs eine für einen er-  
30 warteten Laststrom ausreichende Stromtragfähigkeit aufweist bzw. aufweisen.
5. Redundante Leistungselektronikschaltung (12) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei ein Bonddraht als Sicherung (16) fungiert.  
35
6. Redundante Leistungselektronikschaltung (12) nach einem der vorangehenden Ansprüche, mit einer Überwachungseinrich-

tung (32) und Mitteln zur Erfassung einer Klemmenspannung sowie eines Klemmenstroms der Leistungselektronikschaltung (12), wobei mittels der Überwachungseinrichtung (32) Messwerte zur Klemmenspannung und zum Klemmenstrom mit vorgegebenen oder vorgebbaren Erwartungswerten vergleichbar sind und wobei  
5 im Abhängigkeit vom Ergebnis des Vergleichs ein Ausgangssignal (34) ausgebbar ist.

7. Umrichter mit zumindest einer redundanten Leistungselektronikschaltung (12) nach einem der Ansprüche 1 bis 6.  
10

8. Umrichter mit zumindest einer Halbbrückenschaltung (30) und zwei in der oder jeder Halbbrückenschaltung (30) in Serie geschalteten Leistungselektronikschaltungen (12) nach einem  
15 der Ansprüche 1 bis 6.

FIG 1

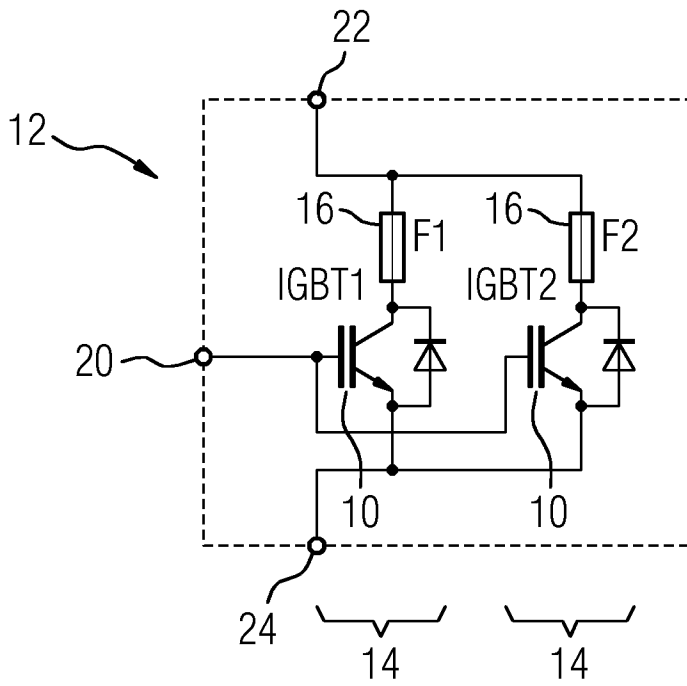


FIG 2

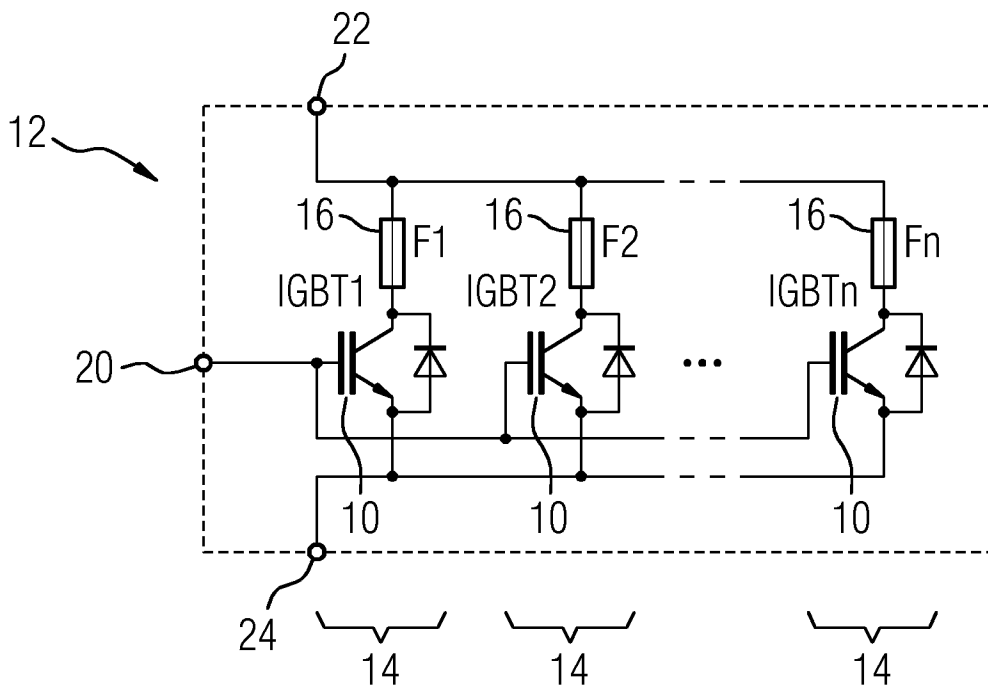


FIG 3

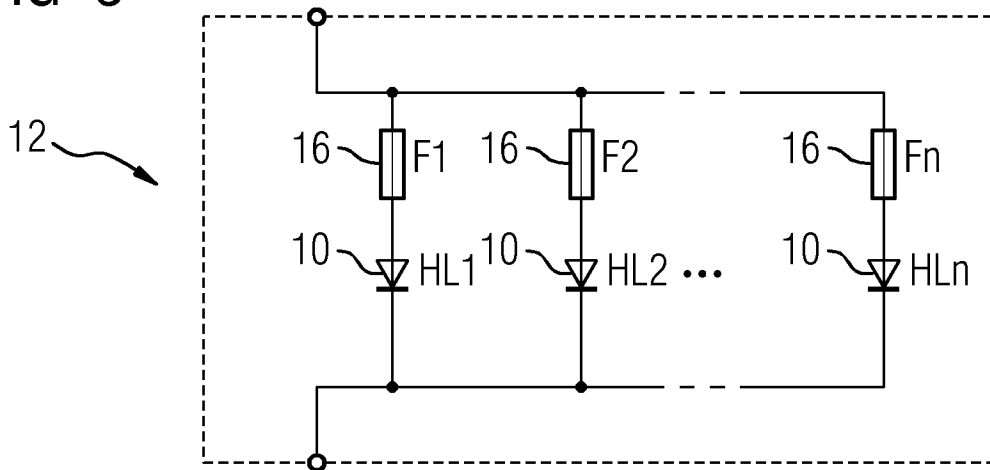


FIG 4

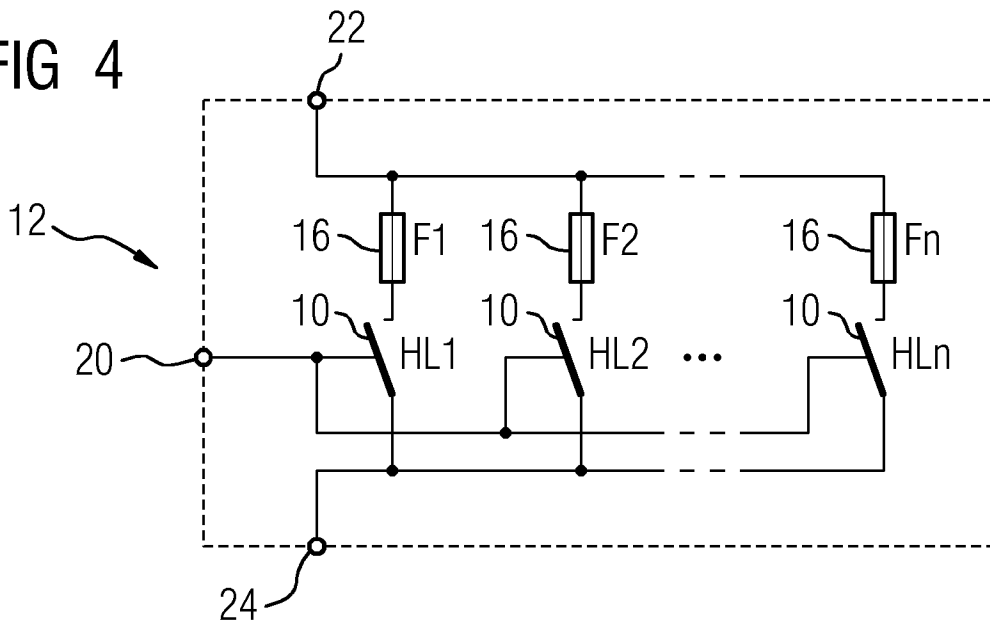
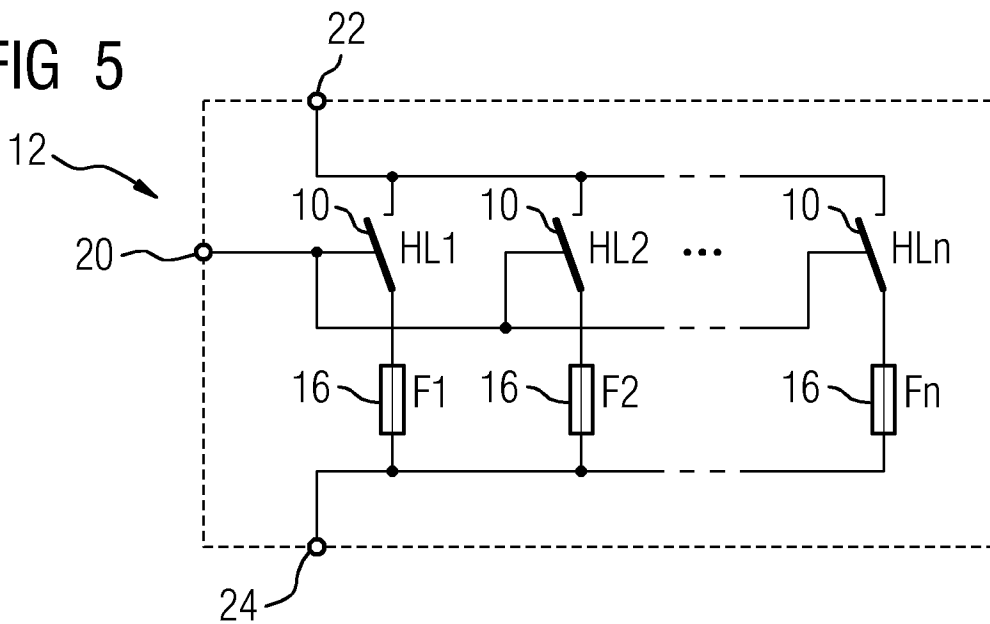


