



(10) **DE 10 2020 118 998 A1** 2021.01.28

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2020 118 998.2**
 (22) Anmeldetag: **17.07.2020**
 (43) Offenlegungstag: **28.01.2021**

(51) Int Cl.: **H03K 17/56 (2006.01)**
H02M 1/08 (2006.01)
H02M 3/155 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
16/521,113 **24.07.2019** **US**

(74) Vertreter:
Kraus & Weisert Patentanwälte PartGmbH, 80539 München, DE

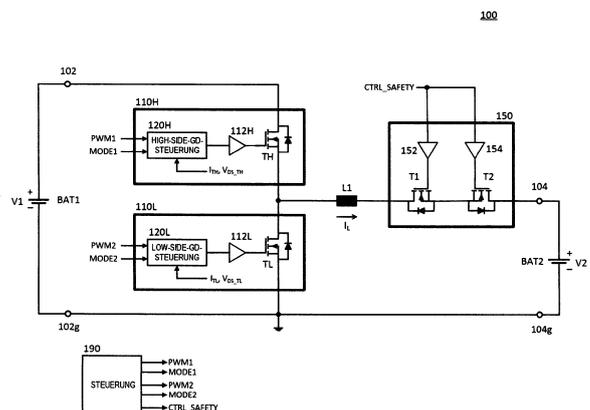
(71) Anmelder:
Infineon Technologies AG, 85579 Neubiberg, DE

(72) Erfinder:
Barrenscheen, Jens, Dr., 81669 München, DE;
Koepl, Benno, 85229 Markt Indersdorf, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN ZUM STEuern EINES LEISTUNGSSCHALTERS, BIDIREKTIONALES SCHALTNETZTEIL UND BIDIREKTIONALER DC/DC-WANDLER**

(57) Zusammenfassung: Es werden Verfahren und Schaltkreise zum Steuern eines elektronischen Schalters bereitgestellt, derart, dass er durch ein externes Steuersignal, wie zum Beispiel ein PWM-Signal, gesteuert werden kann oder zum Betrieb in einem Modus mit aktiver Diode eingestellt werden kann, in dem Strom gestattet wird, in nur eine Richtung durch den Schalter zu fließen. Die beschriebenen Schaltkreise sind dazu konfiguriert, den elektronischen Schalter autonom zu steuern, so dass kein externes Steuersignal erforderlich ist, wenn der Modus mit aktiver Diode verwendet wird. Die bereitgestellten Techniken gestatten es, elektronische Schalter effizient als Teil einer Leistungsstufe oder Teil eines aktiven Gleichrichters zu verwenden, um bidirektionale Schaltnetzteile, Motor/Generator-Treiber und verwandte elektrische Schaltkreise, die bidirektionale Leistungsflüsse erfordern, zu unterstützen. Durch derartiges Wiederverwenden elektronischer Schalter und Implementieren eines Modus mit aktiver Diode wird die Schaltungsanordnung minimiert, während eine gute Leistungseffizienz aufrechterhalten wird.



Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die vorliegende Anmeldung betrifft Schaltkreise und Verfahren zum Steuern eines Leistungsschalters und stellt insbesondere Techniken bereit, in denen in einem ersten Modus durch ein Schaltersteuersignal und in einem zweiten Modus, wie zum Beispiel einem Modus mit aktiver Diode, durch eine Spannung oder einen Strom des Leistungsschalters die Leitfähigkeit des Leistungsschalters bestimmt werden kann.

HINTERGRUND

[0002] Elektronische Schalter werden weithin in den verschiedensten Anwendungen verwendet. In vielen dieser Anwendungen werden die elektronischen Schalter in erster Linie entweder in einem vollständig eingeschalteten Modus oder in einem ausgeschalteten Modus betrieben. Der Zustand, in dem ein Schalter teilweise eingeschaltet ist, was bei einigen Schaltertypen als Linear- oder Triodenmodus bezeichnet wird, wird vermieden, da der Leistungsverlust während solch eines Zustands höher ist als der Verlust in dem vollständig eingeschalteten Zustand oder in dem ausgeschalteten Zustand. Übliche Anwendungen, die elektronische Schalter in erster Linie in einem vollständig eingeschalteten oder ausgeschalteten Modus verwenden, beinhalten Schaltnetzteile (SMPSs - SMPS, switched-mode power supply), Elektromotortreiber und Ladestromkreise.

[0003] Ein Beispiel für einen elektronischen Schalter, der gemeinhin in einem vollständig eingeschalteten oder in einem ausgeschalteten Zustands verwendet wird, ist der Metall-Oxid-Halbleiter-Feldeffekttransistor (MOSFET). MOSFETs stellen eine Art von Schalter dar, der eine intrinsische Diode aufweist, so dass der Schalter nicht in der Lage ist, Strom in einer Richtung zu sperren. Wenn ein MOSFET ausgeschaltet wird, zum Beispiel durch geeignete Einstellung der an den MOSFET angelegten Gate-Spannung, wird Stromfluss in einer Richtung gesperrt, aber die intrinsische (Body-)Diode gestattet Stromfluss in der anderen Richtung, vorausgesetzt, dass die Spannung über die intrinsische Diode hoch genug ist, die Diode in Vorwärtsrichtung vorzuspannen. In vielen Anwendungen, die keine Stromsperrung in die eine oder die andere Richtung durch einen Schalter erfordern, bietet die intrinsische Diode eine nützliche Eigenschaft oder ist zumindest nicht abträglich.

[0004] Die elektronischen Schalter eines SMPS können sowohl in einer Leistungsstufenschaltung des SMPS als auch in einer aktiven Gleichrichterschaltung verwendet werden, und die für diese Schaltungen erforderliche Schaltersteuerung unterscheidet sich wesentlich. Man betrachte zum Beispiel ein

isoliertes SMPS, bei dem ein Transformator eine Primär- und eine Sekundärseite trennt. Elektronische Schalter mit einer Leistungsstufe auf der Primärseite können dahingehend geschaltet (gesteuert) werden, Leistung angemessen von einem Eingang zu dem Transformator und wiederum zu der Sekundärseite und einem Ausgang des SMPS zu übertragen. Die Leistungsstufe wandelt eine Gleichspannung (DC-Spannung) in eine Wechselspannung (AC-Spannung), die über den Transformator angelegt ist, um. Ein Gleichrichter wandelt die auf der Sekundärseite des Transformators induzierte AC-Spannung in eine DC-Spannung um, die am Ausgang bereitgestellt wird. Es kann ein passiver Gleichrichter, zum Beispiel eine Diodenbrücke, verwendet werden, um die DC-Spannung bereitzustellen, aber der Spannungsabfall über die Dioden führt zu einem Leistungsverlust, der in einigen Anwendungen unzulässig hoch sein kann. Insbesondere haben SMPS, die eine geringe Ausgangsspannung, zum Beispiel 3,3 V, 1,8 V, bereitstellen, einen sehr schlechten Wirkungsgrad, wenn Diodenbrücken verwendet werden, da der Spannungsabfall (in der Regel 0,7 V) über jede Diode einen großen Teil des Leistungsverbrauchs des Systems darstellt. Die Leistungseffizienz eines SMPS kann durch Verwendung von elektronischen Schaltern zum Durchführen eines aktiven Gleichrichters anstatt der Verwendung von diodenbasierter passiver Gleichrichtung stark verbessert werden. Der Spannungsabfall über einen elektronischen Schalter, der mit dem Einschaltwiderstand des Schalters in Beziehung steht, ist in der Regel deutlich geringer als der Spannungsabfall über eine Diode, und der sich ergebende Leistungsverlust, der durch einen ordnungsgemäß gesteuerten elektronischen Schalter entsteht, ist wesentlich geringer als der Leistungsverlust einer Diode.

[0005] Ein aktiver Gleichrichter ersetzt die Dioden eines passiven Gleichrichters durch elektronische Schalter. Die Schalter müssen so gesteuert werden, dass Stromfluss nur in einer Richtung gestattet wird, was bei einem MOSFET in der Richtung der intrinsischen Diode sein muss. Unterdessen werden die elektronischen Schalter der Leistungsstufe auf eine völlig verschiedene Weise gesteuert. Insbesondere wird/werden ein Tastverhältnis, die Frequenz und/oder die Phasenverschiebung, die dazu verwendet werden, die Leistungsstufenschalter zu steuern, in der Regel dahingehend eingestellt, eine gewünschte Spannung am Ausgang des SMPS aufrechtzuerhalten.

[0006] Ein bidirektionales SMPS unterstützt einen Vorwärtsleistungsfluss von einer Primär- zu einer Sekundärseite, wie oben beschrieben, und einen Rückwärtsleistungsfluss von der Sekundär- zu der Primärseite. In der Rückwärtsrichtung muss eine sekundärseitige Leistungsstufe dahingehend gesteuert werden, angemessene Energie zu übertragen, während

die Spannung auf der Primärseite gleichgerichtet werden muss.

[0007] Es sind Schaltersteuerschaltkreise erwünscht, die elektronische Schalter in verschiedenen Betriebsmodi steuern können, so dass ein elektronischer Schalter dahingehend betrieben werden kann, eine Leistungsstufe oder einen aktiven Gleichrichter zu unterstützen.

KURZDARSTELLUNG

[0008] Es werden ein Verfahren, wie in Anspruch 1 definiert, ein bidirektionales Netzteil, wie in Anspruch 5 definiert, und ein bidirektionaler DC/DC-Wandler, wie in Anspruch 13 definiert, bereitgestellt. Die abhängigen Ansprüche definieren weitere Ausführungsformen.

[0009] Gemäß einer Ausführungsform wird ein Verfahren zum Steuern eines Leistungsschalters bereitgestellt, der eine intrinsische Diode aufweist, die dazu konfiguriert ist, Strom in einer Rückwärtsrichtung des Leistungsschalters zu leiten, wobei der Strom in der Rückwärtsrichtung durch den Leistungsschalter nicht gesperrt werden kann. Das Verfahren umfasst Empfangen eines Konfigurationssignals, das einen Betriebsmodus für den Leistungsschalter anzeigt. Wenn eine Konfiguration mit aktiver Diode angezeigt wird, wird ein Strom und/oder eine Spannung des Leistungsschalters erfasst, und der Leistungsschalter wird eingeschaltet, wenn der/die erfasste Strom und/oder Spannung einen positiven Strom in der Rückwärtsrichtung durch den Leistungsschalter anzeigt. Wenn eine normale (PWM-)Konfiguration angezeigt wird, wird der Leistungsschalter als Reaktion auf das Empfangen eines Schaltersteuersignals, das anweist, dass der Leistungsschalter ausgeschaltet werden soll, ausgeschaltet und wird als Reaktion auf das Empfangen eines Schaltersteuersignals, das anweist, dass der Leistungsschalter eingeschaltet werden soll, eingeschaltet.

[0010] Gemäß einer Ausführungsform eines bidirektionalen Schaltnetzteils (SMPS) umfasst das SMPS einen ersten und einen zweiten SMPS-Anschluss zur Bereitstellung externer Verbindungen mit dem SMPS, High- und Low-Side-Schalter, eine Drosselspule, eine Steuerung und einen ersten und einen zweiten Treiberschaltkreis. Die High- und Low-Side-Schalter sind an einem Schaltknoten miteinander gekoppelt. Der High-Side-Schalter ist darüber hinaus mit dem ersten SMPS-Anschluss gekoppelt. Die Drosselspule ist elektrisch zwischen dem Schaltknoten und dem zweiten SMPS-Anschluss zwischengeordnet. Die Steuerung ist dazu konfiguriert, den Leistungsfluss zwischen dem ersten und dem zweiten SMPS-Anschluss durch Erzeugen eines Schaltersteuersignals für einen von dem High-Side- und dem Low-Side-Schalter zu steuern. Der erste Trei-

bersteuerschaltkreis ist dazu konfiguriert, den High-Side-Schalter unter Verwendung eines Modus mit aktiver Diode oder eines Normalmodus zu steuern, wobei bei dem Modus mit aktiver Diode die Leitfähigkeit des High-Side-Schalters auf einem erfassten Strom oder einer erfassten Spannung des High-Side-Schalters basiert und bei dem Normalmodus die Leitfähigkeit des High-Side-Schalters auf dem durch die Steuerung erzeugten Schaltersteuersignal basiert. Analog dazu ist der zweite Treibersteuerschaltkreis dazu konfiguriert, den Low-Side-Schalter unter Verwendung des Modus mit aktiver Diode oder des Normalmodus zu steuern, wobei bei dem Modus mit aktiver Diode die Leitfähigkeit des Low-Side-Schalters auf einem erfassten Strom oder einer erfassten Spannung des Low-Side-Schalters basiert, und bei dem Normalmodus die Leitfähigkeit des Low-Side-Schalters auf dem durch die Steuerung bereitgestellten Schaltersteuersignal basiert. Das SMPS ist dazu konfiguriert, während eines ersten Intervalls in einem ersten Modus, in dem Leistung von dem ersten zu dem zweiten SMPS-Anschluss übertragen wird, und während eines zweiten Intervalls in einem zweiten Modus, in dem Leistung von dem zweiten zu dem ersten SMPS-Anschluss übertragen wird, betrieben zu werden.

[0011] Gemäß einer Ausführungsform eines Wandlers, zum Beispiel eines DC/DC- oder eines AC/DC-Wandlers mit einer Isolierung zwischen der Primärseite und der Sekundärseite, wie zum Beispiel eines bidirektionalen Bordladegeräts (OBC, on-board charger), umfasst der Wandler einen ersten und einen zweiten Gleichstrom(DC-)Leistungsknoten, die jeweils zur Verbindung mit einer Leistungsquelle oder -senke bestimmt sind, einen Trenntransformator, der eine Primär- und eine Sekundärwicklung umfasst, eine primärseitige Leistungsstufe, eine sekundärseitige Leistungsstufe und eine Steuerung. Die primärseitige Leistungsstufe koppelt den ersten DC-Leistungsknoten mit der Primärwicklung. Die sekundärseitige Leistungsstufe koppelt die Sekundärwicklung mit dem zweiten DC-Leistungsknoten. Die sekundärseitige Leistungsstufe umfasst eine sekundärseitige Halbbrücke, die einen ersten und einen zweiten sekundärseitigen Leistungsschalter aufweist, die in einer Halbbrückenkonfiguration angeordnet sind. Die sekundärseitige Leistungsstufe umfasst ferner einen ersten und einen zweiten sekundärseitigen Schaltersteuerungsschaltkreis, die mit dem ersten bzw. zweiten sekundärseitigen Leistungsschalter gekoppelt sind. Jeder der Schaltersteuerungsschaltkreise ist für Betrieb in einem Normalmodus, in dem ein extern bereitgestelltes Schaltersteuersignal die Leitfähigkeit des mit dem Schaltersteuerungsschaltkreis gekoppelten Leistungsschalters steuert, und einem Modus mit aktiver Diode, in dem die Leitfähigkeit des mit der Schaltersteuerung gekoppelten Leistungsschalters auf einem erfassten Strom und/oder einer erfassten Spannung des Leistungsschalters basiert, konfiguriert. Die

Steuerung ist dazu konfiguriert, den Wandler während eines ersten Intervalls in einem Vorwärtsmodus, in dem Leistung von dem ersten zu dem zweiten DC-Leistungsknoten übertragen wird, und während eines zweiten Intervalls in einem Rückwärtsmodus, in dem Leistung von dem zweiten zu dem ersten Leistungsknoten übertragen wird, zu betreiben. Für den Vorwärtsmodus stellt die Steuerung die sekundärseitigen Steuerungsschaltkreise zum Betreiben der sekundärseitigen Leistungsschalter in dem Modus mit aktiver Diode ein. Für den Rückwärtsmodus stellt die Steuerung die sekundärseitigen Steuerungsschaltkreise zum Betreiben der sekundärseitigen Leistungsschalter im Normalmodus ein und erzeugt die extern bereitgestellten Steuersignale für die sekundärseitigen Leistungsschalter.

[0012] Der Fachmann wird bei Lektüre der folgenden detaillierten Beschreibung und bei Durchsicht der begleitenden Zeichnungen zusätzliche Merkmale und Vorteile erkennen.

Figurenliste

[0013] Die Elemente der Zeichnungen sind nicht zwangsweise maßstäblich in Bezug zueinander. Gleiche Bezugszahlen bezeichnen entsprechende gleiche Teile. Die Merkmale der verschiedenen dargestellten Ausführungsformen können kombiniert werden, es sei denn sie schließen einander aus. Ausführungsformen werden in den Zeichnungen gezeigt und in der nachfolgenden Beschreibung im Einzelnen angeführt.

Fig. 1 stellt ein Schaltbild eines Schaltnetzteils (SMPS) dar, das in einem Tief- oder einem Hochsetzmodus betrieben werden kann.

Fig. 2A stellt ein Schaltbild des SMPS von **Fig. 1** dar, wenn es in einem Tiefsetzmodus betrieben wird. **Fig. 2B** stellt Wellenformen dar, die dem Schaltbild von **Fig. 2A** entsprechend.

Fig. 3A stellt ein Schaltbild des SMPS von **Fig. 1** dar, wenn es in einem Hochsetzmodus betrieben wird. **Fig. 3B** stellt Wellenformen dar, die dem Schaltbild von **Fig. 3** entsprechen.

Fig. 4 stellt ein Schaltbild eines alternativen SMPS dar, in dem Stromsperrung durch Sicherheitsschalter anstatt Schalter in einer Leistungsstufe bereitgestellt wird.

Fig. 5 stellt ein Schaltbild des SMPS von **Fig. 4** dar, wenn das SMPS in einem Tiefsetzmodus betrieben wird.

Fig. 6A stellt ein Schaltbild einer Gate-Drive-Steuerung und ihrer Verbindung mit einem Leistungsschalter dar. Die **Fig. 6B** und **Fig. 6C** stellen Spannung/Strom-Beziehungen für den Leistungsschalter unter der Steuerung der Gate-Drive-Steuerung dar.

Fig. 7 stellt ein Schaltbild einer Gate-Drive-Steuerung dar, die einen Transistorspiegel zur Erfassung eines Stroms eines Leistungsschalters verwendet.

Fig. 8 stellt ein Schaltbild eines Schalterschaltkreises dar, der einen Niederspannungs- und Hochspannungsleistungsschalter verwendet.

Fig. 9 stellt ein Schaltbild eines Schalterschaltkreises mit einem Leistungsschalter, der ein Stromerfassungssignal ausgibt, dar.

Fig. 10A stellt ein Schaltbild eines Treiberschaltkreises für einen Motor/Generator dar, wobei der Treiberschaltkreis als eine Leistungsstufe zum Ansteuern des Motors/Generators oder als ein aktiver Gleichrichter zum Gleichrichten der durch den Motor/Generator erzeugten Leistung betrieben werden kann.

Fig. 10B stellt Wellenformen dar, die aus dem Motor/Generator bei Betrieb im Generatormodus ausgegebenen Strömen entsprechen.

Fig. 11 stellt ein isoliertes Bordladegerät dar, das Leistungsübertragung in die eine oder die andere Richtung unterstützt.

Fig. 12 stellt ein Verfahren zum Steuern eines Leistungsschalters entweder in einem Modus mit aktiver Diode oder einem PWM-Modus dar.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

[0014] Viele elektrische Schaltkreise beruhen auf elektronischen Schaltern zum Erzeugen von Wechselstrom(AC)-Leistung und/oder zum Gleichrichten von AC-Leistung zwecks Erzeugung von Gleichstrom (DC)-Leistung. Zum Beispiel führt ein Schaltnetzteil (SMPS, switched-mode power supply), wie zum Beispiel ein Tiefsetz- oder ein Hochsetzsteller, eine DC-Spannung von einem Netzteil ein, verwendet eine Leistungsstufe, die aus einem oder mehreren elektronischen Schaltern besteht, um die DC-Spannung in eine AC-Spannung umzuwandeln, und verwendet einen Gleichrichter zum Umwandeln der AC-Spannung in eine DC-Spannung, die an einem Ausgang bereitgestellt wird. Es gibt zahlreiche Schaltungstopologien zum Implementieren eines SMPS, einschließlich sowohl isolierter als auch nicht isolierter Spannungswandler. Beispielhafte nicht isolierte Spannungswandler beinhalten Tiefsetz- und Hochsetzsteller und verwenden eine Drosselspule als eine Energiespeicherkomponente. Isolierte Spannungswandler beinhalten zum Beispiel Sperrwandler, verwenden einen Transformator sowohl zur Energiespeicherung/-übertragung als auch zur Bereitstellung einer elektrischen (galvanischen) Isolierung zwischen dem Eingang und dem Ausgang des Wandlers. Obgleich die oben genannten Wandler hinsichtlich ihrer speziellen Schaltungstopologien variieren, sind sie insofern ähnlich, als sie jeweils einen Schalt-

kreis, der als eine Leistungsstufe betrachtet werden kann, und einen Schaltkreis, der als ein Gleichrichter betrachtet werden kann, haben. In einem nicht isolierten Tiefsetzsteller kann zum Beispiel ein einziger elektronischer Schalter die Leistungsstufe bereitstellen, während eine Diode den Gleichrichter bereitstellen kann. In einem typischen isolierten Wandler kann die Leistungsstufe eine Halbbrücke sein, die zwei elektronische Schalter beinhaltet, während der Gleichrichter eine Diodenbrücke oder dergleichen beinhalten kann.

[0015] Viele moderne Schaltungen, einschließlich einiger SMPS, verwenden eine aktive Gleichrichtung, bei der ein elektronischer Schalter verwendet wird, um Stromfluss in einer Richtung zu gestatten und Stromfluss in der anderen Richtung zu sperren, wodurch die Funktionsweise einer Diode nachgeahmt wird. Eine aktive Gleichrichtung stellt eine bessere Leistungseffizienz als eine passive Gleichrichtung basierend auf Dioden bereit, da der durch den Spannungsabfall über die Diode verschuldete Leistungsverlust stark reduziert sein kann. Eine aktive Gleichrichtung erfordert jedoch die Erzeugung von Steuersignalen für einen oder mehrere elektronische Schalter, so dass Strom nur gestattet wird, in der gewünschten Richtung zu fließen. Die Spannung über einen elektronischen Schalter kann dazu verwendet werden, zu bestimmen, wann der Schalter eingeschaltet werden sollte. Zum Beispiel beinhaltet ein typischer n-Kanal-MOSFET vom Anreicherungstyp eine Body-Diode in der Richtung von dem Source-Anschluss zu dem Drain-Anschluss des MOSFETs. Wenn die Source-Spannung größer als die Drain-Spannung ist, sollte der Schalter eingeschaltet werden, so dass positiver Strom von der Source zu dem Drain des MOSFETs fließt, ohne dass die Verwendung der Body-Diode erforderlich ist, und ohne ihren damit verbundenen Leistungsverlust. Wenn die Drain-Spannung größer als die Source-Spannung ist, sollte der Schalter ausgeschaltet werden, um zu verhindern, dass positiver Strom von dem Drain zu der Source fließt. Zusätzlich oder alternativ kann ein Stromfluss durch den Schalter auf andere Weisen überwacht oder vorhergesagt werden, zum Beispiel durch Verwendung der Spannung über einen Shuntwiderstand, eines Erfassungspfads eines Leistungsschalters (wobei ein Teil der Schalterfläche als Erfassungselement verwendet wird, KILIS) oder durch Messung der Spannung über eine Drosselspule oder Wicklung, die mit dem Schalter in Reihe geschaltet ist.

[0016] Eigens vorgesehene Steuerschaltungsanordnungen mit aktiver Diode können eine Spannung oder einen Strom des Schalters messen und die Leitfähigkeit des Schalters basierend auf solchen Messungen steuern. Die Kombination aus solchen Steuerschaltungsanordnungen und einem elektronischen Schalter stellt effektiv eine autonome aktive Diode

bereit, beispielsweise ist kein externes Steuersignal zum Steuern des elektronischen Schalters erforderlich.

[0017] Im Gegensatz zu den elektronischen Schaltern eines aktiven Gleichrichters werden die elektronischen Schalter einer Leistungsstufe basierend auf extern bereitgestellten Steuersignalen gesteuert. In einem typischen SMPS erzeugt eine Steuerung, wie zum Beispiel ein Proportional-Integral-Differenzial(PID)-Regler, Steuersignale für einen oder mehrere elektronische Schalter einer Leistungsstufe, um eine gewünschte Spannung am Ausgang des SMPS aufrechtzuerhalten.

[0018] Ein isolierter SMPS, der eine Abwärts- oder eine Aufwärtsspannungswandlung bereitstellt, weist eine primärseitige Leistungsstufe auf, die aus elektronischen Schaltern besteht, welche durch extern bereitgestellte Steuersignale, beispielsweise von einer Steuerung, die zum Regeln einer Ausgangsspannung auf der Sekundärseite betrieben wird, gesteuert werden. Solch ein SMPS kann auch einen sekundärseitigen aktiven Gleichrichter aufweisen, der aus elektronischen Schaltern besteht, die als autonome aktive Dioden betrieben werden. In einem ersten Modus wird Leistung von der Primär- zu der Sekundärseite übertragen, und die Ausgangsspannung wird bezüglich des Eingangs herab- oder heraufgesetzt. Wenn das SMPS bidirektional ist, sollte das SMPS auch in der Lage sein, in einem zweiten Modus betrieben zu werden, in dem Leistung von der Sekundär- zu der Primärseite übertragen wird, um eine sekundärseitige Eingangsspannung heraufzusetzen oder herabzusetzen und die heraufgesetzte oder herabgesetzte Spannung als eine primärseitige Ausgabe bereitzustellen. Bei bevorzugten Ausführungsformen werden die primärseitigen elektronischen Schalter durch die extern vorgesehenen Steuersignale im ersten Betriebsmodus (Primär-zu-Sekundär-Leistungsübertragung) gesteuert und werden als aktive Dioden im zweiten Betriebsmodus (Sekundär-zu-Primär-Leistungsübertragung) betrieben. Umgekehrt werden die sekundärseitigen elektronischen Schalter vorzugsweise als aktive Dioden im ersten Betriebsmodus (Primär-zu-Sekundär-Leistungsübertragung) betrieben und werden durch extern bereitgestellte Steuersignale im zweiten Betriebsmodus (Sekundär-zu-Primär-Leistungsübertragung) gesteuert.

[0019] Es werden hierin Schaltkreise und Verfahren zum Steuern von elektronischen Schaltern in mehreren Modi, einschließlich zum Beispiel einem Modus mit aktiver Diode und einem extern gesteuerten Modus, beschrieben. Für sicherheitskritische Anwendungen kann die Schaltersteuerung auch Schutzmodi beinhalten, in denen der Betrieb mit aktiver Diode oder der extern gesteuerte Betrieb als Reaktion auf das Detektieren von Fehlern, wie zum Beispiel einem Kurzschluss oder Überstromzustand, übersteuert

ert werden kann. Diese Schaltkreise und Verfahren finden besondere Anwendung in bidirektionalen SMPS, in denen ein oder mehrere elektronische Schalter extern gesteuert werden können, um eine Leistungsstufe bereitzustellen, oder in einen Modus mit aktiver Diode gesetzt werden können, um Gleichrichtung bereitzustellen. Obgleich die Schaltkreise und Verfahren in erster Linie im Zusammenhang mit SMPS beschrieben werden, können auch andere Vorrichtungen diese Schaltkreise und Verfahren vorteilhaft verwenden. Zum Beispiel können die elektronischen Schalter einer Brückenschaltung in einem Motormodus aktiv gesteuert werden, um eine Richtung und/oder Geschwindigkeit eines Elektromotors/Generators aktiv zu steuern. In einem Generatormodus können die elektronischen Schalter der Brückenschaltung in einen Modus mit aktiver Diode gesetzt werden, um eine aktive Gleichrichtung bereitzustellen, wenn der Motor/Generator in einem Erzeugungsmodus betrieben wird.

[0020] Zur Klarheit der Erläuterung werden Erfindungen anhand von besonderen Ausführungsbeispielen beschrieben. Es sollte auf der Hand liegen, dass die nachfolgenden Beispiele nicht einschränkend sein sollen. Schaltkreise und Techniken, die in der Technik wohlbekannt sind, werden nicht im Detail beschrieben, um eine Verschleierung einzigartiger Aspekte der Erfindung zu vermeiden. Merkmale und Aspekte der Ausführungsbeispiele können kombiniert oder neu angeordnet werden, außer dort, wo der Kontext dies nicht gestattet.

[0021] Die Beschreibung beginnt mit einer Ausführungsform eines nicht isolierten bidirektionalen Tiefsetz-/Hochsetzstellers, der dazu konfiguriert ist, in einem ersten Modus, in dem Leistung in einer Vorwärtsrichtung übertragen wird, und in einem zweiten Modus, in dem Leistung in eine Rückwärtsrichtung übertragen wird, betrieben zu werden. Elektronische Schalter in diesem Tiefsetz-/Hochsetzsteller werden in einem Modus mit aktiver Diode, einem extern gesteuerten oder geschützten Modus betrieben. An die Beschreibung des Tiefsetz-/Hochsetzstellers schließen sich eine detailliertere Beschreibung einer Gate-Treibersteuerschaltungsanordnung an, die bei der Bereitstellung der verschiedenen Betriebsmodi verwendet wird und die durch den Tiefsetz-/Hochsetzsteller oder durch andere Anwendungen verwendet werden kann. Als Nächstes wird die Verwendung der Gate-Treibersteuerschaltungsanordnung für eine Motor/Generator-Steuerung beschrieben. In einem anderen Beispiel wird ein isoliertes Bordladegerät beschrieben, in dem ein Primär- und Sekundärsatz von elektronischen Schaltern in einem Modus mit aktiver Diode oder einem extern gesteuerten Modus betrieben werden kann. Schließlich wird ein Verfahren zum Steuern eines Leistungsschalters in einem Modus mit aktiver Diode oder einem extern gesteuerten Modus beschrieben.

Tiefsetzsteller mit Sicherheitsschutzschaltern

[0022] Fig. 1 stellt einen nicht isolierten bidirektionalen Spannungswandler **100**, der entweder in einem Tiefsetz- oder einem Hochsetzmodus betrieben werden kann, und eine erste und eine zweite Batterie BAT1, BAT2, die mit dem Spannungswandler **100** verbunden sind, dar. In Abhängigkeit von der Leistungsflussrichtung kann jede Batterie entweder als eine Leistungsquelle oder als eine Leistungssenke (Last) betrieben werden. Wie dargestellt ist, weist die erste Batterie BAT1 eine erste Spannung V_1 auf, die höher als die Spannung V_2 der zweiten Batterie ist. Die erste Batterie BAT1 kann zum Beispiel eine Nennspannung von 48V haben, während die zweite Batterie BAT2 eine Nennspannung von 12V haben kann. Der Spannungswandler **100**, wie in Fig. 1 dargestellt, kann dazu verwendet werden, Energie zwischen zwei Energiequellen für zum Beispiel eine Kraftfahrzeuganwendung in die eine oder die andere Richtung zu übertragen. Wenn Energie von der ersten Batterie BAT1 zu der zweiten Batterie BAT2 übertragen wird, wird der Spannungswandler **100** in einem Tiefsetzmodus (Abwärtsregelungsmodus) betrieben, und die zweite Batterie BAT2 wird aufgeladen. Wenn Energie in die entgegengesetzte Richtung übertragen wird, wird der Spannungswandler **100** in einem Hochsetzmodus (Aufwärtsregelungsmodus) betrieben, um die erste Batterie BAT1 aufzuladen. Somit ist der Spannungswandler **100** ein Tiefsetz-Hochsetzsteller.

[0023] Der Spannungswandler **100** umfasst einen ersten Anschluss **102** zur Verbindung mit einer externen Leistungsquelle/-senke, wie zum Beispiel der ersten Batterie BAT1, und einen zweiten Anschluss **104** zur Verbindung mit einer anderen externen Leistungsquelle/-senke, wie zum Beispiel der zweiten Batterie BAT2. Zusätzlich zu den dargestellten Batterien BAT1, BAT2 können auch zusätzliche Leistungsquellen/-senken, wie zum Beispiel Motoren oder Generatoren, mit den Anschlüssen **102**, **104** des Spannungswandlers **100**, beispielsweise parallel zu den Batterien BAT1, BAT2, verbunden sein. Der Spannungswandler **100** beinhaltet einen High-Side-Schalter TH, einen High-Side-Gate-Treiber **112H** zum Ansteuern des Schalters TH und eine High-Side-Gate-Drive-Steuerung **120H** zum Steuern des Gate-Treibers **112H**, die zusammen einen High-Side-Schalterschaltkreis **110H** bilden. Die Komponenten des High-Side-Schalterschaltkreises **110H** können monolithisch integriert sein. Der Spannungswandler **100** beinhaltet einen ähnlichen Low-Side-Schalterschaltkreis **110L**, der einen Low-Side-Schalter TL, einen Low-Side-Gate-Treiber **112L** und eine Low-Side-Gate-Drive-Steuerung **120L** beinhaltet. Der Spannungswandler **100** beinhaltet zusätzlich eine Drosselspule L1 und kann wahlweise einen Schutztrennschaltkreis **150** beinhalten. Der Schutzschaltkreis **150** beinhaltet Schutzschalter T1, T2, die durch jewei-

lige Gate-Treiber **152**, **154** angesteuert werden. Der Schutzschaltkreis **150** ist für sicherheitskritische Anwendungen, einschließlich Kraffahrzeuganwendungen, aufgenommen und kann dazu verwendet werden, die Batterien BAT1, BAT2 voneinander oder von Masse im Falle beispielsweise einer kurzen Störung über einen der Schalter TH, TL, zu trennen.

[0024] Im Vergleich zu einer bekannten Spannungswandlersteuerung ermöglichen die High-Side- und Low-Side-Gate-Drive-Steuerungen **120H**, **120L**, dass der Spannungswandler **100** einen zugehörigen Schalter in einem von mehreren Modi steuert, und gestatten dadurch, dass jeder der Schalterschaltkreise **110H**, **110L** in mehreren Modi, einschließlich eines pulsbreitenmodulierten (PWM-)Modus und eines Modus mit aktiver Diode, wie durch die Modussignale MODE1, MODE2 angezeigt, betrieben wird. Darüber hinaus können die Modussignale Sicherheitsabschaltmodi anzeigen, in denen ein Schalter als Reaktion auf eine externe oder interne Anzeige eines Fehlers ausgeschaltet werden sollte. Die verschiedenen Modi werden weiter unten in Verbindung mit den Beschreibungen der **Fig. 2A**, **Fig. 2B**, **Fig. 3A** und **Fig. 3B** näher erläutert.

[0025] Der Spannungswandler **100** beinhaltet ferner eine Steuerung **190**, die Steuersignale für die Gate-Drive-Steuerungen **120H**, **120L** und den Schutzschaltkreis **150** erzeugt. Ein durch die Steuerung **190** erzeugtes erstes Modussignal MODE1 zeigt an, ob die High-Side-Gate-Drive-Steuerung **120H** in einem PWM-Modus, einem Modus mit aktiver Diode oder einem anderen betrieben werden sollte. Wenn das erste Modussignal MODE1 den PWM-Modus anzeigt, steuert ein durch die Steuerung **190** erzeugtes erstes PWM-Signal PWM1 die Leitfähigkeit des High-Side-Schalters TH über den Gate-Treiber **112H**. Zum Beispiel kann ein PID-Regler innerhalb der Steuerung **190** das erste PWM-Signal PWM1 erzeugen, um eine gewünschte Soll-Spannung über die Batterie BAT2 aufrechtzuerhalten. Wenn das erste Modussignal MODE1 den Modus mit aktiver Diode anzeigt, wird das Signal PWM1 durch die High-Side-GD-Steuerung **120H** ignoriert und die Leitfähigkeit des High-Side-Schalters TH basiert auf dem Strom I_{TH} durch den High-Side-Schalter TH, einer Drain-Source-Spannung V_{DS,TH} des High-Side-Schalters TH oder einem ähnlichen Signal des High-Side-Schalterschaltkreises **110H**. Auf diese Weise kann der High-Side-Schalterschaltkreis **110H** in dem Modus mit aktiver Diode autonom betrieben werden ohne sich auf PWM-Steuersignale von der Steuerung **190** zu verlassen. In diesem Modus braucht die Steuerung **190** kein Steuersignal PWM1 zu erzeugen und braucht keine Ströme oder Spannungen des High-Side-Schalters TH dazu zu erfassen. Zusätzlich zu der Entlastung der Steuerung **190** von der Erzeugung des ersten PWM-Steuersignals PWM1 können Verzögerungen bei der Erfassung von Strömen oder

Spannungen durch die Steuerung **190** eliminiert oder zumindest reduziert werden.

[0026] Entsprechende Modus- und PWM-Signale MODE2, PWM2 konfigurieren und steuern auf ähnliche Weise die Low-Side-GD-Steuerung **120L**. Die Sicherheitsschalter T1, T2 des Schutzschaltkreises **150** werden durch das Sicherheitssteuersignal CTRL_SAFETY, das durch die Steuerung **190** erzeugt wird, eingeschaltet. Wenn die Steuerung einen Fehler in dem Spannungswandler **100**, zum Beispiel übermäßigen Stromfluss von einer der Batterien BAT1, BAT2 oder eine Batteriespannung V1, V2 außerhalb eines normalen (Nicht-Fehler-)Bereichs detektiert, schaltet die Steuerung **190** die Sicherheitsschalter T1, T2 unter Verwendung des Sicherheitssteuersignals CTRL_SAFETY ab.

[0027] Die Steuerung **190** und ihre Bestandteile können unter Verwendung einer Kombination aus analogen Hardwarekomponenten (wie zum Beispiel Transistoren, Verstärkern, Dioden, Widerständen, Analog-Digital-Wandlern) und einer Prozessorschaltungsanordnung, die in erster Linie digitale Komponenten beinhaltet, implementiert werden. Die Prozessorschaltungsanordnung kann eines oder mehrere von einem digitalen Signalprozessor (DSP), einem Allzweckprozessor und einer anwendungsspezifischen integrierten Schaltung (ASIC) beinhalten. Die Steuerung **190** kann auch Speicher, wie zum Beispiel nichtflüchtigen Speicher wie beispielsweise Flash, der Anweisungen oder Daten zur Verwendung durch die Prozessorschaltungsanordnung beinhaltet, und ein oder mehrere Zeitglieder beinhalten. Die Steuerung **190** führt Sensorsignale, wie zum Beispiel Signale, die der Batteriespannung V1, V2 und dem Strom I_L der Drosselspule L1 entsprechen, zu.

[0028] Die High- und Low-Side-Schalter TH, TL, die in **Fig. 1** dargestellt sind, sind Metall-Oxid-Halbleiter-Feldeffekttransistoren (MOSFETs) vom Anreicherungstyp, aber es können auch andere Schaltertypen verwendet werden. Zum Beispiel werden möglicherweise Sperrschicht-Feldeffekttransistoren (JFETs), Bipolartransistoren (BJTs), Bipolartransistoren mit isoliertem Gate (IGBTs), Transistoren mit hoher Elektronenmobilität (HEMTs) oder andere Typen von Leistungstransistoren in einigen Anwendungen bevorzugt. Es sei darauf hingewiesen, dass nicht alle dieser Schaltertypen intrinsische Dioden haben. Die bei den nachfolgenden Ausführungsformen beschriebenen Leistungsschalter sind auch als MOSFETs dargestellt, können aber durch andere Schaltertypen ersetzt werden.