FIG 5



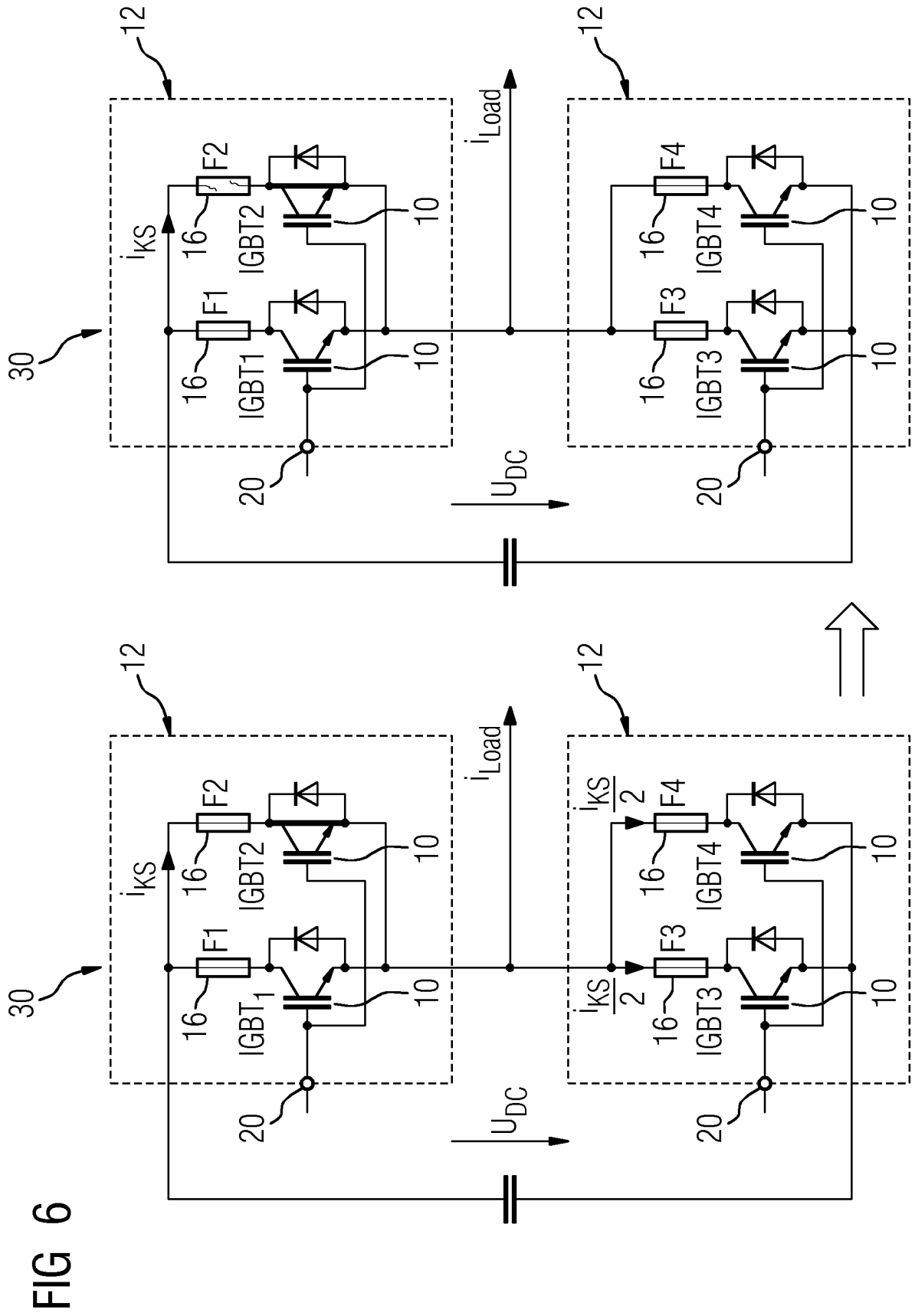