[0029] **Fig. 2A** stellt ein Schaltbild **200** bereit, das dem Spannungswandler **100** von **Fig. 1** entspricht, wenn der Spannungswandler **100** in einem Tiefsetzbetriebsmodus betrieben wird. **Fig. 2B** stellt Wellenformen dar, die dem Tiefsetzmodusbetrieb dieses

Spannungswandlers entsprechen. Der dargestellte Spannungswandler **200** führt Leistung von der Batterie BAT1 mit einer Spannung von 48V zu und gibt Leistung an (lädt) die Batterie BAT2 mit einer Spannung von 12V ab. Die Steuerung **190**, die für eine übersichtliche Darstellung nicht gezeigt ist, erzeugt die Signale MODE1, MODE2 und PWM1 zum Steuern der High- und Low-Side-Schalterschaltkreise **110H**, **110L**.

[0030] Das Modussignal für den High-Side-Schalterschaltkreis **110H** ist auf PWM_MODE (PWM-Modus) gesetzt, so dass der High-Side-Schalter TH durch das Steuersignal PWM1 gesteuert wird. Das Low-Side-Modussignal ist auf ACTIVE_DIODE_MODE (Modus mit aktiver Diode) gesetzt, wodurch der Low-Side-Schalterschaltkreis **110L** so eingestellt wird, dass er nur positiven Stromfluss in die dargestellte Richtung I_{FW} gestattet. Der Low-Side-Schalter TL ist als eine Freilaufdiode dargestellt, aber es sollte auf der Hand liegen, dass dies durch innere Steuerung, innerhalb des Low-Side-Schalterschaltkreises **110L**, des einzuschaltenden Schalters TL erreicht wird, wenn der Low-Side-Schalter TL ansonsten Stromfluss durch seine Body-Diode haben würde. Die Steuerung **190** muss das Schaltersteuersignal PWM2 für den Low-Side-Schalter TL erzeugen; der Low-Side-Schalterschaltkreis **110L** wird basierend auf (einer) intern erfassten Spannung(en) und/oder eines intern erfassten Stroms bzw. intern erfasster Ströme autonom betrieben.

[0031] Ein positiver Strom I_P fließt durch den High-Side-Schalter TH und die Drosselspule L1, wenn der High-Side-Schalter TH eingeschaltet ist. Ein positiver Strom I_{FW} fließt durch den Low-Side-Schalter TL und die Drosselspule L1, wenn der Low-Side-Schalter TL eingeschaltet ist. Beide dieser Ströme I_P , I_{FW} fließen durch die Drosselspule L_L und entsprechen dem Drosselspulenstrom I_L .

[0032] Fig. 2B stellt eine Wellenform **204** für das High-Side-Steuersignal PWM1 und eine Wellenform **202** für den Drosselspulenstrom I_L dar. Während positiver Intervalle, die mit ‚P‘ bezeichnet werden, schaltet das Steuersignal PWM1 den High-Side-Schalter TH über die High-Side-GD-Steuerung **120H** ein, was zu einer Zunahme des Drosselspulenstroms I_L führt. An jedem positiven Intervall schließt sich ein Freilaufintervall, das mit ‚F‘ bezeichnet wird, an, während dessen der Drosselspulenstrom I_L abnimmt. Die Rate, mit der der Strom I_L während dieser Intervalle P, F zunimmt oder abnimmt, wird durch die Spannungsdifferenz über die Drosselspule L1, das heißt V_1-V_2 , wenn Spannungsabfälle über die Schalter ignoriert werden, und die Induktivität der Drosselspule L1 bestimmt. Wenn der Strom I_L während eines Freilaufintervalls auf null abfällt, schließt sich ein Null-Intervall, das mit ‚Z‘ bezeichnet wird, dem Freilaufintervall an, und der Spannungswandler **200** wird in einem DCM

(DCM, discontinuous conduction mode, nichtkontinuierlicher Stromfluss) betrieben. Wenn das High-Side-Steuersignal PWM1 immer wieder aktiviert wird, bevor der Strom I_L während jedes der Freilaufintervalle auf null abfällt, oder wenn dem Strom I_L gestattet wird, negativ zu werden, wird der Spannungswandler **200** im CCM (CCM, continuous conduction mode, kontinuierlicher Stromfluss) betrieben. DCM bietet Energiesparvorteile für Wandler, die oftmals in Energiesparmodi betrieben werden, während CCM eine einfachere Steuerung für einige Topologien bietet.

[0033] Fig. 3A stellt ein Schaltbild **300** eines Spannungswandlers dar, der in einem Hochsetzbetriebsmodus betrieben wird, das heißt wo Leistung von der zweiten Batterie BAT2 zu der ersten Batterie BAT1 fließt. Fig. 3B stellt Wellenformen dar, die dem Hochsetzbetriebsmodus dieses Spannungswandlers entsprechen. Die Steuerung **190**, die für eine übersichtliche Darstellung nicht gezeigt wird, erzeugt die Signale MODE1, MODE2 und PWM2 zum Steuern der High- und Low-Side-Schalterschaltkreise **110H**, **110L**. Positiver Strom I_{BOOST} fließt in die dargestellte Richtung, die der in Fig. 2A gezeigten Richtung I_L entgegengesetzt ist.

[0034] Das Modussignal für den Low-Side-Schalterschaltkreis **110L** ist auf PWM_MODE (PWM-MODUS) gesetzt, so dass der Low-Side-Schalter TL durch das Steuersignal auf PWM2 gesteuert wird. Das High-Side-Modussignal ist auf ACTIVE_DIODE_MODE (Modus mit aktiver Diode) gesetzt, wodurch der High-Side-Schalterschaltkreis **110H** so eingestellt wird, dass er nur positiven Stromfluss in die dargestellte Richtung I_{FW} gestattet. Der High-Side-Schalter TH ist als eine Freilaufdiode dargestellt, aber es sollte auf der Hand liegen, dass dies durch innere Steuerung des einzuschaltenden Schalters TH erreicht wird, wenn der High-Side-Schalter TH ansonsten Stromfluss durch seine Body-Diode haben würde. Die Steuerung **190** muss das Schaltersteuersignal PWM1 für den High-Side-Schalter TH erzeugen; der High-Side-Schalterschaltkreis **110H** wird basierend auf (einer) intern erfassten Spannung(en) und/oder eines intern erfassten Stroms bzw. intern erfasster Ströme autonom betrieben.

[0035] Ein positiver Strom I_P fließt durch die Drosselspule L_L und den Low-Side-Schalter TL, wenn der Low-Side-Schalter TL eingeschaltet ist. Ein positiver Strom I_{FW} fließt durch die Drosselspule L1 und den High-Side-Schalter TH, wenn der High-Side-Schalter TH eingeschaltet ist. Beide dieser Ströme I_P , I_{FW} fließen durch die Drosselspule L_L und entsprechen dem Hochsetzstrom I_{BOOST} .

[0036] Fig. 3B stellt eine Wellenform **304** für das Low-Side-Steuersignal PWM2 und eine Wellenform **302** für den Hochsetzstrom I_{BOOST} dar. Während positiver Intervalle, die mit ‚P‘ bezeichnet werden, schal-

tet das Steuersignal PWM2 den Low-Side-Schalter TL über die Low-Side-GD-Steuerung **120L** ein, was zu einer Zunahme des Hochsetzstroms I_{BOOST} führt. An jedem positiven Intervall P schließt sich ein Freilaufintervall, das mit ‚F‘ bezeichnet wird, an, während dessen der Hochsetzstrom I_{BOOST} abnimmt. Wie bei dem oben beschriebenen Tiefsetzbetrieb schließt sich, wenn der Strom I_{BOOST} während eines Freilaufintervalls auf null abfällt, ein Null-Intervall, das mit ‚Z‘ bezeichnet wird, dem Freilaufintervall an, und der Spannungswandler **300** wird in einem DCM betrieben.

[0037] Fig. 4 stellt ein Schaltbild **400** für eine alternative Konfiguration eines Tiefsetz-/Hochsetzstellers dar. Der Spannungswandler **400** ähnelt dem Wandler **100** von Fig. 1, aber die aktive Gleichrichtung wird durch den Sicherheitsschaltkreis **450** anstatt dem High- oder Low-Side-Schalter TH, TL bereitgestellt.

[0038] Der High- und Low-Side-Schalter TH, TL und ihre jeweiligen Gate-Treiber **412H**, **412L** sind in einer Halbbrückenkonfiguration angeordnet. Ein Wechselrichter **430** ist so konfiguriert, dass der Low-Side-Schalter TL eingeschaltet wird, wann immer der High-Side-Schalter TH ausgeschaltet wird, und umgekehrt. (Darüber hinaus ist in der Regel eine kurze Totzeit, während der keiner der Schalter eingeschaltet ist, an Schalterübergängen enthalten, um einen Brückenkurzschluss zu vermeiden. Für eine übersichtliche Darstellung wird eine Schaltungsanordnung zum Implementieren solcher Totzeitintervalle nicht explizit gezeigt.) Diese Anordnung vermeidet die Verwendung von High- und Low-Side-GD-Steuerungen **110L**, **110H**, wodurch die Leistungsstufe vereinfacht wird. Eine Steuerung steuert die Schalter TH, TL unter Verwendung eines einzigen PWM-Steuersignals entweder für den Tiefsetz- oder Hochsetzmodus. Ohne irgendeine andere Gleichrichtung führt diese Anordnung zu CCM, was in einigen Situationen zu unerwünschten Stromflüssen führen kann.

[0039] Zur Bewältigung dieses Problems ist der Sicherheitsschaltkreis **450** dazu konfiguriert, auch eine aktive Gleichrichtung bereitzustellen. Zusätzlich zu den Sicherheitsschaltern T1, T2 und ihren jeweiligen Treibern **452**, **454** beinhaltet der Sicherheitsschaltkreis **450** eine GD1-Steuerung **461** und eine GD2-Steuerung **462**. Diese Steuerungen **461**, **462** sind ähnlich wie die Steuerungen **120L**, **120H** von Fig. 1 konfiguriert. Insbesondere kann jede der GD-Steuerungen **461**, **462** in mehreren Modi, einschließlich eines Direktsteuermodus, der dem bei der Steuerung **110H**, **110L** beschriebenen PWM-Modus ähnelt, und eines aktiven Modus betrieben werden. Die Modussignale MODE1, MODE2 bestimmen den Modus (zum Beispiel Direktsteuerung oder Modus mit aktiver Diode) für die GD-Steuerungen **461**, **462**, während die Steuereingaben CTRL1, CTRL2 die Leitfähigkeit der Schalter T1, T2, wenn der Modus auf den

Direktsteuermodus gesetzt ist, bestimmen. Der Modus und die Steuersignale MODE1, MODE2, CTRL1, CTRL2 werden in der Regel durch eine Steuerung, wie zum Beispiel die zuvor beschriebene Steuerung **190**, erzeugt. Für eine übersichtliche Darstellung ist solch eine Steuerung nicht gezeigt.

[0040] Wenn das erste Modussignal MODE1 auf den Modus mit aktiver Diode gesetzt ist, wird die Leitfähigkeit des ersten Schalters T1 so gesteuert, dass der Schalter T1 eingeschaltet wird, wann immer Strom ansonsten durch die Body-Diode des Schalters T1 fließen würde. Bei dem dargestellten MOSFET entspricht dies einem von dem Source-Anschluss zu dem Drain-Anschluss des Schalters T1 fließenden Strom. Solch ein Betrieb erfordert keinen Eingriff von außen, zum Beispiel die Erzeugung eines Schaltersteuersignals von einer Steuerung. In dem Modus mit aktiver Diode wird der erste Schalterschaltkreis, der aus dem ersten Schalter T1, dem ersten Gate-Treiber **452** und der GD1-Steuerung **461** besteht, autonom betrieben, um Aktivdiodenfunktionalität bereitzustellen. Es sei darauf hingewiesen, dass der Modus auch ohne Bereitstellung des dedizierten Modussteuersignals MODE1, wie gezeigt, gesetzt werden kann, zum Beispiel kann der Modus in einem Konfigurationsregister der GD1-Steuerung **461** gespeichert sein. Die GD2-Steuerung **462**, der zweite Gate-Treiber **454** und der zweite Sicherheitsschalter T2 werden auf ähnliche Weise wie die oben beschriebene betrieben.

[0041] Fig. 5 stellt ein Schaltbild **500** dar, das dem Spannungswandler **400** von Fig. 4 entspricht, wenn der Spannungswandler **400** in einem Tiefsetzbetriebsmodus betrieben wird. Für die GD1-Steuerung **461** ist der erste Modus MODE1 auf den Direktsteuermodus (DIRECT_CTRL-MODE) eingestellt, und der erste Steuereingang CTRL1 ist auf EIN eingestellt, so dass der erste Schalter T1 leitet. Der Modus MODE2 der GD2-Steuerung **462** ist auf den Modus mit aktiver Diode (Active_Diode_Mode) gesetzt, in dem der zweite Steuereingang CTRL2 nicht verwendet wird. In diesem Modus verwendet die GD2-Steuerung **462** eine Spannung oder einen Strom des zweiten Schalters T2, um den zweiten Schalter T2 einzuschalten, wann immer ein potenzieller Stromfluss in die Richtung von dem Schalter-Source-Anschluss zu dem Schalter-Drain-Anschluss, das heißt in die Richtung positiven Stromflusses I_L , besteht. Die GD2-Steuerung **462** erfasst einen Strom, zum Beispiel I_L oder eine Spannung, zum Beispiel die Drain-Source-Spannung V_{T2-DS} , des zweiten Sicherheitsschalters T2 zum Bestimmen, wann der zweite Sicherheitsschalter T2 eingeschaltet werden soll, um Stromfluss in die gewünschte Richtung, das heißt zu der zweiten Batterie BAT2, zu gestatten. Solch ein Betrieb gestattet DCM und seine zugehörigen Energieparavorteile während Perioden geringer Leistungsübertragung bei Verwendung einer herkömmlichen

Halbbrücke und einer relativ einfachen Steuerung für die Leistungsstufe. Die resultierende PWM-Steuerung der Halbbrücke und der Drosselspulenstrom I_L ähneln den Wellenformen **204**, **202**, die in **Fig. 2B** dargestellt sind.

[0042] Obgleich dies nicht explizit dargestellt ist, kann der Spannungswandler **400** von **Fig. 4** auch in einem Hochsetzmodus betrieben werden, indem die GD1-Steuerung **461** auf den Modus mit aktiver Diode gesetzt wird, die GD2-Steuerung **462** auf den Direktsteuermodus gesetzt wird und der zweite Steuerungseingang CTRL2 auf EIN gesetzt wird. Solch ein Betrieb gestattet nur positiven Strom in die Richtung von dem zweiten Anschluss **104** zu dem ersten Anschluss **102**, das heißt entgegengesetzt der dargestellten Stromflussrichtung I_L . Solch eine Konfiguration gestattet auch DCM, während die Halbbrücke (TH, TL) auf einfache Weise betrieben wird, und führt zu PWM und Stromwellenformen **304**, **302** ähnlich den in **Fig. 3B** dargestellten.

Gate-Drive-Steuerung

[0043] **Fig. 6A** stellt eine Gate-Drive-Steuerung **620** dar, wie sie für irgendeine der Gate-Drive-Steuerungen **120H**, **120L**, **461**, **462**, die zuvor in Verbindung mit dem **Fig. 1** und **Fig. 4** beschrieben wurden, verwendet werden könnte. Die Gate-Drive-Steuerung **620** stellt ein Steuersignal CTRL_TPWR zum Ansteuern des Gate-Treibers **612** bereit, der wiederum einen Leistungsschalter T_{PWR} ansteuert. Der Leistungsschalter T_{PWR} könnte ein beliebiger von den oben beschriebenen High-Side-, Low-Side- oder Sicherheitsschaltern TH, TL, T1, T2 sein. Die Gate-Drive-Steuerung **620** umfasst einen Gate-Drive-Signalgenerator **622**, eine Aktivdiodensteuerung **624**, einen Fehlerdetektor **626**, einen Stromsensor **6282** und einen Spannungssensor **6284**.

[0044] Der Betrieb im Modus mit aktiver Diode wird unter Verwendung der Aktivdiodensteuerung **624** und eines oder beider der Sensoren **6282**, **6284** implementiert. Der Spannungssensor **6284** ist dazu konfiguriert, die Drain-Source-Spannung des Leistungsschalters T_{PWR} zu messen und das Ergebnis V_{DS_TPWR} an die Aktivdiodensteuerung **624** zu liefern. Der Stromsensor **6282** ist dazu konfiguriert, einen Strom **614** des Leistungstransistors T_{PWR} zu messen und das Ergebnis I_{TPWR} an die Aktivdiodensteuerung **624** zu liefern. Der Strom I_{TPWR} kann zum Beispiel unter Verwendung eines Shuntwiderstands in Reihe mit dem Leistungsschalter T_{PWR} unter Verwendung eines DCR-Schaltkreises oder unter Verwendung der Drain-Source-Spannung V_{DS_TPWR} , des Leistungstransistors T_{PWR} erfasst werden.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform aktiviert ein Einschalt-Trigger **6244** ein Aktivdiodensteuersignal AD_CTRL, wenn die Drain-Source-Spannung V_{DS_TPWR} unter einem Aktivierungsschwellenwert

V_{DS_THR} , der negativ ist, liegt. Anders ausgedrückt, die Source-Drain-Spannung des Leistungstransistors T_{PWR} sollte über einem Schwellenwert liegen, der verhindert, dass die Body-Diode Strom durch den Leistungsschalter T_{PWR} führt. Zum Beispiel kann die Body-Diode bei einer Source-Drain-Spannung von 0, 7 V in Vorwärtsrichtung vorgespannt sein, in welchem Fall dann der Leistungsschalter T_{PWR} eingeschaltet werden sollte, wenn die Drain-Source-Spannung V_{DS_TPWR} unter beispielsweise -0,1 V oder -0,2 V liegt. (Anders ausgedrückt, die Source-Drain-Spannung liegt über 0,1 V oder 0,2V.)

[0045] Im Modus mit aktiver Diode wird der Leistungsschalter T_{PWR} vorzugsweise ausgeschaltet, wenn der Strom durch den Schalter T_{PWR} null ist, wie durch den Stromsensor **6282** erfasst wird. Aufgrund von Verzögerungen des GD-Signalgenerators **622** und des Gate-Treibers **612** kann es wünschenswert sein, das Ausschalten des Leistungsschalters T_{PWR} auszulösen, bevor der Strombetrag null erreicht. Dies erfolgt durch einen Ausschaltauslöseschaltkreis **6242** der Aktivdiodensteuerung **624**, der den erfassten Strom I_{TPWR} mit einem Schwellenwert I_{TPWR_THR} vergleicht und das Aktivdiodensteuersignal AD_CTRL als Reaktion auf das Detektieren, dass der Betrag dieses Stroms den Betrag des Schwellenstroms I_{TPWR_THR} erreicht, deaktiviert. Für die dargestellte Stromrichtung I_{LOAD} ist der Schwellenwert I_{TPWR_THR} ein geringer negativer Wert, und das Ausschalten des Schalters wird ausgelöst, wenn $I_{LOAD} > I_{TPWR_THR}$, wobei der Strom I_{LOAD} negativ ist, wenn Strom in die Richtung der Body-Diode des Leistungsschalters T_{PWR} strömt.

[0046] Bei bevorzugten Ausführungsformen führt die Body-Diode keinen Strom. Wenn der Leistungsschalter zu früh ausgeschaltet wird, kann die Body-Diode aktiviert werden, was zu einer plötzlichen Änderung der Drain-Source-Spannung des Leistungsschalters T_{PWR} führt. Dies kann wiederum zu einer ungewünschten elektromagnetischen Interferenz (EMI, electromagnetic interference) führen. Um solche Probleme zu vermeiden, kann der Stromschwellenwert I_{TPWR_THR} so eingestellt werden, dass der Schalter T_{PWR} erst dann ausgeschaltet wird, wenn sich die Stromrichtung I_{LOAD} umkehrt und eine geringe Höhe positiven Stroms in die dargestellte Richtung von I_{LOAD} fließt.

[0047] Die oben beschriebene Aktivdiodensteuerung **624** verwendet die erfasste Spannung V_{DS_TPWR} zum Auslösen des Einschaltens des Schalters T_{PWR} und verwendet den erfassten Strom I_{TPWR} zum Auslösen des Ausschaltens des Schalters T_{PWR} . Bei anderen Ausführungsformen kann die erfasste Spannung V_{DS_TPWR} dazu verwendet werden, den Leistungsschalter T_{PWR} sowohl ein- als auch auszuschalten. Das Detektieren geringer Spannungspegel, die zum genauen Ausschalten des Leistungsschalters

T_{PWR} bei einem Strom von nahe null erforderlich sind, ist schwierig, weshalb die bevorzugten Ausführungsformen den erfassten Strom I_{TPWR} zum Auslösen des Ausschaltens verwenden. Bei noch weiteren Ausführungsformen kann der erfasste Strom I_{TPWR} dazu verwendet werden, sowohl das Ein- als auch das Ausschalten auszulösen. Bei solch einer Ausführungsform erfordert das Einschalten einen gewissen Stromfluss in die Richtung der Body-Diode, um den erfassten Strom I_{TPWR} in der gewünschten Richtung zu detektieren. Dies bedeutet, dass die Body-Diode bei jedem Einschaltübergang für mindestens eine kurze Zeitdauer verwendet wird, was einen unnötigen Leistungsverlust und potenziell einen hohen Grad an EMI mit sich bringt. Somit ist diese Technik nicht bevorzugt.

[0048] Der Gate-Drive(GD)-Signalgenerator **622** erzeugt das Schaltersteuersignal CTRL_TPWR basierend auf einem Modus, einem Sicherheitsdeaktivierungssignal (SAFETY-DIS), einem PWM-Steuersignal (PWM_CTRL) und einem Aktivdiodensteuersignal (AD_CTRL). Wenn der Modus den Modus mit aktiver Diode anzeigt, basiert der GD-Signalgenerator **622** seine Ausgabe auf dem durch die Aktivdiodensteuerung **624** innerhalb des GD-Signalgenerators **622** bereitgestellten Aktivdiodensteuersignal (AD_CTRL). Wenn der Modus einen PWM-(Direktsteuerungs-)Modus anzeigt, basiert das Schaltersteuersignal CTRL_TPWR auf dem extern bereitgestellten PWM-Steuersignal. Darüber hinaus kann ein Sicherheitsdeaktivierungs-(SAFETY_DIS-)Signal den GD-Signalgenerator **622** statisch deaktivieren. Das SAFETY_DIS-Signal kann durch eine Steuerung, wie zum Beispiel die Steuerung **190**, erzeugt werden, wenn in dem System ein Fehler detektiert wird, und der Leistungsschalter T_{PWR} sollte deaktiviert werden, um den Stromfluss anzuhalten.

[0049] Der Fehlerdetektor **626** kann die Spannung V_{DS_TPWR} oder den Strom I_{TPWR} des Leistungsschalters T_{PWR} zum Detektieren von Fehlern verwenden. Zum Beispiel können eine Spannung V_{DS_TPWR} oder ein Strom I_{TPWR} mit einem Betrag über einem akzeptablen Wert auf ein Problem hinweisen, in welchem Fall dann der Fehlerdetektor **626** ein Fehlerdetektionssignal FAULT_DET ausgibt. Das Fehlerdetektionssignal kann von der Gate-Drive-Steuerung **620** ausgegeben werden und kann auch dem GD-Signalgenerator **622** zugeführt werden, um das Steuersignal CTRL_TPWR zu deaktivieren. Der Fehlerdetektor **626** wird vorzugsweise sowohl während des Modus mit aktiver Diode als auch des PWM-Modus betrieben. In dem Modus mit aktiver Diode werden die Aktivdiodensteuerung **624** und der Fehlerdetektor **626** dahingehend betrieben, den Leistungsschalter T_{PWR} einzuschalten, wenn der Strom I_{LOAD} in einem Bereich zwischen dem Schwellenstrom I_{TPWR_THR} und einem Sicherheitsabschaltsschwellenwert I_{TPWR_SAFETY} liegt, wobei die Ströme I_{LOAD} , I_{TPWR_THR}

und I_{TPWR_SAFETY} für die dargestellte Richtung von I_{LOAD} negativ sind.

[0050] Fig. **6B** stellt Spannung-Strom-Kennlinien für den Leistungsschalter T_{PWR} für den Direktsteuer-(PWM-)Modus dar. Die Kurve **642** stellt die Kennlinie dar, wenn der Schalter beispielsweise durch das PWM_CTRL-Signal eingeschaltet ist, während die Kurve **644** die Kennlinie darstellt, wenn der Schalter ausgeschaltet ist. Fig. **6C** stellt eine Spannung-Strom-Kennlinie **646** für den Leistungsschalter T_{PWR} für den Betriebsmodus mit aktiver Diode dar.

Alternative Gate-Drive-Steuerungen

[0051] Der durch den Leistungsschalter T_{PWR} von Fig. **6** fließende Strom I_{LOAD} kann bei einigen Implementierungen sehr groß sein, was die Erfassung dieses Stroms schwierig macht. Wenn der Strom I_{LOAD} zum Beispiel unter Verwendung eines Shuntwiderstands (zum Beispiel bei **614**) erfasst wird, kann der hohe Strom zu einem hohen Leistungsverlust in dem Shuntwiderstand und zu dem Erfordernis der Verwendung eines für hohe Leistung ausgelegten Shuntwiderstands führen. Darüber hinaus können der hohe Strom (und die zugehörige Leistung) die monolithische Integration der Gate-Drive-Steuerung **620**, des Gate-Treibers **612** und des Leistungsschalters T_{PWR} nicht realisierbar machen. Die Gate-Drive-Steuerung **720** und die zugehörige Schaltungsanordnung, die in Fig. **7** dargestellt sind, befassen sich mit solchen Problemen. Wenn nicht anderweitig beschrieben, kann angenommen werden, dass die Komponenten der Gate-Drive-Steuerung **720** den entsprechenden Komponenten in Fig. **6** gleichen, obgleich die Gate-Drive-Steuerung **720** einige Signale und Komponenten, die für die Differenzen der Gate-Drive-Steuerungen **620**, **720** nicht relevant sind, weglässt.

[0052] Der Leistungsschalter T_{PWR} ist durch einen Spiegelschalter T_{MIR} ergänzt, der einen Strom I_{TMIR} , der proportional zu dem Strom durch den Leistungsschalter T_{PWR} ist, führt. Zum Beispiel, und wie es herkömmlich ist, kann der Spiegelschalter T_{MIR} in der gleichen Technologie wie der Leistungsschalter T_{PWR} gefertigt sein, aber eine andere Größe (Breite, Länge) aufweisen, so dass der durch den Spiegelschalter T_{MIR} geführte Strom proportional kleiner ist, zum Beispiel können die Ströme durch die Schalter T_{PWR} , T_{MIR} mit einem Verhältnis von 1000:1 in Beziehung stehen. Ein den Laststrom zu dem Erfassungsstrom in Beziehung setzender Koeffizient, der oftmals als KILIS bezeichnet wird, kann dazu verwendet werden, dieses Verhältnis zu quantifizieren. Die Schalter T_{MIR} , T_{PWR} werden durch den gleichen Gate-Treiber **712** gesteuert. Der Spiegelschalter T_{MIR} kann Teil des Leistungsschalters T_{PWR} sein, das heißt nicht mit dem Last-Source-Anschluss S, sondern mit einem Erfassungsausgang verbunden sein. Der Strom I_{TMIR} durch den Spiegelschalter T_{MIR} kann dazu verwenden

det werden, den Laststrom I_{LOAD} zu schätzen. Zum Beispiel kann die Verbindung **714** von dem Spiegelschalter T_{MIR} einen Shuntwiderstand beinhalten, und der Stromsensor **7282** kann eine Spannung über den Shuntwiderstand verwenden, um den Strom I_{TMIR} und den zugehörigen Strom $I_{LOAD} = \alpha I_{TMIR}$ zu schätzen, wobei α ein positiver Koeffizient ist, der mit den relativen Größen der Schalter T_{MIR} , T_{PWR} in Verbindung steht. Solch eine Implementierung ist mit dem Vorteil verbunden, dass der Leistungsverlust und die Nennleistung des Shuntwiderstands im Vergleich zu dem Schaltkreis von **Fig. 6** reduziert sein können.

[0053] Bei einigen Implementierungen ist die in **Fig. 7** dargestellte Schaltungsanordnung in dem gleichen Halbleiter monolithisch integriert. Die Gate-Drive-Steuerung **720** umfasst in erster Linie eine digitale Schaltungsanordnung, die mit kostengünstigen Niederspannungshalbleiterprozessen, die eine Spannung unter beispielsweise 20 V bewältigen können, implementiert sein können. Die Mischsignalschaltungsanordnung, zum Beispiel der Stromsensor **7282**, der Spannungssensor **7284** und der Gate-Treiber **712**, können auch unter Verwendung einer Niederspannungsschaltungsanordnung implementiert sein, außer dass die Spannung V_{DS_TPWR} über den Leistungsschalter T_{PWR} zu groß sein kann, um durch einen in einem Niederspannungshalbleiterprozess implementierten Spannungssensor erfasst zu werden. Der Bereich dieser Spannung V_{DS_TPWR} kann durch Systemkomponenten, wie zum Beispiel die Batterien **BAT1**, **BAT2** von **Fig. 1**, bestimmt werden. **Fig. 8** stellt einen Niederspannungsschalterschaltkreis **810** dar, der die gewünschte monolithische Integration zu einem hohen Ausmaß erreicht, während er auch hohen Spannungspegeln, die durch andere Schaltungsanordnungen mit dem System erforderlich sind, Rechnung tragen kann.

[0054] Der Leistungsschalter T_{PWR} von **Fig. 7** ist in dem Schaltkreis von **Fig. 8** in einen Hochspannungsschalter T_{HV} und einen Niederspannungsschalter T_{LV} unterteilt. Der Hochspannungsschalter T_{HV} ist dazu konfiguriert, einem hohen Spannungsabfall über seinen Drain- und Source-Anschluss Rechnung zu tragen, so dass der Niederspannungsschalter T_{LV} nur eine geringe Spannung über seinen Drain- und Source-Anschluss unterstützen muss, wie durch einen Niederspannungshalbleiterprozess unterstützt werden könnte. Der Niederspannungsschalter T_{LV} kann somit in der Gate-Drive-Steuerung **720** integriert sein, die in der Lage ist, die relativ geringe Spannung V_{DS_LV} des Niederspannungsschalters T_{LV} zu erfassen. Der Hochspannungsschalter T_{HV} ist außerhalb des monolithisch integrierten Niederspannungsschalterschaltkreises **810** implementiert und kann zum Beispiel ein diskreter Leistungsschalter sein. Der Hochspannungsschalter T_{HV} wird auf die gleiche Weise wie zuvor beschrieben gesteuert, kann aber einen verschiedenen Gate-Treiber **813** erfordern, um

seinen Gate-Spannungsanforderungen Rechnung zu tragen.

[0055] **Fig. 9** stellt eine andere Schaltkreisaufteilung dar, in der der Leistungsschalter T_{PWR} ein Stromerfassungssignal **914** ausgibt. Die Gate-Drive-Steuerung **920** und der Gate-Treiber **712** können in einem Niederspannungsschalterschaltkreis **910** integriert sein, wie oben beschrieben wurde. Das Stromerfassungssignal **914** wird in einen Stromsensor **9282** in der Gate-Drive-Steuerung **920** eingegeben. Wie in der Beschreibung von **Fig. 6A** erwähnt wurde, verwendet die Gate-Drive-Steuerung **920** einen erfassten Strom I_{LOAD_SNS} zum Auslösen des Einschaltens und Ausschaltens des Leistungsschalters T_{PWR} . Zum Beispiel kann der Stromsensor **9282** erfassen, dass Strom durch die Body-Diode fließt, und als Reaktion darauf setzt der Einschalt-Trigger **9244** das Aktivdiodensteuersignal (**AD_CTRL**) zum Einschalten des Leistungsschalters T_{PWR} . Wenn der Betrag der Stroms I_{LOAD_SNS} einen Schwellenwert erreicht, setzt der Ausschalt-Trigger **9242** das Aktivdiodensteuersignal (**AD_CTRL**) zurück, um den Leistungsschalter T_{PWR} auszuschalten.

Motor/Generator-Steuerung

[0056] **Fig. 10A** stellt eine Brückenschaltung **1000** dar, die als eine Leistungsstufe oder als ein aktiver Gleichrichter für einen 3-Phasen-Motor/Generator **1080** verwendet werden kann. In einem ersten Modus wird der Motor/Generator **1080** als ein Motor betrieben und von einer Batterie **1070** gespeist. In einem zweiten Modus wird der Motor/Generator **1080** als ein Generator betrieben, und die Batterie **1070** wird aufgeladen. Gate-Drive-Steuerungen **1020UH**, **1020UL**, **1020VH**, **1020VL**, **1020WH**, **1020WL** sind so konfiguriert, dass die Brückenschaltung **1000** als eine Leistungsstufe für den Motormodus oder als ein aktiver Gleichrichter für den Generatormodus betrieben werden kann.

[0057] Der Motor/Generator **1080** besteht aus 3 Phasen, die mit ‚U‘, ‚V‘ und ‚W‘ bezeichnet werden. Jede der Phasen ist mit einer Halbbrückenschaltung verbunden. Eine erste Halbbrücke beinhaltet Schalterschaltkreise **1010UH**, **1010UL** und Source/Senken-Strom für die Phase U. Eine zweite Halbbrücke beinhaltet Schalterschaltkreise **1010VH**, **1010VL** und Source/Senken-Strom für Phase V. Eine dritte Halbbrücke beinhaltet Schalterschaltkreise **1010WH**, **1010WL** und Source/Senken-Strom für Phase W.

[0058] Der Phase-U-High-Side-Schalterschaltkreis **1010UH** ist ähnlich wie der High-Side-Schalterschaltkreis **110A** von **Fig. 1** konfiguriert. Insbesondere kann dieser Schaltkreis **1010UH** in einem Modus mit aktiver Diode oder in einem PWM-Modus betrieben werden. Der Phase-U-Low-Side-Schalterschaltkreis **1010UL** ist ähnlich wie der Low-Side-Schalter-

schaltkreis **110L** von **Fig. 1** konfiguriert und kann auch in einem Modus mit aktiver Diode oder in einem PWM-Modus betrieben werden. Die Phasen V und W haben ähnliche zugehörige High- und Low-Side-Schalterschaltkreise **1010VH**, **1010VL**, **1010WH**, **1010WL**.

[0059] Wenn der Motor/Generator **1080** im Motormodus betrieben wird, wird das den GD-Steuerungen **1020H**, **1020L** zugeführte MODE-Signal auf PWM-Modus gesetzt. Die PWM-Steuersignale PWM_UH, PWM_UL, PWM_VH, PWM_VL, PWM_WH, PWM_WL werden mit geeignetem Versatz erzeugt, um den Motor in einer gewünschten Richtung und mit einer gewünschten Drehzahl anzutreiben. Eine für eine übersichtliche Darstellung nicht gezeigte Steuerung erzeugt die PWM-Steuersignale und das Modussignal. Solch eine Motorsteuerung und PWM-Signalerzeugung ist in der Technik wohlbekannt und wird nicht weiter beschrieben.

[0060] Wenn der Motor/Generator **1080** im Generatormodus betrieben wird, wird das jeder der GD-Steuerungen **1020H**, **1020L** zugeführte MODE-Signal auf den Modus mit aktiver Diode gesetzt. PWM-Signale müssen nicht erzeugt werden. Im Modus mit aktiver Diode betreiben die GD-Steuerungen **1020H**, **1020L** die Schalter T_L , T_H jeder Phase als aktive Dioden, wobei nur Stromfluss in Richtung der Body-Dioden für diese Schalter gestattet ist. Strom fließt zu der Batterie **1070** über den Anschluss **1002**, um die Batterie **1070** in diesem Modus aufzuladen.

[0061] **Fig. 10B** stellt Wellenformen dar, die während des Generatormodusbetriebs erzeugten Wicklungsströmen entsprechen. Für Phase U wird der High-Side-Schalter T_{UH} bis zum Zeitpunkt t_3 eingeschaltet, und Strom fließt wie dargestellt in Richtung von I_{UH_GEN} . Zum Zeitpunkt t_3 wird der High-Side-Schalter T_{UH} ausgeschaltet, und der Low-Side-Schalter T_{UL} wird eingeschaltet, was zu dem dargestellten Stromfluss I_{UL_GEN} führt. Auf gleiche Weise werden die High-Side-Schalter der anderen Phasen eingeschaltet, wenn die dargestellten Ströme I_v , I_w positiv sind, und die Low-Side-Schalter werden eingeschaltet, wenn diese Ströme negativ sind. Die GD-Steuerungskonfiguration gestattet einen Betrieb der Brückenschaltung entweder als eine Leistungsstufe oder als ein aktiver Gleichrichter. Der Betrieb der Brückenschaltung als ein aktiver Gleichrichter stellt eine bessere Leistungseffizienz als Verlassen auf eine Gleichrichtung durch die Body-Diode (oder eine andere passive Diode) bereit und erfordert keine zusätzliche Komplexität oder Verbindung für eine Steuerung des Motors/Generators **1080**.

Bidirektionales Bordladegerät (OBC)

[0062] Ein OBC kann einen AC/DC-Wandler, der zwischen der AC-Netzspannung und einer Zwischen-

spannung V_{DC_GRID} gekoppelt ist, und einen DC/DC-Wandler, der zwischen V_{DC_GRID} und einer Ausgangsspannung, wie zum Beispiel V_{HV_BAT} gekoppelt ist, umfassen. **Fig. 11** stellt einen DC/DC-Wandler **1100** eines OBCs dar, wie zum Aufladen einer Hochspannungsbatterie, zum Beispiel in einem Elektro- oder Hybridfahrzeug, von einem elektrischen Netz verwendet werden kann. Zusätzlich zu dem Aufladen unterstützt der Wandler **1100** auch den Energiefluss von der Batterie zurück zu der Netzseite des OBCs. Solch ein Rückwärtsenergiefluss ermöglicht die Verwendung der Hochspannungsbatterie zum Bereitstellen von AC-Leistung für ein Haus, wenn das elektrische Netz ausfällt, für AC-Geräte, wenn das Netz im Gegensatz zur Hochspannungsbatterie nicht zur Verfügung steht (zum Beispiel beim Camping) usw. Es sei darauf hingewiesen, dass der dargestellte Wandler **1100** keine AC-DC (oder DC-AC)-Umwandlung auf der Netzseite zeigt, viele Systeme jedoch solche Wandler beinhalten würden.

[0063] Der Wandler **1100** ist unter Verwendung von Leistungsknoten **1102**, **1102g** mit einer primärseitigen DC-Versorgung/Senke mit einer Spannung V_{DC_GRID} verbunden und ist unter Verwendung von Leistungsknoten **1104**, **1104g** mit einer sekundärseitigen DC-Versorgung/Senke mit einer Spannung V_{HV_BAT} verbunden. Die AC-Spannung kann durch einen AC/DC-Wandler, der Teil des OBCs (für eine übersichtliche Darstellung nicht gezeigt) ist, bewältigt werden. Der Wandler **1100** umfasst ferner eine primärseitige Leistungsstufe **1170**, eine sekundärseitige Leistungsstufe **1180**, einen Trenntransformator **1140** und eine Steuerung **1190**.