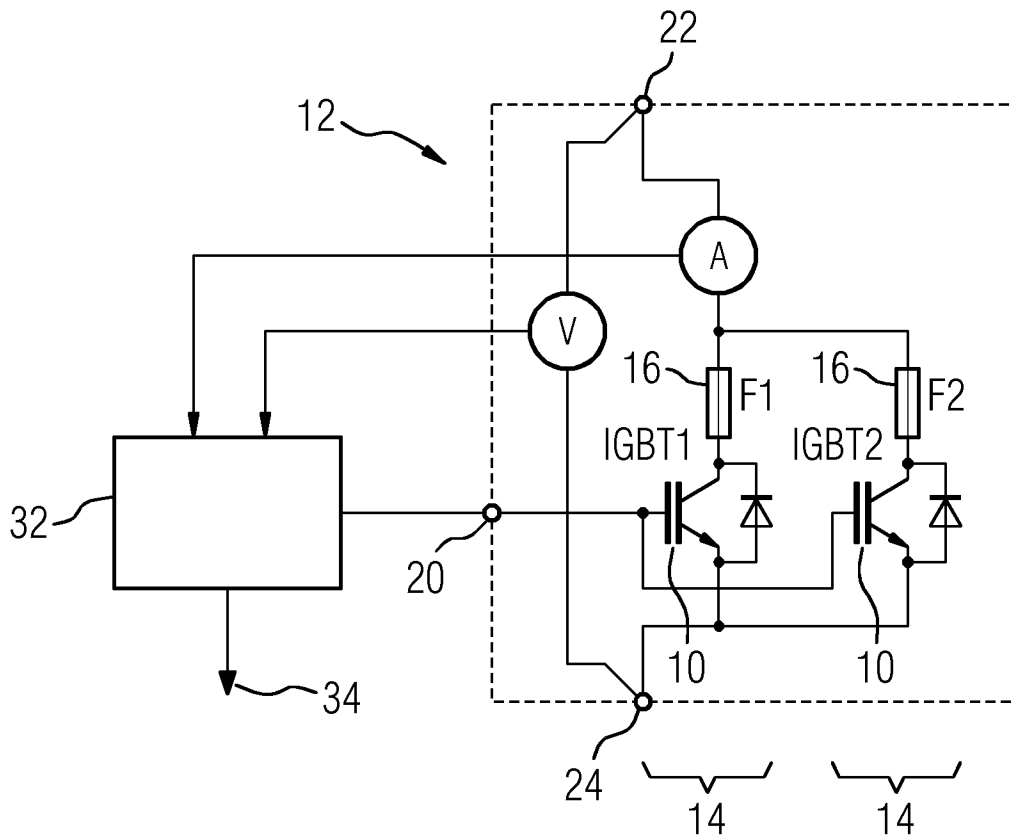