[0064] Der Transformator **1140** beinhaltet eine Primärwicklung **1142**, eine Sekundärwicklung **1144** und einen Kern **1146**. Die primärseitige Leistungsstufe **1170** kann über eine primärseitige Drosselspule L_{PRI} und einen primärseitigen Kondensator C_{PRI} mit der Primärwicklung **1142** gekoppelt sein, um eine LLC-Wandlertopologie bereitzustellen. Ebenso kann die sekundärseitige Leistungsstufe **1180** über eine sekundärseitige Drosselspule L_{SEC} und einen sekundärseitigen Kondensator C_{SEC} mit der Sekundärwicklung **1144** gekoppelt sein. Bei anderen Ausführungsformen sind die Kondensatoren C_{PRI} , C_{SEC} weggelassen, wie in einer Vollbrückenwandlertopologie, die Nullspannungsschaltung (ZVS, zero-voltage switching) verwendet.

[0065] Die primärseitige Leistungsstufe **1170** ist in einer Vollbrückentopologie konfiguriert und kann entweder zur Leistungsversorgung des Transformators **1140** oder zur aktiven Gleichrichtung von durch den Transformator **1140** zugeführter Leistung betrieben werden. Die Leistungsstufe **1170** umfasst einen ersten High-Side-Schalterschaltkreis **110H**, einen ersten Low-Side-Schalterschaltkreis **110L**, einen zweiten High-Side-Schalterschaltkreis **112H** und einen

zweiten Low-Side-Schalterschaltkreis **112L**. Diese Schalterschaltkreise **110H**, **110L**, **112H**, **112L** sind wie für die ähnlichen Schaltkreise **110H**, **110L** von **Fig. 1** beschrieben konfiguriert und können ferner die in Verbindung mit irgendwelchen der **Fig. 6** bis **Fig. 9** beschriebenen speziellen Ausführungsformen verwenden. Insbesondere beinhaltet jeder der Schalterschaltkreise **110H**, **110L**, **112H**, **112L** Gate-Drive-Steuerungen, zum Beispiel **120H**, **120L**. Für eine übersichtliche Darstellung sind die Gate-Drive-Steuerungen in den Schalterschaltkreisen **112H**, **112L** oder in der sekundärseitigen Leistungsstufe **1180** nicht explizit gezeigt, sollen aber natürlich als vorhanden angesehen werden.

[0066] Eine Moduskonfiguration **MODE_PRI** ist für die Leistungsstufe **1170** bereitgestellt und bestimmt, ob sie in einem Vorwärts- oder einem Rückwärtsmodus betrieben werden sollte. Im Vorwärtsmodus werden die Schalterschaltkreise **110H**, **110L**, **112H**, **112L** gemäß Schaltersteuersignalen **PWM_A**, **PWM_B** gesteuert. In einem ersten Intervall schaltet das Signal **PWM_A** die Schalter **THS1**, **TLS2** über die Gate-Drive-Steuerungen **120H**, **122L** ein, um eine Spannung über die primärseitige Wicklung **1142** anzulegen. In einem zweiten Intervall schaltet das Signal **PWM_B** die Schalter **TLS1**, **THS2** über die Gate-Drive-Steuerungen **120H**, **122H** ein, um eine Spannung mit einer entgegengesetzten Polarität über die primärseitige Wicklung **1142** anzulegen. Da solch ein Vollbrückenbetrieb einer LLC-Topologie in der Technik wohlbekannt ist, wird sie hier nicht weiter beschrieben.

[0067] Wenn die Moduskonfiguration **MODE_PRI** Betrieb im Rückwärtsmodus anzeigt, werden die Schalter **THS1**, **TLS1**, **THS2**, **TLS2** der Schalterschaltkreise **110H**, **110L**, **112H**, **112L** als aktive Dioden betrieben. Dieser Betrieb ist autonom, das heißt, es müssen keine Schaltersteuersignale, zum Beispiel **PWM_A**, **PWM_B**, erzeugt oder der primärseitigen Leistungsstufe **1170** in diesem Modus zugeführt werden. Die Leistungsstufe **1170** wird im Rückwärtsmodus als ein aktiver Gleichrichter betrieben.

[0068] Die sekundärseitige Leistungsstufe **1180** ist größtenteils auf die gleiche Weise wie die primärseitige Leistungsstufe **1170** konfiguriert und beinhaltet Leistungsschalter **THS3**, **TLS3**, **THS4**, **TLS4**. Jeder dieser Leistungsschalter hat eine zugehörige Gate-Drive-Steuerung und einen zugehörigen Gate-Treiber. Für eine übersichtliche Darstellung werden diese Komponenten nicht explizit gezeigt, sollten aber als wie oben für die gleichen Komponenten der primärseitigen Leistungsstufe **1170** konfiguriert verstanden werden. Schaltersteuersignale **PWM_C**, **PWM_D** steuern die Leistungsschalter **THS3**, **TLS3**, **THS4**, **TLS4**, wenn das Konfigurationssignal **MODE_SEC** einen Rückwärtsmodus anzeigt, während die Leistungsschalterschaltkreise als aktive Dioden betrieben

werden, wenn das Konfigurationssignal **MODE_SEC** einen Vorwärtsmodus anzeigt.

[0069] Die Steuerung **1190** erzeugt die Schaltersteuersignale **PWM_A**, **PWM_B**, **PWM_C**, **PWM_D** und die Konfigurationssignale **MODE_PRI**, **MODE_SEC**. Die Steuerung **1190** kann sich auf der Primär- oder Sekundärseite des OBCs **1100** befinden. In typischen Implementierungen müssen mindestens einige der erzeugten Signale durch die Isolatoren passieren, um die Integrität der durch den Transformator **1140** hergestellten Isolationsbarriere aufrechtzuerhalten. Für eine übersichtliche Darstellung und da solche Isolatoren wohlbekannt sind, sind solche Isolatoren nicht explizit gezeigt.

[0070] Obgleich der Wandler **1100** von **Fig. 11** als das spezielle Beispiel der in einer isolierten LLC-Topologie angeordneten Vollbrückenleistungsstufen verwendend beschrieben wird, versteht sich, dass andere Ausführungsformen andere Leistungsstufentopologien, wie zum Beispiel in einer Halbbrücke angeordnete Schalter, verwenden können. Des Weiteren können die Schalter unter Verwendung von Phasenverschiebungssteuerung gesteuert werden, wobei eine Phasenverschiebung zwischen Steuersignalen dazu verwendet wird, das Ausmaß von Leistungsübertragung zu bestimmen, anstatt PWM-Steuerung, bei der ein Tastverhältnis oder eine Frequenz des PWM-Signals dazu verwendet wird, das Ausmaß von Leistungsübertragung zu bestimmen.

Verfahren zum Steuern eines SR-Schalters

[0071] **Fig. 12** stellt ein Verfahren **1200** zum Steuern eines Leistungsschalters dar. Dieses Verfahren kann in einer Gate-Drive-Steuerung, wie zum Beispiel in den **Fig. 1** und **Fig. 6** bis **Fig. 9** dargestellt, implementiert werden. Das Verfahren beginnt mit Bestimmen **1210**, ob ein empfangenes Konfigurationssignal anzeigt, ob der Leistungsschalter in einem Modus mit aktiver Diode oder einem Normal- (zum Beispiel PWM-)Modus betrieben werden sollte. Wenn der normalen Modus angezeigt wird, wird der Leistungsschalter gemäß einem empfangenden PWM-Steuersignal gesteuert (ein- oder ausgeschaltet) **1220**. Wenn der Modus mit aktiver Diode angezeigt wird, wird eine Drain-Source-Spannung V_{DS} des Leistungsschalters erfasst und mit einem Spannungsschwellenwert V_{DS_ON} verglichen. Wenn die Drain-Source-Spannung ausreichend negativ ist, zum Beispiel unter einem Spannungsschwellenwert V_{DS_ON} wie beispielsweise $-0,1$ V liegt, wird der Leistungsschalter eingeschaltet **1240**. (Anders ausgedrückt, eine Source-Drain-Spannung über einem Schwellenwert wie beispielsweise $0,1$ V löst das Einschalten des Leistungsschalters aus.) Auf gleiche Weise und/oder als Alternative kann ein positiver Strom durch den Leistungsschalter in Richtung der Körperdiode das Einschalten des Leistungsschalters aus-

lösen. Nach dem Einschalten des Leistungsschalters wird ein Vorwärtsstrom I_{LOAD} , der negativ ist, durch den Schalter überwacht. Sobald detektiert wird **1250**, dass dieser (negative) Strom I_{LOAD} über einen Schwellenwert I_{PWR_THR} ansteigt, wird der Leistungsschalter ausgeschaltet **1260**.

Ausführungsformvariationen

[0072] Gemäß einer Ausführungsform wird ein Verfahren zum Steuern eines Leistungsschalters bereitgestellt, der eine intrinsische Diode aufweist, die dazu konfiguriert ist, Strom in einer Rückwärtsrichtung des Leistungsschalters zu leiten. Das Verfahren umfasst Empfangen eines Konfigurationssignals das einen Betriebsmodus für den Leistungsschalter anzeigt. Wenn ein erster Modus, der eine Konfiguration mit aktiver Diode anzeigt, empfangen wird, wird ein Strom und/oder eine Spannung des Leistungsschalters erfasst, und der Leistungsschalter wird eingeschaltet, wenn der/die erfasste Strom und/oder Spannung einen positiven Strom oder das Potenzial für positiven Strom in der Rückwärtsrichtung durch den Leistungsschalter anzeigt. Wenn ein zweiter Modus, der eine normale (PWM-)Konfiguration anzeigt, empfangen wird, wird der Leistungsschalter als Reaktion auf das Empfangen eines Schaltersteuersignals, das anweist, dass der Leistungsschalter ausgeschaltet werden soll, ausgeschaltet und wird als Reaktion auf das Empfangen eines Schaltersteuersignals, das anweist, dass der Leistungsschalter eingeschaltet werden soll, eingeschaltet.

[0073] Gemäß einer Ausführungsform des Verfahrens beinhaltet das Verfahren ferner als Reaktion auf das Konfigurationssignal, das einen geschützten Modus anzeigt, Erfassen eines Stroms und/oder einer Spannung des Leistungsschalters. Der Leistungsschalter wird als Reaktion auf mindestens eines von Detektieren, dass der erfasste Strom außerhalb eines Normalbetriebsstrombereichs liegt, Detektieren, dass die erfasste Spannung außerhalb eines Normalbetriebsspannungsbereichs liegt und Empfangen eines Schaltersteuersignals, das anweist, dass der Leistungsschalter ausgeschaltet werden soll, ausgeschaltet. Der Leistungsschalter wird als Reaktion auf das Empfangen eines Schaltersteuersignals, das anweist, dass der Leistungsschalter eingeschaltet werden soll, eingeschaltet.

[0074] Gemäß einer Ausführungsform des Verfahrens umfasst das Erfassen des Stroms Messen einer Spannung über einen ersten und einen zweiten Anschluss des Leistungsschalters und Bestimmen des Stroms basierend auf der Spannung. Gemäß einer Ausführungsform dieses Verfahrens umfasst als Reaktion darauf, dass die Konfiguration den ersten Modus (Konfiguration mit aktiver Diode) anzeigt, Einschalten des Leistungsschalters Ändern eines Steuersignals zum Einschalten des Leistungsschalters als

Reaktion auf das Detektieren, dass die Spannung über den ersten und den zweiten Anschluss unter einem ersten Spannungsschwellenwert, der negativ ist, liegt. Anschließend und als Reaktion auf das Detektieren, dass die Spannung über den ersten und den zweiten Anschluss über einem zweiten Schwellenwert liegt, wird das Steuersignal dahingehend geändert, den Leistungsschalter auszuschalten.

[0075] Gemäß einer Ausführungsform eines bidirektionalen Schaltnetzteils (SMPS) umfasst das SMPS einen ersten und einen zweiten SMPS-Anschluss zur Bereitstellung externer Verbindungen mit dem SMPS, High- und Low-Side-Schalter, eine Drosselspule, eine Steuerung und einen ersten und einen zweiten Treiberschaltkreis. Die High- und Low-Side-Schalter sind an einem Schaltknoten miteinander gekoppelt. Der High-Side-Schalter ist darüber hinaus mit dem ersten SMPS-Anschluss gekoppelt. Jeder der Schalter umfasst eine intrinsische Diode, die zum Leiten eines Stroms in eine Rückwärtsrichtung des Schalters konfiguriert ist. Die Drosselspule ist elektrisch zwischen dem Schaltknoten und dem zweiten SMPS-Anschluss zwischengeordnet. Die Steuerung ist dazu konfiguriert, den Leistungsfluss zwischen dem ersten und dem zweiten SMPS-Anschluss durch Erzeugen eines Schaltersteuersignals für mindestens einen von dem High-Side- und dem Low-Side-Schalter zu steuern. Der erste Treibersteuerschaltkreis ist dazu konfiguriert, die Leitfähigkeit des High-Side-Schalters basierend auf einem erfassten Strom und/oder einer erfassten Spannung am High-Side-Schalter als Reaktion auf das Empfangen einer Anzeige des ersten Schaltmodus (eines Modus mit aktiver Diode) zu steuern. Der erste Treibersteuerschaltkreis ist dazu konfiguriert, die Leitfähigkeit des High-Side-Schalters basierend auf dem durch die Steuerung erzeugten Schaltersteuersignal als Reaktion auf das Empfangen einer Anzeige des zweiten Schaltmodus, zum Beispiel eines Normal- oder PWM-Modus, zu steuern. Der zweite Treibersteuerschaltkreis ist auf ähnliche Weise dazu konfiguriert, die Leitfähigkeit des Low-Side-Schalters basierend auf einem erfassten Strom und/oder einer erfassten Spannung am Low-Side-Schalter als Reaktion auf das Empfangen einer Anzeige des ersten Schaltmodus (zum Beispiel eines Modus mit aktiver Diode) zu steuern. Der zweite Treibersteuerschaltkreis ist dazu konfiguriert, die Leitfähigkeit des Low-Side-Schalters basierend auf dem durch die Steuerung erzeugten Schaltersteuersignal als Reaktion auf das Empfangen der Anzeige des zweiten Schaltmodus, zum Beispiel eines Normal- oder PWM-Modus, zu steuern. Das SMPS ist dazu konfiguriert, während eines ersten Intervalls in einem ersten Modus, in dem Leistung von dem ersten zu dem zweiten SMPS-Anschluss übertragen wird, betrieben zu werden und während eines zweiten Intervalls in einem zweiten Modus, in dem Leistung von dem zweiten zu dem ersten SMPS-Anschluss übertragen wird, betrieben zu werden.

[0076] Gemäß einer Ausführungsform des SMPS ist der erste Modus ein Tiefsetzmodus, ist der erste SMPS-Anschluss mit einer Leistungsquelle gekoppelt, ist der zweite SMPS-Anschluss mit einer Leistungsenke gekoppelt und wird eine Quellenspannung am ersten SMPS-Anschluss herabgesetzt, um eine Senkenspannung am zweiten SMPS-Anschluss bereitzustellen, wobei die Senkenspannung geringer als die Quellenspannung ist. Bei einer weiteren Ausführungsform dieses SMPS ist die Steuerung dazu konfiguriert, die Anzeige des ersten Schaltmodus zu dem zweiten Treibersteuerschaltkreis zu übertragen, um den Low-Side-Schalter in einer Konfiguration mit aktiver Diode zu betreiben, wenn das SMPS im Tiefsetzmodus betrieben wird.

[0077] Gemäß einer Ausführungsform des SMPS ist der zweite Modus ein Hochsetzmodus, ist der zweite SMPS-Anschluss mit einer Leistungsquelle gekoppelt, ist der erste SMPS-Anschluss mit einer Leistungsenke gekoppelt und wird eine Quellenspannung am zweiten SMPS-Anschluss hochgesetzt, um eine Senkenspannung am ersten SMPS-Anschluss bereitzustellen. Die Senkenspannung ist höher als die Quellenspannung. In einer weiteren Ausführungsform dieses SMPS ist die Steuerung dazu konfiguriert, die Anzeige des ersten Schaltmodus zu dem ersten Treibersteuerschaltkreis zu übertragen, um den High-Side-Schalter in eine Konfiguration mit aktiver Diode zu setzen, wenn das SMPS im Hochsetzmodus betrieben wird.

[0078] Gemäß einer Ausführungsform des SMPS beinhaltet das SMPS ferner einen ersten und einen zweiten Schutzschalter, die zwischen dem Schaltknoten und dem zweiten Anschluss angeordnet sind, wobei jeder der Schutzschalter intrinsische Dioden umfasst, die nicht in der Lage sind, Strom in einer Richtung zu sperren, wobei die Schutzschalter in Reihe geschaltet sind, derart, dass ihre intrinsischen Dioden in entgegengesetzte Richtungen ausgerichtet sind. Gemäß einer weiteren Ausführungsform dieses SMPS wird das SMPS während des ersten Modus in einem Tiefsetzmodus betrieben, in dem positiver Strom zu dem zweiten SMPS-Anschluss fließt, der erste Schutzschalter ist zum Leiten eingestellt, und der zweite Schutzschalter wird in einem ersten Modus (Konfiguration mit aktiver Diode) betrieben, in dem der zweite Schutzschalter als Reaktion auf das Detektieren, dass positiver Strom in der Richtung von dem Schaltknoten zu dem zweiten SMPS-Anschluss fließt, eingeschaltet wird. Gemäß einer anderen Ausführungsform dieses SMPS wird das SMPS während des zweiten Modus in einem Hochsetzmodus betrieben, in dem positiver Strom von dem zweiten SMPS-Anschluss zu dem Schaltknoten fließt, der zweite Schutzschalter ist zum Leiten eingestellt, und der erste Schutzschalter wird in dem ersten Modus (Konfiguration mit aktiver Diode) betrieben, in dem der erste Schutzschalter als Reaktion auf das Detektieren,

dass positiver Strom in der Richtung von dem zweiten SMPS-Anschluss zu dem Schaltknoten fließt, eingeschaltet wird.

[0079] Gemäß einer Ausführungsform eines DC/DC-Wandlers umfasst der Wandler einen ersten und einen zweiten Gleichstrom(DC)-Leistungsknoten, die jeweils mit einer Leistungsquelle oder -senke verbunden werden sollen, einen Trenntransformator, der eine Primär- und eine Sekundärwicklung umfasst, eine primärseitige Leistungsstufe, eine sekundärseitige Leistungsstufe und eine Steuerung. Die primärseitige Leistungsstufe koppelt den ersten DC-Leistungsknoten mit der Primärwicklung. Die sekundärseitige Leistungsstufe koppelt die Sekundärwicklung mit dem zweiten DC-Leistungsknoten. Die sekundärseitige Leistungsstufe umfasst eine sekundärseitige Halbbrücke, die einen ersten und einen zweiten sekundärseitigen Leistungsschalter aufweist, die in einer Halbbrückenkonfiguration angeordnet sind. Die sekundärseitige Leistungsstufe umfasst ferner einen ersten und einen zweiten sekundärseitigen Schaltersteuerungsschaltkreis, die mit dem ersten bzw. zweiten sekundärseitigen Leistungsschalter gekoppelt sind. Jeder der Schaltersteuerungsschaltkreise ist für Betrieb in einem zweiten Normal-)Modus, in dem ein extern bereitgestelltes Schaltersteuersignal die Leitfähigkeit des mit dem Schaltersteuerungsschaltkreis gekoppelten Leistungsschalters steuert, und einem ersten Modus (mit aktiver Diode), in dem die Leitfähigkeit des mit der Schaltersteuerung gekoppelten Leistungsschalters auf einem erfassten Strom und/oder einer erfassten Spannung des Leistungsschalters basiert, konfiguriert. Die Steuerung ist dazu konfiguriert, den DC/DC-Wandler während eines ersten Intervalls in einem Vorwärtsmodus, in dem Leistung von dem ersten zu dem zweiten DC-Leistungsknoten übertragen wird, und während eines zweiten Intervalls in einem Rückwärtsmodus, in dem Leistung von dem zweiten zu dem ersten Leistungsknoten übertragen wird, zu betreiben. Für den Vorwärtsmodus stellt die Steuerung die sekundärseitigen Steuerungsschaltkreise zum Betreiben der sekundärseitigen Leistungsschalter in dem Modus mit aktiver Diode ein. Für den Rückwärtsmodus stellt die Steuerung die sekundärseitigen Steuerungsschaltkreise zum Betreiben der sekundärseitigen Leistungsschalter im Normalmodus ein und erzeugt die extern bereitgestellten Steuersignale für die sekundärseitigen Leistungsschalter.

[0080] Gemäß einer Ausführungsform des DC/DC-Wandlers umfasst die sekundärseitige Leistungsstufe ferner eine zweite sekundärseitige Halbbrücke, die einen dritten und einen vierten sekundärseitigen Leistungsschalter beinhaltet, die in einer Halbbrückenkonfiguration angeordnet sind, dritte und vierte sekundärseitige Schaltersteuerungsschaltkreise, die dazu konfiguriert sind, den dritten bzw. vierten sekundärseitigen Leistungsschalter gemäß einer durch die

Steuerung bereitgestellten Moduseinstellung im Normalmodus oder im Modus mit aktiver Diode zu betreiben, und eine sekundärseitige Drosselspule, die mit der Sekundärwicklung gekoppelt ist.

[0081] Gemäß einer Ausführungsform des DC/DC-Wandlers umfasst die primärseitige Leistungsstufe eine primärseitige Vollbrücke, die vier primärseitige Schalter umfasst, und vier primärseitige Schaltersteuerungsschaltkreise, die dazu konfiguriert sind, jeden der primärseitigen Schalter gemäß einer durch die Steuerung bereitgestellten Einstellung im Normalmodus oder im Modus mit aktiver Diode zu betreiben.

[0082] Gemäß einer Ausführungsform des DC/DC-Wandlers umfasst der Wandler ferner eine mit dem zweiten DC-Leistungsknoten gekoppelte Batterie. Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird die Batterie während des Vorwärtsmodus von einer mit dem ersten DC-Leistungsknoten gekoppelten Leistungsquelle aufgeladen. Gemäß einer anderen Ausführungsform führt die Batterie während des Rückwärtsmodus einer mit dem ersten DC-Leistungsknoten gekoppelten Leistungsenke Leistung zu.

[0083] Wie hier verwendet, sind die Begriffe „aufweisen“, „beinhalten“, „enthalten“, „umfassen“ und dergleichen, offene Begriffe, die das Vorhandensein genannter Elemente oder Merkmale angeben, zusätzliche Elemente oder Merkmale jedoch nicht ausschließen. Die Artikel „ein/e/r/s“ und „der/die/das“ sollen neben dem Singular auch den Plural umfassen, sofern der Kontext dem nicht klar entgegensteht.

[0084] Es versteht sich, dass die Merkmale der verschiedenen Ausführungsformen, die hier beschrieben werden, miteinander kombiniert werden können, es sei denn es wird speziell etwas anderes angegeben.

[0085] Obgleich hier spezielle Ausführungsformen dargestellt und beschrieben worden sind, liegt für den Durchschnittsfachmann auf der Hand, dass die gezeigten beschriebenen speziellen Ausführungsformen durch verschiedenste alternative und/oder äquivalente Implementierungen ersetzt werden können, ohne von dem Schutzzumfang der vorliegenden Erfindung abzuweichen. Diese Anmeldung soll jegliche Anpassungen und Variationen der hier besprochenen speziellen Ausführungsformen abdecken. Daher soll die vorliegende Erfindung nur durch die Ansprüche und deren Äquivalente eingeschränkt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Steuern eines Leistungsschalters, der eine intrinsische Diode aufweist, die dazu konfiguriert ist, Strom in einer Rückwärtsrichtung des Leistungsschalters zu leiten, wobei das Verfahren Folgendes umfasst:

als Reaktion auf ein Konfigurationssignal, das einen ersten Modus für den Leistungsschalter anzeigt: Erfassen eines Stroms und/oder einer Spannung am Leistungsschalter; und Einschalten des Leistungsschalters als Reaktion darauf, dass der erfasste Strom und/oder die erfasste Spannung einen Strom und/oder ein Potenzial für Strom in der Rückwärtsrichtung anzeigt; und als Reaktion auf ein Konfigurationssignal, das einen zweiten Modus für den Leistungsschalter anzeigt: Ausschalten des Leistungsschalters als Reaktion auf das Empfangen eines Schaltersteuersignals, das anweist, dass der Leistungsschalter ausgeschaltet werden soll; und Einschalten des Leistungsschalters als Reaktion auf das Empfangen eines Schaltersteuersignals, das anweist, dass der Leistungsschalter eingeschaltet werden soll.

2. Verfahren nach Anspruch 1, ferner umfassend: als Reaktion auf das Konfigurationssignal, das einen geschützten Modus anzeigt: Erfassen eines Stroms und/oder einer Spannung am Leistungsschalter; und Ausschalten des Leistungsschalters als Reaktion auf mindestens eines von Detektieren, dass der erfasste Strom außerhalb eines Normalbetriebsstrombereichs liegt, Detektieren, dass die erfasste Spannung außerhalb eines Normalbetriebsspannungsbereichs liegt und Empfangen eines Schaltersteuersignals, das anweist, dass der Leistungsschalter ausgeschaltet werden soll; und Einschalten des Leistungsschalters als Reaktion auf das Empfangen eines Schaltersteuersignals, das anweist, dass der Leistungsschalter eingeschaltet werden soll.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei das Erfassen des Stroms ein Messen einer Spannung über einen ersten und einen zweiten Anschluss des Leistungsschalters und Bestimmen des Stroms basierend auf der über den ersten Anschluss und den zweiten Anschluss gemessenen Spannung umfasst.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei als Reaktion darauf, dass die Konfiguration den ersten Modus anzeigt, das Einschalten des Leistungsschalters Folgendes umfasst: als Reaktion auf das Detektieren, dass die über den ersten und den zweiten Anschluss gemessene Spannung unter einem ersten Spannungsschwellenwert, der negativ ist, liegt, Ändern eines Steuersignals zum Einschalten des Leistungsschalters; anschließend und als Reaktion auf das Detektieren, dass die über den ersten und den zweiten Anschluss gemessene Spannung über einem zweiten Schwellenwert liegt, Ändern des Steuersignals zum Ausschalten des Leistungsschalters.

5. Bidirektionales Schaltnetzteil, umfassend:

einen ersten und einen zweiten Anschluss, die externe Verbindungen für das Schaltnetzteil bereitstellen; einen High-Side-Schalter und einen Low-Side-Schalter, die an einem Schaltknoten miteinander gekoppelt sind, wobei der High-Side-Schalter mit dem ersten Anschluss gekoppelt ist, wobei der High-Side-Schalter und der Low-Side-Schalter jeweils eine intrinsische Diode, die zum Leiten eines Stroms in eine Rückwärtsrichtung des High-Side-Schalters und des Low-Side-Schalters konfiguriert ist, umfassen; eine Drosselspule, die elektrisch zwischen dem Schaltknoten und dem zweiten Anschluss zwischengeordnet ist, eine Steuerung, die dazu konfiguriert ist, ein Schaltersteuersignal zum Steuern eines Schaltens des High-Side-Schalters und/oder des Low-Side-Schalters zu erzeugen; einen ersten Treibersteuerschaltkreis, der dazu konfiguriert ist, eine Leitfähigkeit des High-Side-Schalters basierend auf einem erfassten Strom und/oder einer erfassten Spannung am High-Side-Schalter als Reaktion auf das Empfangen einer Anzeige des ersten Schaltmodus zu steuern und die Leitfähigkeit des High-Side-Schalters basierend auf dem durch die Steuerung erzeugten Schaltersteuersignal als Reaktion auf das Empfangen einer Anzeige des zweiten Schaltmodus zu steuern; und einen zweiten Treibersteuerschaltkreis, der dazu konfiguriert ist, eine Leitfähigkeit des Low-Side-Schalters basierend auf einem erfassten Strom und/oder einer erfassten Spannung am Low-Side-Schalter als Reaktion auf das Empfangen der Anzeige des ersten Schaltmodus zu steuern und die Leitfähigkeit des Low-Side-Schalters basierend auf dem durch die Steuerung erzeugten Schaltersteuersignal als Reaktion auf das Empfangen der Anzeige des zweiten Schaltmodus zu steuern, wobei das Schaltnetzteil dazu konfiguriert ist, während eines ersten Intervalls in einem ersten Modus, in dem Leistung von dem ersten zu dem zweiten Anschluss übertragen wird, betrieben zu werden und während eines zweiten Intervalls in einem zweiten Modus, in dem Leistung von dem zweiten zu dem ersten Anschluss übertragen wird, betrieben zu werden.

6. Schaltnetzteil nach Anspruch 5, wobei der erste Modus ein Tiefsetzmodus ist, der erste Anschluss mit einer Leistungsquelle gekoppelt ist, der zweite Anschluss mit einer Leistungssenke gekoppelt ist und das Schaltnetzteil dazu konfiguriert ist, eine Quellenspannung am ersten Anschluss herabzusetzen, um eine Senkenspannung am zweiten Anschluss bereitzustellen, wobei die Senkenspannung geringer als die Quellenspannung ist.

7. Schaltnetzteil nach Anspruch 6, wobei die Steuerung dazu konfiguriert ist, die Anzeige des ersten Schaltmodus zu dem zweiten Treibersteuer-

schaltkreis zu übertragen, wenn das Schaltnetzteil im Tiefsetzmodus betrieben wird.

8. Schaltnetzteil nach einem der Ansprüche 5 bis 7, wobei der zweite Modus ein Hochsetzmodus ist, der zweite Anschluss mit einer Leistungsquelle gekoppelt ist, der erste Anschluss mit einer Leistungssenke gekoppelt ist und das Schaltnetzteil dazu konfiguriert ist, eine Quellenspannung am zweiten Anschluss hochzusetzen, um eine Senkenspannung am ersten Anschluss bereitzustellen, wobei die Senkenspannung höher als die Quellenspannung ist.

9. Schaltnetzteil nach Anspruch 8, wobei die Steuerung dazu konfiguriert ist, die Anzeige des ersten Schaltmodus zu dem ersten Treibersteuerschaltkreis zu übertragen, wenn das Schaltnetzteil im Hochsetzmodus betrieben wird.

10. Schaltnetzteil nach einem der Ansprüche 5 bis 9, ferner umfassend einen ersten und einen zweiten Schutzschalter, die zwischen dem Schaltknoten und dem zweiten Anschluss angeordnet sind, wobei der erste Schutzschalter und der zweite Schutzschalter jeweils eine intrinsische Diode umfassen, die nicht in der Lage ist, Strom in einer Richtung zu sperren, wobei der erste Schutzschalter und der zweite Schutzschalter in Reihe geschaltet sind, derart, dass ihre intrinsischen Dioden in entgegengesetzte Richtungen ausgerichtet sind.

11. Schaltnetzteil nach Anspruch 10, wobei das Schaltnetzteil dazu konfiguriert ist, während des ersten Modus in einem Tiefsetzmodus betrieben zu werden, in dem positiver Strom zu dem zweiten Anschluss fließt, der erste Schutzschalter zum Leiten eingestellt ist, und der zweite Schutzschalter in einem ersten Schaltmodus betrieben wird, in dem der zweite Schutzschalter als Reaktion auf das Detektieren, dass positiver Strom in der Richtung von dem Schaltknoten zu dem zweiten Anschluss fließt, eingeschaltet wird.

12. Schaltnetzteil nach Anspruch 10 oder 11, wobei das Schaltnetzteil dazu konfiguriert ist, während des zweiten Modus in einem Hochsetzmodus betrieben zu werden, in dem positiver Strom von dem zweiten Anschluss zu dem Schaltknoten fließt, der zweite Schutzschalter zum Leiten eingestellt ist und der erste Schutzschalter in einem ersten Schaltmodus betrieben wird, in dem der erste Schutzschalter als Reaktion auf das Detektieren, dass positiver Strom in der Richtung von dem zweiten Anschluss zu dem Schaltknoten fließt, eingeschaltet wird.

13. Bidirektionaler DC/DC Wandler, umfassend: einen ersten DC-Leistungsknoten zum Verbinden mit einer ersten Leistungsquelle oder -senke; einen zweiten DC-Leistungsknoten zum Verbinden mit einer zweiten Leistungsquelle oder -senke;

einen Trenntransformator, der eine Primärwicklung und eine Sekundärwicklung umfasst;
 eine primärseitige Leistungsstufe, die dazu konfiguriert ist, den ersten DC-Leistungsknoten mit der Primärwicklung zu koppeln;
 eine sekundärseitige Leistungsstufe, die dazu konfiguriert ist, die Sekundärwicklung mit dem zweiten DC-Leistungsknoten zu koppeln, und Folgendes umfasst:
 eine sekundärseitige Halbbrücke, die einen ersten und einen zweiten sekundärseitigen Leistungsschalter aufweist, die in einer Halbbrückenkonfiguration angeordnet sind; und
 einen ersten und einen zweiten sekundärseitigen Schaltersteuerungsschaltkreis, die mit dem ersten bzw. zweiten sekundärseitigen Leistungsschalter gekoppelt sind, wobei der erste und der zweite sekundärseitige Schaltersteuerungsschaltkreis jeweils dazu konfiguriert sind, in einem ersten Modus betrieben zu werden, in dem eine Leitfähigkeit des jeweiligen des ersten und des zweiten sekundärseitigen Leistungsschalters, der mit der jeweiligen der ersten und der zweiten sekundärseitigen Schaltersteuerung gekoppelt ist, auf einem erfassten Strom und/oder einer erfassten Spannung an dem jeweiligen Leistungsschalter basiert, und in einem zweiten Modus betrieben zu werden, in dem ein extern bereitgestelltes Schaltersteuersignal die Leitfähigkeit des jeweiligen des ersten und des zweiten sekundärseitigen Leistungsschalters, der mit dem jeweiligen des ersten und des zweiten sekundärseitigen Schaltersteuerungsschaltkreises gekoppelt ist, steuert;
 eine Steuerung, die dazu konfiguriert ist, den bidirektionalen DC/DC-Wandler während eines ersten Intervalls in einem Vorwärtsmodus, in dem Leistung von dem ersten zu dem zweiten DC-Leistungsknoten übertragen wird, und während eines zweiten Intervalls in einem Rückwärtsmodus, in dem Leistung von dem zweiten DC-Leistungsknoten zu dem ersten DC-Leistungsknoten zu betreiben;
 wobei die Steuerung dazu konfiguriert ist, für den Vorwärtsmodus den ersten und den zweiten sekundärseitigen Steuerungsschaltkreis zum Betreiben des ersten und des zweiten sekundärseitigen Leistungsschalters im ersten Modus einzustellen, und
 wobei die Steuerung dazu konfiguriert ist, für den Rückwärtsmodus das extern bereitgestellte Steuersignal für den ersten und den zweiten sekundärseitigen Leistungsschalter zu erzeugen.

14. Bidirektionaler DC/DC-Wandler nach Anspruch 13, wobei die sekundärseitige Leistungsstufe Folgendes umfasst:
 eine zweite sekundärseitige Halbbrücke, die einen dritten und einen vierten sekundärseitigen Leistungsschalter beinhaltet, die in einer Halbbrückenkonfiguration angeordnet sind;
 einen dritten und einen vierten sekundärseitigen Schaltersteuerungsschaltkreis, die mit dem dritten bzw. vierten sekundärseitigen Leistungsschalter ge-

koppelt sind und für Betrieb im ersten Modus und im zweiten Modus gemäß einer durch die Steuerung bereitgestellten Moduseinstellung konfiguriert sind; und
 eine sekundärseitige Drosselspule, die mit der Sekundärwicklung gekoppelt ist.

15. Bidirektionaler DC/DC-Wandler nach Anspruch 13 oder 14, wobei die primärseitige Leistungsstufe Folgendes umfasst:
 eine primärseitige Vollbrücke, die einen ersten, einen zweiten, einen dritten und einen vierten primärseitigen Schalter umfasst; und
 einen ersten, einen zweiten, einen dritten und einen vierten primärseitigen Schaltersteuerungsschaltkreis, die dazu konfiguriert sind, jeden des jeweiligen ersten, zweiten, dritten und vierten primärseitigen Schalters gemäß einer durch die Steuerung bereitgestellten Moduseinstellung im ersten Modus oder im zweiten Modus zu betreiben.

16. Bidirektionaler DC/DC-Wandler nach einem der Ansprüche 13 bis 15, ferner umfassend eine mit dem zweiten DC-Leistungsknoten gekoppelte Batterie.

17. Bidirektionaler DC/DC-Wandler nach Anspruch 16, wobei die Batterie während des Vorwärtsmodus von einer mit dem ersten DC-Leistungsknoten gekoppelten Leistungsquelle aufgeladen wird.

18. Bidirektionaler DC/DC-Wandler nach Anspruch 16 oder 17, wobei die Batterie während des Rückwärtsmodus einer mit dem ersten DC-Leistungsknoten gekoppelten Leistungsenke Leistung zuführt.