FIG 6

FIG 7



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No  
PCT/EP2015/063802

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
 INV. H02M1/32  
 ADD. H02M7/493 H02M1/088 H02H7/122

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)  
 H02M H02H

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 practicable, 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.
X	DE 44 35 255 A1 (ABB MANAGEMENT AG [CH]) 4 April 1996 (1996-04-04) figures 1-4 column 1 - column 5 -----	1-8
X	EP 0 431 492 A2 (TOSHIBA KK [JP]) 12 June 1991 (1991-06-12) figures 1,12,14,15,20 column 1, lines 1-5 column 3, lines 37-48 columns 6,9,10 -----	1-4,7,8
A	WO 92/09137 A1 (INVENTIO AG [CH]) 29 May 1992 (1992-05-29) page 13 - page 14 figures 14-17 -----	1-8

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family 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 application or patent 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

23 September 2015

Date of mailing of the international search report

01/10/2015

Name and mailing address of the ISA/

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

Authorized officer

Kail, Maximilian

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No PCT/EP2015/063802
---

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 4435255	A1	04-04-1996	AU 701831 B2 04-02-1999
			AU 3024195 A 18-04-1996
			DE 4435255 A1 04-04-1996
			EP 0706218 A2 10-04-1996
			JP H08116677 A 07-05-1996
			US 5663858 A 02-09-1997
			ZA 9506836 A 28-03-1996
EP 0431492	A2	12-06-1991	CN 1052401 A 19-06-1991
			DE 69025045 D1 07-03-1996
			DE 69025045 T2 30-05-1996
			EP 0431492 A2 12-06-1991
			US 5123746 A 23-06-1992
WO 9209137	A1	29-05-1992	AT 137365 T 15-05-1996
			CA 2074176 A1 20-05-1992
			DE 59107734 D1 30-05-1996
			EP 0511344 A1 04-11-1992
			ES 2089244 T3 01-10-1996
			JP 2912014 B2 28-06-1999
			JP H05505508 A 12-08-1993
			US 5450309 A 12-09-1995
			WO 9209137 A1 29-05-1992

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2015/063802

**A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**  
 INV. H02M1/32  
 ADD. H02M7/493 H02M1/088 H02H7/122

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

**B. RECHERCHIERTE GEBIETE**

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole )  
 H02M H02H

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.
X	DE 44 35 255 A1 (ABB MANAGEMENT AG [CH]) 4. April 1996 (1996-04-04) Abbildungen 1-4 Spalte 1 - Spalte 5 -----	1-8
X	EP 0 431 492 A2 (TOSHIBA KK [JP]) 12. Juni 1991 (1991-06-12) Abbildungen 1,12,14,15,20 Spalte 1, Zeilen 1-5 Spalte 3, Zeilen 37-48 Spalten 6,9,10 -----	1-4,7,8
A	WO 92/09137 A1 (INVENTIO AG [CH]) 29. Mai 1992 (1992-05-29) Seite 13 - Seite 14 Abbildungen 14-17 -----	1-8

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" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. 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 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	Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
23. September 2015	01/10/2015

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter  Kail, Maximilian
--	---

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2015/063802

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 4435255	A1	04-04-1996	AU 701831 B2 04-02-1999
			AU 3024195 A 18-04-1996
			DE 4435255 A1 04-04-1996
			EP 0706218 A2 10-04-1996
			JP H08116677 A 07-05-1996
			US 5663858 A 02-09-1997
			ZA 9506836 A 28-03-1996
-----			
EP 0431492	A2	12-06-1991	CN 1052401 A 19-06-1991
			DE 69025045 D1 07-03-1996
			DE 69025045 T2 30-05-1996
			EP 0431492 A2 12-06-1991
			US 5123746 A 23-06-1992
-----			
WO 9209137	A1	29-05-1992	AT 137365 T 15-05-1996
			CA 2074176 A1 20-05-1992
			DE 59107734 D1 30-05-1996
			EP 0511344 A1 04-11-1992
			ES 2089244 T3 01-10-1996
			JP 2912014 B2 28-06-1999
			JP H05505508 A 12-08-1993
			US 5450309 A 12-09-1995
			WO 9209137 A1 29-05-1992
			-----