Es folgen 13 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

100

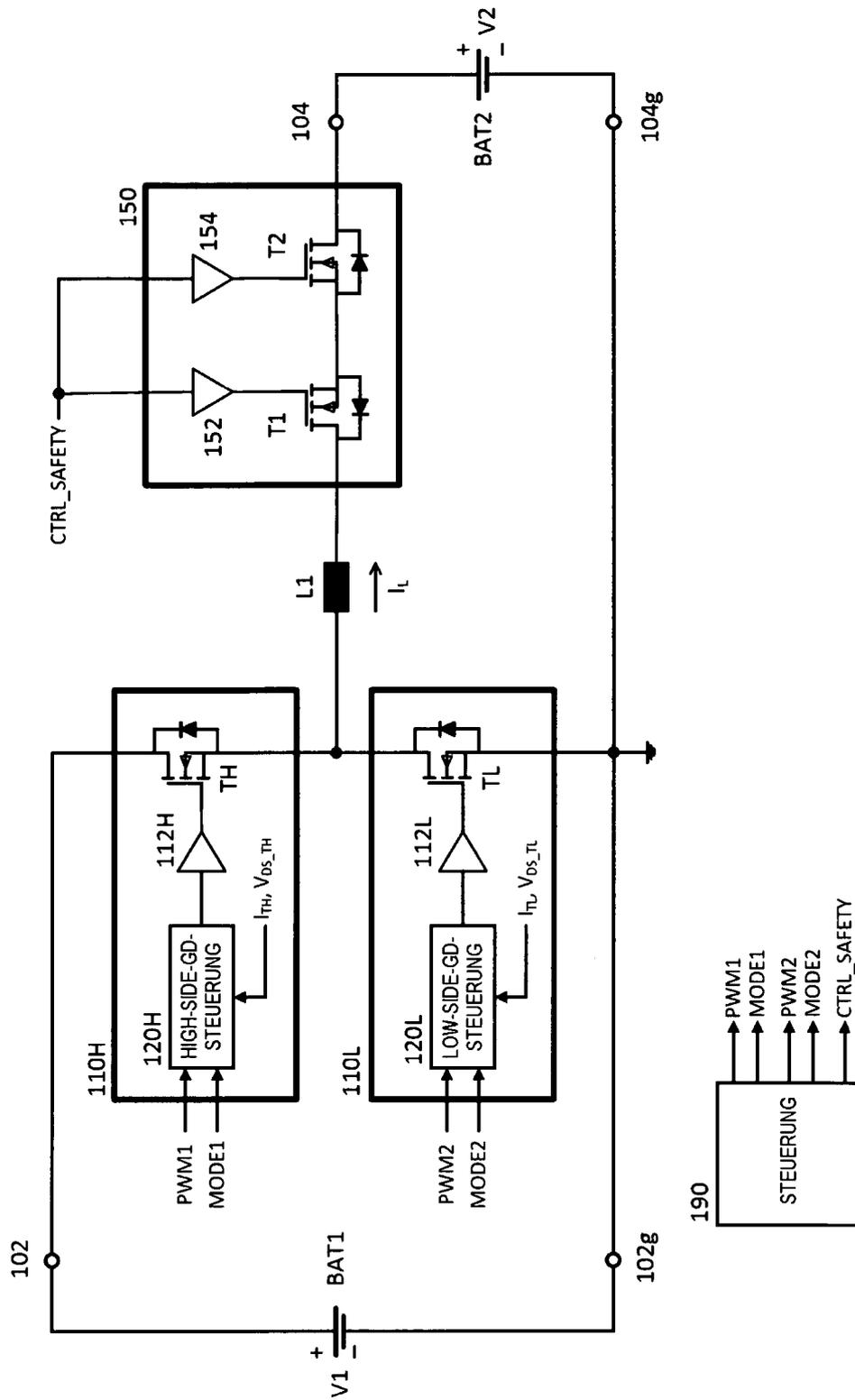
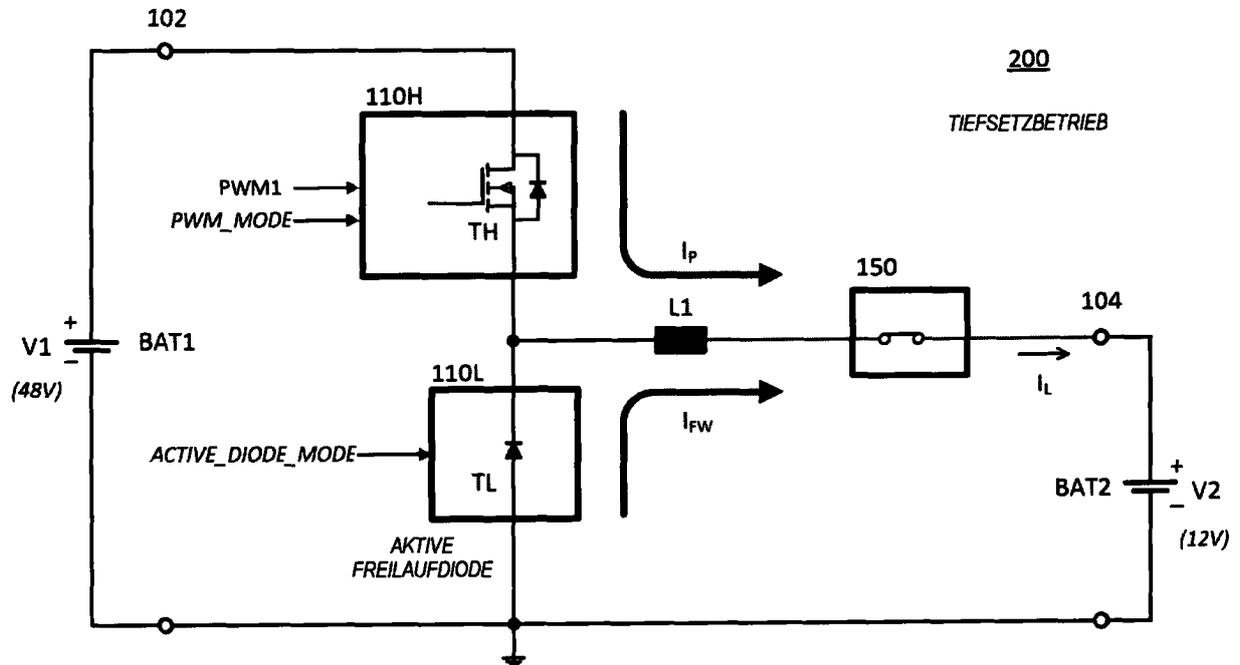
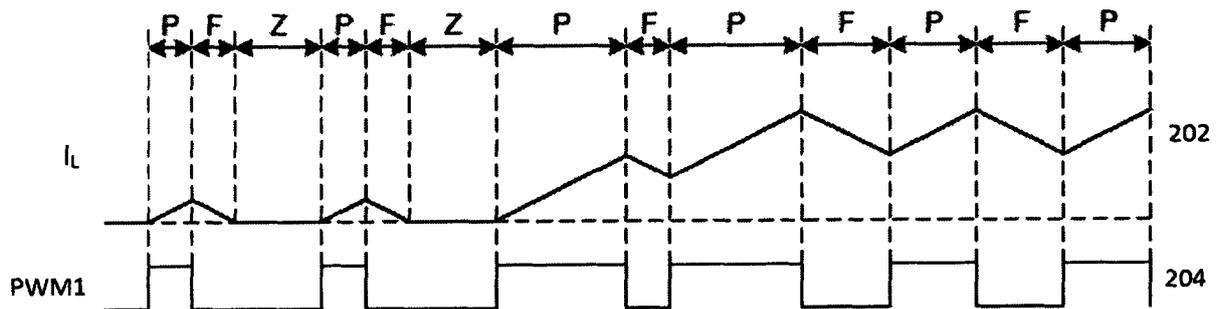


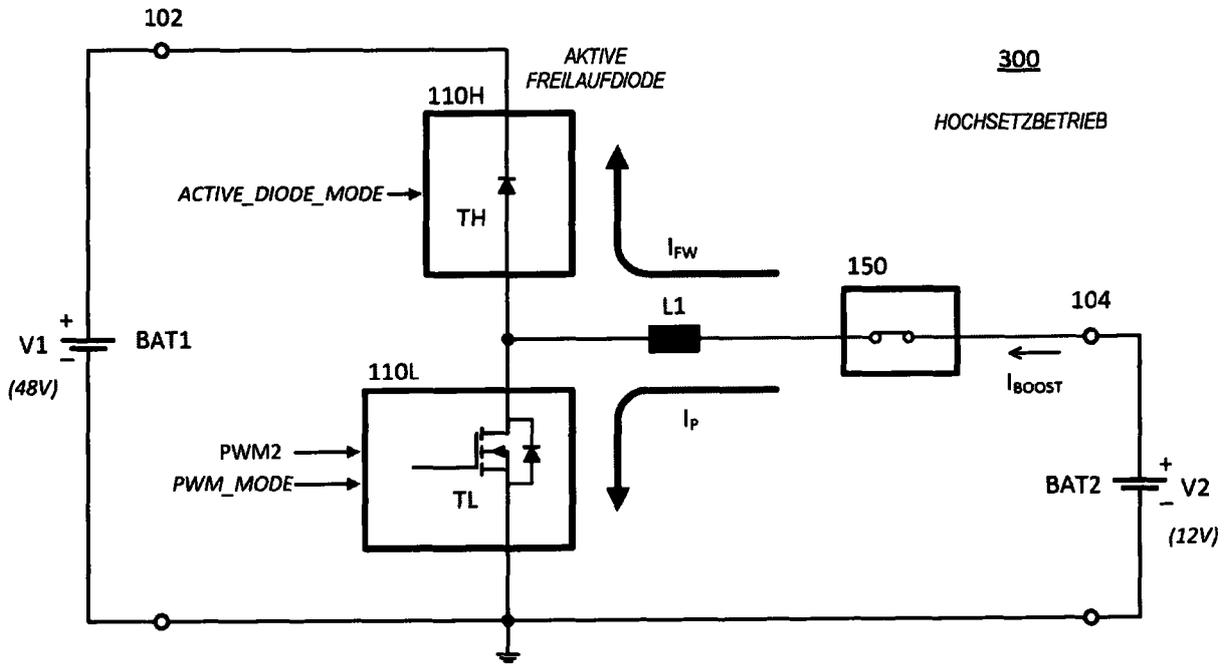
Figure 1



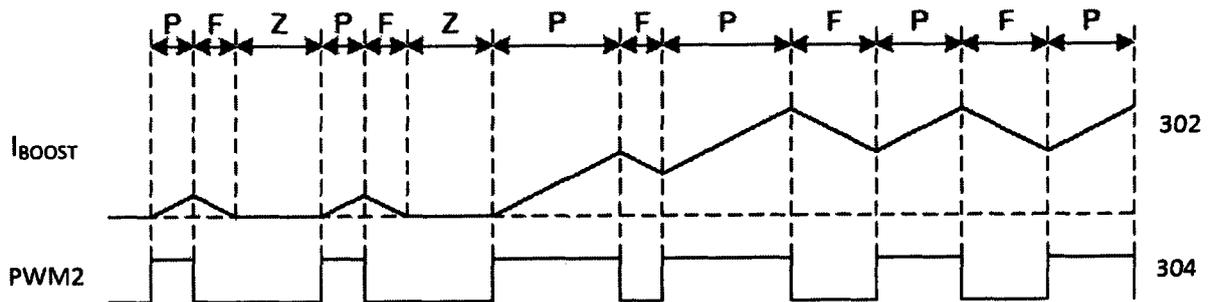
Figur 2A



Figur 2B

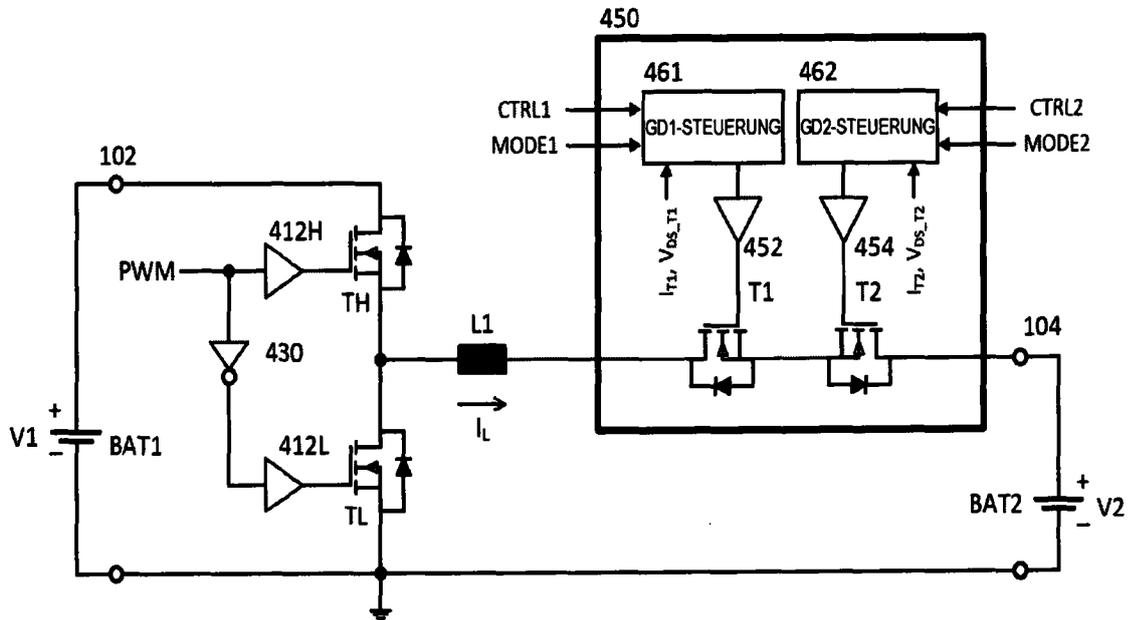


Figur 3A



Figur 3B

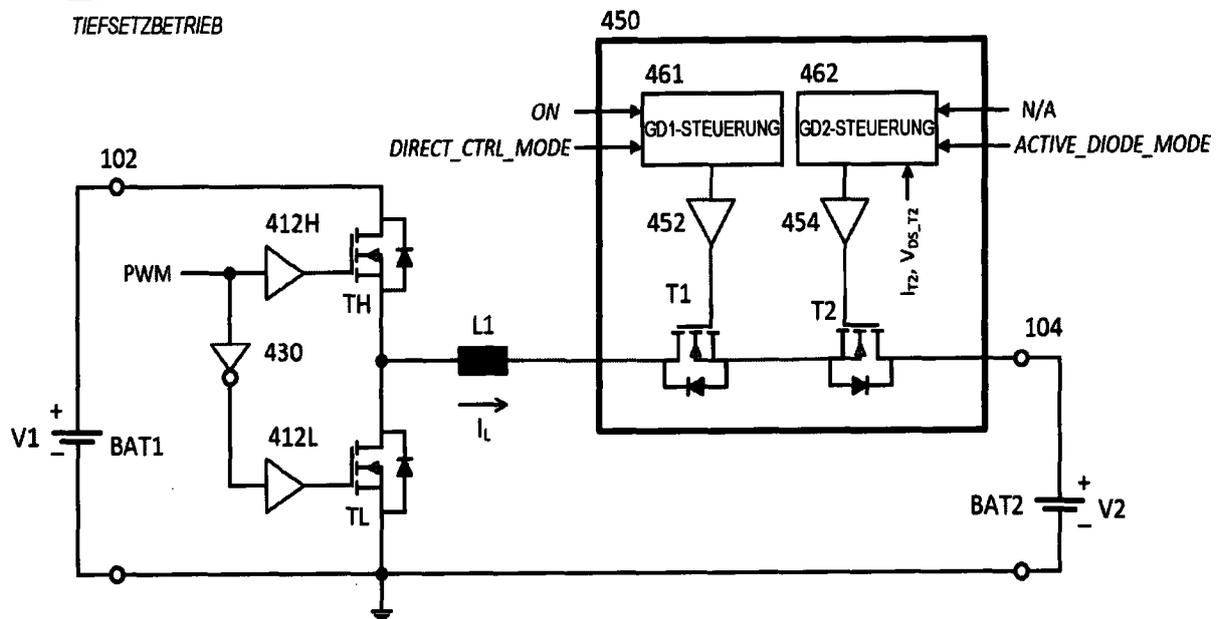
400



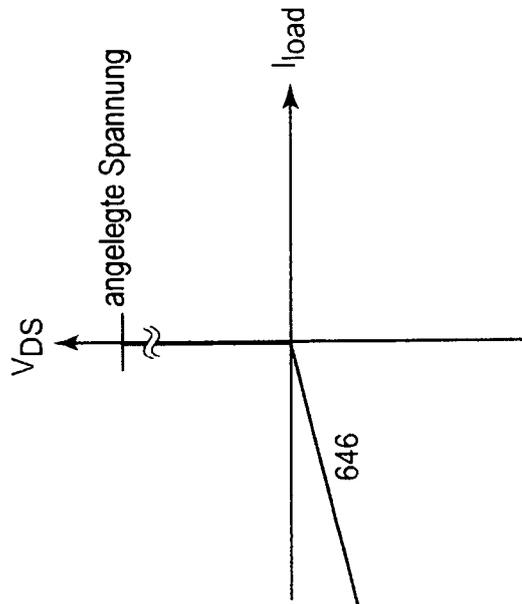
Figur 4

500

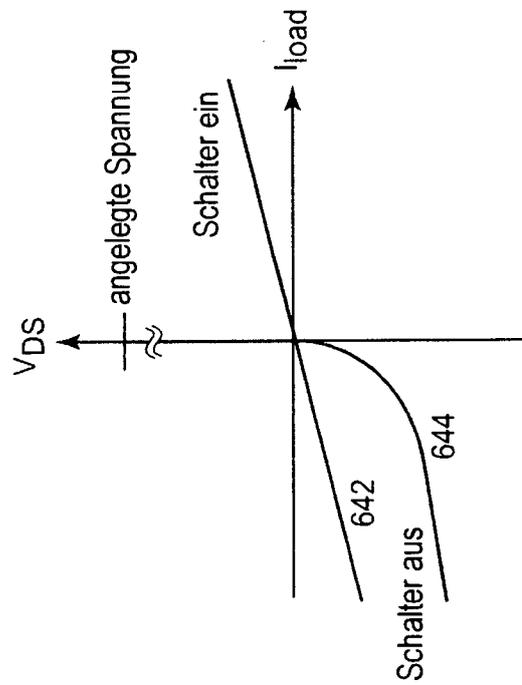
TIEFSETZBETRIEB



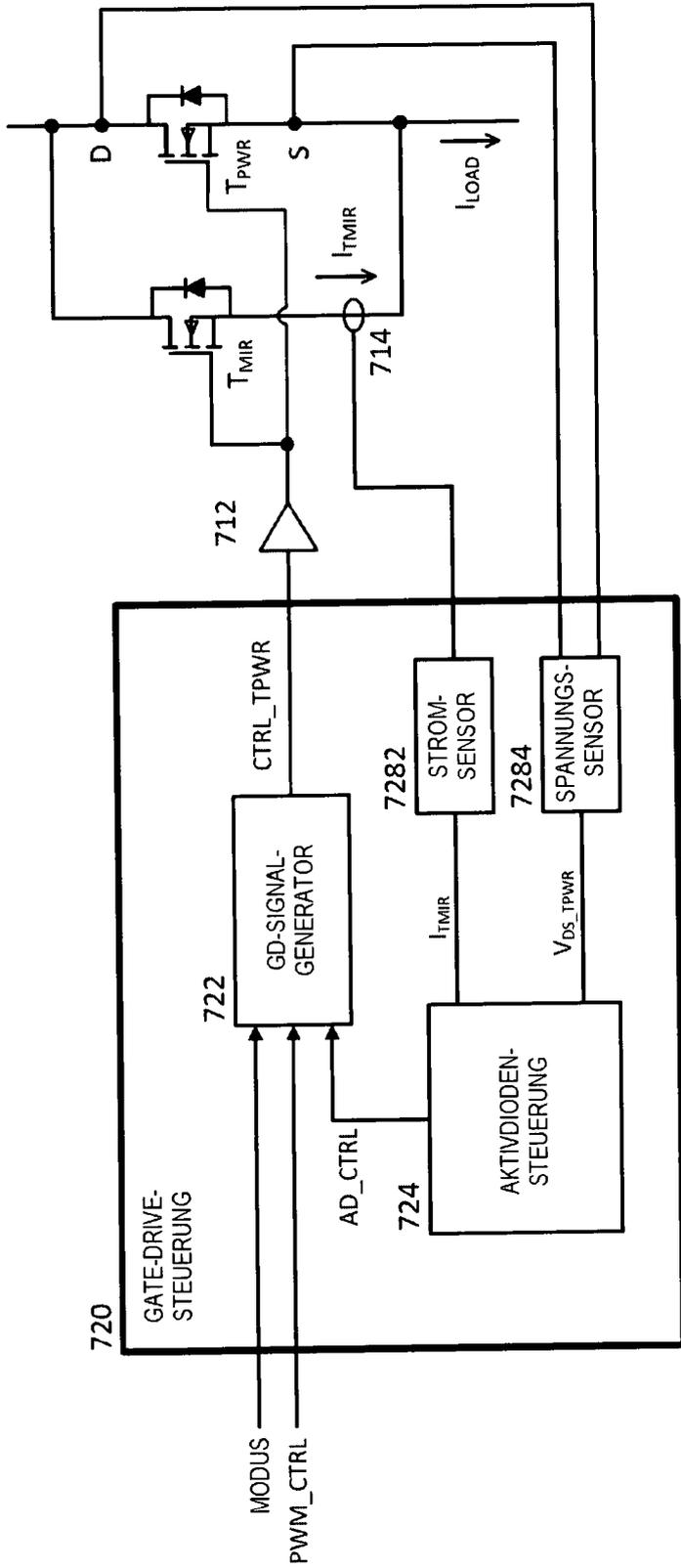
Figur 5



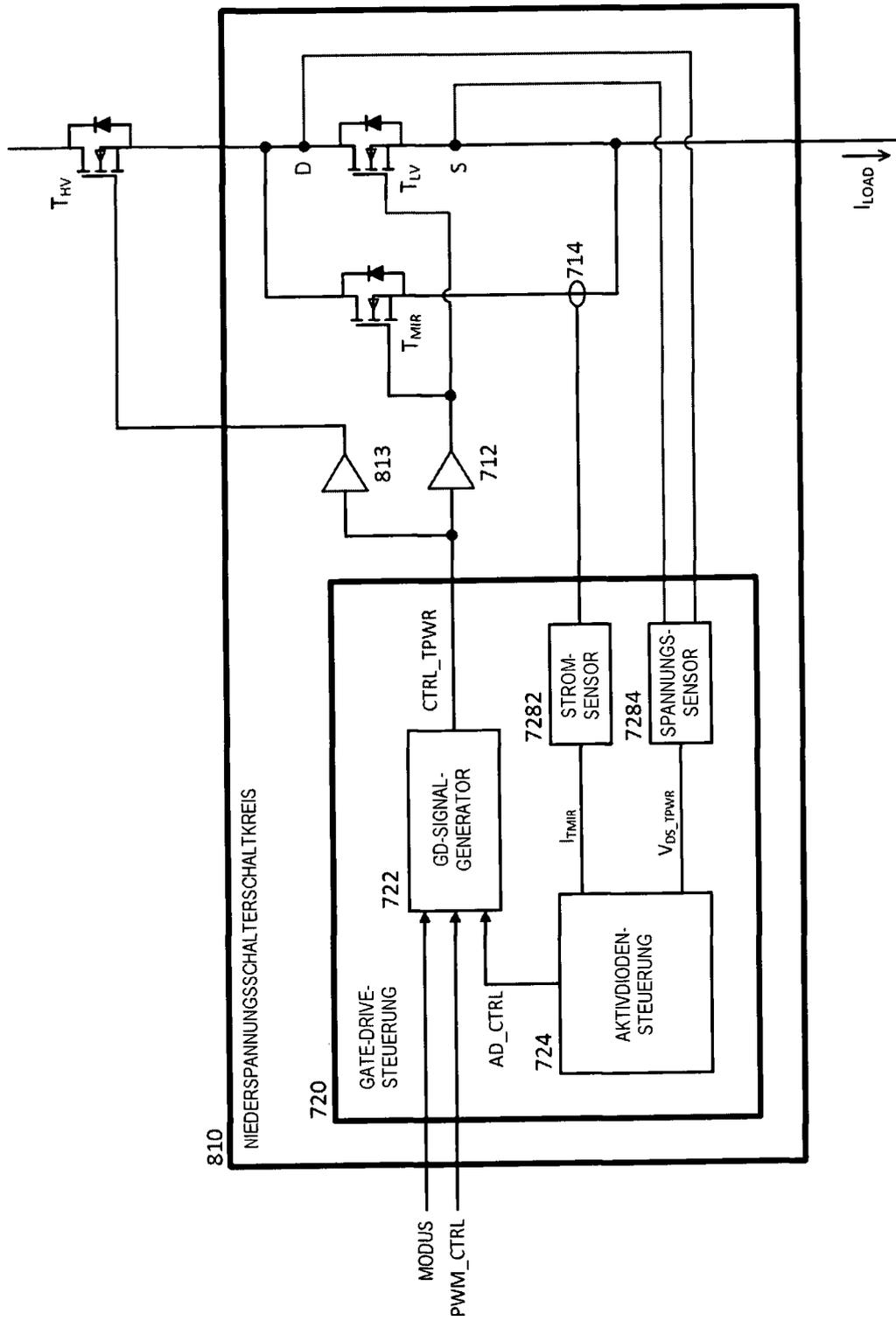
Figur 6C



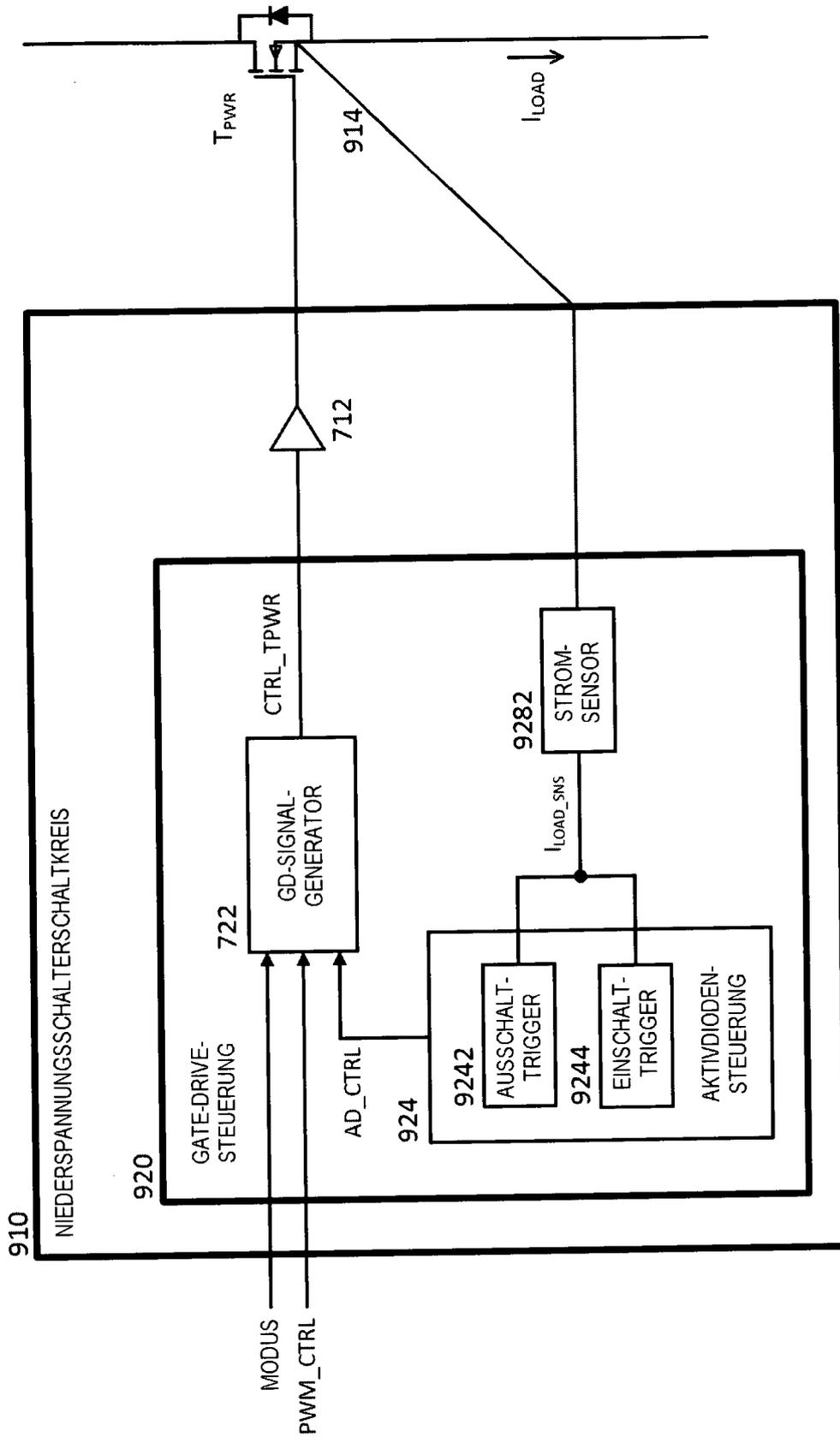
Figur 6B



Figur 7

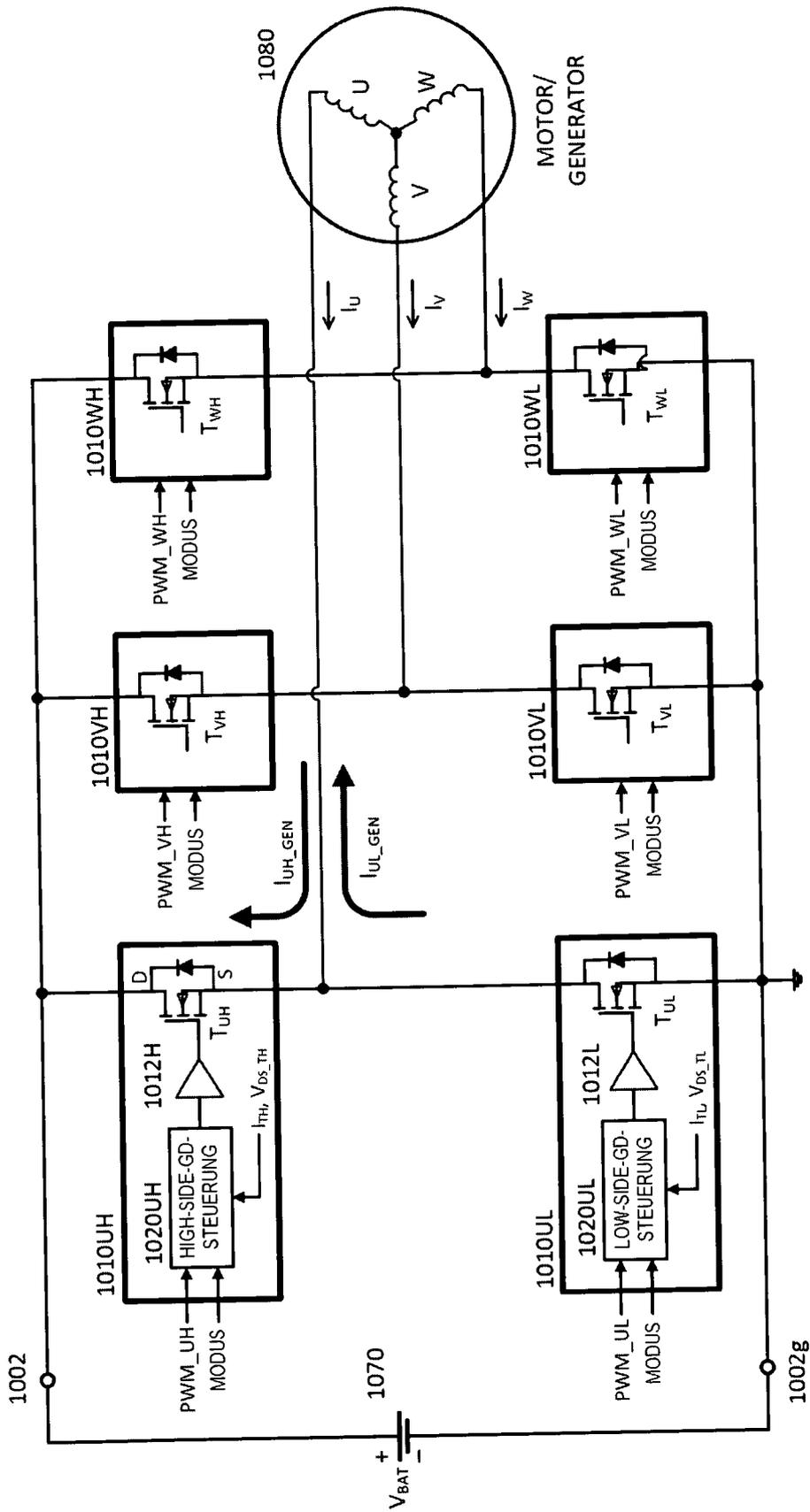


Figur 8

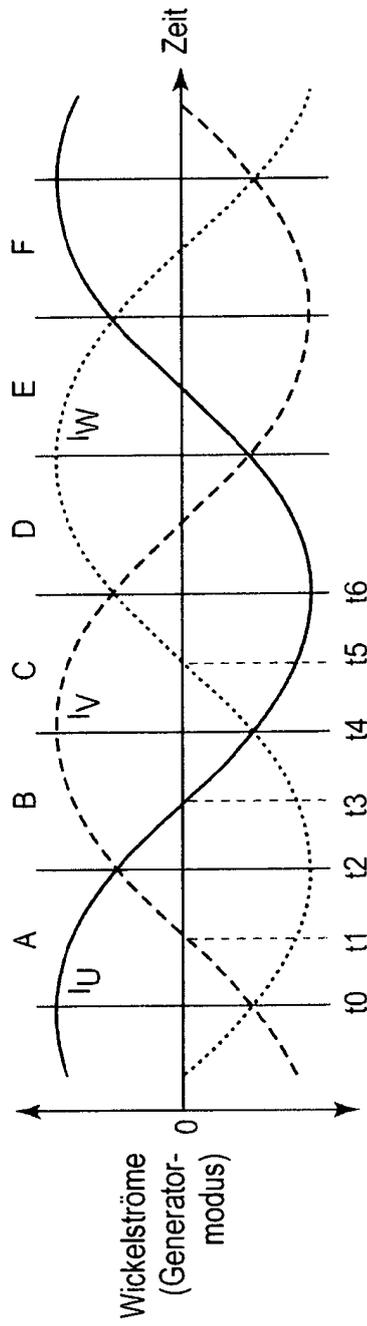


Figur 9

1000



Figur 10A



Figur 10B

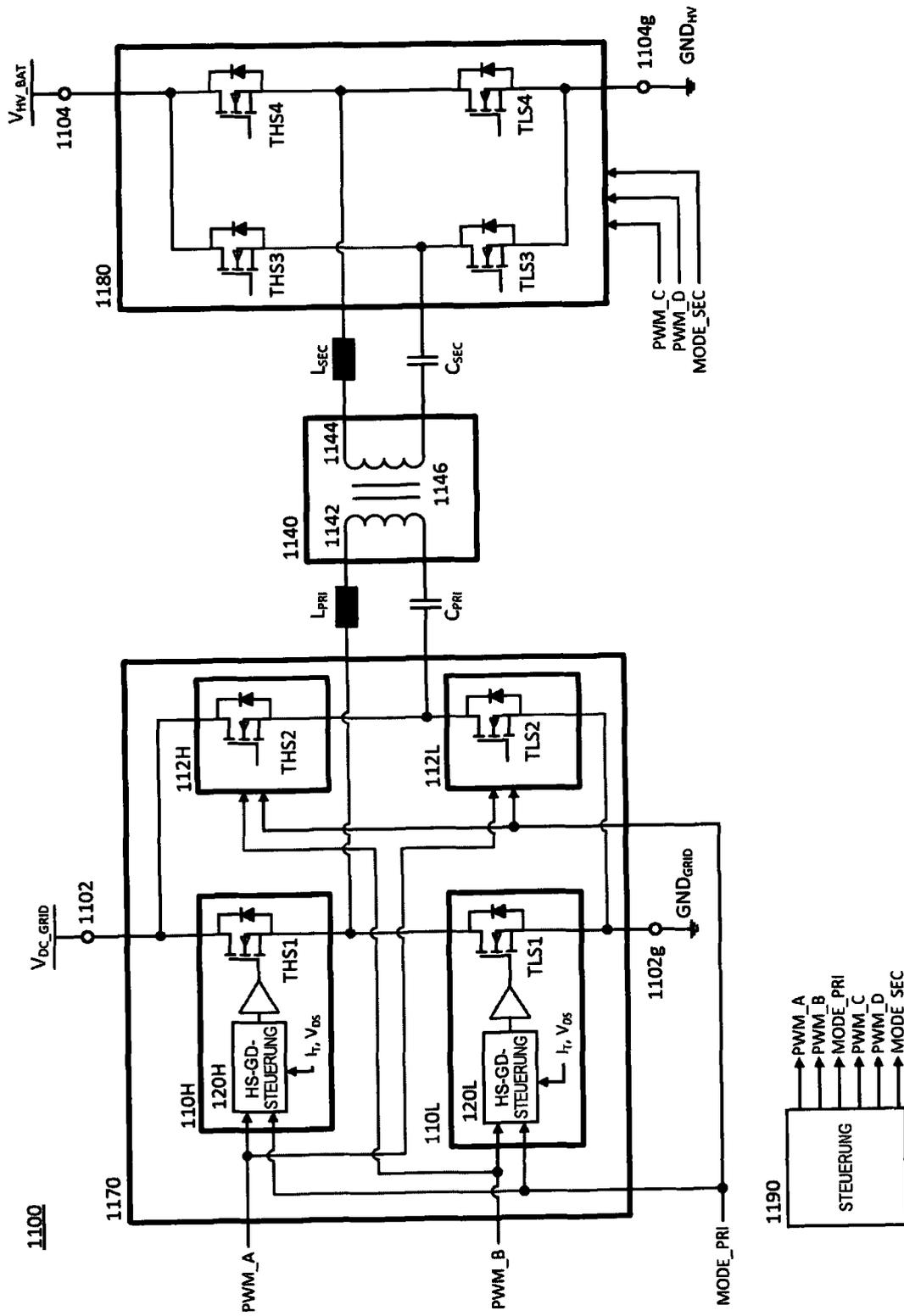
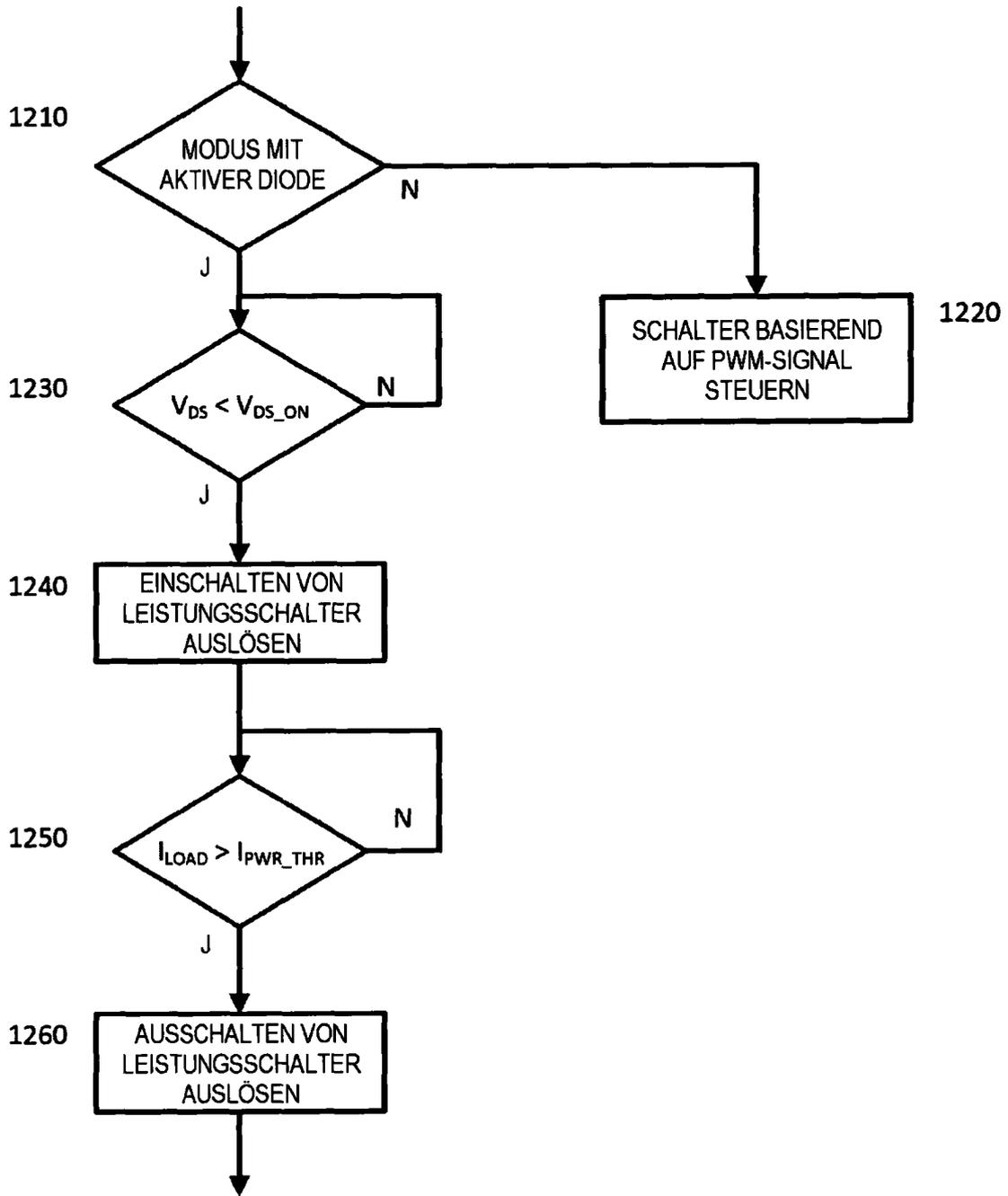


Figure 11

1200



Figur 12